



# Sistema de monitoreo y gestión remota del clima en invernaderos

Autor:

Lic. Martín Anibal Lacheski

Director:

Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz (FIUBA)

Codirectora:

Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz (FCEQyN-UNaM)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos entre el 20 de agosto de 2024 y el 8 de octubre de 2024.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	6
3. Propósito del proyecto . . . . .	6
4. Alcance del proyecto . . . . .	6
5. Supuestos del proyecto. . . . .	7
6. Requerimientos . . . . .	8
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	10
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	12
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	12
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	15
11. Diagrama de Gantt . . . . .	16
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	25
13. Gestión de riesgos . . . . .	25
14. Gestión de la calidad . . . . .	28
15. Procesos de cierre . . . . .	31

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de agosto de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	2 de septiembre de 2024
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	8 de septiembre de 2024
3	Se realizan las correcciones hasta el punto 9 inclusive	9 de septiembre de 2024
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive	14 de septiembre de 2024
5	Se realizan ajustes finales	18 de septiembre de 2024
6	Se realizan correcciones finales	27 de septiembre de 2024

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Lic. Martín Anibal Lacheski que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo y gestión remota del clima en invernaderos” y consistirá en desarrollar un prototipo preliminar de un sistema basado en sensores y actuadores, junto con un servidor en la nube y una aplicación web, que permita el monitoreo y control remoto del clima en invernaderos.

El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 615 horas y un costo estimado de ARS \$22.374.950,01, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública el en el mes de junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Facundo Ramos Hentz  
FCF-UNaM

Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz  
Director del Trabajo Final

Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz  
Codirectora del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

La agricultura enfrenta desafíos crecientes en la optimización de la productividad y la eficiencia, especialmente en regiones con condiciones climáticas adversas y variables. Los sistemas de cultivo tradicionales suelen ser ineficientes en la gestión de recursos esenciales como agua, nutrientes y energía, en gran parte debido a la falta de monitoreo en tiempo real, lo que afecta negativamente tanto la calidad como el rendimiento de los cultivos. Además, los agricultores se enfrentan a altos costos operativos y a un impacto negativo en la sostenibilidad ambiental debido a prácticas no optimizadas. Ante estas dificultades, los cultivos hidropónicos han surgido como una solución mejorada, permitiendo una utilización más eficiente de los recursos.

El presente trabajo se desarrollará en los invernaderos de la unidad hidropónica de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM). En la actualidad, estos invernaderos utilizan un sistema de control con temporizadores que operan sin tener en cuenta las variables ambientales, lo que implica que la intervención humana debe ser continua y las mediciones de temperatura, potencial de Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva se realiza de forma manual. Esta falta de monitoreo en tiempo real afecta negativamente la calidad y el rendimiento de los cultivos. Además, esto conlleva a altos costos operativos y un impacto negativo en la sostenibilidad ambiental debido a prácticas no optimizadas.

La propuesta, como puede observarse en la figura 1, consiste en desarrollar un conjunto de sensores y actuadores basados en el microcontrolador ESP32. Estos dispositivos se conectan a un servidor IoT en la nube a través de Wi-Fi y envían los datos mediante el protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Esta configuración permitirá monitorear y gestionar el sistema de manera remota desde una aplicación web del tipo SPA (*Single Page Application*).

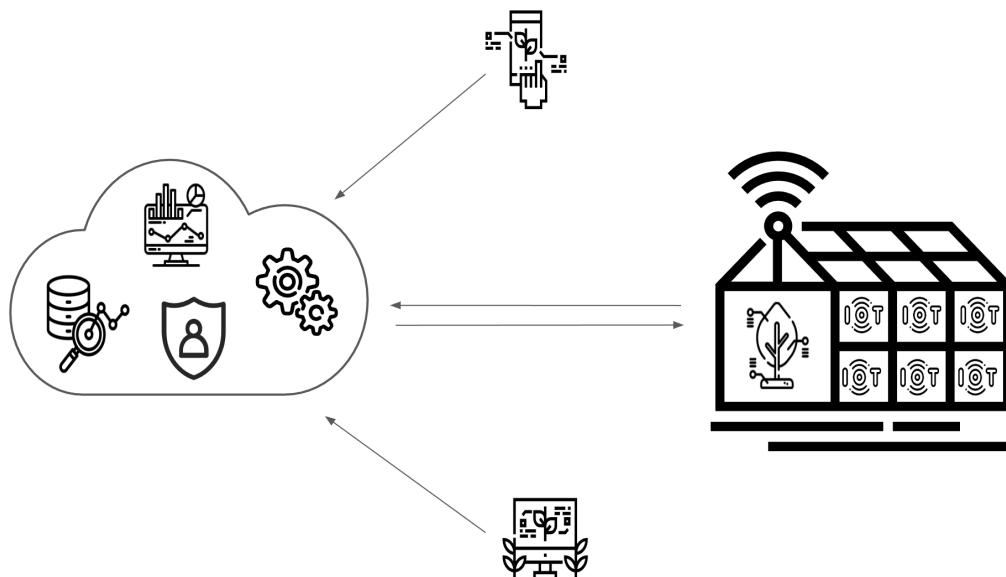


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

Esta solución proporcionará un control más preciso sobre los cultivos, mejorará la eficiencia en la gestión del clima y optimizará el uso de los recursos. Esto se traducirá en una mayor productividad, una reducción de los costos operativos y una gestión más sostenible de los cultivos.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

En la tabla 1, se pueden identificar los participantes interesados del proyecto.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Facundo Ramos Hentz	FCF-UNaM	Director Proyecto
Responsable	Lic. Martín Anibal Lacheski	FIUBA	Alumno
Orientadores	Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz	FIUBA	Director
	Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz	FCEQyN-UNaM	Codirectora
Opositores	Empresas que ya ofrecen soluciones similares en el mercado.		
Usuario final	Organizaciones interesadas en la automatización de cultivos en invernaderos.		

Tabla 1. Identificación de los interesados.

- Cliente: El Ing. Facundo Ramos Hentz es especialista en cultivos y gestión forestal, con amplia experiencia en cultivos hidropónicos. Va a colaborar con la definición de los requerimientos y el seguimiento del proyecto.
- Orientadores:
  - El Director Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz es experto en la temática y guiará con la implementación de los protocolos y herramientas del proyecto.
  - La Codirectora Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz, experta en Sistemas de Información, ayudará con el seguimiento metodológico, para garantizar una gestión rigurosa y efectiva del desarrollo del trabajo.

## 3. Propósito del proyecto

Diseñar y desarrollar un prototipo preliminar de un conjunto de sensores y actuadores conectados a través de Wi-Fi, un servidor IoT en la nube y una aplicación web, que permita la monitorización y el control remoto del clima en invernaderos.

Este trabajo busca proporcionar a la institución un mayor control sobre las condiciones ambientales, optimizar el uso de los recursos, reducir los costos operativos y contribuir a una mayor sostenibilidad ambiental. Además, el sistema estará diseñado para apoyar la investigación académica, con el objetivo de que estudiantes, docentes e investigadores puedan utilizar los datos para desarrollar proyectos, trabajos finales y estudios específicos.

## 4. Alcance del proyecto

El presente trabajo incluye:

- Diseño e implementación de la conexión Wi-Fi en los nodos.
- Desarrollo del firmware de los nodos.
  - Programación del firmware de los siguientes nodos sensores para la recopilación y transmisión de datos.

- Nodo sensor de temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y nivel de luminosidad en el invernadero.
- Nodo sensor de dióxido de carbono ( $CO_2$ ).
- Nodo sensor de pH, CE y Total de Sólidos Disueltos (TDS).
- Nodo sensor de nivel y temperatura de la solución nutritiva.
- Nodo sensor de consumo de agua, nutrientes y energía eléctrica.
- Programación del firmware del nodo actuador de cuatro salidas para gestionar el control de dispositivos y reportar su estado.
- Implementación del broker MQTT en el servidor IoT.
- Implementación de cifrados de conexión mediante TLS (*Transport Layer Security*).
- Configuración del nodo central para enviar los datos recolectados al servidor IoT mediante el protocolo MQTT.
- Diseño e implementación de una base de datos para almacenar los datos recolectados por los sensores y permitir su consulta y análisis.
- Diseño y desarrollo de una API (*Application Programming Interface*) REST (*Representational State Transfer*) que permita la comunicación con el sistema utilizando HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), MQTT y WebSockets.
- Desarrollo de una aplicación Web del tipo SPA.
- Entrega del código del sistema, que incluye todos los componentes desarrollados (sensores, actuadores, servidor y aplicación web), guías de instalación, configuración y operación.

El presente trabajo no incluye:

- Armado de PCB, se van a utilizar gabinetes estancos, protoboard y cables para conectar los microcontroladores con los sensores y actuadores.
- Desarrollo de una aplicación móvil compatible con iOS y Android.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se contará con los materiales necesarios para la implementación de los nodos de sensores y actuadores.
- Se contará con el apoyo financiero de la institución para comprar los componentes necesarios para el desarrollo del prototipo.
- Se dispondrá del conocimiento necesario para el desarrollo de los firmwares de los microcontroladores.
- Se dispondrá del conocimiento necesario para la implementación del protocolo de cifrado TLS en los microcontroladores y servidor IoT.

