



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
OPCIÓN INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

Tesis para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**SISTEMAS EMBEBIDOS PARA LA INTEGRACIÓN DE PROYECTOS
DE IoT**

PRESENTA:

ISMAEL MINOR SAMPEDRO*

DIRECTOR:

M.C. RICARDO ÁLVAREZ GONZÁLEZ

CO ASESOR:

M.C. RODRIGO LUCIO MAYA RAMÍREZ

ASESORA EXTERNA:

M.C. ALBA MARIBEL SÁNCHEZ GÁLVEZ

*BECARIO CONAHCYT

PUEBLA, PUE. ENERO 2024

Dedicatoria

Dedicado a todos aquellos que sufren de algún trastorno depresivo, y aun así buscan dar su mejor versión para sí mismos, pero sobre todo para los que aman.

“Nuestros jóvenes, alrededor del mundo, cada día son diagnosticados con depresión y ansiedad, hay millones de personas que viven con esto diariamente, ellos no están buscando atención, no lo están inventando, no esperan que les des un regalo por eso, ni tampoco buscan ser parte de una historia triste, es algo real... Para aquellos que están luchando, estoy contigo, entiendo lo gris que puede ser, aguanta, todo mejora, hay luz; habla con algún miembro de tu familia, habla con un amigo, y si puedes ve a terapia. Esto no es algo por lo que deberías avergonzarte, no estás roto, puedes seguir y hacer todas las cosas que quieras en la vida, lo prometo. Pero sobre todo, tu vida siempre vale la pena vivirla...”

Dan Reynolds - Imagine Dragons

“In the real world, things matter more than ideas” - Kevin Ashton.

Agradecimientos

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por haberme permitido cumplir el sueño de vivir la experiencia universitaria, y por ser mi segunda casa durante estos dos años.

Al CONAHCYT por el apoyo financiero otorgado durante el desarrollo del programa de Maestría.

A mi asesor M.C. Ricardo Álvarez G., y asesora externa M.C. Alba M. Sánchez G., gracias por confiar y creer en este proyecto de tesis.

A mi Co-Aesor, M.C. Rodrigo L. Maya R., gracias por la asesoría, por las buenas pláticas y sobre todo por darme ese último empujón para tomar la decisión de hacer mi estancia académica en España.

Mi agradecimiento y respeto al Dr. Alejandro Paredes C., gracias por darme la oportunidad de realizar una estancia académica que sin duda amplió mi panorama en el mundo de la investigación, fortaleció mi proyecto de tesis, pero que también me motivó a trabajar y exigirme a niveles que a veces me superaban; gracias por sus consejos que hasta hoy en día me ayudan a construirme como profesional y como persona.

Agradezco al Centro de Investigación Motion Control and Industrial Applications (MCIA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), así como a sus representantes, por brindarme las herramientas y un espacio en su laboratorio para desarrollar mis actividades durante los tres meses de estancia.

Agradezco al M.C. Emanuel de J. Carlock A., así como a la Ing. Lizbeth Carreto F., gracias por creer en mí, desde que inicié en esta travesía del mundo de la ingeniería, gracias por brindarme su confianza, su amistad y por motivarme a seguirme preparando.

Agradecimientos especiales

Agradezco a mis padres, Juan Minor P. y Cora Sampedro A. por su apoyo incondicional para lograr esta meta, gracias por respaldar y entender las decisiones que se tuvieron que tomar en el camino, este logro también es suyo.

Agradezco a mi hermana Jocelyn Minor S. a mi tío Francisco Minor P. y a toda mi familia, gracias por motivarme, por acompañarme y por entender que hubo días en los que había que sacrificar el tiempo compartido, en los que mi ausencia era evidente, se los recompensaré en la medida que me sea posible.

Quiero agradecer de manera muy especial a mi Psicóloga Ivonne Juárez T., gracias por enseñarme que la depresión tiene un proceso, pero que se puede trabajar todos los días para mejorar y disfrutar la vida; gracias por escucharme, por guiarme, y por estar ahí, fue la mejor decisión que pude haber tomado desde hace más de un año, no lo hubiera logrado sin la ayuda, definitivamente cambió mi vida, y siempre, siempre siempre estaré agradecido.

Agradezco a mis amigos y compañeros de Maestría: Elías, Ángel, Héctor, Edgar, Juan, Miguel y Getsemaní, gracias por los buenos momentos, por las increíbles pláticas llenas de risas, y por compartir el buen gusto por la comida, la aventura, los relojes y la F1.

Agradezco a las personas que han estado ahí, desde el inicio, durante o en el final, a quienes se volvieron constante en mi ecuación llamada vida y que sin ellos algo se desbalancea:

Agradezco a mi mejor amigo Ricardo Lobato L., y a mi mejor amiga Natividad Madrid H., gracias por estar ahí, en los buenos momentos, pero sobre todo, gracias por estar en uno de los momentos más difíciles, gracias por escuchar, y por acompañarme en el proceso, no tengo forma de agradecer todos estos años de amistad, sepan que mi cariño y lealtad es para ustedes.

Mi agradecimiento con mucho cariño para Fátima I. Ortega L., gracias por estar ahí en estos últimos años, no hubo un solo día en el que faltaras, y serás importante para mí.

Agradezco a mi gran amigo Luis F. Gómez R., ve por ese sueño, nada me daría más gusto que verte lograrlo; jamás olvidaré aquella frase: “No te preocupes, la vida nos va a seguir sonriendo”. Así que es una promesa: Hay que seguir echándole ganas.

Agradezco de todo corazón a María Llorca B. gracias por compartir las maravillas de la cultura española conmigo, siempre estaré agradecido por haberme equivocado en la reserva-
ción y haber coincidido en ese Airbnb, definitivamente hizo que toda la aventura fuera muy
especial, gracias por las buenas conversaciones, las cenas y cafés improvisados, la sorpresa
increíble de PortAventura y la playa, gracias por compartir ese viaje tan bonito a Madrid
que sin duda ha sido mi favorito, y por todos los detalles y buenos momentos que me guardo
para mí, ya nos volveremos a ver, allá, aquí o en alguna otra parte del mundo.

Agradezco a mis buenos amigos Juan J. Mellado S., Osvaldo Pérez G. y Uriel Aguilar
A., aquí andamos a la orden.

Agradezco a mi amigo Héctor I. Lara T., bro, gracias por compartir los conciertos y las
aventuras.

Sepan que mi cariño, admiración y respeto es para ustedes, y que sin importar el tiempo,
la distancia, la diferencia horaria o la ausencia en ciertos días, ahí estaré para ustedes si lo
necesitan.

Resumen

Las necesidades actuales causadas por el continuo crecimiento de la tecnología conllevan un mayor interés en temas emergentes como lo es la industria 4.0, en particular el IoT.

El desarrollo y aplicación del IoT presenta muchos retos que requieren la atención de instituciones públicas y privadas. En México, por ejemplo, debido a limitaciones tecnológicas, es necesario diseñar soluciones para la integración de esta tecnología.

Una clave para el crecimiento del IoT en México es diseñar herramientas que permitan a los usuarios desarrollar el conocimiento para poder proponer soluciones creativas haciendo uso de la tecnología moderna.

El presente trabajo contribuye con el desarrollo de ESP-Modulink, una plataforma de hardware embebido, modular, *Low Code*, portátil y con comunicación inalámbrica, para ser utilizada como un medio que en conjunto con las acciones que académica y comercialmente se están desarrollando, permita transformar el IoT del concepto a la práctica, incentivando así a los nuevos usuarios, a despertar el interés por esta tecnología, con el fin de que sean capaces de integrar y desarrollar proyectos de una forma rápida e interactiva.

Abstract

The current needs caused by the continuous growth of technology lead to an increased interest in emerging topics such as Industry 4.0, in particular IoT.

The development and application of IoT present many challenges that require the attention of public and private institutions. In Mexico, for example, due to technological limitations, it is necessary to develop solutions for the integration of this technology.

A key to the growth of IoT in Mexico is to design tools that allow users to develop the knowledge to be able to propose creative solutions using modern technology.

This work contributes with the development of ESP-Modulink, an embedded hardware platform, modular, low code, portable, and with wireless communication, to be used as a means that, together with the actions that are being developed academically and commercially, allows transforming the IoT from concept to practice, thus encouraging new users to awaken interest in this technology to be able to integrate and develop projects in a fast and interactive way.

Índice general

Agradecimientos	II
Agradecimientos especiales	III
Resumen	V
Abstract	VI
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo	3
1.3. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Estado del arte	6
1.6. Descripción	11
1.7. Diagrama de bloques	12
1.7.1. Módulo Wi-Fi con sensor integrado	12
1.7.2. Módulo Wi-Fi de salida	13
2. Marco teórico	14
2.1. Wireless Sensor Network	14
2.2. Wireless Sensor and Actor Network	15
2.3. Modelo de comunicación Publicador / Suscriptor	15
2.4. Protocolo MQTT	16
2.5. Plataforma IoT	18
2.6. Estructura de los nodos para una WSAN	19
2.7. SoC ESP32	20
2.8. Firmware de Micropython	23
2.9. Sensores	24
2.10. Actuadores	27
2.11. Fuente de alimentación	30
2.11.1. Batería Li-Ion	30
2.12. Cargador TP4056	31
2.13. B628 Elevador de Voltaje Boost Step Up	32
2.14. Modos de ahorro de energía	33

3. Desarrollo de prototipos	34
3.1. Desarrollo de los prototipos	34
3.1.1. Montaje de prototipo para Módulos Wi-Fi con sensor integrado	34
3.1.2. Montaje de prototipo para Módulos Wi-Fi de salida	36
3.2. Desarrollo de código	37
3.2.1. Estructura del código para los Módulos Wi-Fi con sensor integrado	37
3.2.2. Estructura del código para los Módulos Wi-Fi de salida	39
3.3. Resultados de las pruebas realizadas con los prototipos	41
3.4. Diseño de nodo de prueba	45
3.5. Montaje del nodo de prueba	48
3.6. Resultados de las pruebas realizadas con el nodo	49
3.7. Módulo cargador y elevador de voltaje	52
3.8. Montaje del Cargador & Elevador DC	54
3.9. Diseño del Módulo Wi-Fi de entrada DHT11 V1.0	56
4. Resultados e integración de la plataforma ESP-Modulink	58
4.1. Design Thinking	58
4.2. Design Thinking aplicado al desarrollo de una plataforma de hardware para proyectos de IoT	60
4.2.1. Empatizar	60
4.2.2. Definir	60
4.2.3. Idear	61
4.2.4. Prototipar	63
4.2.5. Evaluar	66
4.2.6. Resultados del taller	67
4.3. Resultados	70
4.4. ESP-Modulink	71
4.4.1. Módulos Wi-Fi con sensor integrado	72
4.4.1.1. Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP	72
4.4.1.2. Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR	74
4.4.1.3. Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture	76
4.4.1.4. Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11	78
4.4.1.5. Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC	80
4.4.2. Módulos Wi-Fi de Salida	82
4.4.2.1. Módulo Wi-Fi de Salida Relay	82
4.4.2.2. Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel	84
4.4.2.3. Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer	86
4.4.2.4. Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge	88
4.4.2.5. Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay	90
4.4.3. Módulo de batería y Módulo programador	92
4.4.3.1. Módulo 18650 Cargador & Elevador	92
4.4.3.2. Módulo CP2102	94
4.4.3.3. Configuración de selector USB-BAT	96
4.4.3.4. Configuración de Puerto UART 2	96
4.4.3.5. Pinout Estándar mikroBUS™	97
4.4.4. Modo Desarrollador	98
4.4.5. Modo Low Code	99
4.4.5.1. ESP-Modulink, ESPHome y Home Assistant	99

5. Perfiles de consumo de energía	101
5.1. El panorama mundial y nacional del consumo energético residencial	101
5.2. Propuesta y descripción del sistema	102
5.3. Desarrollo y resultados	104
5.4. Conclusiones del proyecto y trabajo futuro	111
6. Conclusiones y Trabajo futuro	113
6.1. Conclusiones	113
6.2. Trabajo Futuro	114
Bibliografía	115
Apéndice A. Esquemáticos	121
A.1. Esquemático de Nodo de Prueba	121
A.2. Esquemático de cargador y elevador de voltaje	122
A.3. Esquemáticos de Módulos Wi-Fi con sensor integrado v2.0	123
A.4. Esquemáticos de Módulos Wi-Fi de salida v2.0	125
A.5. Esquemáticos de Módulo de batería v2.0 y Módulo programador	128
Apéndice B. Documentación técnica	129
B.1. Especificaciones del estándar mikroBUS™	129
B.2. Especificaciones para diseño de PCB con el módulo ESP32	132
Apéndice C. Constancias	133
C.1. Taller de Mecatrónica Moderna	133
C.2. IoT Talks	134
C.3. IoT DAY CDMX	134
Apéndice D. Artículos	135
D.1. Artículo publicado en la revista Research in Computing Science	135

Índice de figuras

1.1. Tarjeta de desarrollo micro:bit V2.	8
1.2. Click Board™ con sensor DHT22.	9
1.3. Tarjeta de desarrollo Fusion v8.	9
1.4. X-NODE Temp-Hum / Prox-Lum.	9
1.5. X-BOARD Arduino Nano 33.	10
1.6. Diagrama de bloques del módulo Wi-Fi con sensor integrado.	12
1.7. Diagrama de bloques del módulo Wi-Fi de salida.	13
2.1. Arquitectura de una Wireless Sensor Network.	15
2.2. Ejemplo de dashboard creado en Adafruit IO.	19
2.3. Estructura del hardware de un nodo sensor para una WSN.	20
2.4. Espressif ESP-WROOM-32 Módulo Wi-Fi & Bluetooth.	21
2.5. Compromiso de longevidad de productos ESP32, ESP8266 y ESP8285.	23
2.6. Sensor de humedad y temperatura DHT11.	25
2.7. Sensor de Gas MQ-6.	26
2.8. Sensor de humedad del suelo.	26
2.9. Fotorresistencia LDR 5528.	27
2.10. Relevador 5V DC SRD-5VDC-SL-C.	28
2.11. Puente H dual modelo TB6612FNG.	28
2.12. Tira LED Neopixel.	29
2.13. Buzzer o zumbador.	30
2.14. Batería 18650 2200 mAh.	31
2.15. Cargador TP4056.	32
2.16. Convertidor Step Up SDB628.	33
3.1. Prototipo de Módulo Wi-Fi con sensor LDR.	34
3.2. Prototipo de Módulo Wi-Fi con sensor MQ6.	35
3.3. Prototipo de Módulo Wi-Fi sensor de humedad del suelo.	35
3.4. Prototipo de Módulo Wi-Fi sensor DHT11.	36
3.5. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida neopixel.	36
3.6. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida buzzer.	36
3.7. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida relay.	37
3.8. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida H-Bridge.	37
3.9. Diagrama de flujo para el código de los Módulos Wi-Fi con sensor integrado.	38
3.10. Diagrama de flujo para el código de los Módulos Wi-Fi de salida.	40
3.11. Montaje de la WSN con prototipos de Módulos Wi-Fi con sensor integrado y Módulo Wi-Fi de salida.	41
3.12. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO.	42

3.13. Gráfica de los datos recopilados por el Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.	43
3.14. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y comportamiento de los módulos cuando el relevador se acciona.	44
3.15. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y comportamiento de los módulos cuando el relevador se desactiva.	44
3.16. Esquemático del SoC ESP32.	45
3.17. Pines GPIO para pruebas.	45
3.18. Etapa de regulación de voltaje.	46
3.19. LEDs indicadores.	46
3.20. Configuración de transistores para los botones de boot y reset.	46
3.21. Conector USB-TTL.	47
3.22. Distribución y enrutamiento de componentes.	47
3.23. Diseño del PCB del nodo de prueba.	47
3.24. Montaje de componentes electrónicos y distribución de los elementos del nodo de prueba.	48
3.25. Configuración del nodo de prueba como “Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11”.	48
3.26. Visualización del puerto COM3 correspondiente al nodo de prueba.	49
3.27. Configuración del ESP32 con MicroPython.	49
3.28. Se verifica el estatus de la conexión a Wi-Fi y el envío de los datos de Temp, Hum y bat1.	49
3.29. Datos registrados del feed temp.	50
3.30. Medición del consumo de corriente del prototipo.	50
3.31. Medición del consumo de corriente del nodo de prueba.	50
3.32. Registro de la duración de la batería en el montaje del prototipo.	51
3.33. Registro de la duración de la batería en el nodo de prueba.	51
3.34. Conexión del circuito integrado TP4056.	52
3.35. Conexión del circuito integrado SDB628.	52
3.36. Divisor de voltaje para el monitoreo de la batería.	53
3.37. Distribución y enrutamiento de los componentes del cargador & elevador.	54
3.38. Diseño del PCB elevador y cargador.	54
3.39. Montaje y distribución de los elementos del cargador y elevador de voltaje.	54
3.40. Mediciones del voltaje de batería y el voltaje de salida.	55
3.41. Medición del divisor de voltaje para el monitor de batería.	55
3.42. Módulo en modo de carga de batería.	56
3.43. Conexión de sensor DHT11.	56
3.44. Montaje y distribución frontal del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11 v1.0.	57
3.45. Montaje y distribución trasera del Módulo Wi-Fi de con sensor integrado DHT11 v1.0.	57
4.1. Stanford Design Thinking.	59
4.2. Distribución de pines del estándar mikroBUS.	62
4.3. Etapas de diseño del Módulo Wi-Fi.	63
4.4. Vista frontal y trasera del Módulo Wi-Fi con sensor integrado v2.0.	64
4.5. Vista frontal y lateral del Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0.	65
4.6. Modo de conexión entre módulo mediante el estándar mikroBUS™.	66

4.7. Dimensiones del Módulo.	66
4.8. Resultado de Implementación de taller con alumnos de la Licenciatura en Gestión de Ciudades Inteligentes y Transiciones Tecnológicas.	68
4.9. Experiencia previa del usuario con dispositivos para aplicaciones de IoT.	68
4.10. Nivel de dificultad al interactuar con la tarjeta.	69
4.11. Matriz de feedback para la evaluación de la idea.	69
4.12. Estructura de la plataforma ESP-Modulink.	71
4.13. Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP.	72
4.14. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP.	72
4.15. Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.	74
4.16. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.	74
4.17. Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.	76
4.18. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.	76
4.19. Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.	78
4.20. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.	78
4.21. Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.	80
4.22. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.	80
4.23. Módulo Wi-Fi de Salida Relay.	82
4.24. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Relay.	82
4.25. Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.	84
4.26. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.	84
4.27. Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.	86
4.28. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.	86
4.29. Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.	88
4.30. Características del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.	88
4.31. Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.	90
4.32. Características del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.	90
4.33. Módulo 18650 Cargador & Elevador.	92
4.34. Características del Módulo 18650 Cargador & Elevador.	92
4.35. Módulo CP2102.	94
4.36. Características del Módulo CP2102.	94
4.37. Modo de conexión de Módulo CP2102 con Módulo Wi-Fi.	95
4.38. Pinout Estándar mikroBUS™ para los Módulos Wi-Fi con sensor integrado.	97
4.39. Pinout Estándar mikroBUS™ para los Módulos Wi-Fi de salida.	97
4.40. Pinout Estándar mikroBUS™ para el Módulo 18650 Cargador & Elevador.	97
4.41. Integración de ESP-Modulink con Adafruit IO y MicroPython.	98
4.42. Integración de ESP-Modulink con ESPHome y Home Assistant.	99
4.43. Interfaz de Home Assistant con datos de los módulos de ESP-Modulink.	100
5.1. Modelos de arquitecturas IoT basados en capas.	103
5.2. Diagrama de bloques del sistema IoT para la identificación de perfiles de consumo de energía.	104
5.3. Diagrama de flujo de la API.	105
5.4. Formato JSON a DataFrame para los datos de temperatura.	106
5.5. Datos de registrados de temperatura.	106
5.6. Datos registrados de los últimos 7 días.	107
5.7. Temperatura promedio por hora.	107
5.8. Condición para la automatización del sistema de ventilación.	108

5.9. Dashboard del sistema IoT para la identificación de los perfiles de consumo de energía.	108
5.10. Dashboard creado en Adafruit IO para visualizar y accionar los módulos Wi-Fi.	109
5.11. Medición con el sensor de corriente y el medidor para calibración.	110
5.12. Medición del sensor de corriente calibrado.	110
5.13. Datos del sensor de corriente.	110
A.1. Esquemático de Nodo de Prueba.	121
A.2. Esquemático de cargador y elevador de voltaje.	122
A.3. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP v2.0.	123
A.4. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR v2.0.	123
A.5. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture v2.0.	124
A.6. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DH11 v2.0.	124
A.7. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC v2.0.	125
A.8. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Relay v2.0.	125
A.9. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel v2.0.	126
A.10. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer v2.0.	126
A.11. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge v2.0.	127
A.12. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay v2.0.	127
A.13. Esquemático del Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0.	128
A.14. Esquemático del Módulo CP2102.	128
B.1. Marcas de serigrafía.	129
B.2. Especificaciones del pinout.	130
B.3. Tamaño y forma de la PCB.	131
B.4. Especificaciones para diseño de PCB con el módulo ESP32.	132
C.1. Constancia de ponencia en el Taller de Mecatrónica Moderna.	133
C.2. Presentación en IoT Talks de la comunidad de IoT Perú.	134
C.3. Constancia de participación en el IoT DAY CDMX.	134
D.1. Artículo publicado en la revista Research in Computing Science volumen 151, No. 12.	135

Índice de tablas

2.1. Comparativa entre los módulos ESP32, ESP8266 y ESP8285.	22
3.1. Datos registrados por el módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.	42
3.2. Datos registrados por el módulo Wi-Fi de salida Relay.	43
4.1. Formatos comerciales de distribución de pines.	61
4.2. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP.	73
4.3. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.	75
4.4. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.	77
4.5. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.	79
4.6. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.	81
4.7. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Relay.	83
4.8. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.	85
4.9. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.	87
4.10. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.	89
4.11. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.	91
4.12. Descripción de las características del Módulo 18650 Cargador & Elevador.	93
4.13. Descripción de las características del Módulo CP2102.	95
4.14. Configuración de selector para los modos USB-BAT.	96
4.15. Configuración de pads para Puerto UART 2.	96

CAPÍTULO I

En este capítulo se presenta de modo introductorio un panorama general del tema que aborda este trabajo de tesis, resaltando el impacto del Internet de las Cosas en el mundo interconectado, la importancia que este tiene en sectores como la educación, y los esfuerzos que se han realizado en términos de desarrollo de hardware. Así mismo se plantean los objetivos y una descripción representada en diagramas de bloques de la propuesta de este trabajo.

1.1. Introducción

Durante una presentación en Procter and Gamble en 1999, Kevin Ashton introduce por primera vez el concepto de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), al describir una solución que consistía en la integración de etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) en la cadena de suministros de dicha empresa. El fundamento de esta idea consistía en la premisa de que la mayoría de la información que alimentaba a los sistemas o computadoras provenía de un humano, con las desventajas de velocidad, disponibilidad de tiempo, susceptibilidad a errores, entre otros [1]. Al utilizar etiquetas RFID en la cadena de suministros, se eliminan las deficiencias producto de la intervención humana y de esta forma los propios objetos tenían la capacidad de proveer la información.

En un artículo publicado en la revista McKinsey, Chui, Loffer y Roberts, presentan una definición actualizada en la que se advierte sobre un cambio en las rutas que tradicionalmente dan origen o generan información, en donde el mundo físico, es decir, los diferentes elementos, objetos, o variables, con los que las personas interactúan de manera cotidiana, se convierten en una especie de proveedores o sistemas de información. Esta definición considera la incrustación de sensores y actuadores en objetos físicos como autopistas, edificios, marcapasos o vehículos, con capacidad de conexión a Internet y utilizando redes alámbricas o inalámbricas [2].

Hoy en día el concepto de Internet de las Cosas (IoT) se puede entender como la interconexión digital de objetos cotidianos en internet; es decir, se trata de que los objetos informen y digan cosas útiles, haciendo que esta información se pueda gestionar a través de medios computacionales en beneficio de las personas. En este sentido, el mundo digital ya no es el único que tiene una relación directa con internet [3].

Es importante tener presente, que el concepto del IoT ha evolucionado a medida que lo hace la tecnología, por lo que las diferentes definiciones no necesariamente son contradictorias, sino que enfatizan diferentes aspectos del fenómeno del IoT desde diferentes puntos de vista y casos de uso.

Sin embargo, la transición global a una economía y estilo de vida digital está sucediendo más lentamente en las economías menos desarrolladas, derivado de las condiciones necesarias para el desarrollo de esta nueva revolución tecnológica, entre las que destacan [4]. Los retos tecnológicos tales como una conectividad a Internet más rápida y estable, el capital humano necesario para operar y mantener las plataformas de IoT, así como la estandarización e interoperabilidad de los dispositivos de IoT con baterías de larga duración y su compatibilidad con diferentes tecnologías de conexión inalámbrica

En México, la oferta de servicios alineados a la tendencia mundial identificada en 2020, que se asocian a los mercados de IoT, se encuentra fragmentada. En un estudio realizado por el Instituto Federal de Comunicaciones (IFT), el 47.2 % de las 176 empresas identificadas, se dedican a un solo servicio. De este subconjunto, el 26.7 % ofrecen solo servicios de Software, el 13.6 % ofrece servicios en otros mercados laterales como ciberseguridad IoT, analítica de datos y servicios de consultoría, por su parte, solo el 4 % provee Hardware y un 2.8 % se dedican exclusivamente a conectividad [5].

Sin duda, se trata de una ventana de oportunidad hacia la mejora en calidad de vida y productividad de los individuos, empresas y gobiernos, así como a la mejor integración de estas tecnologías en nuestro día a día, sin embargo, su implementación no ha resultado una tarea sencilla.

Y es que existen diferentes factores que no han permitido consolidar la inversión en México, como la cultura colectiva que cambia lentamente su forma de pensar y de hacer las cosas, las carencias en conectividad, la falta de programas educativos que adopten estos conceptos y la escasa capacidad para almacenar, administrar, analizar y asegurar las grandes cantidades de información generadas desde los dispositivos interconectados.

Le siguen el bajo poder adquisitivo de la población mexicana, la escasa adopción de desarrollos tecnológicos en los hogares e incluso la falta de personal capacitado para identificar nuevos patrones de seguridad en IoT, así como generar una alta cultura de seguridad de la información en los propios usuarios.

Se considera que en nuestro país apenas un 30 % de las compañías han comprendido las grandes ventajas que aporta el IoT, pues para ellas es claro que la adopción de una tecnología que les permita generar nuevos modelos de negocio, obtener información en tiempo real de sistemas de misión crítica, diversificar las fuentes de ingresos, tener visibilidad global y mantener operaciones eficientes e inteligentes, es fundamental para evolucionar [6].

Es evidente que la demanda de la industria por las nuevas tecnologías va cada día en aumento, sin embargo, en México existe un gran desequilibrio entre las necesidades de la industria 4.0 y los programas educativos que incluyen tópicos como es el IoT. El presente trabajo busca contribuir en conjunto a las acciones que académica y comercialmente se están desarrollando para reducir esa brecha, mediante el desarrollo de una plataforma de hardware embebido *Low Code* que permita comprender, integrar y desarrollar proyectos de IoT de una manera, modular, inalámbrica y en el menor tiempo posible, haciendo uso de las plataformas más actuales en el mercado.

1.2. Objetivo

Diseñar y construir un kit de módulos Wi-Fi, que faciliten la integración de proyectos enfocados al Internet de las Cosas a través de dispositivos interconectados de manera inalámbrica.

1.3. Objetivos Específicos

- Desarrollar 4 módulos Wi-Fi, cada uno con un sensor integrado.
- Desarrollar 4 módulos Wi-Fi, con elementos de salida tipo actuador.
- Diseñar el PCB para cada módulo basado en el SoC ESP32
- Integrar una etapa de carga de 5 V y regulación de voltaje a 3.3 V, para alimentar los módulos mediante baterías recargables.
- Proporcionar un manual detallado en formato PDF al usuario con las especificaciones técnicas para el correcto uso de estos dispositivos.
- Integrar a partir de estos módulos una plataforma de hardware *Low Code* que permita desarrollar pruebas de concepto, prácticas de laboratorio y proyectos de IoT de manera modular.

1.4. Justificación

En un concepto más técnico, el IoT es un medio en el cual la información leída por sensores electrónicos usados en hogares, oficinas, industrias, laboratorios, teléfonos móviles, automóviles, infraestructura de ciudades y centros de datos, se transmite a un dispositivo central de monitorización, el dispositivo central está ubicado en la internet, permitiendo la conexión digital de objetos de uso cotidiano a la misma, esto es, conectar el mundo físico con el digital por medio de computadoras y plataformas web en la nube que almacenan y procesan la información transmitida por sensores [7].

Hasta el año 2020 había más de 21 mil millones de dispositivos conectados a nivel global, incluidos teléfonos inteligentes y computadoras [8], según datos de CISCO, se espera que este número aumente dramáticamente, con estimaciones que van desde 25 mil millones a 50 mil millones de dispositivos en 2025 [9].

En todo el mundo, organizaciones e industrias enteras se han visto obligadas a reagruparse y reevaluar cómo hacen negocios. Los líderes de infraestructura y operaciones (I&O) han tenido que cambiar los planes rápidamente para adaptarse a las fuerzas de trabajo remotas, las presiones de costos, y mantener los sistemas centrales operativos y resistentes.

A medida que las empresas se mueven más rápido hacia nuevos territorios, los líderes de tecnología enfrentan un mandato y una oportunidad críticos: adaptar e innovar la I&O para brindar una ventaja competitiva [10].

La adopción de sistemas basados en IoT tiene el potencial de alterar la economía de muchas industrias. Las empresas tendrán que decidir cuándo y cómo invertir en IoT, y para esto es necesario desarrollar el conocimiento suficiente para hacer inversiones inteligentes.

Sin embargo, en México, las ofertas comerciales de IoT se enfocan principalmente a los sectores de servicios y de producción de bienes, con énfasis en los servicios asociados con la Industria Manufacturera y de Transporte [5].

Por lo que poco se habla de la aplicación de IoT en las instituciones educativas y sus estudiantes, parte de la problemática radica en el crecimiento tan acelerado de las tecnologías de información, que tanto empresas como universidades carecen de un panorama completo de las diferentes aplicaciones que han sido desarrolladas para el IoT [11].

En el desarrollo educativo de un país, las universidades tienen un rol importante en impulsar la iniciativa y aprovechar el ingenio e inteligencia de sus estudiantes en un nuevo mundo lleno de múltiples posibilidades producto del IoT.

En 2009, 10 años después de utilizar por primera vez el término “Internet de las Cosas”, Kevin Ashton encabeza un artículo para el RFID Journal con una frase contundente: “*In the real world, things matter more than ideas*”, enfatizando un mensaje importante; la economía, nuestra sociedad y la supervivencia, no solo está basada en ideas o información, está basada en cosas [1].

Si bien hoy en día, las ideas y los datos son importantes, en términos de IoT, se requiere materializar estos pensamientos y crear los medios necesarios en hardware, para poder adquirir la información que permita entender mejor el entorno que nos rodea, tanto para los usuarios, algoritmos y máquinas.

El panorama actual en México muestra la necesidad de dirigirse hacia un modelo educativo enfocado en la revolución de la industria 4.0. Esta situación invita a participar en el desarrollo de nuevos paradigmas en la educación. Las universidades desempeñan un papel importante en esta transición, puesto que debe ser prioridad disponer de profesionales con competencias pedagógicas de la tecnología y la innovación en un mundo globalmente interconectado [12].

Si el proceso educativo no se adapta al ritmo del crecimiento continuo de la industria, existe el riesgo de propiciar una ruptura en la relación industria-academia, generando un conflicto y cuestionamiento respecto a la postura que toman las universidades en la formación dentro de una sociedad de conocimiento [13].

En respuesta ante esta situación, las instituciones como gobiernos han planteado la Educación 4.0 la cual tiene un enfoque en la utilización de tecnologías, como aulas y laboratorios virtuales, inteligencia artificial, laboratorios *maker*, así como recursos electrónicos para optimizar el aprendizaje, propiciando de este modo, soluciones innovadoras a problemas reales y complejos [14].

No obstante, con el confinamiento por la pandemia COVID-19, las instituciones se vieron obligadas a adaptar sus modelos educativos haciendo uso de las tecnologías de la información, esta situación deja en claro dos cosas, los sistemas educativos, profesores y alumnos han demostrado que tienen la capacidad de adoptar y adaptarse a las tecnologías modernas, pero, por otro lado, es importante reforzar el aprendizaje no solo en un entorno virtual sino también práctico.

De este modo, el aprendizaje basado en prácticas combinado con plataformas de hardware y software brindan la oportunidad al alumno de desarrollar habilidades y conocimientos haciendo uso de la tecnología moderna.

1.5. Estado del arte

Si la idea de conectar objetos entre sí y a internet no es nuevo, es razonable preguntar por qué el IoT es un tema que hoy en día está ganando popularidad.

El IoT tiene el potencial de cambiar fundamentalmente la forma en que interactuamos con nuestros alrededores. La capacidad de monitorear electrónicamente y administrar digitalmente objetos del mundo físico hace posible llevar la toma de decisiones basada en datos a nuevos ámbitos de la actividad humana, a optimizar el rendimiento de los sistemas y procesos, ahorrar tiempo para las personas y las empresas, así como mejorar la calidad de vida [15].

Desde una perspectiva amplia, la idea de interconectar dispositivos cada vez más pequeños de forma económica y rápida, ha tomado valor y sus esfuerzos pueden verse materializados gracias al aporte y confluencia de diferentes tendencias tecnológicas y de mercado [16]; Por mencionar algunas:

- **Conectividad ubicua**
La conectividad generalizada, de bajo costo y alta velocidad, sobre todo a través de servicios y tecnología inalámbricos con y sin licencia, hace que casi todo sea “conectable” [17].
- **Adopción generalizada de redes basadas en el protocolo IP**
El protocolo IP se ha convertido en el estándar dominante para la creación de redes y ofrece una plataforma bien definida y ampliamente implementada en software y herramientas que se pueden incorporar en una variedad de dispositivos de forma fácil y económica.
- **La industria del cómputo**
Impulsada por las inversiones de la industria en las áreas de investigación, desarrollo y fabricación, la Ley de Moore [18] continúa ofreciendo mayor potencia de cálculo a precios más bajos y con menor consumo de energía [19].
- **Miniaturización**
Los avances logrados en los procesos de fabricación permiten incorporar tecnología de cómputo y comunicaciones en dispositivos más compactos. Así mismo, esto ha impulsado el desarrollo de sensores pequeños y de bajo costo que a su vez impulsan muchas aplicaciones de IoT.
- **Avances en el análisis de datos**
El desarrollo de nuevos algoritmos, el almacenamiento y los servicios en la nube permiten agregar, correlacionar y analizar grandes cantidades de datos. Estos *DataSets* grandes y dinámicos ofrecen nuevas oportunidades para extraer información, detectar patrones, identificar perfiles y generar conocimiento.
- **Surgimiento de la computación en la nube**
La computación en la nube aprovecha recursos informáticos remotos conectados en red para procesar, gestionar y almacenar datos. Este paradigma permite que dispositivos pequeños y distribuidos interactúen con potentes sistemas de soporte que brindan capacidades analíticas y de control.

Hoy en día, prácticamente en todos los sectores se pueden encontrar ejemplos de aplicaciones de IoT, y en el aspecto educativo no es la excepción. Algunas universidades han adoptado e implantado aplicaciones que impactan en diferentes aspectos de sus entornos [20]. En lo que se refiere a educación superior [21], algunas de las aplicaciones son:

- Campus seguro y control de acceso al salón de clases
Mediante el uso de sensores es posible administrar, de manera más eficiente y segura, los accesos a espacios como salones de clases y laboratorios.
- Mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje
La implementación de libros electrónicos, tabletas, sensores, dispositivos de realidad virtual y aumentada, pueden ser utilizados como herramientas para el monitoreo en aspectos como la comprensión de patrones de aprendizaje de sus estudiantes.

Si bien, las aplicaciones relacionadas con el área educativa no son precisamente las más avanzadas, cada día son más las instituciones y grupos de investigación que trabajan en el desarrollo de soluciones para la administración de energía, el monitoreo de la infraestructura, la seguridad de las instalaciones y de los estudiantes, así como la mejora en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Dentro de las obligaciones principales de los docentes universitarios está el desarrollo de competencias con sus alumnos, que los preparen para los retos profesionales (tanto presentes como futuros) que deberán afrontar una vez egresados. Por lo que uno de los campos de mayor evolución, tanto a corto como a medio plazo, es el llamado IoT como apoyo a la docencia [22].

Como resultado de lo anterior surge el paradigma aprendizaje inteligente, cuyo propósito es fomentar que la fuerza laboral domine el conocimiento y las habilidades del siglo XXI para satisfacer las necesidades y desafíos de la sociedad. En este sentido, la tecnología inteligente juega un papel importante en la construcción de ambientes educativos inteligentes, en los que el aprendizaje sucede en cualquier lugar y momento [23].

La implementación de un sistema IoT educativo presenta todo un reto, combinado con los costos de diversos dispositivos, conectividad de red y creación de una plataforma para soportarlo; sin embargo, destaca también la necesidad de formar a sus profesores y personal en el uso de dicho sistema [24].

Teniendo en cuenta estas premisas, y dado que el docente tiene como responsabilidad principal la de formar a los estudiantes en aquellas competencias profesionales que requiere el mundo moderno, se hace imprescindible el desarrollo de competencias básicas, en la tecnología de IoT; Así mismo, explorar nuevos métodos y técnicas incorporando el aprendizaje inteligente, es fundamental para poder potenciar los métodos de enseñanza con el fin poder atender las competencias que demanda la industria.

La educación STEM por sus siglas (Science Technology Engineering and Mathematics) es la integración intencional de la ciencia, la tecnología, la ingeniería, las matemáticas y sus prácticas asociadas, con el fin de crear un entorno de aprendizaje centrado en el que los estudiantes investigan y diseñan soluciones a los problemas, así mismo desarrollan la capacidad de construir explicaciones basadas en la evidencia de los fenómenos del mundo real con un enfoque en las necesidades sociales, emocionales, físicas y académicas, a través de contribuciones compartidas de escuelas, familias y socios comunitarios [25].

Las aulas STEM generalmente se enfocan en el aprendizaje basado en proyectos. Los proyectos y actividades que se llevan a cabo generalmente involucran tecnología moderna para acentuar las aplicaciones prácticas de la ciencia en un futuro próximo. Los estudiantes pueden aplicar los diversos dominios de STEM en un contexto que les ayuda a identificar una conexión entre el aula o laboratorio y el mundo que los rodea [26].

No obstante, implementar un modelo STEM requiere de una gran participación e inversión, para contar con profesionales certificados y laboratorios que permitan diseñar y aplicar estrategias en donde los alumnos puedan desarrollarse dentro de este entorno. Esto no debería ser un motivo para descartar su implementación en las instituciones, pero las acciones que conlleva lograr esa transición implican una cantidad significativa de tiempo, por lo que explorar otras opciones, tomando como referencia la filosofía STEM resulta una alternativa viable y paralela a la consolidación de estos modelos.

Uno de los grandes retos de la educación del siglo XXI es que los alumnos pasen de ser usuarios, a propagadores y productores de nuevas soluciones tecnológicas.

Una de las organizaciones que tiene claro este mensaje es BBC con el producto micro:bit, lanzada en 2015, BBC micro:bit Fig.1.1 es una pequeña tarjeta que surge de un programa de alfabetización informática en Reino Unido diseñada para alentar a los niños a involucrarse activamente en la escritura de software para computadoras y en la construcción de nuevos proyectos [27].



Figura 1.1. Tarjeta de desarrollo micro:bit V2.

Con una aceptación del 90 % de los estudiantes, micro:bit demostró que se puede aprender mediante la práctica y el uso de hardware embebido [28].

Actualmente, en el mercado mundial, una de las empresas líderes en el desarrollo de hardware embebido para la integración de proyectos es Mikroe, su objetivo es ayudar a desarrolladores a integrar soluciones tecnológicas, mediante la implementación de Click Boards™ y tarjetas de desarrollo.

El Click Board™ Fig. 1.2 es una solución integrada en un módulo que mantiene el mismo patrón de conexión para diferentes variantes, están diseñados para cambiar la forma en que los usuarios agregan nuevas funcionalidades a las tarjetas de desarrollo. El usuario puede insertar un Click Board™ en el estándar mikroBUS™ y utilizarlo sin realizar adaptaciones [29].



Figura 1.2. Click Board™ con sensor DHT22.

Las tarjetas de desarrollo que ofrece Mikroe Fig. 1.3 son de gran utilidad para prototipado, ya que están basadas en PIC, AVR o ARM, la creación rápida de prototipos permite al desarrollador tomar la forma más eficiente de integrar diseños, funciones y limitaciones de un proyecto [30].

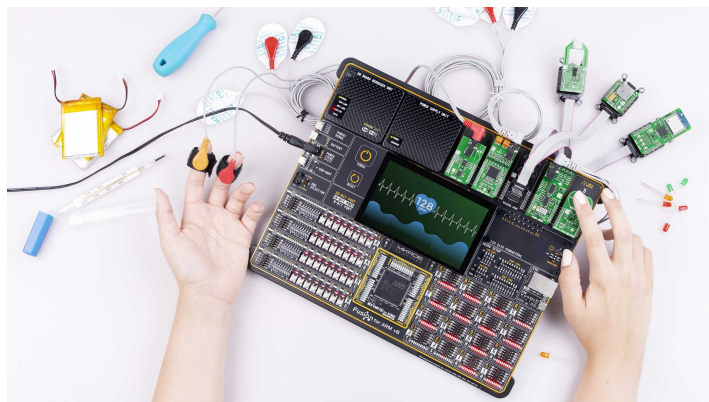


Figura 1.3. Tarjeta de desarrollo Fusion v8.

Microside Technology es otra de las empresas que ha sumado esfuerzos en Latinoamérica para ofrecer Hardware como Servicio (HaaS por sus siglas en inglés), el proyecto XIDE consiste en kit de hardware integrado por módulos llamados X-NODE y tarjetas de expansión X-BOARD, diseñados para incorporar prototipos para proyectos de IoT [31].

El X-NODE Fig. 1.4 es un módulo integrado por un sensor, actuador o módulo de comunicación y un controlador en hardware, cuenta con el estándar mikroBUS™, así como conectores JST compatibles con el estándar de conexión Qwiic® de SparkFun®.

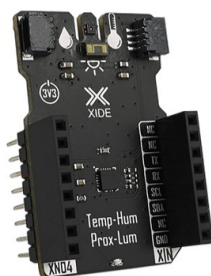


Figura 1.4. X-NODE Temp-Hum / Prox-Lum.

Las X-BOARD Fig. 1.5 son tarjetas de expansión para la evaluación rápida y sencilla de proyectos orientados al IoT, cuentan con el estándar mikroBUS™, lo cual las hace compatibles con módulos X-NODE y Click Boards™, también integran conectores JST y un socket para conectar tarjetas de desarrollo como arduino, raspberry pi entre otras.

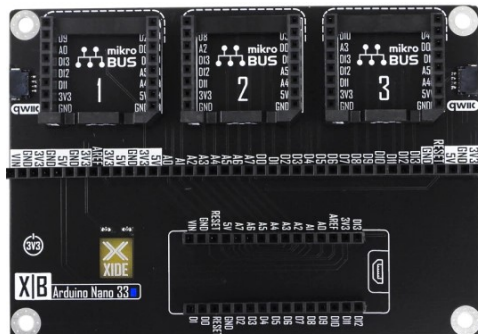


Figura 1.5. X-BOARD Arduino Nano 33.

Estos proyectos demuestran la importancia de la creación de plataformas, ya que son un componente esencial para la comercialización de soluciones IoT, en la que participan muchos actores a lo largo de la cadena de valor, permitiendo la interacción de mercados laterales, desde los proveedores de dispositivos, operadores de telecomunicaciones, desarrolladores de software y hardware, entre otros [32].

Desafortunadamente en México el desarrollo de hardware embebido es un tema que requiere atención, ya que de acuerdo a datos del IFT el 82% de las empresas que ofrecen servicios de IoT se identifican como micro, pequeña y mediana empresa; de las cuales solo un 4% ofrece servicios de desarrollo de hardware, lo que en consecuencia limita la posibilidad de poner al alcance de los estudiantes del país las herramientas necesarias para poder complementar su aprendizaje en los temas de IoT [4].

Analizando este panorama, existe la oportunidad de contribuir en el desarrollo de hardware embebido con el objetivo de reforzar el aprendizaje en temas como el IoT dentro de las instituciones educativas, el presente trabajo contribuye con el desarrollo de una plataforma de hardware embebido, modular, *Low Code*, portátil y con comunicación inalámbrica, para ser utilizada como un medio que en conjunto con las técnicas de enseñanza-aprendizaje inteligente y el *Design Thinking* permita transformar el IoT del concepto a la práctica, incentivando así a los alumnos a despertar el interés por esta tecnología, con el fin de que sean capaces de integrar y desarrollar proyectos de una forma rápida e interactiva con hardware que se adapta a las necesidades de su proceso formativo.

1.6. Descripción

El propósito de la creación de estos dispositivos es facilitar una plataforma que permita el aprendizaje, el prototipado rápido y la integración de proyectos relacionados con el IoT, de modo que sea fácil para los usuarios, adaptar estos módulos a una red de dispositivos interconectados que permitan la interoperabilidad y compatibilidad con múltiples plataformas de desarrollo comerciales, para poder así monitorear variables, automatizar dispositivos, probar protocolos de comunicación, recolectar datos para un posterior análisis, experimentar con tableros y servicios en la nube, entre otros proyectos, sin la necesidad de ser un experto en hardware o software.

El kit se integra con un total de 8 módulos con conexión a Wi-Fi basados en el SoC ESP32, de estos 8 dispositivos se realizará el diseño y fabricación de 4 módulos enfocados al monitoreo de variables, los sensores a utilizar son:

- Sensor de humedad y temperatura
- Sensor de intensidad de luz
- Sensor de gas LP
- Sensor de humedad del suelo

Así también, se realizará el diseño y fabricación de 4 dispositivos con señal de salida para dispositivos como:

- Relevador
- Puente H para motores DC
- Alarma sonora
- Iluminación RGB

Es importante mencionar que la selección tanto de los sensores como de los actuadores se realizó tomando en consideración los elementos que más se utilizan en los kits para el desarrollo de proyectos; sin embargo, esto no compromete la flexibilidad de la plataforma, ya que se pueden integrar otro tipo de dispositivos para fines más específicos.

Cada uno de estos módulos dispondrán de una etapa de regulación de voltaje para ser alimentado con una batería recargable mediante un puerto micro usb, así como el acondicionamiento de la señal según lo requiera el módulo.

1.7. Diagrama de bloques

1.7.1. Módulo Wi-Fi con sensor integrado

El módulo Wi-Fi con sensor integrado Fig. 1.6 monitorea el entorno en el que se encuentra instalado, para esto cada vez que existe un cambio en la variable para la que fue diseñado, el sensor manda una señal eléctrica, esta a su vez pasa por una etapa de acondicionamiento según sea el caso, para poder ser leída adecuadamente por los pines de entrada del SoC ESP32, una vez recibida la señal, se programan las acciones a realizar mediante el firmware, posteriormente esta información se envía a través de Wi-Fi mediante un *gateway* hacia una plataforma IoT, donde se realizará la recepción y almacenamiento de los datos para finalmente ser presentados al usuario con la ayuda de un panel o dashboard, el cual se podrá visualizar en tiempo real desde cualquier dispositivo inteligente con conexión a internet. Adicionalmente, este dispositivo dispone de una fuente de alimentación administrada por una batería, por consiguiente, se incluye un módulo de carga USB, así como una etapa de regulación de voltaje para suministrar la demanda energética del SoC ESP32, así como del sensor.

