

3.2.3. Medición de valor de luminosidad	20
3.2.4. Medición de temperatura y humedad	21
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
3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario	31
4. Ensayos y resultados	33
4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad	33
4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos	33
4.2.1. Verificación del módulo de joystick	33
4.2.2. Verificación del módulo de control del display	34
4.2.3. Verificación del módulo de control de motores	34
4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad	34
4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica	34
4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad	34
4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi	34
4.3. Pruebas funcionales y validación del producto	34
4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display	35
4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad	36
4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica	37
4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental	38
4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot	42
4.4. Videos del producto durante el ensamblado y experimentación	42
4.4.1. Videos demostrativos del producto final	42
4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot	42
4.5. Documentación del producto	43
5. Conclusiones	45
5.1. Próximos pasos	46
Bibliografía	47

3.2.3. Medición de valor de luminosidad	20
3.2.4. Medición de temperatura y humedad	21
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
3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario	31
4. Ensayos y resultados	33
4.1. Proceso de desarrollo y aseguramiento de calidad	33
4.2. Verificación técnica de los diferentes módulos	33
4.2.1. Verificación del módulo de joystick	33
4.2.2. Verificación del módulo de control del display	34
4.2.3. Verificación del módulo de control de motores	34
4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad	34
4.2.5. Verificación del módulo de medición de presión atmosférica	34
4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad	34
4.2.7. Verificación del módulo de comunicación UTP sobre Wi-Fi	34
4.3. Pruebas funcionales y validación del producto	34
4.3.1. Prueba y validación del módulo de visualización de display	35
4.3.2. Prueba y validación del módulo de medición de temperatura y humedad	36
4.3.3. Prueba y validación del módulo de medición de presión atmosférica	37
4.3.4. Prueba y validación del módulo de medición de luminosidad ambiental	38
4.3.5. Prueba y validación del control y desplazamiento del robot	39
4.4. Videos del producto durante el ensamblado y experimentación	40
4.4.1. Videos demostrativos del producto final	40
4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot	40
4.5. Documentación del producto	40
5. Conclusiones	43
5.1. Próximos pasos	43
Bibliografía	45

VIII

4.4. Medición de humedad en el exterior	37
4.5. Medición de temperatura en el exterior.	37
4.6. Medición de presión atmosférica en el interior.	38
4.7. Medición de presión atmosférica en el exterior.	38
4.8. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.	39
4.9. Iluminancia [Lux] reportada por la aplicación Light Meter en el exterior durante el día.	39
4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.	40
4.11. Iluminancia [Lux] reportada por la aplicación Light Meter en interiores durante el día.	40
4.12. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.	41
4.13. Iluminancia [Lux] reportada por la aplicación Light Meter en interiores durante la noche.	41

VIII

4.4. Medición de humedad en el exterior.	37
4.5. Medición de temperatura en el exterior.	37
4.6. Medición de presión atmosférica en el interior.	38
4.7. Medición de presión atmosférica en el exterior.	38
4.8. Medición de luminosidad ambiental en el exterior durante el día.	39
4.9. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante el día.	39
4.10. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.	39

Pino, de la universidad de Pamplona, capaz de realizar reconocimiento de zonas y manipulación de muestras de manera autónoma o asistida.

- El robot minero MIN-SIS 1.0 SDG-STR [5] desarrollado por los ingenieros Hernán L. Helguero Velásquez y Rubén Medinaceli Tórrez de la Universidad Técnica de Oruro, capaz de detectar gases, almacenar datos locales y enviar video e imágenes al puesto de mando.
- Spot [6], desarrollado por Boston Dynamics, un robot explorador cuadrupeado de propósito general capaz de explorar, almacenar y enviar información en tiempo real.
- BIKE [7], desarrollado por Waygate Technologies, un robot con ruedas magnéticas, muy utilizado en la industria de petróleo y gas entre otras, capaz de desplazarse por el interior de tuberías para poder realizar inspecciones y comunicar hallazgos.

1.3. Alcance y objetivos

A continuación se detallan las funcionalidades incluidas en el alcance del trabajo.

- Sistema de desplazamiento terrestre.
- Operaciones de exploración
 - Medición de humedad ambiental.
 - Medición de temperatura ambiental.
 - Medición de presión ambiental.
 - Medición de luminosidad ambiental.
- Visualización de estado de exploración (lecturas de los sensores).
- Sistema de control por medio de un joystick cableado.

Queda fuera del alcance:

- Locomoción por cualquier otro medio que no sea terrestre.
- Cualquier otra función no contemplada en este alcance.

1.4. Requerimientos

A continuación se listan los requerimientos del producto:

1. Requerimientos funcionales
 - a) El sistema debe contar con funciones de desplazamiento para poder moverse hacia adelante y atrás, y poder girar radialmente **hasta** un ángulo de 360 grados.
 - b) El sistema debe ser capaz de realizar las siguientes operaciones de exploración:
 - 1) **medición** de humedad **ambiental**,
 - 2) **medición** de temperatura **ambiental**,

Pino, de la universidad de Pamplona, capaz de realizar reconocimiento de zonas y manipulación de muestras de manera autónoma o asistida.

- El robot minero MIN-SIS 1.0 SDG-STR [5] desarrollado por los ingenieros Hernán L. Helguero Velásquez y Rubén Medinaceli Tórrez de la Universidad Técnica de Oruro, capaz de detectar gases, almacenar datos locales y enviar video e imágenes al puesto de mando.
- Spot [6], desarrollado por Boston Dynamics, un robot explorador cuadrupeado de propósito general capaz de explorar, almacenar y enviar información en tiempo real.
- BIKE [7], desarrollado por Waygate Technologies, un robot con ruedas magnéticas, muy utilizado en la industria de petróleo y gas entre otras, capaz de desplazarse por el interior de tuberías para poder realizar inspecciones y comunicar hallazgos.

