



Mejora del Sistema de Apunte Automático mediante la integración de IoT para monitoreo, control y gestión remota

Autor:

Esp. Ing. William's Ernesto Limonchi Sandoval

Director:

Mg. Ing. Juan Carlos Espinoza Guerra (Radio Observatorio de Jicamarca)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 29 de abril de 2025 y el 17 de junio de 2025.*

Contents

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>)	9
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node	12
11. Diagrama de Gantt	13
12. Presupuesto detallado del proyecto	15
13. Gestión de riesgos.	15
14. Gestión de la calidad	17
15. Procesos de cierre.	19

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	29 de abril de 2025
1	Primera versión de la planificación del trabajo final	10 de junio de 2025
2	Se realizaron correcciones gramaticales de la planificación del trabajo	21 de agosto de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 29 de abril de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Esp. Ing. William's Ernesto Limonchi Sandoval que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará "Mejora del Sistema de Apunte Automático mediante la integración de IoT para monitoreo, control y gestión remota" y consistirá en implementar una mejora en el sistema actual que posee en el Radio Observatorio de Jicamarca. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 658 horas y un costo estimado de \$300 dólares americanos, con fecha de inicio el 29 de abril de 2025 y fecha de presentación en el mes de octubre.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Dr. Danny Scipión
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Mg. Ing. Juan Carlos Espinoza Guerra
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El Radio Observatorio de Jicamarca es una instalación de investigación científica gestionada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), reconocida mundialmente por sus estudios sobre la ionósfera. El sistema de cambio de apunte automático (ABS) fue diseñado originalmente para facilitar el cambio de apuntamiento de las antenas de manera manual o remota a través de Ethernet, lo que asegura la precisión requerida para estos experimentos. Sin embargo, a medida que los sistemas de monitoreo y gestión se han vuelto más sofisticados, ha surgido la necesidad de actualizar el sistema para mejorar la trazabilidad, mantenimiento y diagnóstico de fallos.

El proyecto consiste en la mejora del sistema ABS del Radio Observatorio de Jicamarca, un sistema crítico para el control de antenas utilizadas en experimentos avanzados sobre la ionósfera terrestre. Esta mejora tiene como objetivo modernizar el sistema integrando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para permitir el monitoreo, control y gestión remota de las operaciones, lo que aumenta sus capacidades actuales y optimizando la eficiencia en el manejo de datos.

Actualmente, el sistema permite el control remoto del apuntamiento de antenas, pero carece de capacidades avanzadas para el registro de datos, diagnóstico proactivo y monitoreo ambiental, lo que puede comprometer la confiabilidad y disponibilidad del sistema. La propuesta es implementar una solución IoT que no solo mantenga las funciones básicas del sistema, sino que también integre:

- Monitoreo de variables ambientales como la temperatura para detectar condiciones adversas.
- Registro histórico de fallas y mantenimiento, mejorando la trazabilidad y análisis de fallos.
- Gestión de datos en tiempo real mediante una interfaz web multiplataforma.
- Desarrollar una placa shield personalizada para el monitoreo de temperatura.

El sistema propuesto incluye los siguientes componentes:

- Microcontrolador TIVA TM4C1294 para control central.
- Una placa shield personalizada para protección y expansión modular de sensores adicionales.
- Sensores ambientales, inicialmente de temperatura, con posibilidad de expansión.
- Servidor MQTT para comunicación eficiente y escalable.
- Base de datos local para almacenar y gestionar el historial de fallas y eventos.
- Aplicación web para acceso multiplataforma a datos y configuraciones.
- Seguridad en redes locales para garantizar acceso controlado.

El diagrama en bloques del sistema se presenta en la Figura 1, donde se destacan el módulo ABS, procesamiento de datos, la comunicación y visualización.