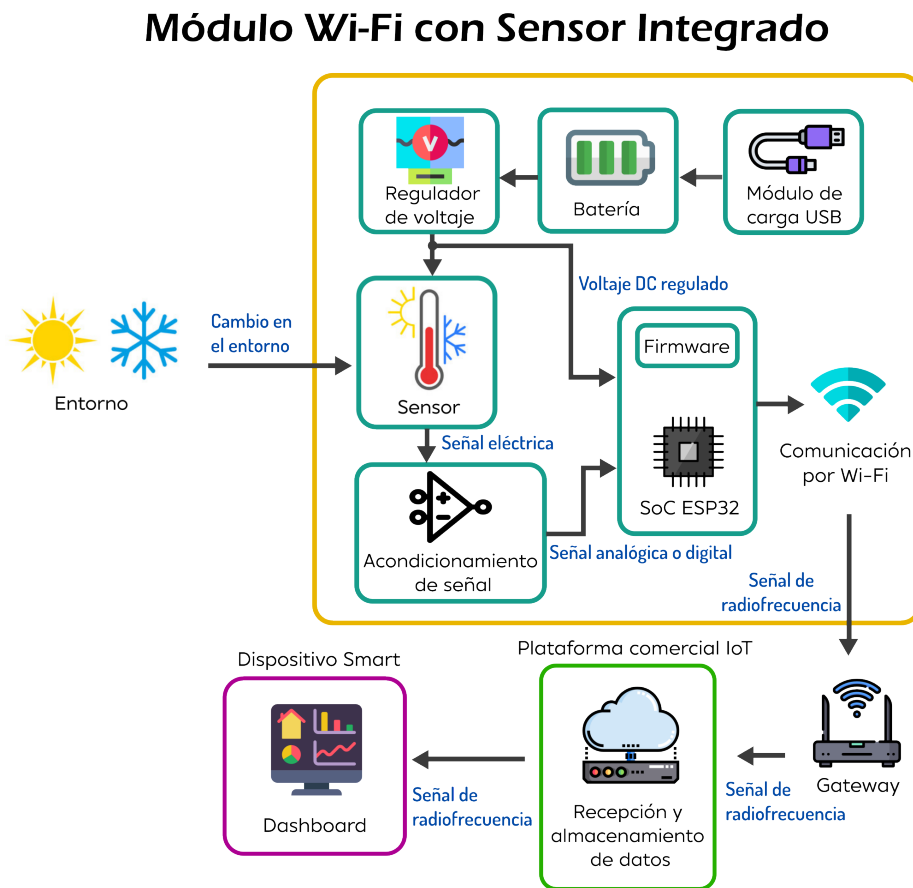


Figura 1.6. Diagrama de bloques del módulo Wi-Fi con sensor integrado.

1.7.2. Módulo Wi-Fi de salida

El módulo Wi-Fi de salida Fig. 1.7 es el encargado de tomar acción según sean las necesidades del usuario o en función de los datos recibidos en la plataforma de IoT de los módulos Wi-Fi con sensor integrado. De este modo la información es enviada por Wi-Fi con ayuda del *gateway* hacia el SoC ESP32, una vez recibidos los datos, estos se procesan y se envían las señales correspondientes mediante los pines de salida del SoC, sin embargo, este dispositivo trabaja con voltajes de hasta 3.3 V por lo que resulta necesario amplificar la señal para poder accionar los actuadores o periféricos que comúnmente operan con voltajes de 5 V. Así también, al igual que los módulos Wi-Fi con sensor, también se dispone de una fuente de alimentación administrada por una batería, el módulo de carga USB y el regulador de voltaje.

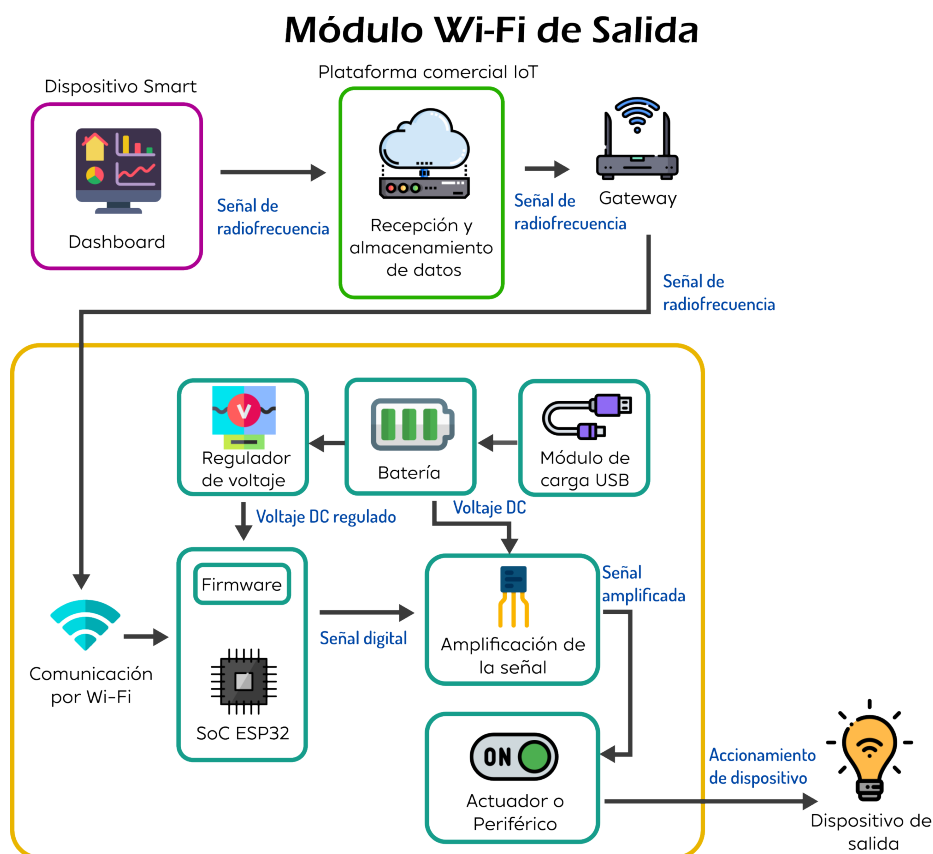


Figura 1.7. Diagrama de bloques del módulo Wi-Fi de salida.

A diferencia de lo existente en el mercado, este trabajo propone el desarrollo de módulos con sensores, actuadores o periféricos integrados, sin la necesidad de requerir una tarjeta de desarrollo, ya que se implementará el SoC ESP32 en el propio módulo para poder procesar la información y al mismo tiempo tener la capacidad de enviar o recibir datos mediante la red Wi-Fi, adicionalmente, el módulo será capaz de operar con baterías, lo que favorece la implementación de estos dispositivos en distintas zonas de interés sin la necesidad de tener todos los módulos concentrados en un solo lugar o caja de proyectos, favoreciendo de este modo la creación de redes inalámbricas de sensores y actuadores.

CAPÍTULO II

En este capítulo se presenta el marco teórico, en el que se detalla el modo de comunicación, el hardware necesario para la construcción de los módulos Wi-Fi tanto de salida como los módulos con sensor integrado, así como el software para desarrollar código.

2.1. Wireless Sensor Network

Hoy en día los hogares inteligentes, el servicio de transporte, así como la industria 4.0, cuentan con una infraestructura de sistemas que conectan cada vez más con el entorno que nos rodea.

La visión común de tales sistemas suele asociarse a un solo concepto, IoT, donde a través del uso de sensores, toda la infraestructura física es altamente relacionada con las tecnologías de la información y comunicación, donde el monitoreo inteligente y la gestión se puede lograr mediante el uso de redes y dispositivos integrados.

De una manera tan sofisticada, estos sistemas dinámicos de dispositivos están interconectados con el fin de transmitir información útil de medición, control e instrucciones a través de redes de sensores distribuidos.

Una red de sensores inalámbricos (WSN) por sus siglas en inglés, es una red formada por un gran número de nodos sensores donde cada nodo está equipado con un sensor para detectar fenómenos físicos como la luz, el calor, la presión, etc. Las *Wireless Sensor Networks* (WSNs) son consideradas como un revolucionario método de recopilación de información para construir un sistema de información y comunicación que mejorará en gran medida la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas de infraestructura [33].

Comparado con una solución cableada, las WSN cuentan con una implementación más sencilla y mejor flexibilidad de los dispositivos, con el rápido desarrollo tecnológico de sensores, las WSN se han convertido en la tecnología clave para la implementación del IoT.

Una WSN puede ser descrita como una red de nodos que detectan cooperativamente variables del medio ambiente, permitiendo la interacción entre personas o computadoras y el entorno [34].

Como se muestra en la Fig. 2.1 la arquitectura de este tipo de redes está conformada por una región de sensores en donde cada nodo sensor recolecta información, la comunicación dentro de esta región puede variar según la topología, como puede ser *star*, *tree*, *mesh* o *point-to-point*, posteriormente la información es transmitida a un *gateway* que mediante la conexión a internet permite al usuario acceder a la información [35].

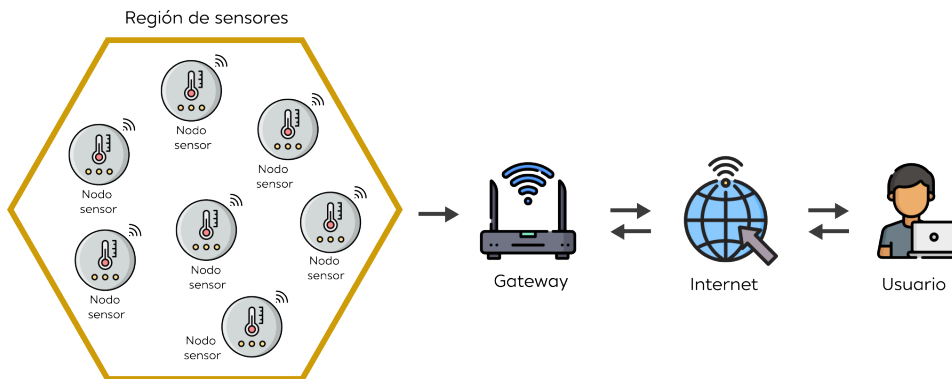


Figura 2.1. Arquitectura de una Wireless Sensor Network.

Con la implementación del IoT y las WSN, existe la necesidad no solo de monitorear las variables del entorno, sino también de ser capaces de tomar decisiones, para lograr esto se requiere de la implementación de nodos actuadores, los cuales tengan la posibilidad de habilitar sistemas incluso de manera automática, en este punto ya no solo se habla de una red de sensores, sino también de una red de actuadores que trabajan en conjunto dentro de un mismo espacio.

2.2. Wireless Sensor and Actor Network

Las redes inalámbricas de sensores y actuadores, por sus siglas en inglés (WSAN), se refieren a un grupo de sensores y actuadores conectados por un medio inalámbrico para realizar tareas distribuidas de detección y actuación.

En las WSAN, los sensores recopilan información sobre el mundo físico, mientras que los actuadores toman decisiones y luego realizan acciones apropiadas sobre el entorno, lo que permite al usuario monitorear y actuar de manera efectiva a distancia [36].

La creación WSAN debe satisfacer los requisitos introducidos por la coexistencia de sensores y actuadores.

Los dispositivos IoT en su gran mayoría son dispositivos de pocos recursos, lo que influye en limitaciones para el procesamiento de datos, almacenamiento y uso energético, por lo que para poder escoger adecuadamente los diferentes protocolos que se utiliza en IoT se debe tener en cuenta ciertos aspectos como que sea escalable, fiable o que tenga mecanismos de protección para entornos en los que el canal de comunicación no sea el más óptimo, además de que con base en la aplicación que se utilice, sea posible minimizar el tamaño del paquete del mensaje con su cabecera para tener menor consumo de ancho de banda y menores tiempos de transmisión.

2.3. Modelo de comunicación Publicador / Suscriptor

Está basado en la comunicación máquina a máquina donde se tiene un cliente (publicador) que envía un mensaje a uno o a varios clientes (suscriptores), dando una alternativa al modelo cliente / servidor. Esta comunicación se realiza sin que los clientes tengan conocimiento el uno del otro, ya que se tiene un nodo central que gestiona toda la comunicación y redirige los mensajes a los suscriptores correspondientes, todos los clientes (publicadores y suscriptores) solo conocen al *broker*.

El hecho de que los clientes que publican y reciben los mensajes no tengan conocimiento unos de otros, dota a los sistemas publicador / suscriptor de:

- Desacoplamiento en el tiempo, por lo que no tienen que ejecutarse a la vez.
- Desacoplamiento de sincronismo, por lo que los clientes no tienen que detener las operaciones que estén realizando.

Por estos motivos, el modelo de comunicación publicador / suscriptor se adapta en gran medida a los requerimientos que suelen presentar los sistemas de IoT, por ello muchos de los protocolos IoT se basan en este modelo [37].

2.4. Protocolo MQTT

Existen varios protocolos que permiten transmitir mensajes entre los dispositivos IoT en tiempos cortos; Algunos de los protocolos de mensajería más utilizados en este tipo de comunicaciones son *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT), *Constrained Application Protocol* (CoAP), *Advanced Message Queuing Protocol* (AMQP) y *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) [38], algunos exigen mayor cantidad de recursos que otros o utilizan mayor ancho de banda que otros.

Para escoger un protocolo de mensajería adecuado para los sistemas de IoT, es recomendable tener claro el objetivo del sistema IoT y sus requerimientos al momento de enviar mensajes o datos.

Generalmente, los mensajes que se transmiten en este tipo de comunicaciones son muy pequeños, con peso de pocos bytes y dependiendo del caso son esporádicos, esto produce que el ancho de banda utilizado durante la comunicación sea mínimo.

Uno de los protocolos de comunicación más utilizados por dispositivos IoT es MQTT, por su sencillez, ligereza, bajo consumo de energía, robustez y fiabilidad.

▪ Definición de MQTT

MQTT son las siglas *MQ Telemetry Transport*, aunque en primer lugar fue conocido como *Message Queuing Telemetry Transport*. Es un protocolo de comunicación M2M (*machine-to-machine*).

Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se “reutiliza” en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión.

MQTT fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera.

Aunque inicialmente era un formato propietario, en 2010 fue liberado y pasó a ser un estándar en 2014, según la *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* (OASIS) [39].

■ Funcionamiento del protocolo MQTT

El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería *push* con patrón publicador/suscriptor (pub-sub). En este tipo de infraestructuras los clientes se conectan con un servidor central denominado *broker*.

El *broker* es el servidor encargado de direccionar todos los mensajes dentro de la red y enviarlos a los clientes que los requieran, motivo por el cual los clientes no se conocen entre ellos, ya que únicamente tienen comunicación con el *broker*.

Durante la fase de comunicación, el cliente puede suscribirse a diferentes *topics*, realizar publicaciones, ping y cancelar la suscripción de alguno o de todos los *topics*. En la publicación se envía un bloque binario de datos, a todos los clientes suscritos al *topic* definido por el publicador.

En la comunicación se utilizan *topics* (temas) de manera que los clientes que requieran información de algún nodo o sensor deben suscribirse al *topic* del mismo para que cuando el nodo publicador envíe datos al *broker*, este los reenvíe a todos los clientes que estén suscritos a ese *topic* [40].

Dicho lo anterior, para que 2 o más clientes puedan tener interacción entre ellos deben estar suscritos al mismo *topic*. La comunicación es bidireccional, es decir, que los clientes pueden ser suscriptores y publicadores al mismo tiempo. De igual manera, la comunicación se puede realizar de un cliente a otro, o de un cliente a muchos.

Los puertos estándar son el 1883 para la comunicación no cifrada y el 8883 para la comunicación cifrada mediante SSL/TLS. Durante el *handshake* SSL/TLS, el cliente valida el certificado para autenticar el servidor. MQTT tiene la capacidad de establecer comunicaciones cifradas, lo que aporta una capa extra de seguridad [41].

■ Calidad de Servicio MQTT (QoS)

MQTT utiliza niveles de Calidad de Servicio (QoS) para compensar que las redes de comunicación sean poco fiables. El QoS es un acuerdo entre el publicador y el suscriptor para garantizar el envío de mensajes específicos, ya que es el que garantiza la entrega del mensaje. MQTT soporta 3 niveles de QoS:

1. Al menos una vez (QoS 0)

En este nivel el mensaje se envía una vez, pero no se confirma si hay recepción por parte del *broker* o del suscriptor, esto depende del entorno de comunicación, lo que puede generar pérdidas de mensajes, ya que no se tiene retransmisiones.

2. Como máximo una vez (QoS 1)

En este nivel el mensaje se envía hasta que se confirme que hay recepción por parte del *broker* o del suscriptor, el mensaje se reenvía cada determinado tiempo hasta asegurar la recepción de por lo menos 1 mensaje, en este caso se puede dar la posibilidad de que se tenga mensajes duplicados.

3. Exactamente una vez (QoS 2)

En este nivel el mensaje se envía hasta que se confirme que haya un único mensaje recibido por parte del *broker* o del suscriptor, ya que no se desean mensajes duplicados, se debe tener en cuenta que esto genera una sobrecarga en la comunicación.

La latencia es proporcional al QoS, es decir que a mayor QoS se tiene mayor latencia y menor rendimiento de la red, por lo que para escoger el QoS más apropiado para cada aplicación se debe verificar si es imprescindible o no que se tenga pérdidas de mensajes, ya que de no ser así se recomienda escoger el QoS bajo para tener menor latencia.

■ Ventajas de MQTT

El uso del protocolo MQTT tiene varias ventajas como:

- ✓ Es asíncrono, tiene escalabilidad, los clientes no se encuentran acoplados entre ellos.
- ✓ Usa QoS, lo que ayuda en los momentos en los que la conexión a internet no es muy confiable.
- ✓ Es un protocolo ligero, su comunicación es por medio de mensajes cortos, por lo que tiene bajo consumo de ancho de banda.
- ✓ No requiere de muchos recursos para su ejecución, por lo que tiene bajo consumo de energía
- ✓ Tiene cifrado de datos en la comunicación y protección con usuario y contraseña.

2.5. Plataforma IoT

La combinación del IoT con la computación en la nube permite el almacenamiento, procesamiento y acceso de los datos, así como su monitorización y análisis para ofrecer servicios a todo tipo de aplicaciones y consiguiendo minimizar los problemas de memoria y espacio que se presentan al manejar tal cantidad de información. Debido a la demanda de estos servicios, cada vez surgen en el mercado más plataformas destinadas a servicios de IoT, las cuales integran diferentes soluciones en la nube y tecnologías propias o incluso de código abierto (plataformas *open source*) [42].

Para efectos de prueba en el desarrollo de este trabajo, se ha optado por utilizar la plataforma Adafruit IO, principalmente por las prestaciones en su versión gratuita, así como los costos accesibles en su versión de pago, haciendo la comparación con servicios como Ubidots o Blynk IoT.

Sin embargo, es importante mencionar que el uso de esta plataforma no limita la compatibilidad del hardware con otros servicios que compartan el protocolo de comunicación MQTT.

Adafruit IO es un servicio en la nube que permite monitorizar datos en tiempo real y realizar paneles de control online también conocidos como *dashboards*, todo comunicado con el sencillo y eficaz protocolo MQTT [43].

Para el uso de esta plataforma existen dos elementos importantes que se describen a continuación:

■ Feeds

Los *feeds* son el núcleo de Adafruit IO, contienen tanto los datos que son cargados, así como los metadatos sobre los datos que los sensores envían a Adafruit IO. Por ejemplo,

la fecha y la hora en que se cargó información, o bien, las coordenadas GPS de donde provienen los datos.

Para el uso de estos es necesario crear un *feed* para cada fuente única que envíe o reciba datos a la plataforma. Por ejemplo, si se tiene un proyecto con un sensor de temperatura y dos sensores de humedad, se deben crear tres *feeds*, un *feed* para el sensor de temperatura y un *feed* para cada sensor de humedad.

■ Dashboards

Los *dashboards* Fig. 2.2, son una característica integrada en Adafruit IO que permiten trazar, graficar, medir, registrar y visualizar los datos. Es posible ver los dashboards desde cualquier parte del mundo desde cualquier navegador web moderno.

Para mostrar los datos dentro del *dashboard*, existen herramientas como *widjets* gráficos, controles deslizantes y botones, esto con la finalidad de facilitar al usuario la interacción entre la plataforma y los datos que se envían o reciben, de modo que sea posible montar un panel para aplicaciones de IoT sin la necesidad de tener que diseñar o codificar una interfaz o gráfico desde cero.

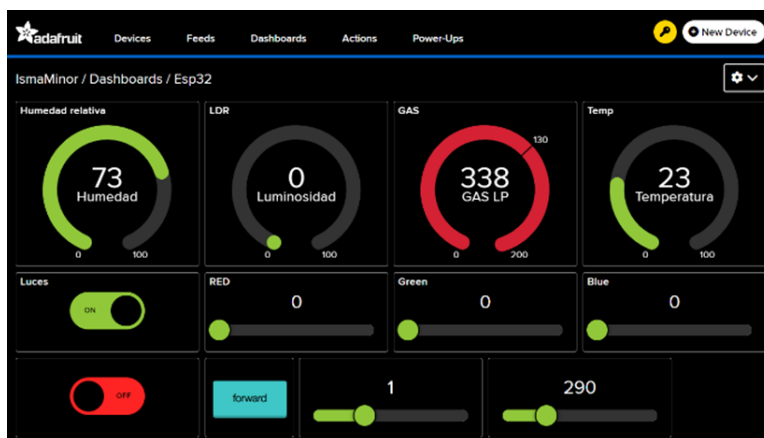


Figura 2.2. Ejemplo de dashboard creado en Adafruit IO.

2.6. Estructura de los nodos para una WSN

Los nodos sensores y actuadores son los elementos fundamentales para conformar una WSN.

El hardware de un nodo sensor Fig. 2.3, generalmente incluye cuatro partes: una fuente de energía con su respectivo módulo gestor, un sensor, un microcontrolador y un transceptor inalámbrico [33].

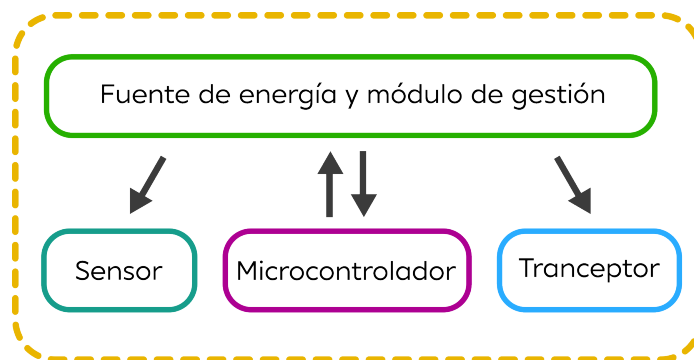


Figura 2.3. Estructura del hardware de un nodo sensor para una WSN.

El módulo de energía ofrece la alimentación necesaria para el sistema, el sensor se encarga de recoger y transformar las señales como la luz o la vibración, en señales eléctricas para luego transferirlas y poder ser procesadas, el microcontrolador recibe los datos del sensor y los procesa, finalmente el tranceptor inalámbrico (módulo RF) transfiere los datos.

Esta estructura es un caso similar a los nodos actuadores, con la diferencia de que los sensores son intercambiados por elementos que sean capaces de accionar dispositivos.

Con el avance del desarrollo tecnológico, hoy en día existen en el mercado dispositivos que permiten procesar datos y establecer comunicación mediante Wi-Fi o Bluetooth, todas estas funcionalidades se encuentran integradas en un solo chip, lo que permite desarrollar nodos cada vez más compactos y sobre todo compatibles con IoT, tal es el caso del SoC ESP32.

2.7. SoC ESP32

El *System on a Chip* (SoC) ESP32 es un microcontrolador potente para funciones con Wi-Fi integrado y conectividad Bluetooth para una amplia gama de aplicaciones.

El ESP32 tiene un diseño robusto capaz de funcionar de forma fiable en entornos industriales, con una temperatura de funcionamiento que oscila entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Alimentado por circuitos de calibración avanzados, el ESP32 puede eliminar dinámicamente las imperfecciones del circuito externo y adaptarse a los cambios en las condiciones externas.

El SoC Fig. 2.4, está altamente integrado, cuenta con antena, *RF balun*, amplificadores de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtros y módulos de administración de energía. El ESP32 agrega funcionalidad y versatilidad invaluable a aplicaciones con requisitos mínimos de placa de circuito impreso (PCB).

Está diseñado para dispositivos móviles, dispositivos electrónicos portátiles y aplicaciones IoT, el ESP32 logra un consumo de energía ultrabajo con una combinación de varios tipos de software propietario. El ESP32 también incluye características de última generación, como *fine-grained clock*, varios modos de potencia y escalado dinámico de potencia.

El ESP32 puede funcionar como un sistema independiente completo o como un dispositivo esclavo de un microcontrolador, lo que reduce la sobrecarga de la pila de comunicación en el procesador de la aplicación principal. El ESP32 puede interactuar con otros sistemas para proporcionar funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth a través de sus interfaces SPI/SDIO o I2C/UART [44].

El ESP32 emplea un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 en sus variantes de simple y doble núcleo, fue creado y desarrollado por Espressif Systems y es fabricado por TSMC utilizando su proceso de 40 nm. Es el sucesor del SoC, el ESP8266.

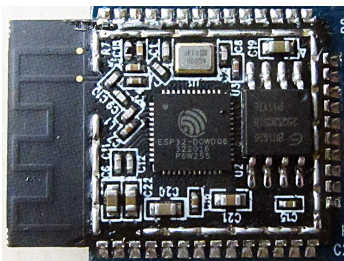


Figura 2.4. Espressif ESP-WROOM-32 Módulo Wi-Fi & Bluetooth.

Las características del ESP32 incluyen:

- Procesador:
 - CPU: microprocesador de 32-bit Xtensa LX6 de doble núcleo (o de un solo núcleo), operando a 160 o 240 MHz y rindiendo hasta 600 DMIPS.
 - Co-procesador de ultra baja energía (ULP).
- Memoria:
 - 520 KiB SRAM.
- Conectividad inalámbrica:
 - Wi-Fi: 802.11 b/g/n.
 - Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE.
- Interfaces periféricas:
 - 12-bit SAR ADC de hasta 18 canales.
 - $2 \times$ 8-bit DACs.
 - $10 \times$ sensores de tacto (sensores capacitivos GPIOs).
 - $4 \times$ SPI.
 - $2 \times$ interfaces I²S.
 - $2 \times$ interfaces I²C.
 - $3 \times$ UART.
 - Controlador host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC.
 - Controlador esclavo SDIO/SPI.
 - Interfaz Ethernet MAC con DMA dedicado y soporte para el protocolo IEEE 1588 Precision Time Protocol.
 - Bus CAN 2.0.
 - Controlador remoto infrarrojo (TX/RX, hasta 8 canales).
 - Motor PWM.

- LED PWM (hasta 16 canales).
- Sensor de efecto Hall.
- Pre-amplificador analógico de ultrabaja potencia.
- Seguridad:
 - Soporta todas las características de seguridad estándar de IEEE 802.11, incluyendo WFA, WPA/WPA2 y WAPI.
 - Arranque seguro.
 - Cifrado flash.
 - 1024-bit OTP, hasta 768-bit para clientes.
 - Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA- 2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG).
- Administración de energía:
 - Regulador interno de baja caída.
 - Dominio de poder individual para RTC.
 - Corriente de $5\mu\text{A}$ en modo de suspensión profundo.
 - Despierta por interrupción de GPIO, temporizador, medidas de ADC, interrupción por sensor de tacto capacitivo.

Comparado con otros modelos como es su predecesor el ESP8266, o la variante ESP8285, el módulo ESP32 ofrece mejores prestaciones como se muestra en la Tabla. 2.1.




Características	ESP32	ESP8266	ESP8285
Módulo			
CPU	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS	Xtensa Single-core 32-bit L106	Tensilica L106 32-bit processor
Velocidad Wi-Fi	802.11n hasta 150 Mbps	802.11n hasta 72 Mbps	802.11n hasta 72 Mbps
Protocolo WiFi	802,11 b/g/n (2,4 GHz)	802,11 b/g/n (2,4 GHz)	802,11 b/g/n (2,4 GHz)
GPIO	36	17	10
Bluetooth	Bluetooth 4.2 and BLE	No tiene	No tiene
DAC	Dos canales DAC de 8 bits	No tiene	No tiene
ADC	SAR de 12 bits	SAR de 10 bits	SAR de 10 bits
Canales ADC	8 canales	Un solo canal	Un solo canal
SPI/I2C/I2S/UART	4/2/2/3	2/1/2/2	1/1/1/2
SRAM	520 kB	Tamaño de la RAM <50 kB	Tamaño de la RAM <50 kB
FLASH	4/8/16 MB SPI flash (externo)	4/8/16 MB SPI flash (externo)	1 MB
ROM	448 kB de ROM para el arranque y las funciones básicas	No hay ROM programable	No hay ROM programable
Interfaz periférica	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/GPIO/ADC/DAC/Touch/PWM	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/GPIO/ADC/PWM	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/GPIO/ADC/PWM
Temperatura de funcionamiento	- 40 °C y + 105 °C	- 40 °C y + 105 °C	- 40 °C y + 105 °C
Tensión	2.5 V ~ 3.6 V	2.5 V ~ 3.6 V	2.7 V ~ 3.6 V
Precio	\$ 35 MXN	\$ 21 MXN	\$ 34 MXN

Tabla 2.1. Comparativa entre los módulos ESP32, ESP8266 y ESP8285.

Las características, la asequibilidad, el bajo consumo de energía, la disponibilidad de conexión a Wi-Fi así como a Bluetooth, hacen que el módulo ESP32 sea la opción ideal para poder ser implementado como el microcontrolador en el desarrollo de los nodos que conforman la WSN.

Adicionalmente, la empresa fabricante de estos módulos Espressif Systems, ofrece un compromiso de longevidad del producto, como se puede apreciar en Fig. 2.5, tanto para el módulo ESP8266 como para el módulo ESP8285 tiene un vencimiento hasta el año 2026 mientras que para el módulo ESP32 se cuenta con un plazo hasta 2028, estos periodos son importantes, ya que no significa que los dispositivos se vuelvan completamente obsoletos, sino que se da paso a desarrollar nuevos módulos con funcionalidades diferentes [45].

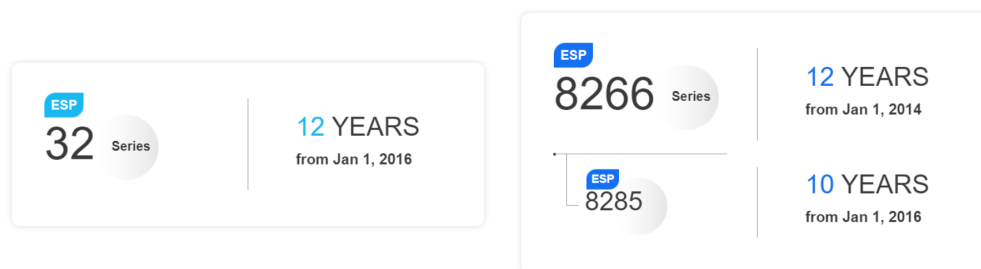


Figura 2.5. Compromiso de longevidad de productos ESP32, ESP8266 y ESP8285.

Por otro lado, es necesario considerar que no todo depende del hardware, también es necesario seleccionar un entorno de desarrollo que permita aprovechar al máximo las prestaciones del ESP32, tal es el caso de micropython.

2.8. Firmware de Micropython

MicroPython es una implementación sencilla y eficiente del lenguaje de programación Python 3 que incluye un pequeño subconjunto de la biblioteca estándar de Python y está optimizado para ejecutarse en microcontroladores y en entornos restringidos [46].

MicroPython está escrito en C99 y todo el núcleo de MicroPython está disponible para uso general bajo la libre licencia del MIT. La mayoría de las bibliotecas y módulos de extensión (algunos de los cuales son de terceros) también están disponibles bajo licencias MIT o similares.

Una gran característica de MicroPython es que viene con un REPL interactivo (*Read-Evaluate-Print Loop*). El REPL le permite conectarse a una placa y ejecutar código rápidamente sin necesidad de compilar o cargar código. Además de que es lo suficientemente compacto como para caber y funcionar con solo 256 kB de espacio de código y 16 kB de RAM.

Es posible usar y adaptar MicroPython libremente para uso personal, en educación y en productos comerciales.

De este modo, MicroPython es una excelente manera de aprovechar al máximo el módulo ESP32, ya que es ligero y ocupa poco espacio en memoria, es un lenguaje fácil para desarrollar código, y cuenta con una amplia comunidad que brinda soporte para poder aprovechar al máximo las prestaciones y periféricos que ofrece el módulo ESP32.

2.9. Sensores

Un sensor es un dispositivo que se utiliza para recopilar datos sobre un proceso físico y se traducen en señales eléctricas que pueden ser procesadas, medidas y analizadas. El proceso físico puede ser cualquier información del mundo real, como temperatura, presión, luz, sonido, movimiento, posición, humedad, radiación, etc.

Una red de sensores es una estructura formada por sensores, unidades computacionales y elementos de comunicación para el propósito de registrar y observar un evento o un fenómeno. Los eventos pueden ser de un entorno industrial, el medio ambiente o un sistema biológico, mientras que el control u organismo de observación puede ser una aplicación de consumo, gubernamental, civil, militar o una entidad industrial.

Hoy en día existe una gran cantidad de sensores que permiten monitorear diversas variables de interés, para el desarrollo de los módulos Wi-Fi, como se mencionó en la descripción de este trabajo, la selección tanto de los sensores como de los actuadores se realizó tomando en consideración los dispositivos mayormente requeridos en los kits para el desarrollo de proyectos; sin embargo, esto no compromete la flexibilidad de los módulos, ya que se pueden integrar otro tipo de sensores o actuadores para fines más específicos.

■ Sensor DHT11

El DHT11 Fig. 2.6, es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC, muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Es utilizado en aplicaciones académicas relacionadas con el control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental, así como en agricultura.

El DHT11 no requiere pines analógicos, pues entrega la información a través de una interfaz serial propietaria (similar a *1-wire*), aunque hay que tomar en cuenta que se requiere ser preciso en los tiempos de las señales para lograr una comunicación confiable con el sensor.

- Especificaciones técnicas:
 - Voltaje de Operación: 3 V a 5 V DC.
 - Rango de medición de temperatura: 0 °C a 50 °C.
 - Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C.
 - Resolución de Temperatura: 0.1 °C.
 - Rango de medición de humedad relativa: 20 % a 90 % RH.
 - Precisión de medición de humedad relativa: 5 % RH.
 - Resolución Humedad: 1 % RH.
 - Tiempo de sensado: 1 seg.
 - Interfaz digital: *Single-bus* (bidireccional)
 - Dimensiones: 16 mm \times 12 mm \times 5 mm.
 - Peso: 1 gr.
 - Carcasa de plástico color azul.

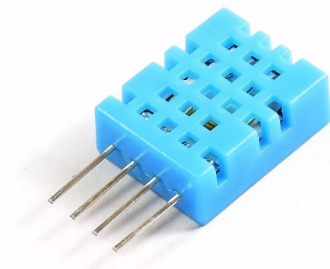


Figura 2.6. Sensor de humedad y temperatura DHT11.

■ Sensor MQ6

El sensor MQ-6 Fig. 2.7, es un sensor de gases de tipo LPG, licuados derivados del petróleo, principalmente propano y butano. El sensor puede detectar concentraciones de gas entre 300 y 10000 ppm y es de utilidad para detección de fugas de gas en el hogar y en la industria. Su velocidad de respuesta es bastante buena, por lo que puede activar cualquier dispositivo de manera oportuna.

El sensor propiamente se encuentra encerrado en dos capas de malla de acero inoxidable que asegura que el elemento calentador interno no cause una explosión dado que en su ambiente de trabajo puede haber presencia de gases inflamables, además filtra las partículas suspendidas para que solo gases accedan a la cámara. Dentro, se encuentra una bobina de níquel-cromo para formar el sistema de calefacción y un revestimiento de dióxido de estaño (que es sensible a gases combustibles) forma el sistema de detección.

Una vez se calienta el dióxido de estaño, absorbe el oxígeno (del aire limpio) en su superficie, atrayendo electrones del dióxido de estaño y dificultando el flujo de corriente. En presencia de gases, la densidad de oxígeno absorbido disminuye liberando a los electrones, permitiendo que la corriente fluya con mayor libertad por el sensor.

El voltaje de salida analógica proporcionado por el sensor cambia en proporción a la concentración de humo/gas. Cuanto mayor sea la concentración de gas, mayor será el voltaje de salida; mientras que una menor concentración de gas da como resultado un voltaje de salida bajo.

- Especificaciones técnicas:
 - Detección de: Gas LP, Iso-butano, Propano, Humo y Alcohol.
 - Alta sensibilidad al: Gas LP, Metano.
 - Voltaje de operación: 5 V.
 - Consumo de potencia calorífica: <750 mW.
 - Rango de detección: desde 300 ppm a 10000 ppm.
 - Tiempo de Respuesta: ≤ 10 s.
 - Resistencia de carga: 20 K Ω .
 - Humedad: ≤ 95 % RH.
 - Temperatura de Operación -20 °C \sim 50 °C



Figura 2.7. Sensor de Gas MQ-6.

■ Sensor de humedad del suelo YL69

Este sensor Fig. 2.8, es capaz de medir la cantidad de humedad que lo rodea empleando dos electrodos que pasan corriente a través del suelo, la lectura hace que varíe la respuesta del dispositivo en términos de resistencia, de modo que, a mayor presencia de agua, la tierra conduce electricidad más fácil generando menor resistencia, mientras que un suelo seco es un conductor pobre de la electricidad lo que se refleja en mayor resistencia.

Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 de soldado superficial (SMD) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos, uno con salida analógica y otro con digital.

- Especificaciones técnicas:
 - Voltaje de entrada: 3.3 V a 5 V DC.
 - Voltaje de salida: 0 V ~ 4.2 V DC.
 - Corriente: 35 mA.
 - A0: Salida analógica que entrega una tensión proporcional a la humedad. Puede ser medida directamente desde un puerto analógico en un microcontrolador.
 - D0: Salida digital; este módulo permite ajustar cuándo el nivel lógico en esta salida pasa de bajo a alto mediante el potenciómetro.
 - Dimensiones YL-69: 60 mm × 30 mm.

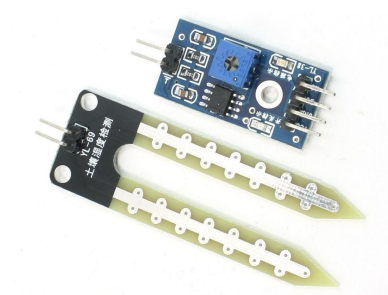


Figura 2.8. Sensor de humedad del suelo.

■ Sensor LDR

Las fotorresistencias *Light Dependent Resistor* (LDR) Fig. 2.9, como su nombre lo indica, son componentes electrónicos semiconductores, cuya resistencia varía de acuerdo a la cantidad de luz que incida sobre su superficie.

- Especificaciones técnicas:
 - Tiempo de respuesta aproximado 0.1 segundos.
 - Resistencia en luz (10 lux): 8 K Ω - 20 K Ω .
 - Resistencia en oscuridad: 1 M Ω .
 - Voltaje máximo de operación: 150 V DC.
 - Disipación máxima: 100 mW.
 - Material fotosensible: CdS (Sulfato de Sodio).

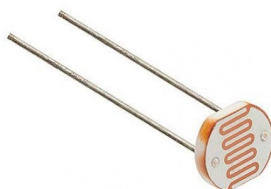


Figura 2.9. Fotorresistencia LDR 5528.

2.10. Actuadores

■ Relevador

El relevador es un interruptor cuyo control depende de un circuito eléctrico, a través de una bobina y un electroimán, este incide sobre diversos contactos para la apertura o el cierre de otros circuitos, que funcionan de manera independiente o que son de potencia.

EL SRD-5VDC-SL-C Fig. 2.10, es un relevador 5V DC fabricado por Songle, cuenta con una bobina interna y 5 pines de los cuales 2 son para la activación de la bobina, común (C), contacto normalmente abierto (NA o NO) y contacto normalmente cerrado (NC). Estos relevadores permiten controlar dispositivos que trabajan en voltajes de AC o DC por medio de una señal de control de 5 V DC, por lo que son ideales para implementarlos en placas de circuito impreso PCBs.

- Especificaciones técnicas:
 - Modelo: SRD-5VDC-SL-C.
 - Pines: 5.
 - Voltaje nominal de la bobina: 5 V DC.
 - Voltaje y Corriente Máx Carga:
 - ◇ AC: 240 V / 10 A ó 125 V / 10 A.
 - ◇ DC: 30 V / 10 A ó 28 V / 10 A.

- Corriente nominal en bobina 75 mA.
- Expectativa de vida: 100,000 accionamientos.
- Temperatura de operación -25 °C a 70 °C.



Figura 2.10. Relevador 5V DC SRD-5VDC-SL-C.

■ Puente H para motores DC

El TB6612FNG Fig. 2.11, es un puente H doble que viene en un encapsulado SSOP de 24 pines para montaje superficial. A diferencia de otros puentes H comerciales elaborados con tecnología de transistores BJT, como el L298N, este circuito tiene en su etapa de salida transistores MOSFET de potencia, lo que permite una mejor eficiencia de energía (la caída de tensión es menor) y esto se traduce en menos calor y capacidad de manejar corrientes más grandes en un encapsulado más compacto.

- Especificaciones técnicas:
 - Voltaje de alimentación para motores: 15 volts máximo.
 - Voltaje de alimentación de circuito integrado: 2.7 V a 5.5 V DC.
 - Corriente pico: 3.2 A.
 - Frecuencia máxima de PWM: 100 kHz.
 - Temperatura de operación - 20 °C a 85 °C.

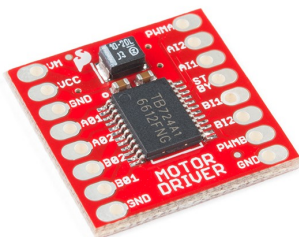


Figura 2.11. Puente H dual modelo TB6612FNG.

■ LED Neopixel

Los LEDs RGB Neopixel Fig. 2.12, se basan en el chip controlador WS2812B con el cual es posible realizar proyectos de una manera simple y escalable, ya que cada LED dispone de un integrado que almacena 3 bytes (24 bits), que corresponden con los 3

colores del RGB. Cada pixel puede tener 256 niveles en 3 colores, lo que supone un total de 16.777.216 posibles colores.

La ventaja de este tipo de LED comparado con los LEDs RGB convencionales es que es posible controlar el color de cada dispositivo, ya sea en una tira o en un arreglo conectado en cascada con un protocolo de transmisión de una sola línea, donde se envían señales de reloj y datos para controlar el valor RGB de cada LED individualmente.

- Especificaciones técnicas:
 - El circuito de control y el chip RGB están integrados en un paquete SMD 5050.
 - La distancia máxima de transmisión de datos sin ningún circuito amplificador es de 5 metros.
 - Requiere de una fuente de alimentación de 5 V DC.

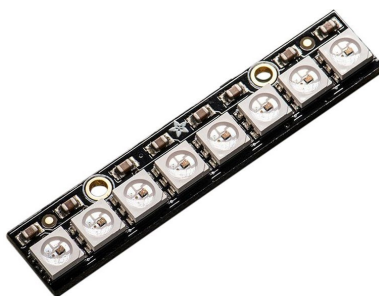


Figura 2.12. Tira LED Neopixel.

■ Buzzer

Un zumbador Fig. 2.13, es un componente pequeño, pero eficiente para agregar funciones de sonido a algún proyecto o sistema. Consta de una estructura de 2 pines, para hacerlo funcionar solo basta conectar sus terminales positivo y negativo a una fuente de alimentación DC, por lo que se puede usar fácilmente en placas de prueba, placas perforadas e incluso en PCB, lo que hace que este sea un componente ampliamente utilizado en la mayoría de las aplicaciones electrónicas [47].

- Especificaciones técnicas:
 - Voltaje nominal: 6 V DC.
 - Voltaje de funcionamiento: 4 V a 8 V DC.
 - Corriente nominal: <30 mA.
 - Frecuencia resonante: \sim 2300 Hz



Figura 2.13. Buzzer o zumbador.

2.11. Fuente de alimentación

Uno de los retos en el desarrollo de los nodos que conforman la WSN es seleccionar la fuente de energía adecuada considerando dos factores importantes: la portabilidad y la asequibilidad de los dispositivos.

Dicho lo anterior, para mantener el concepto de que los nodos deben ser compactos e inalámbricos, la fuente de suministro de energía ideal debe provenir de baterías, no obstante, existe una gran cantidad de baterías en el mercado, por lo que uno de los principales filtros para seleccionar el modelo adecuado depende de las especificaciones que requiere el módulo ESP32, pero también influye el costo.

Considerando los requerimientos, surgen dos alternativas, las baterías Li-Po, y las baterías Li-Ion como el empaquetado 18650.

Por un lado, las baterías Li-Po son generalmente flexibles y robustas, particularmente cuando se trata de la forma y el tamaño de su construcción, también son livianas, tienen un perfil muy bajo y una menor probabilidad de experimentar fugas de electrolito.

Por otra parte, la ventaja de las baterías de iones de litio 18650 es su alta densidad de potencia y la falta de lo que se denomina efecto memoria (cuando una batería se vuelve más difícil de cargar con el tiempo). Además, su costo notablemente más bajo en comparación con la batería Li-Po no se puede ignorar en absoluto [48].

En resumen, la batería 18650 resulta ser la opción ideal para implementarse en el desarrollo de estos dispositivos.

2.11.1. Batería Li-Ion

La batería Li-Ion, Fig. 2.14, es una celda recargable de iones de litio, de modelo 18650, que denota las dimensiones de la batería, el primer número se refiere al diámetro de la batería que es de 18 mm y el número 65 indica la longitud que tiene la batería que es 65 mm. Este tipo de baterías tiene una forma cilíndrica parecida a las pilas AA, pero con tamaño más grande, mayor capacidad y durabilidad.

Esta batería tiene gran eficiencia y calidad, puede proporcionar un voltaje nominal de 3.7 V DC y capacidad de almacenamiento de 2200 mAh. La batería 18650 tiene un encapsulado metálico para mayor seguridad y elemento activo de iones de litio

- Especificaciones técnicas:
 - Voltajes de operación:
 - Nominal: 3.7 V DC.
 - Carga completa: 4.2 V DC

- Descarga de corte: 2.75 V DC
- Corriente: 2200 mAh \pm 10 %.
- Potencia: 8.14 Wh
- Límite de máxima carga de corriente:
 - Pico: 4.4 A
 - Constante: 2.2 A
- Impedancia Interna: 60 m Ω
- Ciclos de vida: \geq 1000
- Temperatura de operación:
 - Carga: 0 °C / + 45 °C
 - Descarga: - 20 °C / + 60 °C
- Humedad: 65 \pm 20 %
- Almacenamiento: 25 °C \pm 3 °C
- Peso: 43 g



Figura 2.14. Batería 18650 2200 mAh.

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta cuando se usan este tipo de baterías es el modo de cargarlas. Exceder las tensiones o corrientes de carga recomendadas, tanto máximas como mínimas, puede dañar las baterías.

Por su composición química requieren de un cargador especializado, que trabaje con corriente constante o voltaje constante, es en este punto donde se considera el uso del módulo TP4056.

2.12. Cargador TP4056

El TP4056 Fig. 2.15, es un cargador lineal completo de corriente constante / voltaje constante para baterías de iones de litio de una sola celda. Su paquete SOP y el bajo número de componentes externos hacen que el TP4056 sea ideal para aplicaciones portátiles.

Además, el TP4056 puede funcionar dentro de los parámetros que provee un cargador USB convencional de 5 V.