- Se dispondrá del conocimiento necesario para el diseño y desarrollo del frontend, backend, API y base de datos.
- El cliente tendrá disponibilidad para atender las consultas.
- Los directores tendrán disponibilidad para atender las consultas.
- El responsable tendrá tiempo para desarrollar el proyecto.
- Se podrá terminar el proyecto en el tiempo estipulado.

## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos de los nodos sensores:

- 1.1. Cada nodo deberá contar con un microcontrolador basado en ESP32.
- 1.2. Cada nodo deberá implementar certificados TLS.
- 1.3. Cada nodo deberá conectarse a una red Wi-Fi.
- 1.4. Cada nodo deberá tener un identificador único dentro del sistema.
- 1.5. Cada nodo deberá permitir configurar de manera remota el tiempo para enviar los datos recolectados.
- 1.6. Cada nodo, según corresponda, deberá enviar al servidor IoT:
  - 1) la temperatura del ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y nivel de luminosidad,
  - 2) el nivel de dióxido de carbono,
  - 3) el nivel de pH, CE y TDS,
  - 4) el nivel y temperatura de la solución nutritiva,
  - 5) el consumo de agua, nutrientes y energía eléctrica.

### 2. Requerimientos de los nodos actuadores:

- 2.1. Deberá contar con un microcontrolador basado en ESP32.
- 2.2. Cada nodo deberá implementar certificados TLS.
- 2.3. Cada nodo deberá conectarse a una red Wi-Fi.
- 2.4. Cada nodo deberá tener un identificador único dentro del sistema.
- 2.5. Cada nodo deberá contar con cuatro canales.
- 2.6. Cada nodo deberá permitir configurar de manera remota los parámetros del actuador y cada canal.
- 2.7. Cada nodo deberá enviar al servidor IoT el estado de cada canal.
- 2.8. Cada nodo deberá permitir activar de manera remota cada canal.

### 3. Requerimientos asociados al broker MQTT:

- 3.1. Deberá contar con un broker MQTT que soporte conexiones seguras mediante TLS.
- 3.2. Deberá gestionar las suscripciones y publicaciones de los datos enviados desde los nodos y permitir la comunicación bidireccional para el envío de comandos.
- 3.3. Deberá implementar QoS (*Quality of Service*) para garantizar la entrega de los mensajes.



4. Requerimientos asociados al Frontend:

- 4.1. La interfaz deberá ser intuitiva y accesible desde dispositivos móviles y de escritorio.
- 4.2. Deberá permitir el acceso al sistema a usuarios debidamente autenticados.
- 4.3. Deberá permitir realizar el CRUD (*Create, Read, Update and Delete*) de ambientes.
- 4.4. Deberá permitir realizar el CRUD de sensores asociados a un determinado ambiente.
- 4.5. Deberá permitir realizar el CRUD de actuadores asociados a un determinado ambiente.
- 4.6. Deberá permitir visualizar en tiempo real los datos recibidos de los sensores y actuadores.
- 4.7. Deberá permitir enviar comandos y configuraciones a los sensores y actuadores.
- 4.8. Deberá permitir visualizar los datos históricos de los sensores y actuadores.
- 4.9. Deberá permitir la visualización en tiempo real y el control de los sensores y actuadores a través de un tablero interactivo.

5. Requerimientos asociados al Backend y la API:

- 5.1. Deberá permitir conexiones seguras mediante TLS.
- 5.2. Deberá poder implementar JWT (*JSON Web Token*) para poder propagar entre dos partes, y de forma segura, la identidad de un determinado usuario.
- 5.3. Deberá soportar los métodos HTTP para realizar operaciones CRUD y visualizar los reportes, WebSockets para la visualización en tiempo real de los datos y MQTT para la interacción con los sensores y actuadores.
- 5.4. Deberá poder persistir la información de los usuarios.
- 5.5. Deberá poder persistir la información de los ambientes.
- 5.6. Deberá poder persistir la información de los sensores.
- 5.7. Deberá poder persistir la información de los actuadores.
- 5.8. Deberá poder persistir la información histórica de las mediciones de los sensores.
- 5.9. Deberá poder persistir la información histórica de los estados de los actuadores.
- 5.10. Deberá poder persistir la información histórica de los parámetros enviados a los sensores.
- 5.11. Deberá poder persistir la información histórica de los parámetros enviados a los actuadores.
- 5.12. Deberá permitir la autenticación y autorización de usuarios autorizados para acceder a los recursos.
- 5.13. Deberá incluir los endpoints para permitir realizar el CRUD de usuarios para el acceso seguro al sistema.
- 5.14. Deberá incluir los endpoints para permitir realizar el CRUD de ambientes.
- 5.15. Deberá incluir los endpoints para permitir realizar el CRUD de sensores asociados a un determinado ambiente, con la configuración de los parámetros específicos.
- 5.16. Deberá incluir los endpoints para permitir realizar el CRUD de actuadores asociados a un determinado ambiente, con la configuración de los parámetros específicos por canal.
- 5.17. Deberá incluir el endpoint para registrar las mediciones de los sensores.
- 5.18. Deberá incluir el endpoint para registrar los estados de los actuadores.

- 5.19. Deberá incluir el endpoint para obtener el histórico de las mediciones de los sensores.
- 5.20. Deberá incluir el endpoint para obtener el histórico de los estados de los actuadores.
- 5.21. Deberá incluir un endpoint para el envío de parámetros a los sensores.
- 5.22. Deberá incluir un endpoint para el envío de parámetros a los actuadores.

6. Requerimientos de documentación:

- 6.1. Se entregará el código del sistema, que incluye todos los componentes desarrollados (sensores, actuadores, broker MQTT, Frontend, Backend y API).
- 6.2. Se entregarán las guías y diagramas de instalación, configuración y operación.
- 6.3. Se desarrollará un informe de avance al finalizar el Taller de Trabajo Final A.
- 6.4. Se desarrollará la memoria del proyecto al finalizar el Taller de Trabajo Final B.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Para definir las historias de usuario y estimar su dificultad, complejidad y riesgo, es necesario primero descomponer los requerimientos en historias de usuario específicas. A cada historia se le asignan puntos de acuerdo con la serie de Fibonacci (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, etc.), que representan los niveles de dificultad, complejidad y riesgo.

El puntaje total de cada historia de usuario se calcula con la suma de los valores asignados a estos tres criterios, y luego se asigna el número de la secuencia de Fibonacci más cercano que sea mayor o igual a la suma obtenida.

Para asignar ponderación a los (*history points*) se han asignado los siguientes pesos:

### Dificultad del trabajo a realizar

- **Baja:** Peso  $\rightarrow$  1.
- **Media:** Peso  $\rightarrow$  3.
- **Alta:** Peso  $\rightarrow$  5.

### Complejidad del trabajo a realizar

- **Baja:** Peso  $\rightarrow$  1.
- **Media:** Peso  $\rightarrow$  5.
- **Alta:** Peso  $\rightarrow$  13.

### Riesgo del trabajo a realizar

- **Baja:** Peso  $\rightarrow$  1.
- **Media:** Peso  $\rightarrow$  3.
- **Alta:** Peso  $\rightarrow$  5.

### Historia de Usuario 1 → Desarrollador

- “Como desarrollador, quiero integrar los sensores y actuadores con el sistema para que se comuniquen correctamente a través de la red y asegurar que los datos se transmitan de manera eficiente y segura.”
  - **Dificultad:** Alta (5) → Porque implica múltiples integraciones y la configuración de varios dispositivos para que funcionen en conjunto de manera sincronizada.
  - **Complejidad:** Alta (13) → Porque la integración de todas las tecnologías podría presentar desafíos técnicos.
  - **Riesgo:** Alta (5) → Porque existe incertidumbre sobre posibles problemas de comunicación entre dispositivos y ajustes de la configuración.

*Story points* = 34.

(5 + 13 + 5 = 23 → 34). Es el siguiente valor en la serie de Fibonacci.

### Historia de Usuario 2 → Cliente

- “Como cliente, quiero que el sistema permita la gestión completa de ambientes, sensores y actuadores a través de una interfaz intuitiva, con capacidades para visualizar en tiempo real, ajustar las configuraciones de manera remota y visualizar reportes históricos.”
  - **Dificultad:** Media (3) → Porque implica el desarrollo y personalización de funcionalidades estándar que son comunes en sistemas de monitoreo y control.
  - **Complejidad:** Alta (13) → Si bien existen soluciones de este tipo y se podría consultar a profesionales expertos en la materia, integrar todas las funcionalidades en una interfaz coherente y eficiente podría ser complejo.
  - **Riesgo:** Media (3) → Porque la integración de múltiples módulos y la gestión de datos en tiempo real presenta riesgos moderados que podrían afectar la estabilidad del sistema.

*Story points* = 21.

(3 + 13 + 3 = 19 → 21). Es el siguiente valor en la serie de Fibonacci.

### Historia de Usuario 3 → Usuario final

- “Como usuario final, quiero poder visualizar un panel de control que sea fácil de usar, responsivo desde dispositivos móviles y de escritorio, que me permita gestionar y visualizar datos de sensores y actuadores en tiempo real, además de consultar reportes históricos.”
  - **Dificultad:** Media (3) → Aunque existen herramientas para el desarrollo, la integración de funcionalidades avanzadas y la necesidad de una interfaz de usuario adaptativa para diferentes dispositivos pueden añadir dificultad.
  - **Complejidad:** Alta (13) → El diseño y la implementación de una interfaz responsiva que soporte múltiples funcionalidades (monitoreo en tiempo real, datos históricos, gestión remota) pueden requerir un desarrollo más complejo.
  - **Riesgo:** Media (3) → Si bien existen las tecnologías para desarrollar el proyecto, la implementación exitosa de todas las funcionalidades sin problemas técnicos y la integración con otras partes del sistema pueden presentar riesgos.

