



Monitoreo y control de sistemas de bombeo de agua potable de pozos profundos

Autor:

Esp. Ing. Mario Fernando Aguilar Montoya

Director:

Mg. Ing. Mauricio Barroso Benavides (FIUBA)

Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de la tecnología y la innovación entre el 22 de junio de 2024 y el 17 de agosto 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	7
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	8
8. Entregables principales del proyecto	9
9. Desglose del trabajo en tareas	9
10. Diagrama de Activity On Node.	11
11. Diagrama de Gantt	12
12. Presupuesto detallado del proyecto	13
13. Gestión de riesgos	13
14. Gestión de la calidad	15
15. Procesos de cierre	16

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	22 de junio de 2024
1	Se completa hasta el punto 9 inclusive	2 de agosto de 2024
2	Se completa el plan	12 de agosto de 2024
3	Se realizaron las correcciones del plan completo	16 de agosto de 2024

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Esp. Ing. Mario Fernando Aguilar Montoya que su Trabajo Final de la Maestría en Sistemas Embebidos se titulará “Monitoreo y control de sistemas de bombeo de agua potable de pozos profundos” y consistirá en la implementación de un prototipo de un sistema para el monitoreo y control de un sistema de bombeo de agua potable. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 655 h de trabajo y un costo estimado de 47391.5 Bs, con fecha de inicio el 22 de junio de 2024 y fecha de presentación pública el 8 de abril de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ing. Carlos Alvarado Cruz
COSAAAL RL

Mg. Ing. Mauricio Barroso Benavides
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

En los últimos años la tendencia tecnológica se ha orientado hacia la creación de dispositivos electrónicos conectados a internet, lo que permite la implementación de una amplia variedad de nuevas aplicaciones.

Cossalt RL es una cooperativa que brinda el servicio de agua potable en la ciudad de Tarija. Actualmente la cooperativa posee 50 sistemas de bombeo de agua de pozos distribuidos por toda la ciudad para suministrar agua potable a los usuarios de cada zona. La mayoría de los sistemas son manuales, esto quiere decir que se necesita un operario encargado de encender y apagar las bombas de agua en función del nivel de agua en los tanques de almacenamiento.

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de un sistema capaz de realizar lecturas de consumo eléctrico de las bombas, presión del agua en las tuberías, nivel del tanque de almacenamiento y transmisión de los datos obtenidos a una plataforma IoT mediante el uso de un módulo de comunicación GSM/GPRS. El sistema también controlará el encendido y apagado de las bombas de forma automática a partir de las lecturas de los sensores. La plataforma IoT permitirá almacenar los datos, crear paneles de visualización y controlar actuadores (bombas de agua). También se mostrarán los datos obtenidos en un display ubicado en el panel de control. En la figura 1 se puede observar el diagrama de bloques del sistema.

El proyecto permitirá al cliente disminuir el desperdicio de agua que ocurre durante el proceso de bombear agua desde los pozos profundos a los tanques de almacenamiento, también ayudará a detectar de forma temprana posibles rupturas en las tuberías. Al tener un monitoreo y control automático del encendido y apagado de las bombas se prevé una disminución del consumo eléctrico.