1.3. Alcance y objetivos

A continuación se detallan las funcionalidades incluidas en el alcance del trabajo.

- Sistema de desplazamiento terrestre.
- Operaciones de exploración
 - Medición de humedad ambiental.
 - Medición de temperatura ambiental.
 - Medición de presión ambiental.
 - Medición de luminosidad ambiental.
- Visualización de estado de exploración (lecturas de los sensores).
- Sistema de control por medio de un joystick cableado.

Queda fuera del alcance:

- Locomoción por cualquier otro medio que no sea terrestre.
- Cualquier otra función no contemplada en este alcance.

1.4. Requerimientos

A continuación se listan los requerimientos del producto:

1. Requerimientos funcionales
 - a) El sistema debe contar con funciones de desplazamiento para poder moverse hacia adelante y atrás, y poder girar radialmente un ángulo de 360 grados.
 - b) El sistema debe ser capaz de realizar las siguientes operaciones de exploración:
 - **Medición** de humedad **ambiental**.
 - **Medición** de temperatura **ambiental**.

1.4. Requerimientos

3

- 3) medición de luminosidad ambiental,
- 4) medición de presión ambiental.
- c) El sistema debe poder ser controlado a distancia mediante un joystick para que el dispositivo pueda realizar sus movimientos. En caso de que alguna de sus operaciones de exploración requiera algún mecanismo de control, el mismo también será integrado en el joystick.
- d) El sistema debe proveer un mecanismo de visualización de las operaciones de exploración al usuario que controla el dispositivo para poder ver el estado y lectura de las operaciones de exploración.

2. Requerimientos de documentación

- a) documentación de arquitectura técnica a alto nivel del diseño del sistema.
- b) documentación técnica de la implementación del software.
- c) documentación técnica de la implementación del hardware.
- d) manual de usuario.
- e) informe de avance.
- f) memoria final.

3. Requerimiento de testing

- a) se debe incluir tests de integración de componentes,
- b) se debe incluir tests funcionales (smoke test) del producto general.

4. Requerimientos de la interfaz

- a) la interfaz de usuario debe permitir visualizar las lecturas de cada uno de los sensores,
- b) debe haber una pequeña leyenda de la magnitud que se está midiendo y la unidad utilizada junto con el valor.

5. Requerimientos opcionales

- a) De interfaz: se permite agregar cualquier otra interfaz adicional que agregue mejoras en la experiencia de usuario
- b) De operaciones de exploración: se permite agregar cualquier otra operación adicional de exploración que agregue valor a exploración.
- c) De comunicación: se permite agregar comunicación inalámbrica.

1.4. Requerimientos

3

- Medición de luminosidad ambiental.
- Medición de presión ambiental.
- c) El sistema debe poder ser controlado a distancia mediante un joystick para que el dispositivo pueda realizar sus movimientos. En caso de que alguna de sus operaciones de exploración requiera algún otro mecanismo de control, el mismo también será integrado en el joystick.
- d) El sistema debe proveer un mecanismo de visualización de las operaciones de exploración al usuario que controla el dispositivo para poder ver el estado y lectura de las operaciones de exploración.
- La interfaz de usuario debe permitir visualizar las lecturas de cada uno de los sensores.
- Debe haber una pequeña leyenda de la magnitud que se está midiendo y la unidad utilizada junto con el valor.

2. Requerimientos no funcionales

- a) La arquitectura del producto debe ser robusta y tolerante a fallas.
- b) A fin de maximizar la mantenibilidad, la arquitectura del producto debe estar modularizada para permitir que los diferentes módulos puedan ser integrados y orquestados separadamente.

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

Durante el ciclo de desarrollo, se utilizaron las herramientas descritas en el capítulo anterior, y para cada prototipo se creó una imagen Docker, extendiendo la de espressif/idf [52]. 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 los comandos `git commit` y `git 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 los 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.

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

Durante el ciclo de desarrollo, se utilizaron las herramientas descritas en el capítulo anterior, y para cada prototipo se creó una imagen Docker, extendiendo la de espressif/idf [52]. 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 los comandos `git commit` y `git 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 los 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.

```

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...

TEST OUTPUT
-----
[test_motors_service.c]
- "initializing mcpwm gpio..."
- "Configuring Initial Parameters of mcpwm..."
- "initializing mcpwm gpio..."
- "Configuring Initial Parameters of mcpwm..."

[test_wifi_service.c]
- "wifi_init softap finished. SSID:1 password:1 channel:1"
- "station 12:34:56:78:9A:BC leave, AID=1"
- "station 12:34:56:78:9A:BC leave, AID=1"

OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 39
PASSED: 39
FAILED: 0
IGNORED: 0

```

FIGURA 3.15. Ejecución de tests por consola.

Luego de realizar *commit* y *push* de los cambios locales, se pueden apreciar en la figura 3.16 el listado de las versiones en GitHub.

```

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...

TEST OUTPUT
-----
[test_motors_service.c]
- "initializing mcpwm gpio..."
- "Configuring Initial Parameters of mcpwm..."
- "initializing mcpwm gpio..."
- "Configuring Initial Parameters of mcpwm..."

[test_wifi_service.c]
- "wifi_init softap finished. SSID:1 password:1 channel:1"
- "station 12:34:56:78:9A:BC leave, AID=1"
- "station 12:34:56:78:9A:BC leave, AID=1"

OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 39
PASSED: 39
FAILED: 0
IGNORED: 0

```

FIGURA 3.15. Ejecución de tests por consola.

Luego de realizar *commit* y *push* de los cambios locales se pueden apreciar en la imagen 3.16 el listado de las versiones en GitHub.