No se requiere diodo de bloqueo debido a la arquitectura PMOSFET interna y tiene prevención para circuito de corriente de carga negativa. La retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitarla dada la temperatura durante el funcionamiento a alta potencia o temperatura ambiente alta.

El voltaje de carga es fijado en 4.2 V, y la corriente de carga se puede programar externamente con una sola resistencia.

El TP4056 finaliza automáticamente el ciclo de carga cuando la corriente de carga cae a 1/10 del valor programado después de alcanzar el voltaje de flotación final.

Otras características incluyen monitor de corriente, bloqueo de bajo voltaje, recarga automática y dos pines de estado para indicar la terminación de la carga y la presencia de un voltaje de entrada [49].

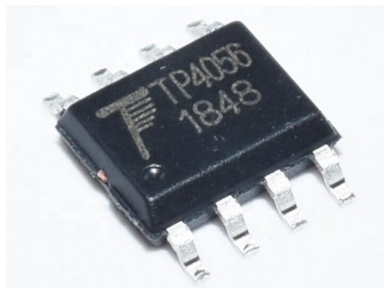


Figura 2.15. Cargador TP4056.

Una vez cubierta la parte tanto de las baterías como del módulo de carga hay un detalle por considerar y es que si bien, el módulo ESP32 funciona correctamente con 3.3 V que es incluso menor al voltaje de salida nominal de la batería 18650, este voltaje no es suficiente, ya que hay actuadores o sensores que para su correcta operación requieren de un voltaje mínimo de 5 V.

En este punto, para resolver este problema, se descarta la opción de añadir una batería extra, ya que aumentaría drásticamente el tamaño del nodo y en consecuencia el costo.

Es por ello que la solución propuesta en este diseño es implementar un convertidor de voltaje DC - DC.

2.13. B628 Elevador de Voltaje Boost Step Up

El SDB6 Fig. 2.16, es un SOT23 de 6 pines que consiste en un convertidor de impulso de frecuencia fija y modo de corriente, diseñado para pequeñas aplicaciones de baja potencia. La frecuencia de funcionamiento de 1,2 MHz permite seleccionar inductores y condensadores externos en tamaños más pequeños. La función de arranque suave interno da como resultado una pequeña corriente de irrupción y prolonga la duración de la batería.

Cambia automáticamente al modo PFM a carga ligera. Incluye bloqueo de subtensión de entrada, límite de corriente y protección contra sobrecalentamiento.

■ Características:

- MOSFET interno de potencia integrado 80 mΩ.
- Amplio rango de voltaje de entrada de 2 V a 24 V.
- frecuencia de trabajo fija 1,2 MHz.
- Voltaje de salida ajustable hasta 28 V.
- Eficiencia de un 97%.
- Modulación automática de Frecuencia de Pulso.



Figura 2.16. Convertidor Step Up SDB628.

2.14. Modos de ahorro de energía

Una vez resuelta la portabilidad de los módulos y el suministro energético, es necesario administrar correctamente la batería para extender la durabilidad y autonomía del dispositivo por una mayor cantidad de tiempo.

Una de las características importantes que tiene el módulo ESP32 para esta sección es que puede trabajar en diferentes modos de operación, lo que se ve reflejado en el consumo de energía utilizada [50].

- **Modo Activo:**
Todas las características están encendidas, el módulo puede recibir y transmitir información.
- **Modo *Modem-sleep*:**
El CPU está activo y el reloj puede configurarse. El Wi-Fi y el bluetooth están desactivados.
- **Modo *Light-sleep*:**
El CPU está en modo pausa, mientras que la memoria y los periféricos RTC están activos junto al procesador de bajo consumo. La CPU se volverá a activar ante cualquier interrupción que requiera de nuevo su funcionamiento.
- **Modo *Deep-sleep*:**
La memoria y los periféricos RTC son los únicos activos. Los datos de comunicación Wi-Fi o bluetooth se almacenan en la memoria RTC.
- **Modo Hibernación:**
Están deshabilitados el oscilador interno de 8 MHz y el coprocesador ULP. La memoria de recuperación de RTC está apagada. Solo un temporizador RTC en el reloj lento y ciertos GPIO RTC están activos. El temporizador RTC o los GPIO RTC pueden activar el chip desde el modo de hibernación.

Para la gestión de la energía se ha optado por implementar el modo *Deep-sleep*, ya que este permite ahorrar la mayor cantidad de energía y comparado con el modo hibernación es posible “despertar” al ESP32 mediante el uso de un *timer*, en lugar de utilizar interrupciones externas.

CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta el montaje de los prototipos, se describe la estructura del código, y se realizan pruebas con la plataforma comercial de IoT mediante el montaje de una WSAAN, posteriormente se desarrolla un “nodo de prueba” y se realizan pruebas de desempeño con el módulo ESP32. Finalmente, se propone la versión 1.0 del diseño del módulo Wi-Fi con sensor integrado.

3.1. Desarrollo de los prototipos

Para realizar las primeras pruebas en función de desarrollar el código para cada uno de los nodos, tanto sensores como actuadores se ha realizado el montaje en protoboard haciendo uso de la tarjeta de desarrollo ESP32 DevKit v1, esta tarjeta no solo tiene integrado el módulo ESP32, sino que también tiene integrado un módulo CP2102 que funciona como convertidor USB a serial TTL, lo que permite establecer comunicación con la PC y el entorno de desarrollo.

3.1.1. Montaje de prototipo para Módulos Wi-Fi con sensor integrado

En la Fig. 3.1, se presenta el montaje del Módulo Wi-Fi sensor LDR el cual es capaz de medir la intensidad de luz del entorno en el que se encuentra, la lectura del sensor se hace mediante un pin analógico, posteriormente se procesa esta información y se envía a la nube para poder ser visualizada en una escala de porcentaje de 0 % a 100 % donde el 100 % representa la presencia máxima de luz mientras que el 0 % la ausencia de la misma.

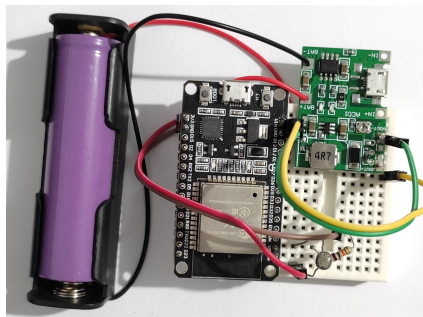


Figura 3.1. Prototipo de Módulo Wi-Fi con sensor LDR.

En la Fig. 3.2, se muestra el prototipo del Módulo Wi-Fi sensor MQ6, es importante mencionar que antes de usar el sensor por primera es recomendable “curarlo” de 6 a 24 hrs, es decir, dejarlo conectado para que el calentamiento del sensor elimine los residuos que pudieran quedar en el proceso de fabricación, una vez realizado este proceso es posible comenzar a realizar mediciones, la señal que genera este dispositivo es analógica por lo que se requiere un pin analógico del ESP32 para poder capturar esta información.

El voltaje de salida analógica proporcionado por el sensor cambia en proporción a la concentración de humo/gas. Cuanto mayor sea la concentración de gas, mayor será el voltaje de salida, mientras que una menor concentración de gas da como resultado un voltaje de salida bajo.

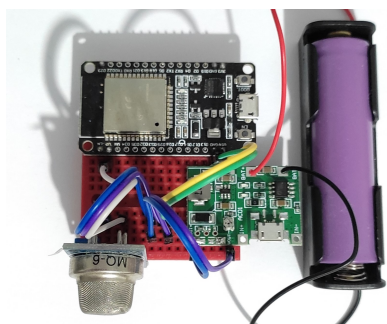


Figura 3.2. Prototipo de Módulo Wi-Fi con sensor MQ6.

En la Fig. 3.3, se presenta el montaje prototipo del Módulo Wi-Fi sensor de humedad, el cual es capaz de medir la humedad del suelo, la lectura del sensor se realiza mediante un pin analógico, posteriormente se procesa esta información y se envía a la nube para poder ser visualizada en una escala de porcentaje de 0 % a 100 % donde el 100 % representa que el suelo tiene una alta concentración de humedad mientras que el 0 % indica que el suelo está seco.

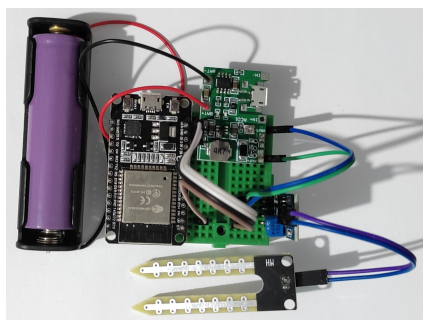


Figura 3.3. Prototipo de Módulo Wi-Fi sensor de humedad del suelo.

Para el caso del prototipo del Módulo Wi-Fi con sensor DHT11 Fig. 3.4, se hace uso de la biblioteca “dht” que proporciona micropython, esta permite establecer comunicación con el sensor mediante un solo cable a través de un pin digital. Los datos obtenidos de la temperatura se muestran en grados Celsius, mientras que los valores de humedad se muestran en un porcentaje de humedad relativa.

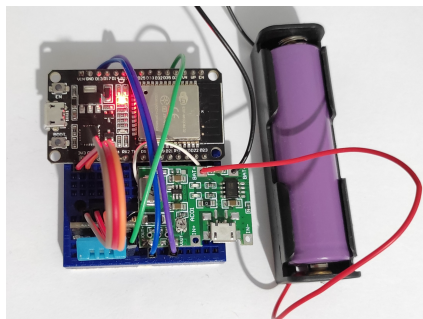


Figura 3.4. Prototipo de Módulo Wi-Fi sensor DHT11.

3.1.2. Montaje de prototipo para Módulos Wi-Fi de salida

Para el manejo del prototipo Módulo Wi-Fi de salida Neopixel que se muestra en la Fig. 3.5, se utiliza el controlador NeoPixel que ofrece micropython, el cual permite seleccionar el pin de datos, la cantidad de pixels que están conectados, y permite modificar los valores RGB en datos que van de 0 a 255. De este modo es posible controlar el color de los LEDs desde una plataforma IoT haciendo uso de *sliders*.

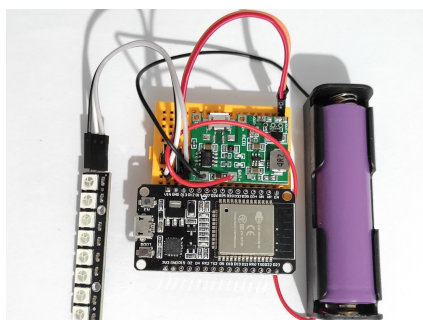


Figura 3.5. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida neopixel.

Para el prototipo Módulo Wi-Fi de salida buzzer de la Fig. 3.6, se dispone una salida digital, la cual emite un pulso que a su vez activa el dispositivo y emite un sonido, la eficacia de este dispositivo a pesar de su aparente simpleza permite generar alertas auditivas que pueden ser de gran ayuda ante la presencia de eventos o cambios en el entorno.

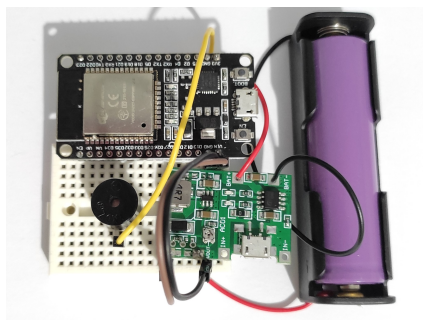


Figura 3.6. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida buzzer.

En la Fig. 3.7, se muestra el montaje del prototipo Módulo Wi-Fi de salida relay, este dispositivo se encarga de accionar un módulo relevador mediante un pulso digital, este dispositivo tiene la ventaja de accionar dispositivos que funcionan con mayor voltaje en DC e incluso en AC.

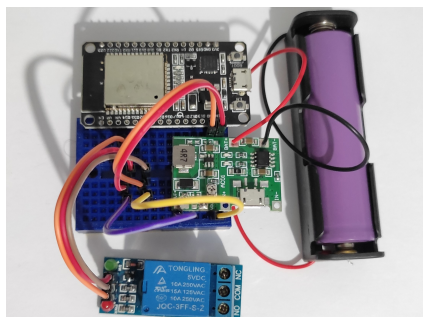


Figura 3.7. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida relay.

El prototipo Módulo Wi-Fi de salida H-Bridge, Fig. 3.8, es un dispositivo que permite accionar y controlar el giro de dos motores de hasta 15 V DC, para esto se hace uso de cuatro pines digitales que controlan el sentido de giro de los motores, así como 2 señales PWM que controlan la velocidad.

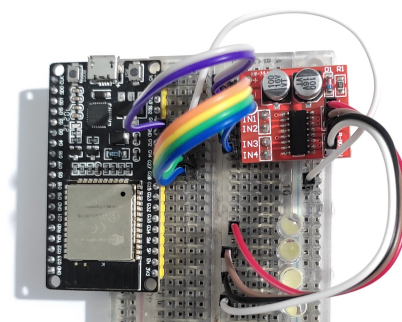


Figura 3.8. Prototipo de Módulo Wi-Fi de salida H-Bridge.

3.2. Desarrollo de código

Una vez montados los prototipos se procede a desarrollar la escritura del código con la finalidad de verificar que los sensores y actuadores funcionen adecuadamente, así también que los módulos ESP32 se conecten correctamente a la red y finalmente sea posible establecer comunicación mediante el protocolo MQTT.

3.2.1. Estructura del código para los Módulos Wi-Fi con sensor integrado

La lógica de la estructura del código para los “Módulos Wi-Fi con sensor integrado” se describe en el diagrama de flujo Fig. 3.9, es importante mencionar que a pesar de que cada módulo tiene un sensor diferente, la estructura del programa es similar.

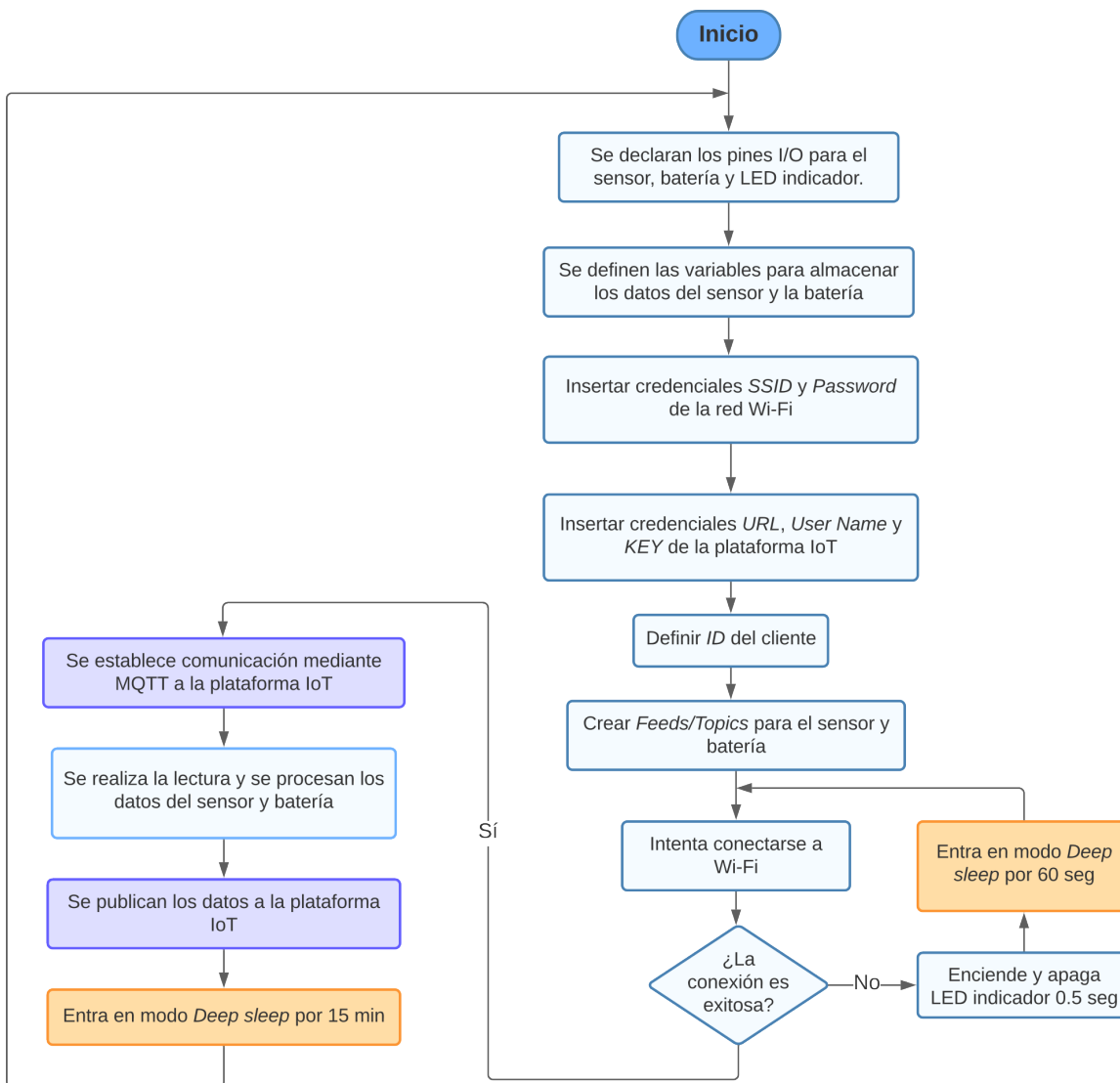


Figura 3.9. Diagrama de flujo para el código de los Módulos Wi-Fi con sensor integrado.

Como se puede apreciar en el diagrama de flujo de Fig. 3.9, como primer paso se declaran los pines de entrada y salida, para este caso se tienen dos entradas la primera es una entrada analógica la cual se utiliza para monitorear el porcentaje de batería, la segunda entrada dependerá del tipo de datos que envíe el sensor ya sea digital como el sensor DHT11 o analógico como el sensor de gas MQ6, el sensor LDR o el sensor de humedad del suelo, finalmente se configura un pin como salida para activar un LED el cual tendrá la función de un indicador del estatus de conexión.

Posteriormente, se definen las variables para almacenar los datos que se obtengan de las lecturas realizadas por el sensor y el pin analógico que monitorea la batería.

En la parte de la conectividad se insertan las credenciales de la red Wi-Fi del lugar donde se desea poner a prueba el módulo, para esto se proporciona el nombre de la red y la contraseña.

Así también se insertan las credenciales que proporciona la plataforma IoT, es importante mencionar que cada una de estas plataformas genera un nombre de usuario y una clave única, para este caso se hace uso de los datos proporcionados por la plataforma Adafruit IO.

A continuación, se define el ID del cliente, en este paso es necesario verificar que cada cliente tenga un identificador único para evitar un conflicto al momento de enviar datos al *broker*.

Como siguiente paso se crean los 2 *feeds* o también llamados *topics*, el primer *feed* se utiliza para publicar los datos del sensor, el segundo *feed* se utiliza para enviar el estatus de la batería.

Una vez insertadas las credenciales e identificada la información a enviar, se inicia una rutina de conexión, el módulo ESP32 realiza un intento de conexión a la red Wi-Fi durante un lapso de 10 segundos, si la conexión no es exitosa, entonces se enciende y apaga un LED indicador con la finalidad de notificar al usuario que la conexión fue fallida, posteriormente el módulo entra en un modo de *Deep Sleep* por un lapso de 60 segundos, una vez finalizado ese tiempo el módulo vuelve a intentar establecer conexión a la red Wi-Fi, si la conexión es exitosa se procede a realizar la comunicación mediante MQTT con la plataforma de IoT.

Una vez realizada la conexión se toman los datos del sensor y la batería, se procesan según sea el caso y se publican para poder ser visualizados en la plataforma.

Finalmente, el módulo entra nuevamente en modo *Deep Sleep* por un tiempo de 15 min.

Este programa se carga como rutina principal para que se ejecute de manera constante con la finalidad de hacer pruebas del rendimiento de la batería y evaluar la conexión mediante el protocolo MQTT con la plataforma de Adafruit IO.

3.2.2. Estructura del código para los Módulos Wi-Fi de salida

La lógica de la estructura del código para los “Módulos Wi-Fi de salida” se describe en el siguiente diagrama de flujo, es importante mencionar que a pesar de que cada módulo tiene un actuador diferente, la estructura del programa es similar.

En el diagrama Fig. 3.10, como primer paso se declaran los pines de entrada y salida, para este caso se tiene una entrada analógica la cual se utiliza para monitorear el porcentaje de batería, para accionar el actuador se configura un pin como salida, este emitirá una señal high-low o un pulso PWM según sea el modelo ya sea un relevador, *buzzer*, led RGB o puente H, finalmente se configura un pin como salida para activar un LED el cual tendrá la función de un indicador del estatus de conexión.

Posteriormente, se definen las variables para almacenar los datos que se obtengan del pin analógico que monitorea la batería y el estatus del actuador.

En la parte de la conectividad se insertan las credenciales de la red Wi-Fi del lugar donde se desea poner a prueba el módulo, para esto se proporciona el nombre de la red y la contraseña.

Así también, se insertan las credenciales que proporciona la plataforma IoT, es importante mencionar que cada una de estas plataformas genera un nombre de usuario y una clave única, para este caso se hace uso de los datos proporcionados por la plataforma Adafruit IO.

A continuación, se define el ID del cliente, en este paso es necesario verificar que cada cliente tenga un identificador único para evitar un conflicto al momento de enviar datos al *broker*.

Como siguiente paso se crean los 2 *feeds* o también llamados *topics*, el primer *feed* se utiliza para publicar los datos del actuador, el segundo *feed* se utiliza para enviar el estatus de la batería.

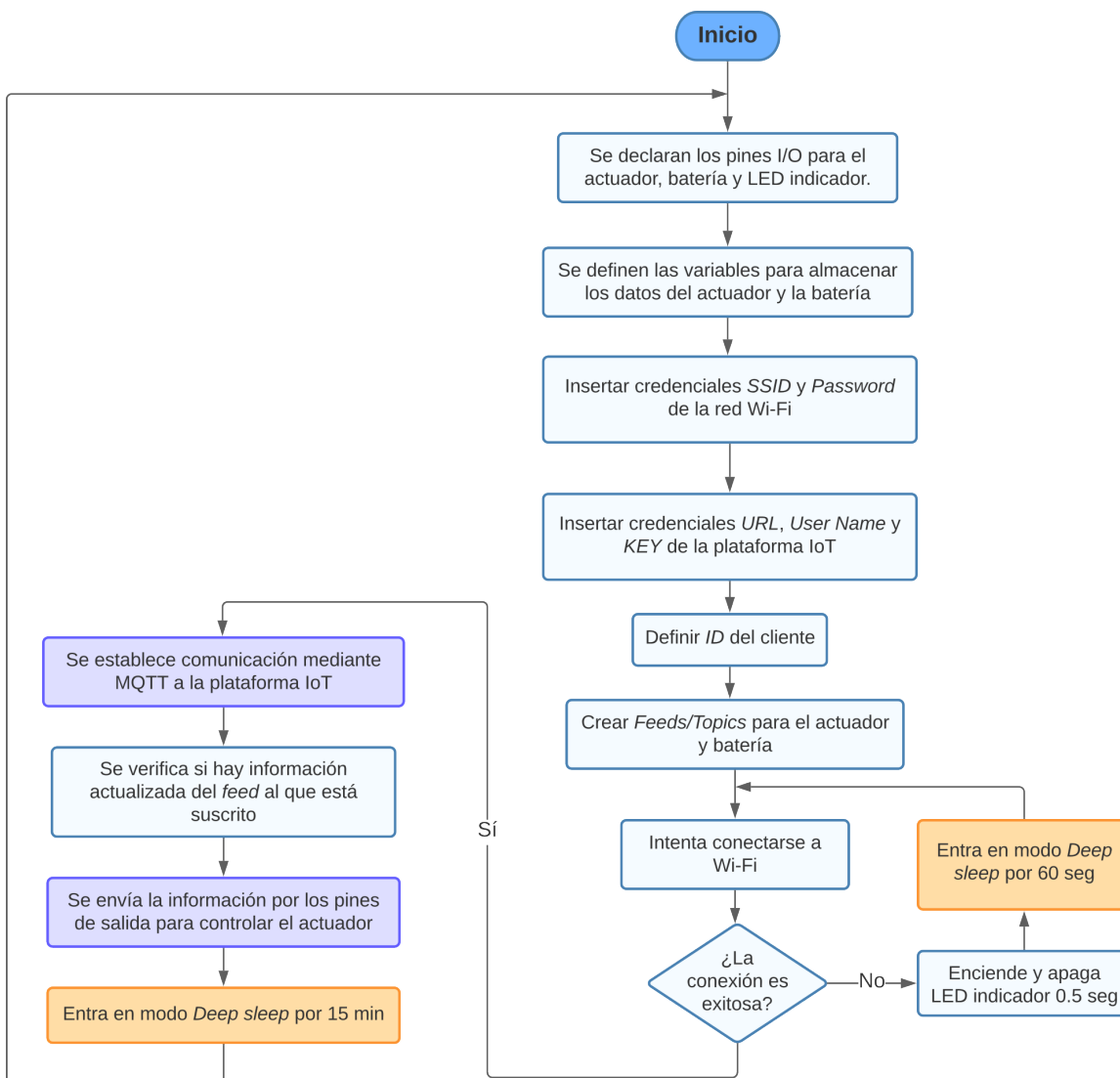


Figura 3.10. Diagrama de flujo para el código de los Módulos Wi-Fi de salida.

Una vez insertadas las credenciales e identificada la información a enviar, se inicia una rutina de conexión, el módulo ESP32 realiza un intento de conexión a la red Wi-Fi durante un lapso de 10 segundos, si la conexión no es exitosa, entonces se enciende y apaga un LED indicador con la finalidad de notificar al usuario que la conexión fue fallida, posteriormente el módulo entra en un modo de *Deep Sleep* por un lapso de 60 segundos, una vez finalizado ese tiempo el módulo vuelve a intentar establecer conexión a la red Wi-Fi, si la conexión es exitosa se procede a realizar la comunicación mediante MQTT con la plataforma de IoT.

Una vez realizada la conexión se verifica la información actualizada del *feed* al que el actuador está suscrito, este dato se envía directamente al pin de salida para controlar el actuador, así mismo se publica el estatus de la batería. Finalmente, el módulo entra nuevamente en modo *Deep Sleep* por un tiempo de 15 min.

El programa se carga como rutina principal para que se ejecute siempre en el ESP32.

3.3. Resultados de las pruebas realizadas con los prototipos

Una vez analizados todos los elementos por separado, el objetivo de estas pruebas es desarrollar un kit de módulos Wi-Fi divididos en dos categorías: “Módulos Wi-Fi con sensor integrado” y “Módulos Wi-Fi de salida”, estos se comunicarán mediante el protocolo MQTT para conformar así una *Wireless Sensor and Actor Network*, todo con la finalidad de facilitar la rápida integración de sistemas IoT de manera modular y sobre todo sin complejos sistemas de cableado.

- Montaje de la WSAN

Como se muestra en el diagrama de la Fig. 3.11, la WSAN se integra por dos módulos con sensor integrado, uno de ellos contiene un sensor DHT11 para el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa, el otro módulo dispone de una fotorresistencia LDR que permite monitorear la intensidad de luz, en la parte derecha de la figura se aprecia el módulo Wi-Fi de salida, que en caso de recibir alguna orden, activa o desactiva un relevador, así también se muestra la estructura en cómo están distribuidos los módulos y la forma en que se comunican haciendo uso del protocolo MQTT, de este modo y para pruebas futuras si se desea integrar más módulos a la red solo basta con identificar el cliente, conectarse al *broker*, definir un *topic* y decidir si se va a publicar o suscribir información, esto último se configura mediante código.

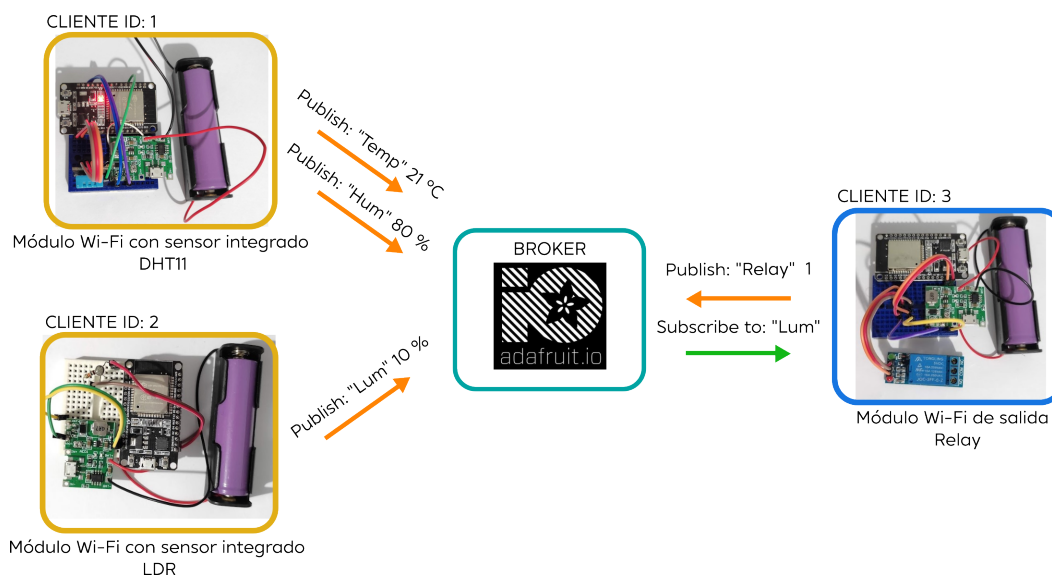


Figura 3.11. Montaje de la WSAN con prototipos de Módulos Wi-Fi con sensor integrado y Módulo Wi-Fi de salida.

- Creación del dashboard en Adafruit IO

Una vez programados los módulos, la información que estos recolectan es enviada a la plataforma de Adafruit IO, no obstante, esta se envía de manera separada según el *topic* a que el cliente publique o suscriba, para poder visualizar todo en un solo lugar, Adafruit IO permite la creación de paneles también conocidos como dashboards Fig.

3.12, los cuales reúnen toda la información de la WSAAN y la muestran de forma gráfica y estilizada.

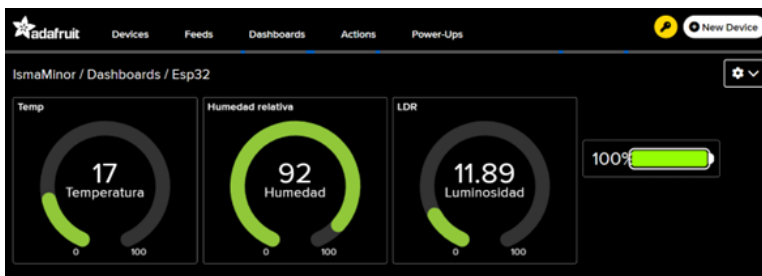


Figura 3.12. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO.

- Evaluación de los resultados

Las pruebas y resultados presentados a continuación, fueron evaluados dentro de un laboratorio de comunicaciones digitales donde se provee una red Wi-Fi de 2.4 GHz a la cual se conecta cada uno de los módulos, el objetivo de esta evaluación preliminar es comprobar si es posible integrar una WSAAN teniendo como microcontrolador el módulo ESP32, de ser esto posible se verifica que el protocolo de comunicación MQTT funcione adecuadamente con la plataforma de Adafruit IO y finalmente se realiza un ejercicio de automatización mediante un “Módulo Wi-Fi con sensor integrado” y un “Módulo Wi-Fi de salida”.

Uno de los principales retos al implementar una WSAAN, es evitar la colisión de datos, para evitar esta situación al implementar el protocolo MQTT se debe identificar que, si bien se puede publicar o suscribir a un mismo *topic*, cada cliente debe tener un nombre o identificación única, de este modo es posible establecer esta comunicación y el *broker* no tendrá conflictos al momento de recibir la información de diferentes clientes.

Como se puede identificar en las Tablas 3.1 y 3.2, los datos registrados por el *broker* corresponden a dos dispositivos diferentes, no obstante, los datos fueron registrados en tiempos similares como se muestra en la columna “*created at*” respectivamente, esto es posible, ya que cada dispositivo o cliente tiene un ID único, esto evita que se genere una pila de datos o exista colisión de los mismos.

value	feed_id	created_at
2.881563	2238517	2022-06-30 16:03:58 UTC
2.564102	2238517	2022-06-30 16:04:03 UTC
2.515262	2238517	2022-06-30 16:04:08 UTC
3.125763	2238517	2022-06-30 16:04:13 UTC
4.151404	2238517	2022-07-08 22:56:08 UTC
4.200244	2238517	2022-07-08 22:56:13 UTC

Tabla 3.1. Datos registrados por el módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.

value	feed_id	created_at
1	2240365	2022-06-30 16:03:58 UTC
1	2240365	2022-06-30 16:04:03 UTC
1	2240365	2022-06-30 16:04:08 UTC
1	2240365	2022-06-30 16:04:13 UTC
1	2240365	2022-07-08 22:56:08 UTC
1	2240365	2022-07-08 22:56:13 UTC

Tabla 3.2. Datos registrados por el módulo Wi-Fi de salida Relay.

La recopilación de estos datos no solo comprueba que los módulos se comunican adecuadamente, sino que al trabajar con una plataforma en la nube esta información es almacenada y puede ser utilizada para evaluar los cambios ocurridos en el entorno donde se encuentran montados los módulos, tal como se muestra en la gráfica de la Fig. 3.13, donde se monitorean los cambios de temperatura dentro de una habitación por un lapso de 9 días, si se observa existe un comportamiento similar entre cada día que transcurre, si se toma un mayor número de muestras y se analizan los datos se abre una oportunidad para desarrollar técnicas de mantenimiento predictivo para el sistema de ventilación de la habitación.

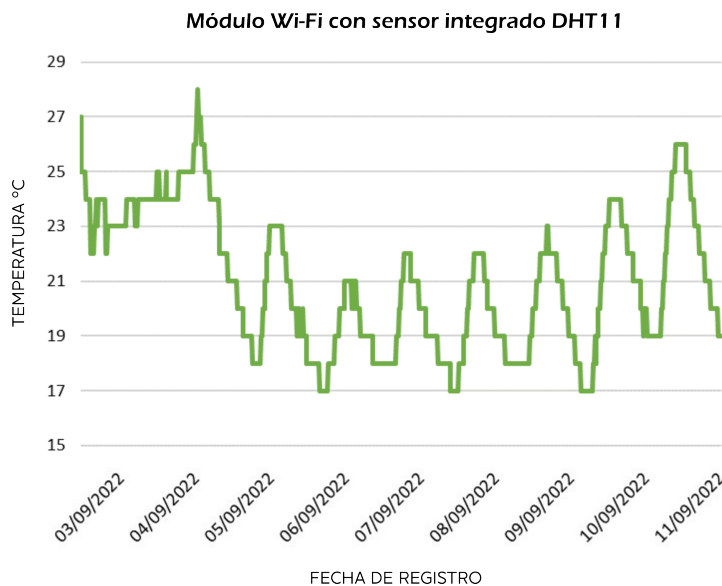


Figura 3.13. Gráfica de los datos recopilados por el Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.

El resultado que se muestra a continuación, se realizó con la finalidad de probar la idea de automatizar un proceso, de modo que la intervención humana sea mínima o en su defecto no sea necesaria.

Para este ejercicio se hace uso del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR y del Módulo Wi-Fi de salida Relay, en este caso el módulo con el LDR publica los datos al *topic* “Lum” y el módulo con el relevador está suscrito a este mismo *topic*, de este modo es posible programar una condición:

Si el valor de luminosidad es menor a 10, acciona el relevador, en el caso contrario de que el valor sea mayor a 10 entonces se desactiva el relevador.

Las Fig. 3.14 y Fig. 3.15 muestran el resultado de esta prueba.

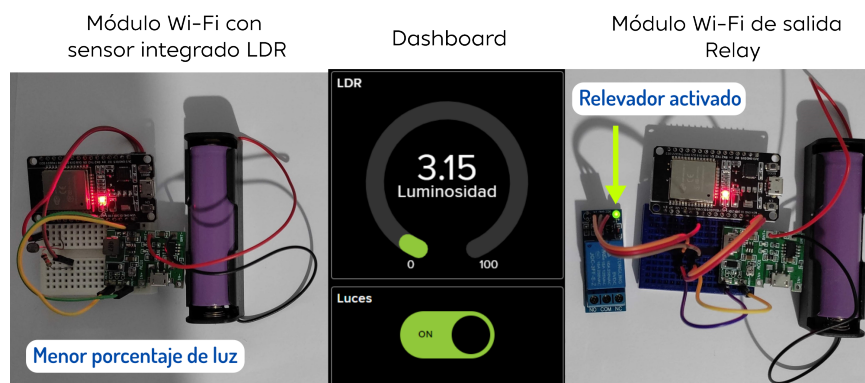


Figura 3.14. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y comportamiento de los módulos cuando el relevador se acciona.

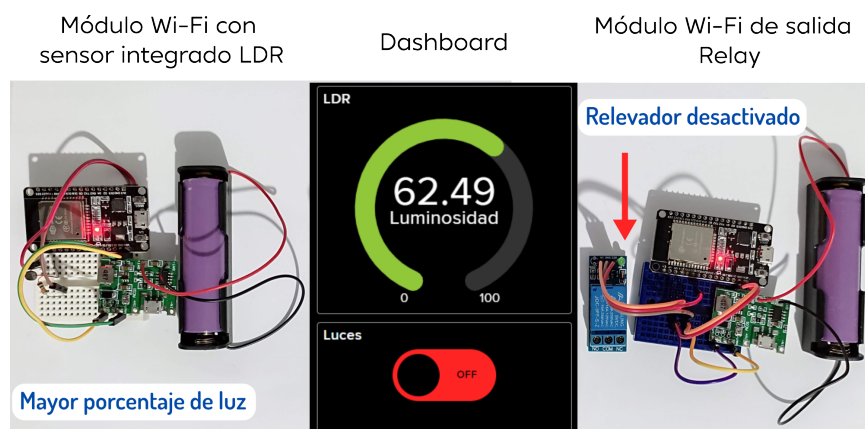


Figura 3.15. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y comportamiento de los módulos cuando el relevador se desactiva.

Estas pruebas realizadas permiten sentar las bases para entender el principio de funcionamiento de una WSN en donde cada nodo se comunica de manera inalámbrica, mediante el protocolo MQTT.

Así mismo, este ejercicio permite observar la dinámica entre los primeros prototipos de los Módulos Wi-Fi, y la plataforma comercial de Adafruit IO, en donde se despliega la información de manera gráfica y se almacenan los datos mediante el servicio en la nube.

3.4. Diseño de nodo de prueba

Uno de los principales objetivos de este trabajo es diseñar el hardware a medida con la finalidad de tener módulos listos para implementarse y el usuario no tenga la necesidad de realizar un montaje o cableado extra, de este modo se facilita el prototipado rápido.

Para realizar este diseño se hace uso del software Eagle, el diagrama esquemático de este nodo se muestra en el Apéndice A.1.

Como primera etapa se ha diseñado un nodo de prueba, considerando solo los elementos electrónicos necesarios para poder lograr el correcto funcionamiento del SoC ESP32 Fig. 3.16, la principal diferencia comparado con la tarjeta de desarrollo ESP32 Devkit v1, es que en este diseño se ha eliminado el módulo CP2102 que funciona como convertidor USB a serial TTL, esto con la finalidad de reducir el consumo energético, y poder extender de este modo la durabilidad de la batería.

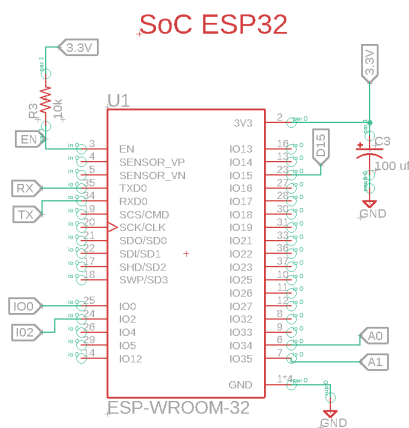


Figura 3.16. Esquemático del SoC ESP32.

Así mismo, al ser un prototipo de prueba, se dispone de una serie de GPIOs Fig. 3.17, dos pines analógicos, uno para realizar las mediciones de la batería, y el otro para verificar que se realicen correctamente las mediciones del sensor, ya sea de gas, LDR o de humedad del suelo, así también se dispone de un pin digital que permite conectar el sensor DHT11 o ser utilizado como salida para accionar un actuador.

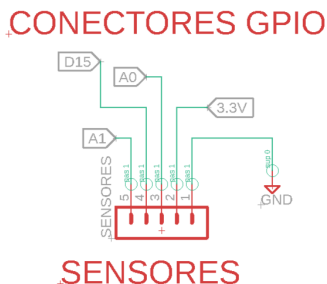


Figura 3.17. Pines GPIO para pruebas.

Así también se agrega una etapa Fig. 3.18, en la que se regula el voltaje de entrada de 5 V a 3.3 V, esto se hace mediante el circuito integrado AMS1117, con la finalidad de poder suministrar la energía correcta para el SoC ESP32.

REGULADOR DE VOLTAJE

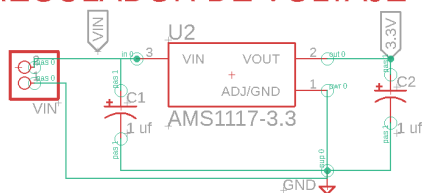


Figura 3.18. Etapa de regulación de voltaje.

Por otra parte, se agregan dos leds indicadores Fig. 3.19, uno con la finalidad de mostrar que el circuito está encendido y el otro se utiliza como indicador para la conexión Wi-Fi.

LEDS

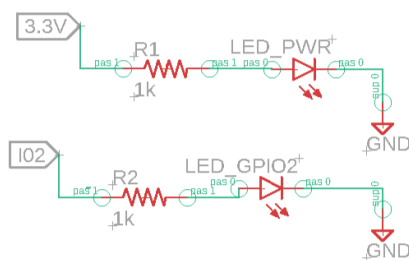


Figura 3.19. LEDs indicadores.

Como requisitos del sistema para garantizar el correcto funcionamiento y carga del código se agrega una etapa de auto reset y dos botones, uno de boot que permite poner el ESP32 en modo programación y un botón de reset que permite restablecer el dispositivo Fig. 3.20.

TRANSISTORES DE AUTORESET

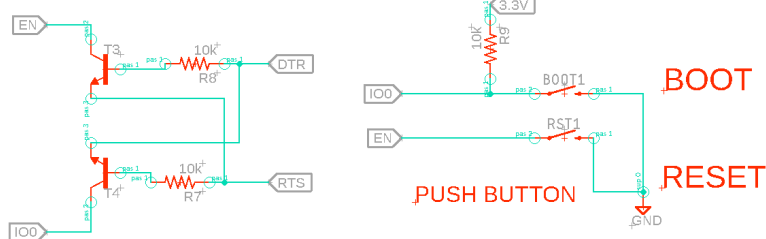


Figura 3.20. Configuración de transistores para los botones de boot y reset.

Al eliminar la parte del módulo CP2102 se colocan los pines de DTR, RTS, RX, TX, 3.3 V y GND Fig. 3.21, para poder conectar un convertidor USB-TTL de manera externa y poder así comunicar el nodo con la PC para poder cargar el firmware o el código de prueba.

CONECTOR USB-TTL

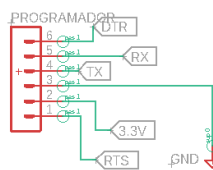


Figura 3.21. Conector USB-TTL.

Una vez realizado el esquemático y la distribución de los componentes, se realiza el trazado de pistas o enrutamiento de forma manual, el diseño resulta en un PCB de 50 mm x 35 mm como se muestra en la Fig. 3.22.

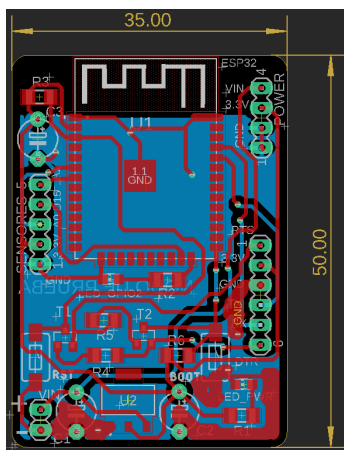
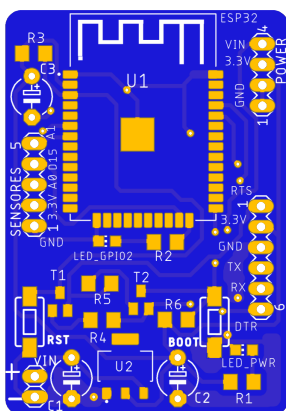


Figura 3.22. Distribución y enrutamiento de componentes.

El diseño final consiste en un PCB de dos capas, como se puede apreciar en la Fig. 3.23.

Vista frontal de PCB



Vista trasera de PCB

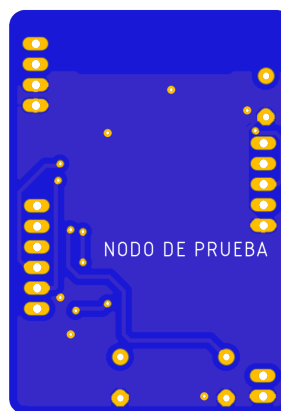


Figura 3.23. Diseño del PCB del nodo de prueba.

3.5. Montaje del nodo de prueba

Una vez realizado y verificado el diseño se procede a la fabricación del PCB, posteriormente se procede a realizar el montaje de los componentes electrónicos, el resultado final se muestra en la Fig. 3.24.

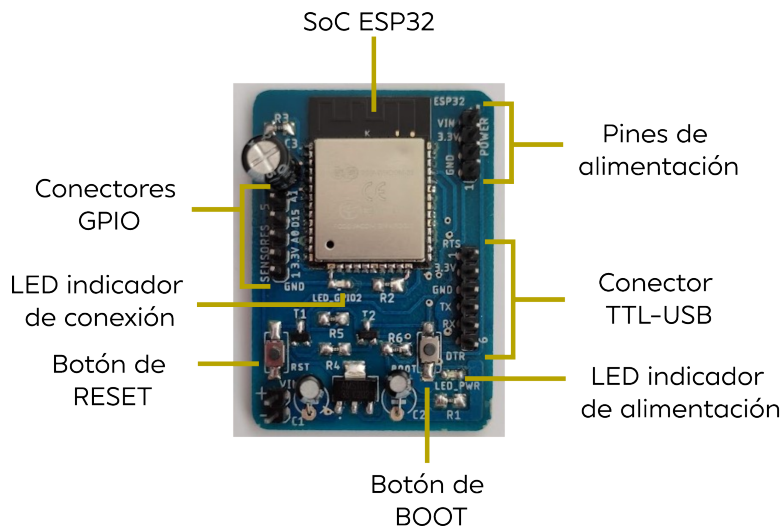


Figura 3.24. Montaje de componentes electrónicos y distribución de los elementos del nodo de prueba.

A continuación, se realizan las conexiones correspondientes para realizar las pruebas de funcionamiento que previamente se realizaron con el prototipo, esto con la finalidad de comparar el rendimiento y el desempeño de la batería; para esta prueba el nodo se configura como un “Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11” Fig. 3.25.

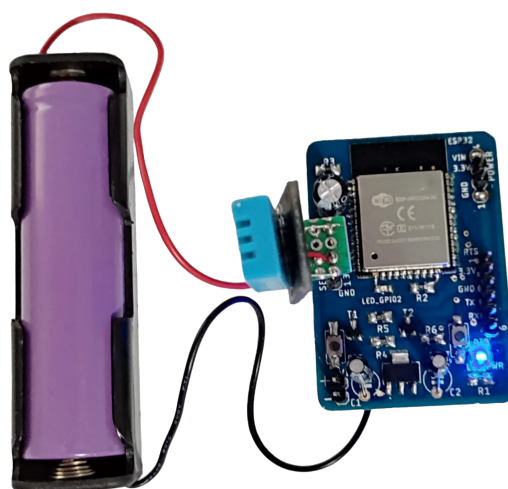


Figura 3.25. Configuración del nodo de prueba como “Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11”.

