



Red personalizable de sensores inalámbricos de uso agrícola

Autor:

Ing. Leonardo Agustín Muñoz Valdearenas

Director:

Mg. Ing. Osvaldo P. Ivani (FIUBA)

Codirector:

- (-)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 20 de junio de 2023 y el 15 de agosto de 2023.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	8
3. Propósito del proyecto	8
4. Alcance del proyecto	9
5. Supuestos del proyecto.	9
6. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	10
8. Entregables principales del proyecto	12
9. Desglose del trabajo en tareas	12
10. Diagrama de Activity On Node.	13
11. Diagrama de Gantt	16
12. Presupuesto detallado del proyecto	18
13. Gestión de riesgos	18
14. Gestión de la calidad	20
15. Procesos de cierre	22

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de junio de 2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	4 de julio de 2023
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	12 de julio de 2023
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	25 de julio de 2023
4	Se completan todas las secciones	3 de agosto de 2023
5	Se corrigen secciones para la entrega final	7 de agosto de 2023

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de junio de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Leonardo Agustín Muñoz Valdearenas que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Red personalizable de sensores inalámbricos de uso agrícola”, consistirá esencialmente en el desarrollo de una red de sensores distribuida para la medición de parámetros ambientales, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 625 h de trabajo y \$1.488.760, con fecha de inicio 20 de junio de 2023 y fecha de presentación pública abril de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Nicolas Manuel Muñoz
Viña Las Perdices

Mg. Ing. Osvaldo P. Ivani
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

En la actualidad, se observa una tendencia en alza hacia el monitoreo de parámetros en los procesos productivos en general. El propósito de esta práctica es incrementar los rendimientos, reducir el consumo de recursos y optimizar los resultados obtenidos. Esto puede extrapolarse al sector agrícola, donde la medición de parámetros involucrados en el desarrollo del fruto, tales como temperatura y humedad del suelo, ayuda a mejorar la calidad del producto final obtenido. Las principales ventajas del monitoreo y control de cultivos mediante este tipo de técnicas son:

- Ahorro de agua de riego.
- Prevención de enfermedades.
- Detección de fallencias en el sistema de riego.
- Identificación de zonas dañadas por heladas.
- Uso eficiente de agroquímicos.

Para la medición de los parámetros que el cliente requiera, se deben distribuir sensores con su correspondiente microcontrolador y sistema de energía autónomo, usualmente basado en energía solar. Una vez los sensores fueron distribuidos, la recolección de datos se puede realizar de dos diferentes maneras en términos generales:

- Recolección manual: en este esquema los nodos sensores registran las mediciones en una memoria interna y el usuario debe extraer dichas mediciones periódicamente de manera manual. Si bien es una solución sencilla y de bajo costo, su desventaja principal es su imposibilidad de uso en ubicaciones remotas de difícil acceso.
- Recolección mediante punto de acceso: otra manera de obtener las mediciones de los sensores distribuidos es mediante una conexión a internet a través de un punto de acceso (o usualmente llamado gateway), de esta manera los datos son accesibles para el usuario de manera remota por medio de una base de datos. Este concepto de utilizar un punto de acceso a internet es lo que hoy se conoce como internet de las cosas (IoT de sus siglas en inglés). Es evidente que un esquema de este estilo mejora de manera significativa la experiencia de usuario de acceso a los datos, aunque implica una mayor complejidad por la necesidad de mantener activo un enlace de comunicaciones y eventualmente requerir algún mantenimiento.

En este proyecto se propone la utilización del segundo esquema de recolección de datos planteado previamente, aunque reemplazando el acceso a internet de un único sensor por una red de sensores inalámbrica (WSN de sus siglas en inglés Wireless Sensor Network) con único punto de acceso a internet como puede observarse a continuación en la figura 1.

La implementación WSN se ha visto disminuida en costos, principalmente por los avances tecnológicos en lo que respecta a capacidad de integración y disminución de consumo, permitiendo la llegada a un mercado masivo.

