



Desarrollo de un sistema embebido para la gestión y monitoreo de cultivos verticales

Autor:

Ing. José Luis Krüger

Director:

Esp. Ing. Mariano Campos (FIUBA)

*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	7
5. Supuestos del proyecto.	7
6. Requerimientos	8
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	10
8. Entregables principales del proyecto	11
9. Desglose del trabajo en tareas	12
10. Diagrama de Activity On Node.	13
11. Diagrama de Gantt	15
12. Presupuesto detallado del proyecto	18
13. Gestión de riesgos	18
14. Gestión de la calidad	21
15. Procesos de cierre	24

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	3 de septiembre de 2024
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	10 de septiembre de 2024
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	17 de septiembre de 2024
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive	24 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 Ing. José Luis Krüger que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de un sistema embebido para la gestión y monitoreo de cultivos verticales” y consistirá en la implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo y gestión de cultivo hidropónico. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 644 horas y un costo estimado de \$ 8 523 913, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública en julio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Lic. Rocío Altamirano
Particular

Esp. Ing. Mariano Campos
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Con la población mundial que ronda los 8000 millones de personas y sigue en crecimiento, la agricultura enfrenta el reto de ser más eficiente y sostenible. Los cultivos verticales se presentan como una solución innovadora que optimiza el uso del espacio y los recursos, especialmente en entornos urbanos donde el suelo es limitado y costoso.

Este tipo de agricultura utiliza técnicas como la hidroponía, que permite un uso preciso del agua, y la aeroponía, que maximiza el oxígeno disponible para las raíces. Además, las granjas verticales aprovechan áreas infrautilizadas, como edificios abandonados o naves industriales, y permiten cultivar alimentos en zonas donde la agricultura tradicional resulta difícil de desarrollar. Así, se logra una mayor densidad de cultivo y se contribuye a la sostenibilidad al reducir el uso de pesticidas y fertilizantes.

Aunque los cultivos verticales requieren un alto nivel de tecnología y tienen costes energéticos asociados, su capacidad para ahorrar recursos, disminuir la huella de carbono y fomentar la producción local y el autoconsumo los posiciona como una opción clave para la agricultura del futuro.

Como proyecto final de la especialización en sistemas embebidos, se propone desarrollar un sistema de monitoreo y gestión para cultivos verticales. Dicho trabajo se trata de un emprendimiento personal y tiene por objetivo permitir controlar y potenciar los factores de crecimiento de las plantas como la nutrición del sustrato, la luz necesaria para fotosíntesis o la oxigenación de las raíces y, al mismo tiempo, optimizar el uso de un recurso tan preciado como el agua.

Por un lado, para lograr la optimización del agua, se utilizará un circuito cerrado de modo que el desperdicio del recurso sea mínimo. Por otro, el monitoreo y control de variables como el pH de la solución nutritiva, su conductividad, temperatura, etc. permitirá lograr un óptimo crecimiento de las plantas al mismo tiempo que el usuario será alertado de cualquier anomalía que se produzca en el sistema.

Los sistemas hidropónicos actuales dependen del usuario para medir de forma manual variables clave como el pH y la temperatura, o directamente no se miden. Utilizan temporizadores genéricos para el riego y, en muchos casos, no se controla la temperatura o la iluminación que reciben las plantas, lo que limita su eficiencia en comparación con los métodos tradicionales. La solución que se presenta en este informe, en cambio, no solo permite medir con precisión todas estas variables, sino que también ajusta automáticamente los controles necesarios, con mínima intervención del usuario. Esto aporta trazabilidad y facilita el ajuste de parámetros para mejorar la productividad a futuro.

En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques de la solución propuesta. Este sistema permitirá controlar el riego, la iluminación y la ventilación de las raíces, al tiempo que monitoreará otras variables críticas para su operación. Se diseñará para un cultivo urbano pequeño, ubicado en el interior de una vivienda, pero será fácilmente escalable, ya que se podrá ampliar simplemente multiplicando el módulo completo.

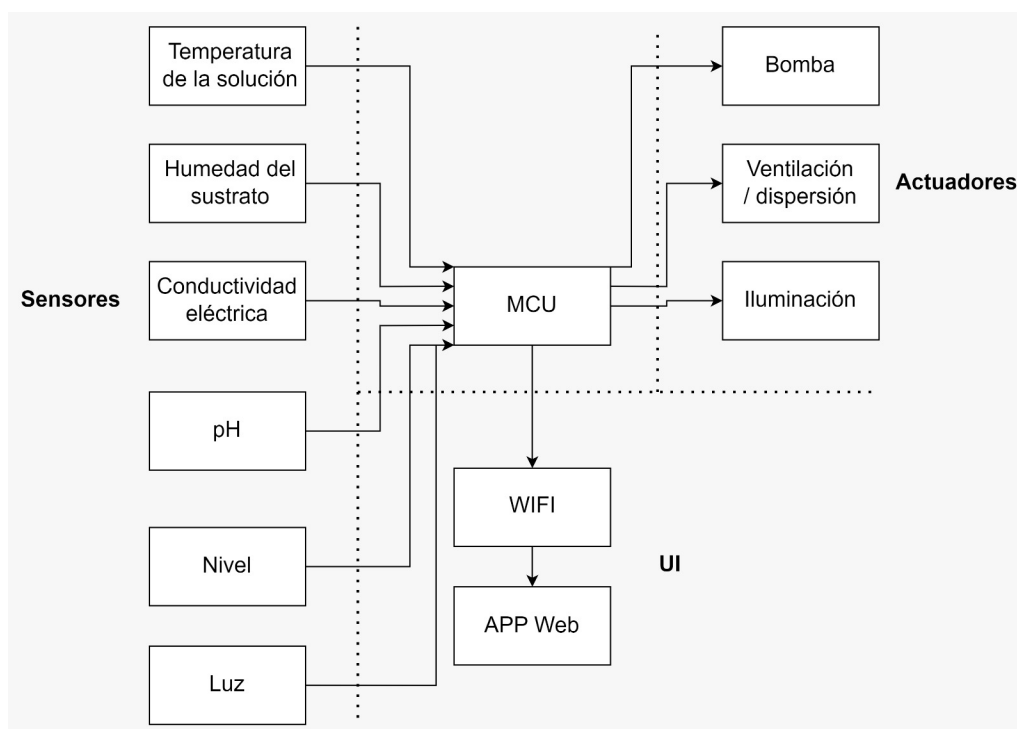


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Lic. Rocío Altamirano	Particular	-
Responsable	Ing. José Luis Krüger	FIUBA	Alumno
Orientador	Esp. Ing. Mariano Campos	FIUBA	Director del Trabajo Final
Usuario final	Agricultor orgánico	-	-

- Orientador: El Esp. Ing. Mariano Campos será quien dirija técnicamente el proyecto.
- Cliente: La Lic. Rocío Altamirano será quien testee y valide el prototipo del proyecto.