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

29

The screenshot shows the GitHub repository 'cese_proyecto_especializacion' with the following commit history:

- Commits on Sep 21, 2024:**
 - agregando cobertura de test del motor_service (commit 64fffa7, 1/1)
 - agregando cobertura del wifi_service. Se modifica el código productivo haciendo que el handler deje de ser estático y todos los headers incluidos y las constantes macros definidas son invariables del w... (commit 80f37de, 1/1)
- Commits on Sep 20, 2024:**
 - agregando cobertura para test_robot_position_state (commit 068a2a1, 1/1)
 - agregando tests de cobertura para adc service (commit 3886428, 1/1)
 - agregando tests de cobertura para adc service (commit b6d1f0c, 0/1)
 - agregando cobertura de testing (commit f5161c1, 1/1)
- Commits on Sep 19, 2024:**
 - fixing build (commit c470879, 1/1)
 - completando tests de display service (commit f880244, 0/1)
 - agregando tests de display service (commit a68ca3a, 1/1)

FIGURA 3.16. Listado de *commits* en Github.

En la figura 3.17, se pueden apreciar los diferentes builds disparados en Cloud Build referenciando los commits de GitHub.

3.4. Plataforma de desarrollo y ciclo de CI/CD

29

The screenshot shows the GitHub repository 'cese_proyecto_especializacion' with the same commit history as the left panel, indicating no differences between the two versions of the document.

FIGURA 3.16. Listado de *commits* en Github.

En la imagen 3.17 se pueden apreciar los diferentes builds disparados en Cloud Build referenciando los commits de GitHub.

The screenshot shows the Google Cloud Build history interface. It displays a table of build logs with columns: Status, Build, Source, Job, Commit, Created, and Duration. The table is filtered by 'global (non-regional)' and shows numerous builds, mostly successful (green), with some failures (red). The builds are dated from 2023-09-16 to 2024-10-15, with durations ranging from 2 minutes to over 10 hours.

Status	Build	Source	Job	Commit	Created	Duration
Success	86920376	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34ff57d1	9/21/24, 11:49 AM	2 min 40 sec
Success	47614632	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	303f77e5	9/21/24, 9:58 AM	3 min
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34ff52a1	9/20/24, 7:08 AM	2 min 40 sec
Success	10274643	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/20/24, 7:20 AM	2 min 12 sec
Success	17365688	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	bed5f812	9/20/24, 7:22 AM	9 min 14 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	21826112	9/19/24, 7:19 PM	2 min 18 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	21826112	9/19/24, 8:18 AM	3 min 13 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	50624412	9/19/24, 9:13 AM	2 min 16 sec
Success	63304671	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/19/24, 9:03 AM	2 min 49 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	ac8ca212	9/19/24, 8:02 AM	32 sec
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/19/24, 8:02 AM	32 sec
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/19/24, 11:51 AM	2 min 26 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	74f12912	9/16/24, 9:27 AM	5 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	20622942	9/16/24, 9:23 AM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	a1282022	9/16/24, 8:23 AM	9 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	10911102	9/16/24, 8:28 AM	0 sec
Success	17365688	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/17/24, 9:15 AM	2 min 16 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	50624412	9/16/24, 8:48 PM	4 min 44 sec
Success	17720209	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/16/24, 8:48 PM	2 min
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	7039e152	9/16/24, 8:20 PM	2 min 21 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	ed697212	9/16/24, 8:29 PM	2 min 16 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	af388022	9/16/24, 8:28 PM	6 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	31932102	9/16/24, 2:25 PM	7 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4f910312	9/16/24, 2:23 PM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	96239102	9/16/24, 2:28 PM	0 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	36581852	9/16/24, 2:09 PM	2 min 23 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	36681512	9/16/24, 2:08 PM	-
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	80234122	9/16/24, 2:05 PM	5 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	80234122	9/16/24, 2:03 PM	10 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	25584212	9/16/24, 2:02 PM	5 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	20333112	9/16/24, 1:58 PM	2 min 7 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	42030702	9/15/24, 5:24 PM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	45924072	9/15/24, 5:14 PM	5 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	45924072	9/15/24, 5:08 PM	2 min 14 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	25584212	9/15/24, 4:58 PM	2 min 22 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	af631192	9/15/24, 4:46 PM	2 min 12 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	c1350152	9/15/24, 4:09 PM	1 min 55 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34620142	9/15/24, 8:02 PM	5 sec

FIGURA 3.17. Listado de *builds* en Google CloudBuild.

Finalmente, en la figura 3.18 se pueden apreciar las imágenes Docker versionadas y almacenadas en Artifact Registry.

The screenshot shows the Google Cloud Build history interface. It displays a table of build logs with columns: Status, Build, Source, Job, Commit, Created, and Duration. The table is filtered by 'global (non-regional)' and shows numerous builds, mostly successful (green), with some failures (red). The builds are dated from 2023-09-16 to 2024-10-15, with durations ranging from 2 minutes to over 10 hours.

