



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN
SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Robot de exploración ambiental

Autor:
Ing. Gonzalo Carreño

Director:
Esp. Ing. Sergio Alberino (UTN.BA)

Jurados:
Nombre del jurado 1 (pertenencia)
Nombre del jurado 2 (pertenencia)
Nombre del jurado 3 (pertenencia)

Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre marzo de 2023 y octubre de 2024.



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN
SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Robot de exploración ambiental

Autor:
Ing. Gonzalo Carreño

Director:
Esp. Ing. Sergio Alberino (UTN.BA)

Jurados:
Dr. Ing. Pablo Gonzalez (FIUBA)
Mg. Bioing. Eduardo Filomena (UNER)
Ing. Juan Manuel Cruz (FIUBA)

Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre marzo de 2023 y octubre de 2024.

Índice general

Resumen	1
1. Introducción general	1
1.1. Motivación	1
1.2. Estado del arte	1
1.3. Alcance y objetivos	2
1.4. Requerimientos	2
2. Introducción específica	5
2.1. Tecnologías de hardware utilizadas	5
2.1.1. Espressif ESP32	5
2.1.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11	5
2.1.3. Sensor de presión BMP280	6
2.1.4. Fotoresistor como sensor de luminosidad	6
2.1.5. Joystick analógico	6
2.1.6. Display LCM1602A	7
2.1.7. Motores de corriente continua	7
2.1.8. Módulos L298N	7
2.1.9. Pilas de Li-Ion 3,7 V	8
2.1.10. Baterías AA 1,5 V	8
2.1.11. Plaquetas genéricas PCB	9
2.1.12. Cables de conexión DuPont	9
2.1.13. Board Pin Headers para montaje de componentes y cables	10
2.1.14. Interruptores de On-Off	10
2.1.15. Portapilas	10
2.1.16. Ruedas	11
2.2. Tecnologías de software utilizadas	11
2.2.1. Marco de trabajo ESP-IDF	11
2.2.2. Plataforma Docker	12
2.2.3. Visual Studio Code	12
2.2.4. Sistema operativo Ubuntu	12
3. Diseño e implementación	13
3.1. Arquitectura de software del sistema	13
3.1.1. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v1.0	13
3.1.2. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v2.0	15
3.2. Implementación de los módulos	17
3.2.1. Control de la red Wi-Fi	18
3.2.2. Control del joystick analógico	18
3.2.3. Medición de valor de luminosidad	19
3.2.4. Medición de temperatura y humedad	20
3.2.5. Medición de presión	20

Índice general

Resumen	1
1. Introducción general	1
1.1. Motivación	1
1.2. Estado del arte	1
1.3. Alcance y objetivos	2
1.4. Requerimientos	2
2. Introducción específica	5
2.1. Tecnologías de hardware utilizadas	5
2.1.1. Espressif ESP32	5
2.1.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11	5
2.1.3. Sensor de presión BMP280	6
2.1.4. Fotoresistor como sensor de luminosidad	6
2.1.5. Joystick analógico	6
2.1.6. Display LCM1602A	7
2.1.7. Motores de corriente continua	7
2.1.8. Módulos L298N	7
2.1.9. Pilas de Li-Ion 3,7 V	8
2.1.10. Baterías AA 1,5 V	8
2.1.11. Plaquetas genéricas PCB	9
2.1.12. Cables de conexión DuPont	9
2.1.13. Board Pin Headers para montaje de componentes y cables	10
2.1.14. Interruptores de On-Off	10
2.1.15. Portapilas	10
2.1.16. Ruedas	11
2.1.17. Anemómetro digital	11
2.2. Tecnologías de software utilizadas	12
2.2.1. Marco de trabajo ESP-IDF	12
2.2.2. Plataforma Docker	12
2.2.3. Visual Studio Code	13
2.2.4. Sistema operativo Ubuntu	13
3. Diseño e implementación	15
3.1. Arquitectura de software del sistema	15
3.1.1. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v1.0	15
3.1.2. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v2.0	17
3.2. Implementación de los módulos	18
3.2.1. Control de la red Wi-Fi	19
3.2.2. Control del joystick analógico	19
3.2.3. Medición de valor de luminosidad	20
3.2.4. Medición de temperatura y humedad	21

3.2.6. Control de motores DC	21
3.2.7. Control del display	22
3.3. Arquitectura de hardware	23
3.3.1. Ensamblado final del producto v2.0	23
3.3.2. Conexionado lógico	24
3.3.3. Conexionado físico	25
3.4. Ciclo de desarrollo	26
4. Ensayos y resultados	27
4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad	27
4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos	27
4.2.1. Verificación del módulo de joystick	27
4.2.2. Verificación del módulo de control del display	28
4.2.3. Verificación del módulo de control de motores	28
4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad	28
4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica	28
4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad	28
4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi	28
4.3. Pruebas funcionales y validación del producto	28
4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display	29
4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad	30
4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica	31
4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental	32
4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot	33
4.4. Videos del producto durante el prototipado, ensamblado y experimentación	34
4.4.1. Videos demostrativos del producto final	34
4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot	34
4.5. Reportes de testing	34
4.6. Documentación del producto	35
5. Conclusiones	37
5.1. Próximos pasos	37
Bibliografía	39

3.2.5. Medición de presión	21
3.2.6. Control de motores DC	22
3.2.7. Control del display	23
3.3. Arquitectura de hardware	24
3.3.1. Ensamblado final del producto v2.0	24
3.3.2. Conexionado lógico	25
3.3.3. Conexionado físico	26
3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD	27
4. Ensayos y resultados	31
4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad	31
4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos	31
4.2.1. Verificación del módulo de joystick	31
4.2.2. Verificación del módulo de control del display	32
4.2.3. Verificación del módulo de control de motores	32
4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad	32
4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica	32
4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad	32
4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi	32
4.3. Pruebas funcionales y validación del producto	32
4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display	33
4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad	33
4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica	35
4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental	36
4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot	37
4.4. Videos del producto durante el prototipado, ensamblado y experimentación	37
4.4.1. Videos demostrativos del producto final	38
4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot	38
4.5. Reportes de testing	38
4.6. Documentación del producto	39
5. Conclusiones	41
5.1. Próximos pasos	41
Bibliografía	43

Índice de figuras

2.1. Microcontrolador ESP32-WROOM-32D.	5
2.2. Sensor DHT11.	6
2.3. Sensor BMP280.	6
2.4. Fotorresistor.	6
2.5. Joystick analógico.	7
2.6. Display LCM1602A.	7
2.7. Motor de corriente continua.	7
2.8. Interruptores de On-Off.	8
2.9. Baterías Li-Ion.	8
2.10. Baterías AA.	9
2.11. Plaquetas genéricas.	9
2.12. Cables DuPont.	9
2.13. Pines.	10
2.14. Interruptores de On-Off.	10
2.15. Portapilas.	11
2.16. Ruedas.	11
2.17. Proceso de desarrollo utilizando ESP-IDF ¹ .	12
3.1. Arquitectura global.	14
3.2. Arquitectura global.	16
3.3. Conexionado joystick.	19
3.4. Conexionado fotorresistor.	20
3.5. Circuito del conexionado DHT11.	20
3.6. Conexionado BMP280.	21
3.7. Conexionado motores.	22
3.8. Conexionado display.	22
3.9. Hardware del robot.	23
3.10. Detalles del hardware del robot.	23
3.11. Detalles del hardware del joystick.	24
3.12. Conexionado del robot.	24
3.13. Conexionado del joystick.	25
3.14. Conexionado físico del robot.	25
4.1. Anemómetro digital AOPUTRIVER AP-007-WM.	29
4.2. Visualización del display en la oscuridad.	30
4.3. Medición de humedad en el interior.	30
4.4. Medición de temperatura en el interior.	31
4.5. Medición de humedad en el exterior.	31
4.6. Medición de temperatura en el exterior.	31
4.7. Medición de presión atmosférica en el interior.	32
4.8. Medición de presión atmosférica en el exterior.	32
4.9. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.	33
4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.	33

Índice de figuras

2.1. Microcontrolador ESP32-WROOM-32D.	5
2.2. Sensor DHT11.	6
2.3. Sensor BMP280.	6
2.4. Fotorresistor.	6
2.5. Joystick analógico.	7
2.6. Display LCM1602A.	7
2.7. Motor de corriente continua.	7
2.8. Interruptores de On-Off.	8
2.9. Baterías Li-Ion.	8
2.10. Baterías AA.	9
2.11. Plaquetas genéricas.	9
2.12. Cables DuPont.	9
2.13. Pines.	10
2.14. Interruptores de On-Off.	10
2.15. Portapilas.	11
2.16. Ruedas.	11
2.17. Anemómetro digital AOPUTRIVER AP-007-WM.	12
2.18. Proceso de desarrollo utilizando ESP-IDF ¹ .	13
3.1. Arquitectura global.	16
3.2. Arquitectura global.	17
3.3. Conexionado joystick.	20
3.4. Conexionado fotorresistor.	21
3.5. Circuito del conexionado DHT11.	21
3.6. Conexionado BMP280.	22
3.7. Conexionado motores.	23
3.8. Conexionado display.	23
3.9. Hardware del robot.	24
3.10. Detalles del hardware del robot.	24
3.11. Detalles del hardware del joystick.	25
3.12. Conexionado del robot.	25
3.13. Conexionado del joystick.	26
3.14. Conexionado físico del robot.	26
3.15. Ejecución de tests por consola.	28
3.16. CloudBuild.	28
3.17. Github.	29
3.18. ArtifactRegistry.	29
4.1. Visualización del display en la oscuridad.	33
4.2. Medición de humedad en el interior.	34
4.3. Medición de temperatura en el interior.	34
4.4. Medición de humedad en el exterior.	34
4.5. Medición de temperatura en el exterior.	35

4.11. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche. 33

4.6. Medición de presión atmosférica en el interior.	35
4.7. Medición de presión atmosférica en el exterior.	36
4.8. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.	36
4.9. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.	37
4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.	37
4.11. Reportes de testing por consola.	38
4.12. Reportes de testing web.	39

Índice de tablas

3.1. Configuración de AP WiFi	18
3.2. Conexionado joystick	18
3.3. Conexionado fotoresistor	19
4.1. Resultados de mediciones de temperatura y humedad	30
4.2. Resultados de mediciones de presión ambiental.	32

Índice de tablas

3.1. Configuración de AP WiFi	19
3.2. Conexionado joystick	19
3.3. Conexionado fotoresistor	20
4.1. Resultados de mediciones de temperatura y humedad	34
4.2. Resultados de mediciones de presión ambiental.	35

Capítulo 2

Introducción específica

Esta sección presenta una breve introducción técnica a las herramientas hardware y software utilizadas en el trabajo.

2.1. Tecnologías de hardware utilizadas

2.1.1. Espressif ESP32

ESP32 [8] es una serie de microcontroladores embebidos en un chip con Wi-Fi y Bluetooth integrados, de bajo costo y consumo, desarrollado por *Espressif Systems*. Emplea dos cores Xtensa® 32-bit LX6 CPU, incluye interruptores de antena, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, un co-procesador ULP (*Ultra Low Power*), módulos de administración de energía y varios periféricos. En la siguiente imagen (2.1) se puede apreciar la placa ESP32-WROOM-32D [9] utilizada para el desarrollo del presente trabajo.



FIGURA 2.1. Microcontrolador ESP32-WROOM-32D.

2.1.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 [10] es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Entre otras aplicaciones se lo suele utilizar principalmente en aplicaciones relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado y monitoreo ambiental en agricultura. En la figura 2.2 se puede apreciar una imagen del componente.

Capítulo 2

Introducción específica

Esta sección presenta una breve introducción técnica a las herramientas hardware y software utilizadas en el trabajo.

2.1. Tecnologías de hardware utilizadas

2.1.1. Espressif ESP32

ESP32 [8] es una serie de microcontroladores embebidos en un chip con Wi-Fi y Bluetooth integrados, de bajo costo y consumo, desarrollado por *Espressif Systems*. Emplea dos cores Xtensa® 32-bit LX6 CPU, incluye interruptores de antena, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, un co-procesador ULP (*Ultra Low Power*), módulos de administración de energía y varios periféricos. En la siguiente imagen (2.1) se puede apreciar la placa ESP32-WROOM-32D [9] utilizada para el desarrollo del presente trabajo.



FIGURA 2.1. Microcontrolador ESP32-WROOM-32D.

2.1.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 [10] es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Entre otras aplicaciones se lo suele utilizar principalmente en aplicaciones relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado y monitoreo ambiental en agricultura. En la figura 2.2 se puede apreciar una imagen del componente.



FIGURA 2.2. Sensor DHT11.

2.1.3. Sensor de presión BMP280

El BMP280 [11] es un sensor de presión barométrica absoluta, especialmente factible para aplicaciones móviles que puede ser utilizado con I2C o SPI. Permite alta precisión y linealidad, estabilidad a largo plazo, alta robustez a un muy bajo consumo. En la figura 2.3 se puede apreciar una imagen del componente.



FIGURA 2.3. Sensor BMP280.

2.1.4. Fotorresistor como sensor de luminosidad

El fotorresistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la cantidad de luz que incide sobre su superficie. Cuando el fotorresistor no está expuesto a radiaciones luminosas, los electrones están firmemente unidos en los átomos que lo conforman, por lo que alcanza su máxima resistencia eléctrica, y cuando sobre él inciden radiaciones luminosas, esta energía libera los electrones con lo cual el material se vuelve más conductor, y se disminuye su resistencia. En la figura 2.4 se puede apreciar una imagen del componente.



FIGURA 2.4. Fotorresistor.