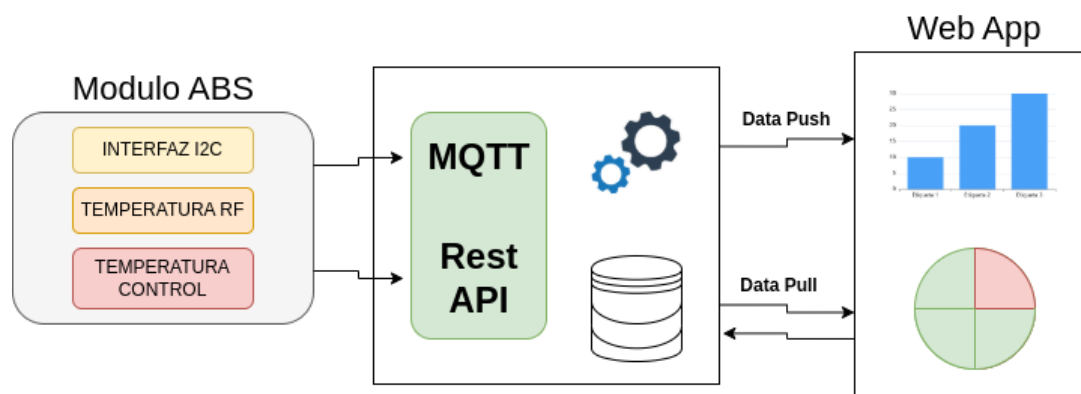


Figure 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

- Auspiciante: es riguroso y exigente con la rendición de gastos. Tener mucho cuidado con esto.
- Cliente: el Radio Observatorio de Jicamarca, interesado en el desarrollo del proyecto para implementarlo en las mejoras de los futuros experimentos a realizar.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Radio Observatorio de	-	-
Cliente	Dr. Danny Scipión	Radio Observatorio de Jicamarca - IGP	-
Responsable	Esp. Ing. William's Ernesto Limonchi Sandoval	FIUBA	Alumno
Orientador	Mg. Ing. Juan Carlos Espinoza Guerra	Radio Observatorio de Jicamarca	Director del Trabajo Final
Equipo	-	-	-
Usuario final	Personal encargado en el sistema ABS		

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar una actualización integral del Sistema de Apunte Automático (ABS) del Radio Observatorio de Jicamarca, incorporando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para mejorar su capacidad de monitoreo, control y gestión remota. Esta mejora permitirá un registro más detallado de datos operativos, diagnóstico de fallas en tiempo real y una interfaz de usuario más accesible y eficiente, optimizando así el rendimiento y la disponibilidad del sistema para las exigentes investigaciones científicas que se realizan en esta instalación.

4. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto incluye el diseño, desarrollo y despliegue de una solución IoT para mejorar el Sistema de Apunte Automático (ABS) del Radio Observatorio de Jicamarca. Específicamente, se contempla:

- La integración de un sensor de temperatura como variable inicial para monitoreo ambiental, con posibilidad de expansión para otros sensores en futuras etapas.
- El diseño y fabricación de un shield electrónico personalizado para protección y expansión modular del sistema, asegurando aislamiento eléctrico y compatibilidad con el microcontrolador TIVA TM4C1294.
- La migración del protocolo de comunicación actual hacia MQTT para mejorar la eficiencia, escalabilidad y gestión de datos.
- El desarrollo de una aplicación web multiplataforma para monitoreo y gestión del sistema, con almacenamiento local de datos históricos en contenedores Docker para mayor portabilidad y facilidad de mantenimiento.
- La implementación de medidas básicas de seguridad en red local para restringir el acceso no autorizado.
- Pruebas de funcionamiento y validación del sistema en condiciones reales en el Radio Observatorio de Jicamarca.

El presente proyecto no incluye:

- El desarrollo de aplicaciones móviles nativas para iOS o Android.
- La implementación de algoritmos de inteligencia artificial o modelos predictivos para análisis de datos.
- La integración con servicios en la nube para almacenamiento remoto o procesamiento avanzado de datos.
- El rediseño físico o estructural de sus componentes mecánicos.
- El suministro de infraestructura de red, como switches, routers o fibra óptica.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El sistema actual del Radio Observatorio de Jicamarca está en condiciones operativas adecuadas para integrar las mejoras propuestas.
- El microcontrolador TIVA TM4C1294 es compatible con el shield personalizado y los sensores adicionales que se implementarán.