3.6. Resultados de las pruebas realizadas con el nodo

Como primera prueba se verifica que el nodo se comunique correctamente con la PC con ayuda del convertidor USB-TTL CP2102 que se conecta de manera externa, si la conexión es exitosa se podrá visualizar un puerto COM en el administrador de dispositivos Fig. 3.26.

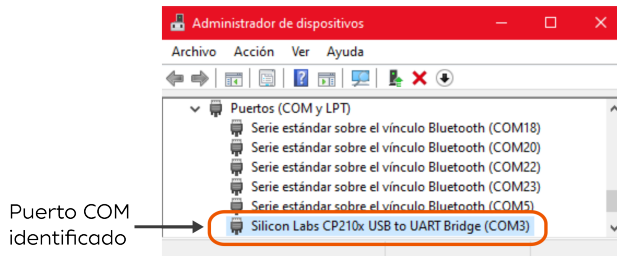


Figura 3.26. Visualización del puerto COM3 correspondiente al nodo de prueba.

Posteriormente, se carga el firmware “esp32-20210902-v1.17” para poder utilizar el ESP32 con MicroPython, una vez finalizado este proceso es posible visualizar en la consola de Thonny Fig. 3.27, que el nodo responde correctamente y está listo para poder cargar el código principal.

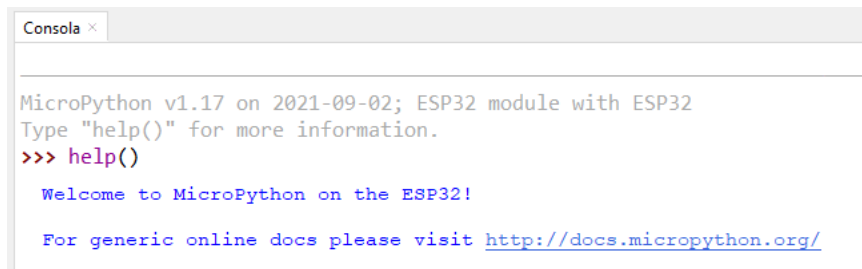


Figura 3.27. Configuración del ESP32 con MicroPython.

Al ejecutar el código principal que se describe en el diagrama de flujo Fig. 3.9, se verifica que la conexión a la red Wi-Fi sea exitosa y se envíen los datos de humedad y temperatura del sensor DHT11 a la plataforma de Adafruit IO, así como el porcentaje de batería Fig. 3.28.

```
connecting..
10
9
8
7
connected
Temp - 23
Hum - 87
bat1 - 100.0
Msg sent
Im awake, but Im going to sleep
```

Figura 3.28. Se verifica el estatus de la conexión a Wi-Fi y el envío de los datos de Temp, Hum y bat1.

Como se puede apreciar en la Fig. 3.29, los datos son exitosamente recibidos y almacenados en la plataforma de Adafruit IO.

Created at	Value
2022/10/12 12:39:43AM	21
2022/10/12 12:24:38AM	21
2022/10/12 12:09:31AM	21
2022/10/11 11:54:25PM	21
2022/10/11 11:39:21PM	21
2022/10/11 11:24:11PM	22
2022/10/11 11:09:05PM	22
2022/10/11 10:53:59PM	22

Figura 3.29. Datos registrados del feed temp.

Una vez verificado el correcto funcionamiento del nodo de prueba, se realizan las mediciones del consumo de corriente en modo *deep sleep*, y se comparan con el prototipo montado con la tarjeta de desarrollo ESP32 Devkit v1.

Como se puede observar en la Fig. 3.30, al realizar la medición, el consumo de corriente del prototipo en modo *deep sleep* es de 9 mA.



Figura 3.30. Medición del consumo de corriente del prototipo.

Si se compara con la medición de corriente del nodo de prueba, se tiene un consumo en modo *deep sleep* de 2 mA, tal como se muestra en la Fig. 3.31.

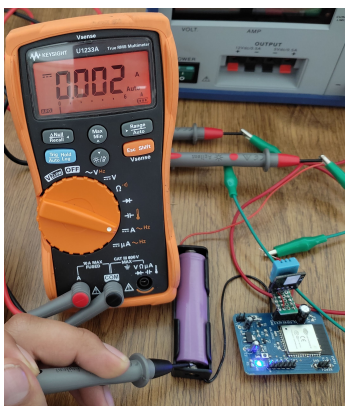


Figura 3.31. Medición del consumo de corriente del nodo de prueba.

De este modo, con este nuevo diseño en el que se retira el convertidor USB-TTL CP2102, se logra un ahorro considerable de 7 mA, lo que se ve reflejado en el ahorro de batería como se demuestra en la siguiente prueba.

Para evaluar el desempeño y durabilidad de la batería, se realiza una prueba en donde la tarea principal del nodo, es sensar la temperatura, la humedad relativa, así como el porcentaje de la batería, esta acción se realiza cada 15 minutos y posteriormente el dispositivo entra en modo *deep sleep*, tal como lo describe el diagrama de flujo de la Fig. 3.9.

Los resultados se muestran a continuación:

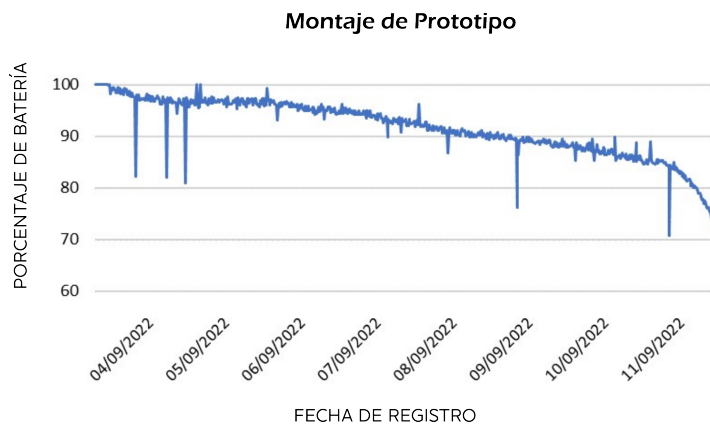


Figura 3.32. Registro de la duración de la batería en el montaje del prototipo.

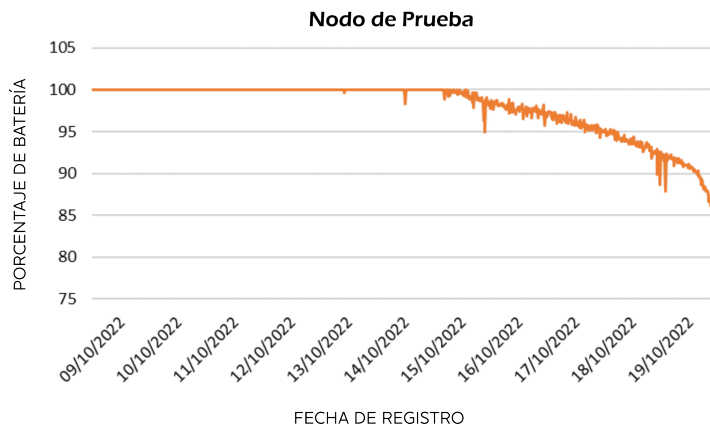


Figura 3.33. Registro de la duración de la batería en el nodo de prueba.

Como se puede apreciar en la Fig. 3.32 la duración de la batería con el montaje del prototipo es de un total de 8 días funcionando de manera ininterrumpida, sin embargo, la duración de la batería en el nodo de prueba, como se muestra en la Fig. 3.33, supera esta marca y se logra un funcionamiento ininterrumpido de 11 días.

Luego de esta comparativa, el nodo de prueba no solo permite tener un diseño con los componentes necesarios para el correcto funcionamiento, sino que también permite extender la duración de la batería, lo que resulta como una ventaja para el usuario al momento de implementar estos dispositivos en alguna zona de interés, ya que no es necesario recargarlos diariamente.

3.7. Módulo cargador y elevador de voltaje

Uno de los elementos clave para administrar la batería 18650 en este dispositivo es el módulo cargador y elevador de voltaje A.2, este se conforma de dos elementos principales, un circuito integrado TP4056 como se muestra en la Fig. 3.34, el cual es un cargador lineal de corriente constante / voltaje, ideal para baterías de iones de litio de una sola celda

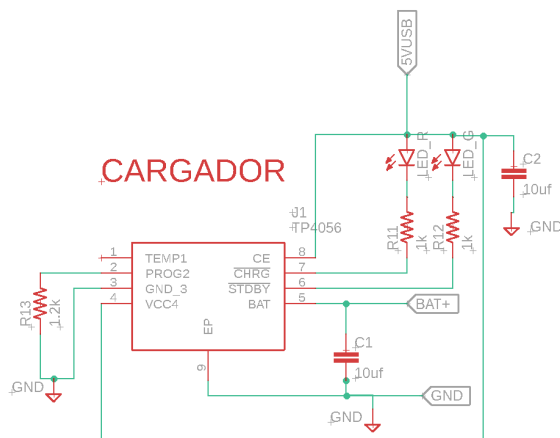


Figura 3.34. Conexión del circuito integrado TP4056.

Este cargador admite un voltaje de entrada de 5 V, el cual se puede suministrar desde un cargador de celular convencional, así también cuenta con dos LEDs indicadores, un LED rojo se utiliza para mostrar que la batería se encuentra en modo de carga, una vez finalizada el LED rojo se apaga y se enciende un LED verde que indica que la carga está completa.

Por otra parte, como la batería 18650 ofrece un voltaje con carga completa de 4.2 V, no es suficiente para los sensores que trabajan con 5 V, por lo que este módulo implementa un convertidor de voltaje DC - DC tipo Boost, basado en el circuito integrado SDB628 el cual admite un voltaje de entrada de 2 a 24 V DC y tiene una salida de 5 a 28 V DC, la conexión de esta etapa se muestra en la Fig. 3.35.

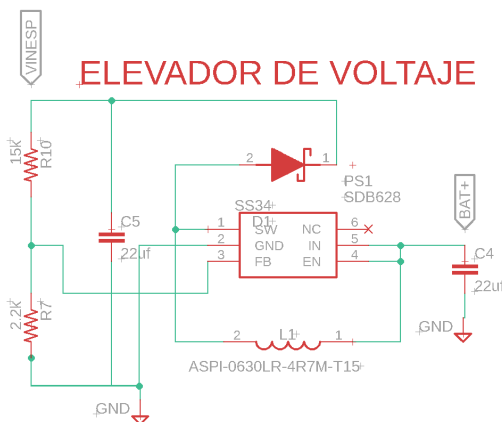


Figura 3.35. Conexión del circuito integrado SDB628.

Como se mencionó previamente, el SDB628 puede ser configurado para tener un voltaje de salida variable; sin embargo, para este caso se requiere un voltaje fijo cerca de los 5 V, para realizar este cálculo se implementa la fórmula 3.1 que proporciona la hoja de datos.

$$V_{OUT} = V_{REF} * \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (3.1)$$

Donde V_{REF} tiene un valor de 0.6 V, por lo tanto:

$$V_{OUT} = 0.6V * \left(1 + \frac{12k\Omega}{1.5k\Omega}\right) \quad (3.2)$$

$$V_{OUT} = 5.4V \quad (3.3)$$

Adicionalmente, a este módulo cargador y elevador, se ha agregado un divisor de voltaje Fig. 3.36, este con la finalidad de poder facilitar el monitoreo de la batería mediante un pin analógico del ESP32.

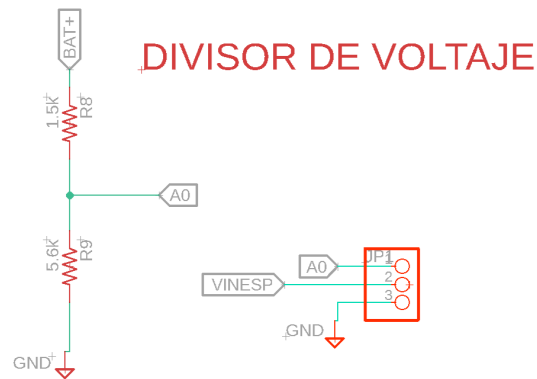


Figura 3.36. Divisor de voltaje para el monitoreo de la batería.

De acuerdo con las especificaciones del módulo ESP32, el voltaje de entrada máximo para el pin analógico es de 3.3 V, por lo que se debe ajustar el divisor de voltaje a estos parámetros de acuerdo a la fórmula 3.4:

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN} * R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.4)$$

Donde V_{IN} es el voltaje máximo suministrado por la batería, que es de 4.2 V, por lo tanto:

$$V_{OUT} = \frac{4.2V * 5.6k\Omega}{1.5k\Omega + 5.6k\Omega} \quad (3.5)$$

$$V_{OUT} = 3.31V \quad (3.6)$$

Una vez realizado el esquemático y la distribución de los componentes, el diseño resulta en un PCB de 40 mm x 30 mm como se muestra en la Fig. 3.37.

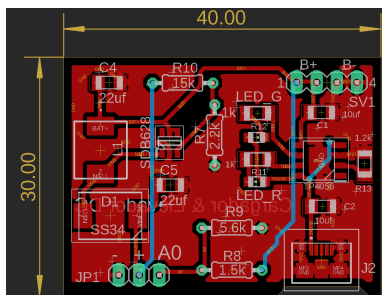


Figura 3.37. Distribución y enrutamiento de los componentes del cargador & elevador.

El diseño final consiste en un PCB de dos capas como se puede apreciar en la Fig. 3.38.

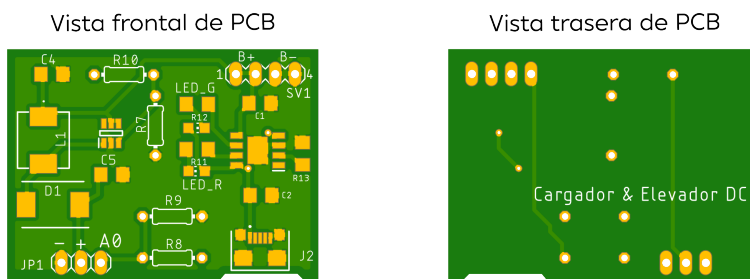


Figura 3.38. Diseño del PCB elevador y cargador.

3.8. Montaje del Cargador & Elevador DC

Una vez realizado y verificado el diseño se procede a la fabricación del PCB, posteriormente se procede a realizar el montaje de los componentes electrónicos, el resultado final se muestra en la Fig. 3.39.

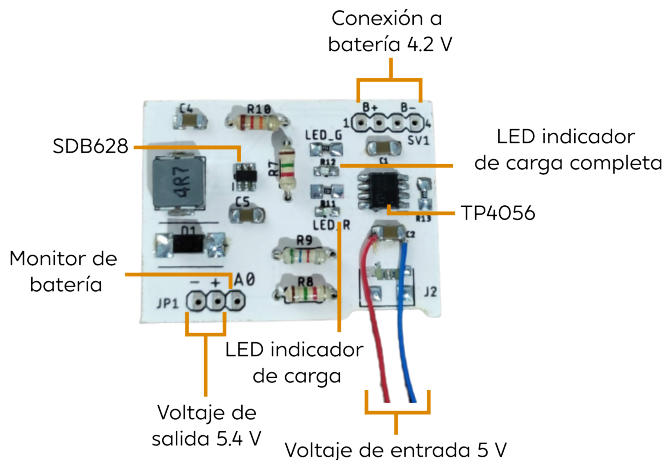


Figura 3.39. Montaje y distribución de los elementos del cargador y elevador de voltaje.

Una vez montado el módulo, se procede a realizar las mediciones correspondientes para verificar que los voltajes de salida coincidan con los cálculos realizados por las Eq. 3.1 y Eq. 3.4.

En la Fig. 3.40, de acuerdo con los cálculos de la Eq. 3.1, se espera un voltaje de salida de 5.4 V, tal como se puede apreciar en el multímetro del extremo izquierdo se tiene un voltaje de 5.417 V, mientras se tiene un voltaje en la batería de 4.146 V por lo que de este modo se comprueba que el circuito elevador de voltaje funciona correctamente.



Figura 3.40. Mediciones del voltaje de batería y el voltaje de salida.

Posteriormente, se realiza la medición del divisor de voltaje a través del pin llamado monitor de batería, de acuerdo con la Eq. 3.4, se espera un voltaje de salida de 3.31 V, si se compara con el voltaje real se obtiene una medición de 3.394 V Fig. 3.41, por lo que esta etapa también funciona correctamente, ya que el error en términos de voltaje es mínimo para esta aplicación.



Figura 3.41. Medición del divisor de voltaje para el monitor de batería.

Finalmente, se verifica que la etapa para cargar la batería funcione correctamente, para esto se conecta el dispositivo con un voltaje de entrada de 5 V, como se puede ver en el lado izquierdo de la Fig. 3.42, mientras la batería se encuentra cargando se enciende un LED rojo.

Una vez finalizada la carga el LED rojo se apaga y se enciende un LED verde que indica que la carga está completa, tal como se muestra en la parte derecha de la Fig. 3.42, en este punto ya se puede retirar el voltaje de entrada de 5 V.

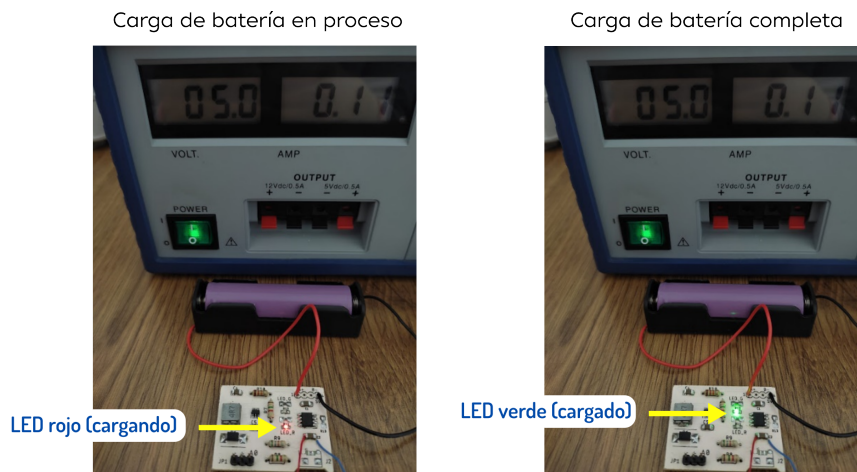


Figura 3.42. Módulo en modo de carga de batería.

3.9. Diseño del Módulo Wi-Fi de entrada DHT11 V1.0

Una vez probado el correcto funcionamiento tanto del nodo de prueba como del módulo cargador y elevador de voltaje es posible realizar un nuevo diseño que integre estas etapas en un solo PCB todo con la finalidad de tener un módulo a medida para cada tipo de sensor o actuador.

Para el Módulo Wi-Fi de entrada DHT11 se adiciona al esquemático la etapa donde se integra el sensor, en este caso se realiza la conexión para un sensor DHT11.

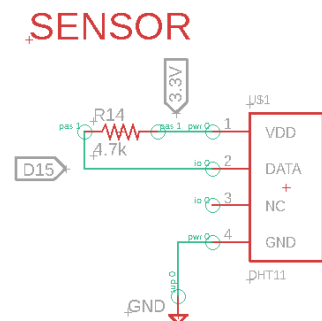


Figura 3.43. Conexión de sensor DHT11.

El modo de conexión y el valor de resistencia utilizado, como lo muestra el esquemático de la Fig. 3.43, se realiza siguiendo las especificaciones de la hoja de datos del fabricante.

La PCB resultante se divide en 3 secciones por la parte frontal, en la parte inferior se tiene el cargador de batería y el elevador de voltaje, en la parte intermedia se encuentra el sensor integrado y en la parte superior se coloca el módulo ESP32, tal como se describe en la Fig. 3.44.

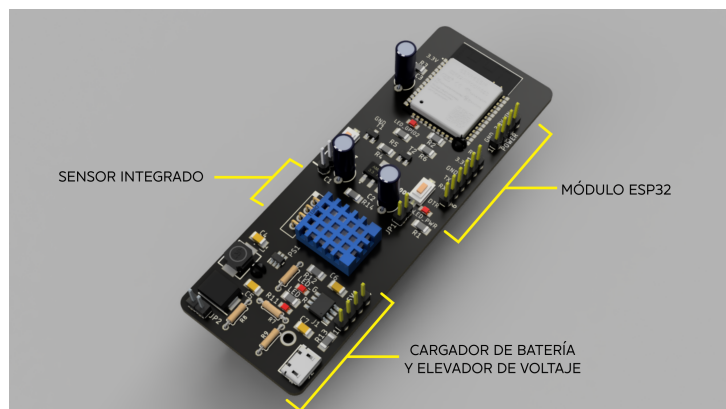


Figura 3.44. Montaje y distribución frontal del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11 v1.0.

En la parte trasera del módulo se coloca un *battery holder* para la batería Li-Ion 18650, véase en la Fig. 3.45.



Figura 3.45. Montaje y distribución trasera del Módulo Wi-Fi de con sensor integrado DHT11 v1.0.

No obstante, la versión del módulo Wi-Fi presentado en este apartado, sigue teniendo limitaciones, ya que, a pesar de tener todos los elementos concentrados en una sola tarjeta, sigue resultado difícil de manipular, considerando que el objetivo principal es que sea implementada como herramienta para el desarrollo de prácticas y proyectos.

Dicho lo anterior surge la necesidad de implementar una metodología que permita diseñar hardware estandarizado, modular y a medida que se adapte las necesidades del usuario.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se implementa el *Design Thinking* como una herramienta que permite añadir valor al desarrollo de hardware para IoT, dando como resultado un producto que toma consideraciones de diseño estandarizadas para facilitar la compatibilidad e interoperabilidad con múltiples servicios de hardware y software comerciales, adicionalmente la implementación y evaluación de esta metodología, dan como resultado ESP-Modulink, una plataforma de hardware modular *Low Code* que no solo se queda en una serie tarjetas electrónicas, sino que está acompañada de un ecosistema que brinda soporte al usuario, información técnica, códigos de ejemplo, guías para integrar proyectos y videotutoriales, todo con la finalidad de ofrecer una plataforma completa que facilite la integración de proyectos y pruebas de concepto de IoT sin la necesidad de cables o código complejo.

4.1. Design Thinking

Las plataformas son esenciales para la comercialización de soluciones IoT, en la que participan muchos sectores a lo largo de la cadena de valor, desde los operadores de telecomunicaciones, proveedores de software, desarrolladores de hardware, analistas de datos, servidores y almacenamiento en la nube, entre otros [51].

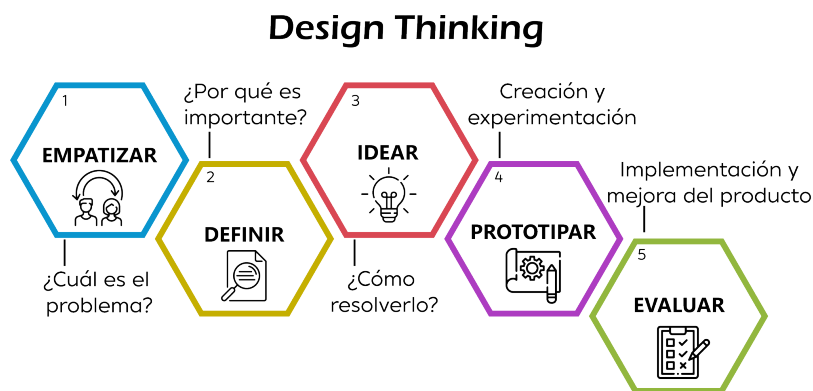
Por lo que implementar una metodología adecuada en el desarrollo de un producto es fundamental para ofrecer soluciones que no solo cumplen con los estándares impuestos por el mercado, sino que son flexibles y se adaptan principalmente a las necesidades de los usuarios.

Históricamente, el diseño ha sido tratado como un paso tardío en la cadena del proceso de desarrollo, donde los diseñadores, que hasta entonces no han desempeñado papel alguno en la tarea esencial de innovar, aparecen y le colocan un atractivo envoltorio a la idea; no obstante con el crecimiento tecnológico y la demanda del mercado, el diseño se convirtió en un elemento de valor, ahora el rol ha cambiado, de modo que en lugar de pedir a los diseñadores que conviertan una idea ya desarrollada en una más atractiva para los consumidores, las empresas solicitan que se creen ideas que satisfagan mejor los deseos y las necesidades de los consumidores. El primer papel es táctico y genera una creación limitada de valor. El segundo es estratégico y conduce a enormes formas nuevas de valor [52].

Adoptar la manera de pensar de los diseñadores puede transformar el modo en el que se desarrollan productos, servicios, procesos y estrategias [53]. *Harvard Business Review* define el *Design Thinking* como una disciplina que usa la sensibilidad y los métodos del diseñador para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible, y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertir un elemento de valor para el cliente así como una oportunidad de mercado [52].

La propuesta del *Design Thinking* consiste en trabajar con *mindsets* como, centrarse en el usuario, integrar la experimentación, enfocarse a la acción y ser consciente en el proceso. Sin embargo, el modelo puede variar según el área en la que se aplique esta disciplina, para el desarrollo de este trabajo se consideran las etapas propuestas por el Hasso-Plattner Institute of Design de Stanford [54].

Como se presenta en la Fig. 4.1 el *Design Thinking* se basa en 5 etapas:



- **Empatizar:**
Este es el elemento principal del proceso de diseño, por lo que se basa en entender las necesidades, experiencias, motivaciones y limitaciones del usuario a quien va dirigido.
- **Definir:**
Esta etapa se centra en enfocar el problema a resolver, el objetivo es obtener un planteamiento significativo y procesable del problema, de manera que invite a la acción.
- **Idear:**
Esta etapa se centra en la generación de ideas y constituye la transición entre la identificación de problemas y la creación de soluciones para los usuarios.
- **Prototipar:**
El prototipado consiste en la construcción de un artefacto (prototipo) que permita llegar al producto final. El objetivo es dar forma tangible a las soluciones e ideas trabajadas en las etapas anteriores.
- **Evaluar:**
Finalmente, la etapa de evaluación involucra a los usuarios con el objetivo de poner a prueba y refinar el prototipo propuesto, así también, esta prueba permite aprender y observar cómo interactúa el usuario con el prototipo y obtener retroalimentación para ponderar si la propuesta es viable o requiere ser replanteada.

4.2. Design Thinking aplicado al desarrollo de una plataforma de hardware para proyectos de IoT

4.2.1. Empatizar

Planteamiento del problema

Hasta este punto del trabajo, con los prototipos montados en protoboard así como el desarrollo del nodo de prueba, presentado en el Capítulo 3, han permitido identificar los retos que implica montar una WSN, se ha experimentado con el protocolo de comunicación MQTT, se han tenido interacciones con las plataformas comerciales como Adafruit IO, y se ha puesto a prueba el desempeño del módulo ESP32.

Este ejercicio realizado es esencial para sentar las bases que permiten entender los principios de funcionamiento tanto del hardware como del software, y despejar dudas de la posibilidad de integrar una red de sensores y actuadores inalámbricos, utilizando el módulo ESP32.

No obstante, es importante recalcar que el objetivo principal de este trabajo es desarrollar hardware que facilite la integración de proyectos de IoT, de modo que el usuario final pueda adquirir conocimiento a través de la práctica, y tenga la capacidad de desarrollar pruebas de concepto en el menor tiempo posible, comparado con lo que tardaría desarrollar estas habilidades con hardware tradicional.

Por lo tanto, en el desarrollo de estos dispositivos se deben considerar aspectos que permitan añadir elementos de valor, como flexibilidad, interoperabilidad y diseño, esto con la finalidad de lograr una plataforma estandarizada que pueda ser escalable y permita adaptar la mayoría de sensores y actuadores disponibles en el mercado, logrando de este modo ofrecer no solo un kit de tarjetas electrónicas, sino un medio en el que se puedan ofrecer soluciones a medida y que invite al usuario a tomar acción y experimentar con nuevas ideas para el IoT.

4.2.2. Definir

Importancia de la situación

En un entorno donde operan innumerables dispositivos heterogéneos de diferentes tipos y perfiles técnicos, desarrollar la capacidad de comunicarse entre ellos y hacerlos fácilmente accesibles es uno de los principales desafíos del IoT [55].

La interoperabilidad es un aspecto clave en el desarrollo de sistemas IoT, ya que permite que los dispositivos y las plataformas de diferentes fabricantes trabajen juntos de manera fluida y eficiente [56].

El crecimiento exponencial de la tecnología, representa un problema para los desarrolladores en cuanto a compatibilidad, interoperabilidad y escalabilidad [57].

Uno de los principales desafíos es la falta de estándares comunes y protocolos de comunicación entre dispositivos y plataformas. Cada fabricante puede tener su propio conjunto de estándares y protocolos, lo que dificulta la integración de diferentes dispositivos en un sistema cohesivo. La falta de uniformidad dificulta la interoperabilidad, limita la adopción masiva, y puede llevar a la fragmentación del ecosistema del IoT [56].

4.2.3. Idear

Propuesta de diseño

Uno de los principales objetivos es desarrollar una plataforma de hardware modular en donde el usuario pueda interactuar con el hardware sin la necesidad de realizar conexiones complejas, pero a la vez tenga la posibilidad de aprovechar las ventajas del módulo ESP32 como GPIOs, pines de alimentación y protocolos de comunicación, de modo que se reduzca el tiempo invertido en el montaje del hardware para que el usuario pueda concentrar esfuerzos en experimentar con las plataformas de IoT, los servicios en la nube, la automatización de tareas o el análisis de datos.

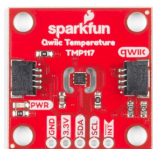
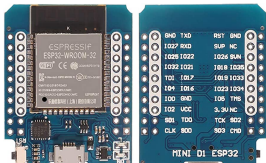
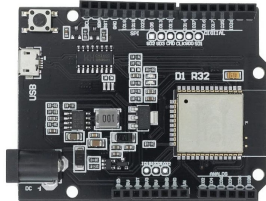



Modelo	Pinout	Descripción	Dimensiones
Qwiic conector		El sistema Qwiic Connect de SparkFun utiliza conectores JST de 4 pines destinados al protocolo I2C para interconectar rápidamente placas de desarrollo con sensores, pantallas LCD, relés etc [58].	19.05 × 7.62 mm
Wemos D1mini		El formato Wemos D1 mini distribuye los pines en dos filas a cada costado de 10 pines cada una, lo que le permite tener un tamaño compacto [59].	31 × 39 mm
Wemos D1 R32 con ESP32 en formato Arduino Uno R3		El formato de Arduino R3 distribuye los pines GPIO del ESP32 para mantener la compatibilidad con los shields desarrollados para Arduino uno R3 [60].	68.5 × 53.7 mm
MicroMod		El estándar MicroMod está diseñado para intercambiar controladores, aprovecha el conector y la especificación M.2 [61].	Cada placa de procesador mide aproximadamente 22 × 22 mm
Edge Connector & micro:bit pinout		Hay 25 pines que incluyen 5 anillos para usar con conectores tipo banana de 4 mm o pinzas de cocodrilo. 3 de estos anillos son para entrada y salida de propósito general (GPIO) y también son capaces de detección analógica, PWM y táctil, y dos están conectados a la fuente de alimentación micro: bit [62].	43 × 52 mm
mikro BUS Standard		El pinout (siempre dispuesto en el mismo orden) consta de tres grupos de pines de comunicaciones (SPI, UART e I2C), seis pines adicionales (PWM, interrupción, entrada analógica, reinicio y selección de chip) y dos grupos de alimentación (3,3 V y GND en el header izquierdo, y 5 V y GND en el header derecho 1×8) [63].	S: 28.6 × 25.4 mm, M: 42.9 × 25.4 mm, L: 57.15 × 25.4 mm.

Tabla 4.1. Formatos comerciales de distribución de pines.

Actualmente, existen distintos formatos de diseño para la distribución de pines que dependen del tipo de microcontrolador, así como del fabricante, la Tabla. 4.1 muestra algunos ejemplos. Cada uno de los formatos presentados, permiten la compatibilidad con otras tarjetas que mantienen la misma distribución de pines, ya sea de la misma compañía o un fabricante externo.

No obstante, el estándar mikroBUS™ tiene una distribución que permite aprovechar mejor el espacio y no requiere de un socket específico, como es el caso del Qwiic® connector, el MicroMod con el puerto M.2 o el Edge Connector de micro:bit, además, es compatible con más de 1200 módulos y más de 90 empresas, incluidas Microchip, Texas Instruments, Analog devices, ST, Renesas, BOSH y Silicon Labs han incluido este estándar en el diseño de sus tarjetas de desarrollo [64].

Creado por MikroElektronika, mikroBUS™ es un estándar abierto, por lo que es posible implementarse en cualquier diseño de hardware siguiendo los requisitos establecidos en las reglas de diseño, la distribución de los pines se muestra en la Fig. 4.2, con este formato es posible conectar módulos, alimentarlos y comunicarlos entre sí mediante los protocolos de comunicación SPI, UART o I2C, es importante mencionar que este estándar está diseñado para conectar en su mayoría sensores y actuadores por lo que se dispone de un pin analógico, un pin para señales PWM, un pin de Reset así como un pin de interrupción.

Otra de las ventajas de este estándar comparado con otros formatos de distribución de pines es que permite trabajar con voltajes de 3.3 V, así como 5 V.

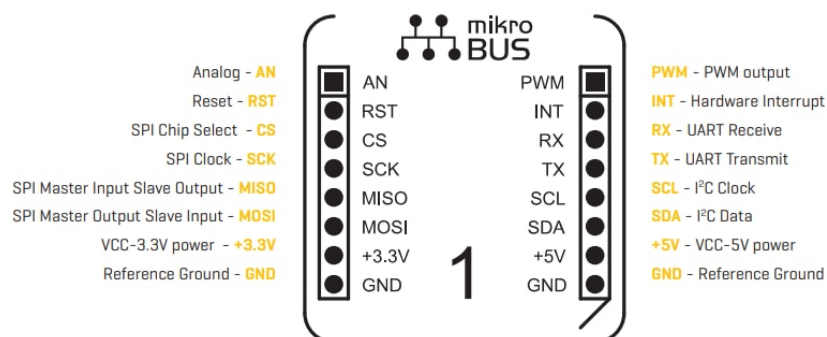


Figura 4.2. Distribución de pines del estándar mikroBUS.

Las reglas de diseño proporcionadas por MikroElektronika, así como el etiquetado y el uso de logotipos se muestran en el Apéndice B.1.

Para el desarrollo de esta nueva versión de módulos, aparte de elegir el modelo estandarizado de mikroBUS™ para distribuir los pines de conexión, también es importante mencionar que se han tomado en cuenta los elementos y recomendaciones de los fabricantes tanto del módulo ESP32, así como de los sensores y actuadores para poder ejecutar un diseño que permita la interoperabilidad entre plataformas, permitiendo realizar las conexiones entre módulos como si se tratara de bloques, en lugar de tener cables adicionales, de modo que el usuario pueda ejecutar sus proyectos sin tener que perder tiempo en montar un circuito electrónico adicional.

Así mismo, con esta nueva versión comparada con el nodo de prueba, se aprovecharán las ventajas de la miniaturización haciendo uso de componentes electrónicos SMD 0603, así como de los procesos de fabricación con acabados de grado industrial, logrando de este modo un producto con la calidad requerida por el usuario y el mercado.

4.2.4. Prototipar

Creación y experimentación

El proceso de prototipado se resume en 3 etapas, como se muestra en la Fig. 4.3, las Etapas 1 y 2 se describen en el Capítulo 3, por lo que en esta sección se hace énfasis en la Etapa 3.

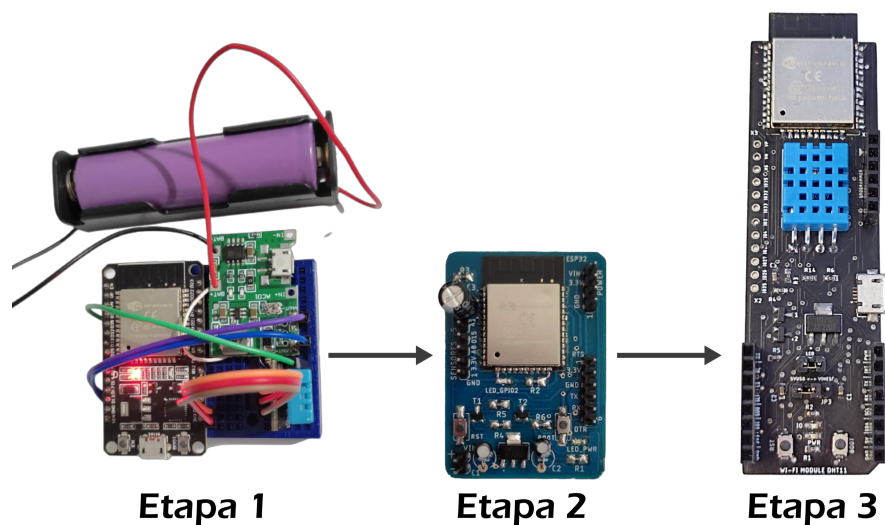


Figura 4.3. Etapas de diseño del Módulo Wi-Fi.

Para el desarrollo de esta nueva versión de módulos Wi-Fi comparada con la propuesta de la versión 1 que se muestra en la Fig. 3.44, tomando en cuenta la idea de realizar conexiones como si se tratara de bloques, surgen dos tarjetas, el módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11 v2.0 y el Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0.

Las características de estos se describen a continuación:

- **Módulo Wi-Fi con sensor integrado v2.0**

En la Fig. 4.4, se describen las especificaciones de la versión 2.0 del Módulo Wi-Fi con sensor integrado, este nuevo diseño comienza con la reubicación del módulo ESP32, considerando las recomendaciones de diseño del fabricante para garantizar el correcto funcionamiento de la antena ver Apéndice B.4.

Así mismo se ha integrado el sensor directamente en el diseño, de modo que no sea necesario adicionar ningún otro elemento electrónico externo para poder utilizarlo; en la parte lateral derecha se dispone de una fila de 6 pines que permiten conectar un convertidor USB-TTL basado en el CP2102, esto permite conectar el módulo mediante USB para poder cargar código o visualizar los datos por un puerto serial, en la parte lateral izquierda se dispone de 12 pines GPIOs que están conectados directamente al módulo ESP32, esto permite al usuario disponer de una mayor cantidad de entradas y salidas.

En la parte inferior central se cuenta con un selector de voltaje que permite configurar el módulo para poder alimentarlo, ya sea mediante un puerto micro USB o mediante el módulo de batería que se muestra en la Fig. 4.5.

Así también, se han adicionado dos LEDs, el LED indicador de conexión está conectado directamente al GPIO2 del ESP32 y es utilizado para indicar si el módulo tiene conexión a Wi-Fi.

El LED PWR indica que el módulo está encendido, adicionalmente este cuenta con un jumper que permite habilitar o deshabilitar la alimentación del mismo con la finalidad de ahorrar energía cuando el módulo está funcionado con baterías.

El diseño cuenta con dos botones, RESET para restablecer el módulo y BOOT para habilitar la programación.

En la parte trasera se ha adicionado un selector que permite configurar el UART2 del ESP32, de modo que es posible realizar la conexión con la finalidad de favorecer la compatibilidad con los módulos que se comunican mediante este protocolo.

Finalmente, la distribución y dimensiones de la PCB se realizó siguiendo las especificaciones para favorecer la compatibilidad con el estándar mikroBUS™.

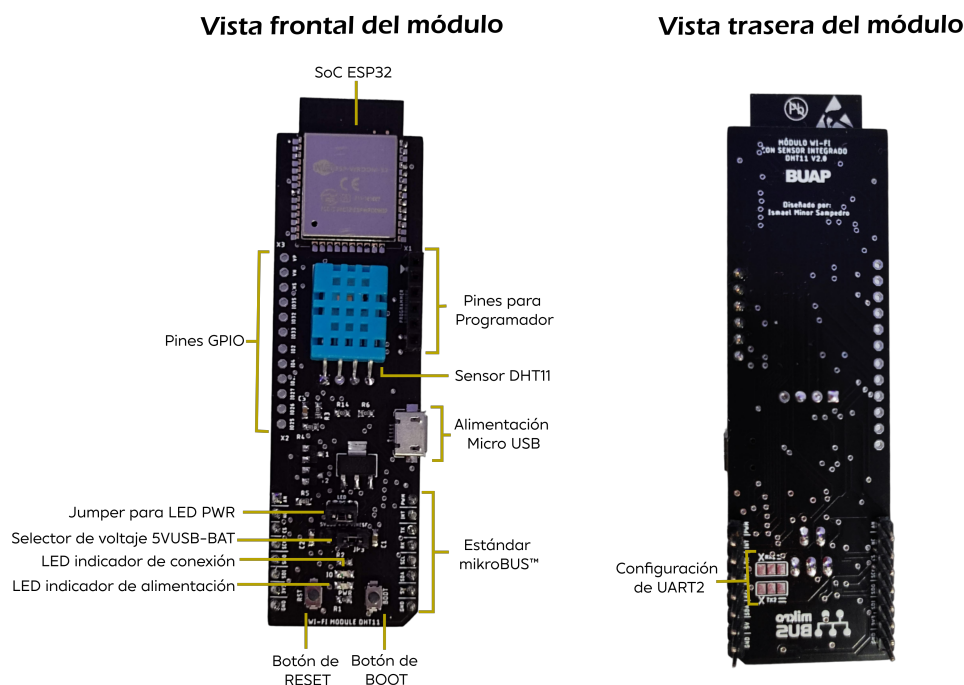


Figura 4.4. Vista frontal y trasera del Módulo Wi-Fi con sensor integrado v2.0.

■ Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0

El Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0 que se muestra en la Fig. 4.5, también tiene un rediseño respetando las dimensiones y el estándar mikroBUS™.

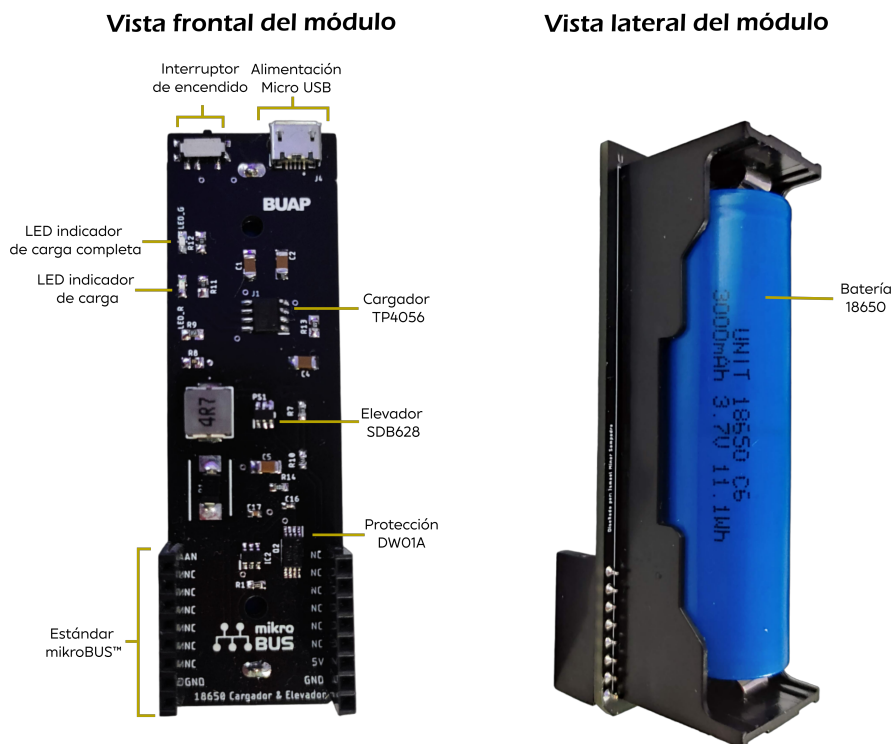


Figura 4.5. Vista frontal y lateral del Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0.

Cuenta con un puerto micro USB que facilita la conexión para realizar la carga de la batería con un cargador de 5 V, así mismo en esta tarjeta se integra el elevador de voltaje que ofrece a la salida 5.2 V. Considerando la seguridad se ha integrado una etapa de protección con el circuito integrado DW01A que prolonga la vida de la batería y evita una sobrecarga.

Los LEDs indicadores ayudan a identificar cuando el módulo se encuentra en modo de carga (LED rojo) y cuando la batería está completamente cargada (LED verde).

En la parte trasera se ha colocado un porta batería, que mantiene fija la batería 18650 al módulo, evitando de este modo el uso de cables.

Finalmente, la distribución de pines del estándar mikroBUS™, permite realizar conexiones rápidas y sencillas y se aprovecha el pin analógico para enviar al módulo Wi-Fi una señal que permite estimar el porcentaje de la batería, por lo que solo es necesario apilar los módulos a través de los pines del estándar como si se tratase de bloques, tal como se muestra en la Fig. 4.6.

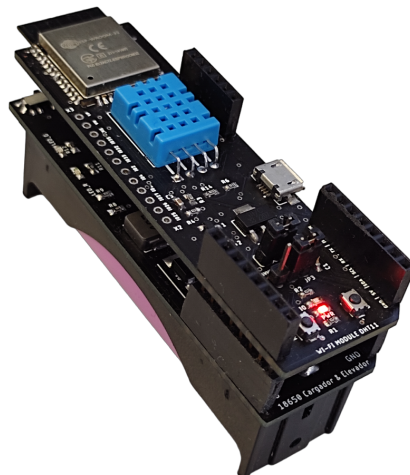


Figura 4.6. Modo de conexión entre módulo mediante el estándar mikroBUS™.

Con la implementación de un modelo estandarizado es posible reducir el tamaño sin complicar la distribución de los componentes electrónicos Fig. 4.7,

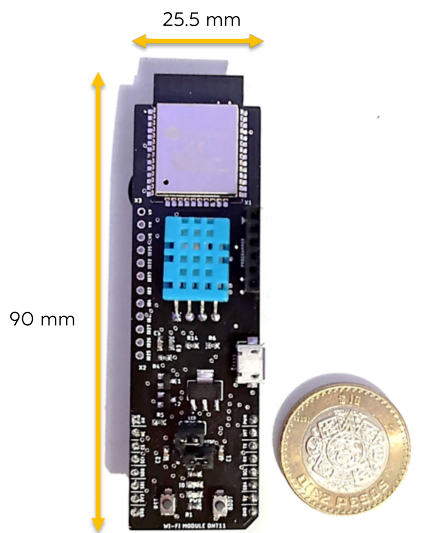


Figura 4.7. Dimensiones del Módulo.

4.2.5. Evaluar

Implementación y mejora del producto

Para evaluar la respuesta ante la nueva propuesta de hardware producto de la Etapa 3 del prototipado, se diseñó un taller con una duración de 2 horas, en donde se tomó como muestra un grupo de 12 alumnos del programa académico de “Licenciatura en Gestión de Ciudades Inteligentes y Transiciones Tecnológicas” (GCITT), de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México (BUAP).

Es importante mencionar que, para esta prueba, los alumnos se encuentran en el segundo año del ciclo formativo de su programa académico, por lo que los tópicos vistos hasta este momento se basan en: Internet de las cosas y servicios en la nube, manejo y análisis de información y diseño de servicios tecnológicos enfocados al usuario.

El objetivo de este taller es que los alumnos interactúen por primera vez con el hardware propuesto, para poder evaluar aspectos como el nivel de participación, la practicidad en la interacción con los módulos Wi-Fi y el tiempo empleado en el cumplimiento de las actividades.