2.1.5. Joystick analógico

El módulo de joystick analógico [12] está construido sobre el montaje de dos potenciómetros en un ángulo de 90 grados. Los potenciómetros están conectados a una palanca corta centrada por resortes. Este módulo produce una salida de alrededor de 2,5 V cuando la palanca se encuentra en reposo (en el centro), mientras que al desplazarse hará que la salida varíe de 0 a 5 V dependiendo de su posición. La obtención de los valores en Volts se obtiene tras convertir las lecturas en niveles lógicos mediante el módulo ADC (conversor analógico digital) [13]



FIGURA 2.2. Sensor DHT11.

2.1.3. Sensor de presión BMP280

El BMP280 [11] es un sensor de presión barométrica absoluta, especialmente factible para aplicaciones móviles que puede ser utilizado con I2C o SPI. Permite alta precisión y linealidad, estabilidad a largo plazo, alta robustez a un muy bajo consumo. En la figura 2.3 se puede apreciar una imagen del componente.



FIGURA 2.3. Sensor BMP280.

2.1.4. Fotorresistor como sensor de luminosidad

El fotorresistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la cantidad de luz que incide sobre su superficie. Cuando el fotorresistor no está expuesto a radiaciones luminosas, los electrones están firmemente unidos en los átomos que lo conforman, por lo que alcanza su máxima resistencia eléctrica, y cuando sobre él inciden radiaciones luminosas, esta energía libera los electrones con lo cual el material se vuelve más conductor, y se disminuye su resistencia. En la figura 2.4 se puede apreciar una imagen del componente.



FIGURA 2.4. Fotorresistor.

2.1.5. Joystick analógico

El módulo de joystick analógico [12] está construido sobre el montaje de dos potenciómetros en un ángulo de 90 grados. Los potenciómetros están conectados a una palanca corta centrada por resortes. Este módulo produce una salida de alrededor de 2,5 V cuando la palanca se encuentra en reposo (en el centro), mientras que al desplazarse hará que la salida varíe de 0 a 5 V dependiendo de su posición. La obtención de los valores en Volts se obtiene tras convertir las lecturas en niveles lógicos mediante el módulo ADC (conversor analógico digital) [13]

2.1.13. Board Pin Headers para montaje de componentes y cables

Los pines de cabecera son componentes electrónicos que consisten en filas de pines metálicos montados en una base plástica. Estos pines se utilizan para realizar conexiones eléctricas entre diferentes componentes y placas en proyectos electrónicos. La cantidad de pines puede variar en número, desde unos pocos pines hasta decenas, dependiendo de las necesidades del proyecto. Pueden encontrarse en varias configuraciones, como ser Single Row (una sola fila de pines), Double Row (dos filas de pines, aumentando la capacidad de conexión en un espacio compacto), Right Angle (pines que se extienden en ángulo recto respecto a la base, útiles para conexiones horizontales).



FIGURA 2.13. Pines.

2.1.14. Interruptores de On-Off

Los interruptores de encendido-apagado (on-off) son componentes fundamentales en circuitos electrónicos que permiten controlar el flujo de corriente eléctrica. Son utilizados para conectar o desconectar la corriente en un circuito, funcionando como un medio sencillo y efectivo para gestionar la energía de dispositivos electrónicos. Se los puede encontrar en diferentes tipos, interruptores basculantes (*Rocker Switches*) -se operan basculando de una posición a otra-, interruptores deslizantes (*Slide Switches*) -se operan deslizando un pequeño botón a lo largo de una pista-, interruptores de palanca (*Toggle Switches*) -utilizan una palanca que se mueve hacia arriba y hacia abajo para cambiar entre las posiciones on y off, e interruptores de pulsador (*Push-Button Switches*) -al presionar el botón se conecta o desconecta el circuito-.



FIGURA 2.14. Interruptores de On-Off.

2.1.15. Portapilas

Los portapilas son componentes diseñados para alojar y conectar baterías en un circuito electrónico. Estos dispositivos, generalmente hechos de plástico resistente con contactos metálicos (normalmente de níquel o acero) para asegurar una buena conductividad, facilitan la instalación y el reemplazo de baterías, asegurando una conexión segura y confiable. Se los puede encontrar comúnmente para los tipos de pilas y baterías más utilizadas, como por ejemplo AA, AAA, 9 V, 18650, CR2032, etc. Además, suelen venir en tres posibles configuraciones, un

2.1.13. Board Pin Headers para montaje de componentes y cables

Los pines de cabecera son componentes electrónicos que consisten en filas de pines metálicos montados en una base plástica. Estos pines se utilizan para realizar conexiones eléctricas entre diferentes componentes y placas en proyectos electrónicos. La cantidad de pines puede variar en número, desde unos pocos pines hasta decenas, dependiendo de las necesidades del proyecto. Pueden encontrarse en varias configuraciones, como ser Single Row (una sola fila de pines), Double Row (dos filas de pines), que aumentan la capacidad de conexión en un espacio compacto, y Right Angle (pines que se extienden en ángulo recto respecto a la base, útiles para conexiones horizontales).



FIGURA 2.13. Pines.

2.1.14. Interruptores de On-Off

Los interruptores de encendido-apagado (on-off) son componentes fundamentales en circuitos electrónicos que permiten controlar el flujo de corriente eléctrica. Son utilizados para conectar o desconectar la corriente en un circuito, funcionando como un medio sencillo y efectivo para gestionar la energía de dispositivos electrónicos. Se los puede encontrar en diferentes tipos, como por ejemplo, *Rocker Switches* (interruptores basculantes que se operan basculando de una posición a otra), *Slide Switches* (interruptores deslizantes que se operan deslizando un pequeño botón a lo largo de una pista), *Toggle Switches* (interruptores de palanca que utilizan una palanca que se mueve hacia arriba y hacia abajo para cambiar entre las posiciones on y off) y *Push-Button Switches* (interruptores de pulsador que al presionar el botón se conecta o desconecta el circuito).



FIGURA 2.14. Interruptores de On-Off.

2.1.15. Portapilas

Los portapilas son componentes diseñados para alojar y conectar baterías en un circuito electrónico. Estos dispositivos, generalmente hechos de plástico resistente con contactos metálicos (normalmente de níquel o acero) para asegurar una buena conductividad, facilitan la instalación y el reemplazo de baterías, asegurando una conexión segura y confiable. Se los puede encontrar comúnmente para los tipos de pilas y baterías más utilizadas, como por ejemplo AA, AAA, 9 V,

2.2. Tecnologías de software utilizadas

11

solo compartimento (para una sola batería), múltiples compartimentos (para conectar varias baterías en serie o en paralelo), y con interruptor (algunos portapilas incluyen un interruptor para encender o apagar la conexión de las baterías al circuito).



FIGURA 2.15. Portapilas.

2.1.16. Ruedas

Las ruedas de plástico son componentes genéricos utilizados en la comunidad hobbista y estudiantil de electrónica para el armado de sistemas con desplazamiento. Se las puede comprar online a un bajo costo, usualmente vienen en kit de dos o cuatro unidades, y son compatibles con los motores de DC utilizados para moverlas.



FIGURA 2.16. Ruedas.

2.2. Tecnologías de software utilizadas**2.2.1. Marco de trabajo ESP-IDF**

Espressif Systems proporciona recursos básicos de hardware y software para ayudar a los desarrolladores de aplicaciones a realizar sus ideas utilizando el hardware de la serie ESP32. El framework de software de Espressif está destinado al desarrollo de aplicaciones de IoT (Internet de las cosas) con Wi-Fi, Bluetooth, administración de energía y varias otras características del sistema. Sus componentes son:

1. Toolchain, utilizado para compilar el código para ESP32.
2. Build tools, que provee utilidades como CMake [16] y Ninja [17] para construir la aplicación completa para ESP32.

2.1. Tecnologías de hardware utilizadas

11

18650, CR2032, etc. Además, suelen venir en tres posibles configuraciones, un solo compartimento (para una sola batería), múltiples compartimentos (para conectar varias baterías en serie o en paralelo), y con interruptor (algunos portapilas incluyen un interruptor para encender o apagar la conexión de las baterías al circuito).



FIGURA 2.15. Portapilas.

2.1.16. Ruedas

Las ruedas de plástico son componentes genéricos utilizados en la comunidad hobbista y estudiantil de electrónica para el armado de sistemas con desplazamiento. Se las puede comprar online a un bajo costo, usualmente vienen en kit de dos o cuatro unidades, y son compatibles con los motores de DC utilizados para moverlas.



FIGURA 2.16. Ruedas.

2.1.17. Anemómetro digital

Para la validación de los parámetros ambientales medidos por el robot se utilizó un dispositivo anemómetro digital AOPUTTRIVER AP-007-WM capaz de medir presión, temperatura y humedad ambiental, y de esta manera poder comparar los valores medidos. En la siguiente figura puede apreciarse una imagen del mismo.

3. ESP-IDF [18], que brinda la API de desarrollo para ESP32 y scripts para ejecutar Toolchain.

Además de las herramientas mencionadas se utilizó el conjunto de bibliotecas y drivers provistos por el proyecto ESP-IDF-Lib [19] basados en el framework ESP-IDF.

En la figura 2.17 se puede apreciar una imagen del proceso de desarrollo y despliegue usando el framework ESP-IDF.

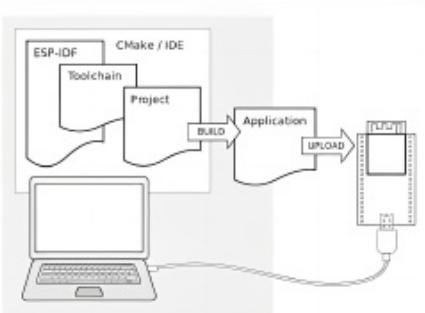


FIGURA 2.17. Proceso de desarrollo utilizando ESP-IDF¹.

2.2.2. Plataforma Docker

Docker [21] es un proyecto de código abierto que automatiza el despliegue de aplicaciones dentro de contenedores de software, proporcionando una capa adicional de abstracción y automatización de virtualización de aplicaciones en múltiples sistemas operativos. Docker utiliza características de aislamiento de recursos del kernel Linux, tales como cgroups y espacios de nombres (namespaces) para permitir que contenedores livianos independientes se ejecuten en paralelo de manera aislada evitando la sobrecarga de iniciar y mantener máquinas virtuales.

2.2.3. Visual Studio Code

Visual Studio Code [22] es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft para Windows, Linux, macOS y Web. Incluye soporte para la depuración, control integrado de Git, resaltado de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código.

2.2.4. Sistema operativo Ubuntu

Ubuntu [23] es una distribución Linux basada en Debian GNU/Linux y patrocinada por Canonical, que incluye principalmente software libre y de código abierto. Puede utilizarse en ordenadores y servidores, está orientado al usuario promedio, con un fuerte enfoque en la facilidad de uso y en mejorar la experiencia del usuario.

¹Imagen tomada de [20]



FIGURA 2.17. Anemómetro digital AOPUTTRIVER AP-007-WM.

2.2. Tecnologías de software utilizadas

2.2.1. Marco de trabajo ESP-IDF

Espressif Systems proporciona recursos básicos de hardware y software para ayudar a los desarrolladores de aplicaciones a realizar sus ideas utilizando el hardware de la serie ESP32. El framework de software de Espressif está destinado al desarrollo de aplicaciones de IoT (Internet de las cosas) con Wi-Fi, Bluetooth, administración de energía y varias otras características del sistema. Sus componentes son:

1. Toolchain, utilizado para compilar el código para ESP32.
2. Build tools, que provee utilidades como CMake [16] y Ninja [17] para construir la aplicación completa para ESP32.
3. ESP-IDF [18], que brinda la API de desarrollo para ESP32 y scripts para ejecutar Toolchain.

Además de las herramientas mencionadas se utilizó el conjunto de bibliotecas y drivers provistos por el proyecto ESP-IDF-Lib [19] basados en el framework ESP-IDF.

En la figura 2.18 se puede apreciar una imagen del proceso de desarrollo y despliegue usando el framework ESP-IDF.

2.2.2. Plataforma Docker

Docker [21] es un proyecto de código abierto que automatiza el despliegue de aplicaciones dentro de contenedores de software, proporcionando una capa adicional de abstracción y automatización de virtualización de aplicaciones en múltiples sistemas operativos. Docker utiliza características de aislamiento de recursos del kernel Linux, tales como cgroups y espacios de nombres (namespaces) para

¹Imagen tomada de [20]

Capítulo 3

Diseño e implementación

Esta sección presenta los detalles técnicos del diseño e implementación de las diferentes funcionalidades del producto, la arquitectura hardware y software, y finalmente la interfaz de usuario para el control y reporte de las operaciones del robot.

El trabajo fue realizado siguiendo una metodología basada en crear un prototipo funcional con una arquitectura escalable que cumpla con alcance básico especificado en el plan de proyecto, y una vez conseguido agregar en lo posible y de acuerdo a la capacidad, funcionalidades adicionales. De esta forma, una vez que se logró el alcance básico, considerado como la versión v1.0 del producto, se continuó con el desarrollo y se agregó la funcionalidad adicional de control inalámbrico por medio de un joystick, en lo que se considera la versión v2.0 del mismo.

En las siguientes subsecciones se detallan los detalles del diseño e implementación realizados para ambas versiones.

3.1. Arquitectura de software del sistema

Con el fin de poder lograr una arquitectura de software modular, se implementaron diferentes componentes software y servicios que abstraen el acceso a los módulos de hardware (explicados en la siguiente sección) y permite un escalamiento fácil de funcionalidades en la expansión de las funcionalidades del robot entre su versión v1.0 y la v2.0.

3.1.1. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v1.0

A continuación se puede apreciar la arquitectura de software del sistema en su versión v1.0 y el detalle de sus componentes y servicios.