*Story points* = 21.

$(3 + 13 + 3 = 19 \rightarrow 21)$ . Es el siguiente valor en la serie de Fibonacci.

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Repositorio con:
  - Código fuente del firmware de los microcontroladores.
  - Código fuente de Frontend.
  - Código fuente de Backend y la API.
- Diagramas y guías de instalación.
- Guías de configuración y operación.
- Informe de avance.
- Memoria del trabajo final.
- Video con demostración del sistema.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación del proyecto (50 h)
  - 1.1. Elaboración del documento de planificación del proyecto (35 h)
  - 1.2. Diseño de la arquitectura del proyecto (15 h)
2. Investigación preliminar (80 h)
  - 2.1. Investigación de los protocolos MQTT, HTTP y WebSockets (12 h)
  - 2.2. Investigación de certificado TLS (8 h)
  - 2.3. Investigación y elección de los microcontroladores a utilizar (5 h)
  - 2.4. Investigación y elección de los sensores y actuadores a utilizar (10 h)
  - 2.5. Investigación y elección de la base de datos a utilizar (10 h)
  - 2.6. Investigación y elección del framework de backend a utilizar (10 h)
  - 2.7. Investigación y elección del framework de frontend a utilizar (10 h)
  - 2.8. Investigación y elección de la plataforma del servidor IoT a utilizar (10 h)
  - 2.9. Instalación y puesta a punto del entorno de desarrollo (5 h)
3. Prototipado del proyecto (30 h)
  - 3.1. Configuración y conexionado de sensores y actuadores (15 h)
  - 3.2. Integración de componentes y microcontroladores (15 h)
4. Desarrollo del firmware de los microcontroladores (127 h)

- 4.1. Configuración inicial de los microcontroladores (2 h)
- 4.2. Implementación y configuración de los certificados TLS (10 h)
- 4.3. Implementación del firmware del nodo sensor de temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica y nivel de luminosidad (20 h)
- 4.4. Implementación del firmware del nodo sensor de nivel de dióxido de carbono (15 h)
- 4.5. Implementación del firmware del nodo sensor de pH, CE y TDS (20 h)
- 4.6. Implementación del firmware del nodo sensor de nivel y temperatura de la solución nutritiva (20 h)
- 4.7. Implementación del firmware del nodo sensor de consumo de agua, nutrientes y energía eléctrica (20 h)
- 4.8. Implementación del firmware del nodo actuador (20 h)
5. Desarrollo del backend (90 h)
  - 5.1. Configuración inicial del entorno (10 h)
  - 5.2. Implementación y configuración de los certificados TLS (10 h)
  - 5.3. Implementación y configuración del broker MQTT (10 h)
  - 5.4. Implementación y configuración de JWT (10 h)
  - 5.5. Implementación y configuración de la base de datos (10 h)
  - 5.6. Implementación y configuración de WebSockets (10 h)
  - 5.7. Implementación de los endpoints de usuarios (4 h)
  - 5.8. Pruebas de los endpoints de usuarios (1 h)
  - 5.9. Implementación de los endpoints de ambientes (2 h)
  - 5.10. Pruebas de los endpoints de ambientes (1 h)
  - 5.11. Implementación de los endpoints de sensores (4 h)
  - 5.12. Pruebas de los endpoints de sensores (1 h)
  - 5.13. Implementación de los endpoints de actuadores (4 h)
  - 5.14. Pruebas de los endpoints de actuadores (1 h)
  - 5.15. Implementación del endpoint de mediciones de sensores (2 h)
  - 5.16. Pruebas del endpoint de mediciones de sensores (1 h)
  - 5.17. Implementación del endpoint de estados de actuadores (2 h)
  - 5.18. Pruebas del endpoint de estados de actuadores (1 h)
  - 5.19. Implementación del endpoint de parámetros enviados a los sensores (2 h)
  - 5.20. Pruebas del endpoint de parámetros enviados a los sensores (1 h)
  - 5.21. Implementación del endpoint de parámetros enviados a los actuadores (2 h)
  - 5.22. Pruebas del endpoint de parámetros enviados a los actuadores (1 h)
6. Desarrollo del frontend (93 h)
  - 6.1. Configuración inicial del entorno (10 h)
  - 6.2. Implementación y configuración de los certificados TLS (10 h)
  - 6.3. Implementación y configuración de JWT (10 h)
  - 6.4. Implementación y configuración de WebSockets (5 h)
  - 6.5. Implementación de la interfaz de login de usuario (4 h)

- 6.6. Pruebas de la interfaz de login de usuario (1 h)
- 6.7. Implementación de las interfaces de manejo de usuarios (4 h)
- 6.8. Pruebas de las interfaces de manejo de usuarios (1 h)
- 6.9. Implementación de las interfaces de manejo de ambientes (3 h)
- 6.10. Pruebas de las interfaces de manejo de ambientes (1 h)
- 6.11. Implementación de las interfaces de manejo de sensores (5 h)
- 6.12. Pruebas de las interfaces de manejo de sensores (1 h)
- 6.13. Implementación de las interfaces de manejo de actuadores (5 h)
- 6.14. Pruebas de las interfaces de manejo de actuadores (1 h)
- 6.15. Implementación de la interfaz de mediciones de sensores (8 h)
- 6.16. Pruebas de la interfaz de mediciones de sensores (1 h)
- 6.17. Implementación de la interfaz de estados de actuadores (8 h)
- 6.18. Pruebas de la interfaz de estados de actuadores (1 h)
- 6.19. Implementación de la interfaz de parámetros enviados a los sensores (3 h)
- 6.20. Pruebas de la interfaz de parámetros enviados a los sensores (1 h)
- 6.21. Implementación de la interfaz de parámetros enviados a los actuadores (3 h)
- 6.22. Pruebas de la interfaz de parámetros enviados a los actuadores (1 h)
- 6.23. Implementación de la interfaz principal del sistema (5 h)
- 6.24. Pruebas de la interfaz principal del sistema (1 h)
- 7. Pruebas y validación (48 h)
  - 7.1. Pruebas de los microcontroladores
    - 1) Pruebas de los firmwares de los microcontroladores (5 h)
    - 2) Pruebas de conexión y comunicación de los microcontroladores (5 h)
    - 3) Pruebas de seguridad (5 h)
    - 4) Pruebas de sensores y actuadores (5 h)
  - 7.2. Pruebas del backend
    - 1) Pruebas de MQTT y TLS (3 h)
    - 2) Pruebas de validación de almacenamiento de los datos (3 h)
    - 3) Pruebas de manejo de los datos en tiempo real y endpoints (3 h)
    - 4) Pruebas de seguridad (5 h)
  - 7.3. Pruebas del frontend
    - 1) Pruebas de interfaz y usabilidad (3 h)
    - 2) Pruebas de visualización de los reportes y gráficos (3 h)
    - 3) Pruebas de visualización de los datos en tiempo real (3 h)
    - 4) Pruebas de seguridad (5 h)
- 8. Documentación del proyecto (97 h)
  - 8.1. Informe de avance (15 h)
  - 8.2. Video con demostración del sistema (2 h)
  - 8.3. Estructura de la memoria del proyecto (10 h)
  - 8.4. Escritura de la memoria del proyecto (40 h)
  - 8.5. Revisión de la memoria del proyecto (10 h)
  - 8.6. Presentación final (20 h)

Cantidad total de horas: 615.

## 10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 2, puede observarse el diagrama de *Activity on Node* con el respectivo camino crítico. La unidad de tiempo **T** se encuentra expresada en horas.

