



Desarrollo de hardware y firmware para un sistema de control, gestión y comunicación de luminaria pública

Autor:

Ing. Juan Manuel Guariste

Director:

Ing. Juan Manuel Cruz (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	7
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	8
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	10
8. Entregables principales del proyecto	11
9. Desglose del trabajo en tareas	11
10. Diagrama de Activity On Node.	13
11. Diagrama de Gantt	13
12. Presupuesto detallado del proyecto	16
13. Gestión de riesgos	16
14. Gestión de la calidad	17
15. Procesos de cierre	18

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

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Juan Manuel Guariste que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de hardware y firmware para un sistema de control, gestión y comunicación de luminaria pública” y consistirá en la implementación de un prototipo para el control eficiente y remoto de las luminarias, permitiendo una comunicación efectiva y robusta entre ellas y una gestión centralizada. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 634 horas y un costo estimado de USD 10993, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública en junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ing. Bernardo Martínez Sáenz
Deitres S.A.

Ing. Juan Manuel Cruz
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El proyecto está alineado con las necesidades de Deitres S.A., empresa donde el autor de este proyecto trabaja como ingeniero de desarrollo de hardware y firmware. Deitres S.A. se especializa en crear soluciones tecnológicas e innovadoras para la seguridad electrónica, domótica y la industria. Este proyecto aborda la ineficiencia en la gestión de la iluminación pública, un problema crítico en las ciudades modernas donde el control efectivo y el ahorro energético son esenciales. Muchas ciudades enfrentan dificultades para mantener un control preciso sobre sus redes de iluminación pública, lo que genera altos costos operativos, de mantenimiento y de consumo energético.

Actualmente, existen diversas soluciones para la gestión de la iluminación pública, desde sistemas básicos de encendido y apagado programado hasta tecnologías más avanzadas que permiten el control remoto y la automatización. Sin embargo, muchas de estas soluciones tienen limitaciones en términos de escalabilidad, robustez de comunicación y capacidad de integración con otras tecnologías.

La solución propuesta es el CityLight, un prototipo de luminaria inteligente que se conecta a Internet a través de Wi-Fi y redes celulares. Estos dispositivos, una vez instalados, interactúan entre sí formando una red con topología mesh en 915 MHz, utilizando un protocolo propio desarrollado por la empresa e implementado en otros de sus productos. Si un dispositivo necesita comunicar un evento o el estado de una luminaria y no cuenta con conexión a Internet, podrá utilizar esta red mesh para conectarse con otro CityLight que funcione como gateway. Esto no solo garantiza un sistema de comunicación eficiente y robusto, sino que también ofrece la ventaja de superar una eventual obsolescencia tecnológica. Por ejemplo, si en una ciudad se dismantelan las redes celulares 3G, los CityLight que utilizaban esa interfaz de conexión a Internet podrán seguir comunicando sus eventos a través de la red mesh, conectándose a otros CityLight con otras formas de conexión, como Wi-Fi. Además, si surge una nueva tecnología de conexión a Internet, como la satelital o 5G, bastará con que un solo CityLight disponga de esa interfaz para que pueda actuar como gateway para los demás nodos de la red mesh.

A continuación, se detallan las funcionalidades específicas que se implementarán en el prototipo de luminaria inteligente, CityLight:

- **Conector NEMA:** dispondrá de una interfaz física NEMA para conectarse a las luminarias, permitiendo una integración estándar con diversos sistemas de iluminación existentes.
- **Medición de intensidad lumínica ambiental mediante sensor fotosensible (fotocélula):** permitirá ajustar la iluminación en función de las condiciones de luz externa.
- **Actuación sobre la intensidad lumínica de la luminaria mediante circuito dimmer:** facilitará el ajuste de la intensidad de la luz según las necesidades.
- **Medición de consumo de corriente AC:** para monitorear el consumo energético de las luminarias.
- **Detección de presencia de tensión AC:** para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
- **Utilización de circuito adaptador de señales para control de la luminaria:** adaptará las señales de control.