2.2. Tecnologías de software utilizadas

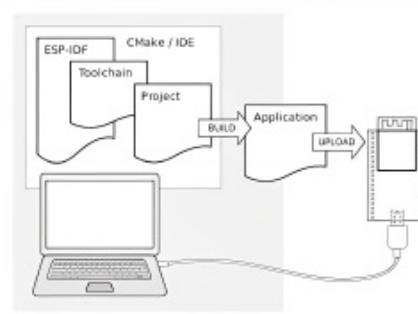


FIGURA 2.18. Proceso de desarrollo utilizando ESP-IDF¹.

permitir que contenedores livianos independientes se ejecuten en paralelo de manera aislada evitando la sobrecarga de iniciar y mantener máquinas virtuales.

2.2.3. Visual Studio Code

Visual Studio Code [22] es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft para Windows, Linux, macOS y Web. Incluye soporte para la depuración, control integrado de Git, resaltado de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código.

2.2.4. Sistema operativo Ubuntu

Ubuntu [23] es una distribución Linux basada en Debian GNU/Linux y patrocinado por Canonical, que incluye principalmente software libre y de código abierto. Puede utilizarse en ordenadores y servidores, está orientado al usuario promedio, con un fuerte enfoque en la facilidad de uso y en mejorar la experiencia del usuario.

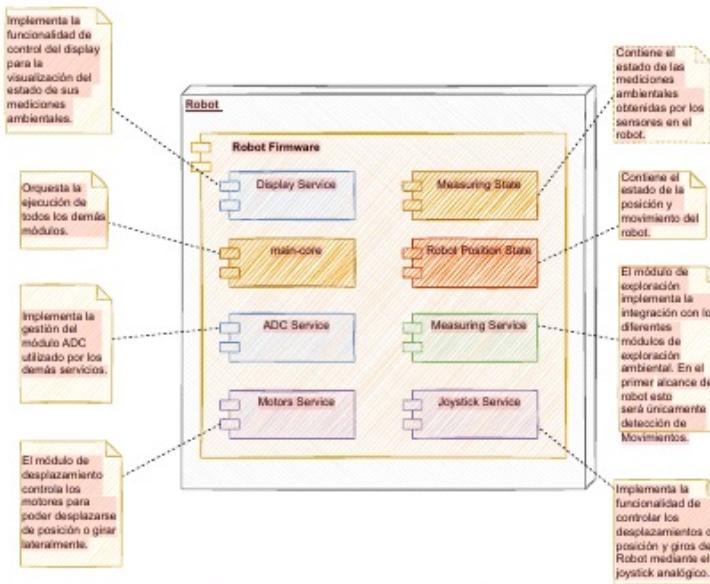


FIGURA 3.1. Arquitectura global.

Los componentes y servicios de software del Robot en la versión v1 son los siguientes:

1. Componentes de software

- Main-core: orquesta las diferentes tareas desde las que se invocan los demás componentes de software.
- Measuring Service: abstrae el acceso a los módulos de medición de temperatura, humedad, presión y luminosidad.
- Measuring State: mantiene el estado de cada uno de los parámetros ambientales medidos.
- Robot Position State: mantiene el estado del movimiento actual del robot.
- ADC Service: abstrae el acceso a los módulos que hacen uso de los canales que requieren conversiones ADC (analógico/digital), como el joystick analógico y el fotoresistor.
- Motors Service: abstrae el acceso al módulo de control de motores.
- Display Service: abstrae el acceso al módulo de control del display mediante I2C.
- Joystick Service: abstrae el acceso al módulo de control del joystick.

2. Servicios (tareas)

3.1. Arquitectura de software del sistema

15

- a) Display Task
- b) Measuring Task
- c) Joystick Task
- d) Motors Task

3.1.2. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v2.0

Luego de expandir su funcionalidad, los componentes y servicios de software se separaron físicamente en el hardware del robot y el del joystick, agregando además los necesarios para la comunicación inalámbrica. A continuación se puede apreciar la arquitectura de software del sistema en su versión v2.0 y el detalle de sus componentes y servicios.

15

Capítulo 3

Diseño e implementación

Esta sección presenta los detalles técnicos del diseño e implementación de las diferentes funcionalidades del producto, la arquitectura hardware y software, y finalmente la interfaz de usuario para el control y reporte de las operaciones del robot.

El trabajo fue realizado siguiendo una metodología basada en crear un prototipo funcional con una arquitectura escalable que cumpla con alcance básico especificado en el plan de proyecto, y una vez conseguido agregar en lo posible y de acuerdo a la capacidad, funcionalidades adicionales. De esta forma, una vez que se logró el alcance básico, considerado como la versión v1.0 del producto, se continuó con el desarrollo y se agregó la funcionalidad adicional de control inalámbrico por medio de un joystick, en lo que se considera la versión v2.0 del mismo.

En las siguientes subsecciones se detallan los detalles del diseño e implementación realizados para ambas versiones.

3.1. Arquitectura de software del sistema

Con el fin de poder lograr una arquitectura de software modular, se implementaron diferentes componentes software y servicios que abstraen el acceso a los módulos de hardware (explicados en la siguiente sección) y permite un escalamiento fácil de funcionalidades en la expansión de las funcionalidades del robot entre su versión v1.0 y la v2.0.

3.1.1. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v1.0

A continuación se puede apreciar la arquitectura de software del sistema en su versión v1.0 y el detalle de sus componentes y servicios.

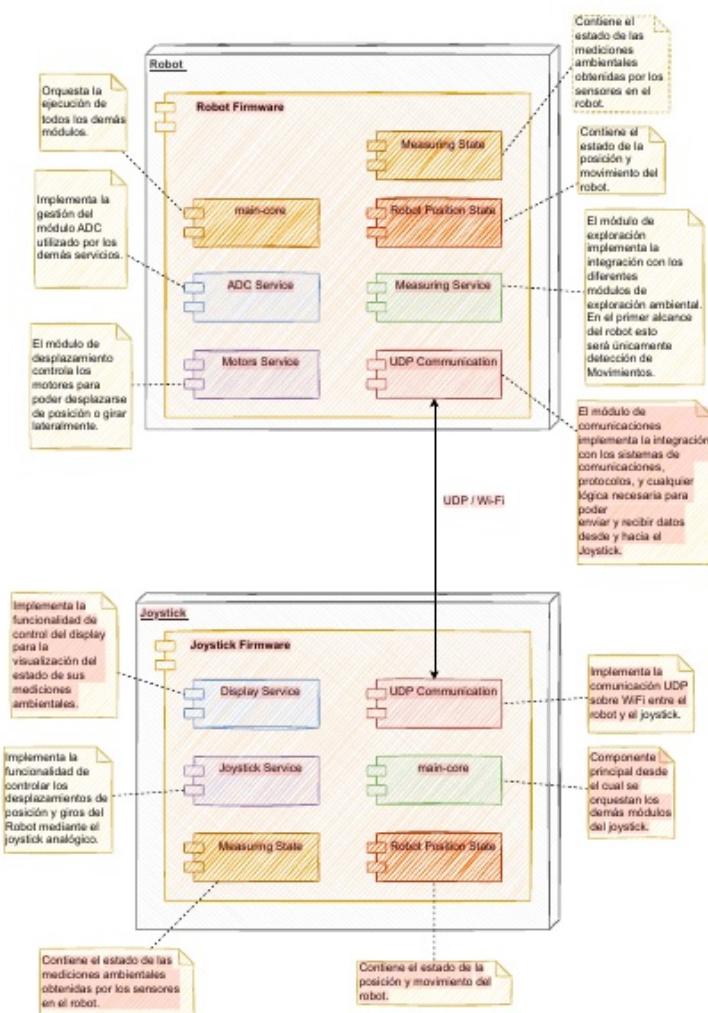


FIGURA 3.2. Arquitectura global.

Los componentes de software y servicios del robot son:

1. Componentes de software
 - a) Main-core
 - b) Measuring Service

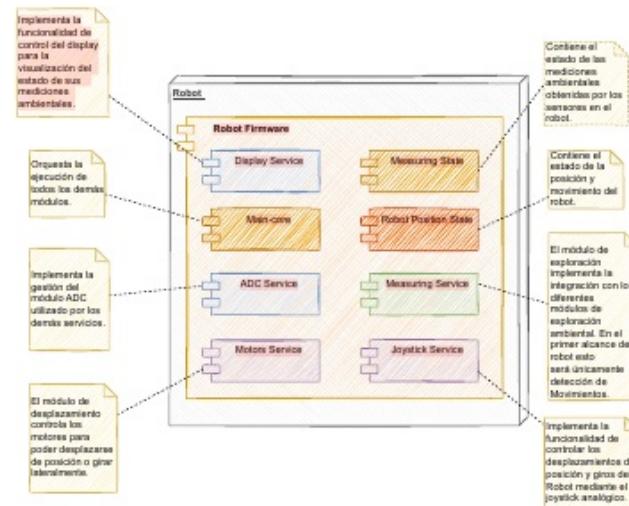


FIGURA 3.1. Arquitectura global.

Los componentes y servicios de software del Robot en la versión v1 son los siguientes:

1. Componentes de software
 - a) Main-core: orquesta las diferentes tareas desde las que se invocan los demás componentes de software.
 - b) Measuring Service: abstrae el acceso a los módulos de medición de temperatura, humedad, presión y luminosidad.
 - c) Measuring State: mantiene el estado de cada uno de los parámetros ambientales medidos.
 - d) Robot Position State: mantiene el estado del movimiento actual del robot.
 - e) ADC Service: abstrae el acceso a los módulos que hacen uso de los canales que requieren conversiones ADC (analógico/digital), como el joystick analógico y el fotorresistor.
 - f) Motors Service: abstrae el acceso al módulo de control de motores.
 - g) Display Service: abstrae el acceso al módulo de control del display mediante I2C.
 - h) Joystick Service: abstrae el acceso al módulo de control del joystick.
2. Servicios (tareas)
 - a) Display Task
 - b) Measuring Task

3.2. Implementación de los módulos

17

- c) Measuring State
 - d) Robot Position State
 - e) ADC Service
 - f) Motors Service
 - g) WIFI Service
 - h) UDP Service
2. Servicios (tareas)
- a) Measuring Task
 - b) Motors Task
 - c) UDP Server Task

Los componentes de software y servicios del joystick son:

1. Componentes de software
 - a) main-core
 - b) Measuring State
 - c) Robot Position State
 - d) UDP Service
2. Servicios (tareas)
 - a) Display Task
 - b) Joystick Task
 - c) UDP Server Task

3.2. Implementación de los módulos

Los macro componentes de hardware presentes en la arquitectura de la versión v2.0 son el robot y el joystick, que constituyen dos sistemas embebidos independientes implementados con dos microcontroladores ESP32, integrados entre sí por medio de una red WiFi y una comunicación UDP. La arquitectura de hardware del sistema está compuesta por los siguientes módulos:

- En el robot:
 - Control de los motores DC.
 - Control de los sensores de medición (DHT11, BMP280 y fotoresistor).
 - Gestión de la comunicación inalámbrica vía Wi-Fi (en la versión v2.0).
- En el joystick:
 - Control del display.
 - Control del joystick.
 - Gestión de la comunicación inalámbrica vía Wi-Fi (en la versión v2.0).

3.1. Arquitectura de software del sistema

17

- c) Joystick Task
- d) Motors Task

3.1.2. Arquitectura y diseño de componentes en la versión v2.0

Luego de expandir su funcionalidad, los componentes y servicios de software se separaron físicamente en el hardware del robot y el del joystick, agregando además los necesarios para la comunicación inalámbrica. A continuación se puede apreciar la arquitectura de software del sistema en su versión v2.0 y el detalle de sus componentes y servicios.

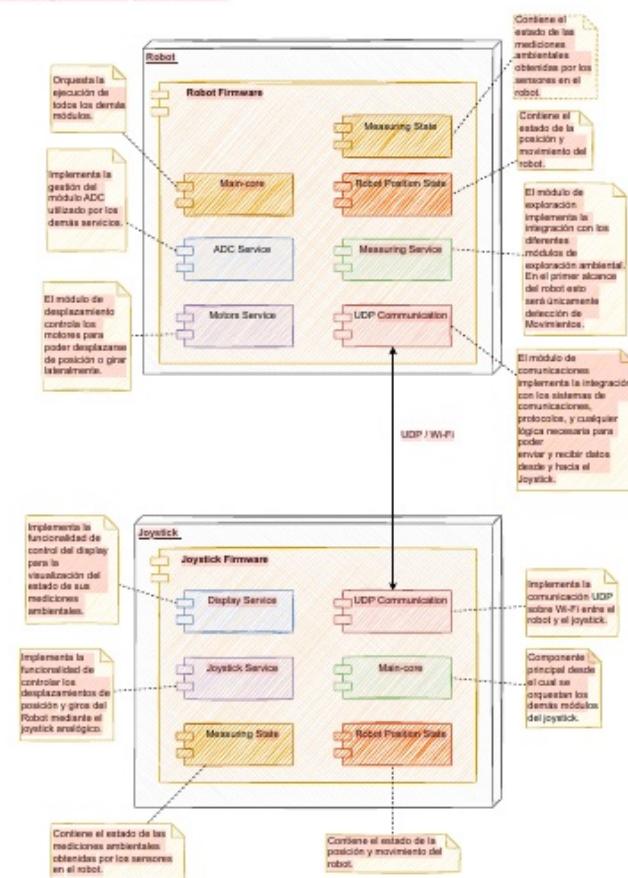


FIGURA 3.2. Arquitectura global.

Los componentes de software y servicios del robot son:

La integración de los mismos se realizó mediante el diseño y construcción de una placa integradora central, que conecta los dispositivos hardware con el microcontrolador ESP-32.

3.2.1. Control de la red Wi-Fi

El módulo de red WiFi está integrado en el chip ESP32, el cual soporta múltiples características [24] por lo tanto a nivel hardware no fue necesario realizar ningún conexiónado. A nivel de software, la gestión del módulo WiFi está incluida en el SDK ESP-IDF, y el acceso a este se realiza desde el módulo ADC 2 [13]. Por este motivo, cuando el sistema embebido utiliza el módulo WiFi, el uso del ADC2 queda restringido a esta funcionalidad por lo tanto cualquier otro dispositivo que deba hacer uso del ADC debe ser configurado para utilizar el ADC1, como en el caso de los módulos de joystick y detección de luminosidad, que se explican en las siguientes secciones.