Status	Build	Source	Job	Commit	Created	Duration
Success	86920376	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34ff57d1	9/21/24, 11:49 AM	2 min 40 sec
Success	47614632	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	303f77e5	9/21/24, 9:58 AM	3 min
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34ff52a1	9/20/24, 7:08 AM	2 min 40 sec
Success	10274643	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/20/24, 7:20 AM	2 min 12 sec
Success	17365688	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	bed5f812	9/20/24, 7:22 AM	9 min 14 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	21826112	9/19/24, 7:19 PM	2 min 18 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	21826112	9/19/24, 8:18 AM	3 min 13 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	50624412	9/19/24, 9:13 AM	2 min 16 sec
Success	63304671	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/19/24, 9:03 AM	2 min 49 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	ac8ca212	9/19/24, 8:02 AM	32 sec
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/19/24, 8:02 AM	32 sec
Success	85087791	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	15945110	9/19/24, 11:51 AM	2 min 26 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	74f12912	9/16/24, 9:27 AM	5 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	20622942	9/16/24, 9:23 AM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	a1282022	9/16/24, 8:23 AM	9 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	10911102	9/16/24, 8:28 AM	0 sec
Success	17365688	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/17/24, 9:15 AM	2 min 16 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	50624412	9/16/24, 8:48 PM	4 min 44 sec
Success	17720209	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4e6d4112	9/16/24, 8:48 PM	2 min
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	7039e152	9/16/24, 8:20 PM	2 min 21 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	ed697212	9/16/24, 8:29 PM	2 min 16 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	af388022	9/16/24, 8:28 PM	6 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	31932102	9/16/24, 2:25 PM	7 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	4f910312	9/16/24, 2:23 PM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	96239102	9/16/24, 2:28 PM	0 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	36581852	9/16/24, 2:09 PM	2 min 23 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	36681512	9/16/24, 2:08 PM	-
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	80234122	9/16/24, 2:05 PM	5 sec
Failure	611aa051	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	80234122	9/16/24, 2:03 PM	10 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	25584212	9/16/24, 2:02 PM	5 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	20333112	9/16/24, 1:58 PM	2 min 7 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	42030702	9/15/24, 5:24 PM	5 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	45924072	9/15/24, 5:14 PM	5 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	45924072	9/15/24, 5:08 PM	2 min 14 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	25584212	9/15/24, 4:58 PM	2 min 22 sec
Failure	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	af631192	9/15/24, 4:46 PM	2 min 12 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	c1350152	9/15/24, 4:09 PM	1 min 55 sec
Success	15945110	komparete@01usec_proyecto_especializacion	main	34620142	9/15/24, 8:02 PM	5 sec

FIGURA 3.17. Listado de *builds* en Google CloudBuild.

Finalmente en la figura 3.18 se pueden apreciar las imágenes Docker versionadas y almacenadas en Artifact Registry.

3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario

31

The screenshot shows a Google Cloud interface for managing Docker images in the 'Digests for poc-esp32-integracion' repository. The 'VERSIONS' tab is selected. The table lists 14 versions of the image, each with a checkbox, name, tag, creation date, and update date. The latest version is '04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3'. The table has columns for Name, Tag, Created, and Updated.

Name	Tag	Created	Updated
01ceb63cb4e3	04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	1 minute ago	1 minute ago
01ceb63cb4e3	02f174d53147f402d6be7b5a5a6d4734dd94	6 hours ago	6 hours ago
04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	1964402015411efc208107859833738344a1ff1d90	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	1964402015411efc208107859833738344a1ff1d90	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	f1e9c141cb6b37cafbaw655a4e15a79e6e5db	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	c4759702282182c5a1e9fae024fb8fbcd124a	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	dd4d1ac0c07b7a45a5ab0b193666c7b9eb5c119a8	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	1e6d108e72f5738e5e51fba57b91d1f727c4	3 days ago	3 days ago
01ceb63cb4e3	d6fb1449476f727911eece810d99d3f78776fb1	4 days ago	4 days ago
01ceb63cb4e3	f4d911c4f5e4c195a1aa0e08417d1f5a20cb4d	5 days ago	5 days ago

FIGURA 3.18. Listado de versiones de imágenes doker en Google ArtifactRegistry.

3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario

A continuación, se presentan los reportes de testing generados por la herramienta *ceedling* con el complemento *gcov* donde se puede apreciar el nivel de cobertura logrado para cada servicio.

En la figura 3.19, se puede apreciar la salida por pantalla tras la ejecución local de *ceedling* con el plugin de cobertura, en donde se evidencia la cantidad de test cases.

3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario

31

The screenshot shows a Google Cloud interface for managing Docker images in the 'Digests for poc-esp32-integracion' repository. The 'VERSIONS' tab is selected. The table lists 14 versions of the image, each with a checkbox, name, tag, creation date, and update date. The latest version is '04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3'. The table has columns for Name, Tag, Created, and Updated.

Name	Tag	Created	Updated
01ceb63cb4e3	04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	1 minute ago	1 minute ago
01ceb63cb4e3	02f174d53147f402d6be7b5a5a6d4734dd94	6 hours ago	6 hours ago
04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	04f1a2724ccb0cc70d54a41209d1e48fb5f3	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	1964402015411efc208107859833738344a1ff1d90	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	1964402015411efc208107859833738344a1ff1d90	1 day ago	1 day ago
01ceb63cb4e3	f1e9c141cb6b37cafbaw655a4e15a79e6e5db	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	c4759702282182c5a1e9fae024fb8fbcd124a	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	dd4d1ac0c07b7a45a5ab0b193666c7b9eb5c119a8	2 days ago	2 days ago
01ceb63cb4e3	1e6d108e72f5738e5e51fba57b91d1f727c4	3 days ago	3 days ago
01ceb63cb4e3	d6fb1449476f727911eece810d99d3f78776fb1	4 days ago	4 days ago
01ceb63cb4e3	f4d911c4f5e4c195a1aa0e08417d1f5a20cb4d	5 days ago	5 days ago

FIGURA 3.18. Listado de versiones de imágenes doker en Google ArtifactRegistry.

3.5. Reportes de ejecución y cobertura de testing unitario

A continuación se presentan los reportes de testing generados por la herramienta *ceedling* con el complemento *gcov* donde se puede apreciar el nivel de cobertura logrado para cada servicio.