El propósito del desarrollo de una WSN como plataforma en sí, es permitir al cliente en particular elegir los parámetros que desea medir en sus cultivos y así dar una mayor personalización en

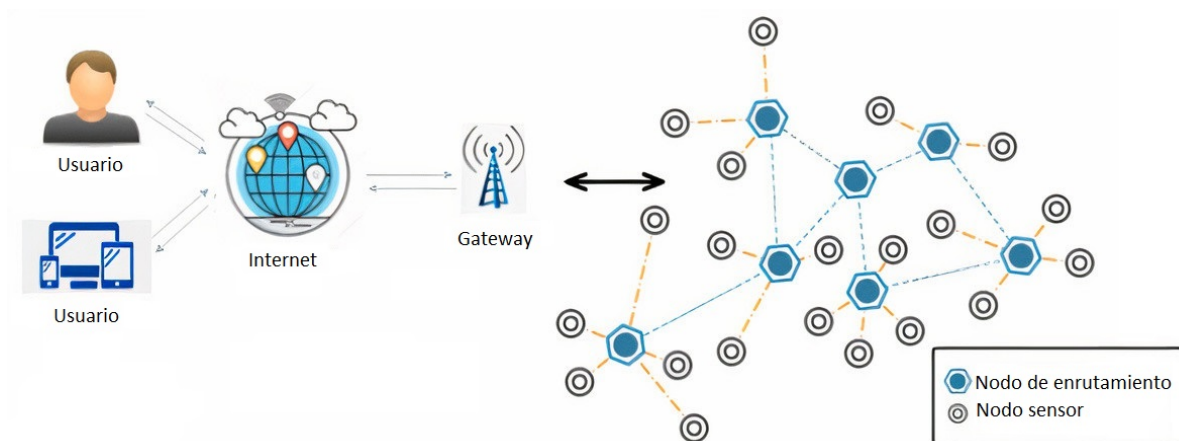


Figura 1. Arquitectura de una WSN.

la solución, por ejemplo, si se deseara medir el valor de pH de una zona en particular con un sensor que el cliente requiera, este podría adaptarse de manera casi transparente para la red. Además, permite una generalización en el diseño ya que se parte de una base común que abarca la implementación de la red y los protocolos, permitiendo una fácil adaptación a los requerimientos de cada cliente.

Bajo este esquema, el proyecto requerirá del desarrollo de tres módulos principales como se observa en la figura 2 y la función de cada uno de estos se lista a continuación:

- **Nodo con punto de acceso o gateway:** es el nodo encargado de la recepción de los datos de toda la red (siguiendo un esquema de red mesh), y enviarlos a internet para que estén disponibles para el usuario. Además almacenará los datos de manera local en caso de que hubiese una falla con el enlace.
- **Nodo de enrutamiento:** su función es coleccionar de los datos de los nodos sensores que este tenga conectados y redireccionar mensajes de otros nodos de enrutamiento dentro de la red, para que los mismos puedan llegar al nodo con punto de acceso.
- **Nodo sensor:** es el nodo encargado de la adquisición periódica de los datos del sensor que este tenga conectado y su envío hacia el nodo de enrutamiento más cercano.