- **Control de habilitación/deshabilitación de suministro de corriente a la luminaria mediante accionamiento de relé:** permitirá encender o apagar las luminarias de manera automatizada o por comandos enviados remotamente.
- **Interfaz de conexión a Internet:** el sistema podrá recibir comandos y enviar reportes a través de interfaces Wi-Fi y celular. Se le podrá consultar el estado de la luminaria y actuar sobre ella.
- **Red mesh:** implementación de la red mesh en 915 MHz que permita la comunicación entre dispositivos CityLight.
- **Geo-posicionamiento de luminarias:** utilización de GPS para la localización precisa de cada unidad.
- **Posibilidad de operar con alimentación alterna o a batería:** asegurará la operación del sistema bajo diversas condiciones de suministro energético.

En la figura 1, se presenta un diagrama en bloques del sistema propuesto en el que se observan las distintas funcionalidades a implementar.

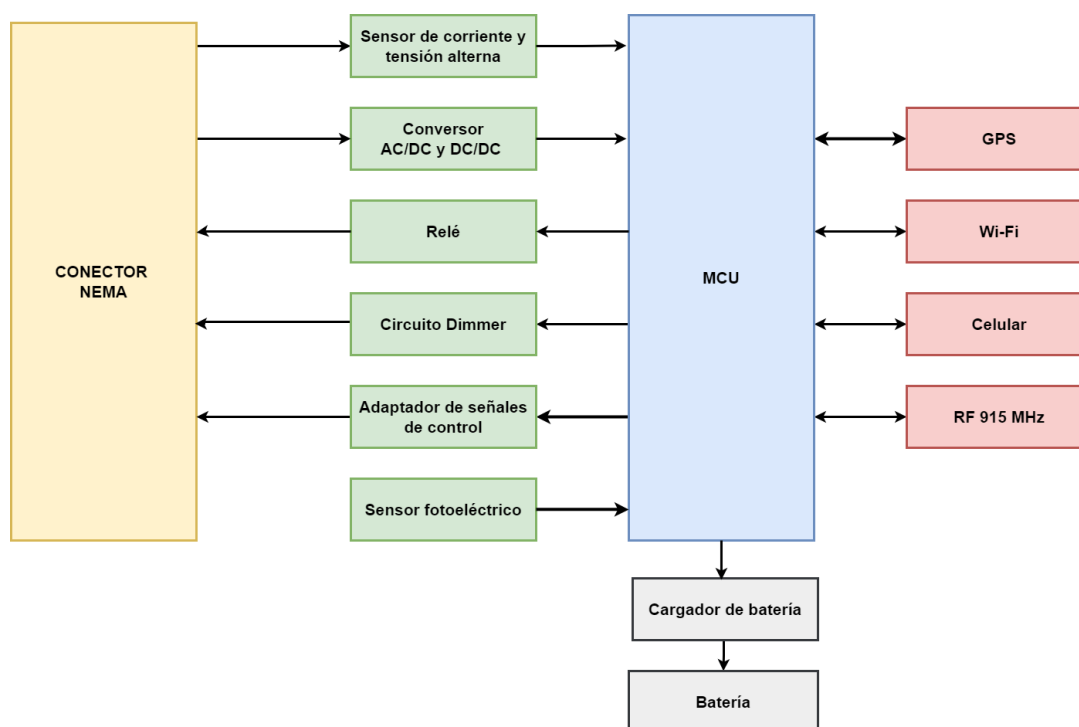


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

El cliente de este proyecto valora la aplicación de la red mesh en 915 MHz debido a su éxito en otros productos desarrollados por la empresa. La integración de esta red distingue al proyecto CityLight de otras soluciones, ofreciendo una comunicación más robusta y eficiente entre las luminarias y mejorando la escalabilidad del sistema. Este proyecto es crucial para Deitres S.A. porque permitirá expandir el uso de una tecnología ya validada y apreciada, reforzando su posición en el mercado de soluciones para la gestión de infraestructuras urbanas.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Bernardo Martínez Sáenz	Deitres S.A.	CEO de Deitres S.A.
Responsable	Ing. Juan Manuel Guariste	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Gustavo Vasoin Ing. Daniel Alejandro Ismael	Deitres S.A. Deitres S.A.	Desarrollador de firmware Desarrollador de hardware y firmware
Orientador	Ing. Juan Manuel Cruz	FIUBA	Director del Trabajo Final
Usuario final	Municipalidades y empresas de infraestructura urbana	-	-

Cliente: el Ing. Bernardo Martínez Sáenz es un líder con amplia experiencia en el sector de la seguridad electrónica y la domótica. Su visión estratégica en la implementación de soluciones innovadoras será fundamental para guiar el desarrollo del proyecto CityLight.