En la imagen 3.19, se puede apreciar la salida por pantalla tras la ejecución local de *ceedling* con el plugin de cobertura, en donde se evidencia la cantidad de test cases.

```

GCov: OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 39
PASSED: 39
FAILED: 0
IGNORED: 0

GCov: CODE COVERAGE SUMMARY
-----
adc_service.c Lines executed:100.00% of 17
adc_service.c No branches
adc_service.c Calls executed:100.00% of 13

display_service.c Lines executed:100.00% of 11
display_service.c No branches
display_service.c Calls executed:100.00% of 7

joystick_service.c Lines executed:91.67% of 24
joystick_service.c Branches executed:100.00% of 12
joystick_service.c Taken at least once:83.33% of 12
joystick_service.c Calls executed:100.00% of 2

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 18
measuring_services.c Calls executed:71.43% of 7

motors_service.c Lines executed:100.00% of 30
motors_service.c Branches executed:100.00% of 4
motors_service.c Taken at least once:75.00% of 4
motors_service.c Calls executed:100.00% of 15

robot_position_state.c Lines executed:81.48% of 27
robot_position_state.c Branches executed:100.00% of 24
robot_position_state.c Taken at least once:87.50% of 24
robot_position_state.c No calls

wifi_service.c Lines executed:100.00% of 19
wifi_service.c Branches executed:100.00% of 4
wifi_service.c Taken at least once:100.00% of 4
wifi_service.c Calls executed:100.00% of 15

```

FIGURA 3.19. Reportes de testing por consola.

En la figura 3.20, se pueden apreciar los detalles de la cobertura por cada servicio.

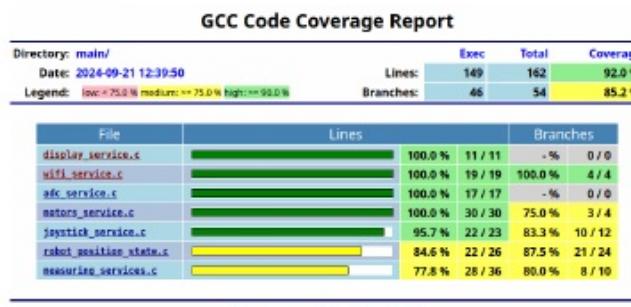


FIGURA 3.20. Reportes de testing web.

```

GCov: OVERALL TEST SUMMARY
-----
TESTED: 39
PASSED: 39
FAILED: 0
IGNORED: 0

GCov: CODE COVERAGE SUMMARY
-----
adc_service.c Lines executed:100.00% of 17
adc_service.c No branches
adc_service.c Calls executed:100.00% of 13

display_service.c Lines executed:100.00% of 11
display_service.c No branches
display_service.c Calls executed:100.00% of 7

joystick_service.c Lines executed:91.67% of 24
joystick_service.c Branches executed:100.00% of 12
joystick_service.c Taken at least once:83.33% of 12
joystick_service.c Calls executed:100.00% of 2

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 18
measuring_services.c Calls executed:71.43% of 7

motors_service.c Lines executed:100.00% of 30
motors_service.c Branches executed:100.00% of 4
motors_service.c Taken at least once:75.00% of 4
motors_service.c Calls executed:100.00% of 15

robot_position_state.c Lines executed:81.48% of 27
robot_position_state.c Branches executed:100.00% of 24
robot_position_state.c Taken at least once:87.50% of 24
robot_position_state.c No calls

wifi_service.c Lines executed:100.00% of 19
wifi_service.c Branches executed:100.00% of 4
wifi_service.c Taken at least once:100.00% of 4
wifi_service.c Calls executed:100.00% of 15

```

FIGURA 3.19. Reportes de testing por consola.

En la siguiente imagen 3.20 se pueden apreciar los detalles de la cobertura por cada servicio.

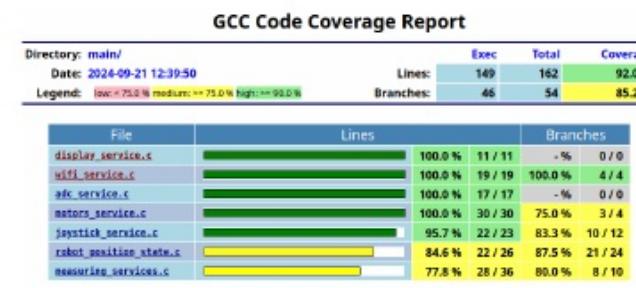


FIGURA 3.20. Reportes de testing web.

4.2.2. Verificación del módulo de control del display

Se verificó visualmente que el display mostraba los caracteres programados en la prueba de concepto con una intensidad de luz aceptable para poder leerlos apropiadamente. En las figuras 4.1, 4.8, 4.10 y 4.12 puede apreciarse el funcionamiento del módulo del display bajo diferentes condiciones de luminosidad.

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. En los videos [53] y [54] puede apreciarse el funcionamiento del módulo de control de los motores.

4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos por el sensor DHT11 coincidían con los esperados en relación a la temperatura en el interior del lugar de experimentación y que la humedad detectada se aproximara a los valores reportados por Google. En las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de medición de temperatura y humedad.

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. En las figuras 4.7 y 4.7 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de presión atmosférica.

4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos del fotorresistor, una vez transformados a valores absolutos porcentuales, reflejaban el nivel de luminosidad ambiental del interior del lugar de experimentación. En las figuras 4.8, 4.10 y 4.12 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de luminosidad.

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. Posteriormente, se incorporó el servicio de comunicaciones UDP en el robot, y desde el programa cliente se enviaban las acciones que representaban las direcciones del movimiento (FORWARD, BACKWARD, LEFT, RIGHT). 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 activó el desplazamiento en cada una de sus direcciones. El robot se desplazó correctamente en respuesta a cada comando recibido. En los videos [55], [56] y [57] puede apreciarse el funcionamiento de la comunicación UDP sobre Wi-Fi entre el robot y el joystick.

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.

4.2.2. Verificación del módulo de control del display

Se verificó visualmente que el display mostraba los caracteres programados en la prueba de concepto con una intensidad de luz aceptable para poder leerlos apropiadamente. En las figuras 4.1, 4.8, 4.9 y 4.10 puede apreciarse el funcionamiento del módulo del display bajo diferentes condiciones de luminosidad.

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. En los videos [53] y [54] puede apreciarse el funcionamiento del módulo de control de los motores.

4.2.4. Verificación del módulo de medición de temperatura y humedad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos por el sensor DHT11 coincidían con los esperados en relación a la temperatura en el interior del lugar de experimentación y que la humedad detectada se aproximara a los valores reportados por Google. En las figuras 4.7, 4.7, 4.7 y 4.7 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de medición de temperatura y humedad.