3. Propósito del proyecto

Desarrollar un prototipo funcional y escalable que permita automatizar y optimizar los sistemas hidropónicos actuales, de modo que el usuario no necesite realizar monitoreos y ajustes manuales. Busca mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua, los nutrientes y la energía, además de garantizar un control preciso de las condiciones de cultivo. Con esto, se espera aumentar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos hidropónicos mediante un sistema que ofrece trazabilidad completa y facilita la toma de decisiones para futuros ajustes, logrando una producción más rentable, sustentable y tolerante a cambios en las condiciones ambientales.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Desarrollo del prototipo funcional y escalable.
 - Diseño de un sistema automatizado para el control del riego, la iluminación y la oxigenación en cultivos hidropónicos verticales.
 - Desarrollo del firmware para el microcontrolador.
 - Desarrollo de una aplicación web como interfaz de usuario.
- Pruebas y validación del prototipo.
 - Realización de pruebas en un entorno controlado con cultivos hidropónicos verticales para validar la precisión y efectividad del sistema en el control del riego, la iluminación y la ventilación.
 - Ajuste de componentes y firmware según los resultados obtenidos durante las pruebas.
- Desarrollo de la PCB centralizadora de los módulos electrónicos utilizados.
- Memoria técnica.

El proyecto no incluye:

- Control de otras variables ambientales, como el pH o la temperatura del sustrato.
- Soporte técnico o mantenimiento continuado del sistema después de la entrega del prototipo.
- Adaptación del sistema a otros tipos de cultivos hidropónicos no verticales o infraestructuras específicas que no sean verticales.
- Producción a gran escala del sistema automatizado, más allá del prototipo desarrollado.
- Desarrollo de sistemas de seguridad adicionales más allá de lo necesario para el prototipo.
- Implementación de tecnología para la optimización del consumo energético para producción a gran escala.
- Desarrollo de una aplicación REST API (incluida la base de datos).
- Procesamiento estadístico de los datos almacenados.

5. Supuestos del proyecto

- Se dispondrá del apoyo de un director con el conocimiento necesario para orientar técnicamente el proyecto y guiar el desarrollo del prototipo.
- Se dispondrá de todos los materiales necesarios, incluidos sensores, actuadores, controladores y otros componentes electrónicos para el desarrollo del prototipo.

- La integración de los sistemas de riego, iluminación y ventilación con el software desarrollado será viable técnicamente y no presentará incompatibilidades significativas.
- Se contará con el tiempo suficiente para completar todas las fases del proyecto, desde el diseño y desarrollo hasta las pruebas y ajustes necesarios, sin retrasos significativos.
- Existirá un entorno controlado y adecuado para la instalación y prueba del prototipo en condiciones similares a las de operación real para cultivos hidropónicos verticales.
- Las condiciones macroeconómicas permanecerán estables, sin variaciones significativas en el costo de materiales o componentes.
- El PCB podrá desarrollarse.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El prototipo debe permitir el control automático del riego, iluminación y oxigenación del cultivo, garantizando que el tiempo de respuesta para cambios en el ambiente no supere los 5 segundos (prioridad alta).
- 1.2. El sistema debe monitorear variables ambientales relevantes como temperatura (rango de - 15 a 50 °C, precisión de ± 1 °C), humedad del sustrato (rango de 0 % a 100 %, precisión de ± 3 %), nivel de la solución nutritiva (mínimo 3/4 de la altura total del contenedor), conductividad eléctrica (rango de 1 a 4 mS/cm, precisión de ± 0.1 mS/cm), y pH (rango de 5.5 a 7.5, precisión de ± 0.1) (prioridad alta).
- 1.3. El usuario debe poder activar o desactivar manualmente las secuencias de riego mediante la interfaz gráfica, con un tiempo de respuesta menor a 2 segundos (prioridad media).
- 1.4. El firmware debe incluir un servidor embebido para la gestión local y remota de los parámetros del sistema, con disponibilidad 24/7 (prioridad alta).
- 1.5. El usuario debe poder configurar el sistema mediante una interfaz gráfica amigable, accesible desde un dispositivo móvil (Android/iOS) a través de la red Wi-Fi, con tiempos de carga inferiores a 5 segundos (prioridad alta).
- 1.6. El producto debe permitir la programación de secuencias de riego en base a fecha, hora y duración o humedad del sustrato, con una precisión de ± 1 minuto en la ejecución de las secuencias (prioridad alta).

2. Requerimientos de documentación:

- 2.1. Se debe proporcionar un manual de usuario detallado con instrucciones de configuración y operación del sistema (prioridad baja).
- 2.2. Se deben realizar diagramas esquemáticos del circuito, PCB y diagramas de conexiones (prioridad media).
- 2.3. El proyecto debe incluir documentación del código fuente con comentarios claros y comprensibles (prioridad media).

3. Requerimiento de testing:

- 3.1. El sistema debe ser sometido a pruebas de funcionalidad completas para verificar el correcto funcionamiento de todas las características (prioridad alta).

- 3.2. Se deben realizar pruebas de estrés para garantizar la estabilidad del sistema bajo condiciones extremas de operación (prioridad media).
- 3.3. El firmware debe pasar por pruebas de validación de comunicación de red (HTTP o MQTT) (prioridad alta).
- 3.4. El hardware debe ser testeado para asegurar su resistencia y fiabilidad en ambientes urbanos interiores y exteriores (prioridad alta).

4. Requerimientos de la interfaz de usuario:

- 4.1. La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, con menús claros para la configuración de parámetros del control del cultivo (prioridad alta).
- 4.2. La interfaz debe mostrar el estado en tiempo real de todas las variables monitoreadas (temperatura, humedad, nivel de agua, etc.) (prioridad alta).
- 4.3. La interfaz debe ser responsiva y compatible con dispositivos móviles modernos (prioridad alta).