La configuración del *soft access point Wi-Fi* implementado se realizó en base a los parámetros de red detallados en la siguiente tabla 3.1:

TABLA 3.1. Configuración de AP WiFi

Parámetro	Valor
SSID	Robot
Password	Robot

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [25]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [26].

3.2.2. Control del joystick analógico

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó el SDK ESP-IDF y se configuró el módulo ADC1 de acuerdo a los siguientes detalles en la tabla 3.3:

TABLA 3.2. Conexionado joystick.

Channel	Unit	Pin GPIO
6	1	34
7	1	35

A continuación, se puede apreciar el conexionado físico en la figura 3.3.

1. Componentes de software

- a) Main-core
- b) Measuring Service
- c) Measuring State
- d) Robot Position State
- e) ADC Service
- f) Motors Service
- g) WIFI Service
- h) UDP Service

2. Servicios (tareas)

- a) Measuring Task
- b) Motors Task
- c) UDP Server Task

Los componentes de software y servicios del joystick son:

1. Componentes de software

- a) main-core
- b) Measuring State
- c) Robot Position State
- d) UDP Service

2. Servicios (tareas)

- a) Display Task
- b) Joystick Task
- c) UDP Server Task

3.2. Implementación de los módulos

Los macro componentes de hardware presentes en la arquitectura de la versión v2.0 son el robot y el joystick, que constituyen dos sistemas embebidos independientes implementados con dos microcontroladores ESP32, integrados entre sí por medio de una red WiFi y una comunicación UDP. La arquitectura de hardware del sistema esta compuesta por los siguientes módulos:

- En el robot:
 - Control de los motores DC.
 - Control de los sensores de medición (DHT11, BMP280 y fotoresistor).
 - Gestión de la comunicación inalámbrica vía Wi-Fi (en la versión v2.0).
- En el joystick:

3.2. Implementación de los módulos

19

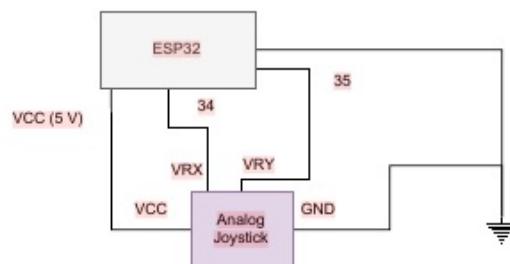


FIGURA 3.3. Conexión joystick.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [27]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [28].

3.2.3. Medición de valor de luminosidad

Debido a su fuerte dependencia con la temperatura, y especialmente a que su distribución espectral no resulta adecuada para la medición de iluminancia, los fotodiodes no pueden proporcionar una medición precisa de iluminancia como lo haría un luxómetro. No obstante, el fotodiode resulta puede ser utilizado como sensor para proporcionar medidas cuantitativas sobre el nivel de luz, tanto en interiores como en exteriores. Para leer los valores del fotodiode se utilizó la función `adc1_get_raw` del SDK ESP-IDF, donde el valor devuelto se encuentra en el rango [0 - 2050], con 0 el valor de mayor iluminación y 2050 el menor. Finalmente, para calcular el nivel de iluminación como valor porcentual, en el rango [0-100], siendo cero el nivel más oscuro y cien más iluminado, se utilizó la siguiente función matemática:

$$\text{Nivel de Iluminación} = \frac{\text{MaxReading} - \text{reading}}{\text{MaxReading}} \times 100$$

Donde:

- El valor `reading` es la lectura analógica del valor del fotodiode.
- El valor `MaxReading` es el máximo valor analógico posible de ser entregado por el fotodiode, en este caso 2050.
- El valor `MaxReading` es el máximo valor analógico posible de ser entregado por el fotodiode, en este caso 0.

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó el SDK de ESP-IDF y se configuró el módulo ADC1 de acuerdo a los detalles provistos en la tabla 3.3.

TABLA 3.3. Conexión fotodiode.

Channel	Unit	Pin GPIO
0	1	36

3.2. Implementación de los módulos

19

- Control del display.
- Control del joystick.
- Gestión de la comunicación inalámbrica vía Wi-Fi (en la versión v2.0).

La integración de los módulos se realizó mediante el diseño y construcción de una placa integradora central, que conecta los dispositivos hardware con el microcontrolador ESP-32.

3.2.1. Control de la red Wi-Fi

El módulo de red Wi-Fi está integrado en el chip ESP32, el cual soporta múltiples características [24] por lo tanto a nivel hardware no fue necesario realizar ningún conexiónado. A nivel de software, la gestión del módulo Wi-Fi está incluida en el SDK ESP-IDF, y el acceso a este se realiza desde el módulo ADC 2 [13]. Por este motivo, cuando el sistema embebido utiliza el módulo Wi-Fi, el uso del ADC2 queda restringido a esta funcionalidad por lo tanto cualquier otro dispositivo que deba hacer uso del ADC debe ser configurado para utilizar el ADC1, como en el caso de los módulos de joystick y detección de luminosidad, que se explican en las siguientes secciones.

La configuración del *soft access point* Wi-Fi implementado se realizó en base a los parámetros de red detallados en la siguiente tabla 3.1:

TABLA 3.1. Configuración de AP WiFi

Parámetro	Valor
SSID	Robot
Password	Robot

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [25]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [26].

3.2.2. Control del joystick analógico

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó el SDK ESP-IDF y se configuró el módulo ADC1 de acuerdo a los siguientes detalles en la tabla 3.3:

TABLA 3.2. Conexión joystick.

Channel	Unit	Pin GPIO
6	1	34
7	1	35

A continuación, se puede apreciar el conexiónado físico en la figura 3.3.

A continuación, se puede apreciar un diagrama de su conexionado físico en la figura 3.4.

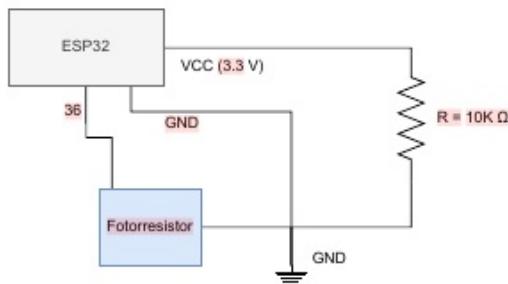


FIGURA 3.4. Conexionado fotorresistor.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [27]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [29].

3.2.4. Medición de temperatura y humedad

Para el desarrollo de este módulo se utilizó la biblioteca de código ESP-IDF-Lib Components Library [19] que provee el soporte para gestionar el DHT11. Para acceder a las lecturas del dispositivo se abstrajo mediante el componente Measuring Service, este es invocado por la tarea Measuring Task y el estado de la lectura es almacenado en el componente Measuring State. A continuación, se puede apreciar el conexionado del prototipo en la figura 3.5.

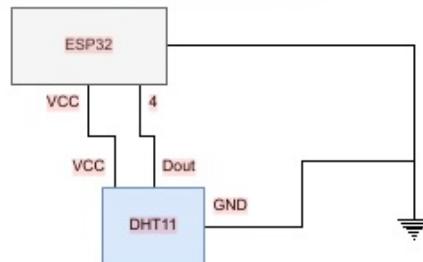


FIGURA 3.5. Circuito del conexionado DHT11.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por la biblioteca ESP-IDF-Lib [30]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [31].

3.2.5. Medición de presión

Para el desarrollo de este módulo se utilizó el framework ESP-IDF y la biblioteca de código ESP-IDF Components que provee el soporte para gestionar el dispositivo BMP280 por medio del protocolo I2C. El driver es inicializado en el componente main-core para ser posteriormente invocado desde el Measuring Service

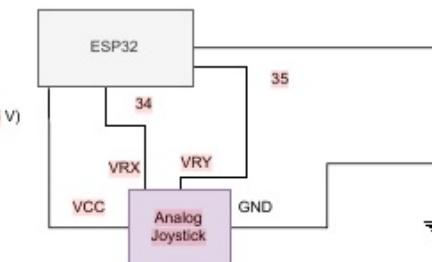


FIGURA 3.3. Conexionado joystick.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [27]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [28].

3.2.3. Medición de valor de luminosidad

Debido a su fuerte dependencia con la temperatura, y especialmente a que su distribución espectral no resulta adecuada para la medición de iluminancia, los fotorresistores no pueden proporcionar una medición precisa de iluminancia como lo haría un luxómetro. No obstante, el fotorresistor resulta que puede ser utilizado como sensor para proporcionar medidas cuantitativas sobre el nivel de luz, tanto en interiores como en exteriores. Para leer los valores del fotorresistor se utilizó la función `adc1_get_raw` del SDK ESP-IDF, donde el valor devuelto se encuentra en el rango [0 - 2050], con "0"^{el} valor de mayor iluminación y "2050"^{el} menor. Finalmente, para calcular el nivel de iluminación como valor porcentual, en el rango [0-100], siendo cero el nivel más oscuro y cien el más iluminado, se utilizó la siguiente función matemática:

$$\text{Nivel de iluminación} = \frac{\text{MaxReading} - \text{reading}}{\text{MaxReading}} \times 100$$

Donde:

- El valor `reading` es la lectura analógica del valor del fotorresistor.
- El valor `MaxReading` es el máximo valor analógico posible de ser entregado por el fotorresistor, en este caso 2050.
- El valor `MaxReading` es el máximo valor analógico posible de ser entregado por el fotorresistor, en este caso 0.

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó el SDK de ESP-IDF y se configuró el módulo ADC1 de acuerdo a los detalles provistos en la tabla 3.3.

TABLA 3.3. Conexionado fotorresistor.

Channel	Unit	Pin GPIO
0	1	36

3.2. Implementación de los módulos

21

en la tarea Measuring Task. Sus lecturas son guardadas en el Measuring State. A continuación, se puede apreciar el conexionado del prototipo en la figura 3.6.

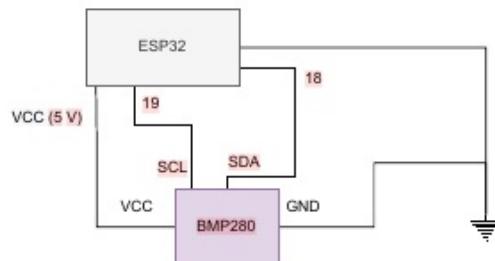


FIGURA 3.6. Conexionado BMP280.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por la biblioteca ESP-IDF-Lib [32]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [33].

3.2.6. Control de motores DC

Para la implementación del módulo de control de los motores de corriente continua se utilizaron a nivel de hardware dos módulos puentes L298N [34], que permiten integrar y controlar dos motores cada uno. Con el fin de alimentar los módulos con una fuente de poder de corriente y tensión consistente, se utilizaron dos baterías de Li-Ion de 3,7 V y 2000 mA/h conectadas en serie, activadas mediante un interruptor. A nivel driver en el ESP32 se utilizó el módulo de control de motores por modulación de pulsos (MCPWM) [35] que por medio de la configuración de sus unidades y del *duty cycle* [36] se puede controlar el sentido y velocidad de rotación de los motores. Los puentes L298N proporcionan también además una tensión de salida de 5 V, y que se utilizó para la alimentación del ESP32 conectando su pin Vin.

En el siguiente diagrama puede apreciarse el conexionado lógico para el control de los motores con los componentes mencionados.

3.2. Implementación de los módulos

21

A continuación, se puede apreciar un diagrama de su conexionado físico en la figura 3.4.

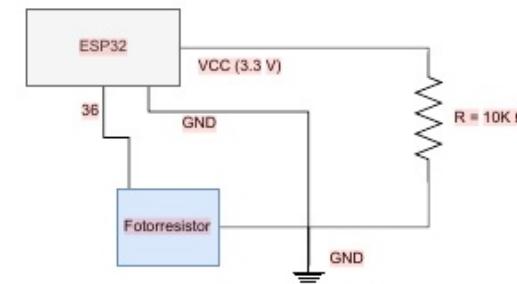


FIGURA 3.4. Conexionado fotorresistor.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [27]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [29].

3.2.4. Medición de temperatura y humedad

Para el desarrollo de este módulo se utilizó la biblioteca de código ESP-IDF-Lib Components Library [19] que provee el soporte para gestionar el DHT11. Para acceder a las lecturas del dispositivo se abstrajo mediante el componente Measuring Service, este es invocado por la tarea Measuring Task y el estado de la lectura es almacenado en el componente Measuring State. A continuación, se puede apreciar el conexionado del prototipo en la figura 3.5.

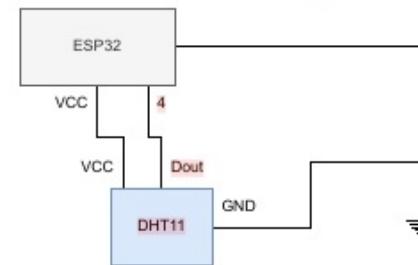


FIGURA 3.5. Circuito del conexionado DHT11.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por la biblioteca ESP-IDF-Lib [30]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [31].