- Los sensores de temperatura y otros dispositivos de monitoreo estarán disponibles y serán compatibles con el entorno de operación del sistema ABS.
- El equipo de trabajo contará con acceso a las instalaciones del observatorio para pruebas, instalación y validación del sistema.
- El protocolo MQTT es adecuado para la transmisión de datos en el entorno local del observatorio, cumpliendo con los requisitos de latencia y estabilidad.
- Se dispondrá del conocimiento técnico para diseñar e implementar las interfaces de comunicación, el shield personalizado y el sistema de almacenamiento de datos.
- Las condiciones de red local serán suficientemente estables para permitir una conectividad constante entre el microcontrolador y el servidor de datos.
- No se prevén cambios regulatorios significativos que afecten el uso de tecnologías IoT en el ámbito de las telecomunicaciones del observatorio.
- Los recursos económicos y materiales necesarios para el diseño, fabricación y pruebas del shield personalizado estarán disponibles a lo largo del proyecto.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El sistema debe permitir el monitoreo continuo de la temperatura en tiempo real. (Prioridad alta)
- 1.2. El sistema debe registrar y almacenar eventos críticos, fallas y cambios de apuntamiento en una base de datos local. (Prioridad alta)
- 1.3. El sistema debe permitir el control remoto del apuntamiento de antenas a través de una interfaz web multiplataforma. (Prioridad alta)
- 1.4. El sistema debe enviar notificaciones de fallas a dispositivos conectados en la red local. (Prioridad media)
- 1.5. La interfaz web debe ser compatible con navegadores modernos y adaptarse a dispositivos móviles. (Prioridad media)
- 1.6. El sistema debe permitir la descarga de registros históricos en formato CSV o similar para análisis externo. (Prioridad media)

2. Requerimientos de Hardware:

- 2.1. Uso de un microcontrolador TIVA TM4C1294 como núcleo del sistema. (Prioridad alta)
- 2.2. Desarrollo de un shield electrónico personalizado para protección y expansión de sensores. (Prioridad alta)
- 2.3. Incluir un sensor de temperatura compatible con el microcontrolador. (Prioridad alta)
- 2.4. Fuente de alimentación y conversión de medios (fibra a Ethernet) para garantizar conectividad estable. (Prioridad alta)

3. Requerimientos de Comunicación:

- 3.1. Implementación del protocolo MQTT para intercambio de datos entre el microcontrolador y los dispositivos conectados. (Prioridad alta)
- 3.2. Configuración de un servidor MQTT local para la gestión de mensajes y datos en red cerrada. (Prioridad alta)
- 3.3. Implementación de medidas básicas de seguridad para restringir el acceso no autorizado. (Prioridad alta)
4. Requerimientos de Software:
 - 4.1. Desarrollo de una aplicación web para gestión y visualización de datos. (Prioridad alta)
 - 4.2. Uso de contenedores Docker para facilitar la portabilidad y mantenimiento del servidor de datos. (Prioridad media)
 - 4.3. Compatibilidad con bases de datos locales para almacenamiento de históricos. (Prioridad alta)
5. Requerimientos regulatorios y normativos:
 - 5.1. Cumplimiento con las regulaciones locales de telecomunicaciones para transmisión de datos. (Prioridad alta)
 - 5.2. Asegurar que todos los componentes electrónicos cumplan con normas de seguridad eléctrica. (Prioridad alta)
 - 5.3. Cumplimiento con las normativas de protección de datos personales y privacidad en la red local. (Prioridad alta)
6. Requerimientos de documentación:
 - 6.1. El desarrollo estará acompañado por una memoria técnica. (Prioridad alta)
 - 6.2. El desarrollo estará acompañado de un informe de avance. (Prioridad alta)
7. Requerimientos opcionales:
 - 7.1. Posibilidad de integración futura con algoritmos de inteligencia artificial para análisis predictivo. (Prioridad baja)
 - 7.2. Compatibilidad para agregar sensores adicionales, como humedad, presión o vibración. (Prioridad baja)
 - 7.3. Integración con servicios en la nube para acceso remoto en futuras etapas. (Prioridad baja)

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

1. Como operador del sistema, quiero poder monitorear la temperatura en tiempo real para detectar condiciones adversas y evitar daños en los equipos.
Story points: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)
2. Como ingeniero electrónico, quiero poder registrar y visualizar el historial de fallas para diagnosticar problemas rápidamente.
Story points: 10 (complejidad: 4, dificultad: 3, incertidumbre: 3)

3. Como operador, quiero poder descargar los registros históricos para análisis detallado fuera de línea.

Story points: 7 (complejidad: 2, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

4. Como usuario del sistema, quiero acceder a la interfaz web desde cualquier dispositivo para monitorear y controlar las funciones del sistema de forma conveniente.