Adicionalmente, se diseñó una encuesta para obtener retroalimentación del grupo para entender las dificultades encontradas y tomar en cuenta las recomendaciones para mejorar el hardware.

La metodología aplicada en el taller se describe en los siguientes puntos:

- Implementar un taller presencial de 2 horas en laboratorio con los alumnos de segundo año de la Licenciatura GCITT.
- Como introducción se presenta la definición de IoT, las características de las plataformas IoT comerciales, así como las características y modos de configuración del hardware.
- Se desarrolla una práctica en la que los alumnos sean capaces de enviar datos de humedad, temperatura y porcentaje de batería, así como recibir datos para encender un LED mediante el protocolo MQTT.
- Como primer paso, los alumnos crearán una cuenta en Adafruit IO, guardarán sus credenciales, nombrarán los *feeds* para las variables, y diseñarán un *dashboard* para visualizar la información.
- Se les proporcionará el código de ejemplo para que el alumno lo personalice con sus datos.
- El alumno configura el módulo para programarlo y visualiza los datos en la plataforma.
- Al final del taller se les aplica un test cuantitativo para identificar que tan difícil resultó el uso de estos dispositivos basado en sus conocimientos previos.
- Se evalúan las primeras impresiones mediante una matriz de feedback con la finalidad de obtener información del valor sobre el prototipo desarrollado.

4.2.6. Resultados del taller

Durante el desarrollo de este taller se presentaron las características del módulo Wi-Fi así como los modos de uso, posteriormente cada uno de los participantes se registró y creó un dashboard en la plataforma de Adafruit IO como se muestra en la Fig. 4.8, para poder visualizar los datos que envía el sensor mediante Wi-Fi.

De este modo, cada uno de los participantes tuvo la oportunidad de trabajar con las tarjetas y se logró desarrollar la práctica propuesta en el tiempo establecido.

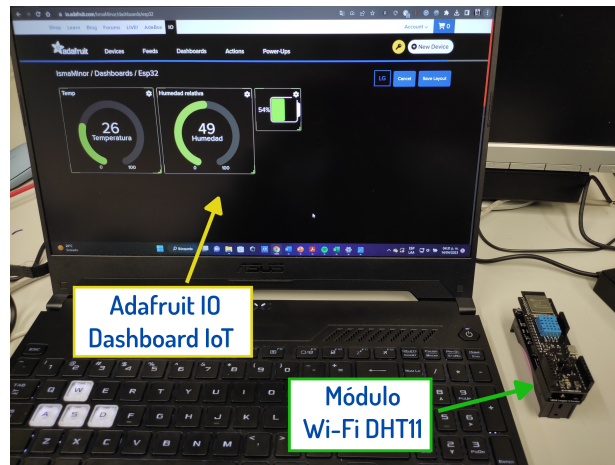


Figura 4.8. Resultado de Implementación de taller con alumnos de la Licenciatura en Gestión de Ciudades Inteligentes y Transiciones Tecnológicas.

Los resultados de la encuesta aplicada al final del taller se muestran a continuación:

Se les preguntó acerca de su experiencia previa interactuando con este tipo de dispositivos para aplicaciones de IoT, de los cuales, como se muestra en la Fig. 4.9, un 50 % declaró tener muy poca experiencia, mientras que el 42 % dijo tener experiencia intermedia.



Figura 4.9. Experiencia previa del usuario con dispositivos para aplicaciones de IoT.

Otro aspecto importante de este taller es entender que tan difícil resultó para el usuario poder interactuar con la tarjeta, en la Fig. 4.10, se muestra que a pesar de ser la primera vez, ninguno de los usuarios consideró que le resultara difícil.

Así mismo, se les preguntó si considerarían utilizar estas tarjetas en el desarrollo de prácticas y proyectos para su formación académica, de los cuales un 92 % respondió que sí los utilizaría.

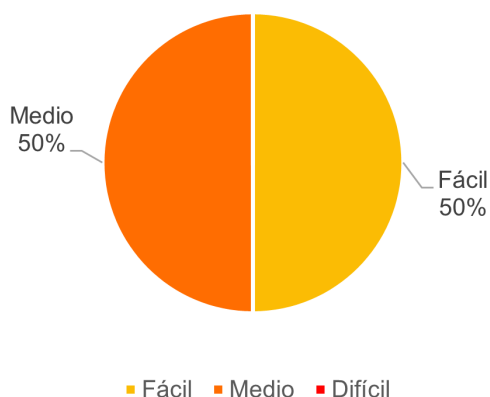


Figura 4.10. Nivel de dificultad al interactuar con la tarjeta.

Finalmente, con los datos recabados producto de la observación de participación en el taller, así como los datos de la encuesta, es posible estructurar los resultados en una matriz de feedback, la cual, de acuerdo con el Centro Europeo de Empresas e Innovación, permite la recolección sistemática y ordenada de las primeras impresiones de los usuarios que han intervenido en el proceso de testeo del prototipo, con la finalidad de obtener información del valor sobre el prototipo desarrollado [65].

En el primer cuadrante, se indican las cosas que más han gustado al usuario, en el segundo, las críticas constructivas que suman y aportan valor al resultado final, en el tercero se seleccionan las preguntas que surgen durante la prueba y finalmente en el cuarto se colocan las nuevas ideas que hayan surgido.

Matriz de Feedback

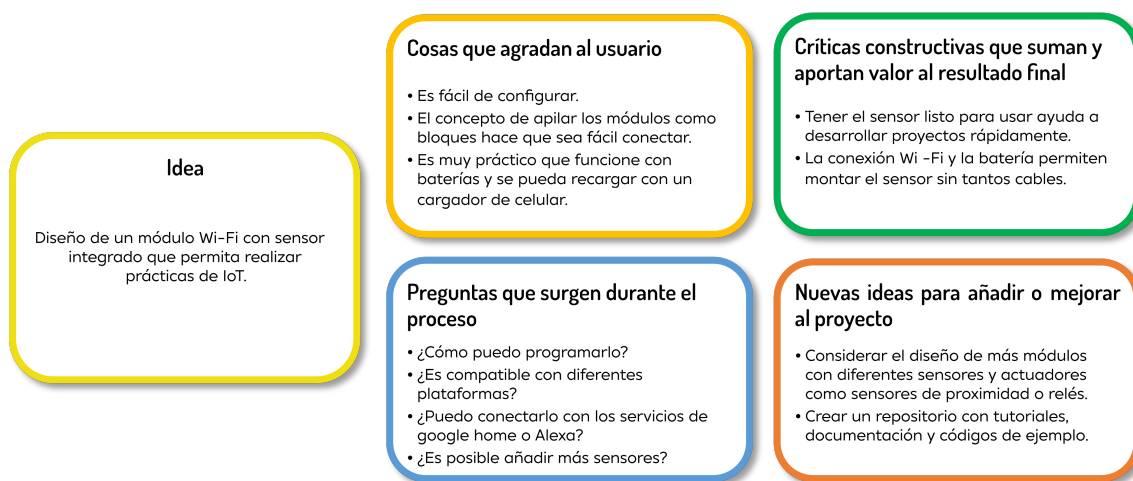


Figura 4.11. Matriz de feedback para la evaluación de la idea.

Analizando los datos obtenidos en la matriz de la Fig. 4.11, se puede observar que la primera impresión de los usuarios con la tarjeta fue positiva, cada uno fue capaz de interactuar y entender los modos de funcionamiento, el formato de apilar las tarjetas despertó el interés de los usuarios a realizar pruebas añadiendo más elementos como si fueran bloques, sin tener la preocupación de tener conexiones complejas de cableado, la conexión a Wi-Fi y el uso de baterías permite la practicidad de trabajar en un laboratorio o en un aula de clases sin la necesidad de tener una estación de trabajo fija, por otro lado, al reforzar el conocimiento teórico mediante la práctica permite que el alumno amplíe su panorama, conozca las herramientas y plataformas que hay disponibles en el mercado y la industria, y a partir de este conocimiento este sea capaz de cuestionarse y mejor aún, proponer soluciones haciendo uso de la tecnología moderna.

4.3. Resultados

Luego de aplicar la metodología del *Design Thinking* y haber evaluado el producto con un grupo de alumnos con los conocimientos básicos en temas de IoT; se puede concluir que las primeras impresiones fueron positivas, no obstante, antes de pasar a un proceso de producción para el resto de los sensores y actuadores propuestos en este trabajo, se realizó un ejercicio adicional en el que se presentó el módulo y sus características a usuarios de otras disciplinas, así como desarrolladores expertos en el tema de soluciones de IoT y comercializadores de esta tecnología.

Este ejercicio se realizó en 3 eventos diferentes:

- “6° Taller de Mecatrónica Moderna” organizado en la Universidad Politécnica de Tlaxcala [66], Apéndice C.1.
- “IoT Talks” organizado por la comunidad de IoT de Perú [67], Apéndice C.2.
- “IoT DAY CDMX” organizado por Electroners Magazine y Mouser Electronics, Apéndice C.3.

El objetivo de estas pláticas es presentar el prototipo con la finalidad de obtener retroalimentación que permita mejorar y complementar el producto final.

De este modo, tomando en cuenta los datos de la matriz de feedback, así como las recomendaciones de los expertos, la propuesta de hardware ha sido bien recibida por la comunidad, no obstante surgen cuestionamientos e interés acerca de ¿cómo implementar los dispositivos?, ¿con qué lenguajes de programación es compatible?, ¿con qué plataformas comerciales se pueden conectar?, Así como sugerencias de sensores y actuadores para adaptarse a este modelo.

Con estas consideraciones, surge la necesidad de llevar el prototipo no solo a un kit de tarjetas electrónicas, sino a la creación de una plataforma que se complemente con las herramientas necesarias de hardware y software, para que el usuario final cuente con todo el soporte necesario para poder llevar a cabo el desarrollo de proyectos de IoT; es así como surge ESP-Modulink.

4.4. ESP-Modulink

ESP-Modulink es una plataforma de Hardware Modular *Low Code* para proyectos de IoT [68].

Está integrada por un kit de módulos Wi-Fi con sensores y actuadores que facilitan la integración de proyectos y pruebas de concepto de IoT sin la necesidad de cables o código complejo, y se complementa con un sitio web en el que se reúne toda la documentación técnica de cada uno de los módulos Wi-Fi, códigos de prueba, así como ejemplos de proyectos y videotutoriales. La estructura de la plataforma se muestra en la Fig. 4.12:



Figura 4.12. Estructura de la plataforma ESP-Modulink.

Como se puede apreciar en la Fig. 4.12, la plataforma se conforma por el hardware dividido en 3 secciones: Módulos Wi-Fi con Sensor Integrado, Módulos Wi-Fi de Salida y los complementos (Módulo de batería y Módulo programador); para la parte del software, esta se divide en dos secciones: Modo Low Code y el Modo Desarrollador. Las características de cada sección se describen a continuación:

4.4.1. Módulos Wi-Fi con sensor integrado

4.4.1.1. Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP



Figura 4.13. Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP.

Este módulo Fig. 4.13, integra el sensor MQ-6, el cual varía su resistencia al detectar concentraciones en el ambiente de gases inflamables como gas LP (propano) y gas natural (Metano) en un rango de 200 a 10000 ppm, el módulo puede configurarse para realizar una lectura analógica que permita medir el cambio progresivo en la concentración de gases así como una lectura digital en donde el umbral de detección puede ser ajustado para enviar una alerta, estos datos son procesados por el módulo ESP32 para devolver los datos en la unidad correspondiente.

La integración de este módulo es ideal para ser un auxiliar en la detección de fugas de gas, ya que evita los errores introducidos por alcohol, el humo de cocina y de cigarrillos, además es compacto, y puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V.

Descripción de Hardware

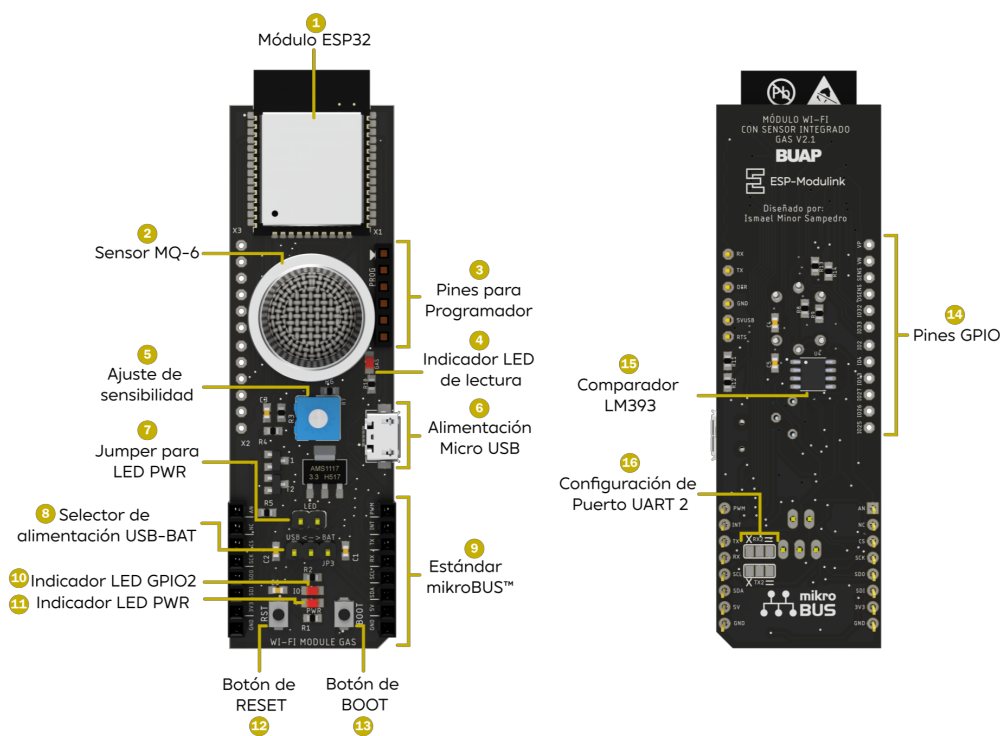


Figura 4.14. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado mikro GAS LP.

	Componente	Descripción
1	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WFA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
2	Sensor MQ-6	El sensor MQ-6 tiene una alta sensibilidad a concentraciones de gas LP en un rango de 200 a 10000 ppm, su estructura se compone de dos capas de malla de acero inoxidable que aseguran el elemento calentador que se encuentra al interior y filtran las partículas para que solo los gases accedan a la cámara.
3	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
4	Indicador LED de lectura	Este LED funciona como indicador de presencia de gas, cuando el sensor esté trabajando con una lectura digital.
5	Ajuste de sensibilidad	El ajuste de sensibilidad permite ajustar el umbral de detección del sensor, se recomienda calibrar con una muestra de gas en un ambiente controlado, de este modo cuando la lectura supere el umbral se enviará una señal digital al pin DSENS (GPIO15) del módulo ESP32 y se encenderá el Indicador LED de lectura.
6	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
7	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
8	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
9	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.
10	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
11	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
12	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
13	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
14	Pines GPIO	Se dispone de una serie de pines digitales y analógicos de propósito general Input /Output, lo que permite añadir nuevos elementos (Sensores y Actuadores), así como se tiene un pin destinado para visualizar la señal de salida digital del sensor integrado (DSENS-GPIO15), así como la señal de salida analógica (SENS-GPIO35)
15	Comparador LM393	Se integra el LM393 como comparador de voltaje para poder utilizar la configuración de salida digital del sensor.
16	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.

Tabla 4.2. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.3.

4.4.1.2. Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR

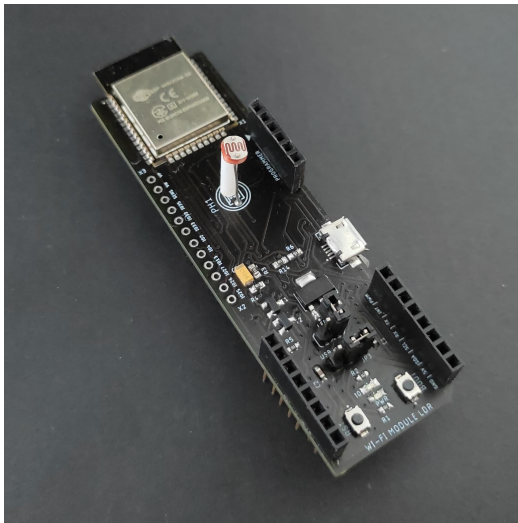


Figura 4.15. Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.

Este módulo Fig. 4.15, integra un sensor LDR, el cual consiste en una fotorresistencia que cambia su valor con respecto a la cantidad de luz que incide sobre su superficie, cuanto mayor sea la intensidad de luz menor será la resistencia. La salida de los datos es analógica y se procesa a través del módulo ESP32 para devolver los datos en la unidad de medida correspondiente.

La integración de este módulo es ideal para funcionar con un auxiliar para luces automáticas, atenuadores de sistemas de iluminación o detectores de día y noche. Además, es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su tamaño compacto, modo de conexión Wi-Fi y bajo consumo permiten adaptarse al entorno de interés.

Descripción de Hardware

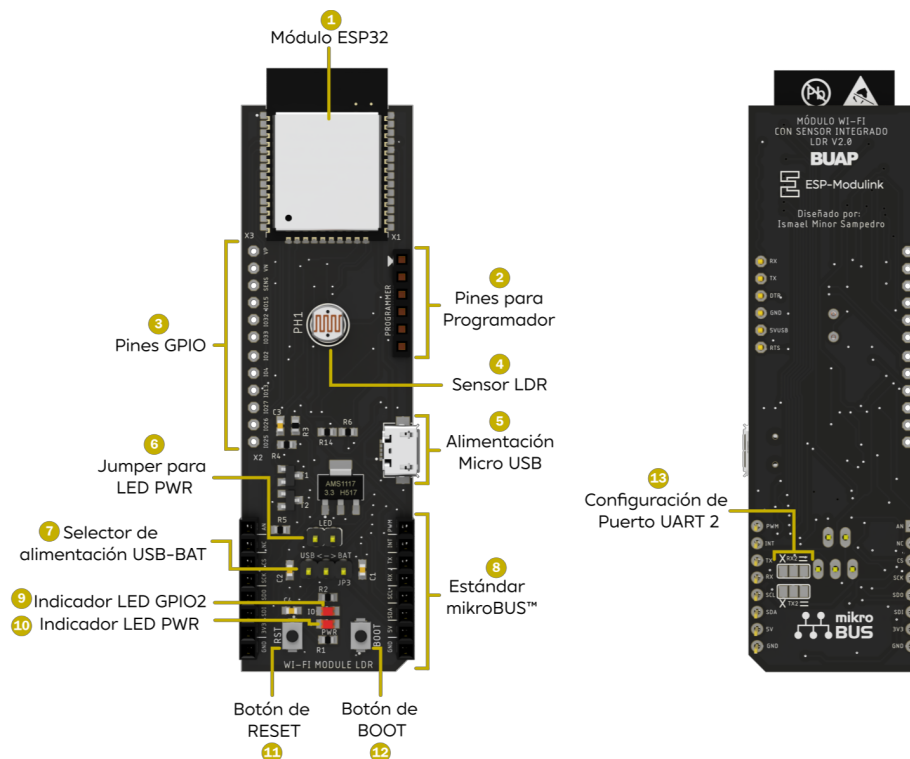


Figura 4.16. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.

	Componente	Descripción
1	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
2	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
3	Pines GPIO	Se dispone de una serie de pines digitales y analógicos de propósito general Input /Output, lo que permite añadir nuevos elementos (Sensores y Actuadores), así como se tiene un pin destinado para visualizar la señal de salida del sensor integrado (SENS-GPIO35).
4	Sensor LDR	El módulo integra un sensor LDR, una fotorresistencia que cuanto mayor sea la intensidad de luz que incida sobre su superficie menor será su resistencia y en cuanto menor sea la luz que incida sobre este mayor será su resistencia. La salida de este sensor es analógica de 0 a 3.3 V.
5	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
6	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
7	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
8	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
12	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
13	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.

Tabla 4.3. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.4.

4.4.1.3. Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture

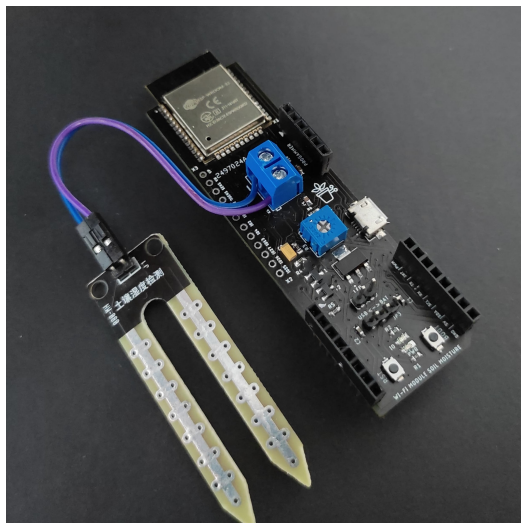


Figura 4.17. Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.

Este módulo Fig. 4.17, integra el sensor YL-69, el cual consiste en una sonda capaz de medir la humedad del suelo mediante la variación de la resistencia eléctrica. Al pasar una corriente eléctrica de baja intensidad a través del suelo, la resistencia cambia su valor en función de la humedad, cuanto más humedad haya en el suelo, menor será la resistencia, y viceversa. El módulo puede configurarse para realizar una lectura analógica que permita medir el cambio progresivo en la humedad del suelo, así como una lectura digital en donde el umbral de detección puede ser ajustado para enviar una alerta, estos datos son procesados por el módulo ESP32 para devolver los datos en la unidad correspondiente.

La integración de este módulo es ideal para ser un auxiliar en la detección de humedad del suelo y aplicaciones en sistemas de riego automatizados, además es compacto, y puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su tamaño compacto, modo de conexión Wi-Fi y bajo consumo permiten adaptarse al entorno de interés.

Descripción de Hardware

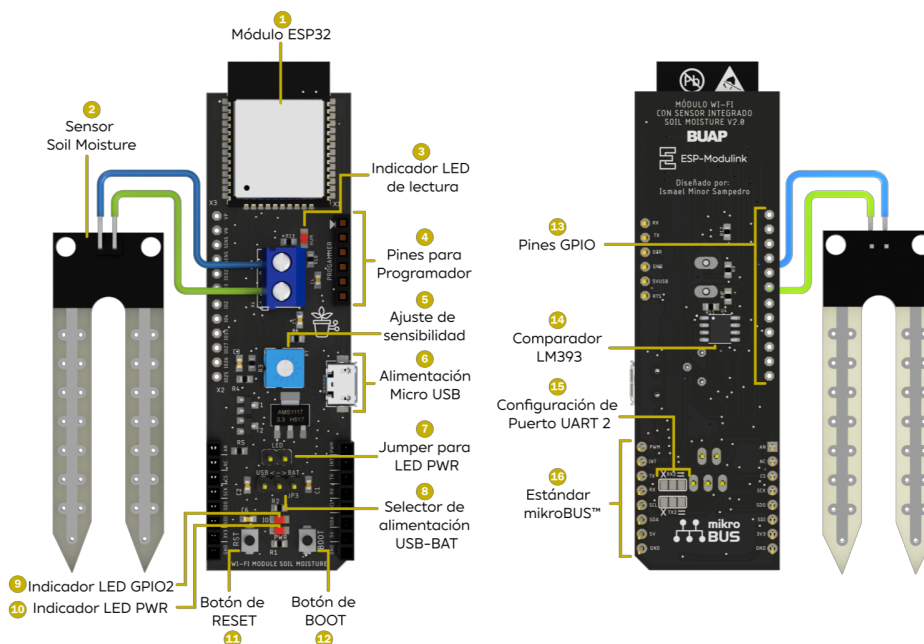


Figura 4.18. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.5.

	Componente	Descripción
1	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
2	Sensor Soil Moisture	El sensor Soil Moisture modelo YL-69 consta de dos sondas metálicas que se insertan en el suelo para medir la humedad mediante la variación de la resistencia eléctrica. Al pasar una corriente de baja intensidad a través del suelo, la resistencia cambia su valor en función de la humedad, cuanta más humedad haya en el suelo, menor será la resistencia, y viceversa. Su capacidad permite monitorear un radio de entre 20 y 30 cm de terreno.
3	Indicador LED de lectura	Este LED funciona como indicador de presencia de humedad en el suelo, cuando el sensor esté trabajando con una lectura digital.
4	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
5	Ajuste de sensibilidad	El ajuste de sensibilidad permite ajustar el umbral de detección del sensor, se recomienda calibrar en un ambiente controlado con suelo seco y húmedo, de este modo cuando la lectura supere el umbral se enviará una señal digital al pin DSENS (GPIO15) del módulo ESP32 y se encenderá el Indicador LED de lectura.
6	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
7	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
8	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
12	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
13	Pines GPIO	Se dispone de una serie de pines digitales y analógicos de propósito general Input /Output, lo que permite añadir nuevos elementos (Sensores y Actuadores), así como se tiene un pin destinado para visualizar la señal de salida digital del sensor integrado (DSENS-GPIO15), así como la señal de salida analógica (SENS-GPIO35).
14	Comparador LM393	Se integra el LM393 como comparador de voltaje para poder utilizar la configuración de salida digital del sensor.
15	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
16	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.4. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture.

4.4.1.4. Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11

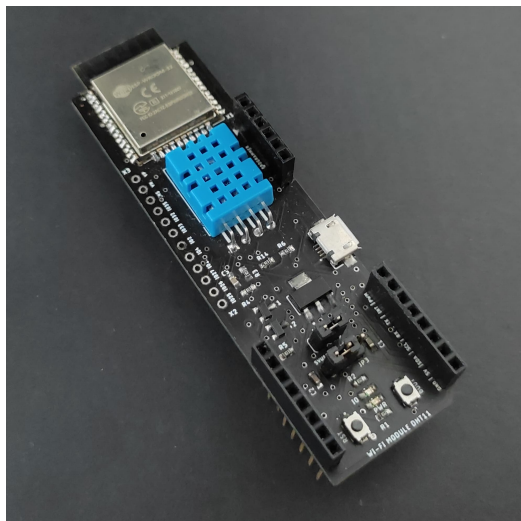


Figura 4.19. Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.

Este módulo Fig. 4.19, integra el sensor DHT11, el cual contiene en su interior un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC. La salida de los datos es digital y se procesa a través del módulo ESP32 para devolver los datos en la unidad de medida correspondiente. El rango de medición para la humedad es de 20 a 90% RH, con una precisión de $\pm 5\%$ y una resolución de 1%. El rango para la temperatura es de 0 a 50 °C, con una precisión de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una resolución de 1 °C.

La integración de este módulo permite monitorizar las variables de humedad y temperatura de manera portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, el modo de conexión Wi-Fi y bajo consumo permiten adaptarse al entorno.

Descripción de Hardware

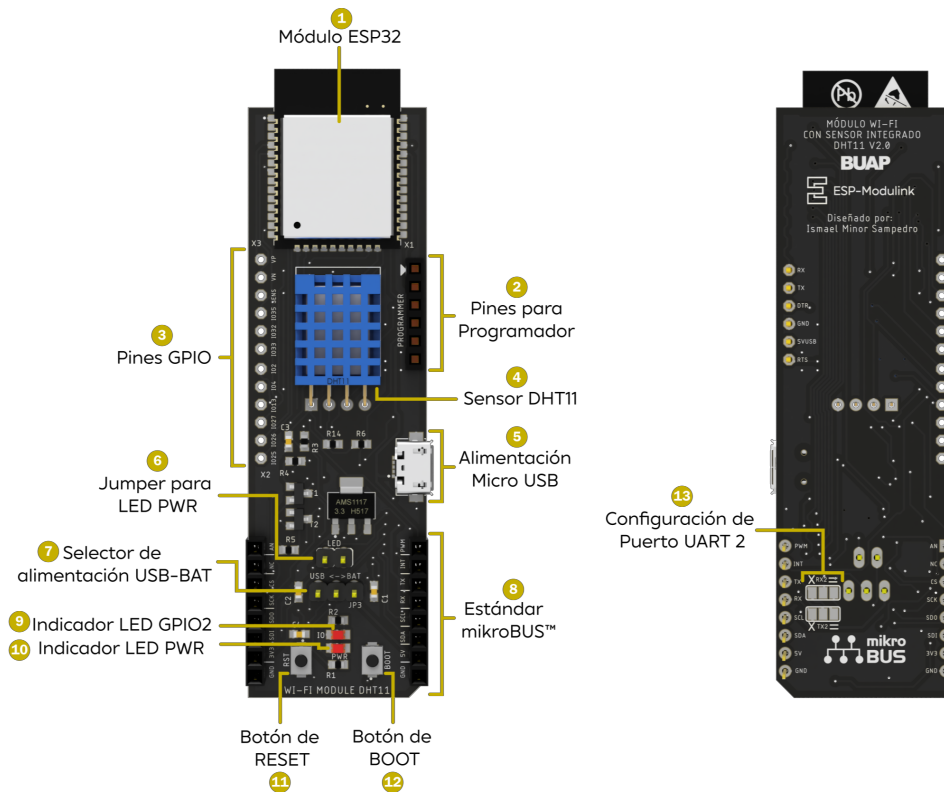


Figura 4.20. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.

	Componente	Descripción
1	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
2	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
3	Pines GPIO	Se dispone de una serie de pines digitales y analógicos de propósito general Input /Output, lo que permite añadir nuevos elementos (Sensores y Actuadores), así como se tiene un pin destinado para visualizar la señal de salida del sensor integrado (SENS-GPIO15).
4	Sensor DHT11	El módulo integra un sensor DHT11 de Temperatura y Humedad Relativa. El rango de medición para la humedad es de 20 a 90 % RH, con una precisión de $\pm 5\%$ y una resolución de 1 %. El rango para la temperatura es de 0 a 50 °C, con una precisión de $\pm 2\text{ °C}$ y una resolución de 1 °C.
5	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
6	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
7	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
8	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
12	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
13	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.

Tabla 4.5. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DHT11.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.6.

4.4.1.5. Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC



Figura 4.21. Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.

Este módulo Fig. 4.21, integra el sensor de corriente alterna SCT-013-100 de núcleo dividido, lo que facilita la instalación, ya que se coloca al rededor del cable para tomar la lectura. Este sensor admite una entrada nominal de 0 a 100 A (RMS) y devuelve una corriente de salida de 0 a 50 mA. El módulo está configurado para realizar la lectura con el módulo ESP32 y se ha calibrado para devolver los valores de la potencia en Watts, así como la corriente en Irms.

La integración de este módulo es ideal para implementarse como monitor de consumo eléctrico en una vivienda o electrodoméstico, así como funcionar como auxiliar en la implementación de sistemas para la gestión de la energía, además es compacto, y puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su modo de conexión Wi-Fi permite adaptarse fácilmente.

Descripción de Hardware

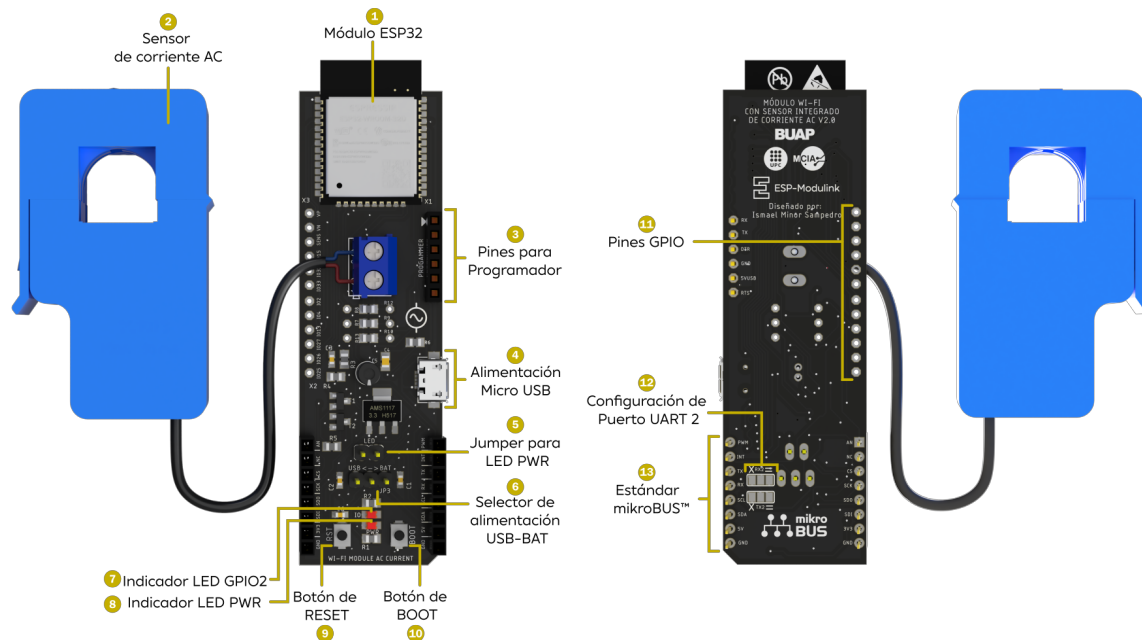


Figura 4.22. Características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.

	Componente	Descripción
1	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
2	Sensor de corriente AC	El sensor de corriente AC modelo SCT-013-100, es un sensor no invasivo de núcleo dividido de ferrita, admite una corriente de entrada nominal de 0 a 100 A (RMS) y devuelve una corriente de salida de 0 a 50 mA, tiene un voltaje de trabajo de hasta 660 V y un rango de frecuencia de 50 Hz a 1 kHz.
3	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
4	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
5	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
6	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
7	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
8	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
9	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
10	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
11	Pines GPIO	Se dispone de una serie de pines digitales y analógicos de propósito general Input /Output, lo que permite añadir nuevos elementos (Sensores y Actuadores), así como se tiene un pin destinado para visualizar la señal de salida analógica (SENS-GPIO35).
12	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
13	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.6. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.7. La implementación de este módulo se describe en el estudio de caso presentado en el Capítulo 5.

4.4.2. Módulos Wi-Fi de Salida

4.4.2.1. Módulo Wi-Fi de Salida Relay

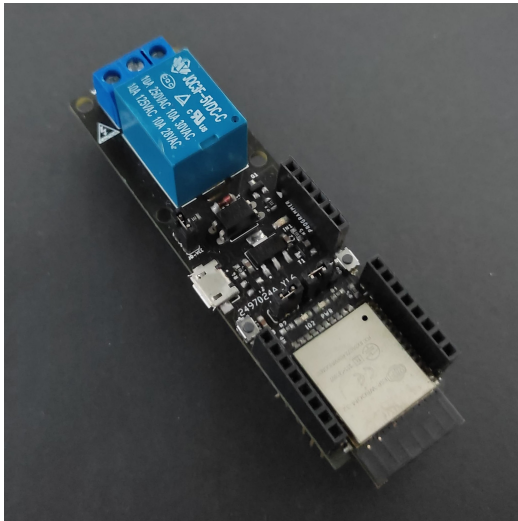


Figura 4.23. Módulo Wi-Fi de Salida Relay.

Este módulo Fig. 4.23, integra un relevador SRD-05VDC-SL-C, este modelo tiene la capacidad de activarse mediante una señal de 5 V y puede accionar dispositivos con una carga máxima en AC de hasta 10 A en voltajes de 125 hasta 250 V, así como cargas en DC de 10 A con 30 V.

La integración de este módulo es ideal para utilizarse como interruptor inteligente para controlar luces, contactos, electrodomésticos y otros dispositivos electrónicos vía Wi-Fi. Además es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V. Se recomienda extremar precauciones cuando se trabajen con los voltajes externos máximos establecidos, ya sea en AC o DC, así mismo se recomienda trabajar con este módulo sobre superficies aisladas.

Descripción de Hardware

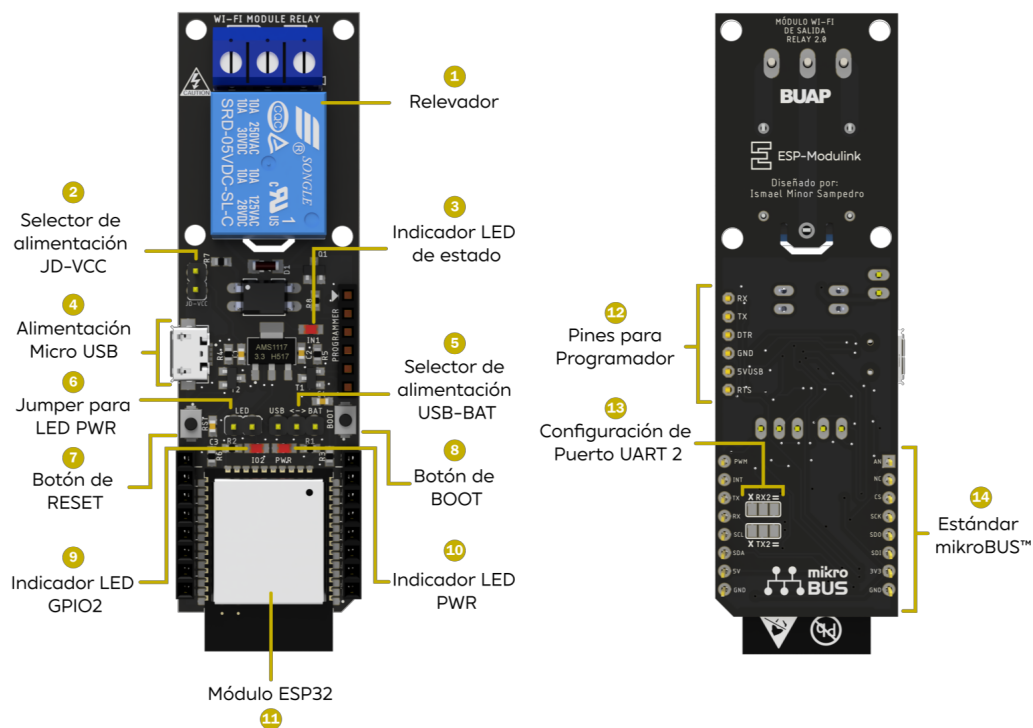


Figura 4.24. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Relay.

	Componente	Descripción
1	Relevador	El relevador SRD-05VDC-SL-C es un interruptor electromagnético que se controla mediante una señal digital de 5 V, admite una carga AC máxima de 10 A en 250 V /125 V así como una carga DC Máxima de 10 A en 30 V, tiene un tiempo de activación de 10 ms y un tiempo de liberación de 5 ms.
2	Selector de alimentación JD-VCC	Este selector permite alimentar el relevador desde la propia fuente del módulo Wi-Fi manteniendo el jumper conectado. Para alimentar el relevador desde una fuente externa y lograr una aislación completa entre la carga y el módulo ESP32 es necesario desconectar el jumper y colocar 5 V en el pin JD-VCC y conectar GND común entre la nueva fuente y el módulo Wi-Fi.
3	Indicador LED de estado	Este indicador LED muestra el estado de la señal proveniente del módulo ESP32 (PIN GPIO 4) que activa o desactiva el relevador.
4	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
5	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
6	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
7	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
8	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
12	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
13	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
14	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.7. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Relay.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.8.

4.4.2.2. Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel

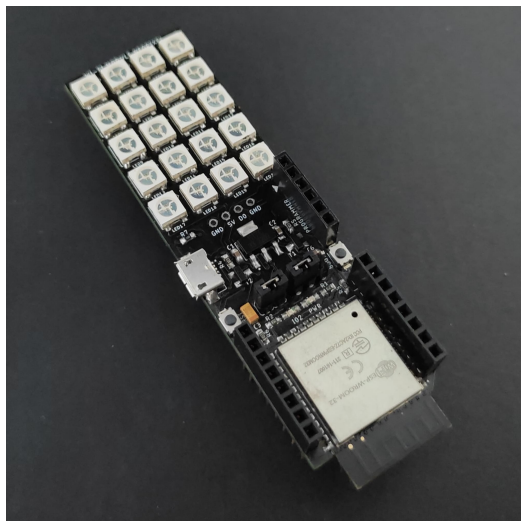


Figura 4.25. Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.

Este módulo Fig. 4.25, integra un panel de 20 LEDs modelo WS2812b, cada LED contiene un circuito integrado que almacena 3 bytes que corresponden a cada color del espectro RGB lo que los hace completamente direccionables e independientes, permitiendo combinaciones de hasta 16 millones de colores, todo desde una sola línea de datos conectada al ESP32 para su control.

La integración de este módulo es ideal para utilizarse como señal luminosa, mostrar mensajes de texto en una matriz de 4 × 5 píxeles, o como módulo para luz ambiental en interiores. Además, es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su tamaño compacto y modo de conexión Wi-Fi le permiten adaptarse al entorno.

Descripción de Hardware

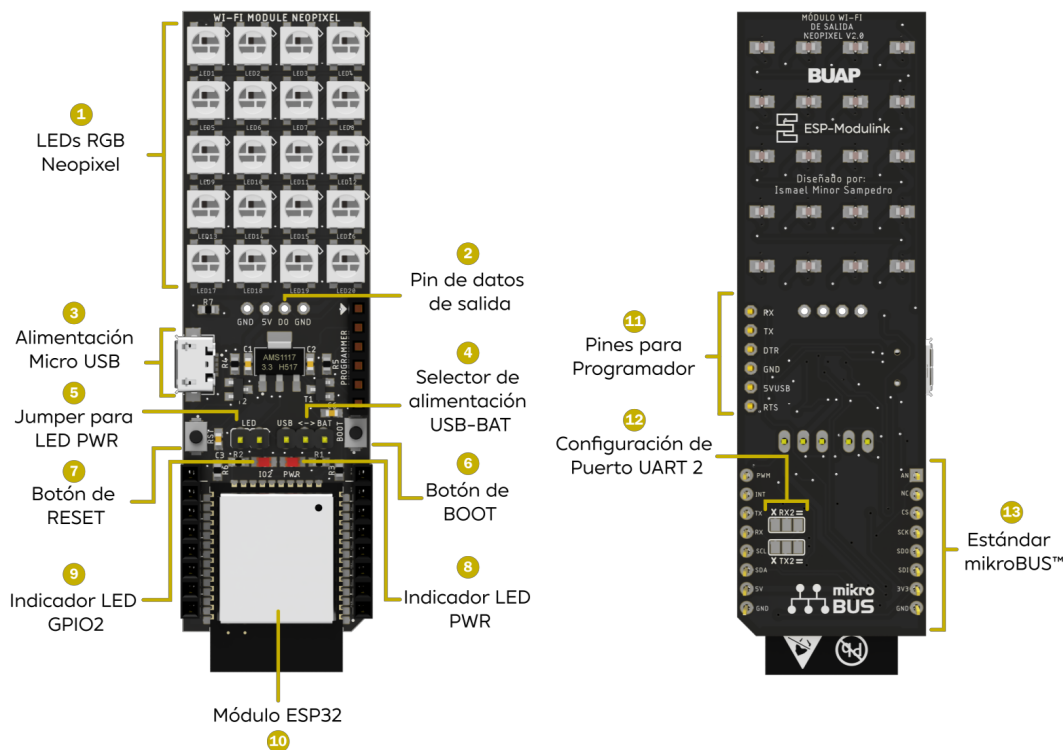


Figura 4.26. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.

	Componente	Descripción
1	LEDs RGB Neopixel	Se integra un panel de 20 LEDs RGB modelo WS2812b, cada LED contiene un circuito integrado que permite configurar el color de manera independiente mediante la transferencia de datos en un solo cable (single NZR communication mode), el consumo por led es de 60 mA (20 mA por color RGB), con un voltaje de entrada de 5 V.
2	Pin de datos de salida	El módulo incluye pines para conectar más LEDs WS2812 ya sea en presentación de tira o matriz, solo se requiere de conectar el pin D0 (GPIO 4) al pin DIN de la nueva tira de LED, los pines de 5 V y GND también están disponibles, es importante considerar el consumo que tiene cada LED, por lo que se recomienda utilizar una fuente externa si se encienden a la máxima intensidad.
3	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
4	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
5	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
6	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
7	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
8	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
11	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
12	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
13	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.8. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.9.

4.4.2.3. Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer

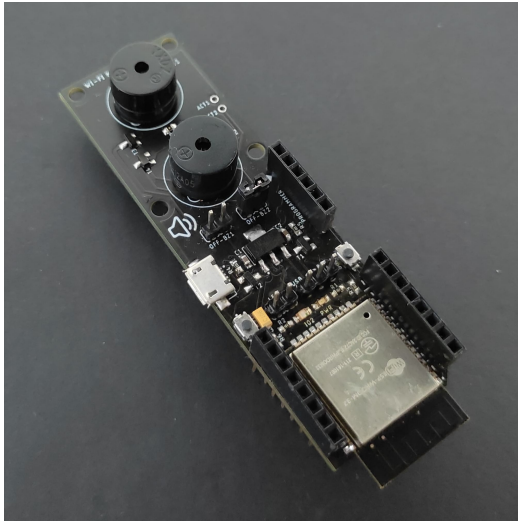


Figura 4.27. Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.

Este módulo Fig. 4.27, integra dos *buzzer* piezoeléctricos de tipo pasivo, lo que permite generar sonidos en un rango de 300 hasta 2300 Hz. El tono generado es configurable dependiendo de la frecuencia de entrada, esto es posible mediante retardos o la modulación de ancho de pulso (PWM) que proporciona el módulo ESP32.

La integración de este módulo es ideal para añadir funciones de sonido a un proyecto o sistema, configurarse como alarma o reproducir melodías como un timbre, el doble *buzzer* permite aumentar la intensidad del sonido. Además, es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su tamaño compacto, modo de conexión Wi-Fi y bajo consumo permiten adaptarse al entorno de interés.

Descripción de Hardware

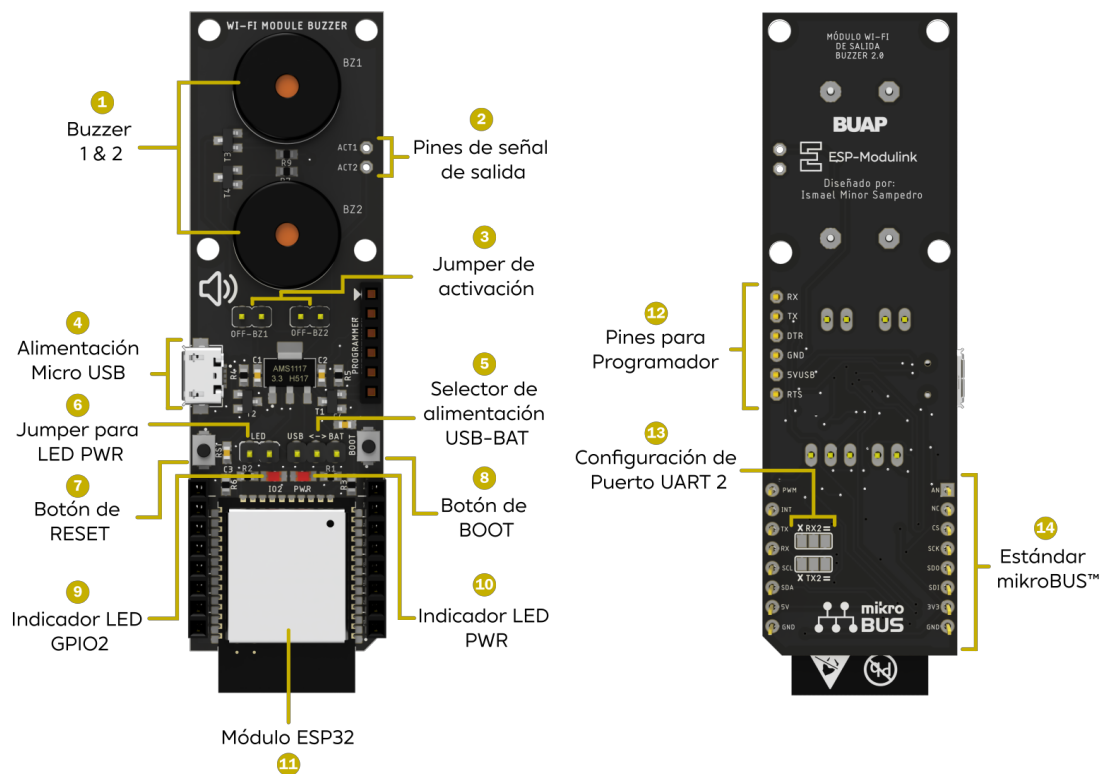


Figura 4.28. Características del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.