Orientador: el Ing. Juan Manuel Cruz es un profesional de alta capacidad técnica y de gestión, con una destacada trayectoria en el ámbito de sistemas embebidos. Sus observaciones y recomendaciones serán fundamentales para el éxito del proyecto, ya que aportará no solo su experiencia técnica, sino también su visión estratégica para guiar el desarrollo y asegurar que se alcancen los objetivos propuestos.

Colaboradores: Gustavo Vasoin es un profesional con una sólida trayectoria en el desarrollo de firmware para sistemas embebidos. El Ing. Daniel Alejandro Ismael, con amplia experiencia en el diseño y desarrollo de hardware y firmware, aporta un enfoque integral en la creación de sistemas electrónicos. Ambos trabajan en la empresa para la cual se desarrolla el producto. Su experiencia y conocimientos técnicos serán fundamentales para lograr un producto de alta calidad, cumpliendo con los estándares de innovación y eficiencia que demanda el proyecto.

3. Propósito del proyecto

Mejorar la eficiencia en la gestión de la iluminación pública, reducir los costos operativos y de mantenimiento, y optimizar el consumo energético. Se busca desarrollar un sistema de luminarias inteligentes con conexión a Internet que permita un control preciso y remoto, garantizando una comunicación robusta y escalable entre las luminarias mediante una red mesh.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye el diseño de circuito impreso y desarrollo de firmware que permita:

- Conexión con el conector NEMA.
- Adquisición de señales y control de la luminaria.
- Implementar interfaces de conexión a Internet mediante Wi-Fi y red celular.
- Geolocalización mediante modulo GPS.
- Implementación de red mesh en 915 MHz.
- Integración del CityLight con el software de control y gestión existente en la empresa.

El proyecto no incluye:

- Desarrollo de nuevo software de control y gestión para los dispositivos.
- Pruebas de campo del prototipo.
- Certificación del prototipo ante organismos regulatorios nacionales y/o internacionales.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El Ing. Juan Manuel Guariste, responsable del proyecto, y el Ing. Bernardo Martínez Sáenz, cliente del proyecto, estan de acuerdo con los requerimientos y alcance planteado en este documento.
- El presupuesto necesario para el desarrollo estará a cargo de la empresa Deitres S. A.
- El Ing. Juan Manuel Guariste dispondrá eventualmente de tiempo de la jornada laboral para llevar a cabo el proyecto en el plazo especificado en el acta de constitución.
- Se conseguirán todos los componentes necesarios para el desarrollo en tiempo y forma.
- En caso de no contar con algún conocimiento específico para desarrollar el proyecto, se podrá contar con el apoyo o soporte del cuerpo docente de la especialización.

6. Requerimientos

1. Requerimientos asociados con el hardware:

- 1.1. El sistema debe contar con una interfaz física NEMA de 7 pines para conectarse y comunicarse con las luminarias de alumbrado público.
- 1.2. La implementación debe ser compatible con una carcasa genérica para luminarias. En caso de ser necesario, se debe permitir el montaje de un PCB encima de otro para optimizar el uso del espacio disponible y facilitar la integración de todos los componentes.
- 1.3. El sistema debe integrar un sensor de efecto Hall para medir el consumo de corriente AC de la luminaria conectada.
- 1.4. El sistema debe detectar la presencia de tensión AC en la luminaria utilizando un optoacoplador.
- 1.5. El sistema debe ser capaz de regular la intensidad lumínica de la luminaria a través de un circuito dimmer.
- 1.6. Debe contar con un sensor fotosensible que mida la intensidad lumínica ambiental.
- 1.7. El sistema debe utilizar un relé controlado por el microcontrolador que permita habilitar o deshabilitar el suministro de corriente a la luminaria.
- 1.8. Debe integrar un módulo Wi-Fi para la conectividad a Internet.
- 1.9. Debe integrar un módulo celular para la conectividad a Internet.
- 1.10. El sistema debe implementar un transceptor en la banda de 915 MHz para establecer y mantener la red mesh de luminarias.
- 1.11. Debe utilizar un amplificador para el transceptor de 915 MHz que permita aumentar la potencia de salida al menos 20 dBm.
- 1.12. El sistema debe incluir un módulo GPS para obtener la posición geográfica de cada luminaria y sincronizar datos como la hora y ubicación precisa.
- 1.13. Debe ser capaz de operar tanto con alimentación de la red eléctrica como a través de una batería en caso de cortes o fallos en el suministro eléctrico.
- 1.14. La conmutación entre la alimentación de la red eléctrica y la batería debe ser automática mediante circuitos analógicos, garantizando la continuidad sin intervención manual.
- 1.15. Se debe implementar un circuito de carga de batería que permita su recarga segura cuando el sistema esté conectado a la red eléctrica.
- 1.16. Se deben implementar circuitos de adaptación para medir señales con el ADC del microcontrolador de manera segura.