Story points: 9 (complejidad: 3, dificultad: 3, incertidumbre: 3)

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Manual de usuario.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Diagrama de instalación.
- Aplicación Web Multiplataforma.
- Base de datos local.
- Memoria del trabajo final.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Diseño y Planificación del Sistema (51 hs)
 - 1.1. Análisis de requisitos técnicos y funcionales. (10 hs)
 - 1.2. Diseño del shield personalizado. (15 hs)
 - 1.3. Definición de arquitectura de hardware y software. (12 hs)
 - 1.4. Selección de sensores y componentes adicionales. (6 hs)
 - 1.5. Documentación inicial del proyecto. (8 hs)
2. Diseño general del proyecto (35 hs)
 - 2.1. Realización de diagrama de bloques. (4 hs)
 - 2.2. Realización de diseño de la arquitectura del sistema. (4 hs)
 - 2.3. Obtener los componentes para el prototipo de pruebas. (12 hs)
 - 2.4. Diagrama de flujo del programa. (15 hs)
3. Desarrollo del Hardware (56 hs)
 - 3.1. Diseño del esquemático del shield personalizado. (12 hs)
 - 3.2. Diseño y fabricación del PCB del shield. (35 hs)
 - 3.3. Montaje y soldadura de componentes. (9 hs)

4. Desarrollo del Firmware (127 hs)
 - 4.1. Programación del microcontrolador TIVA TM4C1294. (25 hs)
 - 4.2. Implementación del protocolo MQTT. (22 hs)
 - 4.3. Desarrollo del código para manejo de sensores. (30 hs)
 - 4.4. Pruebas unitarias y depuración. (40 hs)
5. Desarrollo de Aplicación Web (180 hs)
 - 5.1. Diseño de la interfaz de usuario. (20 hs)
 - 5.2. Programación del backend para gestión de datos. (35 hs)
 - 5.3. Integración con base de datos local. (20 hs)
 - 5.4. Programación del frontend para desarrollo de la aplicación Web. (40 hs)
 - 5.5. Integración entre el backend y frontend. (40 hs)
 - 5.6. Pruebas de funcionalidad y ajustes finales (25 hs)
6. Pruebas y Validación del Sistema (110 hs)
 - 6.1. Pruebas de integración hardware-software. (40 hs)
 - 6.2. Pruebas de rendimiento del sistema en condiciones reales. (40 hs)
 - 6.3. Validación de comunicación y seguridad de datos. (30 hs)
7. Manuales técnicos (29 hs)
 - 7.1. Elaboración del manual de usuario. (6 hs)
 - 7.2. Documentación técnica del shield y firmware. (8 hs)
 - 7.3. Elaboración del manual para el desarrollador. (15 hs)
8. Presentación del trabajo (70 hs)
 - 8.1. Elaborar la memoria técnica del trabajo final. (40 hs)
 - 8.2. Elaborar la presentación del trabajo final. (30 hs)

Cantidad total de horas: 658 hs.