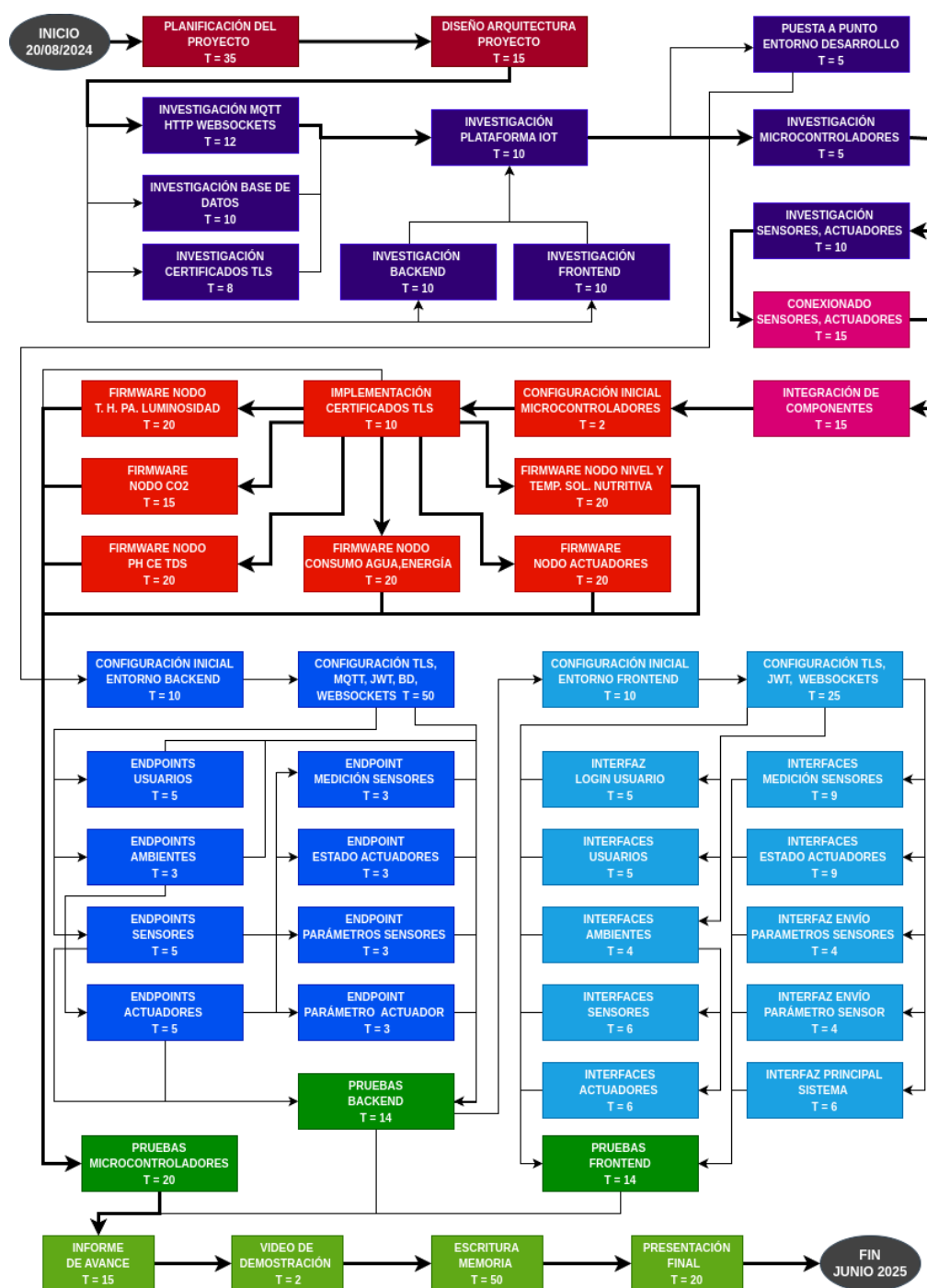


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

En la siguiente figura pueden observarse las correspondientes referencias del diagrama de *Activity on Node*.



Figura 3. Referencias del diagrama *Activity on Node*.

## 11. Diagrama de Gantt

### Resumen

En la tabla 2, se puede visualizar el detalle de la cantidad de horas, la fecha de inicio y fin de cada grupo de tareas estimadas al desarrollo del proyecto.

Etapa 1				
WBS	Tarea	Horas	Inicio	Fin
1	Planificación del proyecto	50	20-08-2024	18-09-2024
2	Investigación preliminar	80	30-09-2024	25-10-2024
3	Prototipado del proyecto	30	28-10-2024	15-11-2024
4	Desarrollo del firmware de los microcontroladores	67	18-11-2024	20-12-2024
Total Etapa 1		227	20-08-2024	20-11-2024
Etapa 2				
WBS	Tarea	Horas	Inicio	Fin
4	Desarrollo del firmware de los microcontroladores	60	20-01-2025	14-02-2025
5	Desarrollo del backend	90	17-02-2025	21-03-2025
6	Desarrollo del frontend	93	24-03-2025	25-04-2025
7	Pruebas y validación	48	28-04-2025	16-05-2025
8	Documentación del proyecto	97	19-05-2025	20-06-2025
Total Etapa 2		388	20-01-2025	20-06-2025
Totales		615	20-08-2024	20-06-2025

Tabla 2. Lista de tareas del proyecto con fechas.

Para el desarrollo de las actividades se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El proyecto se va a realizar en dos etapas. La primera etapa es en el año 2024 y la segunda en el año 2025.
- Etapa 1: se estima una proyección de 12 horas por semana de dedicación en el desarrollo del proyecto.
- Etapa 2: se estima una proyección de 20 horas por semana de dedicación en el desarrollo del proyecto hasta la culminación de este.
- El desarrollo del firmware de los microcontroladores se realiza en dos partes:



- Primera parte: durante el año 2024 se realiza un avance estimado de 67 horas en el desarrollo de esta actividad. Se estima avanzar hasta la implementación del firmware del nodo sensor de pH, CE y TDS.
- Segunda parte: durante el año 2025 se realiza un avance estimado de 60 horas en la culminación de esta actividad.

## Diagramas

Para visualizar el diagrama de Gantt de manera correcta, se procede a generar una figura resumen y figuras correspondiente a cada tarea. Al finalizar, se verá el diagrama completo de todas las actividades a ser desarrolladas en el proyecto.

En la figura 4, se puede visualizar el resumen de cada grupo de tareas estimadas al desarrollo del proyecto.

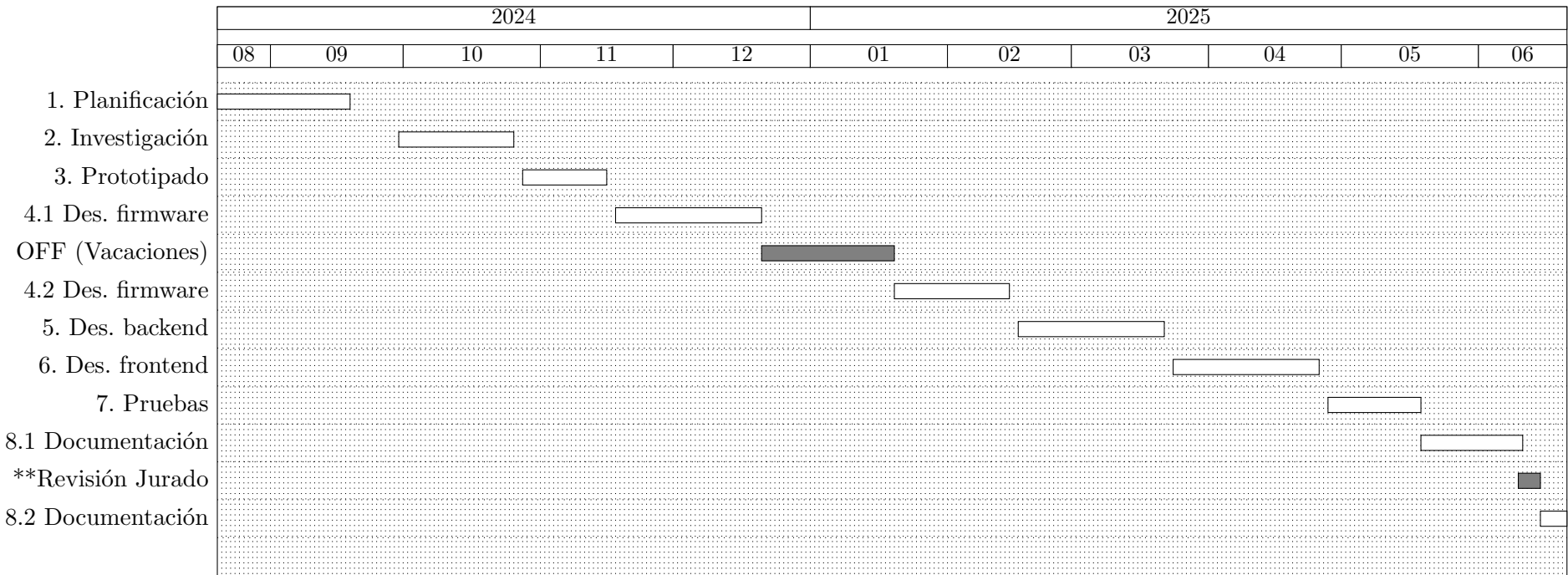


Figura 4. Diagrama de Gantt.

En la figura 5, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 1 - Planificación del proyecto**.

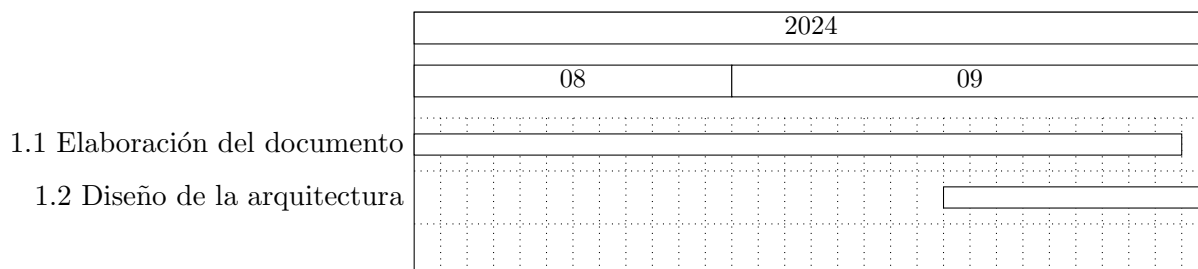


Figura 5. Planificación del proyecto.

En la figura 6, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 2 - Investigación preliminar**.