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. En las figuras 4.7 y 4.7 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de presión atmosférica.

4.2.6. Verificación del módulo de medición de luminosidad

Se verificó visualmente que los valores obtenidos del fotorresistor, una vez transformados a valores absolutos porcentuales, reflejaban el nivel de luminosidad ambiental del interior del lugar de experimentación. En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 puede apreciarse el funcionamiento del módulo de luminosidad.

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. Posteriormente, se incorporó el servicio de comunicaciones UDP en el robot, y desde el programa cliente se enviaban las acciones que representaban las direcciones del movimiento (FORWARD, BACKWARD, LEFT, RIGHT). 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 activó el desplazamiento en cada una de sus direcciones. El robot se desplazó correctamente en respuesta a cada comando recibido. En los videos [55], [56] y [57] puede apreciarse el funcionamiento de la comunicación UDP sobre Wi-Fi entre el robot y el joystick.

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.



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 [58].

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 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. Además, con el fin de cuantificar en unidades estandares el proceso de validación, se comparó los niveles porcentuales reportados por el robot con los niveles de iluminancia medidos en Lux [60], utilizando la aplicación Light Meter [61] instalada en un smartphone Android.

En las figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 pueden apreciarse los resultados de las mediciones.



FIGURA 4.6. Medición de presión atmosférica en el interior.

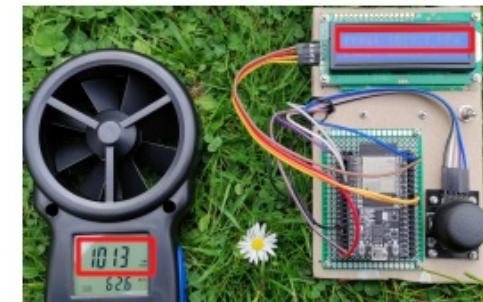


FIGURA 4.7. Medición de presión atmosférica en el exterior.

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 [58].

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 por el ojo humano. En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 pueden apreciarse los resultados de las mediciones.

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

39



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

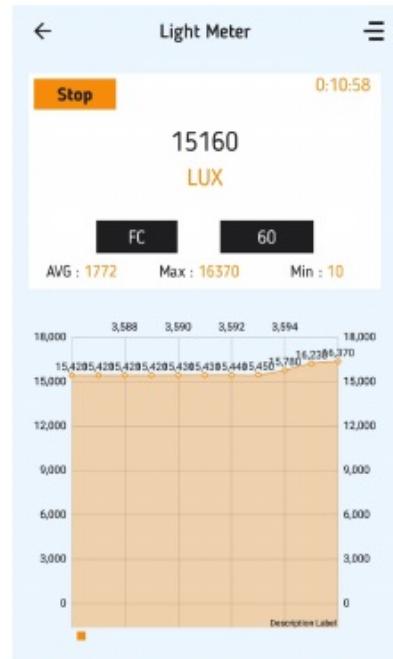


FIGURA 4.9. Iluminancia [Lux] reportada por la aplicación Light Meter en el exterior durante el día.

4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

39



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



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



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

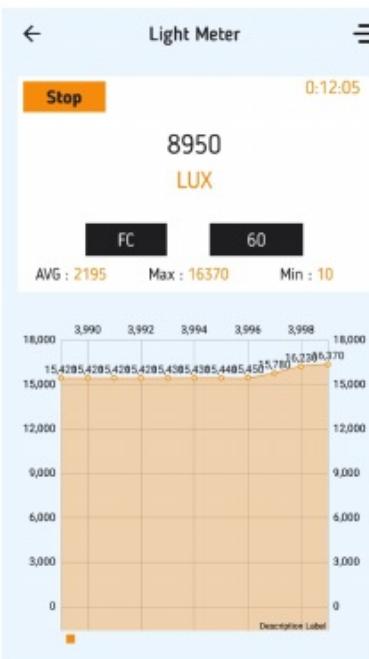
En la siguiente sección puede encontrarse el video que muestra el funcionamiento del módulo de mediciones, en el que se aprecia el funcionamiento del módulo de medición de luminosidad ambiental [58].

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:



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



4.3. Pruebas funcionales y validación del producto

41



FIGURA 4.12. Medición de luminosidad ambiental en interiores durante la noche.



FIGURA 4.13. Iluminancia [Lux] reportada por la aplicación Light Meter 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 [58].

4.5. Documentación del producto

41

- Manual de usuario [68].

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 [62] y [63] evidenciando la demostración de este experimento.

4.4. Videos del producto durante el 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 [64].
- Demo - Comunicación Wi-Fi [55].
- Demo - Control de movimiento de las ruedas [62].
- Demo - Medición y visualización de parámetros ambientales [58].
- Demo - Control de desplazamiento en un circuito [63].
- Demo - Visualización del Display en la oscuridad [59].

4.4.2. Videos durante el prototipado y ensamblado del robot

- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (1) [53].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (2) [54].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (3) [65].
- Prototipado Robot v1 - Ensamblado (4) [66].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (1) [56].
- Prototipado Robot v2 - Comunicación Joystick Robot (2) [57].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación USB) [67].
- Prototipado Desplazamiento (alimentación por pilas) [68].

4.5. Documentación del producto

43

4.5. Documentación del producto

Se desarrolló la documentación del producto compuesta de los siguientes entregables:

- Documentación técnica [69] que incluye:
 - Documentación de arquitectura técnica.
 - Documentación técnica de software.
 - Documentación técnica de hardware.
- Manual de usuario [70].
- Informe de avance [71].
- Documento de planificación de proyecto original [72].
- Código fuente del producto [73]

43

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.