	Componente	Descripción
1	Buzzer 1 & 2	Se integran dos <i>buzzer</i> piezoeléctricos de tipo pasivo adicionalmente conectados a un transistor cada uno para amplificar la señal. Tienen una frecuencia de resonancia de hasta 2300 Hz. El tono generado es configurable mediante retardos o la modulación de ancho de pulso (PWM).
2	Pines de señal de salida	Estos pines (ACT1-GPIO 4) y (ACT2-GPIO 13) permiten monitorear la señal de salida que genera el módulo ESP32 para activar el sonido de los <i>buzzer</i> (BZ1) y (BZ2).
3	Jumper de activación	El jumper de activación permite deshabilitar el sonido del <i>buzzer</i> de forma manual al retirarlo.
4	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
5	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
6	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
7	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
8	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
12	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
13	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
14	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.9. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.10.

4.4.2.4. Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge

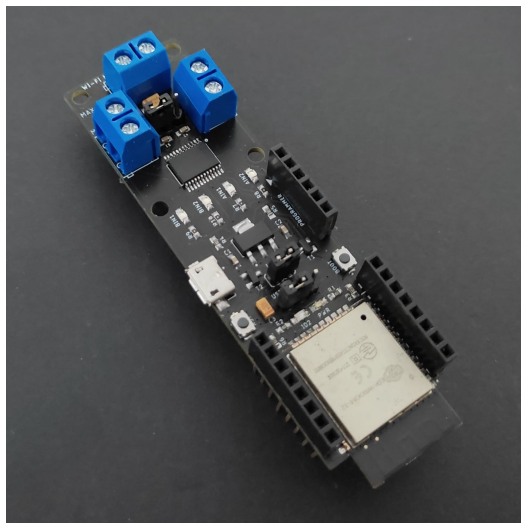


Figura 4.29. Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.

Este módulo Fig. 4.29, integra un puente H dual modelo TB6612FNG, este driver tiene la capacidad de controlar dos motores DC a una corriente constante por canal de 1.2 A y 3.2 A pico. Las dos salidas de motor (A y B) pueden ser controladas por separado, permitiendo direccionar el motor en 4 modos CW, CCW, *short brake* y *stop*, así también, es posible controlar la velocidad de cada motor a través de una señal de entrada PWM con una frecuencia de hasta 100 kHz.

La integración de este módulo es ideal para dispositivos y robots que requieran el control de pequeños motores vía Wi-Fi. Además es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V, su tamaño compacto permite adaptarse al entorno de interés.

Descripción de Hardware

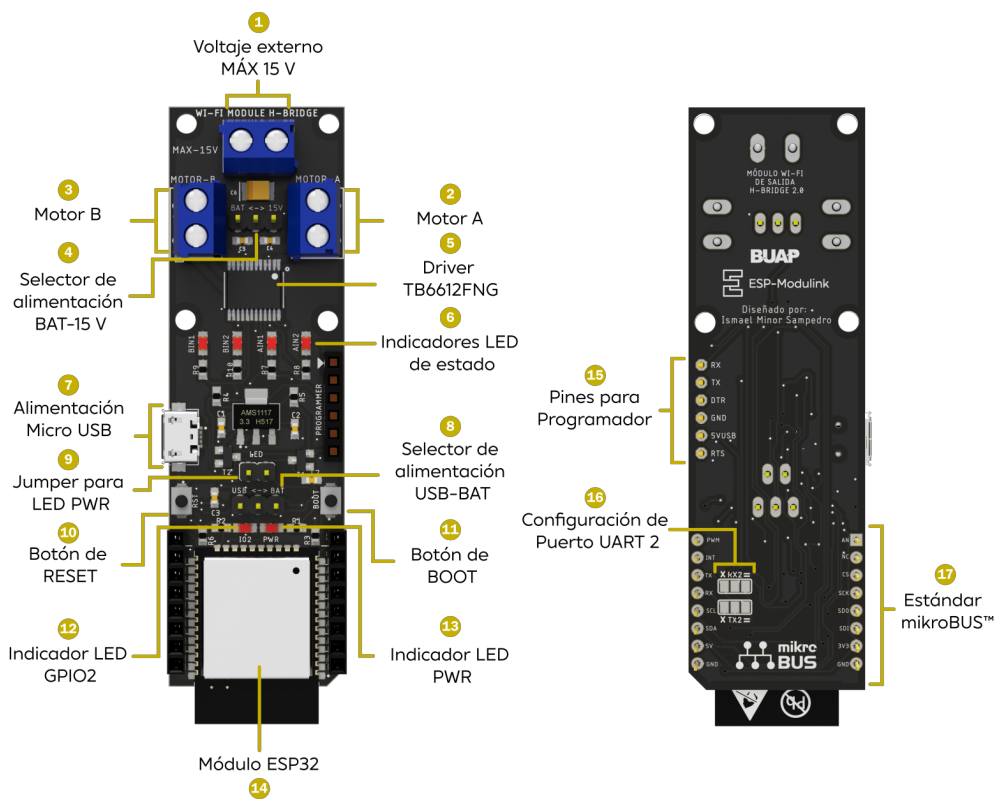


Figura 4.30. Características del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.

	Componente	Descripción
1	Voltaje externo MÁX 15 V	El módulo dispone de un terminal que permite conectar una fuente de alimentación externa de hasta 15 V exclusiva para la alimentación de los motores.
2	Motor A	Borne de conexión para motor DC A.
3	Motor B	Borne de conexión para motor DC B.
4	Selector de alimentación BAT-15 V	El módulo puede configurarse para elegir la fuente de voltaje que alimentará los motores dependiendo de su consumo, si el jumper se conecta entre el pin central y el pin BAT el módulo se configura para utilizar la misma fuente que alimenta el resto del módulo ya sea desde el puerto micro USB o si se tiene conectado el módulo de batería 18650. Si el jumper se coloca entre el pin central y el pin 15 V entonces el voltaje que alimenta a los motores se tomará de la fuente que esté conectada en el terminal de voltaje externo.
5	Driver TB6612FNG	El driver para motores TB6612FNG posee en su interior dos puentes H, con la capacidad de controlar dos motores de DC con una corriente constante de 1.2 A (3.2 A pico). Dispone de señales de entrada conectadas al ESP32 para controlar el motor en uno de cuatro modos posibles: CW (giro en sentido de las manecillas del reloj), CCW (en contra de las manecillas), <i>short-brake</i> y <i>stop</i> . Las dos salidas de motores (A y B) pueden ser controladas de manera separada y la velocidad de cada motor es controlada mediante una señal PWM (PIN GPIO 13 – Motor A) y (PIN GPIO 27 – Motor B) con una frecuencia de hasta 100 kHz.
6	Indicadores LED de estado	Los indicadores LED (AIN1) y (AIN2) muestran el estado de la señal proveniente del módulo ESP32 (PIN GPIO 26) y (PIN GPIO 25) respectivamente, que controlan el motor A, en los 4 estados posibles, así como los indicadores LED (BIN1) y (BIN2) muestran el estado de la señal proveniente de (PIN GPIO 33) y (PIN GPIO 32) respectivamente que controlan el motor B.
7	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
8	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
9	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
10	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
11	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
12	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
13	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
14	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WFA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
15	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
16	Configuración de Puerto UART 2	Estos jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
17	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.10. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.11.

4.4.2.5. Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay

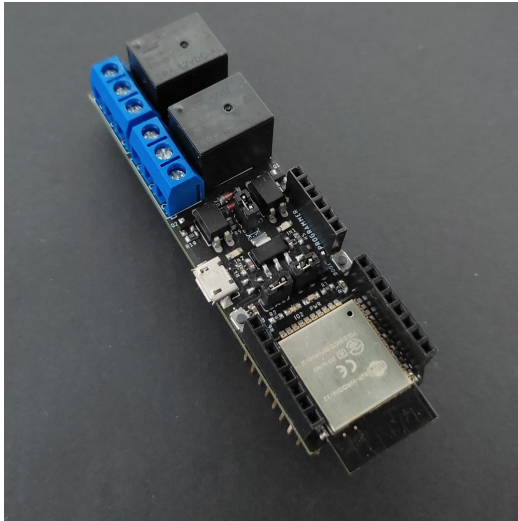


Figura 4.31. Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.

Este módulo Fig. 4.31, integra dos relevadores SRA-05VDC-AL, este modelo tiene la capacidad de activarse mediante una señal de 5 V y puede accionar dispositivos con una carga máxima en AC de hasta 20 A en voltajes de 125 V, así como cargas en DC de 20 A con 14 V.

La integración de este módulo es ideal para utilizarse como interruptor inteligente para controlar luces, contactos, electrodomésticos y otros dispositivos electrónicos vía Wi-Fi. Además es portátil, ya que el dispositivo puede alimentarse mediante una batería recargable o dispone de un puerto micro USB para conectar un cargador de 5 V. Se recomienda extremar precauciones cuando se trabajen con los voltajes externos máximos establecidos, ya sea en AC o DC, así mismo se recomienda trabajar con este módulo sobre superficies aisladas.

Descripción de Hardware

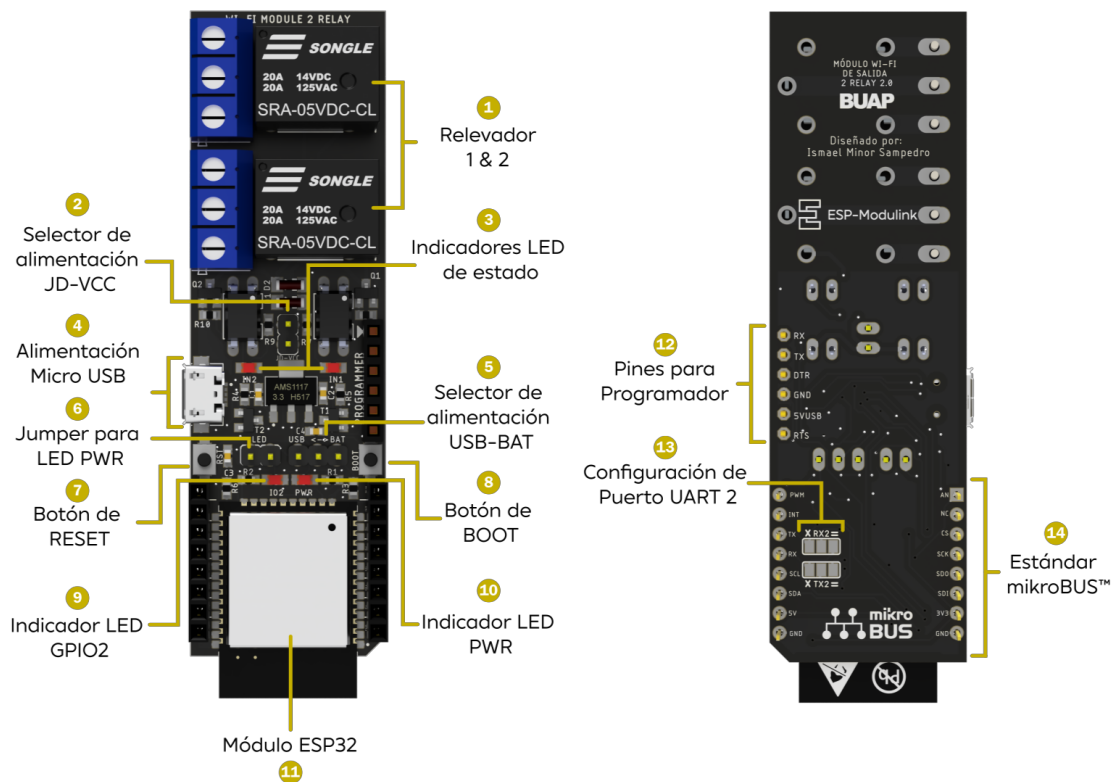


Figura 4.32. Características del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.

	Componente	Descripción
1	Relevador 1 & 2	Los relevadores SRA-05VDC-AL constan en un interruptor electromagnético que se controla mediante una señal digital de 5 V, admite una carga AC Máxima de 20 A en 125 V así como una carga DC Máxima de 20 A en 14 V, tiene un tiempo de activación menor a 10 ms.
2	Selector de alimentación JD-VCC	Este selector permite alimentar el relevador desde la propia fuente del módulo Wi-Fi manteniendo el jumper conectado. Para alimentar el relevador desde una fuente externa y lograr una aislación completa entre la carga y el módulo ESP32 es necesario desconectar el jumper y colocar 5 V en el pin JD-VCC y conectar GND común entre la nueva fuente y el módulo Wi-Fi.
3	Indicador LED de estado	Los indicadores LED (IN1) e (IN2) muestran el estado de la señal proveniente del módulo ESP32 (PIN GPIO 4) que activa o desactiva el relevador 1, así como del (PIN GPIO 13) que activa o desactiva el relevador 2.
4	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
5	Selector de alimentación USB-BAT	Este jumper permite seleccionar el modo en el que el módulo recibe alimentación, para utilizar el módulo de batería 18650, se debe colocar el puente entre el pin central y el pin de la derecha (BAT), para utilizar la alimentación Micro USB o para programar el módulo se debe colocar el jumper entre el pin central y el pin izquierdo (USB).
6	Jumper para LED PWR	Este jumper permite habilitar o deshabilitar la alimentación del Indicador LED PWR, con la finalidad de ahorrar energía cuando se trabaja con baterías y se desea utilizar el módulo por largos periodos de tiempo.
7	Botón de RESET	Al presionar el botón de RESET se hace el reinicio del módulo.
8	Botón de BOOT	El botón de BOOT debe ser presionado (solo en caso de que sea necesario) cuando se actualiza código o firmware del módulo.
9	Indicador LED GPIO2	Se integra un Indicador LED de propósito general para realizar pruebas en códigos donde se requiera.
10	Indicador LED PWR	Al encenderse el Indicador LED PWR, muestra que el módulo está energizado correctamente.
11	Módulo ESP32	ESP32-WROOM-32 de Espressif Systems. Es compatible con protocolo Wi-Fi (2.4 GHz) 802.11 b/g/n/e/i (802.11n hasta 150 Mbps). Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE, Seguridad IEEE 802.11 WPA, WPA/WPA2 y WAPI, Encriptación AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG.
12	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).
13	Configuración de Puerto UART 2	Estos Jumpers permiten configurar el Puerto UART 2 de modo que se puede elegir entre conectar los pines TX y RX del estándar mikroBUS™ de manera paralela o cruzada con el ESP32, dependiendo de la configuración del dispositivo que se desea conectar. La configuración se describe en la tabla del apartado Configuración de Puerto UART 2.
14	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™.

Tabla 4.11. Descripción de las características del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.12.

4.4.3. Módulo de batería y Módulo programador

4.4.3.1. Módulo 18650 Cargador & Elevador

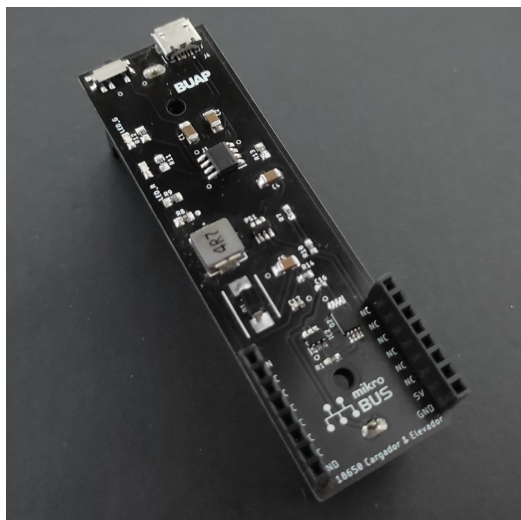


Figura 4.33. Módulo 18650 Cargador & Elevador.

Este módulo Fig. 4.33, está diseñado para la carga de baterías de Li-ion de una sola celda como la 18650. Basado en el circuito integrado TP4056, ofrece una corriente de carga de 1 A y una tensión de carga de 4.2 V, con un voltaje de entrada de 5 V que se suministra mediante un puerto Micro USB. El circuito integrado DW01A proporciona una protección contra corto circuito y sobre corriente. Además, se integran dos LEDs indicadores que muestran el estado de carga de la batería.

Adicionalmente, integra un convertidor de voltaje DC-DC Step Up que está configurado para suministrar un voltaje de salida de 5.4 V; el diseño basado en el estándar mikroBUS™, permite la compatibilidad con los módulos Wi-Fi, ya sean sensores o actuadores. Además, cuenta con una salida analógica que permite monitorear el porcentaje de la batería.

Descripción de Hardware

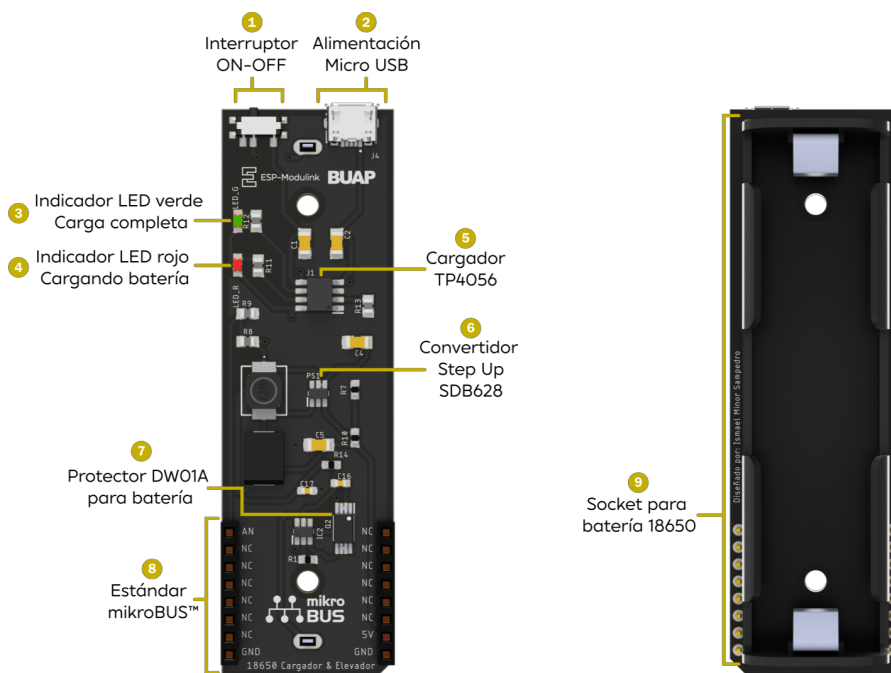


Figura 4.34. Características del Módulo 18650 Cargador & Elevador.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.13.

	Componente	Descripción
1	Interruptor ON-OFF	Este interruptor permite activar o desactivar la alimentación de forma manual cuando el módulo de batería está conectado a un Módulo Wi-Fi ya sea con sensor integrado o un Módulo Wi-Fi de salida. Es importante mantener el interruptor en ON cuando se conecta el módulo para cargar la batería.
2	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para alimentar el dispositivo mediante una fuente de 5 V, (Como el cargador de un celular convencional).
3	Indicador LED verde carga completa	Este LED se enciende solo cuando se ha realizado la carga completa (4.2 V) de la batería, una vez encendido se puede proceder a desconectar la alimentación del puerto Micro USB y el módulo está listo para utilizarse.
4	Indicador LED rojo cargando batería	Este LED se mantiene encendido como indicador de que la batería se encuentra en proceso de carga.
5	Cargador TP4056	El circuito integrado TP4056 es un cargador lineal de corriente constante / voltaje constante para baterías Li-ion de una sola celda. Admite un voltaje de entrada de 4.5 V a 5.5 V, su corriente de carga es de hasta 1 A con un voltaje de carga de 4.2 V. Tiene un umbral que protege a la batería de descargarse en voltajes inferiores a 2.9 V.
6	Convertidor Step Up SDB628	Debido a que la batería 18560 tiene un voltaje máximo de 4.2 V se requiere elevar el voltaje para alimentar los dispositivos que operan con un voltaje de 5 V, de este modo se integra un convertidor de voltaje DC-DC Step Up SDB628 el cual está configurado para proporcionar un voltaje de salida de 5.4 V.
7	Protector DW01A para batería	El circuito integrado DW01A proporciona una protección contra corto circuito y sobre corriente, además protege la batería en caso de que el voltaje caiga por debajo de los 2.4 V desconectando la carga para proteger a la celda de funcionar a una tensión muy baja.
8	Estándar mikroBUS™	La integración del estándar mikroBUS™ permite conectar el módulo con otros dispositivos compatibles, la relación entre los pines y el estándar se muestran en la sección de Pinout Estándar mikroBUS™. En este módulo se integra un divisor de voltaje cuya salida está conectada al pin AN lo que permite monitorear el porcentaje de la batería desde un microcontrolador que admita voltajes en el pin analógico de hasta 3.3 V como el ESP32.
9	Socket para batería 18650	Se integra un socket con las dimensiones para una batería Li-ion 18650, de este modo la batería queda fija al módulo evitando el uso de cables y facilitando la conexión.

Tabla 4.12. Descripción de las características del Módulo 18650 Cargador & Elevador.

Siguiendo el concepto de desarrollar hardware para conectarse como si se tratara de bloques, eliminando el uso de cables para la conexión entre módulos, es importante tomar en cuenta la practicidad al momento de programar o actualizar código, como se ha mostrado en el desarrollo del nodo de prueba en el Capítulo 3, se retiró el convertidor USB-TTL con la finalidad de extender la autonomía del módulo cuando trabaja con baterías; con los resultados positivos, se ha optado por diseñar un módulo adicional que integra el convertidor USB-TTL CP2102, la disposición de pines está diseñada para que coincida con los pines de programación del módulo Wi-Fi, por lo que solo es necesario alinear las marcas de serigrafía para hacer la conexión. De este modo, una vez cumplida la función de comunicación serial, este se puede retirar; las características, modo de conexión y configuración se describen a continuación.

4.4.3.2. Módulo CP2102

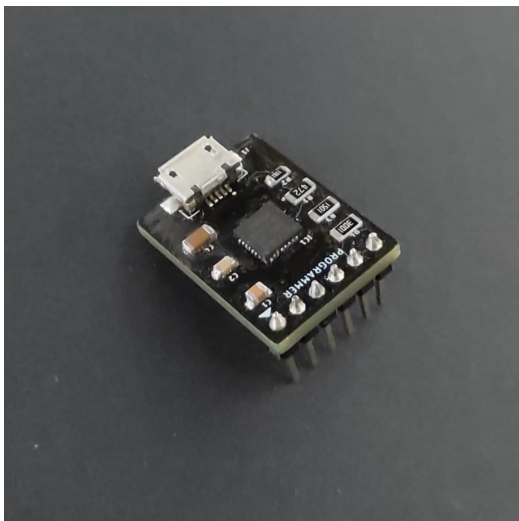


Figura 4.35. Módulo CP2102.

Este módulo Fig. 4.35, está basado en el circuito integrado CP2102, que consiste en un convertidor USB-TTL, de este modo es posible comunicar los módulos Wi-Fi a una terminal serial para poder visualizar los datos en una PC, así mismo este módulo permite la programación del módulo ESP32.

Admite un voltaje de entrada de 5 V que se suministra a través del puerto Micro USB el cual también se utiliza para transmitir los datos. Cuenta con especificación USB 2.0 de velocidad completa de 12 Mbps.

El UART es programable para admitir una variedad de formatos de datos y velocidades en baudios que van desde los 300 bps hasta 921600 bps. Es compatible con sistemas operativos: Windows, MAC OS y Linux 2.40 (en adelante).

Descripción de Hardware

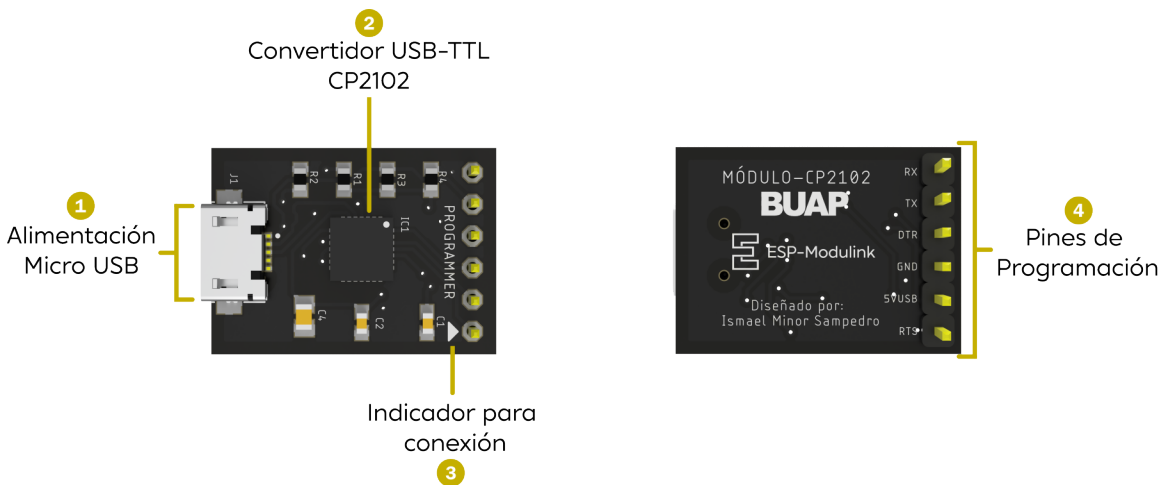


Figura 4.36. Características del Módulo CP2102.

El esquemático de este módulo se encuentra en el Apéndice A.14.

	Componente	Descripción
1	Alimentación Micro USB	Se integra un puerto Micro USB para comunicar el dispositivo con la PC y alimentar el módulo con los 5 V que suministra el puerto USB.
2	Convertidor USB-TTL CP2102	El circuito integrado CP2102 es un convertidor USB a TTL, lo que permite visualizar datos a través de una terminal serial, cuenta con un reloj integrado por lo que no requiere de un cristal externo, un regulador interno de 3.3 V, un Buffer de recepción de 576 Bytes y Buffer de transmisión de 640 Bytes, compatible con sistemas operativos: Windows, MAC OS y Linux 2.40 (en adelante).
3	Indicador para conexión	Este módulo ha sido diseñado para integrarse como si fuera un bloque, por lo que no es necesario añadir cables para realizar la conexión, solo basta con alinear la flecha de la serigrafía del módulo CP2102 con la flecha de la serigrafía del módulo Wi-Fi, tal como se muestra el apartado de conexión.
4	Pines para programador	Estos pines permiten la rápida conexión del módulo programador para establecer comunicación serial con la PC, ya sea para actualizar código o visualizar los datos a través de un monitor serial. La distribución de los pines es la siguiente (RX, TX, DTR, GND, 5VUSB, RTS).

Tabla 4.13. Descripción de las características del Módulo CP2102.

Conexión de Módulo CP2102 con Módulo Wi-Fi

Para realizar la correcta conexión es importante alinear la flecha de la serigrafía del Módulo CP2102 con la flecha de la serigrafía del Módulo Wi-Fi, tal como se muestra en la Fig. 4.37.

Es importante mencionar que cuando se utilice este módulo el módulo Wi-Fi debe estar configurado en modo USB, ver Tabla 4.14.

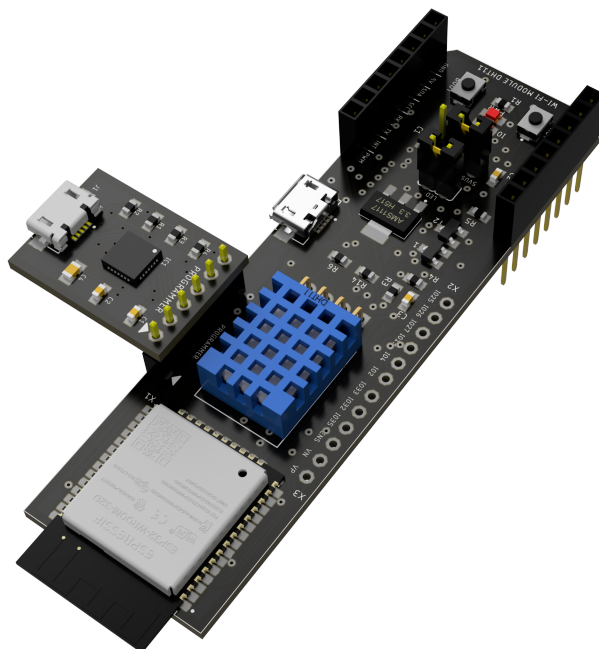


Figura 4.37. Modo de conexión de Módulo CP2102 con Módulo Wi-Fi.

4.4.3.3. Configuración de selector USB-BAT

La Tabla 4.14 muestra el modo de configuración para alimentar del Módulo Wi-Fi con sensor integrado. Para realizar la configuración solo es necesario modificar la posición del jumper.

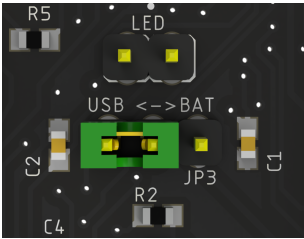
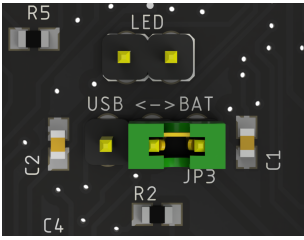
Configuración	Función
	<p>El modo USB permite alimentar el módulo mediante una fuente de 5 V desde el puerto Micro USB. El módulo tiene que estar en este modo para poder comunicarse con el módulo CP2102.</p>
	<p>El modo BAT configura el módulo para ser utilizado con el Módulo 18650 Cargador & Elevador.</p>

Tabla 4.14. Configuración de selector para los modos USB-BAT.

4.4.3.4. Configuración de Puerto UART 2

La Tabla 4.15 muestra la relación entre los pines del estándar mikroBUS™ y el módulo ESP32. Para realizar la conexión se requiere añadir pequeños puntos de soldadura en los pads correspondientes.

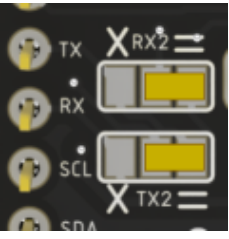
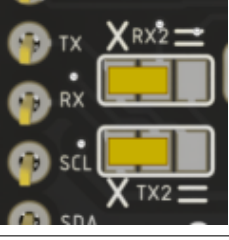
Configuración	ESP32	mikroBUS™
	<p>RX2 TX2</p>	<p>RX TX</p>
	<p>RX2 TX2</p>	<p>TX RX</p>

Tabla 4.15. Configuración de pads para Puerto UART 2.

4.4.3.5. Pinout Estándar mikroBUS™

La Fig. 4.38, muestra la relación entre los pines del estándar mikroBUS™ y el ESP32 para los Módulos Wi-Fi con sensor integrado.

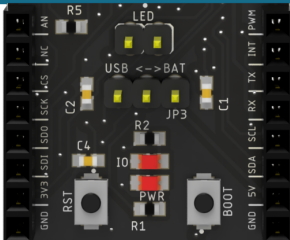
Descripción	ESP32	Pin	Estándar mikroBUS™	Pin	ESP32	Descripción
Analógico	GPIO34	AN		PWM	GPIO14	PWM
Reset	NC	RST		INT	GPIO12	Interrupción
SPI Chip Select	GPIO5	CS		TX	TX2	UART 2 Transmisor
SPI Clock	GPIO18	SCK		RX	RX2	UART 2 Receptor
SPI Data Out	GPIO19	SDO		SCL	GPIO22	I2C Clock
SPI Data In	GPIO23	SDI		SDA	GPIO21	I2C Data
Voltaje	3V3	3V3		5V	5V	Voltaje
GND	GND	GND		GND	GND	GND

Figura 4.38. Pinout Estándar mikroBUS™ para los Módulos Wi-Fi con sensor integrado.

La Fig. 4.39, muestra la relación entre los pines del estándar mikroBUS™ y el ESP32 para los Módulos Wi-Fi de salida.

Descripción	ESP32	Pin	Estándar mikroBUS™	Pin	ESP32	Descripción
Analógico	GPIO34	AN		PWM	GPIO14	PWM
Reset	NC	RST		INT	GPIO12	Interrupción
SPI Chip Select	GPIO5	CS		TX	TX2	UART 2 Transmisor
SPI Clock	GPIO18	SCK		RX	RX2	UART 2 Receptor
SPI Data Out	GPIO19	SDO		SCL	GPIO22	I2C Clock
SPI Data In	GPIO23	SDI		SDA	GPIO21	I2C Data
Voltaje	3V3	3V3		5V	5V	Voltaje
GND	GND	GND		GND	GND	GND

Figura 4.39. Pinout Estándar mikroBUS™ para los Módulos Wi-Fi de salida.

La Fig. 4.40, muestra la relación entre los pines del estándar mikroBUS™ y el Módulo 18650 Cargador & Elevador

Descripción	Módulo	Pin	Estándar mikroBUS™	Pin	ESP32	Descripción
Analógico	Vout	AN		PWM	NC	No conectado
No conectado	NC	RST		INT	NC	No conectado
No conectado	NC	CS		TX	NC	No conectado
No conectado	NC	SCK		RX	NC	No conectado
No conectado	NC	SDO		SCL	NC	No conectado
No conectado	NC	SDI		SDA	NC	No conectado
No conectado	NC	3V3		5V	5V	Voltaje
GND	GND	GND		GND	GND	GND

Figura 4.40. Pinout Estándar mikroBUS™ para el Módulo 18650 Cargador & Elevador.

En la sección del software, la plataforma ESP-Modulink es compatible con múltiples desarrollos comerciales enfocados al IoT; estos modos de uso están orientados a dos perfiles, el modo Low Code para usuarios con poca experiencia en programación, y el modo desarrollador para usuarios que deseen experimentar aún más con estos módulos.

4.4.4. Modo Desarrollador

En esta implementación, la practicidad de conexión de ESP-Modulink, permite enfocarse en la experimentación con las múltiples plataformas que han sido desarrolladas para aplicaciones de IoT, como lo es Adafruit IO, Ubidots o Blynk por mencionar algunas, adicionalmente este modo permite experimentar con entornos de programación como MicroPython o Arduino, la disposición de Pines GPIO adicionales a los incluidos por defecto con el estándar mikroBUS™, brindan la flexibilidad al usuario de añadir elementos en estas entradas y salidas en caso de ser necesario. La documentación, los códigos de muestra, videotutoriales, así como el firmware se encuentran en el sitio web de ESP-Modulink [68].

El diagrama de la Fig. 4.41, muestra la integración de la red WSN propuesta en el Capítulo 3 combinando esta vez ESP-Modulink con Adafruit IO y MicroPython.

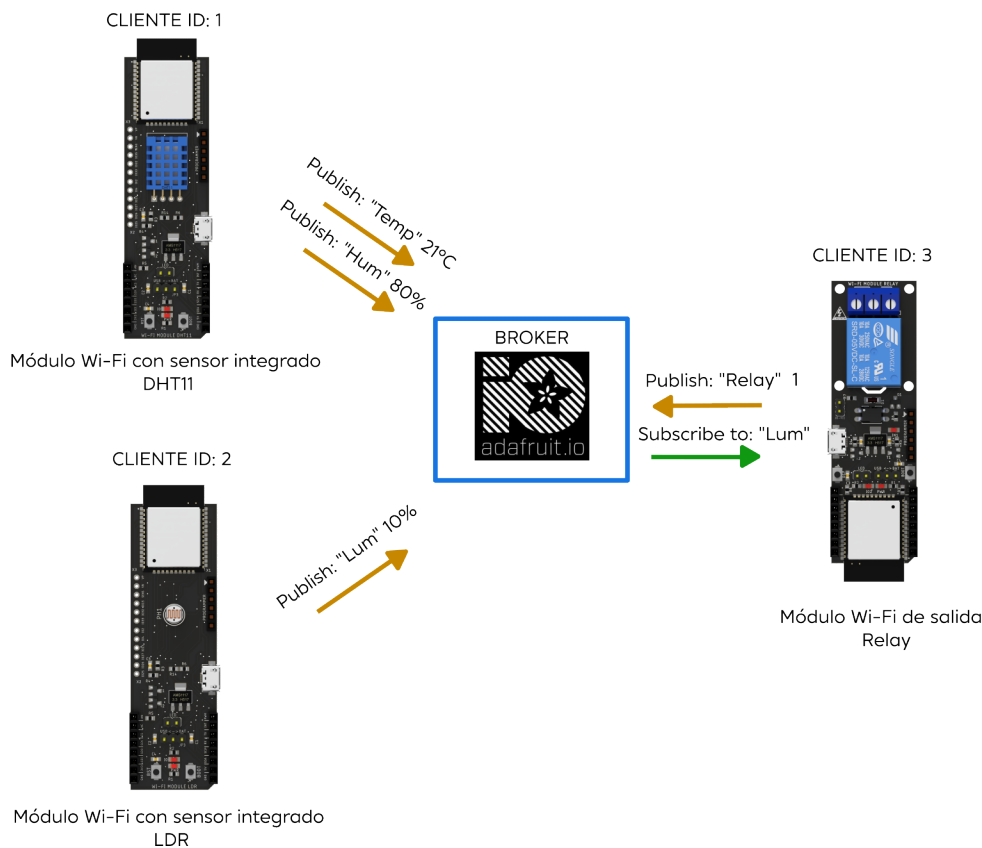


Figura 4.41. Integración de ESP-Modulink con Adafruit IO y MicroPython.

Otro ejemplo de aplicación de este tipo de configuración se describe en estudio de caso presentado en el Capítulo 5.

4.4.5. Modo Low Code

4.4.5.1. ESP-Modulink, ESPHome y Home Assistant

La combinación de ESP-Modulink, ESPHome y Home Assistant permite hacer integraciones de IoT Low-Code, sin ser un experto en programación y conexión de circuitos electrónicos.

El diagrama de la Fig. 4.42, muestra la integración de ESP-Modulink con ESPHome y Home Assistant en un solo sistema, en donde ESPHome es el encargado de configurar los módulos de ESP-Modulink basados en el ESP32, para que estos puedan enviar la información de los sensores y actuadores correctamente, Home Assistant se encarga de gestionar la información que se envía y se recibe para ejecutar las automatizaciones definidas por el usuario, al mismo tiempo el usuario puede acceder a la información desde una interfaz web e incluso tiene la posibilidad de añadir integraciones comerciales como luces inteligentes, cámaras de videovigilancia, interruptores o asistentes de voz.

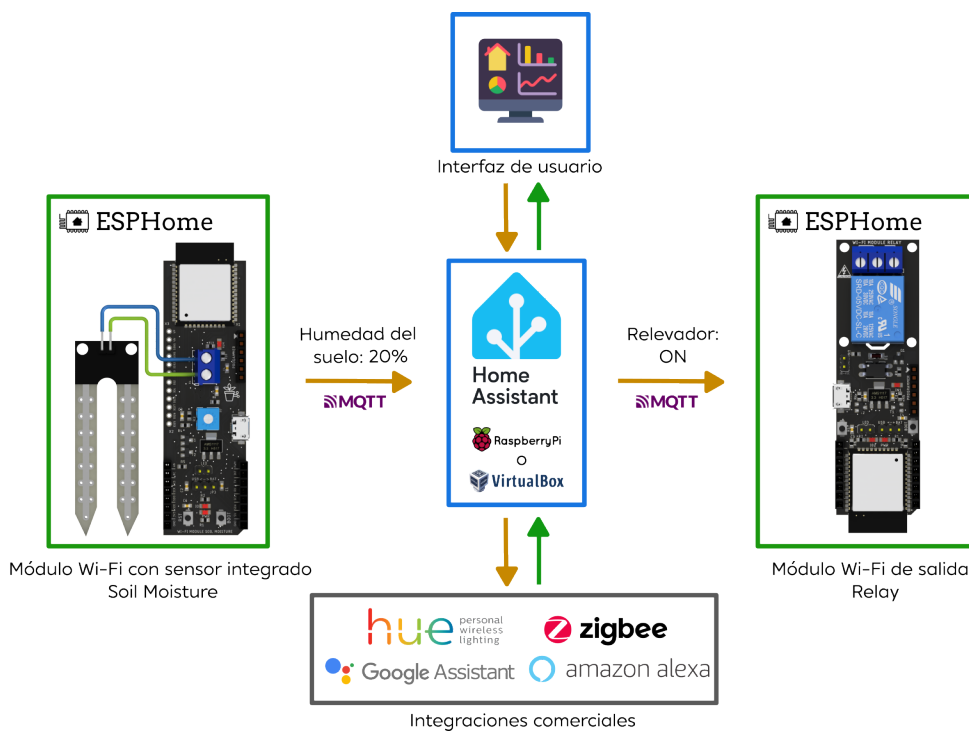


Figura 4.42. Integración de ESP-Modulink con ESPHome y Home Assistant.

■ ESPHome

ESPHome es un potente desarrollo de software que permite implementar módulos ESP32 a sistemas domóticos como Home Assistant [69].

Con ESPHome es posible configurar los módulos de ESP-Modulink desde la Web sin la necesidad de descargar un IDE de programación. La configuración de los módulos se hace mediante archivos de configuración YAML, por lo que solo es necesario conectar el dispositivo a la PC y cargar el archivo sin la necesidad de escribir líneas de código.

Una de las ventajas de implementar ESPHome es que una vez configurados los módulos de ESP-Modulink es posible hacer actualizaciones vía Wi-Fi *over the air* (OTA), lo que facilita hacer ajustes sin la necesidad de desmontar el sistema para volverlo a configurar.

■ Home Assistant

Home Assistant es un software de automatización gratuito y de código abierto que está diseñado para ser un sistema de control central para dispositivos inteligentes, con un enfoque en el control local y la privacidad de los datos, por lo que tiene la flexibilidad de ejecutarse en máquina virtual, Raspberry Pi o mini PC [70].

Con Home Assistant es posible conectar una gran variedad de dispositivos, sensores, actuadores, software, aplicaciones y servicios de tecnología de conectividad que son compatibles con componentes de integración modular, es decir, Home Assistant tiene la compatibilidad para poder albergar e interconectar dispositivos comerciales y plataformas de desarrollo como ESP-Modulink en un solo lugar.

Es posible acceder a todos los dispositivos desde una interfaz de usuario gráfica en la web, además de que es compatible con los asistentes de voz como Google Assistant o Amazon Alexa, por lo que es una potente herramienta para realizar automatizaciones que se adaptan a las necesidades del usuario sin tener que depender de un fabricante en específico o de un servicio en la nube.

■ Interfaz de Home Assistant

En la Fig. 4.43, se muestra un ejemplo de la interfaz de Home Assistant, en la que se encuentran conectados los módulos Wi-Fi que previamente han sido configurados con ESPHome, una de las ventajas de esta plataforma es la compatibilidad que tiene con múltiples servicios comerciales, lo que permite realizar proyectos de automatización, y concentrar toda la información en un solo lugar, evitándole al usuario tener que acceder a la aplicación o servicio de cada fabricante para poder controlar sus dispositivos.

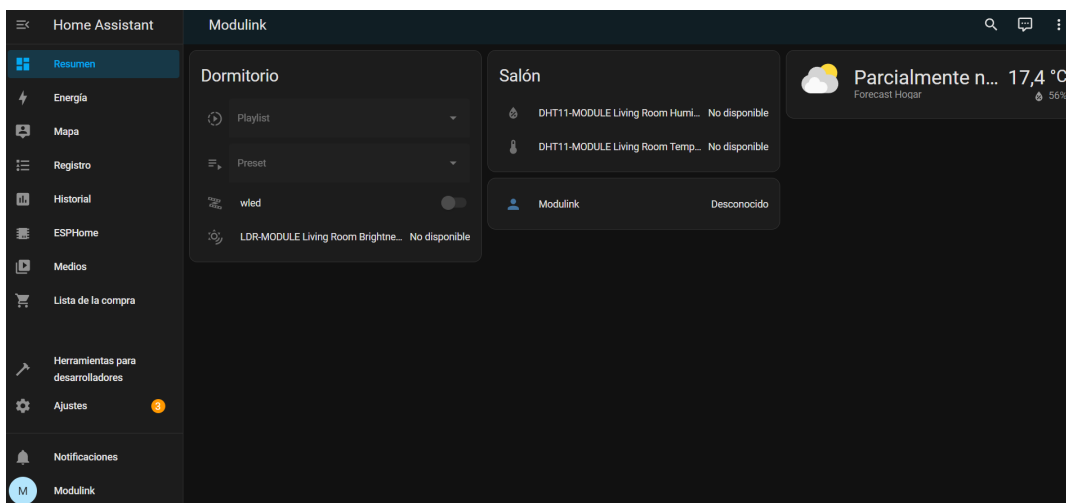


Figura 4.43. Interfaz de Home Assistant con datos de los módulos de ESP-Modulink.

La documentación, archivos de configuración YAML, así como videotutoriales se encuentran disponibles en el sitio web de la plataforma ESP-Modulink [68].

CAPÍTULO V

En este capítulo se presenta el producto de una estancia en Centro de Investigación Motion Control and Industrial Applications (MCIA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en España, en donde tomando como referencia el área de eficiencia energética, se propone la integración de un sistema con arquitectura IoT de 5 capas con *Service-oriented architecture* (SOA). En este sistema se implementa la plataforma ESP-Modulink en conjunto con una *Application User Interface (API)*, para automatizar el proceso de recolección, tratamiento y análisis de datos para la identificación de perfiles de consumo de energía, con la finalidad de permitir al usuario gestionar mejor los sistemas y electrodomésticos dentro de su hogar, y en consecuencia esto se vea reflejado en un ahorro en el pago del servicio eléctrico.

5.1. El panorama mundial y nacional del consumo energético residencial

A nivel mundial, el consumo de energía en edificios, tanto residenciales como comerciales, ha ido en aumento constante, llegando a representar entre el 20 % y el 40 % del consumo total de energía [71].

Con el constante desarrollo de las tecnologías de control y comunicación, varios equipos electrónicos de entretenimiento, información y comunicación en el hogar se han convertido gradualmente en una parte indispensable de la vida doméstica [72], el uso generalizado de electrodomésticos conduce a un aumento drástico en el consumo de energía de los hogares [73].

En México, el sector residencial se posiciona en el tercer lugar del consumo final de energía, después del sector de transporte y el sector industrial [72].

De acuerdo con los datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el 99.29 % de los hogares mexicanos cuenta con energía eléctrica, suministrada por el servicio público de dicha institución, mientras que el resto usa diversos métodos para contar con energía, como paneles solares o baterías [74].

Se estima que el consumo eléctrico promedio bimestral de una vivienda es de 280 kWh, con una tarifa inicial de consumo básico hasta el año 2023 de \$ 0.957 MXN por kWh [75], lo que representa un 9.5 % del gasto total que destina un hogar en México en el rubro de vivienda y servicios, de acuerdo con datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022 [76].

No obstante, el pago por la energía eléctrica que se consume en cada hogar puede incrementar significativamente, debido a la falta de conciencia sobre el ahorro de energía o la falta

de atención a las condiciones de trabajo de varios aparatos eléctricos [77], seguido de factores como, el uso de electrodomésticos que carecen de eficiencia energética y el uso prolongado de sistemas de iluminación, entretenimiento y calefacción, esto multiplicado por una de las 7 tarifas que ofrece CFE de acuerdo a la zona del país debido al cambio de temperatura en la región.

Ante esta situación, organizaciones como la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), han realizado esfuerzos para promover el óptimo aprovechamiento sustentable de la energía, mediante la adopción de medidas y de mejores prácticas para el uso eficiente en México [78].