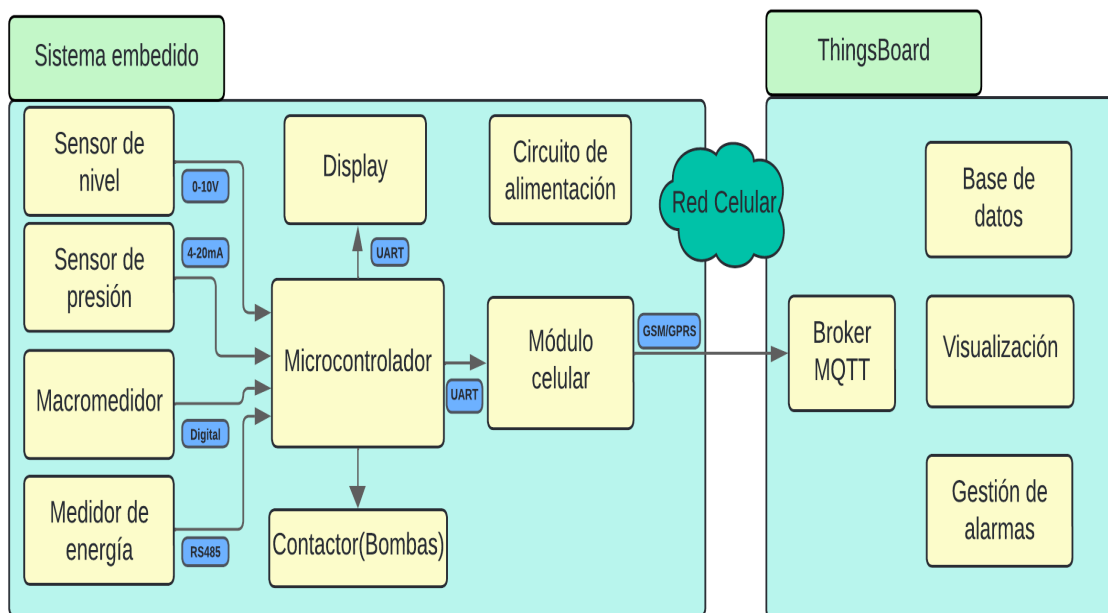


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Carlos Alvarado Cruz	COSAALT RL	Operador de sistema de bombeo
Responsable	Esp. Ing. Mario Fernando Aguilar Montoya	FIUBA	Alumno
Orientador	Mg. Ing. Mauricio Barroso Benavides	-	Director del Trabajo Final
Usuario final	Operarios	COSAALT RL	-

- Orientador: el Mg. Ing. Mauricio Barroso Benavides tiene mucha experiencia en el desarrollo de proyectos IoT, será una guía para el desarrollo del firmware y del hardware del embebido. Es exigente con los tiempos y la calidad del desarrollo del proyecto.

3. Propósito del proyecto

El propósito del proyecto es desarrollar un sistema que sea capaz de monitorear y controlar parámetros relevantes en un sistema de bombeo de agua, con la finalidad de disminuir el consumo energético de las bombas y el desperdicio de agua potable.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Diseño e implementación del PCB, esto incluye todas las etapas desde el diseño de los esquemáticos hasta el envío para la fabricación y ensamblaje, finalmente las pruebas preliminares de funcionamiento.
- Desarrollo del firmware del microcontrolador basado en un sistema operativo de tiempo real.
- Configuración de la plataforma IoT para la visualización, almacenamiento, gestión de alarmas.

El proyecto no incluye:

- Diseño y fabricación del gabinete que aloja al dispositivo.
- Manuales de instalación y de usuario del dispositivo.

5. Supuestos del proyecto

- El tiempo de fabricación y ensamblaje de los PCBs de prueba estará dentro de lo planeado.
- El tiempo de importación de los módulos y componentes estarán dentro del tiempo esperado.
- El presupuesto no superará en gran medida lo estimado.
- El tiempo disponible para trabajar en el proyecto será el adecuado para cumplir con los objetivos.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

1.1. Requerimientos de firmware

- 1) El firmware debe estar sobre un RTOS.
- 2) Se deberá llevar control de los cambios bajo el sistema de control de versiones Git.
- 3) El firmware debe poder suscribirse y publicar en tópicos de un broker MQTT.
- 4) El firmware debe comunicarse con el módulo GSM/GPRS mediante algun protocolo serial.
- 5) El firmware debe poder obtener las lecturas de los sensores.
- 6) El firmware debe poder actualizarse de forma remota.
- 7) Se deben desarrollar los drivers para los sensores.
- 8) Se debe hacer test unitarios para los drivers.