10. Diagrama de Activity On Node

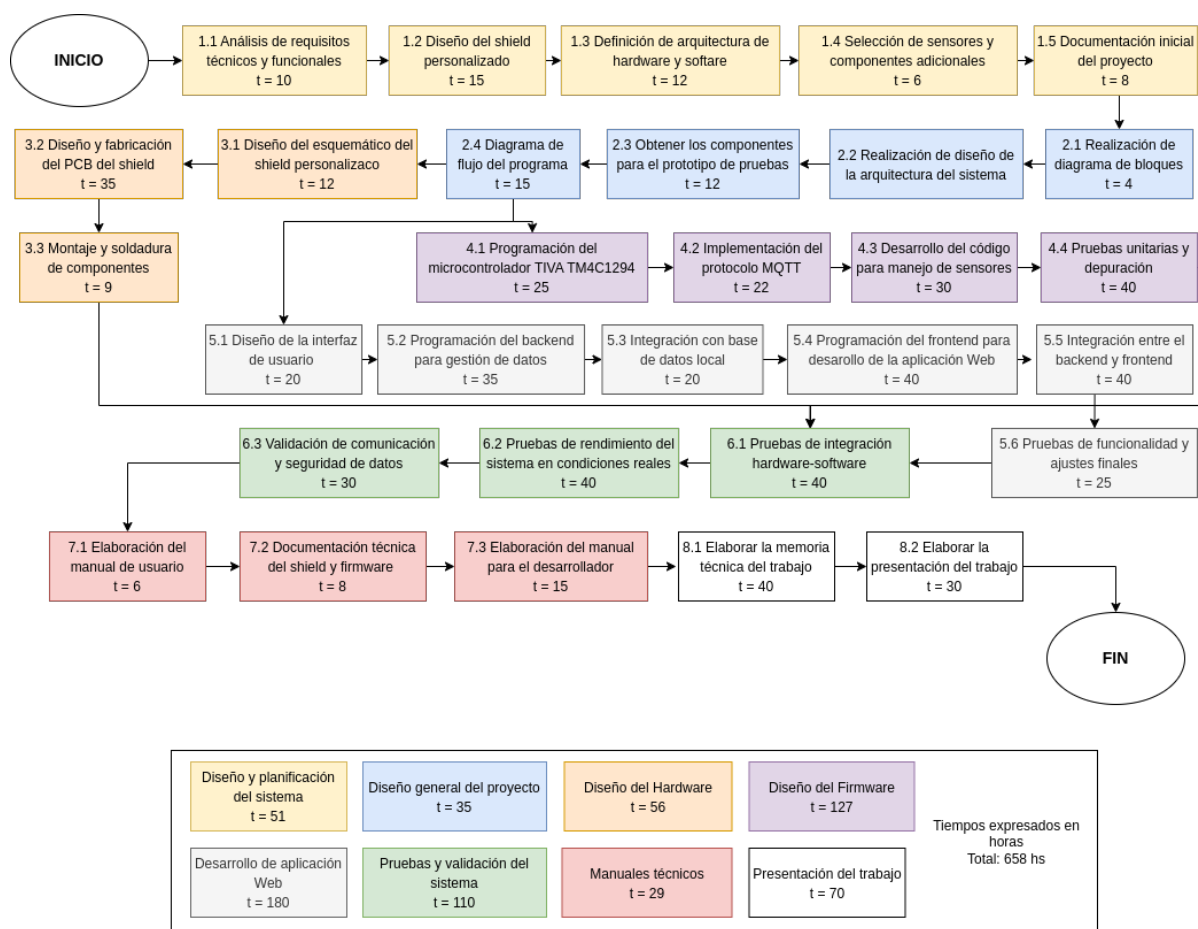


Figure 2. Diagrama en Activity on Node.

11. Diagrama de Gantt

Para el diagrama de Gantt se consideró una dedicación parcial promedio de 3 hs durante todos los días hábiles.

GANTT project		
Name	Begin date	End date
▼ Diseño y planificación del sistema	6/2/25	6/10/25
Análisis de requisitos técnicos y funcionales	6/2/25	6/4/25
Diseño de shield personalizado	6/2/25	6/5/25
Definición de arquitectura de hardware y software	6/2/25	6/6/25
Selección de sensores y componentes adicionales	6/5/25	6/6/25
Documentación inicial del proyecto	6/6/25	6/10/25
▼ Diseño general del proyecto	6/9/25	6/12/25
Realización de diagrama de bloques	6/11/25	6/11/25
Realización de diseño de la arquitectura del sistema	6/9/25	6/10/25
Obtener los componentes para el prototipo de pruebas	6/11/25	6/12/25
Diagrama de flujo del programa	6/9/25	6/12/25
▼ Diseño del Firmware	6/13/25	7/22/25
Programación del microcontrolador Tiva TM4C129A	6/13/25	6/23/25
Implementación del protocolo MQTT	6/23/25	6/27/25
Desarrollo del código para manejo de sensores	6/30/25	7/8/25
Pruebas unitarias y depuración	7/9/25	7/22/25
▼ Diseño del Hardware	6/13/25	7/1/25
Diseño del esquemático del shield personalizado	6/13/25	6/17/25
Diseño y fabricación del PCB del shield	6/18/25	6/26/25
Montaje y soldadura de componentes	6/27/25	7/1/25
▼ Desarrollo de aplicación Web	6/13/25	8/11/25
Diseño de interfaz de usuario	6/13/25	6/19/25
Programación del backend para gestión de datos	6/20/25	7/2/25
Integración con base de datos local	7/3/25	7/9/25
Programación del frontend para desarrollo de la aplicación Web	7/10/25	7/18/25
Integración entre el backend y frontend	7/21/25	8/1/25
Pruebas de funcionalidad y ajustes finales	8/4/25	8/11/25
▼ Pruebas y validación del sistema	8/12/25	9/18/25
Pruebas de integración hardware software	8/12/25	8/25/25
Pruebas de rendimiento del sistema en condiciones reales	8/26/25	9/8/25
Validación de comunicación y seguridad de datos	9/9/25	9/18/25
▼ Manuales técnicos	9/19/25	9/30/25
Elaboración del sistema manual de usuario	9/19/25	9/22/25
Documentación técnica del shield y firmware	9/23/25	9/24/25
Elaboración manual para el desarrollador	9/25/25	9/30/25
▼ Presentación del trabajo	10/1/25	10/23/25
Elaborar la memoria técnica del trabajo	10/1/25	10/14/25
Elaborar la presentación del trabajo	10/15/25	10/23/25