3.2.5. Medición de presión

Para el desarrollo de este módulo se utilizó el framework ESP-IDF y la biblioteca de código ESP-IDF Components que provee el soporte para gestionar el dispositivo BMP280 por medio del protocolo I2C. El driver es inicializado en el componente main-core para ser posteriormente invocado desde el Measuring Service

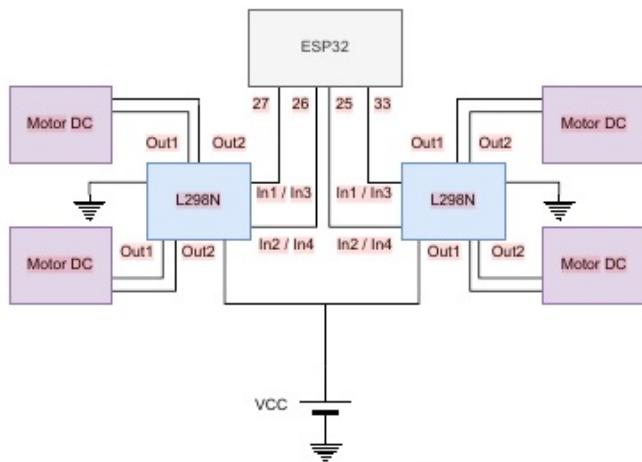


FIGURA 3.7. Conexiónado motores.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [37]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [38].

3.2.7. Control del display

Para la implementación del módulo de visualización de valores observados se integró un display de dos líneas y dieciséis caracteres LCM1602A por medio de un driver I2C que facilita su control. Al basarse en el protocolo I2C el display comparte las mismas líneas SCL y SDA que el sensor BMP280.

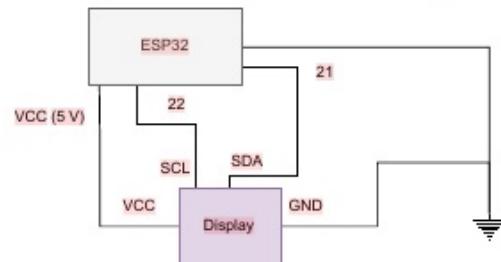


FIGURA 3.8. Conexiónado display.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto en el enlace [39]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [40].

en la tarea Measuring Task. Sus lecturas son guardadas en el Measuring State. A continuación, se puede apreciar el conexionado del prototipo en la figura 3.6.

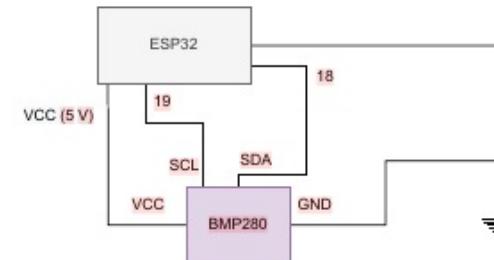


FIGURA 3.6. Conexiónado BMP280.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por la biblioteca ESP-IDF-Lib [32]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [33].

3.2.6. Control de motores DC

Para la implementación del módulo de control de los motores de corriente continua se utilizaron a nivel de hardware dos módulos puentes L298N [34], que permiten integrar y controlar dos motores cada uno. Con el fin de alimentar los módulos con una fuente de poder de corriente y tensión consistente, se utilizaron dos baterías de Li-Ion de 3,7 V y 2000 mA/h conectadas en serie, activadas mediante un interruptor. A nivel driver en el ESP32 se utilizó el módulo de control de motores por modulación de pulsos (MCPWM) [35] que por medio de la configuración de sus unidades y del *duty cycle* [36] se puede controlar el sentido y velocidad de rotación de los motores. Los puentes L298N proporcionan también además una tensión de salida de 5 V, y que se utilizó para la alimentación del ESP32 conectando su pin Vin.

En el siguiente diagrama puede apreciarse el conexionado lógico para el control de los motores con los componentes mencionados.

3.3. Arquitectura de hardware

23

3.3. Arquitectura de hardware

3.3.1. Ensamblado final del producto v2.0

En las siguientes imágenes se pueden apreciar las diferentes perspectivas del robot.



FIGURA 3.9. Hardware del robot.

En las siguientes imágenes se pueden apreciar en mayor profundidad el hardware del robot y del joystick con sus subcomponentes.

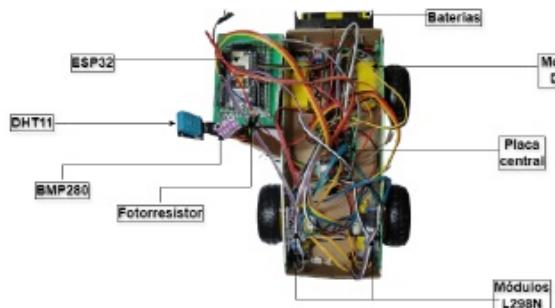


FIGURA 3.10. Detalles del hardware del robot.

3.2. Implementación de los módulos

23

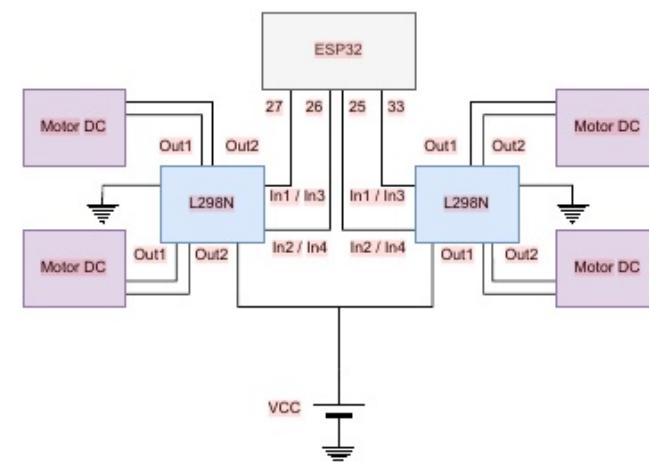


FIGURA 3.7. Conexión motores.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto por Espressif [37]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [38].

3.2.7. Control del display

Para la implementación del módulo de visualización de valores observados se integró un display de dos líneas y dieciséis caracteres LCM1602A por medio de un driver I2C que facilita su control. Al basarse en el protocolo I2C el display comparte las mismas líneas SCL y SDA que el sensor BMP280.

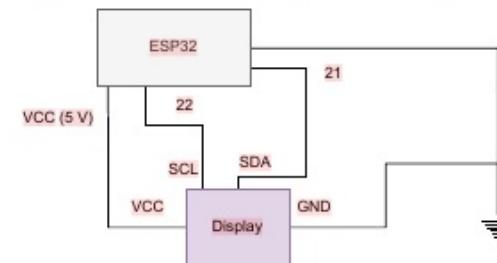


FIGURA 3.8. Conexión display.

El desarrollo de este módulo se basó en el ejemplo provisto en el enlace [39]. El código fuente del prototipo realizado puede apreciarse en el siguiente enlace [40].

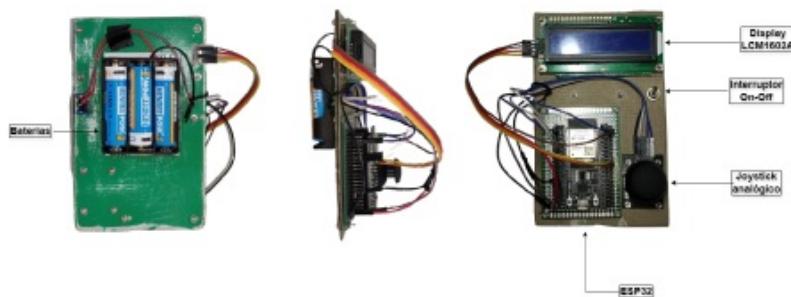


FIGURA 3.11. Detalles del hardware del joystick.

3.3.2. Conexionado lógico

En las siguientes imágenes se pueden apreciar los conexionados lógicos del robot y del joystick.

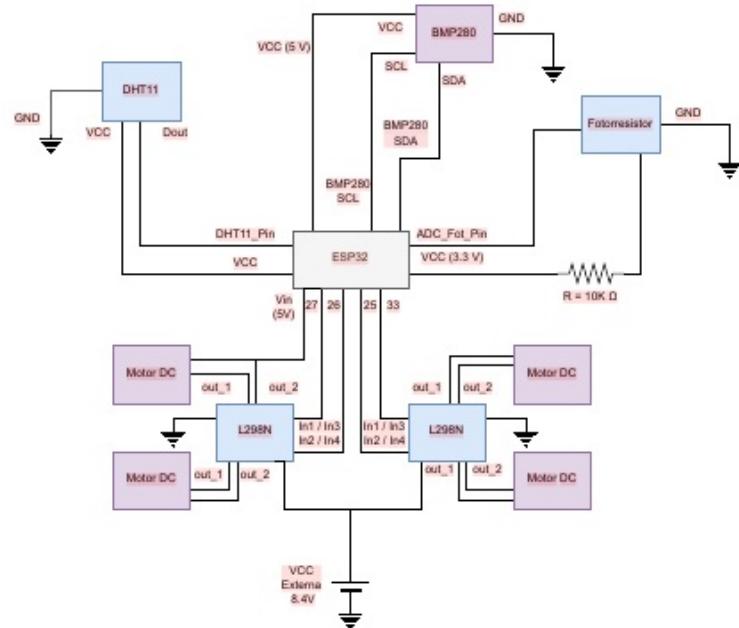


FIGURA 3.12. Conexionado del robot.

3.3. Arquitectura de hardware

3.3.1. Ensamblado final del producto v2.0

En las imágenes de la figura 3.9 se pueden apreciar las diferentes perspectivas del robot.



FIGURA 3.9. Hardware del robot.

En las figuras 3.10 y 3.11 se puede apreciar en mayor profundidad el hardware del robot y del joystick con sus subcomponentes.

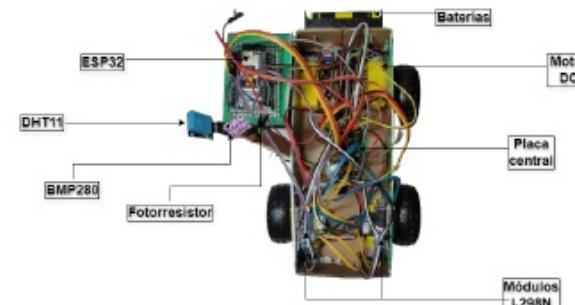


FIGURA 3.10. Detalles del hardware del robot.

3.3. Arquitectura de hardware

25

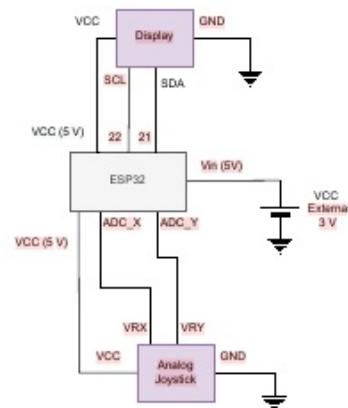


FIGURA 3.13. Conexionado del joystick.

3.3.3. Conexionado físico

En la siguiente imagen se puede apreciar el conexionado físico del robot.

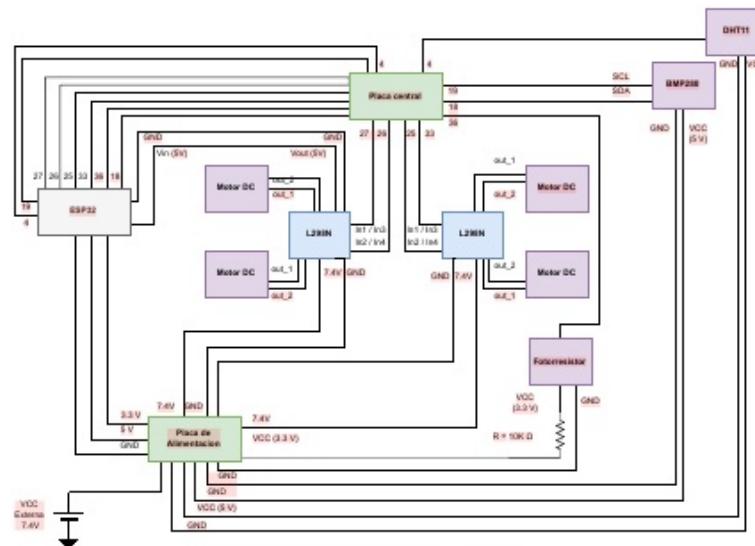


FIGURA 3.14. Conexionado físico del robot.

3.3. Arquitectura de hardware

25

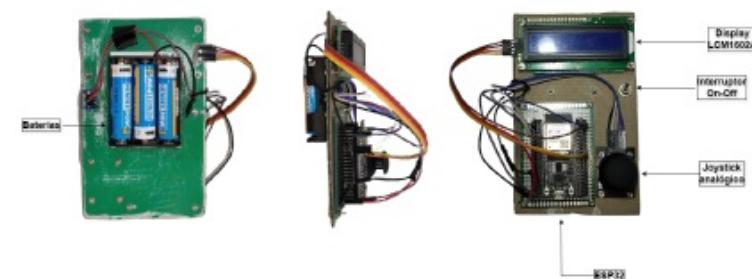


FIGURA 3.11. Detalles del hardware del joystick.

3.3.2. Conexionado lógico

En las figuras 3.12 y 3.13 se pueden apreciar los conexionados lógicos del robot y del joystick respectivamente.

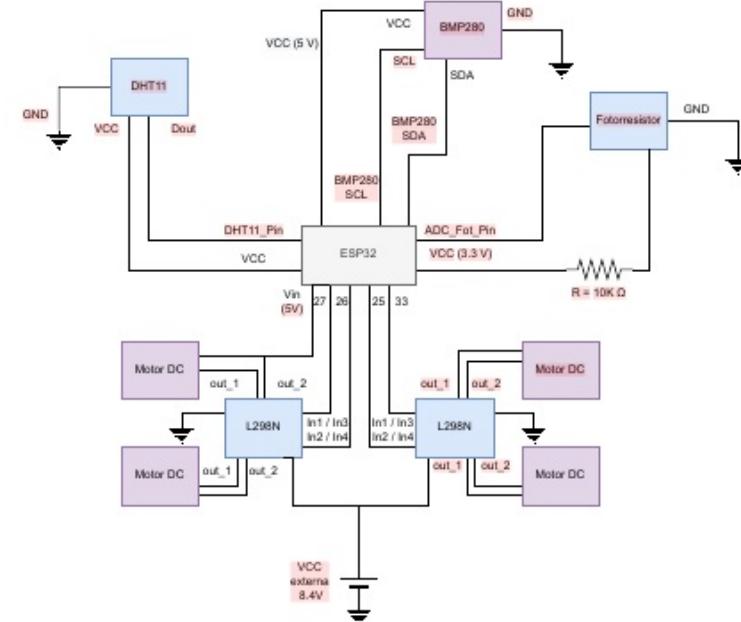


FIGURA 3.12. Conexionado del robot.