2. Requerimientos asociados con el firmware:

- 2.1. El firmware debe estar implementado sobre un sistema operativo de tiempo real (RTOS), asegurando el manejo eficiente de múltiples tareas críticas como control, monitoreo y comunicación.
- 2.2. Se debe implementar el protocolo de comunicación para la red mesh utilizando el transceptor de 915 MHz.
- 2.3. El sistema debe implementar la interfaz de conexión a Internet a través del módulo Wi-Fi, permitiendo al sistema enviar y recibir datos desde plataformas de gestión remota.

- 2.4. Debe implementar la interfaz de conexión a Internet a través del módulo celular, permitiendo al sistema enviar y recibir datos desde plataformas de gestión remota.
- 2.5. El firmware debe incluir la lógica de selección de conexión a Internet, priorizando la interfaz Wi-Fi cuando ambas conexiones estén disponibles, y conmutando a celular en caso de fallo.
- 2.6. En caso de no disponer conexión a Internet, el sistema debe utilizar la red mesh para comunicarse con un gateway presente en la red, que será el encargado de enviar y recibir datos hacia y desde Internet.
- 2.7. El firmware debe procesar y gestionar los datos proporcionados por el sensor fotosensible.
- 2.8. El sistema debe permitir el encendido automático de las luminarias según los niveles de luz ambiental detectados, o mediante comandos remotos.
- 2.9. Debe ser posible la actualización del firmware *over-the-air* (OTA).
- 2.10. El firmware debe controlar la intensidad lumínica de las luminarias, regulando la tensión de entrada del circuito dimmer.
- 2.11. El firmware debe procesar la información del módulo GPS para geoposicionamiento y sincronización horaria.
- 2.12. Se deben leer, procesar e informar los datos de consumo eléctrico enviados por el sensor de efecto Hall.
- 2.13. El firmware debe procesar los datos enviados por el optoacoplador para detectar la presencia o ausencia de tensión alterna en la luminaria.
- 2.14. Debe medir y reportar la tensión de la batería utilizando el ADC del microcontrolador.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

En esta sección se presentan algunas historias de usuarios valoradas en un sistema basado en la estimación de tres categorías: dificultad, complejidad y riesgo o incertidumbre asociadas a cada historia. Para determinar los *story points* de una historia de usuario, se asignaron valores a cada uno de los siguientes aspectos:

Grado	Dificultad	Complejidad	Riesgo o Incertidumbre
Bajo	1	1	2
Medio	3	5	3
Alto	5	13	5

Para calcular los *story points*, se suman los valores asignados a cada categoría y el resultado se aproxima al siguiente número de la serie de Fibonacci. Por ejemplo, si la complejidad del trabajo es media (5), la dificultad es baja (1) y la incertidumbre es alta (5), los *story points* serían 13 ($5 + 1 + 5 = 11$, que se aproxima al siguiente número de Fibonacci, que es 13).

1. “Como cliente del proyecto, quiero que el sistema CityLight permita una gestión centralizada y en tiempo real de todas las luminarias instaladas, para optimizar el mantenimiento y reducir los costos operativos, mejorando la eficiencia del servicio.”

Story points: 13 (complejidad: 5, dificultad: 5, incertidumbre: 3)

2. “Como usuario final, quiero que el sistema CityLight utilice la red mesh cuando no haya conexión a Internet, para que los eventos se comuniquen a través de un gateway, asegurando la continuidad del servicio.”