Figure 3. Diagrama en gantt desarrollado en Gantt Project

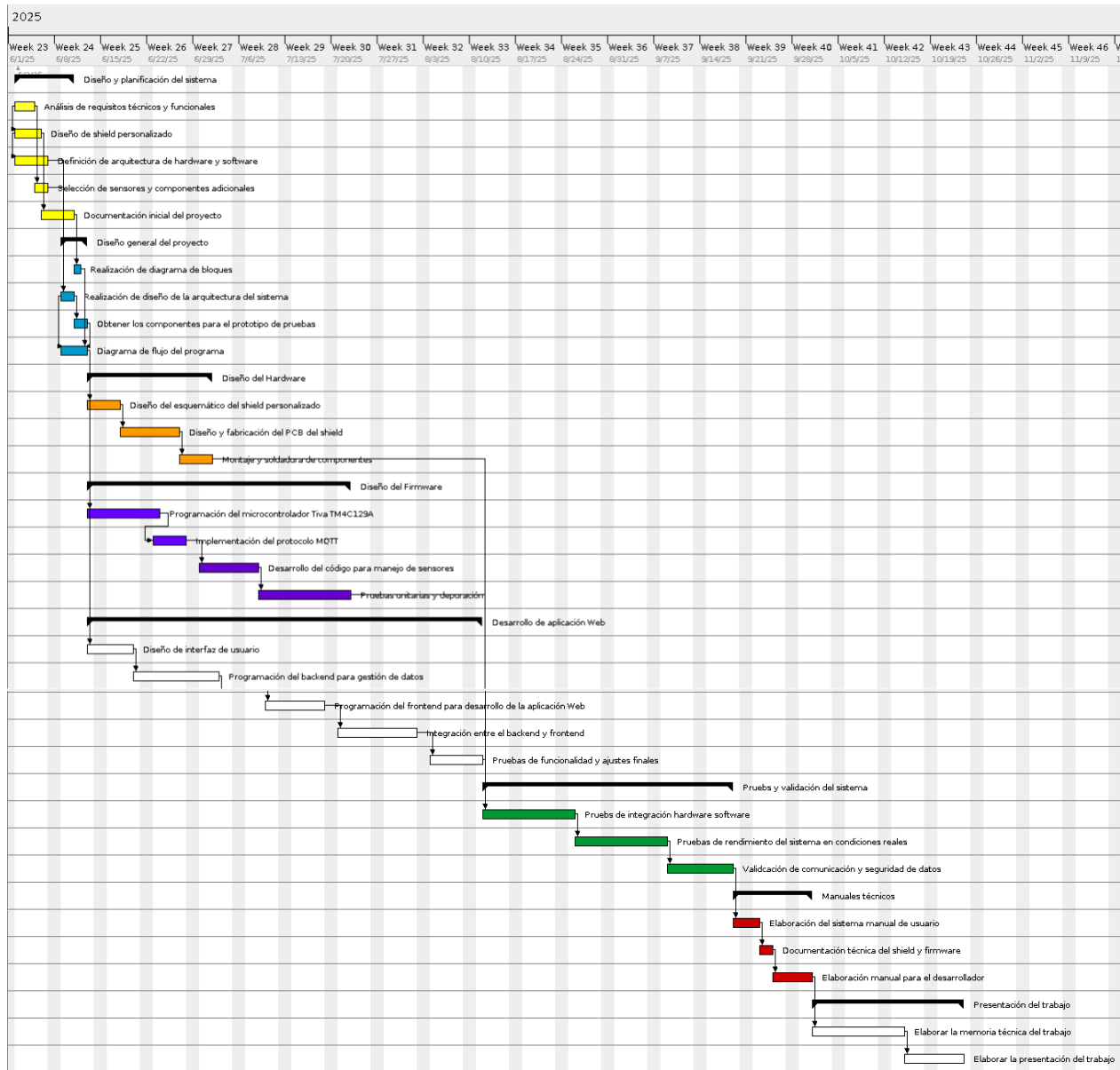


Figure 4. Diagrama en gantt desarrollado en Gantt Project

12. Presupuesto detallado del proyecto

La moneda utilizada en el presupuesto es el dólar. Siendo el tipo de cambio de 1 dólar a 1306.57 pesos argentinos en la fecha de 21 de agosto del 2025.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mano de obra	658	\$ 4.00	\$ 2632
Sensor de temperatura	3	\$ 5.00	\$ 15.00
Otros componentes	1	\$ 30.00	\$ 30.00
SUBTOTAL			\$ 2697
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
30% de costos directos	1	\$ 809.1	\$ 809.1
SUBTOTAL			\$ 809.1
TOTAL			\$ 3506.1

13. Gestión de riesgos

Riesgo 1: fallo en el microcontrolador TIVA TM4C1294.

- Severidad (S): 9.
El sistema depende completamente del microcontrolador para el control de antenas y gestión de datos, por lo que su fallo implica una pérdida crítica de funcionalidad.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3.
Los microcontroladores TIVA son altamente confiables, pero pueden fallar por sobrecargas, errores de diseño del shield o daños físicos.

Riesgo 2: interferencia en la comunicación MQTT.

- Severidad (S): 8.
Una falla en la comunicación puede dejar el sistema sin datos críticos y dificultar el monitoreo remoto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3
Las redes locales pueden experimentar interferencias o congestión, especialmente en ambientes con alta demanda de ancho de banda.

Riesgo 3: daño físico al shield personalizado.

- Severidad (S): 7.
Un daño en el shield puede comprometer la protección eléctrica del sistema y generar fallos críticos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4.
El proceso de soldadura y montaje conlleva riesgos si no se toman las precauciones adecuadas.

Riesgo 4: fallo en los sensores de temperatura.

- Severidad (S): 6.
Los datos de temperatura son importantes para evitar sobrecalentamientos y daños en los equipos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6.
Los sensores son componentes relativamente sensibles que pueden dañarse por picos de voltaje o condiciones ambientales extremas.

Riesgo 5: problemas de seguridad en la red local.

- Severidad (S): 10.
Una brecha de seguridad puede exponer información sensible y comprometer la estabilidad del sistema.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.
Aunque se planea implementar medidas básicas de seguridad, siempre existe el riesgo de ataques externos o internos.

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	9	3	27			