3.4. Ciclo de desarrollo

Durante el ciclo de desarrollo se utilizaron las herramientas explicadas en el capítulo anterior, y se creó por cada prototipo una imagen Docker extendiendo la de espressif/idf [41]. El proceso de compilación y despliegue está explicado en la documentación técnica del producto [42].

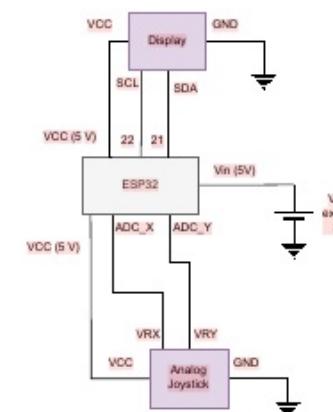


FIGURA 3.13. Conexionado del joystick.

3.3.3. Conexionado físico

En la figura 3.14 se puede apreciar el conexionado físico del robot.

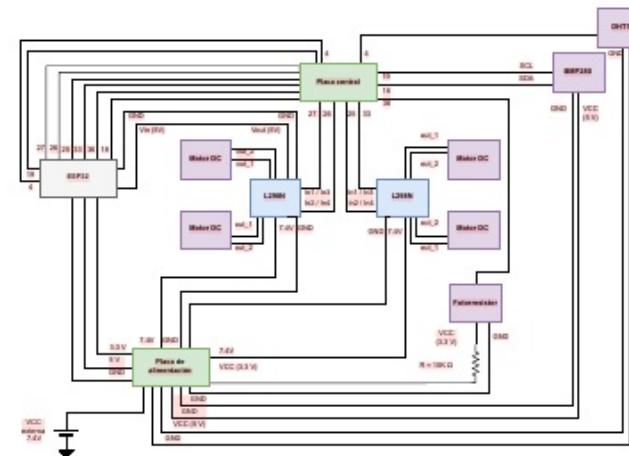


FIGURA 3.14. Conexionado físico del robot.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

Esta sección presenta los diferentes prototipos realizados para determinar la viabilidad de cada una de las funcionalidades provistas, la metodología de desarrollo, testing y finalmente los entregables finales del trabajo.

4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad

Para el proceso de desarrollo se realizaron pruebas de concepto de las diferentes funcionalidades utilizando como materiales la bibliografía encontrada en Internet, las hojas de datos y los ejemplos de código provistos por el SDK y bibliotecas empleadas. Una vez logrado el objetivo funcional de componente se optimizó y encapsuló cada módulo para ser integrado de manera individual a un prototipo integrador sin afectar el funcionamiento de cualquier otro módulo. De esta manera se desarrolló un prototipo integrador como la sumatoria de todos los módulos de forma incremental, probándose por regresión que los módulos ya integrados previamente siguieran funcionando de forma óptima.

Una vez logrado el prototipo integrador con todas las funcionalidades de la versión v1.0, se procedió a expandir el hardware para crear la versión v2.0. Para ello, se extrajeron los módulos de joystick y display, que posteriormente se agregarían al sistema embebido del joystick, y se incorporaron los módulos de conectividad UDP sobre Wi-Fi.

Tras lograr la versión v2.0 se repite el proceso de control de calidad de los diferentes módulos ya integrados.

A continuación, se detallan las diferentes pruebas realizadas.

4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos

Todos los módulos fueron probados mediante una inspección visual durante el proceso de pruebas de concepto.

4.2.1. Verificación del módulo de joystick

Se verificó visualmente que los valores del joystick analógico puedan ser leídos apropiadamente, y que sean representativos y relevantes con la dirección del movimiento de la palanca sobre sus coordenadas X e Y.

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

Durante el ciclo de desarrollo se utilizaron las herramientas explicadas en el capítulo anterior, y se creó por cada prototipo una imagen Docker extendiendo la de espressif/idf [41]. En el proceso de desarrollo del producto se utilizó CI/CD (*continuous integration / continuous delivery*) mediante la integración de Github con Google Cloud Build, Google Artifact Registry y el uso de imágenes Docker. El conjunto de actividades del mismo fue el siguiente:

1. Codificar localmente en Ubuntu utilizando VSCode.
2. Construcción local en Ubuntu de imagen Docker de acuerdo a la especificación de los siguientes pasos en el archivo docker-compose.yml:
 - a) Compilación del código, enlazado de bibliotecas y empaquetado de la aplicación.
 - b) Ejecución de los tests unitarios con *ceedling*.
 - c) Despliegue (flash) de la aplicación en el ESP32.
3. Versionado del código en el repositorio Github por medio de git commit-push.
4. Construcción en el ambiente de CI/CD por medio de Google Cloud Build de acuerdo a la especificación de los siguientes pasos definidos en el archivo cloudbuild.yml:
 - a) Compilación del código, enlazado de bibliotecas y empaquetado de la aplicación.
 - b) Ejecución de los tests unitarios con *ceedling*.
 - c) Construcción de imagen docker.
 - d) Tagging y versionado de imagen docker en Google Artifact Registry.

A continuación se pueden apreciar capturas de pantallas de cada uno de los sistemas utilizados y pasos ejecutados. En la imagen 3.15 se puede apreciar la salida por consola tras la ejecución de los tests unitarios y construcción de la imagen Docker de manera local. Luego de realizar *commit* y *push* de los cambios locales a Github, en la imagen 3.16 se pueden apreciar los diferentes builds disparados en Cloud Build referenciando los commits de Github, que pueden ser apreciados en la imagen 3.17. Finalmente en la imagen 3.18 se pueden apreciar las imágenes Docker versionadas y almacenadas en Artifact Registry.

4.2.2. Verificación del módulo de control del display

Se verificó visualmente que el display representa los caracteres programados en la prueba de concepto con una intensidad de luz aceptable para poder leerlos apropiadamente.

4.2.3. Verificación del módulo de control de motores

Se verificó visualmente que individualmente el motor pudiera girar en ambos sentidos. Luego, al implementarse los cuatro motores con sus ruedas, se probó que se puedan realizar los giros en todas las direcciones.

4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos por el sensor DHT11 fueran cercanos a lo esperado en relación a la temperatura en el interior del lugar de experimentación y la humedad en un valor cercano a lo reportado en Google.

4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica

Se verificó visualmente que el valor obtenido por el sensor BMP280 fuera cercano a lo esperado en relación al valor reportado por Google.

4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos del fotoresistor, tras ser transformados a valores absolutos porcentuales, guardan relación con el nivel de luminosidad ambiental del interior del lugar de experimentación.

4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi

Por medio de dos programas UDP, uno cliente y uno servidor, se probó el establecimiento de la comunicación UDP entre dos ESP32. Luego se incorporó el servicio de comunicaciones UDP en el robot y mientras que desde el programa cliente se enviaban las acciones representando las direcciones del movimiento a realizar (FORWARD, BACKWARD, LEFT, RIGHT) y se observó visualmente cómo el robot giraba sus ruedas en función de los comandos enviados. Finalmente, se incorporó el módulo de comunicaciones en el joystick para enviar los comandos al robot cuando se realizaba dicho.

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

El proceso de validación y pruebas del producto se realizó comparando el resultado obtenido con los valores esperados en el alcance del proyecto. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Prueba y validación del módulo de visualización de display.
- Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad.
- Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica.
- Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental.

```
Test 'test_adc_service.c'
-----
Running test_adc_service.out...

Test 'test_display_service.c'
-----
Running test_display_service.out...

Test 'test_joystick_service.c'
-----
Running test_joystick_service.out...

Test 'test_measuring_services.c'
-----
Running test_measuring_services.out...

Test 'test_motors_service.c'
-----
Running test_motors_service.out...

Test 'test_robot_position_state.c'
-----
Running test_robot_position_state.out...

Test 'test_wifi_service.c'
-----
Running test_wifi_service.out...

OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 28
PASSED: 20
FAILED: 8
IGNORED: 0
```

FIGURA 3.15. Ejecución de tests por consola.

Build history						
	Region	Status	Build	Type	Ref	Created
1	global/us-central1	Success	10000001	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:01 AM
2	global/us-central1	Success	10000002	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:07 AM
3	global/us-central1	Success	10000003	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:23 AM
4	global/us-central1	Success	10000004	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:49 AM
5	global/us-central1	Success	10000005	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:05 AM
6	global/us-central1	Success	10000006	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:21 AM
7	global/us-central1	Success	10000007	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:37 AM
8	global/us-central1	Success	10000008	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:53 AM
9	global/us-central1	Success	10000009	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:09 PM
10	global/us-central1	Success	10000010	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:25 PM
11	global/us-central1	Success	10000011	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:41 PM
12	global/us-central1	Success	10000012	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:57 PM
13	global/us-central1	Success	10000013	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:13 PM
14	global/us-central1	Success	10000014	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:29 PM
15	global/us-central1	Success	10000015	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:45 PM
16	global/us-central1	Success	10000016	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:51 PM
17	global/us-central1	Success	10000017	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:57 PM
18	global/us-central1	Success	10000018	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:13 PM
19	global/us-central1	Success	10000019	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:29 PM
20	global/us-central1	Success	10000020	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:45 PM
21	global/us-central1	Success	10000021	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:51 PM
22	global/us-central1	Success	10000022	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:57 PM
23	global/us-central1	Success	10000023	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:13 PM
24	global/us-central1	Success	10000024	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:29 PM
25	global/us-central1	Success	10000025	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:45 PM
26	global/us-central1	Success	10000026	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:51 PM
27	global/us-central1	Success	10000027	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:57 PM
28	global/us-central1	Success	10000028	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:13 PM
29	global/us-central1	Success	10000029	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:29 PM
30	global/us-central1	Success	10000030	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:45 PM
31	global/us-central1	Success	10000031	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:51 PM
32	global/us-central1	Success	10000032	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:57 PM
33	global/us-central1	Success	10000033	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:13 PM
34	global/us-central1	Success	10000034	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:29 PM
35	global/us-central1	Success	10000035	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:45 PM
36	global/us-central1	Success	10000036	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:51 PM
37	global/us-central1	Success	10000037	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:57 PM
38	global/us-central1	Success	10000038	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:13 PM
39	global/us-central1	Success	10000039	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:29 PM
40	global/us-central1	Success	10000040	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:45 PM
41	global/us-central1	Success	10000041	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:51 PM
42	global/us-central1	Success	10000042	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:57 PM
43	global/us-central1	Success	10000043	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:13 PM
44	global/us-central1	Success	10000044	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:29 PM
45	global/us-central1	Success	10000045	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:45 PM
46	global/us-central1	Success	10000046	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:51 PM
47	global/us-central1	Success	10000047	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:57 PM
48	global/us-central1	Success	10000048	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:13 PM
49	global/us-central1	Success	10000049	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:29 PM
50	global/us-central1	Success	10000050	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:45 PM
51	global/us-central1	Success	10000051	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:51 PM
52	global/us-central1	Success	10000052	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:57 PM
53	global/us-central1	Success	10000053	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:13 PM
54	global/us-central1	Success	10000054	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:29 PM
55	global/us-central1	Success	10000055	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:45 PM
56	global/us-central1	Success	10000056	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:51 PM
57	global/us-central1	Success	10000057	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:57 PM
58	global/us-central1	Success	10000058	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:13 PM
59	global/us-central1	Success	10000059	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:29 PM
60	global/us-central1	Success	10000060	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:45 PM
61	global/us-central1	Success	10000061	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:51 PM
62	global/us-central1	Success	10000062	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:57 PM
63	global/us-central1	Success	10000063	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:13 PM
64	global/us-central1	Success	10000064	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:29 PM
65	global/us-central1	Success	10000065	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:45 PM
66	global/us-central1	Success	10000066	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:51 PM
67	global/us-central1	Success	10000067	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:57 PM
68	global/us-central1	Success	10000068	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:13 AM
69	global/us-central1	Success	10000069	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:29 AM
70	global/us-central1	Success	10000070	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:45 AM
71	global/us-central1	Success	10000071	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:51 AM
72	global/us-central1	Success	10000072	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 12:57 AM
73	global/us-central1	Success	10000073	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:13 AM
74	global/us-central1	Success	10000074	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:29 AM
75	global/us-central1	Success	10000075	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:45 AM
76	global/us-central1	Success	10000076	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:51 AM
77	global/us-central1	Success	10000077	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 1:57 AM
78	global/us-central1	Success	10000078	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:13 AM
79	global/us-central1	Success	10000079	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:29 AM
80	global/us-central1	Success	10000080	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:45 AM
81	global/us-central1	Success	10000081	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:51 AM
82	global/us-central1	Success	10000082	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 2:57 AM
83	global/us-central1	Success	10000083	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:13 AM
84	global/us-central1	Success	10000084	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:29 AM
85	global/us-central1	Success	10000085	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:45 AM
86	global/us-central1	Success	10000086	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:51 AM
87	global/us-central1	Success	10000087	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 3:57 AM
88	global/us-central1	Success	10000088	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:13 AM
89	global/us-central1	Success	10000089	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:29 AM
90	global/us-central1	Success	10000090	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:45 AM
91	global/us-central1	Success	10000091	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:51 AM
92	global/us-central1	Success	10000092	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 4:57 AM
93	global/us-central1	Success	10000093	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:13 AM
94	global/us-central1	Success	10000094	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:29 AM
95	global/us-central1	Success	10000095	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:45 AM
96	global/us-central1	Success	10000096	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:51 AM
97	global/us-central1	Success	10000097	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 5:57 AM
98	global/us-central1	Success	10000098	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:13 AM
99	global/us-central1	Success	10000099	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:29 AM
100	global/us-central1	Success	10000100	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:45 AM
101	global/us-central1	Success	10000101	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:51 AM
102	global/us-central1	Success	10000102	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 6:57 AM
103	global/us-central1	Success	10000103	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:13 AM
104	global/us-central1	Success	10000104	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:29 AM
105	global/us-central1	Success	10000105	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:45 AM
106	global/us-central1	Success	10000106	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:51 AM
107	global/us-central1	Success	10000107	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 7:57 AM
108	global/us-central1	Success	10000108	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:13 AM
109	global/us-central1	Success	10000109	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:29 AM
110	global/us-central1	Success	10000110	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:45 AM
111	global/us-central1	Success	10000111	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:51 AM
112	global/us-central1	Success	10000112	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 8:57 AM
113	global/us-central1	Success	10000113	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:13 AM
114	global/us-central1	Success	10000114	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:29 AM
115	global/us-central1	Success	10000115	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:45 AM
116	global/us-central1	Success	10000116	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:51 AM
117	global/us-central1	Success	10000117	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 9:57 AM
118	global/us-central1	Success	10000118	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:13 AM
119	global/us-central1	Success	10000119	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:29 AM
120	global/us-central1	Success	10000120	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:45 AM
121	global/us-central1	Success	10000121	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:51 AM
122	global/us-central1	Success	10000122	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 10:57 AM
123	global/us-central1	Success	10000123	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:13 AM
124	global/us-central1	Success	10000124	Cloud Build Trigger	main	2024/09/15 11:2

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

29

■ Prueba y validación del control y desplazamiento del robot.