Story points: 13 (complejidad: 5, dificultad: 3, incertidumbre: 3)

3. “Como usuario final, quiero poder monitorear el consumo eléctrico y la presencia de tensión de cada luminaria, para asegurarme de que estén operando correctamente y optimizar el uso de energía.”

Story points: 8 (complejidad: 1, dificultad: 3, incertidumbre: 2)

8. Entregables principales del proyecto

- Manual de usuario.
- Esquemáticos de los circuitos electrónicos.
- Diseño del PCB.
- Archivos de fabricación del PCB.
- Prototipo funcional del CityLight.
- Código fuente del firmware.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación del proyecto (30 h)

- 1.1. Definición de especificaciones y requerimientos (4 h)
- 1.2. Definición de alcance del proyecto (2 h)
- 1.3. Revisión de viabilidad técnica (2 h)
- 1.4. Generación de diagrama de actividades (4 h)
- 1.5. Generación de diagrama de Gantt (2 h)
- 1.6. Análisis presupuestario del proyecto (2 h)
- 1.7. Definición de riesgos y contingencias (2 h)
- 1.8. Gestión de calidad (4 h)
- 1.9. Presentación y exposición del proyecto (8 h)

2. Diseño de hardware (96 h)

- 2.1. Análisis, selección y adquisición de componentes (8 h)
- 2.2. Diseño de esquemáticos (32 h)
- 2.3. Optimización del diseño del PCB para montaje en carcasa (8 h)
- 2.4. Diseño del PCB (40 h)
- 2.5. Generación de archivos de fabricación (4 h)

- 2.6. Validación, cotización y pedido de fabricación (4 h)
- 3. Validación de hardware del prototipo (20 h)
 - 3.1. Soldado de componentes que no hayan sido ensamblados por el fabricante (4 h)
 - 3.2. Limpieza, validación e inspección de conexiones del PCB (8 h)
 - 3.3. Pruebas de integridad eléctrica y aislamiento (8 h)
- 4. Desarrollo del firmware (296 h)
 - 4.1. Implementación del RTOS (8 h)
 - 4.2. Implementación del protocolo de comunicación para la red mesh (32 h)
 - 4.3. Implementación de interfaz de conexión a Internet por Wi-Fi (32 h)
 - 4.4. Implementación de interfaz de conexión a Internet por red celular (32 h)
 - 4.5. Implementación de manejador de conexiones a Internet (16 h)
 - 4.6. Implementación de la adquisición y gestión de los datos provenientes del sensor fotosensible (16 h)
 - 4.7. Implementación de la lógica de control de intensidad lumínica mediante circuito dimmer (16 h)
 - 4.8. Implementación del control del relé para habilitación/deshabilitación de la luminaria (16 h)
 - 4.9. Implementación de control del módulo GPS (32 h)
 - 4.10. Implementación de adquisición y gestión de los datos de consumo eléctrico enviados por el sensor de efecto Hall (16 h)
 - 4.11. Implementación de adquisición y gestión del dato de presencia o ausencia de tensión alterna enviado por el optoacoplador (8 h)
 - 4.12. Implementación de adquisición y gestión de la tensión de batería (8 h)
 - 4.13. Implementación de la actualización OTA del firmware (32 h)
 - 4.14. Pruebas unitarias y de integración del firmware (32 h)
- 5. **Validación del sistema** (104 h)
 - 5.1. Pruebas funcionales del sistema completo (32 h)
 - 5.2. Pruebas de comunicación y conectividad (Wi-Fi, celular, mesh) (24 h)
 - 5.3. Validación del sistema en diferentes condiciones de operación (24 h)
 - 5.4. Ajustes y optimizaciones finales (24 h)
- 6. **Documentación final** (88 h)
 - 6.1. Elaboración de manual de usuario (24 h)
 - 6.2. Elaboración de memoria técnica (32 h)
 - 6.3. Revisión de memoria técnica (16 h)
 - 6.4. Elaboración de la presentación final (16 h)

Cantidad total de horas: 634 h.

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 2 se presenta el diagrama *Activity On Node*. Se identifican cinco caminos críticos, todos resaltados con flechas rojas, que indican las actividades que determinan la duración mínima del proyecto. El tiempo total estimado para completar cualquiera de los caminos críticos es de 426 horas.