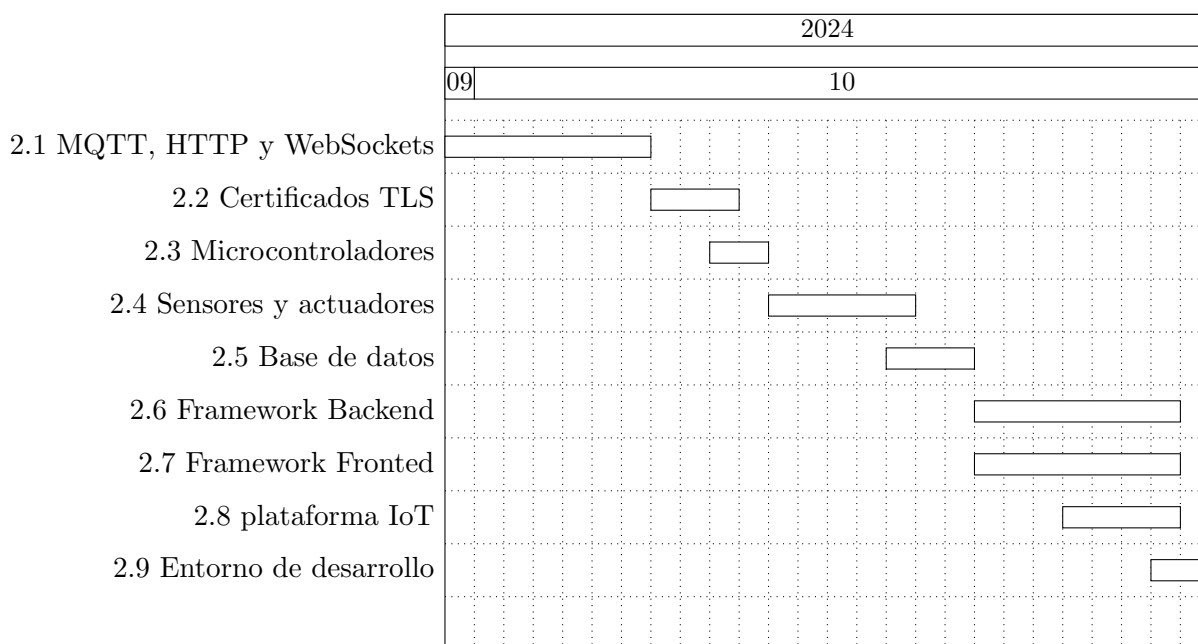


Figura 6. Investigación preliminar.

En la figura 7, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 3 - Prototipado del proyecto**.

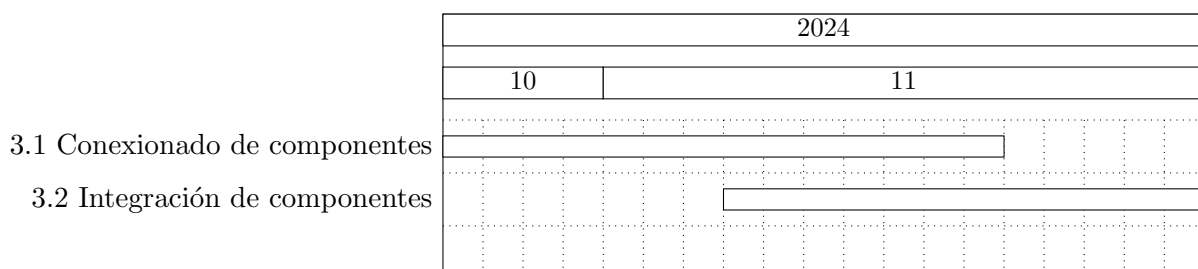


Figura 7. Prototipado del proyecto.

En la figura 8, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la primera parte de la **tarea 4 - Desarrollo del firmware de los microcontroladores**.

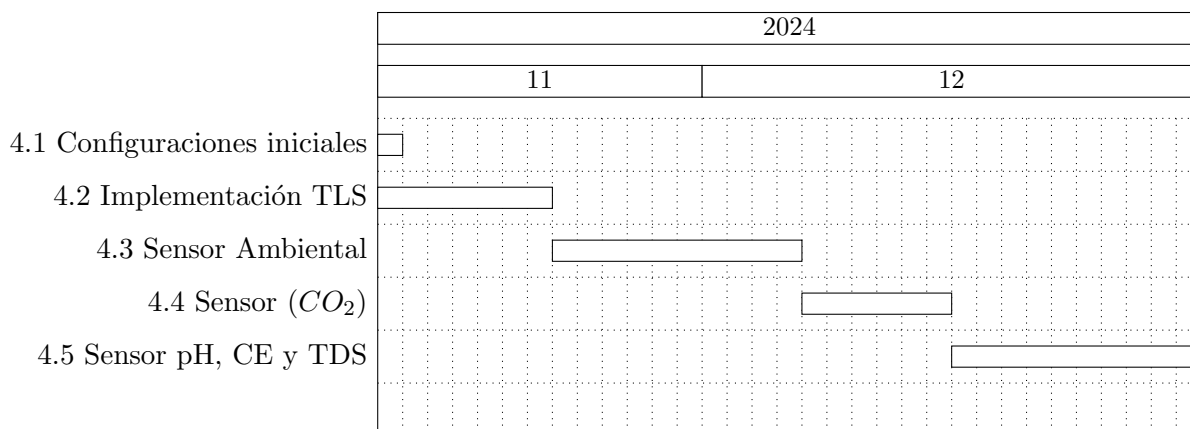


Figura 8. Desarrollo del firmware de los microcontroladores (primera parte).

En la figura 9, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la segunda parte de la **tarea 4 - Desarrollo del firmware de los microcontroladores**.

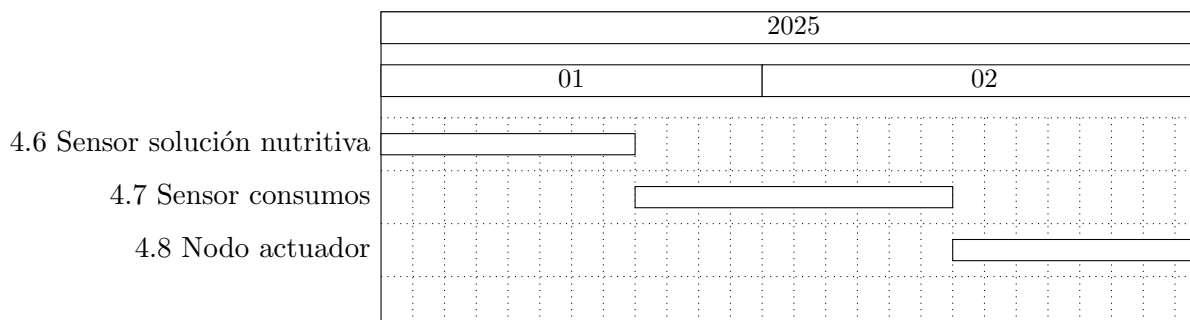


Figura 9. Desarrollo del firmware de los microcontroladores (segunda parte).

En la figura 10, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 5 - Desarrollo del backend**.

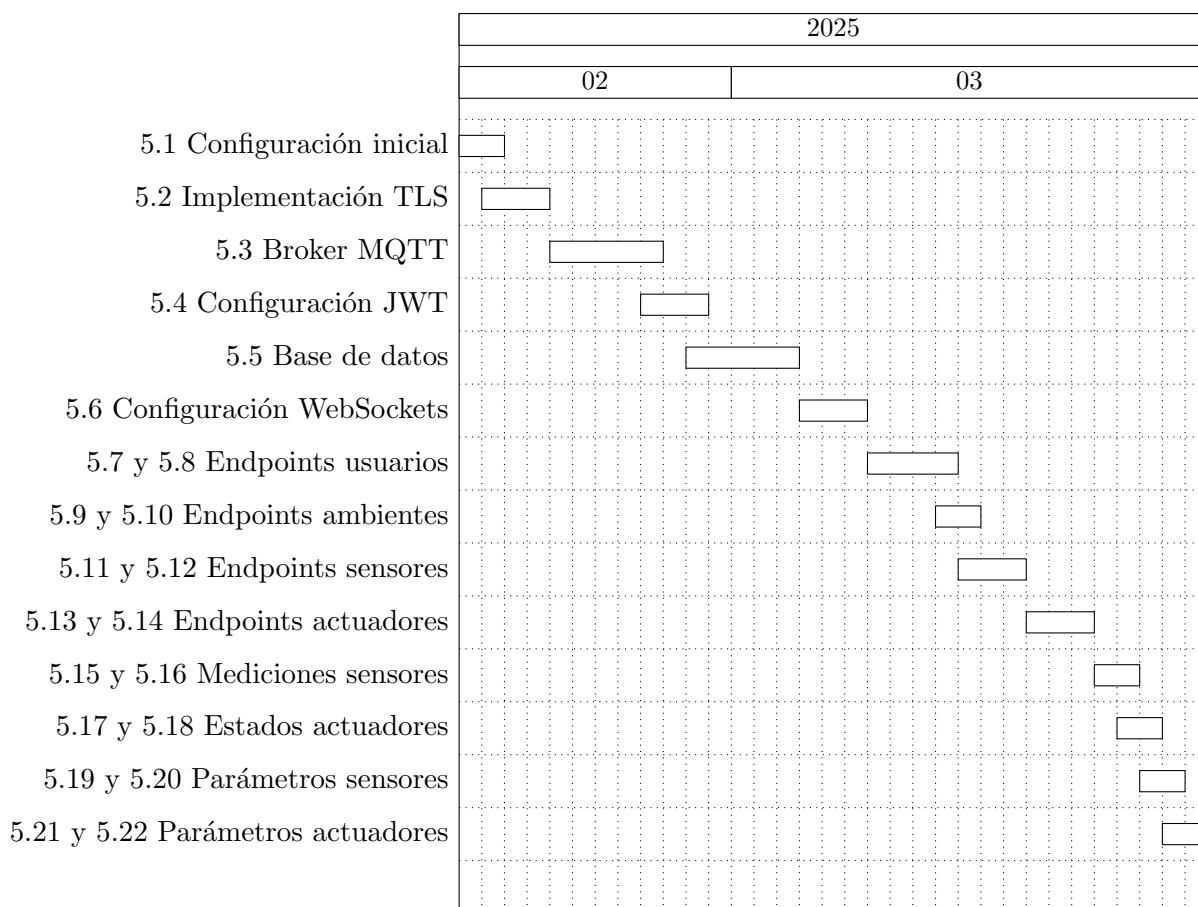


Figura 10. Desarrollo del Backend.