Para la validación de los parámetros ambientales medidos por el robot se utilizó un dispositivo anemómetro digital AOPUTTRIVER AP-007-WM capaz de medir presión, temperatura y humedad ambiental, y de esta manera poder comparar los valores medidos. En la siguiente figura puede apreciarse una imagen del mismo.



FIGURA 4.1. Anemómetro digital AOPUTTRIVER AP-007-WM.

Para la validación de la medición de luminosidad ambiental ...

En las siguientes secciones se presentan las diferentes pruebas funcionales realizadas sobre el producto.

4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display

Se verificó el funcionamiento del display visualizando las lecturas de los valores censados y transmitidos por el robot. Se controló que:

- Las lecturas sean nítidas y entendibles.
- Las unidades de medida están presentes.
- Haya un detalle de lo que se está midiendo acompañando las lecturas y la unidad de medida.
- El nivel de luminosidad sea óptimo para permitir la lectura independiente de la iluminación ambiental.
- Se presentan las lecturas de todos los valores observados.

A continuación, se pueden apreciar algunas fotografías tomadas durante el proceso de experimentación:

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

29

 A screenshot of a GitHub repository interface. The main area shows a list of commits grouped by date. Each commit includes the author, message, and timestamp. The commits are related to fixing test cases and adding test cases for measuring services.

Commit Date	Author	Message
Sept 18, 2024	garciajose	Fixing the test case
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de los demas test cases
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de los demas test cases
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de los demas test cases
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de los demas test cases
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de las funciones del test para MotorService
Sept 18, 2024	garciajose	agregando expectativa de los demas test cases
Sept 17, 2024	garciajose	completando test cases para measuring services
Sept 15, 2024	garciajose	completando test cases para measuring services
Sept 15, 2024	garciajose	completando test cases para measuring services
Sept 15, 2024	garciajose	completando test cases para measuring services

FIGURA 3.17. Github.

 A screenshot of the Google Cloud Artifact Registry interface. It shows a list of artifacts in a table. Each artifact has a name, description, tags, creation date, and update date. One artifact is highlighted with a red circle.

Name	Description	Tags	Created	Updated
artifact-test1	Test artifact for CI/CD pipeline	test	10 minutes ago	10 minutes ago
artifact-test2	Test artifact for CI/CD pipeline	test	1 day ago	1 day ago
artifact-test3	Test artifact for CI/CD pipeline	test	2 days ago	2 days ago

FIGURA 3.18. ArtifactRegistry.



FIGURA 4.2. Visualización del display en la oscuridad.

En la siguiente sección pueden encontrarse los videos en los que se puede apreciar el funcionamiento del display durante el día [43] y en la oscuridad [44].

4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de temperatura y humedad basado en el sensor DHT11 con los obtenidos a través de un dispositivo de medición de temperatura y humedad. Se realizó la medición en diferentes contextos:

- En el interior de una casa.
- En el exterior, durante el día.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados.

TABLA 4.1. Resultados de mediciones de temperatura y humedad

Contexto	Temp. Robot	Temp. Ref.	Hume. Robot	Hume. Ref.
Interior	22,0	23,6	44,0 - 45,0	58,5
Exterior (día)	17,0	14,0	47,0 - 53,0	62,9 - 64,0
Exterior (noche)	-	-	-	-

A continuación, se pueden apreciar algunas fotografías tomadas durante el proceso de experimentación:

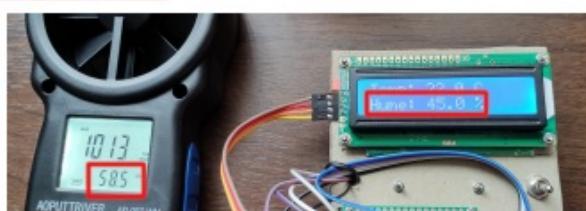


FIGURA 4.3. Medición de humedad en el interior.



FIGURA 4.4. Medición de temperatura en el interior.



FIGURA 4.5. Medición de humedad en el exterior.

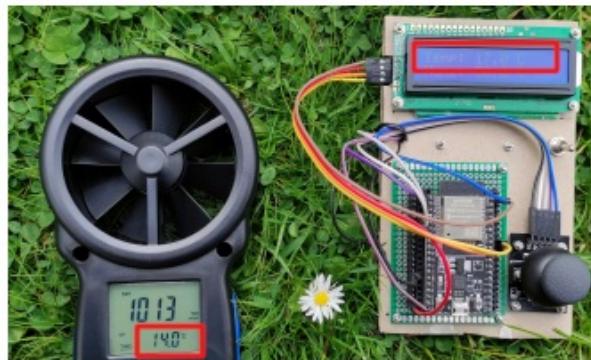


FIGURA 4.6. Medición de temperatura en el exterior.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de temperatura y humedad [43].

4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de presión basado en el sensor BMP280 con los obtenidos a través de un dispositivo manómetro digital. Las mediciones se realizaron en el interior de la vivienda en dos días distintos.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

Esta sección presenta los diferentes prototipos realizados para determinar la viabilidad de cada una de las funcionalidades provistas, la metodología de desarrollo, testing y, finalmente, los entregables finales del trabajo.

4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad

Para el proceso de desarrollo se realizaron pruebas de concepto de las diferentes funcionalidades utilizando como materiales la bibliografía encontrada en Internet, las hojas de datos y los ejemplos de código provistos por el SDK y bibliotecas empleadas. Una vez logrado el objetivo funcional de componente se optimizó y encapsuló cada módulo para ser integrado de manera individual a un prototipo integrador sin afectar el funcionamiento de cualquier otro módulo. De esta manera se desarrolló un prototipo integrador como la sumatoria de todos los módulos de forma incremental, probándose por regresión que los módulos ya integrados previamente siguieran funcionando de forma óptima.

Una vez logrado el prototipo integrador con todas las funcionalidades de la versión v1.0, se procedió a expandir el hardware para crear la versión v2.0. Para ello, se extrajeron los módulos de joystick y display, que posteriormente se agregarían al sistema embebido del joystick, y se incorporaron los módulos de conectividad UDP sobre Wi-Fi.

Tras lograr la versión v2.0 se repite el proceso de control de calidad de los diferentes módulos ya integrados.

A continuación, se detallan las diferentes pruebas realizadas.

4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos

Todos los módulos fueron probados mediante una inspección visual durante el proceso de pruebas de concepto.

4.2.1. Verificación del módulo de joystick

Se verificó visualmente que los valores del joystick analógico puedan ser leídos apropiadamente, y que sean representativos y relevantes con la dirección del movimiento de la palanca sobre sus coordenadas X y Y.

En la siguiente tabla pueden apreciarse los resultados obtenidos:

TABLA 4.2. Resultados de mediciones de presión ambiental

Contexto	Presión. Robot	Presión. Ref.
Dia 1	1013	1018,9
Dia 2	1003,9	998

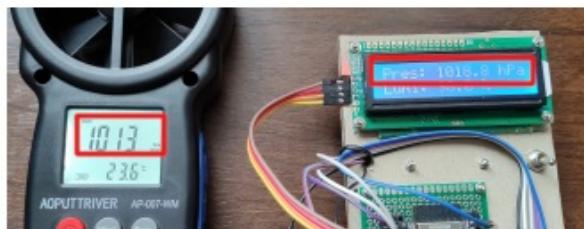


FIGURA 4.7. Medición de presión atmosférica en el interior.



FIGURA 4.8. Medición de presión atmosférica en el exterior.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de presión atmosférica [43].

4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de luminosidad basado en un fotorresistor percibidos por el ojo humano sin utilizar ningún dispositivo de medición. Se realizó la medición en diferentes escenarios:

- En exteriores durante el día con luz ambiental.
- En interiores con luz ambiental.
- En interiores a oscuras.

Los resultados mostraron que los valores porcentuales indicados por el módulo de medición de luminosidad son consistentes con los niveles de luz detectados

4.2.2. Verificación del módulo de control del display

Se verificó visualmente que el display representara los caracteres programados en la prueba de concepto con una intensidad de luz aceptable para poder leerlos apropiadamente.

4.2.3. Verificación del módulo de control de motores

Se verificó visualmente que individualmente el motor pudiera girar en ambos sentidos. Luego, al implementarse los cuatro motores con sus ruedas, se probó que se puedan realizar los giros en todas las direcciones.

4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos por el sensor DHT11 fueran cercanos a lo esperado en relación a la temperatura en el interior del lugar de experimentación y la humedad en un valor cercano a lo reportado en Google.

4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica

Se verificó visualmente que el valor obtenido por el sensor BMP280 fuera cercano a lo esperado en relación al valor reportado por Google.

4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos del fotoresistor, tras ser transformados a valores absolutos porcentuales, guardan relación con el nivel de luminosidad ambiental del interior del lugar de experimentación.

4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi

Por medio de dos programas UDP, uno cliente y uno servidor, se probó el establecimiento de la comunicación UDP entre dos ESP32. Luego se incorporó el servicio de comunicaciones UDP en el robot y mientras que desde el programa cliente se enviaban las acciones representando las direcciones del movimiento a realizar (FORWARD, BACKWARD, LEFT, RIGHT) y se observó visualmente cómo el robot giraba sus ruedas en función de los comandos enviados. Finalmente, se incorporó el módulo de comunicaciones en el joystick y se procedió a activar el desplazamiento en cada una de sus direcciones. Se evidenció el correcto funcionamiento del robot al desplazarse en la dirección de cada comando accionado.

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

El proceso de validación y pruebas del producto se realizó comparando el resultado obtenido con los valores esperados en el alcance del proyecto.

Para la medición de temperatura, humedad y presión se utilizó el anemómetro digital de la figura 2.17, mientras que para la validación de la medición de luminosidad ambiental se utilizó la observación visual.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Prueba y validación del módulo de visualización de display.

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

33

por el ojo humano. En las siguientes imágenes pueden apreciarse los resultados de las mediciones.



FIGURA 4.9. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.



FIGURA 4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.



FIGURA 4.11. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de luminosidad ambiental [43].

4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot

Se verificó el control del desplazamiento del robot de forma visual por medio de accionar el joystick en las diferentes coordenadas (X;Y) y se controló que:

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

33

- Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad.
- Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica.
- Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental.
- Prueba y validación del control y desplazamiento del robot.

En las siguientes secciones se presentan las diferentes pruebas funcionales realizadas sobre el producto.

4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display

Se verificó el funcionamiento del display visualizando las lecturas de los valores censados y transmitidos por el robot. Se controló que:

- Las lecturas sean nítidas y entendibles.
- Las unidades de medida están presentes.
- Haya un detalle de lo que se está midiendo acompañando las lecturas y la unidad de medida.
- El nivel de luminosidad sea óptimo para permitir la lectura independiente-mente de la iluminación ambiental.
- Se presentan las lecturas de todos los valores observados.

A continuación, se pueden apreciar algunas fotografías tomadas durante el pro-ceso de experimentación:

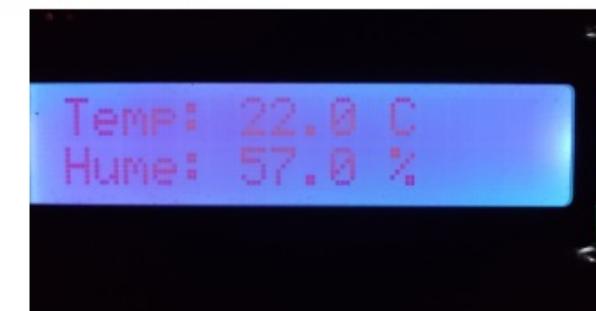


FIGURA 4.1. Visualización del display en la oscuridad.

En la siguiente sección pueden encontrarse los videos en los que se puede apre-ciar el funcionamiento del display durante el día [42] y en la oscuridad [43].

4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de temperatura y humedad basado en el sensor DHT11 con los obtenidos a través de un dispositivo de medición de temperatura y humedad. Se realizó la medición en diferentes contextos:

- La dirección del movimiento del robot sea acorde al accionamiento del joystick.
- El tiempo de respuesta en el movimiento del robot y tras accionar del joystick sea mínimo, permitiendo una buena experiencia de usuario.