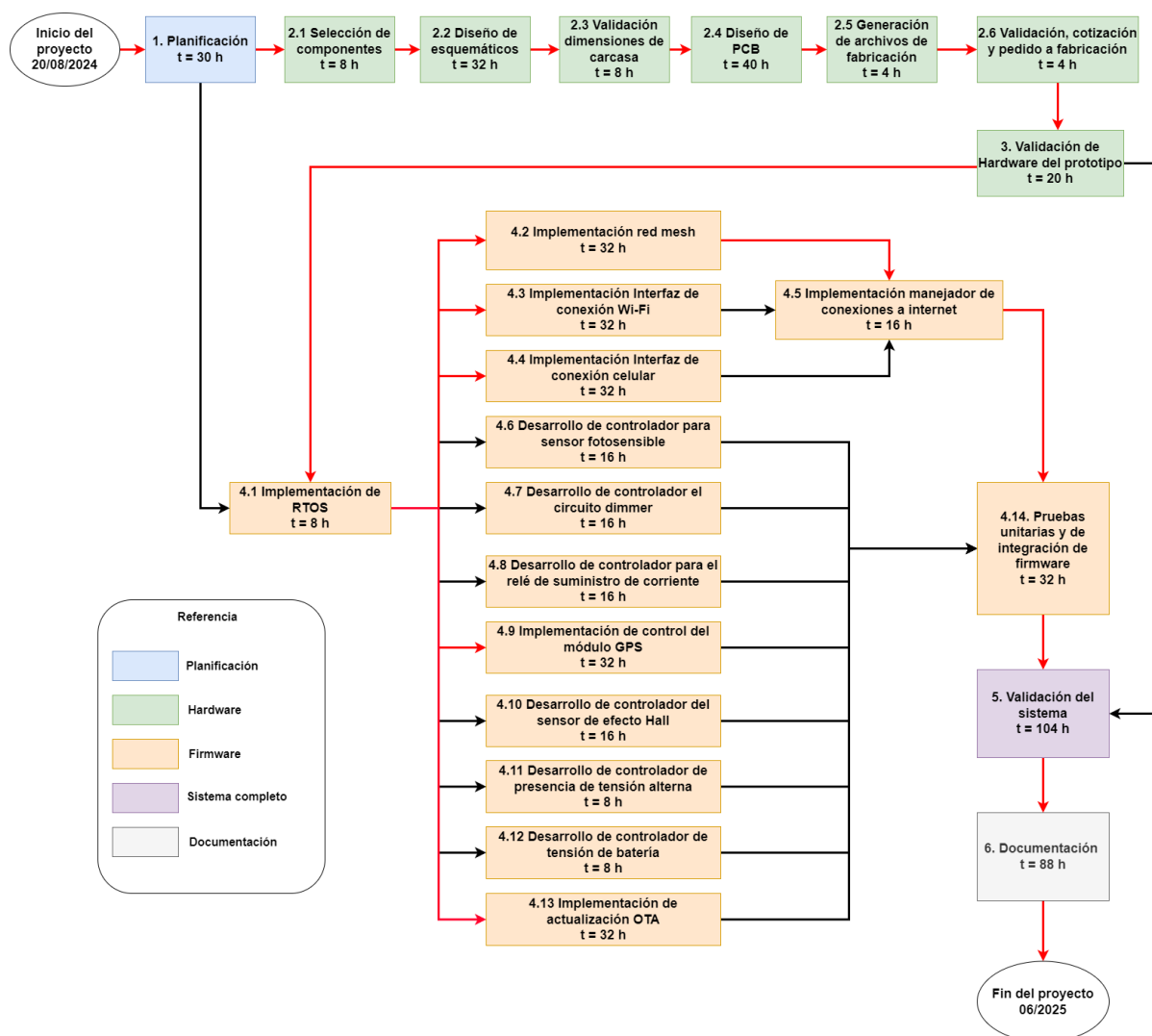


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

En las figuras 3 y 4 se muestra el diagrama de Gantt asociado al proyecto.