5. Requerimientos interoperabilidad:

- 5.1. Se debe asegurar compatibilidad con un protocolo de comunicación estándar como HTTP o MQTT (prioridad alta).

6. Requerimientos de normativas y regulaciones:

- 6.1. El diseño del hardware debe cumplir con las normativas de seguridad eléctrica establecidas por la resolución 169/2018 de la Secretaría de Comercio, que adopta la norma IEC 62368-1 para equipos eléctricos (prioridad alta).
- 6.2. Se debe cumplir con las regulaciones de radiofrecuencia y comunicaciones establecidas por la Enacom (Ente Nacional de Comunicaciones), que incluye la homologación de equipos bajo las normas de la Resolución 197/2004 y sus modificaciones (prioridad alta).
- 6.3. El hardware debe cumplir con las normas de compatibilidad electromagnética conforme a la Resolución 92/98 de la Secretaría de Industria, que adopta normas internacionales como la IEC CISPR 22 para la emisión de interferencias electromagnéticas (prioridad alta).

7. Requerimientos opcionales:

- 7.1. El servidor podría generar alarmas y notificaciones en caso de condiciones anómalas, como fallos de sensores o nivel crítico de solución nutritiva (menor al 10 % del volumen total), con un tiempo de notificación menor a 1 minuto desde la detección.
- 7.2. El servidor central podría almacenar y procesar los datos de todos los módulos conectados, permitiendo trazabilidad y análisis histórico.
- 7.3. El firmware podría permitir la integración con plataformas de automatización del hogar (e.g., Home Assistant, Google Home).
- 7.4. El sistema podría ser capaz de exportar datos en formatos compatibles con aplicaciones de análisis de datos (CSV, JSON).
- 7.5. El sistema podría incluir una funcionalidad de análisis predictivo para optimizar las secuencias de riego basadas en datos históricos.
- 7.6. La interfaz podría incluir un módulo de visualización de datos avanzado para el análisis gráfico de la eficiencia del cultivo.
- 7.7. Podría añadirse un control PID de temperatura de la solución nutritiva.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

La ponderación de cada historia de usuario se basa en la serie de Fibonacci y se clasifica en tres niveles:

- Baja (1)
- Media (3)
- Alta (5)

El puntaje total de cada historia se redondea hacia arriba al valor más cercano en la serie de Fibonacci, asegurando que los Story Points reflejen adecuadamente la magnitud del trabajo requerido.

Historia 1: “Como agricultor urbano, quiero que el sistema hidropónico se encargue del riego, la luz y la oxigenación, así puedo cultivar sin preocuparme por hacer ajustes todo el tiempo.”

- **Complejidad:** Alta (5)
- **Dificultad:** Media (3)
- **Incertidumbre:** Alta (5)

Story Points: 13

Historia 2: “Como alguien que vive en un departamento, quiero poder cultivar mis propias verduras en casa, aunque no tenga jardín.”

- **Complejidad:** Media (3)
- **Dificultad:** Baja (1)
- **Incertidumbre:** Media (3)

Story Points: 8

Historia 3: “Como usuario ocupado, quiero que el sistema sea lo más autónomo posible, así no tengo que estar pendiente de las plantas todos los días.”

- **Complejidad:** Baja (1)
- **Dificultad:** Baja (1)
- **Incertidumbre:** Baja (1)

Story Points: 3

Historia 4: “Como alguien que se muda con frecuencia, quiero que el cultivo sea fácil de trasladar para poder llevarlo conmigo a diferentes lugares.”

- **Complejidad:** Media (3)
- **Dificultad:** Media (3)
- **Incertidumbre:** Media (3)

Story Points: 13

Historia 5: “Como usuario preocupado por mis plantas, quiero recibir notificaciones en mi celular si algo anda mal, como falta de agua o nutrientes, para poder arreglarlo a tiempo.”

- **Complejidad:** Alta (5)
- **Dificultad:** Media (3)
- **Incertidumbre:** Media (3)

Story Points: 13

Historia 6: “Como aficionado a la hidroponía, quiero ajustar los parámetros de riego, luz y nutrientes según lo que necesiten mis cultivos, para lograr los mejores resultados.”

- **Complejidad:** Alta (5)
- **Dificultad:** Alta (5)
- **Incertidumbre:** Media (3)

Story Points: 13

Historia 7: “Como investigador de cultivos urbanos, quiero tener acceso a los datos históricos del cultivo para analizar cómo mejorar la producción.”

- **Complejidad:** Media (3)
- **Dificultad:** Media (3)
- **Incertidumbre:** Baja (1)

Story Points: 8

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Manual de usuario.
- Prototipo funcional.
- Memoria del trabajo final.

9. Desglose del trabajo en tareas

A continuación se realiza el desglose del proyecto en tareas:

1. Planificación del proyecto (40 h):
 - 1.1. Realizar la arquitectura general del proyecto (15 h).
 - 1.2. Realizar el plan del proyecto (25 h).
2. Investigación (50 h):
 - 2.1. Estudiar el funcionamiento del ESP32 y los sensores (20 h).
 - 2.2. Investigación sobre hidroponía y requerimientos del sistema físico (30 h).
3. Diseño del sistema (50 h):
 - 3.1. Diseño de la arquitectura general del sistema (30 h).
 - 3.2. Diseño del módulo de control del prototipo (20 h).
4. Desarrollo del sistema hidropónico (30 h):
 - 4.1. Adquisición de un sistema hidropónico vertical estándar (2 h).
 - 4.2. Instalación de los componentes del sistema de riego, iluminación y oxigenación (20 h).
 - 4.3. Pruebas iniciales del sistema hidropónico (8 h).
5. Desarrollo del hardware (70 h):
 - 5.1. Diseño del circuito y simulación (15 h).
 - 5.2. Diseño de la PCB (15 h).
 - 5.3. Fabricación de la PCB (5 h).
 - 5.4. Inspección de la PCB (5 h).
 - 5.5. Montaje de componentes en la PCB (15 h).
 - 5.6. Pruebas de validación del hardware (15 h).
6. Desarrollo del firmware (145 h):
 - 6.1. Desarrollo del software para control de riego (15 h).
 - 6.2. Desarrollo del software para control de iluminación (15 h).
 - 6.3. Desarrollo del software para control de oxigenación (15 h).
 - 6.4. Desarrollo de *drivers* para los dispositivos implicados (20 h).
 - 6.5. Implementación del sistema operativo para el módulo de control (20 h).
 - 6.6. Desarrollo del servidor embebido en el módulo de control (40 h).
 - 6.7. Implementación del protocolo de comunicación HTTP o MQTT (20 h).
7. Desarrollo de la interfaz de usuario (39 h):
 - 7.1. Maquetado de la interfaz de usuario minimalista para el control del sistema (8 h).
 - 7.2. Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (GUI) minimalista para dispositivos móviles y/o web (16 h).