En la figura 11, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 6 - Desarrollo del frontend**.

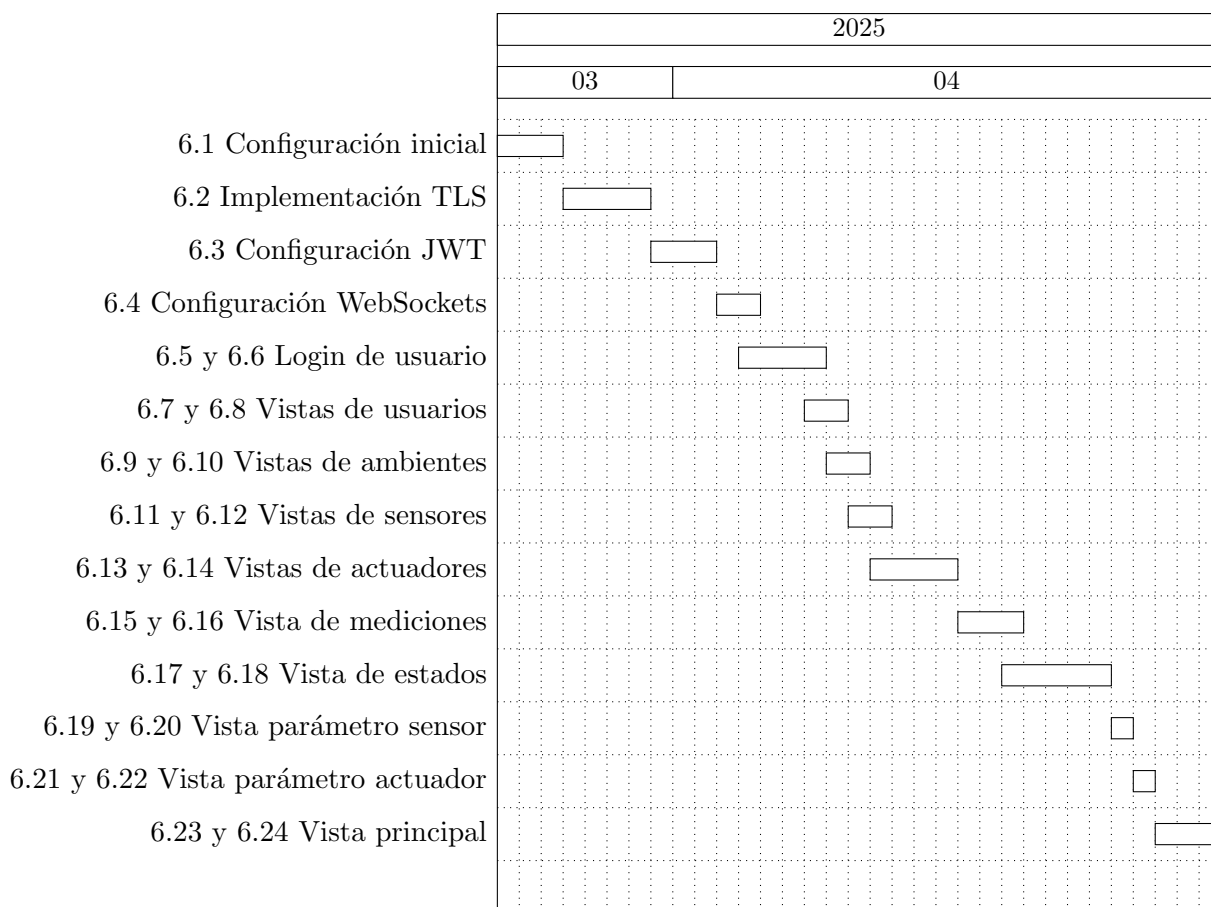


Figura 11. Desarrollo del Frontend.

En la figura 12, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 7 - Pruebas y validación**.

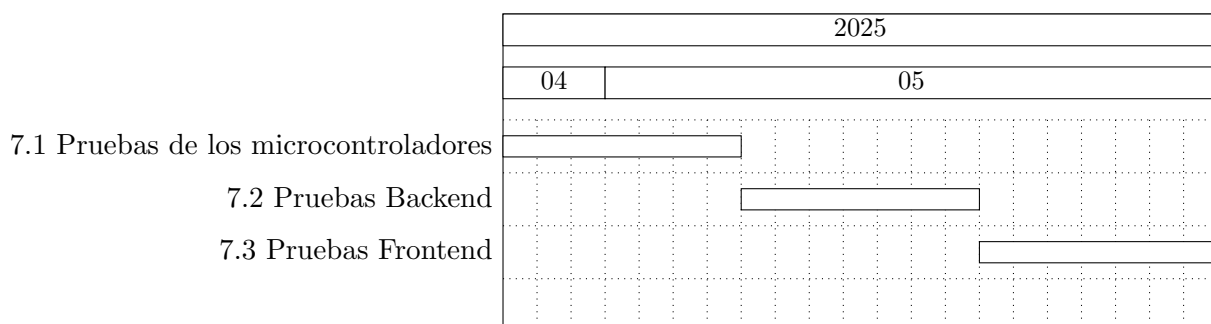


Figura 12. Pruebas y validación.

En la figura 13, se puede visualizar el detalle de actividades referidas a la **tarea 8 - Documentación del proyecto**.

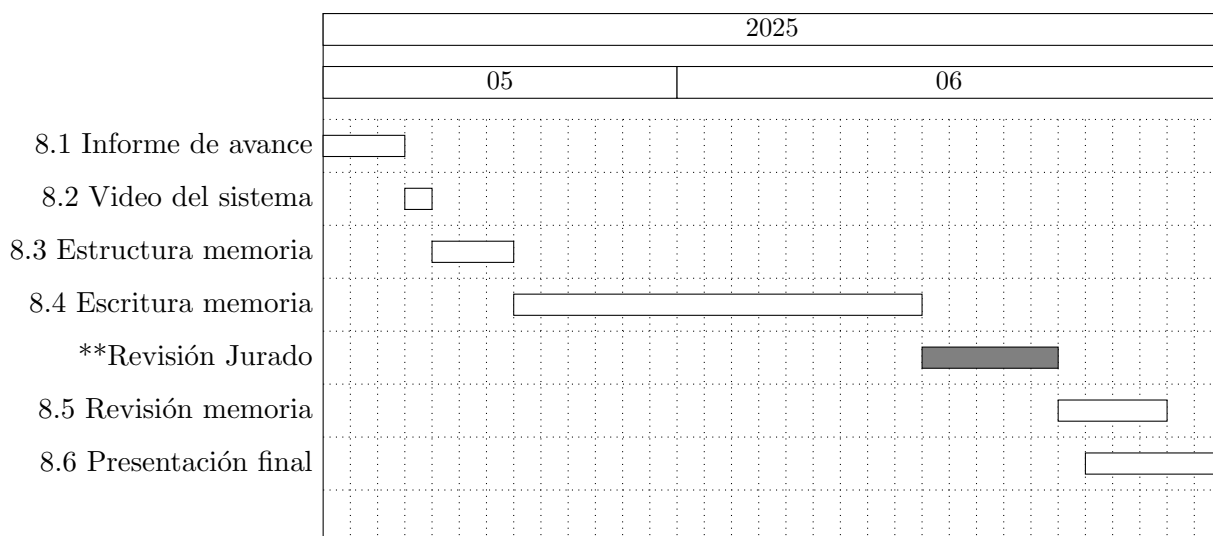


Figura 13. Documentación del proyecto.

Por último, en la figura 14, se puede visualizar el total de las actividades a ser desarrolladas en el proyecto.