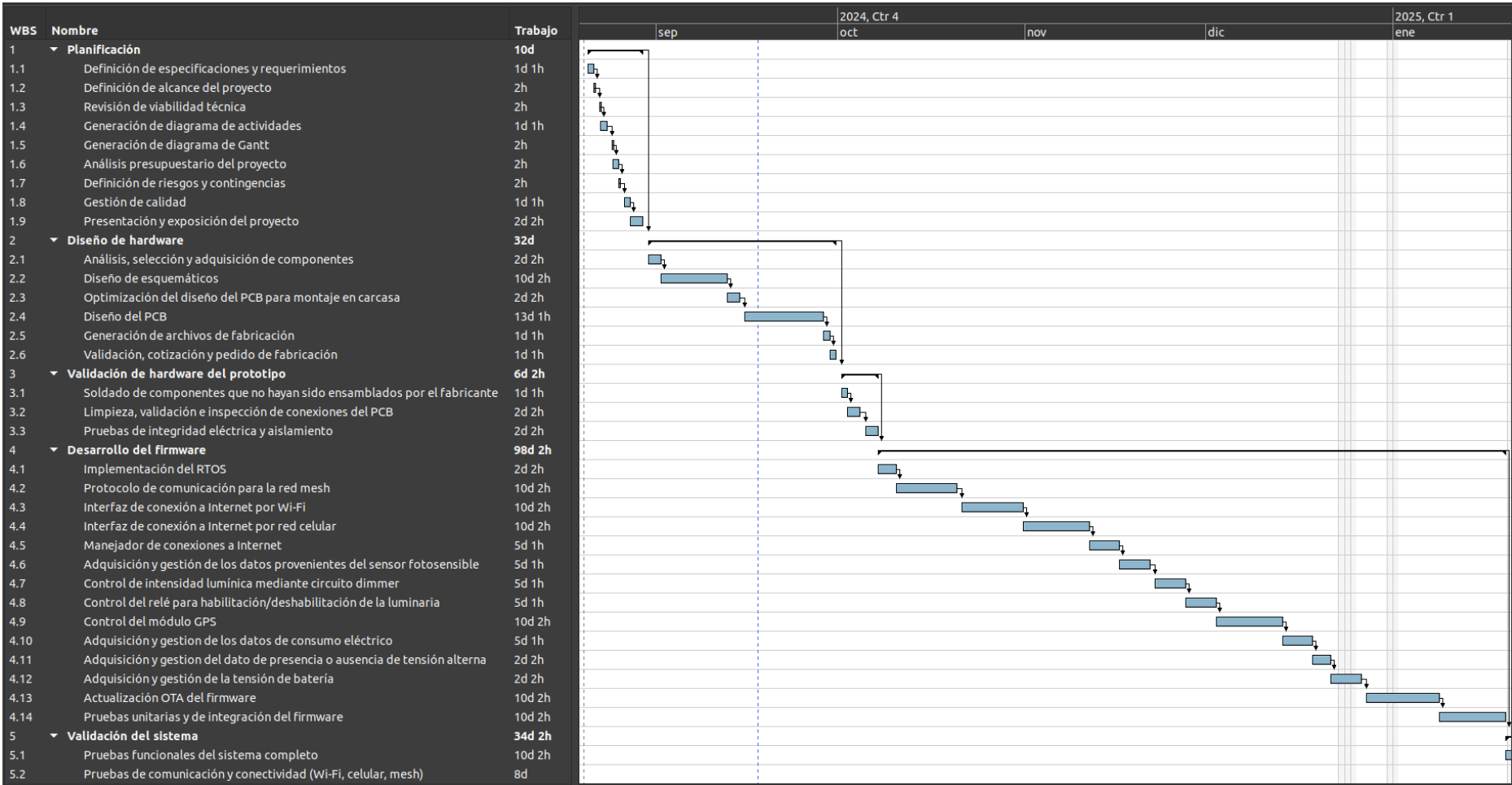


Figura 3. Diagrama de Gantt (parte 1).