7.3. Pruebas de usabilidad y ajustes en la interfaz (15 h).

8. Integración y pruebas (80 h):

8.1. Integración de módulos en el prototipo funcional (30 h).

8.2. Pruebas de integración y rendimiento del sistema (20 h).

8.3. Pruebas de comunicación y control centralizado (15 h).

8.4. Validación final del sistema completo (15 h).

9. Documentación y entrega (140 h):

9.1. Elaboración de documentación técnica del sistema (40 h).

9.2. Elaboración de memoria técnica (40 h).

9.3. Preparación del manual de usuario (40 h).

9.4. Presentación de resultados y entrega del proyecto (20 h).

Cantidad total de horas: 644 h.

10. Diagrama de Activity On Node

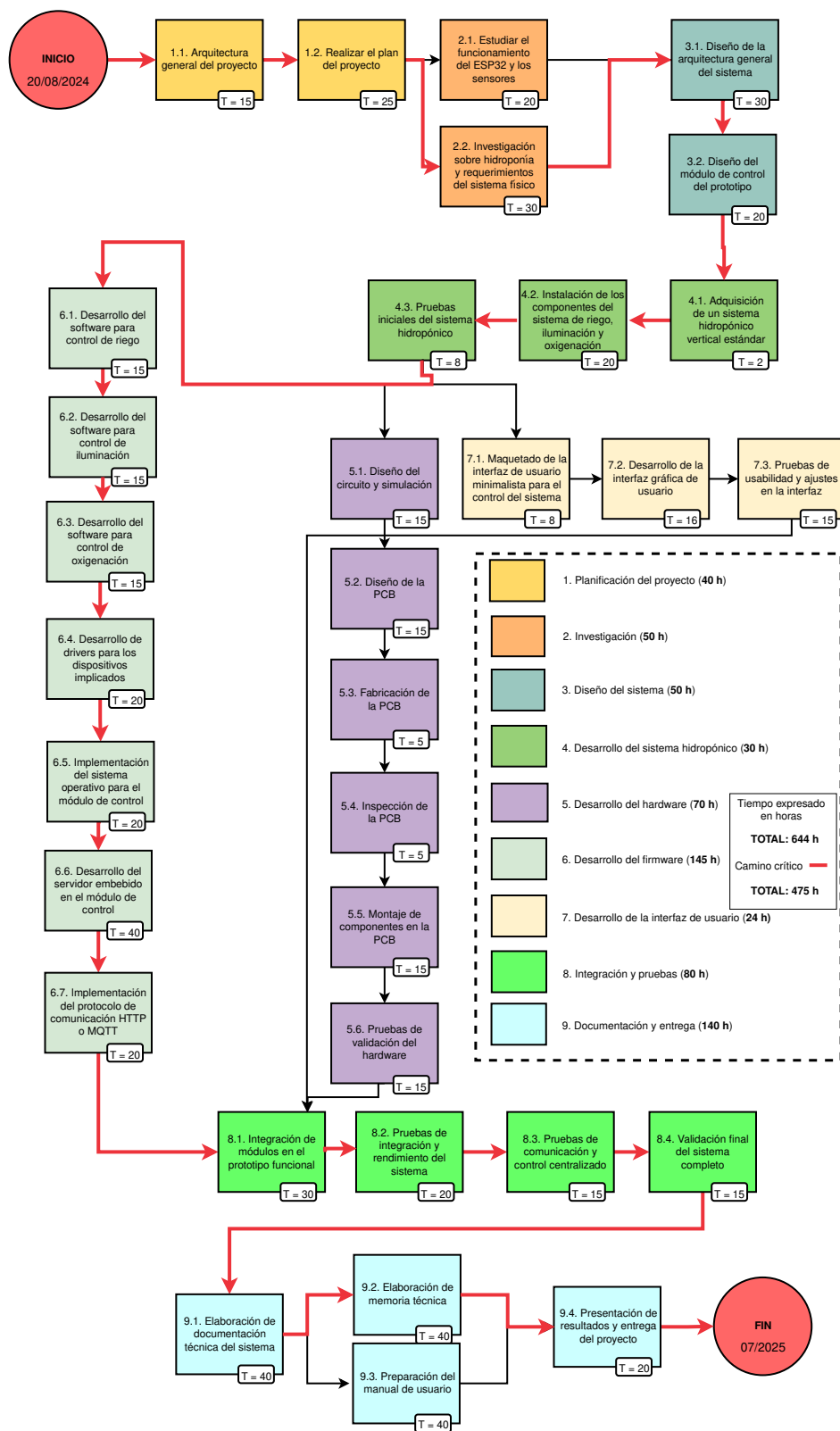


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

Para el diagrama *Gantt* se consideró una dedicación parcial de entre 3 y 4 horas todos los días hábiles.