Sin embargo, la supervisión y el control manual no es suficiente para lograr el objetivo de ahorro de energía en los hogares. Por consiguiente, la programación y el control inteligente de los electrodomésticos se ha convertido en una alternativa importante para la gestión de la energía [79].

Por lo tanto, la influencia del comportamiento de los ocupantes en el consumo de energía de los hogares es cada vez más importante, en México, existe un área de oportunidad debido a los usos y costumbres que tiene la población al momento de administrar los electrodomésticos y los sistemas de iluminación dentro del hogar, es por esto que en este capítulo se ha desarrollado la propuesta de un sistema IoT, que integra una red de módulos Wi-Fi, *Low Code* con sensores y actuadores, que combinados con una *Application Programming Interface* (API), se realiza la solicitud a la nube, el tratamiento y el análisis exploratorio de los datos, con el objetivo de integrar un sistema que identifica perfiles de consumo de energía y es capaz automatizar los procesos dentro del hogar, con la finalidad de administrar mejor los electrodomésticos y reducir el gasto energético.

5.2. Propuesta y descripción del sistema

El IoT permite la interconexión del mundo físico con el digital, a través de dispositivos con capacidades de detección, actuación y procesamiento que se comunican mediante Internet, de modo que es posible brindar beneficios tanto en términos de nuevos servicios, así como en la mejora de la eficiencia en los servicios existentes y procesos [80]. No obstante, con la demanda de soluciones basadas en IoT, surge un paradigma en la forma en cómo se diseña la arquitectura de estos sistemas, que, si bien no es universalmente aceptada a pesar de las iniciativas de estandarización, la literatura ha introducido una arquitectura general de alto nivel de tres capas [81], como se muestra en la Fig. 5.1.

Un ejemplo de implementación de esta arquitectura de tres capas hablando de los dispositivos para la automatización dentro del hogar, son los sistemas de *smart lighting* [82], donde la capa de percepción se conforma por sensores de movimiento o luminosidad, la capa de red se encarga transportar y transmitir los datos recopilados hacia un servidor o la nube, y finalmente la capa de aplicación, define los servicios y funciones con base en la información recolectada por los sensores que en este caso consiste en el encendido, atenuación o apagado de las luces.

Sin embargo, a pesar de las iniciativas de tener un modelo generalizado, la comunidad académica y el sector empresarial han propuesto múltiples arquitecturas para abordar este concepto, el problema radica en el potencial que tiene el IoT para implementarse en diferentes entornos y sectores que muchas de las veces se requieren de características y requisitos de diseño únicos, por otro lado, a nivel comercial cada proveedor es propenso a recomendar su plataforma para un mejor desempeño en sus productos [83].

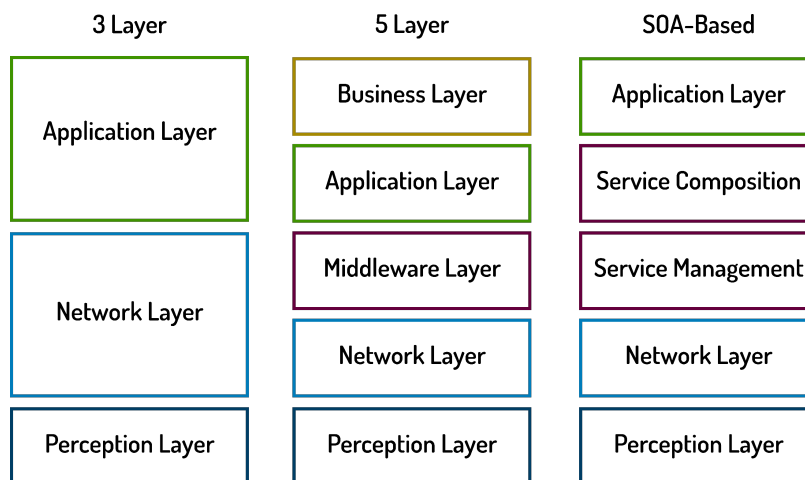


Figura 5.1. Modelos de arquitecturas IoT basados en capas.

La arquitectura de 5 capas, como se muestra en la Fig. 5.1, mantiene las capas de percepción y aplicación con el mismo funcionamiento que un sistema de 3 capas, no obstante, la capa de red realiza el transporte bidireccional de los datos a través de redes que incluyen Wi-Fi, 3G, LAN, Bluetooth, RFID y NFC. La capa de *middleware* almacena, analiza y procesa enormes cantidades de datos provenientes de la capa de red, se hace uso de herramientas como bases de datos, computación en la nube o módulos de procesamiento de big data. Finalmente, la capa empresarial administra y controla el comportamiento de las aplicaciones, incluye modelos de negocio y ofrece una interfaz en la que se puede gestionar y presentar información del desempeño del sistema [81]. La Arquitectura Basada en Servicios, por sus siglas en inglés (SOA-Based) es un modelo que se basa en vincular bloques funcionales de diferentes aplicaciones mediante interfaces y estándares abiertos, como HTTP, XML o JSON. Una de las ventajas de SOA-Based es la posibilidad de reutilizar partes de hardware y software, permitiendo así una mayor flexibilidad e interoperabilidad en el desarrollo de sistemas de software [80].

En los sistemas IoT basados en SOA, cada dispositivo puede tener el rol de consumidor de servicios, así como el rol de proveedor de servicios, interactuando a través de APIs compatibles [84]. Por lo tanto, los beneficios más significativos del SOA pueden resumirse en la reutilización de tecnologías de hardware y software, así como la agilidad para integrar nuevos dispositivos y módulos de manera “*plug-and-play*” según las necesidades del sistema [85].

El potencial del IoT para ofrecer soluciones en distintas áreas de interés complica que se llegue a un sistema generalizado que defina una arquitectura única, no obstante, las múltiples propuestas que se han presentado en la literatura no son necesariamente contradictorias, sino que es posible tomar las ventajas que ofrece cada una con el objetivo de ofrecer al usuario una solución a medida que cumpla con sus requisitos y necesidades.

En este trabajo se propone una arquitectura IoT de 5 capas con SOA, ya que la base es la arquitectura de 5 layer, para la recolección de datos, la comunicación y la conexión con una plataforma comercial, adicionalmente se desarrolla una API orientada en SOA que permite la interconexión, el análisis y procesamiento de los datos, con la finalidad de integrarlo y que se adapte a una aplicación para Home Energy Management System (HEMS).

Como se muestra en el diagrama de la Fig. 5.2, el sistema realiza la recolección de los datos del entorno mediante el uso de módulos que integran sensores, estos envían la información de manera inalámbrica a una plataforma IoT mediante el protocolo MQTT. La plataforma se encarga de registrar y almacenar la información en la nube. Posteriormente, la API realiza una serie de tareas comenzando por solicitar los datos mediante una petición HTTP a la plataforma IoT, esta devuelve la información en un formato JSON, por lo que se realiza el tratamiento de los datos para trabajar solo con la información necesaria como fecha, hora y valor registrado, una vez filtrada la información se realiza un análisis exploratorio de datos para identificar los patrones o perfiles de consumo de energía, basado en este análisis, la API devuelve una predicción del dato esperado a la plataforma IoT, en este punto se compara la información actual con la esperada y se toma una decisión que activa o desactiva un módulo Wi-Fi con actuador. Adicionalmente, se muestra la información analizada en un dashboard para facilitar la interpretación de los datos.

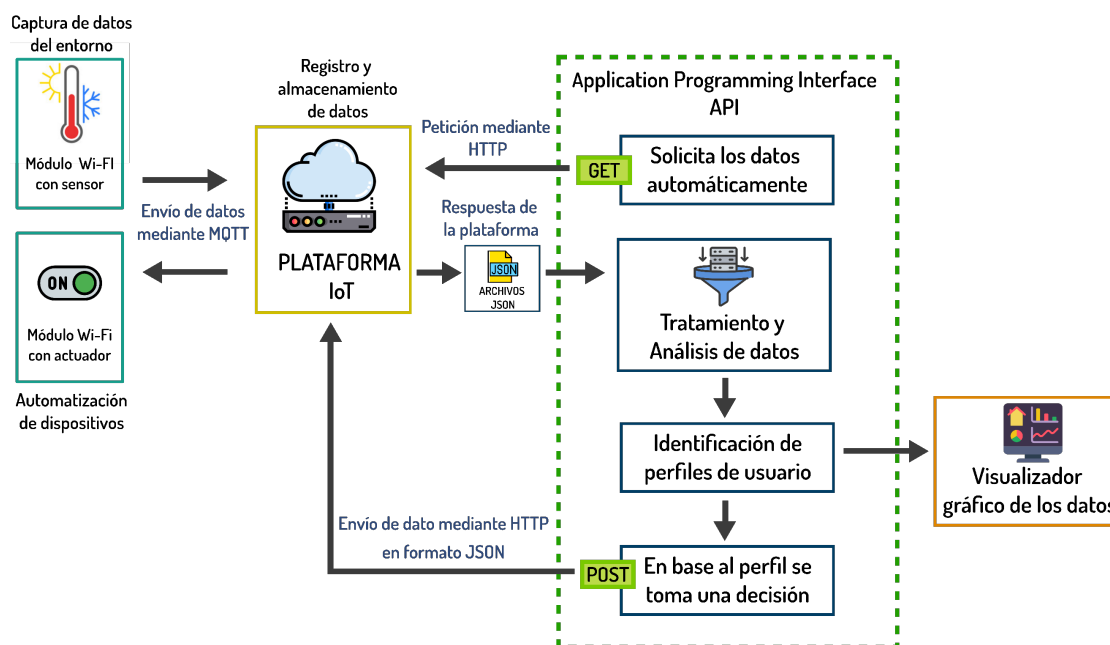


Figura 5.2. Diagrama de bloques del sistema IoT para la identificación de perfiles de consumo de energía.

5.3. Desarrollo y resultados

El diagrama de flujo en la Fig. 5.3, muestra la estructura del algoritmo desarrollado para la API, este se divide en 3 secciones:

- Solicitud, tratamiento y análisis de los datos.
- Creación de dashboard para visualizar la información.
- Envío de datos a la plataforma de IoT.

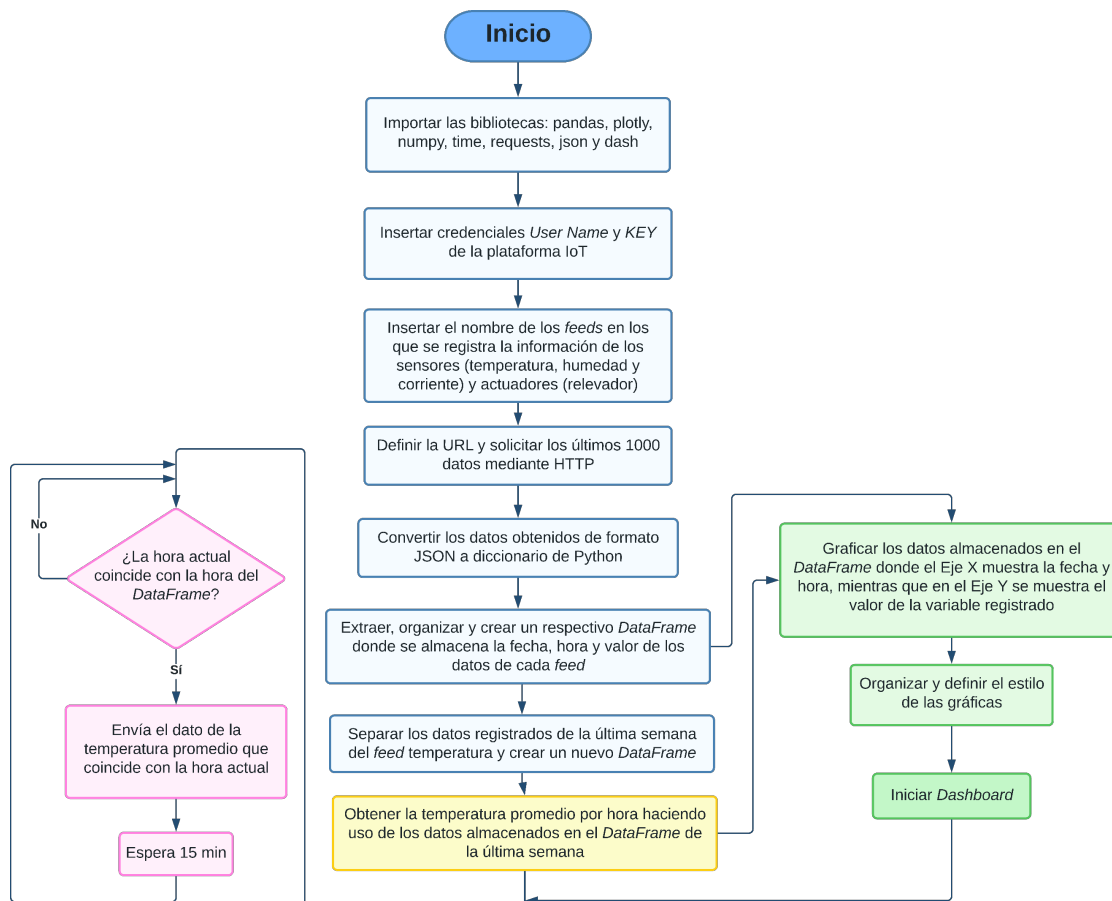


Figura 5.3. Diagrama de flujo de la API.

En este punto, el objetivo principal es realizar la solicitud de los datos de manera automática. Para esto, el servicio de la plataforma ofrece los datos en dos tipos de formato .CSV y JSON. El formato JSON permite trabajar con la información sin la necesidad de descargarla como es el caso de los archivos .CSV, por lo tanto, se realiza la solicitud mediante HTTP, se ingresan las credenciales que permiten acceder a la plataforma, así como el nombre de los *feeds* en los que se almacena la información de los sensores y los actuadores. Es importante mencionar que este tipo de solicitud solo permite trabajar como una cantidad máxima de 1000 datos, sin embargo, es suficiente para obtener los datos registrados de la última semana.

Una vez obtenidos los datos se convierten a diccionarios en Python para poder seleccionar la información con la que se desea trabajar y se crea un *DataFrame* que contiene la fecha, hora y valor de cada variable como se muestra en la Fig. 5.4.

Con la finalidad de probar el concepto y el funcionamiento del sistema en un entorno real, los datos con los que se trabajaron son el resultado de un monitoreo diario en donde se toma una muestra de la temperatura cada 15 min. Como parte del análisis de los datos, se grafica la información para identificar si existe algún patrón notorio de comportamiento a lo largo del tiempo.

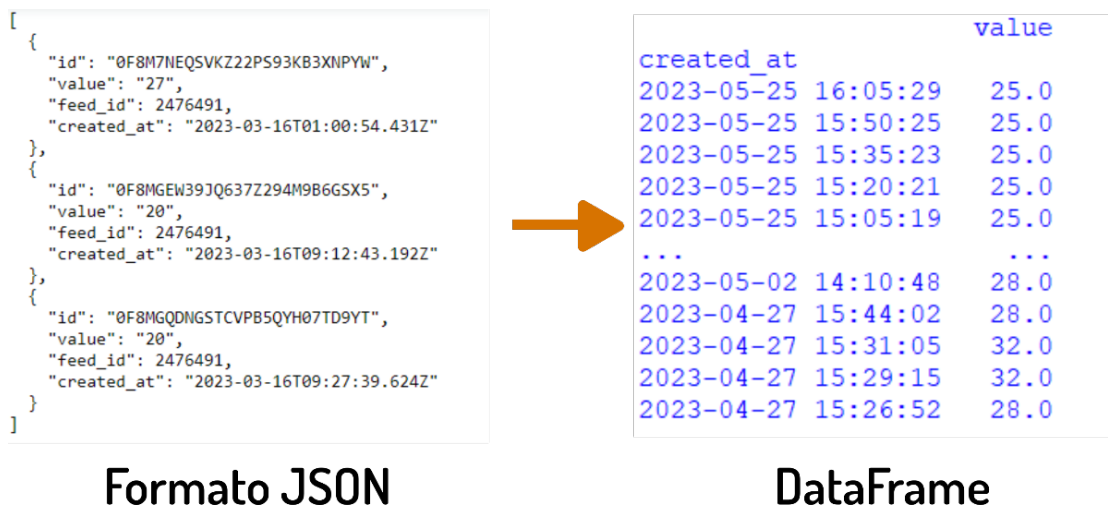


Figura 5.4. Formato JSON a DataFrame para los datos de temperatura.

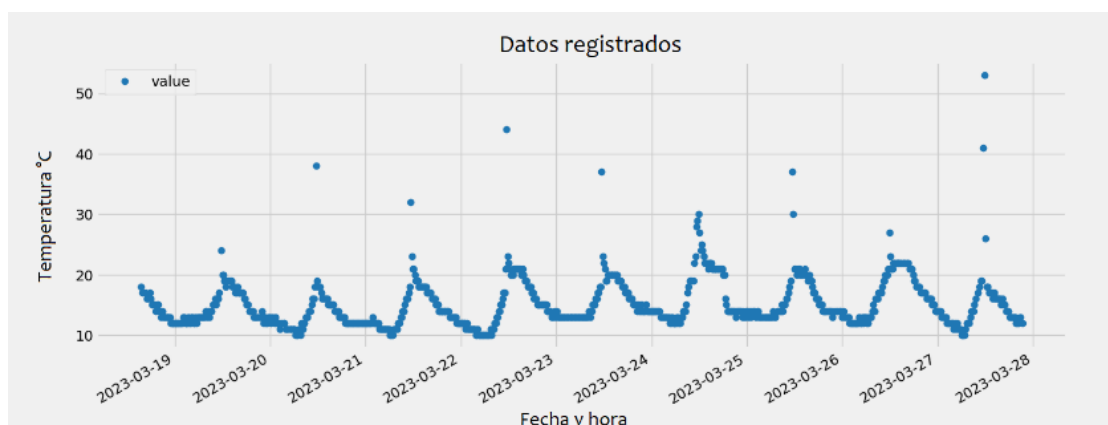


Figura 5.5. Datos de registrados de temperatura.

Como se puede observar en la gráfica de la Fig. 5.5, la temperatura tiene un comportamiento repetitivo conforme pasan los días, en donde los valores más bajos son registrados durante la noche, mientras que los más altos son registrados durante el día, identificar este fenómeno es producto del muestreo constate y la forma en la que se organizan los datos, de modo que es posible identificar el patrón a simple vista, no obstante, es importante mencionar que no siempre es tan sencillo identificar este tipo de comportamientos, principalmente por las características de la variable, es en este tipo de situaciones en las se requiere de la ayuda de herramientas más avanzadas como algoritmos de *machine learning*, para realizar este tipo de reconocimiento.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que, a pesar de existir un patrón, la temperatura puede variar conforme la temporada del año o el lugar en el que se tiene montado el sensor, por lo tanto, para tener una mejor respuesta del sistema solo se trabaja con los datos de la última semana como se muestra en la gráfica de la Fig. 5.6.

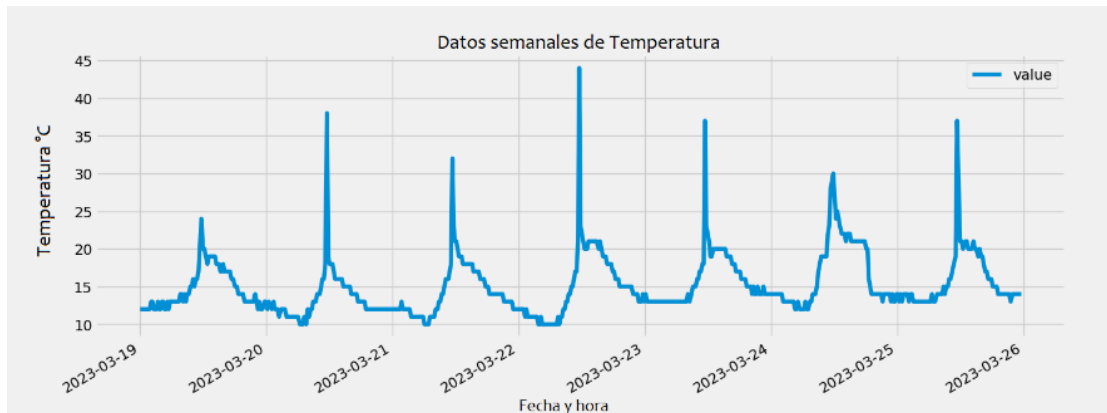


Figura 5.6. Datos registrados de los últimos 7 días.

Una vez con estos datos es posible observar que hay ciertas muestras erróneas que se atribuyen principalmente al funcionamiento del sensor, no obstante, para contrarrestar estos picos se hace un análisis en donde se promedia el valor de la temperatura por hora para poder tener una predicción de la temperatura esperada por hora.

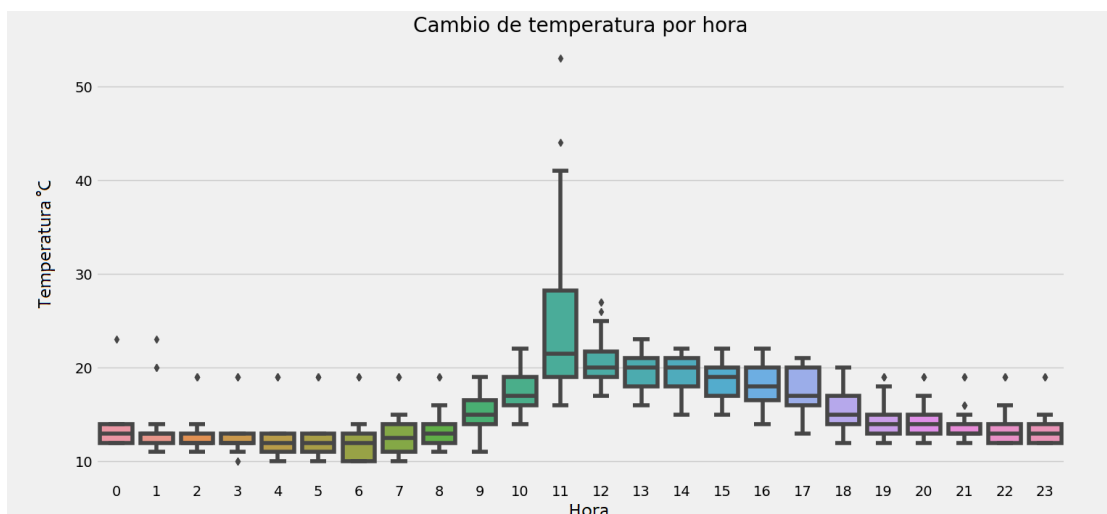


Figura 5.7. Temperatura promedio por hora.

La gráfica de la Fig. 5.7, muestra el patrón que sigue la temperatura durante las 24 horas del día, en donde las mediciones más altas se registran entre las 11 y las 13 horas. Para contrarrestar este cambio de temperatura es necesario utilizar un sistema que permita ventilar la habitación para mantener el confort de los usuarios.

Hoy en día existe una gran cantidad de interruptores inteligentes que permiten encender y apagar electrodomésticos de manera remota, algunos de estos son complementados con aplicaciones que permiten programar condiciones con valores fijos en donde si la variable supera cierto valor, el dispositivo ejecuta una acción, no obstante, no existe una retroalimentación con estos sistemas.

La propuesta de este trabajo es implementar un sistema de IoT que aprenda y se adapte a las rutinas del usuario, de modo que permita automatizar ciertas tareas dentro del hogar, tomando decisiones basadas en un pronóstico que resulta del análisis previo de la informa-

ción, de este modo el sistema predice el comportamiento esperado en una hora específica y lo compara con el dato real, con este ejercicio, hablando de la temperatura, no siempre se tiene el mismo valor conforme transcurre del día. En este sentido, se espera que al automatizar el sistema de ventilación se tenga un mejor manejo del consumo energético y en consecuencia reduzca los precios del recibo de luz, la lógica de funcionamiento se describe en el diagrama de la Fig. 5.8.

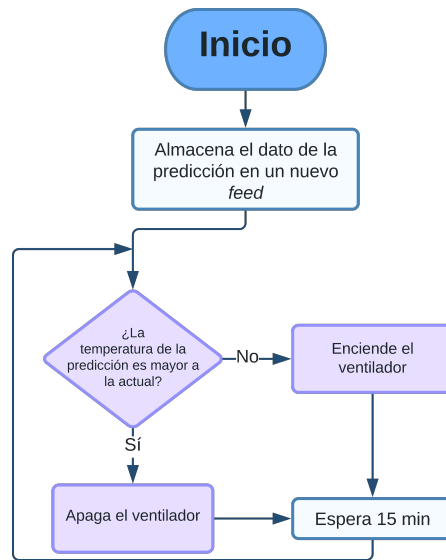


Figura 5.8. Condición para la automatización del sistema de ventilación.

Esta rutina se ejecuta cada 15 minutos, por lo que se verifica el cambio de temperatura 4 veces por hora en caso de que las condiciones climáticas cambien o haya un mayor número de participantes dentro de la habitación.

Adicionalmente, como se muestra en la Fig. 5.9, se ha organizado la información procesada en un *dashboard* que permite visualizar e interactuar de manera gráfica con los datos mientras el código principal se ejecuta.



Figura 5.9. Dashboard del sistema IoT para la identificación de los perfiles de consumo de energía.

Con la finalidad de probar el funcionamiento del algoritmo se montó un sistema básico que consiste en un Módulo Wi-Fi con sensor de temperatura, así como un módulo Wi-Fi con un relevador para encender o apagar un ventilador.

Se creó un nuevo *dashboard* en la plataforma de Adafruit IO para poder visualizar y almacenar las variables en tiempo real, Fig. 5.10.

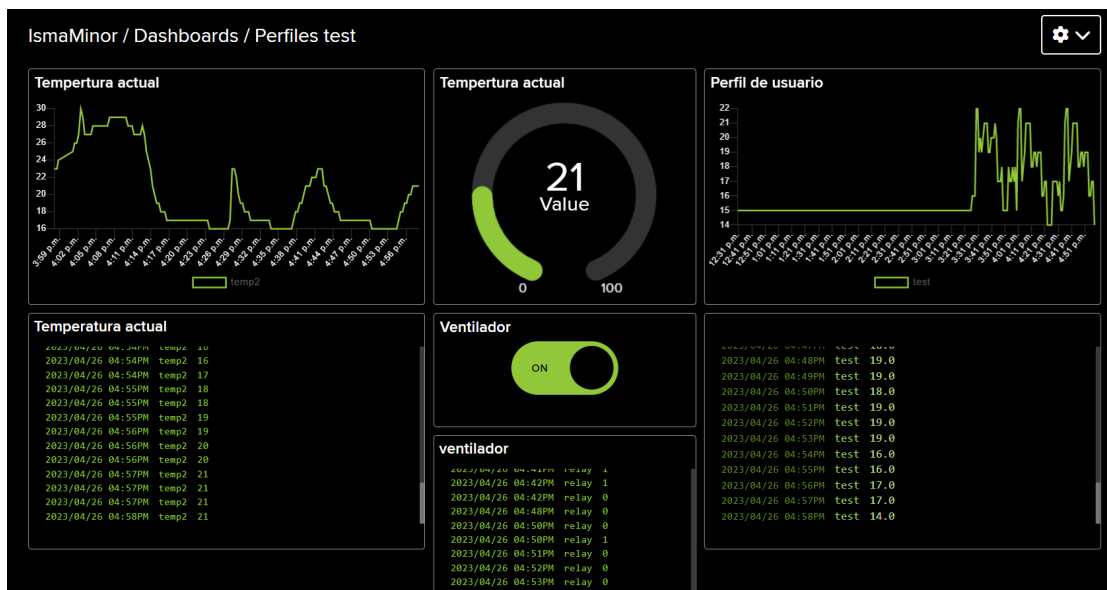


Figura 5.10. Dashboard creado en Adafruit IO para visualizar y accionar los módulos Wi-Fi.

Una de las ventajas de este sistema, es que, a pesar de ejecutarse de manera automática, el usuario sigue teniendo la opción de activar o desactivar la ventilación de forma manual desde el *dashboard*, de este modo, el sistema es flexible y toma las decisiones basadas en la forma en cómo el usuario hace uso de los dispositivos, y no necesariamente como otros sistemas de automatización que se rigen en gran medida por condiciones como horarios establecidos o cambios en las variables.

Finalmente, con esta prueba se comprobó que el algoritmo funciona correctamente en tiempo real enviando una predicción cada 15 minutos.

Una vez verificado el correcto funcionamiento es posible añadir más de una variable para analizar los datos, en este caso, el objetivo es reducir el consumo energético, por lo que un elemento clave que se debe tomar en cuenta es la corriente que demandan los electrodomésticos ya que a partir de esta se puede calcular el consumo en kilowatt-hora (kWh) e incluso poder tener una aproximación del costo que se debe pagar por el uso de estos.

Para esto se ha implementado un sensor de corriente VAC T60404-E4624-X101 con el cual se hizo la caracterización y calibración para poder medir el consumo de corriente del ventilador como se muestra en la Fig. 5.11.

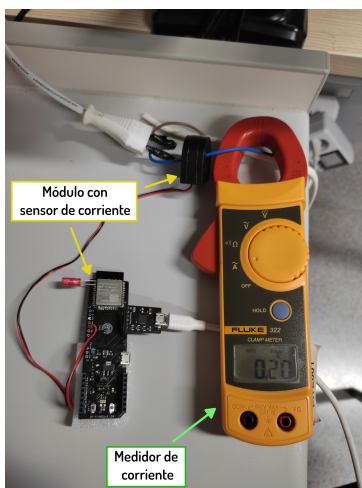


Figura 5.11. Medición con el sensor de corriente y el medidor para calibración.

Potencia = 45.83 W	I _{rms} = 0.20 A
Potencia = 45.50 W	I _{rms} = 0.20 A
Potencia = 45.93 W	I _{rms} = 0.20 A
Potencia = 45.74 W	I _{rms} = 0.20 A

Figura 5.12. Medición del sensor de corriente calibrado.

Se realizaron mediciones del consumo de corriente en un ventilador de 50 W, luego de la calibración mediante código se puede observar en la Fig. 5.12, que el módulo con sensor coincide con el valor del medidor de corriente.

Finalmente, se envían estos datos en kW a la plataforma para su análisis

Datos registrados en kw de ventilador



Figura 5.13. Datos del sensor de corriente.

Los datos registrados por el sensor de corriente permiten identificar no solo cuánto consume el dispositivo, sino que también a partir de estos datos es posible calcular los kWh que multiplicados por la tarifa del servicio eléctrico permiten dar un estimado de cuánto se pagaría por el uso de este servicio.

5.4. Conclusiones del proyecto y trabajo futuro

■ *Conclusiones*

La implementación de un sistema de IoT que analiza los datos de manera automática para identificar perfiles y tiene la capacidad de aprender del usuario, tiene el potencial de administrar mejor los dispositivos dentro del hogar de una manera personalizada, lo que en consecuencia se debería ver reflejado en un ahorro del consumo energético.

El trabajo presentado hasta este momento es una aproximación para la creación de un Home Energy Management System, modular, *Low Code* y de bajo costo, que se adapta a las necesidades y la infraestructura de los hogares en México.

Los resultados presentados con el desarrollo de la API y las pruebas con el sensor de temperatura y el ventilador brindan las bases para continuar con el desarrollo de esta plataforma, con el objetivo de agregar un mayor número de variables como pueden ser, sensores de presencia, luminosidad o humedad.

Para el desarrollo de este proyecto, se implementó el Análisis Exploratorio de Datos (EDA), para identificar los perfiles y hacer una predicción basada en estadísticas y datos del pasado, si bien el sistema funciona, es importante tomar en cuenta que existen variables externas que pueden afectar la respuesta de este, por lo tanto, queda abierta la posibilidad como trabajo futuro, implementar técnicas diferentes como *machine learning* para el análisis y predicción. Finalmente, es importante mencionar que se requiere de un mayor número de pruebas y la implementación del sistema IoT en un hogar para poder comprobar que es posible reducir el consumo energético en un 20%.

■ *Trabajo Futuro*

El desarrollo de esta plataforma *Low Code* IoT de 5 capas con SOA tiene el potencial de ser un sistema HEMS que se adapta a las necesidades del mercado mexicano por su bajo costo y fácil implementación. Por lo tanto, las actividades a realizar para complementar este proyecto se describen a continuación:

- Montar el sistema fuera de un banco de pruebas.
Se realizará el montaje del sistema en un hogar con las medidas de seguridad correspondientes, este proceso se realizará en 3 fases:
 - Fase 1
Se realizará el montaje solamente de sensores y se realizará el muestreo durante un periodo de tiempo determinado para identificar los patrones de consumo que tiene el usuario. Durante esta fase es posible explorar la posibilidad de implementar algoritmos más robustos que el EDA para el reconocimiento de patrones, ya que se trabajará con un mayor número de variables

- Fase 2
Una vez identificados los patrones, se trabajará en el desarrollo de la API que incluya funciones que permitan automatizar el hogar con la finalidad de ayudar al usuario a gestionar mejor sus dispositivos.
- Fase 3
En esta fase se realizará el montaje de los módulos con actuadores que permitirán el accionamiento, atenuación o apagado de los dispositivos, creando de este modo una WSAN que está en función de la información que recibe, ya sea desde la API o del usuario desde el *dashboard*.

La finalidad de realizar estas actividades es cuantificar hasta cuánto es posible reducir el consumo energético, para obtener este dato se realizará una comparación de los gastos que destinaba el hogar previo a la implementación del sistema y posteriormente. Con esta información cuantitativa es posible trabajar en la mejora de aspectos como:

- Desarrollar la capa de *business*.
 - Incluir información estadística e informes que permitan monitorear la rentabilidad del sistema.

Conclusiones

6.1. Conclusiones

El Internet de las Cosas combinado con el crecimiento exponencial de la tecnología, tiene el potencial cambiar la forma en la que las personas interactúan con el entorno que los rodea, el modo en que las instituciones educativas ofrecen nuevas estrategias de aprendizaje, así como la forma en que las empresas desarrollan soluciones para tener ventaja competitiva.

Por lo tanto, desarrollar conocimiento en esta área es fundamental para poder proponer soluciones que integren esta tecnología.

En este trabajo de tesis se abordó el desarrollo de hardware como una herramienta que, en conjunto con los desarrollos comercialmente disponibles, permiten que el usuario pueda explorar, aprender e integrar proyectos de IoT, de manera modular e inalámbrica.

Uno de los principales retos en el desarrollo de las tarjetas electrónicas fue proponer un diseño modular, fácil de conectar y que asegurara la interoperabilidad entre plataformas y desarrollos de IoT.

Es en este punto donde el *Design Thinking* permitió establecer un proceso en el que se analizaron los modelos establecidos por los principales fabricantes de hardware en el mundo, se definió un modelo estandarizado tomando como referencia el estándar mikroBUS™, y de este modo, fue posible el desarrollo de un prototipo que finalmente se evaluó para obtener la retroalimentación que dio pauta al producto final.

Los resultados de este desarrollo convergen en la plataforma ESP-Modulink, una plataforma de hardware basada en un kit de 5 módulos Wi-Fi con sensor integrado, 5 módulos Wi-Fi de salida, un módulo de batería, así como un módulo programador, adicionalmente, este kit se complementa con un sitio web en el que se cuenta con el soporte y acceso a la documentación técnica, códigos de prueba, así como ejemplos para poder implementar proyectos de IoT en dos estilos que se adaptan al perfil del usuario, el modo *Low Code*, que combina las ventajas de Home Assistant y ESPHome, así como el modo desarrollador que permite a los usuarios aprovechar la flexibilidad de los módulos para experimentar con código en distintos entornos de programación compatibles con el módulo ESP32, así como diferentes plataformas o servicios en la nube, como ejemplo se presentó la integración de Adafruit IO y Micropython.

Esta plataforma permite experimentar con la integración de redes de sensores y actuadores inalámbricos, así como el desarrollo de sistemas IoT con arquitecturas que se pueden adaptar a soluciones específicas, como el reconocimiento de perfiles de consumo energético dentro de hogares o edificios inteligentes, teniendo un impacto significativo en el desarrollo de sistemas y algoritmos para los sistemas de gestión de la energía.

6.2. Trabajo Futuro

La plataforma ESP-Modulink tiene el potencial de ser la base para el desarrollo de hardware estandarizado, por lo que parte de las actividades a desarrollar, como trabajo futuro, consiste en ampliar la gama de módulos con la finalidad de que el cliente pueda elegir el dispositivo que más se adapte a la variable que requiera medir o el proceso que necesite automatizar.

Adicionalmente, se plantea una colaboración para la integración de este kit de hardware en el desarrollo de un plan de trabajo, que permita a los alumnos de instituciones educativas de nivel medio superior y superior interactuar y desarrollar proyectos con la finalidad de reforzar el aprendizaje en los temas de IoT a través de la práctica.

Como parte de esta colaboración se pretende evaluar de forma paralela, el desempeño de los dispositivos, así como la respuesta que tienen los usuarios al interactuar con la plataforma, con la finalidad de que en conjunto con la metodología del *Design Thinking* se logre una mejora continua a nivel de hardware y soporte en software.

Finalmente, se plantea continuar con el desarrollo del sistema de identificación de perfiles de consumo, implementando el hardware en un hogar, y evaluar la respuesta de algoritmos más robustos que el EDA, como pueden ser algoritmos para la predicción de datos, esto con el fin de establecer un sistema que aprenda del usuario y permita gestionar la energía de forma eficiente, generando de este modo un ahorro en el pago de este servicio.

Bibliografía

- [1] K. Ashton, "That 'internet of things' thing in the real world, things matter more than ideas," *RFID journal*, vol. 22, no. 7, pp. 97–114, 2009.
- [2] M. Chui, M. Löffler, and R. Roberts, "The internet of things," *McKinsey*, pp. 12–13, March 2010.
- [3] A. Román, *El internet de las cosas y su impacto en la educación*. Universidad de Colima, 2020.
- [4] P. J. Terrazas, "Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para iot," tech. rep., Instituto Federal de Comunicaciones, 2019.
- [5] M. C. Trujillo, "Análisis exploratorio de comercialización de servicios de conectividad para el iot en México," tech. rep., Instituto Federal de Comunicaciones, 2023.
- [6] G. Ortiz, "México rezagado en internet de las cosas." [En línea]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articles/internet-de-las-cosas-en-mexico.html>, jul 2017. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [7] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, and L. Lengyel, "Survey of platforms for massive iot," *2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)*, pp. 1–8, 2018.
- [8] "Definition of internet of things (iot) - gartner information technology glossary." [En línea]. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/internet-of-things>. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [9] "With a trillion sensors, the internet of things would be the "biggest business in the history of electronics"." [En línea]. Disponible en: <https://shorturl.at/fkAKU>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [10] "Gartner it infrastructure, operations & cloud strategies conference 2023." [En línea]. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/conferences/apac/infrastructure-operations-cloud-australia>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [11] Bonilla-Fabela, "IoT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones," *Vinculatégica Efan*, p. 2238, 2016.
- [12] J. R. C. Fonseca, *La educación 4.0 en México: reflexiones y propuestas desde la educación superior*. Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2020.

- [13] D. Sánchez Guzmán, “Industria y educación 4.0 en México: un estudio exploratorio,” *Innovación educativa*, vol. 19, no. 81, pp. 39–64, 2018.
- [14] A. T. Sifuentes Ocegueda, E. L. Sifuentes Ocegueda, and J. M. Rivera Barajas, “Educación 4.0, modalidad educativa y desarrollo regional integral,” *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, vol. 13, p. e1452, may 2022.
- [15] J. Manyika and M. Chui, “The internet of things mapping the value beyond the hype,” 2015.
- [16] S. Conant, “The iot will be as fundamental as the internet itself - o’reilly radar.” [En línea]. Disponible: <http://radar.oreilly.com/2015/06/the-iot-will-be-as-fundamental-as-the-internet-itself.html>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [17] S. Poslad, *Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions*. Wiley Sons, Limited, John, 2011.
- [18] A. Kelleher, “Ley de moore – ahora y en el futuro.” [En línea]. Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/newsroom/opinion/moore-law-now-and-in-the-future.html#gs.0n13e2>, 2022. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [19] J. Manyika and M. Chui, “The internet of things mapping the value beyond the hype,” 2015.
- [20] S. Adams Becker, M. Cummins, Davis, C. Hall Giesinger, and V. Ananthanarayanan, “Horizon report: 2017 higher education edition.” [En línea]. Disponible en: <https://library.educouse.edu/resources/2017/2/2017-horizon-report>, 2017. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [21] M. Bagheri and S. H. Movahed, “The effect of the internet of things (iot) on education business model,” in *2016 12th International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems (SITIS)*, pp. 435–441, 2016.
- [22] F. Borrego-Jaraba, G. C. García, I. L. Ruiz, and M. Ángel Gámez-Nieto, “An nfc based context-aware solution for access to bibliographic sources in university environments,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, pp. 105–118, 2013.
- [23] Z.-T. Zhu, M.-H. Yu, and P. Riezebos, “A research framework of smart education,” *Smart Learning Environments*, vol. 3, no. 4, 2016.
- [24] J. M. Fernández-Batanero, M. Montenegro-Rueda, J. Fernández-Cerero, and E. L. Meneses, “Adoption of the internet of things in higher education: opportunities and challenges,” *Interactive Technology and Smart Education*, 2023.
- [25] “Stem education - tsms.” [En línea]. Disponible en: <https://schoolofmathandscience.org/index.php/academics/stem>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [26] R. Myhill, “What is stem education? a beginner’s guide - liysf.” [En línea]. Disponible en: <https://www.liysf.org.uk/blog/what-is-stem-education>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.

- [27] L. G. Cabello, “Proyectos creativos con BBC micro: bit,” *Observatorio de tecnología educativa*, no. 71, p. 12, 2021.
- [28] “Qué es micro:bit. microes.org - comunidad micro:bit en española.” [En línea]. Disponible en: <http://microes.org/>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [29] “Click boards - mikroe.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mikroe.com/click-boards>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [30] “Acerca de mikroe - microside technology.” [En línea]. Disponible en: <https://microside.com/acerca-de-mikroe/>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [31] “Xide - microside technology.” [En línea]. Disponible en: <https://microside.com/xide/>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [32] C.-L. Hsu and J. C.-C. Lin, “An empirical examination of consumer adoption of internet of things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives,” *Computers in Human Behavior*, vol. 62, pp. 516–527, 2016.
- [33] Y. Shu, *Internet of Things: wireless sensor networks*. 2014.
- [34] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey,” *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, 2002.
- [35] F. Engmann, F. A. Katsriku, J.-D. Abdulai, and K. S. Adu-Manu, “Reducing the energy budget in wsn using time series models,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020.
- [36] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, “Wireless sensor and actor networks: research challenges,” *Ad Hoc Networks*, 2004.
- [37] F. Moreno Cerdà, “Demostrador arquitectura publish/subscribe con MQTT,” Master’s thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona Tech, 2018.
- [38] M. Serozhenko, “Mqtt vs. http: which one is the best for iot?” [En línea]. Disponible: <https://medium.com/mqtt-buddy/mqtt-vs-http-which-one-is-the-best-for-iot-c868169b3105>, 2023. Accedido el 17 de noviembre de 2023.
- [39] L. Llamas, “¿qué es MQTT? su importancia como protocolo IoT.” [En línea]. Disponible: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>, April 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2023.
- [40] R. Vinueza and S. Stefany, “Despliegue de clusters de brokers MQTT usando SBCs de bajo coste,” Master’s thesis, Universitat Politècnica de València, 2021.
- [41] “Protocolo mqtt | aprendiendo arduino.” [En línea]. Disponible: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2022/04/22/protocolo-mqtt/>, 2023. Accedido el 17 de noviembre de 2023.
- [42] M. O. Monet, “IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE PLATAFORMAS EN LA NUBE PARA SERVICIOS DE IoT,” Master’s thesis, Universitat Politècnica de València, València, 2019.

- [43] B. Rubell, “Overview | welcome to adafruit io | adafruit learning system.” [En línea]. Disponible en: <https://learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io/overview>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [44] “Esp32 wi-fi bluetooth soc | espressif systems.” [En línea]. Disponible en: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [45] “Longevity commitment | espressif systems.” [En línea]. Disponible en: <https://www.espressif.com/en/products/longevity-commitment>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [46] “Micropython - python for microcontrollers.” [En línea]. Disponible en: <https://micropython.org/>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [47] “Buzzer pinout, working, specifications datasheet.” [En línea]. Disponible en: <https://components101.com/misc/buzzer-pinout-working-datasheet>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [48] “Lithium ion vs. lithium polymer batteries – which is better?.” [En línea]. Disponible en: <https://blog.ravpower.com/2017/06/lithium-ion-vs-lithium-polymer-batteries/>, June 2017. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [49] “Tp4056 con protección dual microusb / tipo c cargador de baterías li-ion li-po - unit electronics.” [En línea]. Disponible en: <https://shorturl.at/aqISW>, 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [50] “Sleep modes - ESP32 - ESP-IDF programming guide latest documentation.” [En línea]. Disponible en: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/sleep_modes.html. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [51] C.-L. Hsu and J. C.-C. Lin, “An empirical examination of consumer adoption of internet of things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives,” *Computers in Human Behavior*, vol. 62, pp. 516–527, 2016.
- [52] T. Brown, “Design thinking harvard business review,” 2008.
- [53] “Design toolkit.” [En línea]. Disponible en: <http://design-toolkit.uoc.edu/es/design-thinking/>. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [54] “An introduction to design thinking PROCESS GUIDE.” [En línea]. Disponible en: <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [55] D. C. Yacchirema, *Arquitectura de interoperabilidad de dispositivos físicos para el Internet de las Cosas (IoT)*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València, València, 2019.
- [56] S. García, “Interoperabilidad en el IoT: Superando las barreras de la conectividad.” [En línea]. Disponible en: <https://miot.es/es/interoperabilidad-en-el-iot-superando-las-barreras-de-la-conectividad/>, June 2023. Accedido el 15 de noviembre de 2023.

- [57] O. Vermesan, *Advancing iot platforms interoperability*. Denmark: River Publishers, 2018.
- [58] “Qwiic (I2C).” [En línea]. Disponible en: <https://docs.particle.io/hardware/expansion/qwiic/>. Accedido el 15 de noviembre de 2023.
- [59] “ESP32 D1 mini Bluetooth+WiFi board —.” [En línea]. Disponible en: <https://makersportal.com/shop/esp32-d1-mini-bluetoothwifi-board>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [60] “ESP32 WEMOS D1 R32.” [En línea]. Disponible en: <https://electronicaelfaro.com/esp32-wemos-d1-r32>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [61] “MicroMod - a modular prototyping platform for interchanging microcontrollers - SparkFun electronics.” [En línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/micromod>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [62] “Edge connector and pinout.” [En línea]. Disponible en: <https://tech.microbit.org/hardware/edgeconnector>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [63] “MikroBUS.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mikroe.com/mikrobus>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [64] “Click boards.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mikroe.com/click-boards>. Accedido el 28 de noviembre de 2023.
- [65] “Matriz de feedback.” [En línea]. Disponible en: <https://bikceei.emprenemjunts.es/?op=13&n=11975&codMenu=4055>, December 2017. Accedido el 29 de noviembre de 2023.
- [66] I. Minor, “Taller de mecatrónica moderna.” [En línea]. Disponible en: <https://www.facebook.com/100071569428835/videos/1445375139575638>, 2023.
- [67] I. Minor, “Sistemas embebidos para la integración de proyectos IoT.” [En línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=h_m_JuLY3j8&t=1153s, 2023.
- [68] I. Minor, “ESP-Modulink.” [En línea]. Disponible en: <https://espmodulelink.wordpress.com/>, 2023. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [69] ESPHome, “Getting started with esphome and home assistant.” [En línea]. Disponible en: https://esphome.io/guides/getting_started_hassio.html. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [70] Home Assistant, “Home assistant.” [En línea]. Disponible en: <https://www.home-assistant.io/>. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [71] I. E. Agency, “World indicators (edition 2022),” 2023.
- [72] B. Han, Y. Zahraoui, M. Mubin, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, and A. Stojcevski, “Home energy management systems: A review of the concept, architecture, and scheduling strategies,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 19999–20025, 2023.
- [73] M. Beaudin and H. Zareipour, “Home energy management systems: A review of modelling and complexity,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 318–335, 2015.