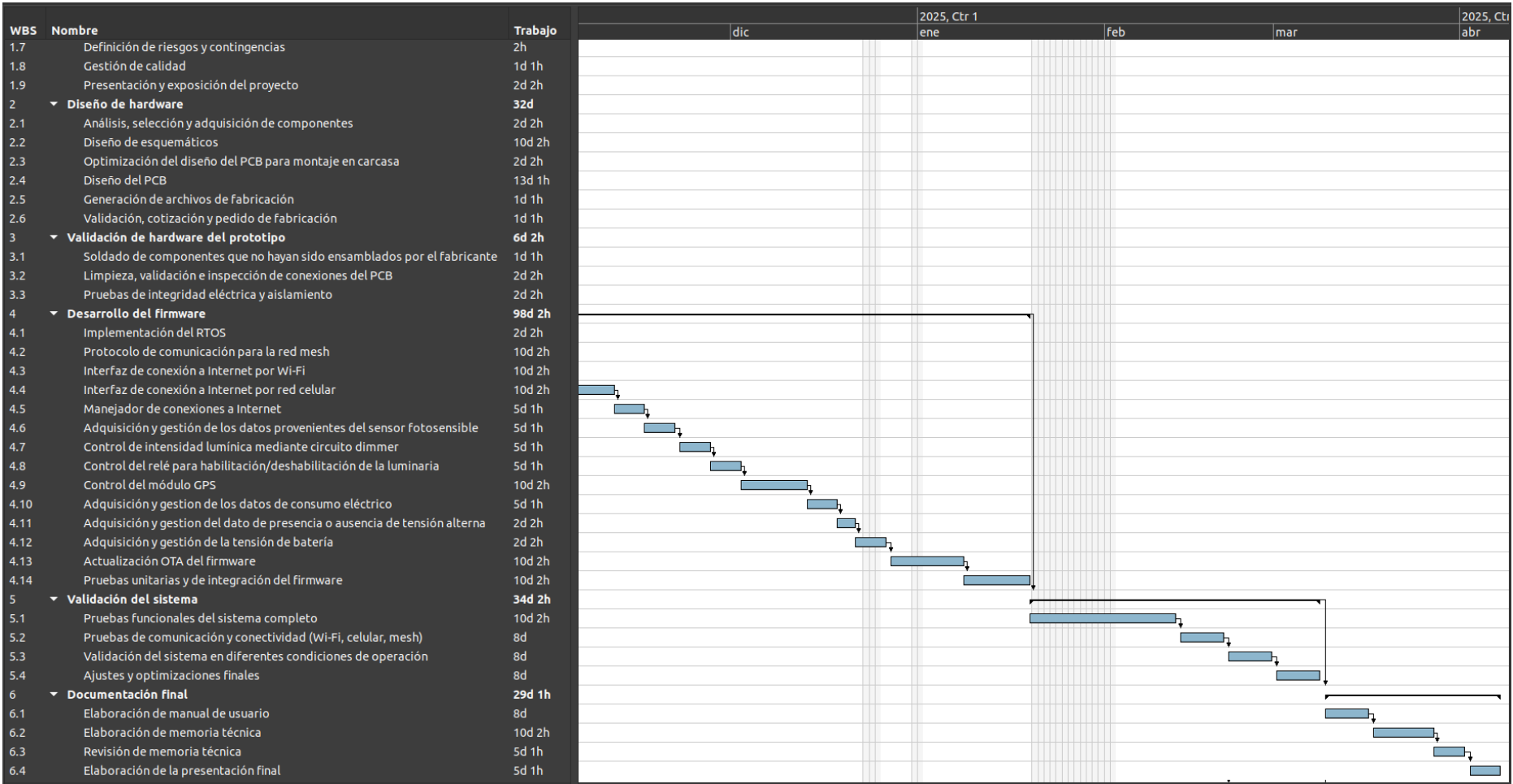


Figura 4. Diagrama de Gantt (parte 2).

12. Presupuesto detallado del proyecto

Los precios presentados en la tabla a continuación están expresados en dólares estadounidenses (USD). La cotización utilizada es de 1 dólar estadounidense equivalente a 962 pesos argentinos (ARS), según el tipo de cambio del 16 de septiembre de 2024.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Componentes electrónicos	10	100	1000
Fabricación del PCB	10	27	270
Horas de ingeniería	634	10	6340
SUBTOTAL			7610
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
30 % de los gastos directos	1	2283	2283
Impuestos de importación y aduana	1	900	900
Costos de envío	1	200	200
SUBTOTAL			3383
TOTAL			10993

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurrencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurrencia (O): Y.
Justificación...

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado:

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

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: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).
Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (S*): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O*): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento con su correspondiente número.
 - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar.
 - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar.

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc.

Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno.

En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
 - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.