WBS	Nombre	Inicio	Fin	Trabajo	Duración
1	Planificación del proyecto	ago 20	sep 2	9d 3h	9d 3h
1.1	Realizar la arquitectura general del proyecto	ago 20	ago 23	3d 2h	3d 2h
1.2	Realizar el plan de proyecto	ago 23	sep 2	6d 1h	6d 1h
2	Investigación	oct 14	oct 30	12d 3h	12d 3h
2.1	Estudiar el funcionamiento del ESP32 y los sensores	oct 14	oct 18	5d	5d
2.2	Investigación sobre hidroponía	oct 21	oct 30	7d 3h	7d 3h
3	Diseño del sistema	oct 30	nov 18	12d 2h	12d 2h
3.1	Diseño de la arquitectura general del sistema	oct 30	nov 11	7d 2h	7d 2h
3.2	Diseño del módulo de control del prototipo	nov 11	nov 18	5d	5d
4	Desarrollo del sistema hidropónico	nov 18	nov 27	7d 2h	7d 2h
4.1	Adquisición de un sistema hidropónico vertical	nov 18	nov 18	2h	2h
4.2	Instalación de los componentes del sistema	nov 18	nov 25	5d	5d
4.3	Pruebas iniciales del sistema hidropónico	nov 25	nov 27	2d	2d
5	Desarrollo del hardware	nov 27	dic 23	17d 2h	17d 2h
5.1	Diseño del circuito y simulación	nov 27	dic 3	3d 3h	3d 3h
5.2	Diseño de la PCB	dic 3	dic 9	3d 3h	3d 3h
5.3	Fabricación de la PCB	dic 9	dic 10	1d 1h	1d 1h
5.4	Inspección de la PCB	dic 10	dic 11	1d 1h	1d 1h
5.5	Montaje de componentes en la PCB	dic 11	dic 17	3d 3h	3d 3h
5.6	Pruebas de validación del hardware	dic 17	dic 23	3d 3h	3d 3h
6	Desarrollo del firmware	dic 23	feb 11	36d 2h	36d 2h
6.1	Desarrollo del software para control de riego	dic 23	dic 26	3d 3h	3d 3h
6.2	Desarrollo del software para control de iluminación	dic 27	ene 1	3d 3h	3d 3h
6.3	Desarrollo del software para control de oxigenación	ene 1	ene 7	3d 3h	3d 3h
6.4	Desarrollo de drivers para los dispositivos implicados	ene 7	ene 14	5d	5d
6.5	Implementación del sistema operativo	ene 14	ene 21	5d	5d
6.6	Desarrollo del servidor embebido	ene 21	feb 4	10d	10d
6.7	Implementación del protocolo de comunicación	feb 4	feb 11	5d 1h	5d 1h
7	Desarrollo de la interfaz de usuario	feb 11	feb 25	9d 3h	9d 3h
7.1	Maquetado de la interfaz de usuario	feb 11	feb 13	2d	2d
7.2	Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario	feb 13	feb 19	4d	4d
7.3	Pruebas de usabilidad y ajustes en la interfaz	feb 19	feb 25	3d 3h	3d 3h
8	Integración y pruebas	feb 25	mar 25	20d	20d
8.1	Integración de módulos en el prototipo funcional	feb 25	mar 6	7d 2h	7d 2h
8.2	Pruebas de integración y rendimiento del sistema	mar 7	mar 13	5d	5d
8.3	Pruebas de comunicación y control centralizado	mar 14	mar 19	3d 3h	3d 3h
8.4	Validación final del sistema completo	mar 19	mar 25	3d 3h	3d 3h
9	Documentación y entrega	mar 25	jul 2	35d	71d 2h
9.1	Elaboración de documentación técnica del sistema	mar 25	abr 8	10d	10d
9.2	Elaboración de memoria técnica	abr 8	abr 22	10d	10d
9.3	Preparación del manual de usuario	abr 22	may 6	10d	10d
9.4	Presentación de resultados y entrega del proyecto	jun 26	jul 2	5d	5d

Figura 3. Detalle de las tareas del diagrama *Gantt*.

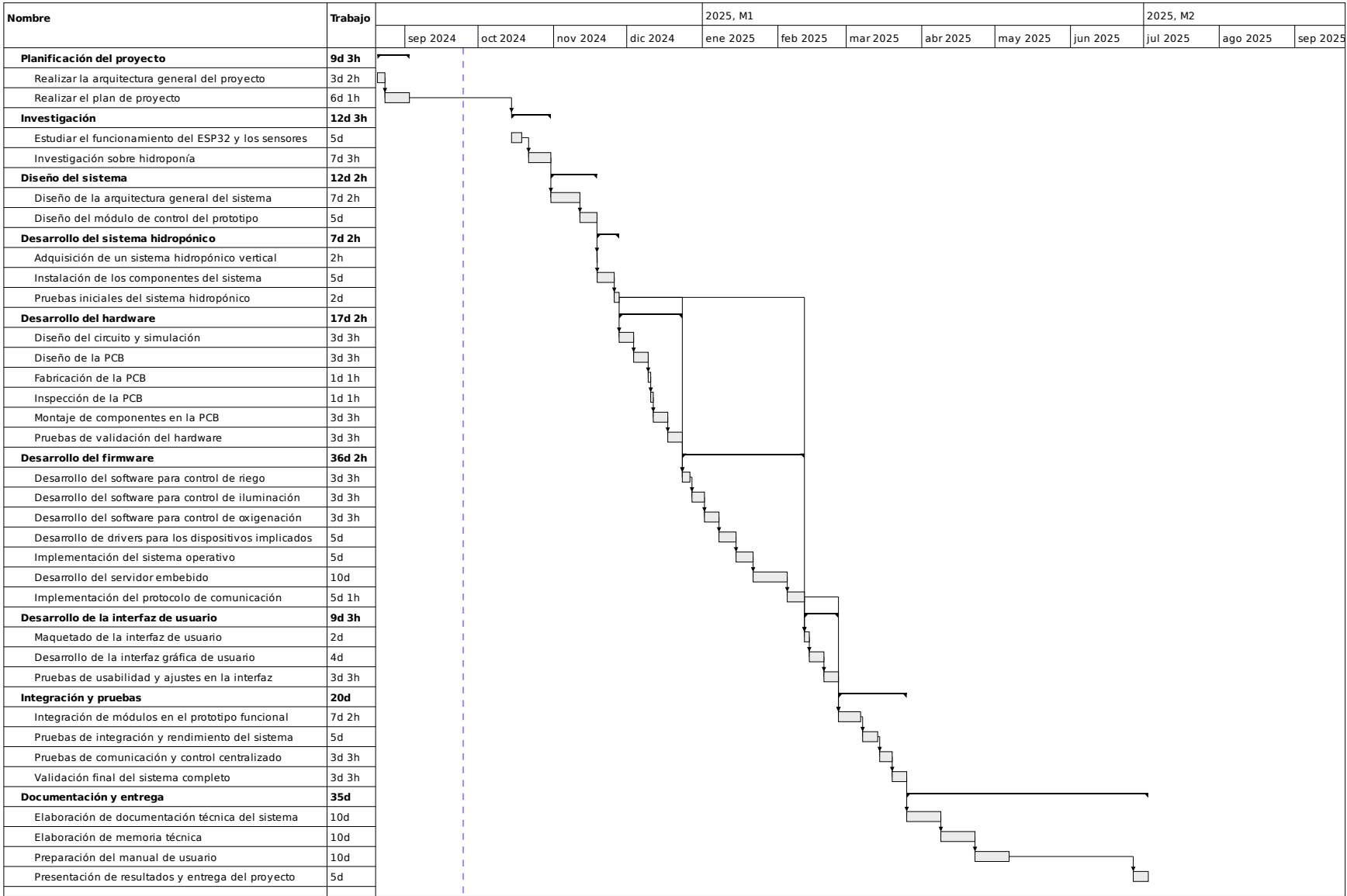


Figura 4. Diagrama *Gantt* desarrollado en Planner.