Capítulo 5

Conclusiones

En el presente trabajo se ha implementado un robot de exploración ambiental cumpliendo con todos los requerimientos establecidos en el plan de proyecto. Los requerimientos funcionales han sido abordados mediante la implementación de los módulos de desplazamiento, control de movimiento, medición de operaciones ambientales y visualización, explicados en las secciones 3 y 4. Los requerimientos de documentación han sido cubiertos con los respectivos documentos referenciados en la sección 4. Los requerimientos de testing han sido completados realizando tests unitarios midiendo el nivel de cobertura, además de la verificación y validación funcional de cada módulo (smoke test) explicada en la sección 4. Los requerimientos de interfaz han sido completados como parte de la implementación del módulo de visualización explicados en la sección 3 y evidenciado en la sección 4. Finalmente, de los requerimientos opcionales se implementó la comunicación inalámbrica entre el joystick y el robot mediante UDP sobre TCP/IP.

Con respecto a la planificación original, durante la implementación del trabajo se produjeron eventos que hicieron que los supuestos vinculados a la capacidad del alumno no se mantuvieran, y se manifestó el riesgo de demora en la entrega, contemplado en la planificación del proyecto, que al ser aceptado (no mitigado) con el fin de no sacrificar alcance ni calidad, generó una demora en el plan original.

Además del riesgo de demora, se manifestó el riesgo de desvío en costos, y se produjo como consecuencia de haber desestimado la necesidad de ciertos componentes adicionales, como por ejemplo, los módulos L298N y las baterías recargables AA, además de las plaquetas de montaje. Se logró mitigar con las acciones establecidas en el plan original, utilizando el presupuesto reservado como Varios / Imprevistos y fue de mucha utilidad estimar el presupuesto en dólares estadounidenses.

Fuera de lo mencionado en cuanto a desvío en tiempo y costos no hubo modificaciones en cuanto al alcance ni calidad esperada, siendo posible además, el cumplimiento de uno de los requerimientos adicionales, la implementación del desarrollo como parte de un ciclo de integración continua usando productos de Google Cloud Platform, la cuantificación del nivel de cobertura de código de los test unitarios y una documentación exhaustiva incluyendo dos listas de reproducción de videos en YouTube para la construcción y demostración del producto.

Durante la implementación del proyecto fueron utilizadas innumerables técnicas y conocimientos adquiridos en la Carrera de Especialización de Sistemas Embedidos, incluyendo conceptos de: prototipado de circuitos en protoboard; diseño, construcción y modularización de plaquetas integradas; protocolos utilizados en

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.

sistemas embebidos; modularización de componentes y servicios en FreeRTOS; desarrollo de firmware utilizando el SDK Espressif ESP-IDF; y la implementación de test unitarios con Ceedling y CUnit en sistemas embebidos, entre otros.

5.1. Próximos pasos

Habiendo concluido con la implementación del sistema embebido del robot de exploración ambiental planteado, se propone como siguiente paso la implementación en un caso de uso IoT de robot de exploración de datos ambientales críticos, en el cual se debe integrar el presente sistema embebido con un sistema backend en la nube, y adeamás, por motivos de inmutabilidad y auditoria debe poder persistir ciertos datos en una red blockchain. En el siguiente enlace se puede apreciar el plan de proyecto [74].

- [16] Handson Technology. L298N Driver Module Datasheet. URL: <https://www.handsontec.com/datasheets/L298N%20Motor%20Driver.pdf>.
- [17] EEMB. Li-Ion batteries 18650 3000 mAh. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/LIR18650-3000mah.pdf>.
- [18] Farnell. Li-Ion batteries AA 2600 mAh. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/3195148.pdf>.
- [19] AOPUTTRIVER. Anemómetro digital AOPUTTRIVER AP-007-WM. URL: <https://manuals.plus/m/a30ffaa3ac8fd2cf06cb555977c3af166bc当地18d1ee49a56ea6f10c66dd4b.pdf>.
- [20] CMake. CMake. URL: <https://cmake.org/>.
- [21] CMake. Ninja. URL: <https://cmake.org/cmake/help/latest/generator/Ninja.html>.
- [22] Espressif. ESP-IDF Programming Guide | Get Started. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/>.
- [23] Readthedocs by Ruslan V. Uss. ESP-IDF Components library. URL: <https://esp-idf-lib.readthedocs.io/en/latest/>.
- [24] Espressif Programming Guide. ESP-IDF Get Started. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/index.html>.
- [25] Docker. Docker. URL: <https://docker.com/>.
- [26] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Ceedling. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Ceedling>.
- [27] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - CMock. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/CMock>.
- [28] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Unity Test. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Unity>.
- [29] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Ceedling/Gcov. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Ceedling/blob/master/plugins/gcov/README.md>.
- [30] Github. Github. URL: <https://github.com/>.
- [31] Google Cloud Platform. Google Cloud Build. URL: <https://cloud.google.com/build>.
- [32] Google Cloud Platform. Google Artifact Registry. URL: <https://cloud.google.com/artifact-registry>.
- [33] Visualstudio. Visualstudio Code. URL: <https://code.visualstudio.com/>.
- [34] Ubuntu. Ubuntu. URL: <https://ubuntu.com/>.
- [35] Espressif. ESP-IDF WiFi. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/wifi.html>.
- [36] Espressif. ESP-IDF - Wi-Fi SoftAP Example. URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.4/examples/wifi/getting_started/softAP.
- [37] Gonzalo Carreno. POC ESP32-WiFi v4.4. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-wifi-ap-v4.4.
- [38] Espressif. ESP-IDF ADC1 Example. URL: <https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.0.3/examples/peripherals/adc>.
- [39] Gonzalo Carreno. POC ESP32-joystick. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-joystick.

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.