- [74] “CFE DISTRIBUCIÓN CIERRA 2022 CON UN BALANCE FINANCIERO POSITIVO,.” [En línea]. Disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=3844>, 2023. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [75] “Esquema tarifario vigente.” [En línea]. Disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>, 2023. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [76] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares (ENIGH). 2022 nueva serie,” 2023.
- [77] M. Sakah, S. de la Rue du Can, F. A. Diawuo, M. D. Sedzro, and C. Kuhn, “A study of appliance ownership and electricity consumption determinants in urban ghanaian households,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 44, pp. 559–581, 2019.
- [78] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, “Publica conuee un compendio de consejos para ahorrar energía en el hogar.” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/presenta-conuee-guia-para-el-ahorro-de-energia-en-el-hogar>. Accedido el 30 de noviembre de 2023.
- [79] B. Han, Y. Zahraoui, M. Mubin, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, and A. Stojcevski, “Home energy management systems: A review of the concept, architecture, and scheduling strategies,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 19999–20025, 2023.
- [80] J. Giao, A. A. Nazarenko, F. Luis-Ferreira, D. Gonçalves, and J. Sarraipa, “A framework for service-oriented architecture (soa)-based iot application development,” *Processes*, vol. 10, no. 9, 2022.
- [81] S. H. Al-Awami, M. Mahfud Al-Aty, and M. F. Al-Najar, “Comparison of iot architectures based on the seven essential characteristics,” in *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, pp. 305–310, 2023.
- [82] A. G. Putrada, M. Abdurohman, D. Perdana, and H. H. Nuha, “Machine learning methods in smart lighting toward achieving user comfort: A survey,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 45137–45178, 2022.
- [83] A. Čolaković and M. Hadžialić, “Internet of things (iot): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues,” *Computer Networks*, vol. 144, pp. 17–39, 2018.
- [84] I.-R. Chen, J. Guo, and F. Bao, “Trust management for soa-based iot and its application to service composition,” *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 482–495, 2016.
- [85] P. Kyösti and J. Lindström, “Soa-based platform use in development and operation of automation solutions: Challenges, opportunities, and supporting pillars towards emerging trends,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, 2022.

Esquemáticos

A.1. Esquemático de Nodo de Prueba

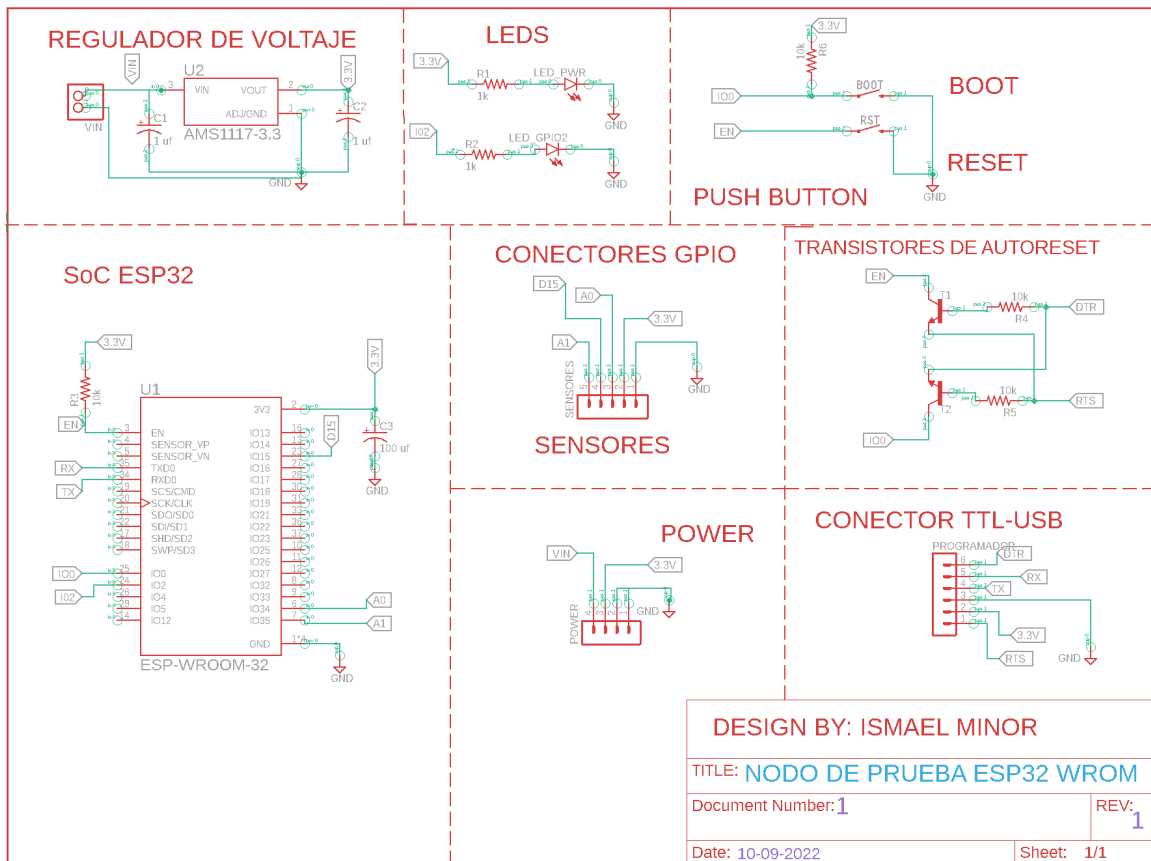


Figura A.1. Esquemático de Nodo de Prueba.

A.2. Esquemático de cargador y elevador de voltaje

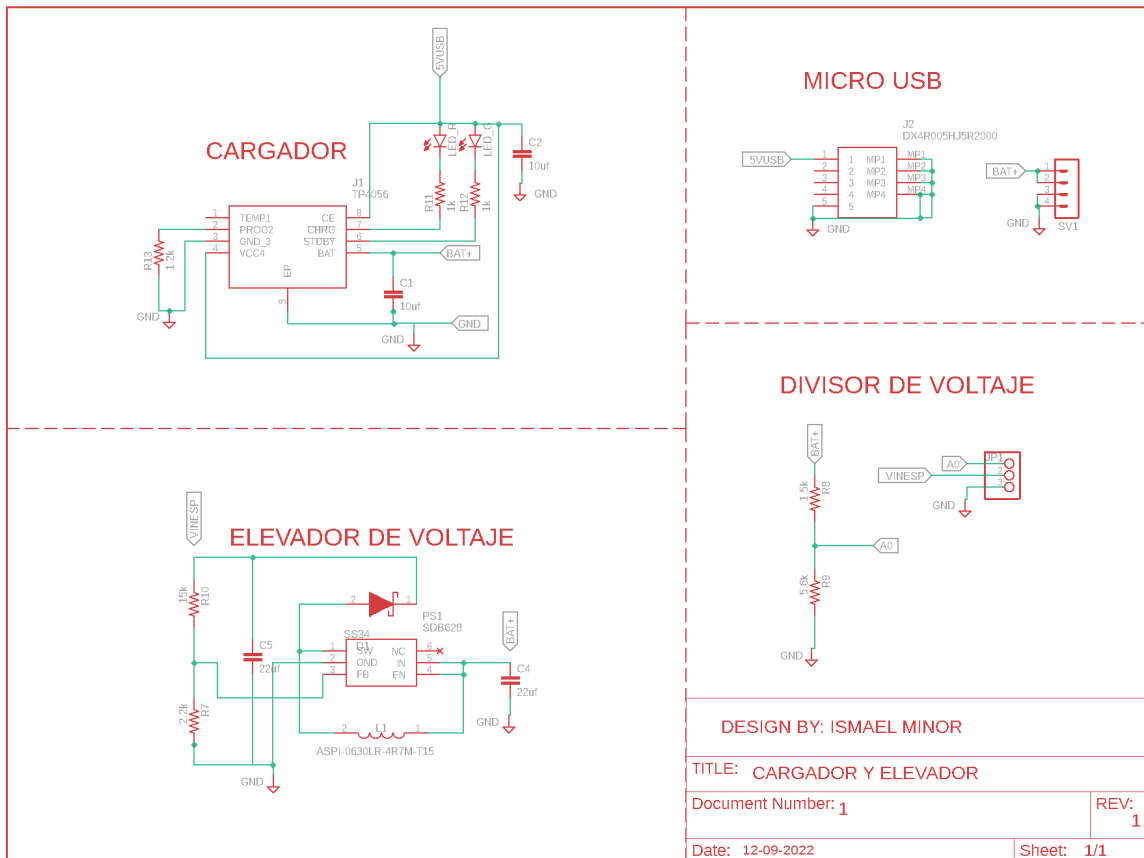


Figura A.2. Esquemático de cargador y elevador de voltaje.

A.3. Esquemáticos de Módulos Wi-Fi con sensor integrado v2.0

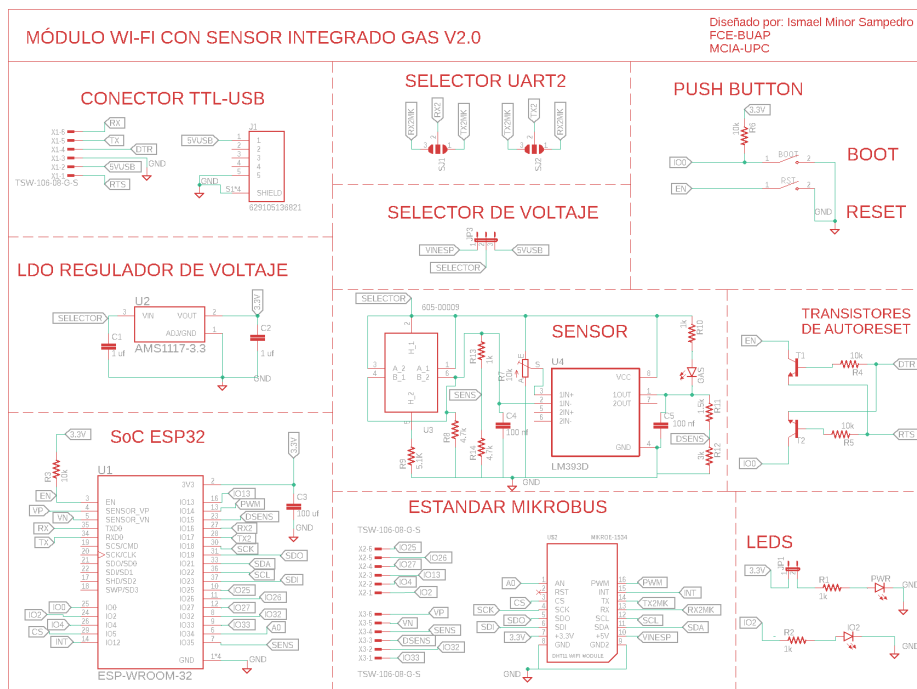


Figura A.3. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado GAS LP v2.0.

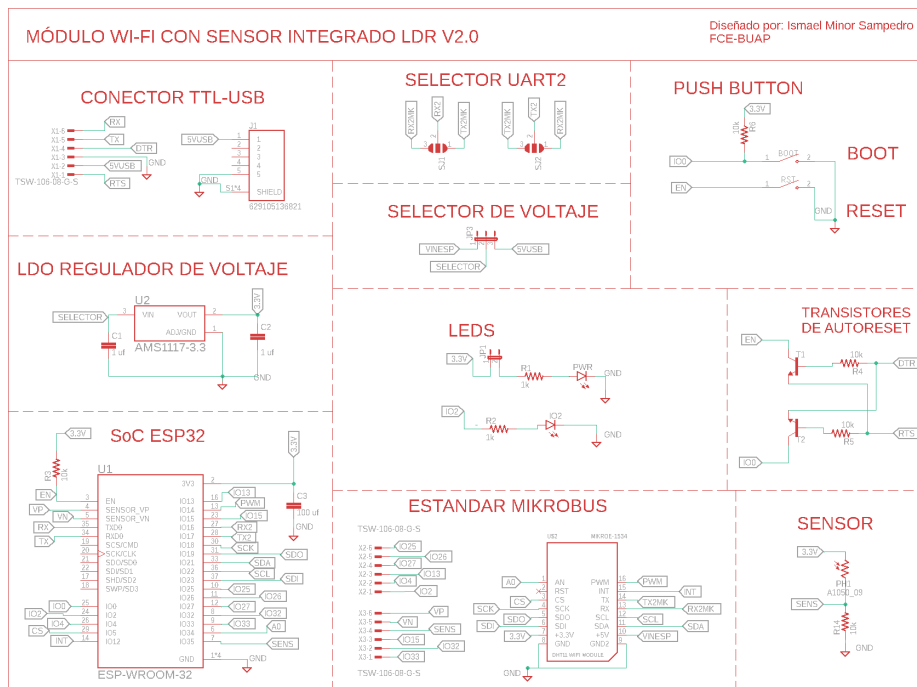


Figura A.4. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado LDR v2.0.

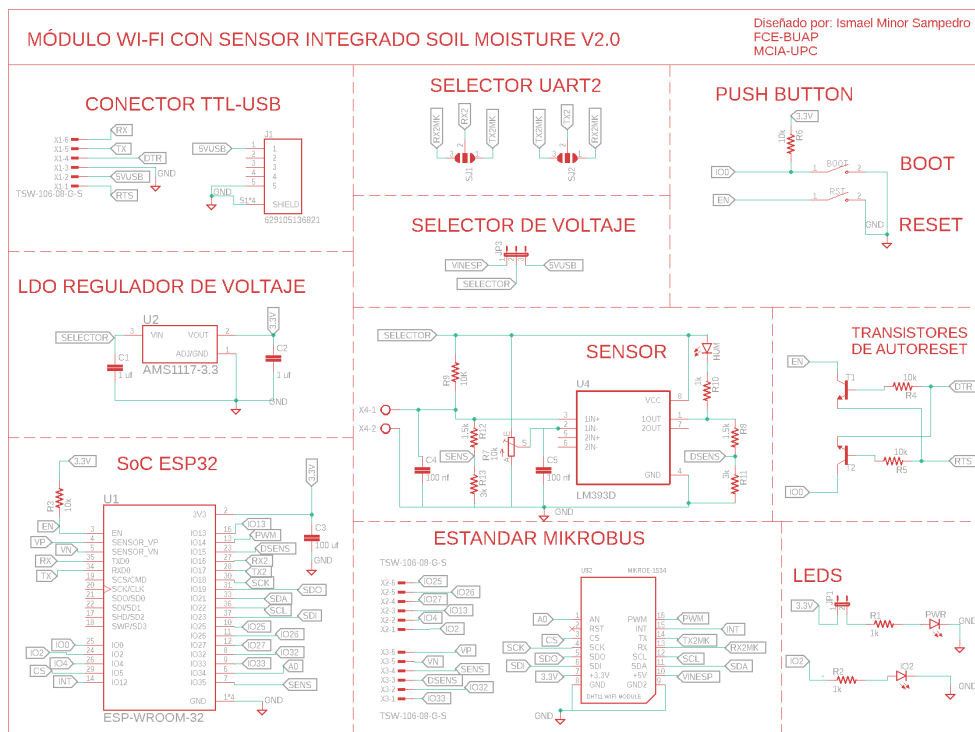


Figura A.5. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado Soil Moisture v2.0.

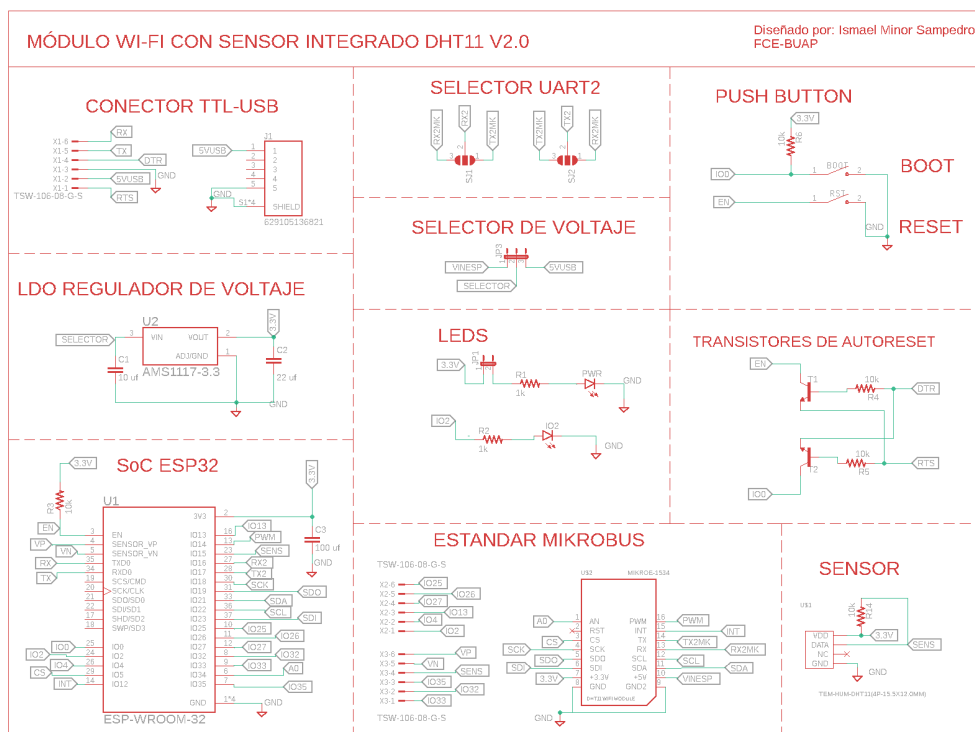


Figura A.6. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado DH11 v2.0.

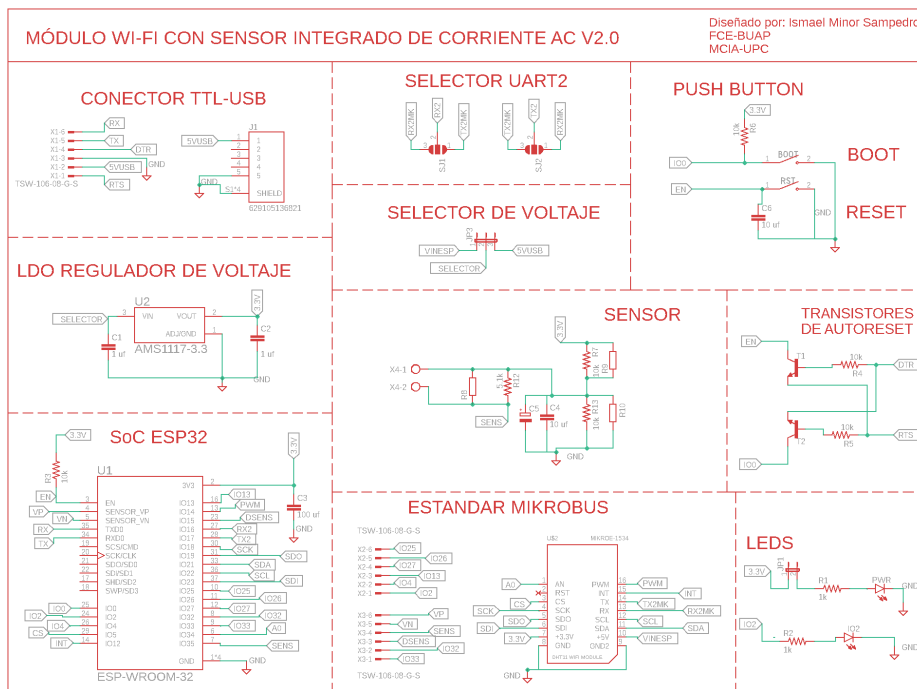


Figura A.7. Esquemático del Módulo Wi-Fi con sensor integrado de Corriente AC v2.0.

A.4. Esquemáticos de Módulos Wi-Fi de salida v2.0

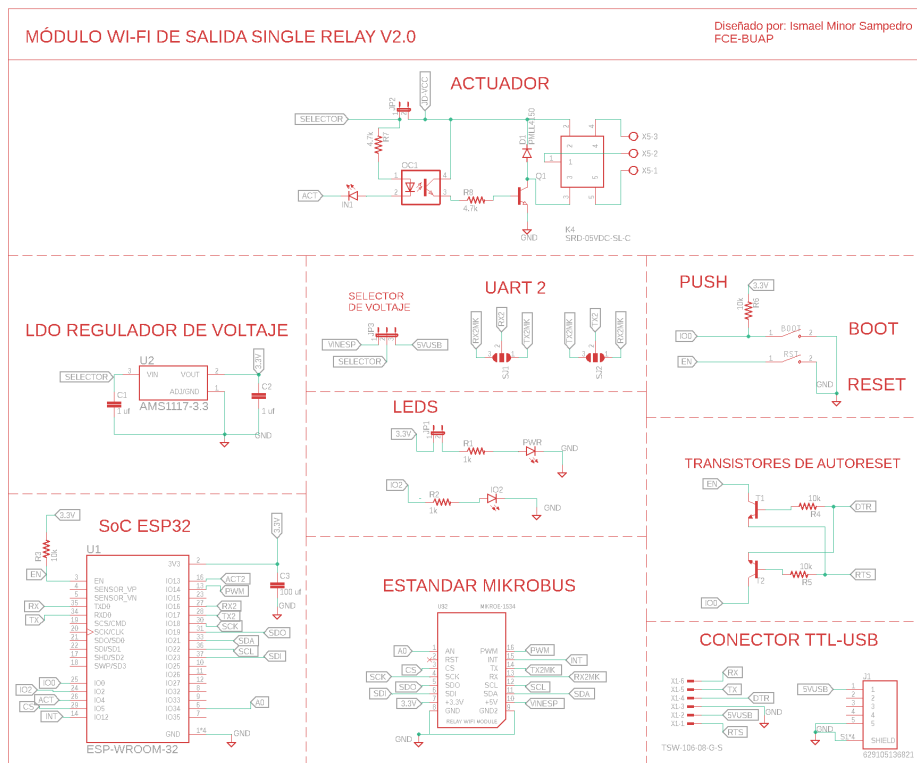


Figura A.8. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Relay v2.0.

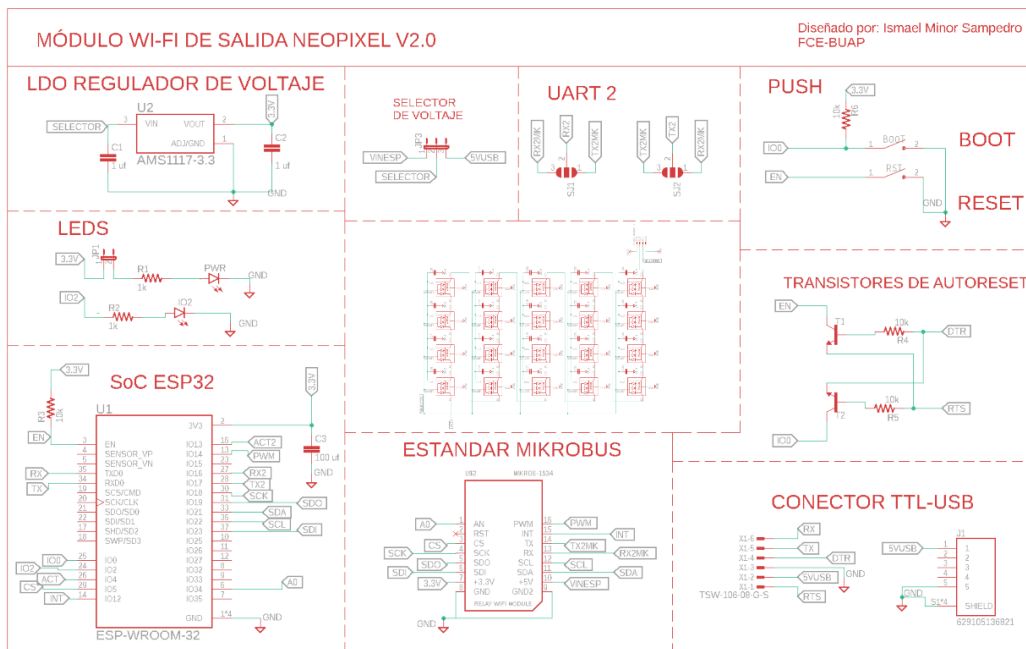


Figura A.9. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Neopixel v2.0.

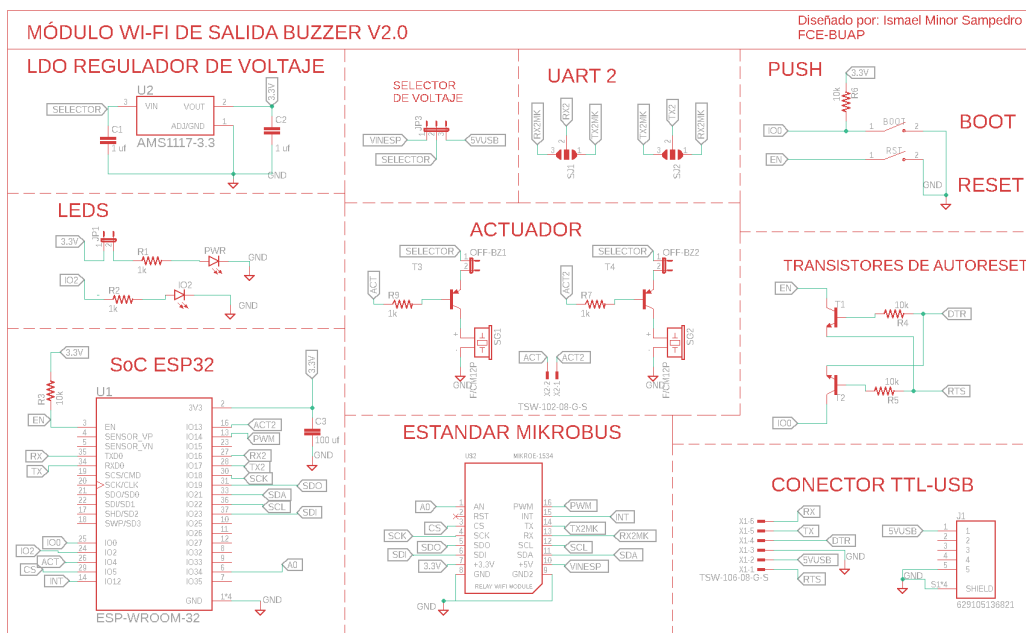


Figura A.10. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida Buzzer v2.0.

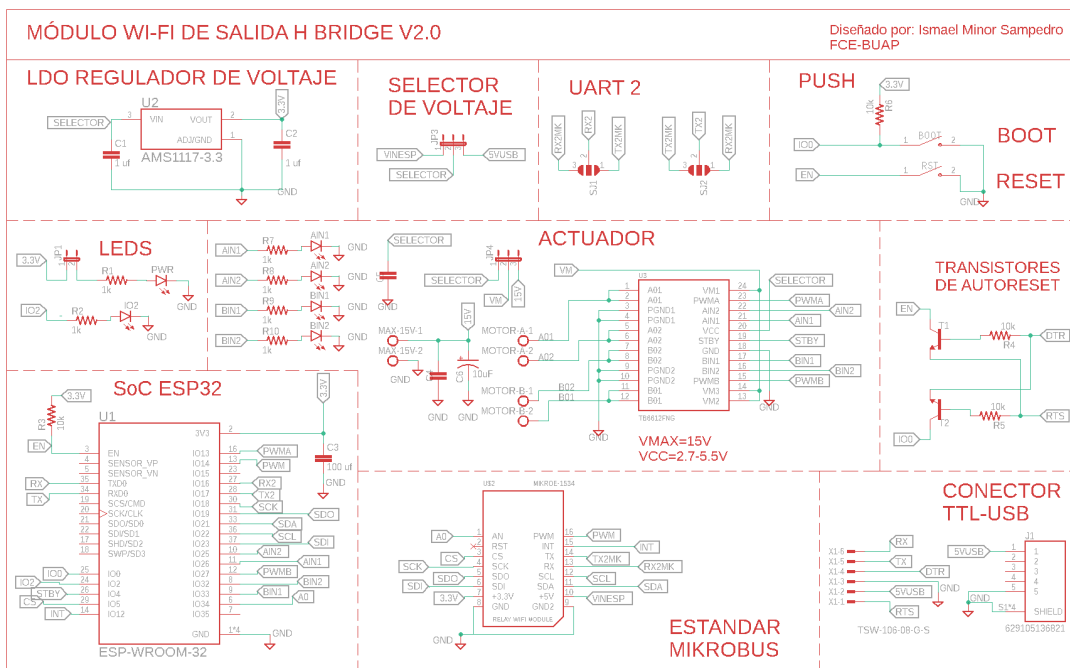


Figura A.11. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida H-Bridge v2.0.

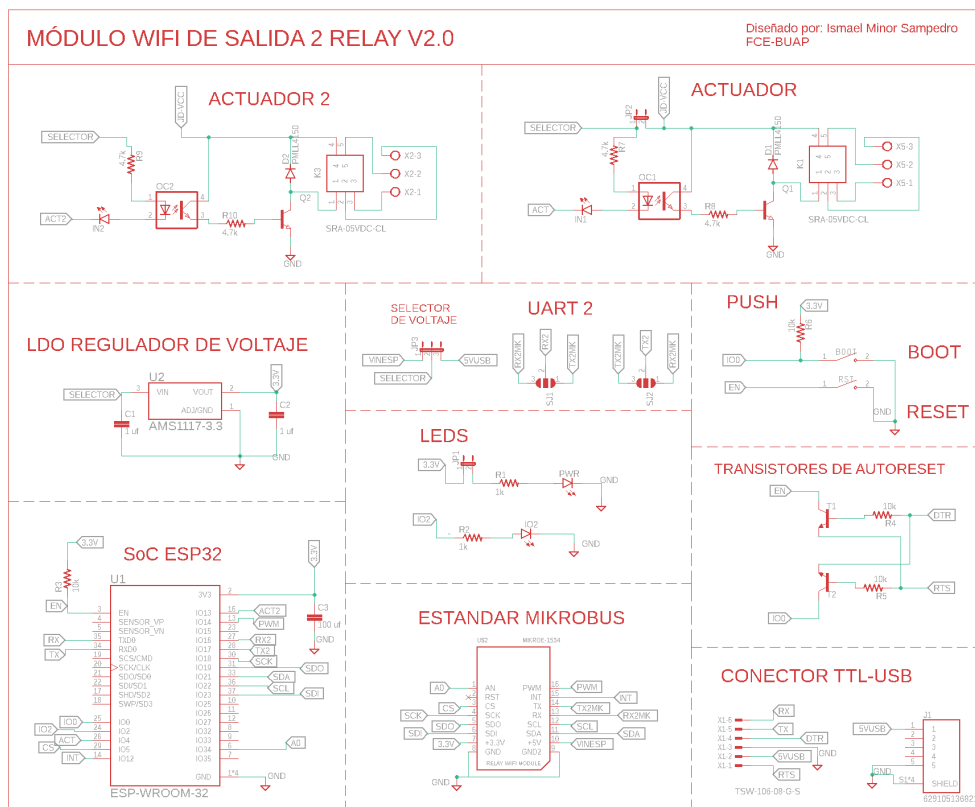


Figura A.12. Esquemático del Módulo Wi-Fi de Salida 2 Relay v2.0.

A.5. Esquemáticos de Módulo de batería v2.0 y Módulo programador

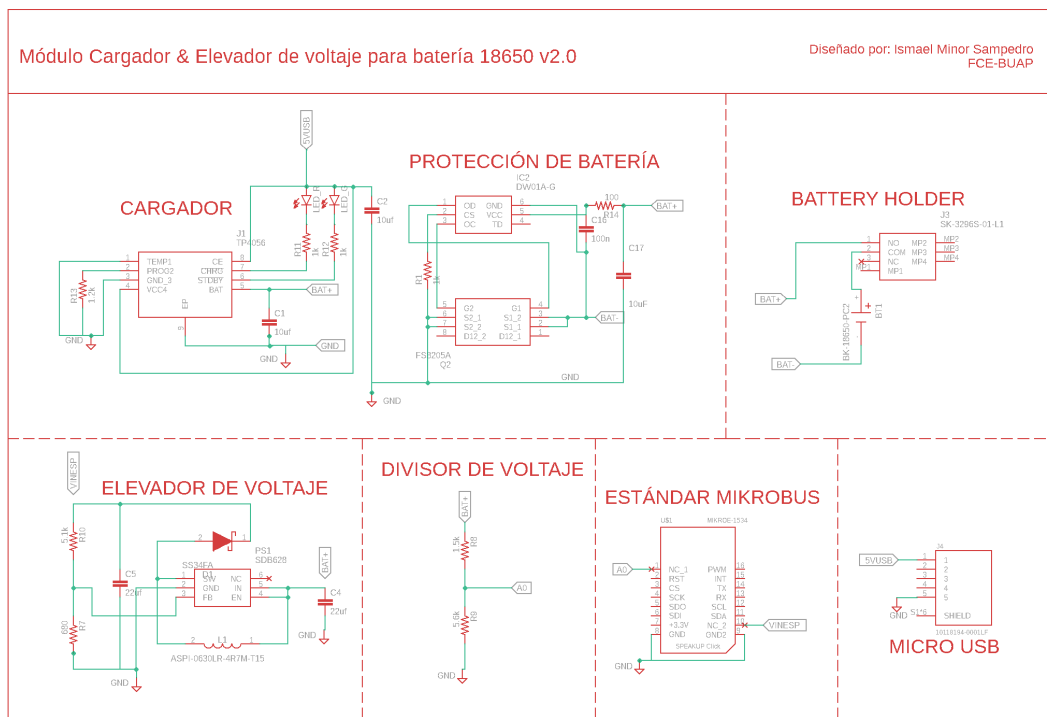


Figura A.13. Esquemático del Módulo 18650 Cargador & Elevador v2.0.

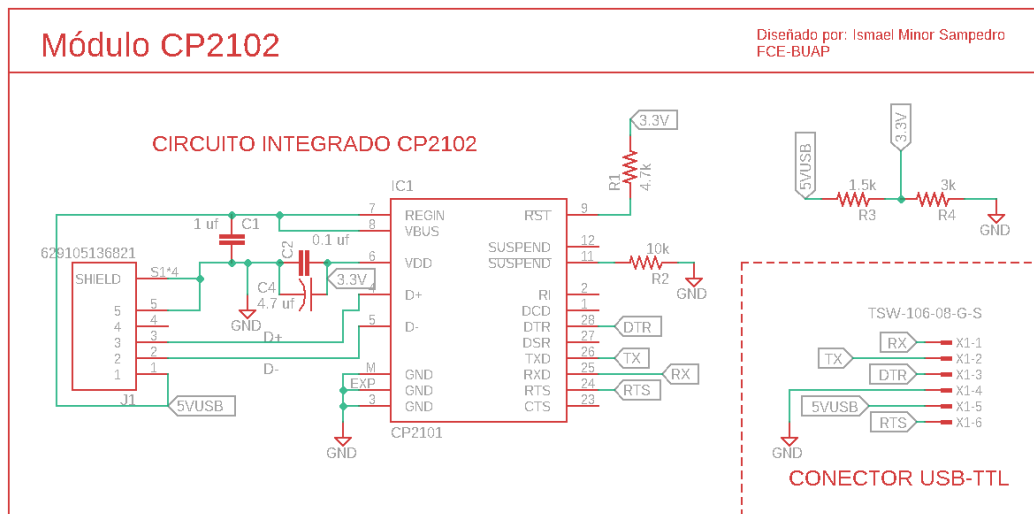
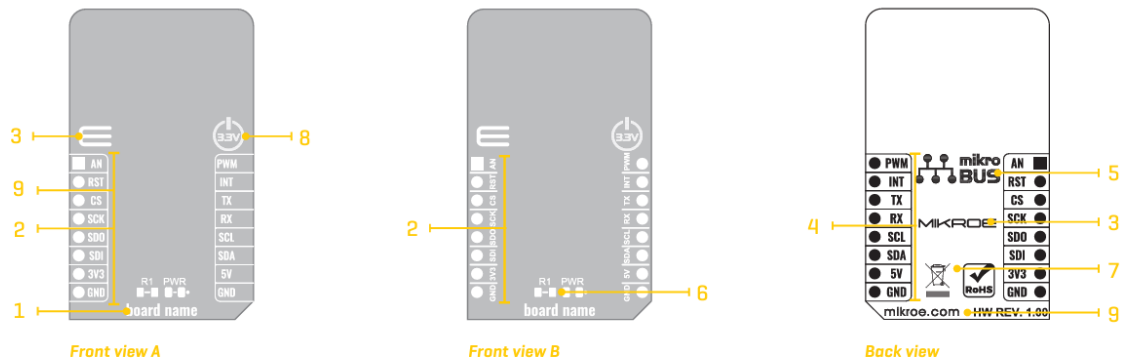


Figura A.14. Esquemático del Módulo CP2102.

Documentación técnica

B.1. Especificaciones del estándar mikroBUS™

Silkscreen markings



1. The add-on board's name on the bottom of the board – front side.
Font used: Oswald, typestyle Medium, size 6pt.
2. Individual pin markings, refer to the pinout section on the previous page. If space permits always use horizontal pin markings **(A)**, otherwise use vertical **(B)** to conserve space.
Font used for the horizontal pin names: Oswald, typestyle Medium, size 5pt;
Font used for the vertical pin names: Arial, typestyle Bold, size 3pt.
3. Mikro logo – If space permits, it is good practice to use full logo.
4. Pin markings on the backside of the board printed horizontally.
5. mikroBUS™ logo on the back of the board.
6. If space permits, it is good practice to label individual components on the add-on boards (different LEDs, SMD jumpers and similar).
7. If applicable, indicate RoHS, CE, WEE and similar compliance with proper markings.
8. Include an icon to indicate power supply (3,3V or 5V, or no icon if both options are supported).
9. Font used for the HW version and website: Arial, typestyle Bold, size 5pt

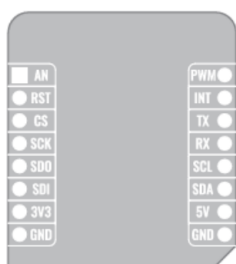
Figura B.1. Marcas de serigrafía.

Pinout specification

The pinout on a mikroBUS™ add-on boards corresponds with the module, not the target mainboard. As such, some pins are left unused and some deviate from the default configuration as seen on the mikroBUS™ socket. Four cases should be considered.

NOTE: The pin-out [always laid out in the same order] consists of three groups of communications pins [SPI, UART, and I2C], six additional pins [PWM, Interrupt, Analog input, Reset and Chip select], and two power groups [+3.3V and 5V].

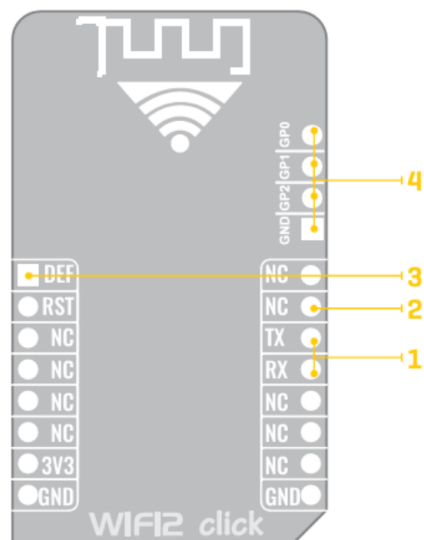
1. When a module uses an interface already featured on mikroBUS™, use those exact pins and mark them accordingly. This is the default layout:



Note the differences compared to mikroBUS™ markings: UART markings are criss-crossed because receivers are matched to transmitters. SPI markings are abbreviated. Like so:

Host	RX	TX	MISO	MOSI
Add-on	TX	RX	SDO	SDI

2. When a pin is not used, it should be marked NC [for Not Connected]



3. When there's no overlap between the name or function of a given mikroBUS™ pin and the pin on the module, the silkscreen should spell the name of the pin from the module. In this example, DEF is in place of the default AN pin.

4. Some boards can have an additional pinout in addition to mikroBUS™. These are usually marked by their function, here GPIO.

Example add-on board

Figura B.2. Especificaciones del pinout.

Size and shape

Three sizes are prescribed for mikroBUS™ add-on boards: **S**, **M** and **L**. When designing yours, use the smallest size sufficient to hold a given module. Sensors and transceiver chips will fit on **S** or **M** in most cases. Odd-shaped encoders or larger connectors will require an **L**. Whichever size you use, make sure to retain the **notch** on the bottom right corner of the board (serves as a guide for proper insertion into the socket). Size, layout, and shape must be compliant with the drawings below.

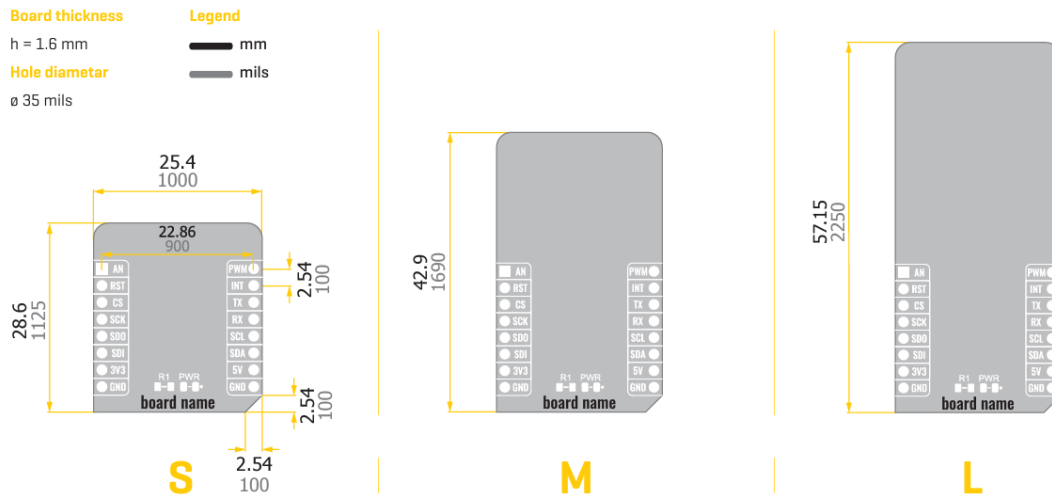


Figura B.3. Tamaño y forma de la PCB.

B.2. Especificaciones para diseño de PCB con el módulo ESP32

3.1.2 Positioning an ESP32 Module on a Base Board

If users adopt on-board design, they should pay attention to the layout of the module on the base board. The interference of the base board on the module's antenna performance should be reduced as much as possible.

The module should be placed as close to the edge of the base board as possible. The PCB antenna area should be placed outside the base board whenever possible. In addition, the feed point of the antenna should be closest to the board, as Figure 16 shows.

If there is base board under the antenna area, it is recommended to cut it off to minimize its impact on the antenna. When designing the whole device, pay attention to the impact of the device shell on the antenna. As shown in Figure 16, positions 3 and 4 are highly recommended on the base board, while positions 1, 2, and 5 are not recommended.

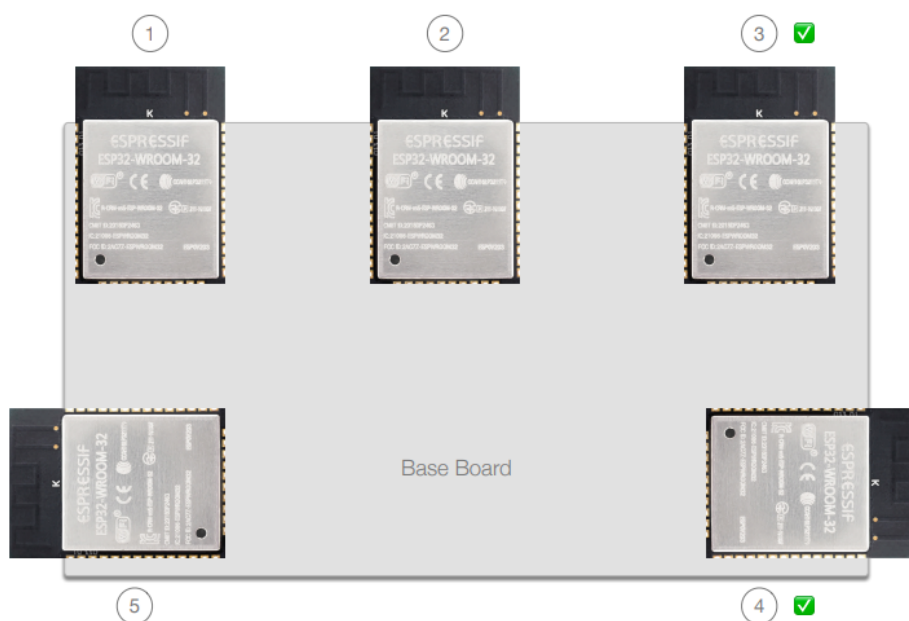


Figura B.4. Especificaciones para diseño de PCB con el módulo ESP32.

Constancias

C.1. Taller de Mecatrónica Moderna



Figura C.1. Constancia de ponencia en el Taller de Mecatrónica Moderna.

C.2. IoT Talks



Figura C.2. Presentación en IoT Talks de la comunidad de IoT Perú.

C.3. IoT DAY CDMX



Figura C.3. Constancia de participación en el IoT DAY CDMX.

Artículos

D.1. Artículo publicado en la revista Research in Computing Science

ISSN 1870-4069

Implementación del módulo ESP32 como herramienta para el desarrollo de prácticas enfocadas al IoT

Ismael Minor Sampedro, Ricardo Álvarez González,
Rodrigo Lucio Maya Ramírez, Alba Maribel Sánchez Gálvez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Facultad de Ciencias de la Electrónica,
Laboratorio de Sistemas Digitales
México

ismael.minorsampedro01@gmail.com, {ricardo.alvarez,
rodrigo.maya, alba.sanchez}@correo.buap.mx

Resumen. Poco se habla de la aplicación del Internet de las Cosas en las instituciones educativas debido al crecimiento tan acelerado de esta tecnología, lo que en consecuencia presenta un rezago importante en la formación de sus estudiantes en estos tópicos, una forma de contribuir a la enseñanza de estos temas es mediante el modelo STEM donde los estudiantes sean capaces de adquirir conocimiento a través de la práctica, es por ello que en este trabajo se presenta el desarrollo de nodos dotados de sensores y actuadores que son capaces de procesar datos y comunicarse mediante Wi-Fi a través de la implementación del módulo ESP32, estos datos serán enviados mediante el protocolo MQTT a la plataforma Adafruit IO para poder registrar y desplegar de forma gráfica la información, todo con la finalidad de formar una Wireless Sensor and Actor Network que permita a los usuarios desarrollar prácticas y proyectos, monitorear variables, controlar procesos y proponer soluciones inteligentes de manera inalámbrica.

Palabras clave: IoT, protocolo MQTT, WSN.

ESP32 Module Implementation as a Tool for Development of Practices Focused on IoT

Abstract. Little is said about the application of the Internet of Things in educational institutions due to the rapid growth of this technology, which consequently presents a significant lag in the training of its students in these topics, a way of contributing to the teaching these topics is through the STEM model where students are able to acquire knowledge through practice, which is why this paper presents the development of nodes equipped with sensors and actuators that are capable of to process data and communicate via Wi-Fi through the implementation of the ESP32 module, these data will be sent via the MQTT protocol to the Adafruit IO platform in order to record and display the information graphically, all with the purpose of forming a Wireless Sensor and

pp. 193–203; rec. 2022-08-14; acc. 2022-09-24 193 *Research in Computing Science* 151(12), 2022

Figura D.1. Artículo publicado en la revista Research in Computing Science volumen 151, No. 12.