2	8	3	24			
3	7	4	28			
4	6	6	36	5	2	10
5	10	5	50	5	5	25

Criterio adoptado:

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

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

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 4: fallo en los sensores de temperatura.

- Plan de mitigación: Utilizar sensores de mayor calidad con certificación industrial para mayor precisión y durabilidad.
- Severidad (S): 5.
La severidad es moderada, si el sistema utiliza unos sensores certificados.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
La probabilidad de ocurrencia es baja, porque se usarán sensores que están en el inventario.

Riesgo 5: problemas de seguridad en la red local.

- Plan de mitigación: Implementar cifrado de datos en tránsito usando TLS/SSL en las comunicaciones MQTT.
- Severidad (S): 5.
La severidad es moderada, si el sistema logra cifrar la data adquirida.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.
Es poco probable, pero se utilizará servicios ya utilizados en el radio observatorio.

14. Gestión de la calidad

- Req 1.1: El sistema debe permitir el monitoreo continuo de la temperatura en tiempo real.
 - Verificación:
Se conectará el sensor de temperatura al microcontrolador y se registrará la lectura en intervalos de 1 segundo. Se utilizará un sensor patrón para comparar los valores medidos. Se revisará el código para asegurar lectura continua y estabilidad.
 - Validación:
Se presentará al cliente la interfaz web mostrando la temperatura en tiempo real, utilizando una pistola termómetro para comparar el valor en vivo con una referencia externa.
- Req 1.2: El sistema debe registrar y almacenar eventos críticos, fallas y cambios de apuntamiento en una base de datos local.
 - Verificación:
Se forzarán eventos simulados (fallas de conexión, cambio de apuntamiento) y se verificará que los datos se registren correctamente en la base de datos.
 - Validación:
El cliente accederá a la interfaz y consultará eventos registrados; validará que los eventos coincidan con las acciones que se ejecutaron durante la prueba.
- Req 1.3: El sistema debe permitir el control remoto del apuntamiento de antenas a través de una interfaz web multiplataforma.
 - Verificación:
Se probará el control remoto desde distintos dispositivos en la red local. Se inspeccionará el código del backend y las señales eléctricas enviadas a los relés de apuntamiento.
 - Validación:
El cliente controlará el sistema desde una PC y un smartphone y observará que el cambio de apuntamiento se refleja correctamente en el hardware.