12. Presupuesto detallado del proyecto

En el siguiente cuadro se muestra el detalle de los costos del proyecto expresados en pesos argentinos (ARS).

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
ESP32S WROOM	01 u.	10 692	10 692
Módulo sensor de luz con LDR	01 u.	2052	2052
Torre hidropónica vertical 22 macetas + bomba	01 u.	240 000	240 000
Lámpara cultivo indoor Amnesia Cob 400w	01 u.	140 000	140 000
Sensor de pH-4502c	01 u.	92 500	92 500
DS18B20	01 u.	2400	2400
Sensor de humedad C.	01 u.	4500	4500
Fuente de alimentación 5 VDC 2 A	01 u.	7000	7000
Cooler fan 220 V	01 u.	10 000	10 000
Módulo rele relay de 4 canales 5 V 10 A	01 u.	8500	8500
Módulo sensor de calidad de agua TDS + sonda analógica	01 u.	30 000	30 000
Servicios profesionales	644 u.	12 000	7 728 000
SUBTOTAL			8 275 644
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
3 % de los costos directos	01 u.	248 269	248 269
SUBTOTAL			248 269
TOTAL			8 523 913

13. Gestión de riesgos

A continuación se detallan cinco posibles riesgos inherentes al proyecto. Los mismos son evaluados según su grado de severidad y su probabilidad de ocurrencia tomando valores de 1 a 10.

Riesgo 1: retraso en la entrega de componentes electrónicos

- Severidad (S): 6.
Justificación: un retraso en la llegada de componentes críticos impactaría directamente en los tiempos de ensamblaje y pruebas del prototipo, lo cual es crucial en un proyecto manejado por una sola persona.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 7.
Justificación: como emprendedor individual, la adquisición de componentes depende de proveedores externos y no siempre se tiene control sobre los tiempos de entrega, especialmente en compras internacionales o con stock limitado.

Riesgo 2: dificultades en la integración del hardware y software

- Severidad (S): 8.
Justificación: problemas en la integración entre sensores, actuadores y el software de

control podrían detener el desarrollo, ya que no hay un equipo de soporte técnico, lo que incrementa la carga sobre el emprendedor.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 6.
Justificación: la falta de experiencia o el tiempo limitado para la depuración y pruebas aumentan la probabilidad de errores durante la integración, un desafío común en proyectos individuales.

Riesgo 3: cambios en las especificaciones del prototipo durante el desarrollo

- Severidad (S): 7.
Justificación: cambiar especificaciones a mitad del desarrollo puede implicar rehacer partes del trabajo ya realizado, consumiendo tiempo y recursos limitados.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.
Justificación: a medida que se avanza, es común que surjan nuevas ideas o mejoras, lo que puede llevar a redefinir algunos aspectos del prototipo.

Riesgo 4: componentes defectuosos

- Severidad (S): 9.
Justificación: los componentes defectuosos pueden resultar en mal funcionamiento del prototipo, lo que podría requerir revisiones extensivas y reemplazos, afectando el desarrollo del proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
Justificación: existe siempre la posibilidad de recibir componentes defectuosos, especialmente si se compra a proveedores no completamente verificados.

Riesgo 5: destrucción del prototipo de hardware

- Severidad (S): 10.
Justificación: la destrucción del prototipo debido a fallos eléctricos, errores en el montaje o pruebas inadecuadas podría ser un revés significativo, deteniendo el proyecto hasta que se puedan reparar o reemplazar las piezas dañadas.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3.
Justificación: si bien no es muy probable, puede suceder en la fase de pruebas si no se toman las precauciones adecuadas o si se desconocen algunas de las limitaciones del hardware.

Riesgo 6: redefiniciones por parte del orientador durante las revisiones

- Severidad (S): 6.
Justificación: las redefiniciones pueden requerir cambios en el diseño o en los algoritmos implementados, afectando el progreso y generando retrabajos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.
Justificación: es común que durante las revisiones se sugieran mejoras o ajustes que no se habían contemplado inicialmente.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Retraso en la entrega de componentes electrónicos	6	7	42	4	3	12
Dificultades en la integración del hardware y software	8	6	48	5	4	20
Cambios en las especificaciones del prototipo	7	5	35	4	3	12
Componentes defectuosos	9	4	36	5	3	15
Destrucción del prototipo de hardware	10	3	30	-	-	-
Redefiniciones por parte del orientador	6	5	30	-	-	-

Tabla de gestión de riesgos: (el RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 30.

Riesgo 1: retraso en la entrega de componentes electrónicos

- Plan de mitigación: para minimizar el impacto de este riesgo, se implementarán las siguientes acciones:
 - Considerar proveedores alternativos para los componentes críticos, lo que asegurará la disponibilidad en caso de retrasos con el proveedor principal.
 - Mantener un pequeño stock de los componentes más críticos, de modo que se pueda continuar con el desarrollo sin interrupciones mientras se espera la llegada de nuevos pedidos.
- Severidad (S*): 4.
Justificación: considerar proveedores alternativos y mantener un pequeño stock de componentes críticos reduce la severidad de los retrasos.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3.
Justificación: planificar compras con mayor anticipación y diversificar fuentes disminuye la probabilidad de ocurrencia.