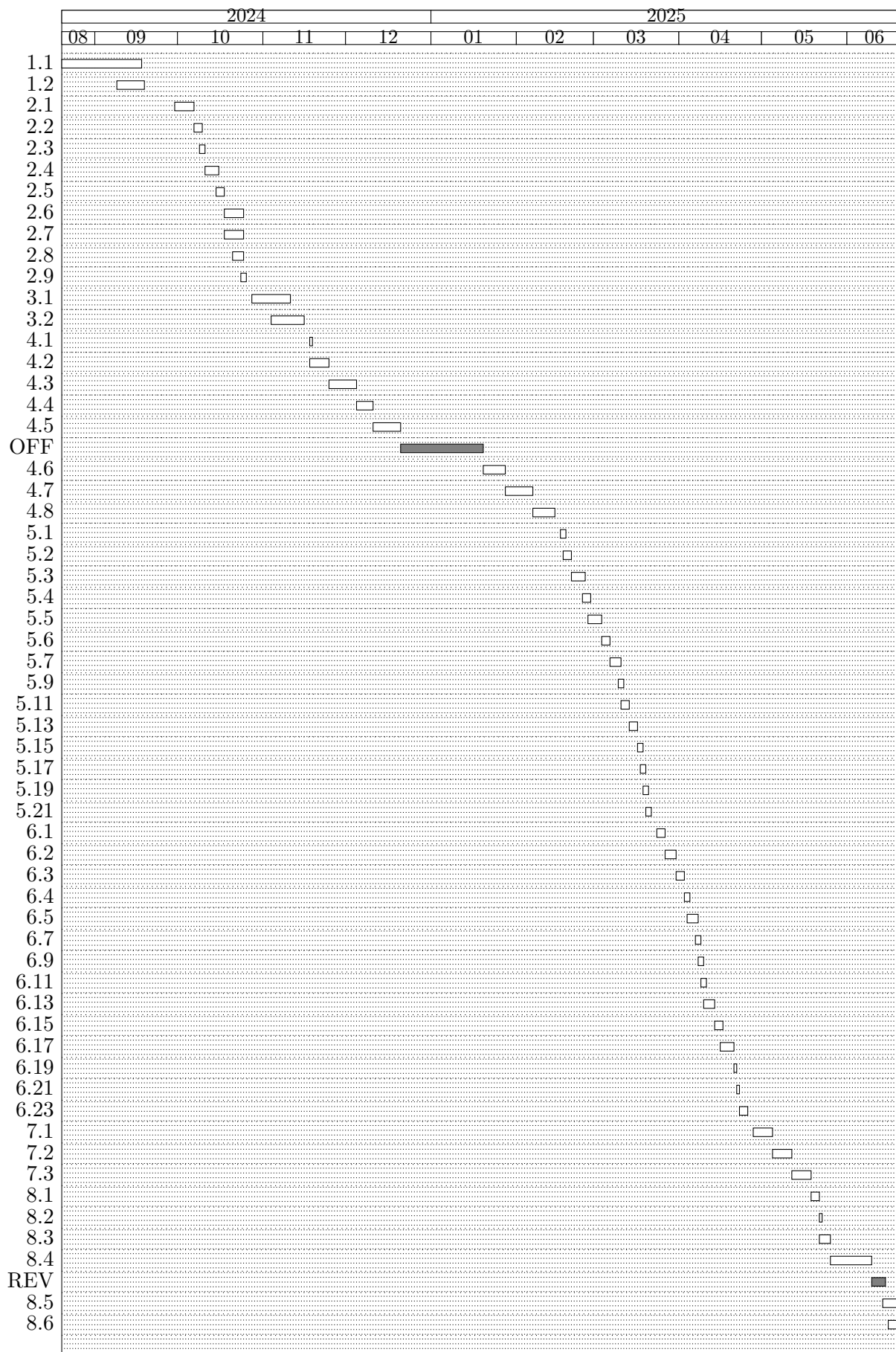


Figura 14. Diagrama de Gantt.



## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Los precios expresados en la siguiente tabla se encuentran en dólares estadounidenses USD.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mano de obra	615	\$25,00	\$15.375,00
Cargador celular con cable micro USB	6	\$8,40	\$50,40
Microcontrolador NodeMCU ESP32	6	\$15,00	\$90,00
Caja estanca 90 x 90 x 75 IP65	6	\$3,50	\$21,00
Tira de cables de 40 pines Macho Hembra 30 cm	3	\$8,15	\$24,45
Sensor BME280 3,3V	1	\$29,20	\$29,20
Sensor luz ambiente Lux Bh1750	1	\$6,20	\$6,20
Sensor de (CO <sub>2</sub> ) infrarrojo	1	\$95,35	\$95,35
Sensor de detección de pH	1	\$94,45	\$94,45
Sensor de conductividad eléctrica	1	\$69,90	\$69,90
Sensor total de sólidos disueltos	1	\$29,50	\$29,50
Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04	6	\$3,45	\$20,70
Sensor de temperatura sumergible DS18B20	1	\$6,15	\$6,15
Módulo de relay de 8 canales	1	\$23,65	\$23,65
Válvula solenoide 12V 1/2"	1	\$12,70	\$12,70
Caudalímetro 1/2"	1	\$12,55	\$12,55
Mini bomba de riego 1/4"	5	\$15,65	\$78,25
Caudalímetro 1/4"	5	\$8,45	\$42,25
Medidor de energía monofásico PZEM-004T	1	\$70,00	\$70,00
SUBTOTAL			\$16.151,70
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
40 % de los costos directos	1	\$6.460,68	\$6.460,68
SUBTOTAL			\$6.460,68
TOTAL			\$22.612,38

El costo total del proyecto asciende a **ARS \$22.374.950,01**. Siendo **\$989,50** el valor del dólar según cambio oficial del 27 de septiembre de 2024.

## 13. Gestión de riesgos

### Definición de riesgos.

Riesgo 1 - Imposibilidad de cumplir con los plazos establecidos.

- Severidad (S): 9.  
Un retraso en el cronograma afectaría la entrega final del proyecto y podría comprometer su éxito.
- Ocurrencia (O): 5.  
El responsable tiene múltiples compromisos laborales, académicos y familiares, lo que limita el tiempo disponible para dedicarse al proyecto de forma continua.

Riesgo 2 - Retraso en la disponibilidad de los componentes para desarrollar el prototipo.

- Severidad (S): 7.  
La falta de materiales en el tiempo establecido podría retrasar la construcción, programación y prueba del prototipo, lo que afectaría los plazos establecidos para completar el proyecto.
- Ocurrencia (O): 5.  
Existe una posibilidad moderada de que los proveedores no entreguen los materiales a tiempo, ya sea por demoras logísticas o problemas de stock, por la dependencia de insumos específicos para el prototipo.

Riesgo 3 - Selección inadecuada de actuadores, sensores y microcontroladores.

- Severidad (S): 8.  
La elección incorrecta de estos componentes puede generar fallos en el funcionamiento o necesidad de adquirir nuevos dispositivos, lo que causaría retrasos significativos en el desarrollo y pruebas del proyecto, además de incrementar los costos.
- Ocurrencia (O): 4.  
Dado que el proyecto implica el uso de nuevas tecnologías y el responsable no posee experiencia con algunos de estos componentes, existe un riesgo moderado de que la selección inicial no sea la más adecuada.

Riesgo 4 - Falta de conocimientos adecuados para el desarrollo del proyecto.

- Severidad (S): 7.  
La falta de experiencia puede llevar a errores en el diseño y desarrollo, aumentando el tiempo necesario para completar el proyecto y potencialmente afectando la calidad y funcionalidad del sistema.
- Ocurrencia (O): 6.  
Aunque es posible adquirir los conocimientos necesarios mediante formación y consulta, existe una probabilidad moderada de enfrentar dificultades debido a la curva de aprendizaje y posibles dificultades técnicas.

Riesgo 5 - Cambio de trabajo del responsable del proyecto.

- Severidad (S): 9.  
El cambio de trabajo del único responsable del proyecto puede tener un impacto severo en el progreso, debido a que detendría todo el desarrollo y requeriría la búsqueda de un reemplazo o una reestructuración completa del proyecto. Esto puede causar retrasos muy significativos y posibles problemas de continuidad.
- Ocurrencia (O): 4.  
Aunque el cambio de trabajo es una posibilidad real, la probabilidad de que ocurra durante el proyecto puede ser moderada.

### Tabla de gestión de riesgos.

El RPN se calcula como  $RPN = S \times O$

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Imposibilidad de cumplir con los plazos establecidos.	9	5	45	9	4	36
Retraso en la disponibilidad de los componentes para desarrollar el prototipo.	7	5	35	-	-	-
Selección inadecuada de actuadores, sensores y microcontroladores.	8	4	32	-	-	-
Falta de conocimientos adecuados para el desarrollo del proyecto.	7	6	42	7	5	35
Cambio de trabajo del responsable del proyecto.	9	4	36	-	-	-

### Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 40.

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

### Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido.

Riesgo 1 - Imposibilidad de cumplir con los plazos establecidos.

- Planes de mitigación:

- Establecer hitos intermedios:

- Dividir el proyecto en fases más pequeñas con fechas límite claras. Esto permitirá monitorear el progreso de manera más efectiva y detectar posibles retrasos a tiempo.

- Implementar un sistema de seguimiento y control:

- Utilizar herramientas de gestión de proyectos para monitorear el avance del proyecto en tiempo real y detectar desviaciones o retrasos del plan.

- Severidad (S\*): 9.

- La severidad se mantiene constante, pero baja la probabilidad de ocurrencia.

- Probabilidad de ocurrencia (O\*): 4.

- Aunque sigue siendo moderada, debido a que el responsable del proyecto sigue teniendo múltiples compromisos, la probabilidad se ajusta para reflejar una disminución considerable en el riesgo, gracias a las medidas proactivas.

Riesgo 4 - Falta de conocimientos adecuados para el desarrollo del proyecto.

■ Planes de mitigación:

● Formación continua y capacitación:

Realizar cursos especializados en las áreas clave del proyecto, como desarrollo de sistemas embebidos, backend y frontend para asegurar un conocimiento profundo y estructurado.

● Asesoramiento y mentoría:

Contactar a expertos o mentores en el campo para recibir orientación y consejos técnicos. Unirse a comunidades o foros especializados para intercambiar experiencias y obtener ayuda con problemas específicos.