En la siguiente sección pueden encontrarse los videos [45] y [46] evidenciando la demostración de este experimento.

4.4. Videos del producto durante el prototipado, ensamblado y experimentación

En las siguientes subsecciones se listan los videos realizados durante el proceso de demostración del producto funcionando así como los grabados casualmente durante armado y prototipado del mismo.

4.4.1. Videos demostrativos del producto final

Los experimentos realizados para evidenciar el cumplimiento con los requerimientos funcionales del producto son los siguientes:

- Demo - Hardware del producto [47].
- Demo - Comunicacion Wi-Fi [48].
- Demo - Control de movimiento de las ruedas [45].
- Demo - Medición y visualización de parámetros ambientales [43].
- Demo - Control de desplazamiento en un circuito [46].
- Demo - Visualización del Display en la oscuridad [44].

4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot

- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (1) [49].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (2) [50].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (3) [51].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (4) [52].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (1) [53].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (2) [54].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación USB) [55].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación por pilas) [56].

4.5. Reportes de testing

...

- En el interior de una casa.
- En el exterior, durante el día.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados.

TABLA 4.1. Resultados de mediciones de temperatura y humedad

Contexto	Temp. Robot	Temp. Ref.	Hume. Robot	Hume. Ref.
Interior	22,0	23,6	44,0 - 45,0	58,5
Exterior (día)	17,0	14,0	47,0 - 53,0	62,9 - 64,0
Exterior (noche)	-	-	-	-

A continuación, se pueden apreciar algunas fotografías tomadas durante el proceso de experimentación:

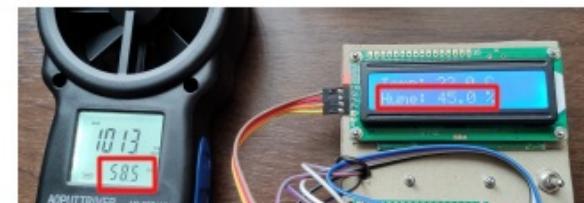


FIGURA 4.2. Medición de humedad en el interior.



FIGURA 4.3. Medición de temperatura en el interior.



FIGURA 4.4. Medición de humedad en el exterior.

4.6. Documentación del producto

35

4.6. Documentación del producto

Se desarrolló la documentación del producto compuesta de los siguientes entregables

- Documentación técnica [42].
- Manual de usuario [57].

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

35



FIGURA 4.5. Medición de temperatura en el exterior.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de temperatura y humedad [42].

4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de presión basado en el sensor BMP280 con los obtenidos a través de un dispositivo manómetro digital. Las mediciones se realizaron en el interior de la vivienda en dos días distintos.

En la siguiente tabla pueden apreciarse los resultados obtenidos:

TABLA 4.2. Resultados de mediciones de presión ambiental.

Contexto	Presión. Robot	Presión. Ref.
Día 1	1013	1018,9
Día 2	1003,9	998



FIGURA 4.6. Medición de presión atmosférica en el interior.



FIGURA 4.7. Medición de presión atmosférica en el exterior.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de presión atmosférica [42].

4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental

Se compararon los valores medidos por el módulo de medición de luminosidad basado en un fotoresistor percibidos por el ojo humano sin utilizar ningún dispositivo de medición. Se realizó la medición en diferentes escenarios:

- En exteriores durante el día con luz ambiental.
- En interiores con luz ambiental.
- En interiores a oscuras.

Los resultados mostraron que los valores porcentuales indicados por el módulo de medición de luminosidad son consistentes con los niveles de luz detectados por el ojo humano. En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 pueden apreciarse los resultados de las mediciones.



FIGURA 4.8. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.

Capítulo 5

Conclusiones

Conclusiones del trabajo...

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se puede seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.1. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

4.4. Videos del producto durante el prototipado, ensamblado y experimentación



FIGURA 4.9. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.



FIGURA 4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.

En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de luminosidad ambiental [42].

4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot

Se verificó el control del desplazamiento del robot de forma visual por medio de accionar el joystick en las diferentes coordenadas (X;Y) y se controló que:

- La dirección del movimiento del robot sea acorde al accionamiento del joystick.
- El tiempo de respuesta en el movimiento del robot y tras el accionar del joystick sea mínimo, permitiendo una buena experiencia de usuario.

En la siguiente sección pueden encontrarse los videos [44] y [45] evidenciando la demostración de este experimento.

4.4. Videos del producto durante el prototipado, ensamblado y experimentación

En las siguientes subsecciones se listan los videos realizados durante el proceso de demostración del producto funcionando así como los grabados casualmente durante armado y prototipado del mismo.

4.4.1. Videos demostrativos del producto final

Los experimentos realizados para evidenciar el cumplimiento con los requerimientos funcionales del producto son los siguientes:

- Demo - Hardware del producto [46].
- Demo - Comunicacion Wi-Fi [47].
- Demo - Control de movimiento de las ruedas [44].
- Demo - Medición y visualización de parámetros ambientales [42].
- Demo - Control de desplazamiento en un circuito [45].
- Demo - Visualización del Display en la oscuridad [43].

4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot

- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (1) [48].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (2) [49].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (3) [50].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (4) [51].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (1) [52].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (2) [53].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación USB) [54].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación por pilas) [55].

4.5. Reportes de testing

A continuación se pueden apreciar los reportes de testing generados por la herramienta *gcov* con el complemento *gcov*.

```

GCOV: OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 28
PASSED: 20
FAILED: 8
IGNORED: 0

-----
GCOV: CODE COVERAGE SUMMARY
-----
measuring_services.c Lines executed:77.78% of 36
measuring_services.c Branches executed:100.00% of 10
measuring_services.c Taken at least once:88.89% of 10
measuring_services.c Calls executed:71.43% of 7

Could not find coverage results for main/adc_service.c
Could not find coverage results for main/display_service.c
Could not find coverage results for main/joystick_service.c
Could not find coverage results for main/main.c
Could not find coverage results for main/measuring_state.c
Could not find coverage results for main/motors_service.c
Could not find coverage results for main/robot_position_state.c
Could not find coverage results for main/wifi_service.c

```

FIGURA 4.11. Reportes de testing por consola.

Bibliografía

- [1] Latam Mining. *Robots y minería: Gobierno argentino quiere implementarlos.* URL: <https://www.latam-mining.com/robots-y-mineria-gobierno-argentino-quiere-implementarlos/>.
- [2] Diario de Cuyo. *Gobierno pone la mira en el desarrollo de robots para la actividad minera.* URL: <https://www.diariodecuyo.com.ar/politica/Gobierno-pone-la-mira-en-el-desarrollo-de-robots-para-la-actividad-minera-20200202-0052.html>.
- [3] Universidad Nacional de San Juan. *Robots en la minería.* URL: http://www.unsj.edu.ar/home/noticias_detalles/4810/1.
- [4] Ing. Nelson Dario García Hurtado e Ing. Melvin Andrés González Pino. *Robot de exploración terrestre Geobot.* URL: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/revista_1/09102011/v01_09.pdf.
- [5] Ing. Hernán L. Helguero Velásquez1 e Ing. Rubén Medinaceli Tórrez. *Robot Minero: Sistema Detector de Gases utilizando Sensores en Tiempo Real MIN – SIS 1.0 SDG-STR.* URL: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100003.
- [6] Boston Dynamics. *Spot.* URL: <https://www.bostondynamics.com/products/spot>.
- [7] Waygate Technologies. *BIKE - An advanced crawler robot for remote visual inspection.* URL: <https://www.bakerhughes.com/waygate-technologies/robotic-inspection/bike>.
- [8] Espressif. *ESP32.* URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.
- [9] Espressif. *ESP32-WROOM-32D Datasheet.* URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf.
- [10] Mouser. *DHT11 datasheet.* URL: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Datasheet-Translated-Version-1143054.pdf>.
- [11] Bosch. *BMP280 datasheet.* URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>.
- [12] Handson Technology. *PS2 Joy Stick for Arduino/Raspberry.* URL: <http://www.handsontec.com/dataspecs/accessory/PS2-Joystick.pdf>.
- [13] Espressif. *Analog to Digital Converter (ADC).* URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.4/esp32/api-reference/peripherals/adc.html>.
- [14] Handson Technology. *I2C Serial Interface 1602 LCD Module.* URL: http://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf.
- [15] Adafruit. *DC Gearbox Motor - TT Motor -200RPM - 3 to 6VDC.* URL: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Adafruit%20PDFs/3777_Web.pdf.

GCC Code Coverage Report

Directory:	main/	Exec	Total	Coverage				
Date:	2024-09-18 07:41:47		Lines:	28	36	77.8 %		
Legend:	low: < 75.0 % medium: >= 75.0 % high: >= 90.0 %				Branches:	8	10	80.0 %
File	Lines		Branches					
measuring_services.c			77.8 %	28 / 36	80.0 %	8 / 10		

Generated by: GCOVR (Version 4.2)

FIGURA 4.12. Reportes de testing web.

4.6. Documentación del producto

Se desarrolló la documentación del producto compuesta de los siguientes entregables

- Documentación técnica [56].
- Manual de usuario [57].

- [16] CMake. *CMake*. URL: <https://cmake.org/>.
- [17] CMake. *Ninja*. URL: <https://cmake.org/cmake/help/latest/generator/Ninja.html>.
- [18] Espressif. *ESP-IDF Programming Guide | Get Started*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/>.
- [19] Readthedocs by Ruslan V. Uss. *ESP-IDF Components library*. URL: <https://esp-idf-lib.readthedocs.io/en/latest/>.
- [20] Espressif Programming Guide. *ESP-IDF Get Started*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/index.html>.
- [21] Docker. *Docker*. URL: <https://docker.com/>.
- [22] Visualstudio. *Visualstudio Code*. URL: <https://code.visualstudio.com/>.
- [23] Ubuntu. *Ubuntu*. URL: <https://ubuntu.com/>.
- [24] Espressif. *ESP-IDF WiFi*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/wifi.html>.
- [25] Espressif. *ESP-IDF - Wi-Fi SoftAP Example*. URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.4/examples/wifi/getting_started/softAP.
- [26] Gonzalo Carreno. POC *ESP32-WiFi v4.4*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-wifi-ap-v4.4.
- [27] Espressif. *ESP-IDF ADC1 Example*. URL: <https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.0.3/examples/peripherals/adc>.
- [28] Gonzalo Carreno. POC *ESP32-joystick*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-joystick.
- [29] Gonzalo Carreno. POC *ESP32-photoresistor*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-photoresistor.
- [30] UncleRus. *ESP32 - Example for dht driver*. URL: <https://github.com/UncleRus/esp-idf-lib/tree/master/examples/dht/default>.
- [31] Gonzalo Carreno. POC *ESP32-DHT11*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-dht11.
- [32] UncleRus. *ESP32 - Example for bmp280 driver*. URL: <https://github.com/UncleRus/esp-idf-lib/tree/master/examples/bmp280/default>.
- [33] Gonzalo Carreno. POC *ESP32-BMP280*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-bmp280.
- [34] Espressif. *L298N Dual H-Bridge Motor Driver*. URL: <https://www.handsontec.com/datasheets/L298N%20Motor%20Driver.pdf>.
- [35] Espressif. *ESP-IDF Motor Control Pulse Width Modulator (MCPWM)*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/peripherals/mcpwm.html>.
- [36] Espressif. *MCPWM*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.2/esp32/api-reference/peripherals/mcpwm.html>.
- [37] Espressif. *MCPWM brushed dc motor control Example*. URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.2/examples/peripherals/mcpwm/mcpwm_brushed_dc_control.

- [38] Gonzalo Carreno. POC ESP32-motor-pwm. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-motor-pwm.
- [39] ESP32 Tutoriales. *ESP32 I2C LCD with ESP-IDF*. URL: <https://esp32tutorials.com/i2c-lcd-esp32-esp-idf/>.
- [40] Gonzalo Carreno. POC ESP32-DHT11. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-display.
- [41] Espressif. *Espressif Docker Image*. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/tools/idf-docker-image.html>.
- [42] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Documentacion Tecnica*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/blob/main/docs/Documentacion-Tecnica.pdf.
- [43] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Medicion y visualizacion de parametros ambientales*. URL: https://youtu.be/BBOP3n8_gBg.
- [44] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Visualizacion del Display en la oscuridad*. URL: <https://youtu.be/LwfYaoTAi64>.
- [45] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Control de movimiento de las ruedas*. URL: <https://youtu.be/FKXWx4Rqr7I>.
- [46] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Control de desplazamiento en un circuito*. URL: <https://youtu.be/sosSGwCTyaY>.
- [47] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Hardware*. URL: <https://youtu.be/RNBnDawVJ6c>.
- [48] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo - Comunicacion WiFi*. URL: <https://youtu.be/CcBgvoKjLB0>.
- [49] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (1)*. URL: <https://youtu.be/tDXT1CsObWE>.
- [50] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (2)*. URL: <https://youtube.com/shorts/uGqln2K0LbI>.
- [51] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (3)*. URL: <https://youtu.be/w9IOoE-d9Cw>.
- [52] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (4)*. URL: https://youtu.be/obkj-wM_wNU.
- [53] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Comunicacion Joystick Robot (1)*. URL: <https://youtu.be/SnRf6HSya88>.
- [54] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Comunicacion Joystick Robot (2)*. URL: <https://youtu.be/jiisheyu95w>.
- [55] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Desplazamiento (alimentacion USB)*. URL: https://youtu.be/_w8qdNWC-DQ.
- [56] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Desplazamiento (alimentacion por pilas)*. URL: <https://youtu.be/-MxMXKzztHU>.
- [57] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Manual de usuario*. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/blob/main/docs/Manual-De-Usuario-vFinal.pdf.

Capítulo 5

Conclusiones

Conclusiones del trabajo...

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se puede seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.1. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.