1.2. Requerimientos de hardware

- 1) El PCB debe tener un circuito de acondicionamiento para una entrada RS485.
- 2) El PCB debe tener un circuito de acondicionamiento para una entrada de 4-20 mA.
- 3) El PCB debe tener un circuito de acondicionamiento para una entrada de 0-10 V.
- 4) Debe contar con una display.

1.3. Requerimientos de la plataforma IoT

- 1) Debe mostrar los valores de los sensores.
- 2) Debe mostrar el estado de los actuadores.
- 3) Debe contar con botones para controlar los actuadores.
- 4) Debe almacenar los datos.
- 5) Debe poder establecer reglas y alarmas.

1.4. Requerimientos de documentación

- 1) Se debe presentar un informe de avance del proyecto.
- 2) Se debe presentar una memoria técnica al final del proyecto.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

El criterio para asignar los puntos a las historias de usuario es el siguiente:

- Cantidad de trabajo a realizar
 - Bajo: peso 1
 - Medio: peso 3
 - Alto: peso 5
- Complejidad del trabajo a realizar
 - Bajo: peso 1
 - Medio: peso 3
 - Alto: peso 5
- Riesgo o incertidumbre del trabajo a realizar
 - Bajo: peso 1
 - Medio: peso 3
 - Alto: peso 5

Historia de usuario 1: “Como operador quiero ver en una pantalla local las lecturas de los sensores para accionar algún actuador en base a estas lecturas”

- Dificultad: medio(3)
- Complejidad: medio(3)
- Riesgo: bajo(1)

Story point=(3+3+1)=7

Historia de usuario 2: “Como operador quiero recibir alertas cuando las lecturas de los sensores sobrepasen valores permitidos”

- Dificultad: medio(3)
- Complejidad: medio(3)
- Riesgo: alto(5)

Story point=(3+3+5)=11

Historia de usuario 3: “Como operador quiero poder visualizar la información que genera el sistema en un dashboard que pueda ser accedido mediante internet”

- Dificultad: medio(3)
- Complejidad: medio(3)
- Riesgo: bajo(1)

Story point=(3+3+1)=7

8. Entregables principales del proyecto

- Documentación en formato pdf de los esquemáticos y planos del PCB.
- Código fuente del firmware.
- Prototipo.
- Documentación del proyecto.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Documentación del proyecto (60 h)
 - 1.1. Escribir la planificación del proyecto (40 h)
 - 1.2. Especificación de requisitos del firmware (10 h)
 - 1.3. Definición de las pruebas de aceptación (10 h)
2. Búsqueda de material bibliográfico (45 h)
 - 2.1. Buscar hojas de datos de todos los componentes (15 h)
 - 2.2. Estudiar el funcionamiento de cada uno de los componentes (15 h)
 - 2.3. Investigar sobre dispositivos con funciones similares (15 h)
3. Diseño del hardware del sistema (155 h)
 - 3.1. Selección de componentes (15 h)
 - 3.2. Diseño del esquemático (60 h)
 - 1) Diseño del esquemático para el microcontrolador (40 h)
 - 2) Diseño del esquemático de los circuito de acondicionamiento para las entradas (10 h)
 - 3) Diseño del esquemático de los circuito de acondicionamiento para las salidas (10 h)
 - 3.3. Diseño de los símbolos (20 h)
 - 3.4. Diseño del PCB (60 h)
 - 1) Ubicación de los componentes en el PCB (20 h)
 - 2) Ruteo del PCB (40 h)
4. Desarrollo del firmware (175 h)
 - 4.1. Diseño de la arquitectura del firmware (25 h)
 - 4.2. Desarrollo de los drivers del firmware (70 h)
 - 1) Desarrollo del driver para el sensor de presión (20 h)
 - 2) Desarrollo del driver para el sensor de nivel (20 h)
 - 3) Desarrollo del driver para el macromedidor (10 h)
 - 4) Desarrollo del driver para el medidor de energía (20 h)
 - 4.3. Desarrollar el módulo de la aplicación (80 h)
 - 1) Creación de las tareas en el RTOS (40 h)