■ Severidad ( $S^*$ ): 7.

La severidad se mantiene constante, pero baja la probabilidad de ocurrencia.

■ Probabilidad de ocurrencia ( $O^*$ ): 5.

La probabilidad de enfrentar dificultades debido a la curva de aprendizaje se reduce con la formación continua y la asesoría. Sin embargo, la curva de aprendizaje y los problemas técnicos pueden aún presentar desafíos, pero la probabilidad de que estos problemas afecten significativamente el proyecto disminuye con un enfoque proactivo.

## 14. Gestión de la calidad

Listado de requerimiento críticos con sus acciones de verificación y validación:

■ Requerimientos asociados a los sensores y actuadores:

● Req #1:

1.2. Cada nodo deberá implementar certificados TLS.

- Verificación: se realizarán pruebas para asegurar que la comunicación entre los nodos y el servidor es encriptada y segura.
- Validación: se comprobará que todas las conexiones con el microcontrolador utilicen certificados TLS.

● Req #2:

1.5. Cada nodo deberá permitir configurar de manera remota el tiempo para enviar los datos recolectados.

- Verificación: se realizarán pruebas funcionales de la interfaz de configuración para ajustar el tiempo de envío de datos.
- Validación: se comprobará que se pueda configurar el tiempo de envío de datos para cada nodo y que los datos sean recolectados y enviados de acuerdo con el intervalo configurado.

● Req #3:

1.6. Cada nodo deberá enviar al servidor IoT los datos recolectados.

- Verificación: se realizarán pruebas unitarias para verificar que los datos enviados por cada sensor son correctos y completos.

- Validación: se realizarán comparaciones de los valores obtenidos por los sensores con instrumentos de medición de la magnitud correspondiente. Esto permitirá verificar la precisión de los datos proporcionados por los sensores.
- Req #4:
  - 2.6. Cada nodo actuador deberá permitir configurar de manera remota los parámetros del actuador y cada canal.
    - Verificación: se realizarán pruebas funcionales de la interfaz de configuración de los actuadores y sus canales.
    - Validación: se comprobará que se activan y controlan los canales del actuador y se verificará su funcionamiento.
- Requerimientos asociados al Frontend:
  - Req #5:
    - 4.1. La interfaz deberá ser intuitiva y accesible desde dispositivos móviles y de escritorio.
      - Verificación: se realizarán pruebas de usabilidad y compatibilidad en diferentes dispositivos (móviles, tablets, portátiles y computadoras de escritorio) para asegurar que la aplicación se visualice correctamente, se verificará la responsividad y el funcionamiento adecuado de cada componente.
      - Validación: se comprobará que todas las secciones de la aplicación son fáciles de usar y se visualizan correctamente en diversos dispositivos, para confirmar que la experiencia de usuario sea la adecuada.
  - Req #6:
    - 4.6. Deberá permitir visualizar en tiempo real los datos recibidos de los sensores y actuadores.
      - Verificación: se llevarán a cabo pruebas de funcionalidad para asegurar que la interfaz muestra los datos en tiempo real de manera precisa y continua.
      - Validación: se solicitará feedback a los usuarios finales para verificar que la visualización de los datos en tiempo real es clara y concisa.
  - Req #7:
    - 4.7. Deberá permitir enviar comandos y configuraciones a los sensores y actuadores.
      - Verificación: se realizarán pruebas funcionales de envío de comandos desde la interfaz y confirmación de la ejecución correcta.
      - Validación: se realizarán pruebas de campo para confirmar que los comandos se ejecutan de manera correcta.
  - Req #8:
    - 4.8. Deberá permitir la visualización de los datos históricos de los sensores y actuadores.
      - Verificación: se realizarán pruebas para asegurar que la interfaz muestre correctamente los datos históricos de sensores y actuadores, comprobar que los filtros de búsqueda, la navegación entre fechas y la presentación de los datos funcionen adecuadamente.
      - Validación: se solicitará al cliente y usuarios finales que revisen la interfaz y proporcionen retroalimentación sobre la utilidad, accesibilidad y claridad de la visualización de los datos históricos.
  - Req #9:
    - 4.9. Deberá permitir la visualización en tiempo real y el control de los sensores y actuadores a través de un tablero interactivo.

- Verificación: se desarrollarán diferentes tipos de visualizaciones (como gráficos, tablas, etc.) en el tablero interactivo para asegurar que proporcionen información clara y efectiva. Se evaluará si permiten una visualización y control eficiente de los sensores y actuadores.
  - Validación: se recogerá retroalimentación de clientes y usuarios finales para confirmar que el tablero interactivo es funcional, intuitivo y proporciona una visión general clara del sistema.
- Requerimientos asociados al Backend y la API:
- Req #10:
    - 5.1. Deberá permitir conexiones seguras mediante TLS.
      - Verificación: se realizarán pruebas de seguridad y revisión de las bibliotecas utilizadas para asegurar que la comunicación es encriptada y segura.
      - Validación: se comprobará que todas las conexiones utilicen TLS a través de la ejecución de requests a todos los endpoints disponibles.
  - Req #11:
    - 5.2. Deberá poder implementar JWT (JSON Web Token) para poder propagar entre dos partes, y de forma segura, la identidad de un determinado usuario.
      - Verificación: se realizarán pruebas de integración para confirmar que el sistema puede generar y validar tokens JWT correctamente. Se verificarán aspectos como la encriptación del token, su expiración, y la transmisión de la identidad del usuario entre el cliente y el servidor. También se revisará que el proceso de autenticación y autorización basado en JWT funciona según lo especificado.
      - Validación: se comprobará que el sistema proporciona una autenticación segura y que el manejo de los tokens JWT cumple con los requisitos de seguridad y funcionalidad esperados.
  - Req #12:
    - 5.3. Deberá soportar los métodos HTTP para realizar operaciones CRUD y visualizar los reportes, WebSockets para la visualización en tiempo real de los datos y MQTT para la interacción con los sensores y actuadores.
      - Verificación: se realizarán pruebas de funcionalidad para asegurar que los métodos HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) funcionan correctamente para las operaciones CRUD y la generación de reportes. Se comprobará la implementación de WebSockets para asegurar que la visualización en tiempo real de los datos es precisa. Además, se evaluará la comunicación MQTT para verificar que los mensajes se envían y reciben adecuadamente entre el servidor y los sensores/actuadores.
      - Validación: se comprobará que los métodos HTTP, WebSockets y MQTT cumplen con las expectativas en términos de desempeño y funcionalidad.
  - Req #13:
    - 5.8. Deberá poder persistir la información histórica de las mediciones de los sensores.
      - Verificación: se realizarán pruebas de almacenamiento y recuperación de datos para verificar que la información histórica de las mediciones de los sensores se guarda correctamente en la base de datos.
      - Validación: se comprobará que la persistencia de la información histórica es adecuada y accesible para consultas futuras.

## 15. Procesos de cierre

Al finalizar el proyecto, se realizarán las siguientes actividades que permita una evaluación del proyecto:

- Análisis de las pautas de trabajo:
  - Responsable: Lic. Martín Anibal Lacheski
  - Procedimiento: se realizará una revisión del Plan de Proyecto para:
    - Verificar si se cumplieron los plazos establecidos.
    - Verificar si se cumplieron los objetivos del proyecto.
    - Verificar si pudieron cumplimentarse y validarse los requerimientos definidos.
- Identificación de técnicas y procedimientos útiles e inútiles:
  - Responsable: Lic. Martín Anibal Lacheski
  - Procedimiento: se realizará un análisis de los problemas que surgieron y cómo se solucionaron para:
    - Examinar los problemas que surgieron durante el proyecto y cómo se resolvieron, con el fin de identificar las técnicas y procedimientos que resultaron efectivos o ineficaces.
    - Documentar los problemas encontrados, las soluciones implementadas y las técnicas empleadas durante el desarrollo del proyecto.
    - Redactar un informe que analice las técnicas y procedimientos utilizados, destacar las prácticas que resultaron útiles y señalar las áreas de mejora. Este informe servirá como guía y referencia para la optimización en futuros proyectos.
- Acto de cierre:
  - Responsable: Lic. Martín Anibal Lacheski
  - Procedimiento: se llevará a cabo un acto de cierre formal del proyecto, el cual incluirá los siguientes pasos:
    - Defensa pública del proyecto: se realizará una presentación pública del proyecto de manera virtual, donde se expondrán los objetivos, resultados y conclusiones del trabajo. Esta defensa permitirá mostrar los logros alcanzados y responder a preguntas formuladas por los participantes de la defensa.
    - Agradecimientos Formales:
      - ◇ Directores del proyecto: se reconocerá y agradecerá el apoyo y la guía brindada durante el desarrollo del proyecto.
      - ◇ Tribunal evaluador: se expresará el agradecimiento por la evaluación crítica y constructiva que contribuyó al perfeccionamiento del proyecto.
      - ◇ Institución: se agradecerá a la institución que facilitó el entorno y los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto.
      - ◇ Colaboradores: se reconocerá el esfuerzo y la contribución de todos los colaboradores que hicieron posible el éxito del proyecto, así como su compromiso y dedicación.
      - ◇ Docentes y autoridades de la carrera: se dará un agradecimiento a los docentes y autoridades que proporcionaron apoyo académico y administrativo, y que jugaron un papel importante en la formación profesional para el desarrollo del proyecto.