Bibliografía

- [40] Gonzalo Carreno. *POC ESP32-photoresistor.* URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-photoresistor.
- [41] UncleRus. *ESP32 - Example for dht driver.* URL: <https://github.com/UncleRus/esp-idf-lib/tree/master/examples/dht/default>.
- [42] Gonzalo Carreno. *POC ESP32-DHT11.* URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-dht11.
- [43] UncleRus. *ESP32 - Example for bmp280 driver.* URL: <https://github.com/UncleRus/esp-idf-lib/tree/master/examples/bmp280/default>.
- [44] Gonzalo Carreno. *POC ESP32-BMP280.* URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-bmp280.
- [45] Espressif. *L298N Dual H-Bridge Motor Driver.* URL: <https://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>.
- [46] 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>.
- [47] Espressif. *MCPWM.* URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.2/esp32/api-reference/peripherals/mcpwm.html>.
- [48] Espressif. *MCPWM brushed dc motor control Example.* URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.2/examples/peripherals/mcpwm/mcpwm_brushed_dc_control.
- [49] Gonzalo Carreno. *POC ESP32-motor-pwm.* URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-motor-pwm.
- [50] ESP32 Tutoriales. *ESP32 I2C LCD with ESP-IDF.* URL: <https://esp32tutorials.com/i2c-lcd-esp32-esp-idf/>.
- [51] Gonzalo Carreno. *POC ESP32-DHT11.* URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-display.
- [52] Espressif. *Espressif Docker Image.* URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/tools/idf-docker-image.html>.
- [53] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (1).* URL: <https://youtu.be/IDXT1CsObWE>.
- [54] Gonzalo Carreno. *Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (2).* URL: <https://youtube.com/shorts/uGqJn2K0LbI>.
- [55] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo - Comunicacion WiFi.* URL: <https://youtu.be/CcBgvoKjLB0>.
- [56] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Comunicacion Joystick Robot (1).* URL: <https://youtu.be/SnRf6HSya88>.
- [57] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Prototipado Comunicacion Joystick Robot (2).* URL: <https://youtu.be/juisheyu95w>.
- [58] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Medicion y visualizacion de parametros ambientales.* URL: https://youtu.be/BBOP3n8_gBg.
- [59] Gonzalo Carreno. *Robot de exploracion ambiental - Demo Visualizacion del Display en la oscuridad.* URL: <https://youtu.be/LwfYaotAi64>.

- [16] Handson Technology. L298N Driver Module Datasheet. URL: <https://www.handsontec.com/datasheets/L298N%20Motor%20Driver.pdf>.
- [17] EEMB. Li-Ion batteries 18650 3000 mAh. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/LIR18650-3000mah.pdf>.
- [18] Farnell. Li-Ion batteries AA 2600 mAh. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/3195148.pdf>.
- [19] AOPUTRIVER. Anemómetro digital AOPUTRIVER AP-007-WM. URL: <https://manuals.plus/m/a30ffa3ac8fd2cf06cb5559777c3af166bcaeed18d1ee49a56ea6f10c66dd4b.pdf>.
- [20] CMake. CMake. URL: <https://cmake.org/>.
- [21] CMake. Ninja. URL: <https://cmake.org/cmake/help/latest/generator/Ninja.html>.
- [22] Espressif. ESP-IDF Programming Guide | Get Started. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/>.
- [23] Readthedocs by Ruslan V. Uss. ESP-IDF Components library. URL: <https://esp-idf-lib.readthedocs.io/en/latest/>.
- [24] Espressif Programming Guide. ESP-IDF Get Started. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/index.html>.
- [25] Docker. Docker. URL: <https://docker.com/>.
- [26] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Ceedling. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Ceedling>.
- [27] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - CMock. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/CMock>.
- [28] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Unity Test. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Unity>.
- [29] ThrowTheSwitch. ThrowTheSwitch - Ceedling/GCov. URL: <https://github.com/ThrowTheSwitch/Ceedling/blob/master/plugins/gcov/README.md>.
- [30] Github. Github. URL: <https://github.com/>.
- [31] Google Cloud Platform. Google Cloud Build. URL: <https://cloud.google.com/build>.
- [32] Google Cloud Platform. Google Artifact Registry. URL: <https://cloud.google.com/artifact-registry>.
- [33] Visualstudio. Visualstudio Code. URL: <https://code.visualstudio.com/>.
- [34] Ubuntu. Ubuntu. URL: <https://ubuntu.com/>.
- [35] Espressif. ESP-IDF WiFi. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/wifi.html>.
- [36] Espressif. ESP-IDF - Wi-Fi SoftAP Example. URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.4/examples/wifi/getting_started/softAP.
- [37] Gonzalo Carreno. POC ESP32-WiFi v4.4. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-wifi-ap-v4.4.
- [38] Espressif. ESP-IDF ADC1 Example. URL: <https://github.com/espressif/esp-idf/tree/v4.0.3/examples/peripherals/adc>.
- [39] Gonzalo Carreno. POC ESP32-joystick. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/tree/main/pocs/esp32-joystick.

- [60] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Demo Control de movimiento de las ruedas. URL: <https://youtu.be/FKXWx4Rqr7I>.
- [61] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Demo Control de despazamiento en un circuito. URL: <https://youtu.be/sosSGwCTyaY>.
- [62] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Demo Hardware. URL: <https://youtu.be/RNBnDawVJfc>.
- [63] Gonzalo Carreno. Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (3). URL: <https://youtu.be/w9IOoE-d9Cw>.
- [64] Gonzalo Carreno. Robot exploracion ambiental - Prototipado Ensamblado Robot v1 (4). URL: https://youtu.be/obkJ-wM_wNU.
- [65] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Prototipado Desplazamiento (alimentacion USB). URL: https://youtu.be/_w8qdNWC-DQ.
- [66] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Prototipado Desplazamiento (alimentacion por pilas). URL: <https://youtu.be/-MxMXKzttHU>.
- [67] Gonzalo Carreno. Robot de exploracion ambiental - Documentacion Tecnica. URL: https://github.com/kronleuchter85/cese_proyecto_especializacion/blob/main/docs/Documentacion-Tecnica.pdf.
- [68] 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.