- 2) Creación de los recursos del RTOS (40 h)
- 5. Configuración de la plataforma IoT (70 h)
 - 5.1. Diseño de la interfaz gráfica en la plataforma IoT (40 h)
 - 5.2. Configuración de la base de datos, alarmas y reglas (30 h)
- 6. Testing (30 h)
 - 6.1. Testeo eléctrico del PCB (10 h)
 - 6.2. Testeo del firmware (10 h)
 - 6.3. Depuración del firmware (10 h)
- 7. Cierre del proyecto (120 h)
 - 7.1. Informes de avance del proyecto (20 h)
 - 7.2. Elaboración de la memoria técnica del trabajo final (80 h)
 - 1) Elaboración de la memoria hasta el capítulo 2 (40 h)
 - 2) Elaboración de la memoria del capítulo 3 al 6 (40 h)
 - 7.3. Presentación final del proyecto (20 h)

Cantidad total de horas: (655 h)

10. Diagrama de Activity On Node

Se resalta con color rojo las flechas que corresponden al camino crítico y a las que hay que prestar mayor atención para evitar retrasos. La suma del camino crítico estima un tiempo de desarrollo del proyecto de 450 h.

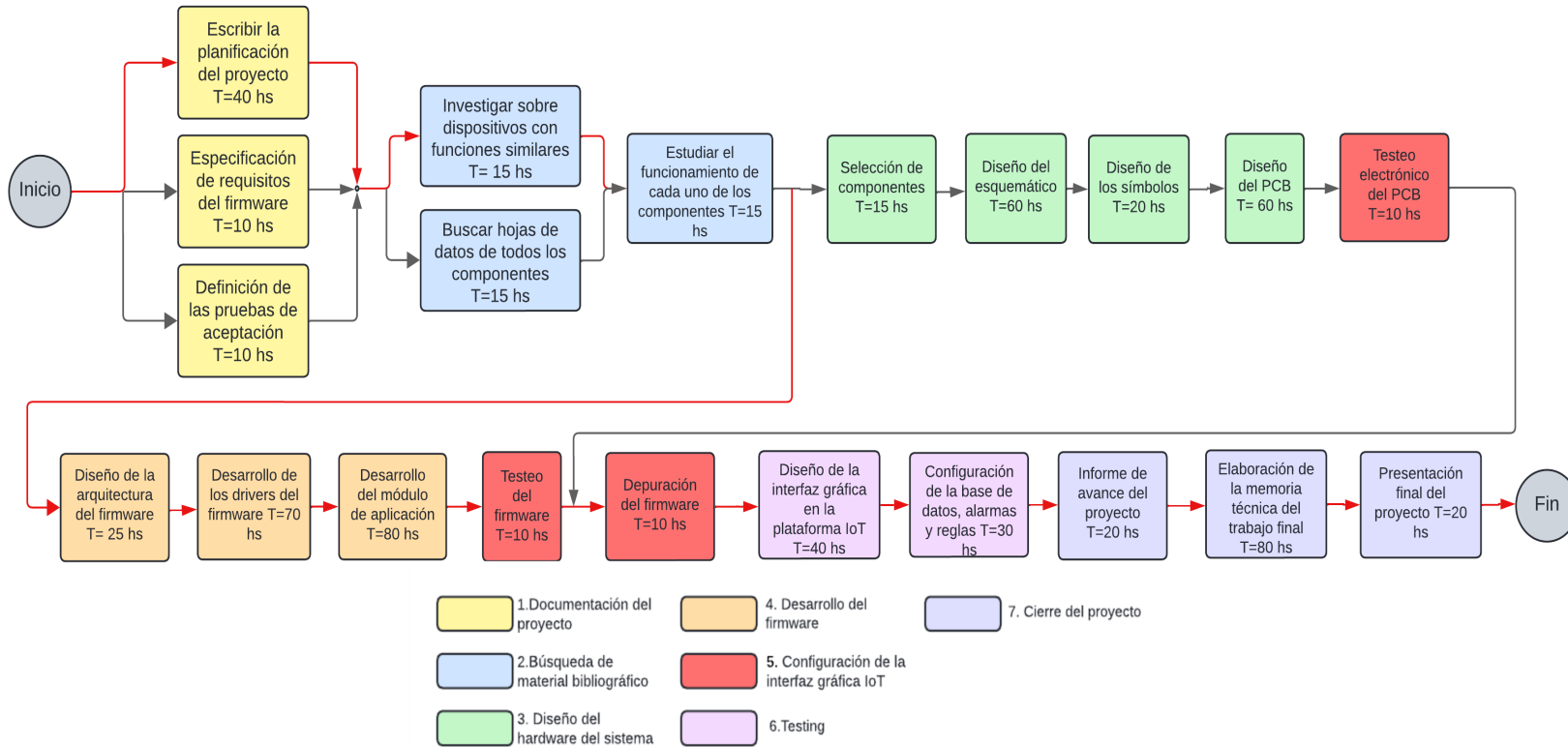


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

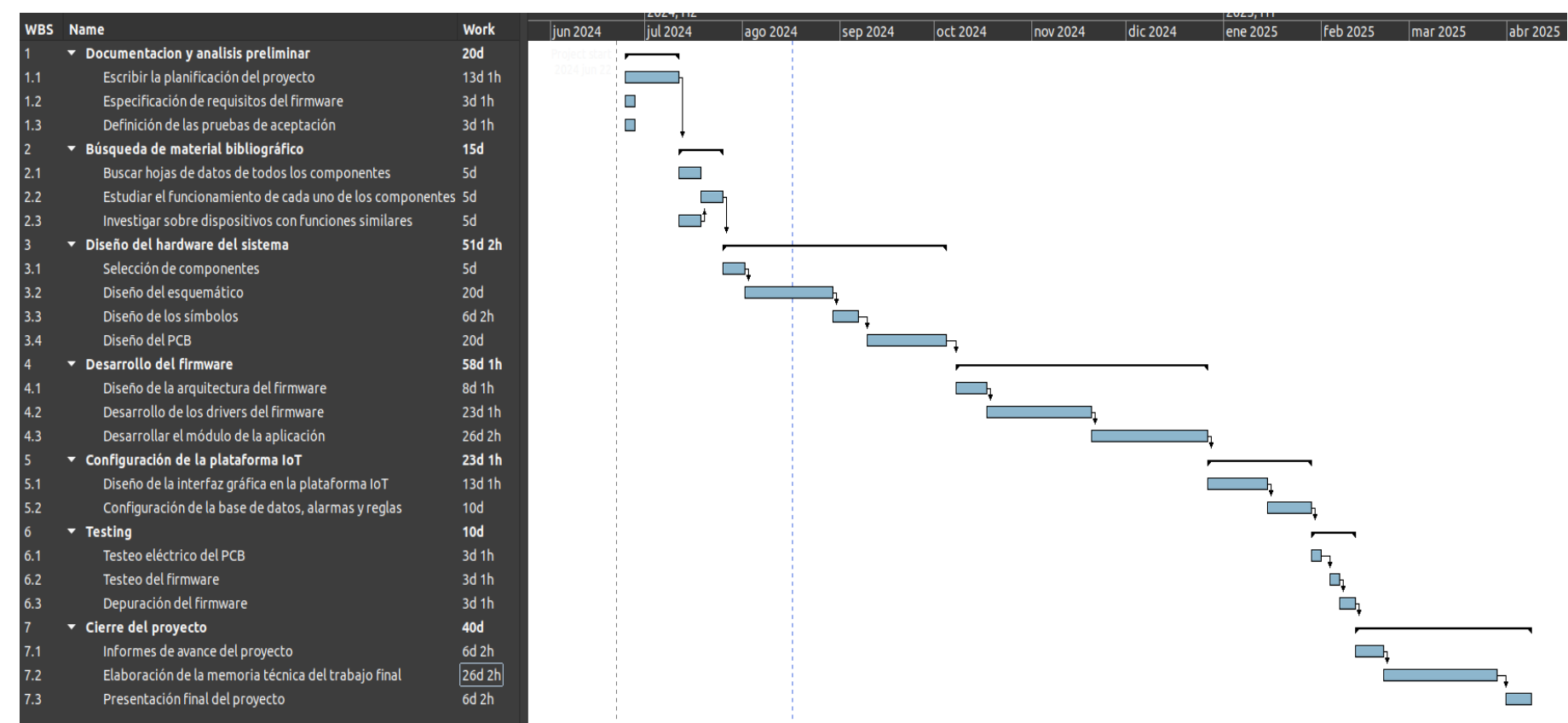


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node*.

12. Presupuesto detallado del proyecto