Riesgo 2: dificultades en la integración del hardware y software

- Plan de mitigación: para mitigar las dificultades en la integración, se adoptarán las siguientes medidas:
 - Dividir la integración en etapas claramente definidas y realizar pruebas incrementales después de cada fase. Esto permitirá identificar errores de manera temprana, antes de que afecten el proyecto en su conjunto.
 - Realizar una planificación detallada de la integración, que incluya tiempo específico para pruebas y revisiones técnicas, así como asegurar que el desarrollador conozca bien la documentación técnica de los componentes antes de iniciar la integración.
- Severidad (S*): 5.
Justificación: dividir la integración en etapas y realizar pruebas incrementales reduce la severidad de los problemas al identificar errores tempranamente.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 4.
Justificación: invertir tiempo en la fase de diseño y estudiar bien la documentación técnica de los componentes antes de integrarlos reduce la probabilidad de fallos.

Riesgo 3: cambios en las especificaciones del prototipo durante el desarrollo

- Plan de mitigación: para mitigar el impacto de cambios en las especificaciones durante el desarrollo, se adoptarán las siguientes medidas:
 - Establecer revisiones periódicas con el cliente o las partes interesadas para anticipar posibles cambios y ajustar el desarrollo en las fases iniciales.
 - Mantener una flexibilidad en el diseño del prototipo, de modo que se puedan implementar modificaciones sin afectar de manera significativa los plazos o los costos.
 - Documentar detalladamente los requisitos desde el inicio, creando un marco claro que reduzca la probabilidad de que se soliciten cambios importantes durante las etapas avanzadas del desarrollo.
- Severidad (S*): 4.
Justificación: la planificación de revisiones frecuentes y la flexibilidad en el diseño permiten adaptarse de manera más eficiente a los cambios, lo que reduce la severidad de su impacto en el cronograma o el presupuesto.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3.
Justificación: documentar de manera clara y detallada los requisitos desde el comienzo y mantener una comunicación fluida con el cliente durante todo el proceso disminuye la probabilidad de que surjan cambios significativos en etapas tardías.

Riesgo 4: componentes defectuosos

- Plan de mitigación: para mitigar el riesgo de recibir componentes defectuosos, se implementarán las siguientes acciones:
 - Inspeccionar y verificar la calidad de los componentes al momento de su recepción, realizando pruebas preliminares de funcionamiento antes de su integración en el sistema.
 - Comprar componentes de alta calidad siempre que sea posible dentro del presupuesto, priorizando proveedores con historial comprobado de fiabilidad.
- Severidad (S*): 5.
Justificación: inspeccionar los componentes a la llegada y realizar pruebas preliminares de funcionamiento pueden ayudar a detectar defectos antes de la integración.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3.
Justificación: comprar componentes de alta calidad a proveedores confiables reduce la probabilidad de recibir componentes defectuosos.

14. Gestión de la calidad

A continuación, se describen las acciones de verificación y validación para los requerimientos más importantes del proyecto, con el fin de asegurar su cumplimiento.

- Req #1: el prototipo debe permitir el control automático del riego, iluminación y ventilación del cultivo, garantizando que el tiempo de respuesta para cambios en el ambiente no supere los 5 segundos (1.1).

- Verificación:
 - Simulaciones de control automático: se realizarán simulaciones del sistema de control automático para verificar que las acciones de riego, iluminación y ventilación se activen correctamente y dentro del tiempo estipulado de 5 segundos.
 - Pruebas de respuesta con sensores: se conectarán los sensores a un banco de pruebas y se monitoreará el tiempo de respuesta mediante un software de captura de datos, asegurando que la reacción se produzca en menos de 5 segundos.
- Validación:
 - Demostración al cliente: se realizará una demostración en tiempo real con condiciones controladas donde el cliente pueda observar la respuesta automática del sistema frente a cambios en las variables ambientales.
 - Evaluación de rendimiento en situaciones reales: el cliente podrá validar la funcionalidad del sistema al probarlo en condiciones similares a las reales, observando la eficacia del control automático.
- Req #2: el sistema debe monitorear variables ambientales relevantes como temperatura, humedad del sustrato, nivel de la solución nutritiva, conductividad eléctrica y pH (1.2).
 - Verificación:
 - Calibración y pruebas de sensores: se realizarán calibraciones para cada sensor utilizado y se compararán las lecturas contra estándares conocidos o instrumentos de medición de alta precisión.
 - Revisión de datos en tiempo real: se comprobará que los datos se actualicen correctamente en la interfaz y se realicen mediciones precisas dentro de los rangos especificados.
 - Validación:
 - Comparación de mediciones con el cliente: se mostrarán las mediciones en tiempo real al cliente y se compararán con instrumentos externos de validación para confirmar que las lecturas coinciden y cumplen con los rangos y precisiones requeridas.
- Req #3: el usuario debe poder activar o desactivar manualmente las secuencias de riego mediante la interfaz gráfica, con un tiempo de respuesta menor a 2 segundos (1.3).
 - Verificación:
 - Pruebas de interacción de la interfaz: se realizarán pruebas de usuario para confirmar que la activación y desactivación de las secuencias de riego se realice en menos de 2 segundos.
 - Monitoreo de respuesta del sistema: se medirán los tiempos de respuesta del sistema al recibir comandos desde la interfaz para asegurar que se cumpla con el tiempo especificado.
 - Validación:
 - Demostración con el cliente: el cliente validará la rapidez de la interfaz probando las funciones de activación y desactivación en una demostración controlada.
- Req #4: el firmware debe incluir un servidor embebido para la gestión local y remota de los parámetros del sistema, con disponibilidad 24/7 (1.4).
 - Verificación:

- Pruebas de conectividad y disponibilidad: se probará el acceso al servidor embebido en diversas condiciones de red para asegurar que la gestión remota y local funcione ininterrumpidamente.
- Revisión de logs de funcionamiento: se revisarán los registros de actividad del servidor para confirmar que se mantenga operativo sin interrupciones durante las pruebas de estabilidad.
- Validación:
 - Prueba de disponibilidad con el cliente: el cliente verificará el acceso al sistema desde un dispositivo móvil, tanto localmente como de forma remota, durante un período prolongado para validar la estabilidad del servidor.
- Req #5: el usuario debe poder configurar el sistema mediante una interfaz gráfica amigable, accesible desde un dispositivo móvil (Android/iOS) a través de la red Wi-Fi, con tiempos de carga inferiores a 5 segundos (1.5).
 - Verificación:
 - Pruebas de usabilidad y tiempo de carga: se realizarán pruebas de rendimiento de la interfaz gráfica para asegurarse de que los tiempos de carga sean inferiores a 5 segundos y que la navegación sea fluida.
 - Revisión de compatibilidad móvil: se comprobará la compatibilidad de la interfaz en diversos dispositivos móviles, asegurando que se visualice correctamente y responda a los comandos del usuario.
 - Validación:
 - Test de uso por el cliente: el cliente probará la interfaz desde su propio dispositivo para validar que la configuración se realice sin problemas y que los tiempos de carga sean aceptables.
- Req #6: el producto debe permitir la programación de secuencias de riego en base a fecha, hora y duración o humedad del sustrato, con una precisión de ± 1 minuto (1.6).
 - Verificación:
 - Pruebas de programación de eventos: se programarán distintas secuencias de riego y se medirán los tiempos de ejecución con un cronómetro para confirmar que cumplen con la precisión establecida.
 - Simulación de condiciones de riego: se realizarán simulaciones donde se modifiquen las condiciones de humedad del sustrato para verificar que las secuencias programadas respondan correctamente.
 - Validación:
 - Prueba en campo por el cliente: se permitirán pruebas directas con el cliente, quien podrá configurar y activar las secuencias para verificar la exactitud y cumplimiento de los tiempos establecidos.
- Req #7: se deben realizar diagramas esquemáticos del circuito, PCB y diagramas de conexiones (2.2).
 - Verificación:
 - Revisión de diagramas: se revisarán los diagramas esquemáticos y de conexiones para asegurar que representen correctamente el diseño del sistema.
 - Comparación con el prototipo físico: se compararán los diagramas con el prototipo para validar que todas las conexiones y componentes estén correctamente documentados.

- Validación:
 - Aprobación del cliente: el cliente revisará los diagramas y confirmará que son claros, detallados y útiles para la comprensión del sistema.

Req #8: el sistema debe ser sometido a pruebas de funcionalidad completas para verificar el correcto funcionamiento de todas las características (3.1).

- Verificación:
 - Pruebas unitarias y de integración: se llevarán a cabo pruebas unitarias de cada módulo y pruebas de integración para asegurar que todas las funciones se ejecuten correctamente y sin errores.
 - Revisión de plan de pruebas: se ejecutará un plan de pruebas detallado que cubra cada funcionalidad del sistema y registre los resultados obtenidos.
- Validación:
 - Revisión del resultado de pruebas con el cliente: el cliente revisará los informes de pruebas y participará en sesiones de prueba para confirmar que todas las funciones operen como se espera.

Req #9: El firmware debe pasar por pruebas de validación de comunicación de red (HTTP o MQTT) (3.3).

- Verificación:
 - Pruebas de comunicación de red: se probarán las conexiones de red utilizando HTTP y MQTT para validar la estabilidad y velocidad de comunicación del firmware con los dispositivos conectados.
 - Monitoreo de paquetes y latencia: se analizarán los paquetes de datos transmitidos para comprobar la correcta codificación, entrega y recepción sin errores.
- Validación:
 - Validación de conexión con el cliente: el cliente podrá conectarse al sistema y comprobar que las comunicaciones se realicen sin fallos y con la rapidez adecuada.

Req #10: El hardware debe ser testeado para asegurar su resistencia y fiabilidad en ambientes urbanos interiores y exteriores (3.4).

- Verificación:
 - Pruebas de resistencia a factores ambientales: se someterá el hardware a pruebas de exposición a temperatura, humedad y vibraciones para evaluar su resistencia en condiciones extremas.
 - Revisión de especificaciones técnicas: se compararán los resultados de las pruebas con las especificaciones técnicas y los estándares de calidad para confirmar el cumplimiento.
- Validación:
 - Pruebas en condiciones reales: el cliente observará la operatividad del hardware en situaciones reales de uso, tanto en interiores como exteriores, para validar su fiabilidad.

15. Procesos de cierre

Al finalizar el proyecto, el responsable del desarrollo del prototipo llevará a cabo una reunión final de evaluación para asegurar una revisión completa del trabajo realizado. A continuación, se detallan las actividades y pautas a seguir durante esta reunión:

■ **Análisis de respeto al plan de proyecto original:**

- Se compararán los tiempos reales de ejecución con los planificados, verificando si se respetaron los plazos y cronogramas establecidos.
- Se revisará si los requisitos solicitados fueron totalmente cumplidos, considerando tanto los aspectos funcionales como las especificaciones técnicas del prototipo.
- Se evaluarán los hitos y entregables para determinar si se completaron a tiempo y dentro de los parámetros definidos.
- Se elaborará un informe de cumplimiento que documente las áreas donde hubo conformidad con el plan, y se identificarán aquellas donde se presentaron desviaciones.
- **Responsable:** el desarrollador principal será el encargado de este análisis, quien presentará los resultados en la reunión final con todos los interesados para discutir y validar la información.

■ **Identificación de técnicas y procedimientos empleados, destacando tanto aquellos que fueron más útiles como los que resultaron menos efectivos, junto con los problemas surgidos y las soluciones implementadas:**

- Se identificarán las técnicas y procedimientos que resultaron más efectivos, así como aquellos que no aportaron el valor esperado en la ejecución de cada actividad, junto con los problemas o inconvenientes surgidos durante el proyecto.
- Se documentarán las soluciones aplicadas a cada problema, estableciendo un registro detallado que permita aprender de la experiencia.
- **Responsable:** el desarrollador principal realizará esta actividad, con la colaboración del orientador o asesor técnico, en caso de que se cuente con su apoyo.
- **Procedimiento:** se dejará registro en un informe de las lecciones aprendidas, destacando qué prácticas deben repetirse y cuáles deben evitarse en futuros proyectos.

■ **Agradecimiento a los interesados y colaboradores:**

- Se aprovechará la jornada de defensas organizada por el posgrado para realizar los agradecimientos formales a todos los interesados, colaboradores y personas que hayan contribuido significativamente al proyecto.
- Se preparará un mensaje de agradecimiento que reconozca el apoyo recibido y destaque la importancia de cada colaborador en el éxito del proyecto.
- **Responsable:** el desarrollador principal se encargará de preparar y presentar el agradecimiento durante la jornada.
- **Financiamiento:** el posgrado se encargará de la organización del evento, dado que forma parte de las jornadas de defensa.