- Req 1.4: El sistema debe enviar notificaciones de fallas a dispositivos conectados en la red local.
 - Verificación:
Se simularán condiciones de falla (desconexión de sensores, sobrecarga) y se verificará que los mensajes MQTT lleguen a los suscriptores configurados.
 - Validación:
El cliente recibirá notificaciones en tiempo real en su panel de usuario y confirmará que reflejan el estado del sistema.
- Req 1.5: La interfaz web debe permitir el acceso desde computadoras, tablets y smartphones.
 - Verificación:
Se probará la interfaz en múltiples dispositivos y navegadores (Chrome, Firefox, Safari) y se verificará la adaptación responsiva del diseño.
 - Validación:
El cliente probará la interfaz desde sus propios dispositivos para confirmar compatibilidad y usabilidad.
- Req 1.6: El sistema debe permitir la descarga de registros históricos en formato CSV.
 - Verificación:
Se generará un archivo CSV desde la interfaz, se verificará que contiene los campos esperados y se abrirá en Excel para comprobar estructura.
 - Validación:
El cliente descargará el archivo y lo usará para realizar un análisis básico de fallas y eventos. Confirmará que los datos están completos y claros.
- Req 2.2: El shield personalizado debe proteger y facilitar la conexión de sensores.
 - Verificación:
Se realizará una revisión de diseño del esquemático y se probarán las entradas con distintas tensiones para confirmar aislamiento.
 - Validación:
Se mostrará al cliente el funcionamiento estable del sistema durante las pruebas de campo, confirmando que los sensores funcionan correctamente sin daño al microcontrolador.
- Req 3.1: Implementación del protocolo MQTT para intercambio de datos entre el microcontrolador y los dispositivos conectados.
 - Verificación:
Se revisará el código fuente para confirmar el uso del cliente MQTT, y se capturarán paquetes con Wireshark para comprobar el protocolo.
 - Validación:
El cliente recibirá datos vía MQTT en una aplicación externa compatible (ej. MQTT Explorer), validando que la comunicación es funcional.
- Req 4.1: Desarrollo de una aplicación web para gestión y visualización de datos.
 - Verificación:
Se revisará el código fuente de la aplicación web (HTML, CSS, JavaScript, backend) para comprobar que incluye todos los módulos requeridos.

- Validación:
El cliente utilizará la aplicación web en diferentes dispositivos (PC, tablet, smart-phone) y verificará que puede acceder a las funcionalidades críticas del sistema.
- Req 4.2: Uso de contenedores Docker para facilitar la portabilidad y mantenimiento del servidor de datos.
 - Verificación:
Se examinará el archivo Dockerfile y los docker-compose.yml utilizados, asegurando que el sistema se construya correctamente en un entorno limpio.
 - Validación:
Se considerará validado si el cliente puede ejecutar el sistema sin complicaciones, accede a la interfaz y confirma que todos los servicios están operativos tras la instalación.

15. Procesos de cierre

Se contemplan las siguientes actividades una vez finalizado al cierre del proyecto:.

- Análisis de seguimiento del Plan de Proyecto original.
 - Responsable: William's Limonchi.
 - Actividad:
 - * Se comparará el cronograma real del proyecto con el cronograma inicial planificado, utilizando la documentación de seguimiento y los registros de avance por tareas.
 - * Se verificará el cumplimiento de los requerimientos definidos mediante una lista de cotejo cruzada con los entregables.
- Identificación de procedimientos útiles, problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Responsable: William's Limonchi.
 - Actividad:
 - * Se analizará el uso de las diferentes herramientas utilizadas para evaluar el impacto en el proyecto.
 - * Se presentarán los inconvenientes detectados con la solución respectiva, a fin de evitar que vuelvan a ocurrir.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados.
 - Responsable: William's Limonchi.
 - Actividad:
 - * Al finalizar el proyecto y presentar la defensa pública, se procederá a agradecer a todas las personas que han participado en el desarrollo del proyecto, jurados, compañeros, docentes y autoridades de la carrera de especialización.