Los precios expresados en la siguiente tabla se encuentran en Bolivianos Bs.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tarjeta de desarrollo	1	150	150
Módulo de comunicación GSM/GPRS	1	350	350
Componentes electrónicos para el PCB	1	400	400
Fabricación y emsamblaje del PCB	5	209	1045
Pantalla nextion	1	260	260
Caja de la tarjeta PCB	1	250	250
Horas de ingeniería	680	50	34000
SUBTOTAL			36455
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
30 % de los costos directos	1	1	10936.5
SUBTOTAL			10936.5
TOTAL			47391.5

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detección de errores en el esquemático o el ruteo del PCB ya habiendo fabricado los prototipos.

- Severidad (9): se retrasa el proyecto por unas semanas hasta volver a mandar a fabricar los PCBs nuevamente, tambien el presupuesto estimado para los PCBs se duplicara.
- Probabilidad de ocurrencia (4): dada la moderada experiencia del alumno es posible que ocurra.

Riesgo 2: mala estimación de la planificación.

- Severidad (6): el proyecto sufrirá varios cambios y retrasos en la ejecución.
- Probabilidad de ocurrencia (6): el encargado del proyecto no cuenta con experiencia en planificación de proyectos IoT.

Riesgo 3: retraso en la programación del firmware.

- Severidad (7): retrasos en el proyecto debido a que el firmware es una parte fundamental en el momento de la integración e implementación del prototipo.
- Probabilidad de ocurrencia (5): el encargado del proyecto le falta experiencia con la arquitectura del microcontrolador y el uso de RTOS.

Riesgo 4: retraso en la fabricación y ensamblaje de los PCBs.

- Severidad (5): antes de mandar el PCBs se prueba el firmware en un prototipo.
- Probabilidad de ocurrencia (4): los PCBs se mandarán a fabricar y ensamblar a una empresa china.

Riesgo 5: pérdida o daño de los archivos asociados al proyecto.

- Severidad (7): al perder los archivos del proyecto se tendrá que volver reiniciar diseños.
- Probabilidad de ocurrencia (1): se llevará un control de versiones con los documentos del proyecto.

b) Tabla de gestión de riesgos:

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Detección de errores en el esquemático o el ruteo del PCB ya habiendo fabricado los prototipos	9	4	36	9	3	27
Mala estimación de la planificación	6	6	36	6	4	24
Retraso en la programación del firmware	7	5	35			
Retraso en la fabricación y ensamblaje de los PCBs	5	4	20			
Pérdida o daño de los archivos asociados al proyecto	7	1	7			

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores o iguales a 36.

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 1*: se revisará minuciosamente los esquemáticos, el ruteo del PCB, y se buscará ayuda en algún ingeniero que tenga experiencia en desarrollo de circuitos impresos en proyectos de estas características.

- Severidad (9): no cambia.
- Probabilidad de ocurrencia (3): será menor al contar con ayuda de profesionales expertos en el tema.

Riesgo 2*: se consultará con el director en el momento de realizar la planificación para ajustar los tiempos de las tareas de acuerdo a su experiencia en este tipo de proyectos.

- Severidad (6): no cambia.
- Probabilidad de ocurrencia (4): se reduce el riesgo de hacer una mala planificación.

14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimiento funcionales, se lista su respectiva validación y verificación. Las mismas llevadas a cabo por el responsable del proyecto.

- Req #1: el firmware debe estar sobre un RTOS.
 - Verificación: envío de datos por colas entre tareas.
 - Validación: mostrar el intercambio de datos entre tareas por monitor serial.
- Req #2: se deberá llevar control de los cambios bajo el sistema de control de versiones Git.
 - Verificación: utilizar una consola de comandos para mandar comandos Git en los archivos del proyecto.
 - Validación: mostrar los realeses realizados durante el proyecto.
- Req #3: el firmware debe poder suscribirse y publicar en tópicos de un broker MQTT.
 - Verificación: publicar datos a un tópico del broker MQTT.
 - Validación: visualizar los datos en la interfaz gráfica en la plataforma IoT.
- Req #4: el firmware debe comunicarse con el módulo GSM/GPRS mediante algun protocolo serial.
 - Verificación: mandar comandos AT por puerto serial y esperar la respuesta del módulo.
 - Validación: visualizar las respuesta del módulo en un monitor serial.
- Req #5: se deben realizar los drivers para los sensores.
 - Verificación: hacer un test unitario para cada driver.
 - Validación: mostrar los resultados de cobertura en GCOV.
- Req #6: el PCB debe tener un circuito de acondicionamiento para una entrada RS485.
 - Verificación: hacer la lectura del sensor conectado por RS485.
 - Validación: inspección por parte de cliente del circuito en el PCB.
- Req #7: debe contar con una display.
 - Verificación: mandar datos al display para visualizarlos.
 - Validación: mostrar lecturas de los sensores en gráficas en el display.
- Req #8: debe mostrar los valores de los sensores.
 - Verificación: mandar datos leídos de los sensores a un tópico por MQTT a la plataforma.
 - Validación: entrar a la plataforma IoT y visualizar los datos.
- Req #9: debe contar con botones para controlar la actuadores.
 - Verificación: visualizar los datos recibidos en un monitor serial al momento de presionar un botón en la plataforma IoT.

- Validación: oprimir un botón en la interfaz y visualizar la activación de un actuador.
- Req #10: requerimientos de documentación.
 - Verificación: verificar que se haya presentado el informe de avance y la memoria técnica del proyecto.
 - Validación: revisar que se cumplieran los requerimientos estipulados en el plan de proyectos.

15. Procesos de cierre

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Encargado: Ing. Mario Aguilar Montoya
 - Procedimiento: durante el proceso de cierre se evaluará si se ha cumplido los plazos de entrega y ejecución de cada tarea planteada en el Plan de Proyecto. En el caso de hallar requerimientos incumplidos y/o retrasos en las tareas se evaluarán las causa y se propondrán acciones para evitarlo en futuros proyectos.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Encargado: Ing. Mario Aguilar Montoya
 - Procedimiento: se evaluarán los procedimientos utilizados en función a su utilidad y eficiencia para alcanzar los objetivos predefinidos.
- Acto de cierre:
 - Encargado: Ing. Mario Aguilar Montoya
 - Procedimiento: se realizará la defensa pública del trabajo final ante el jurado, posterior a esto se procederá a agradecer a todos los que ayudaron a realizar el proyecto, director del trabajo, miembros del jurado y autoridades de la CESE.