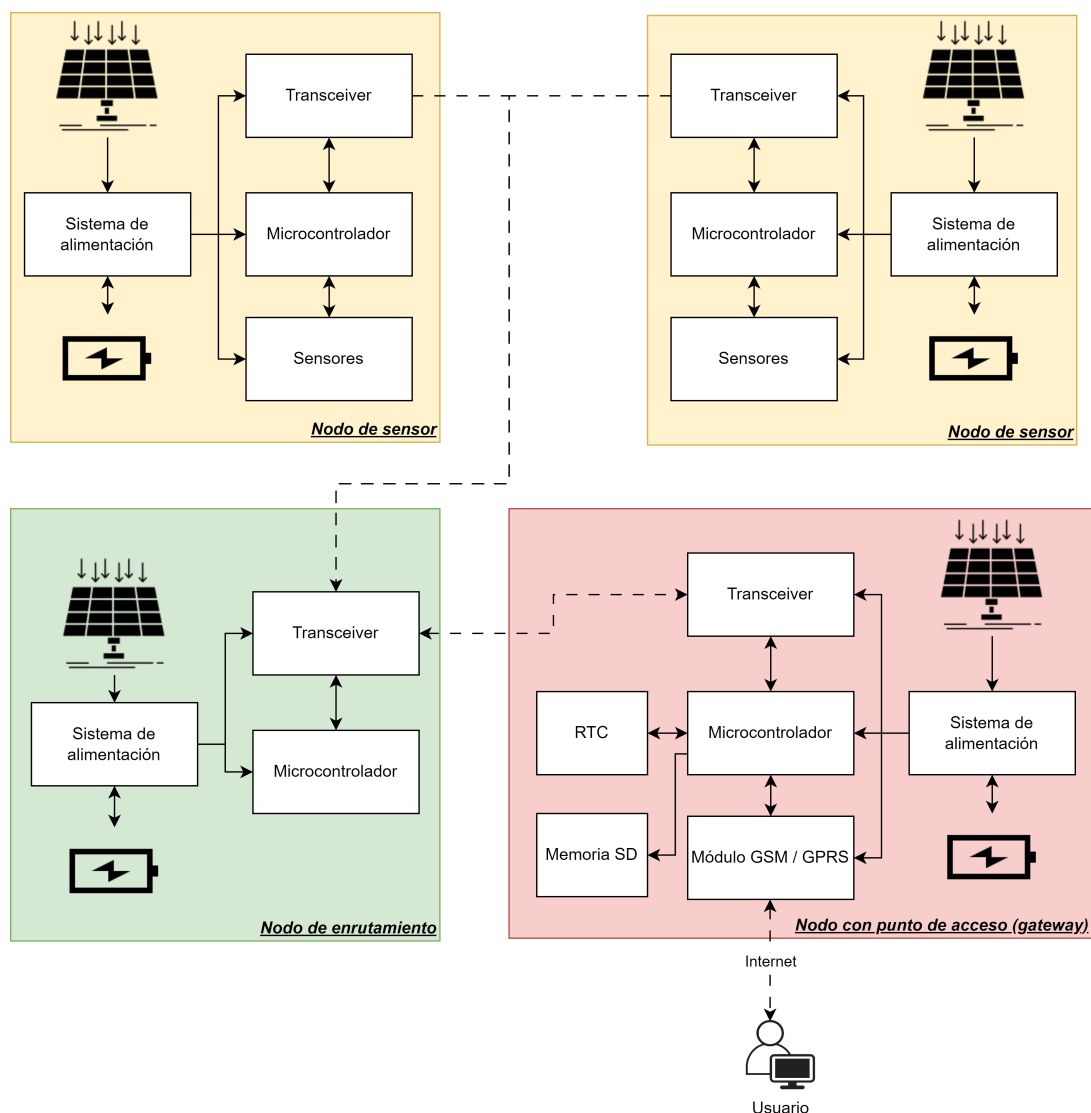


Figura 2. Diagrama general de la red WSN propuesta.

En la actualidad existen diferentes tecnologías para el transceiver que se encuentra dentro de los módulos mencionados previamente. Estas se diferencian principalmente en lo que refiere a consumo, tasa de datos, cantidad de dispositivos que admite, distancia máxima de comunicación y el costo final por nodo de comunicación. Las más utilizadas se listan a continuación:

- Bluetooth de bajo consumo.
- LoraWAN.
- Narrow Band IoT.
- Sigfox.
- 6LoWPAN.
- Wi-Fi.
- Zigbee.

Es importante aclarar que la definición del tipo de transceiver utilizado en el presente proyecto se realizará durante el desarrollo del proyecto. A modo de análisis preliminar, debe optarse por una opción que priorice el bajo consumo por sobre una alta tasa de datos ya que en aplicaciones agrícolas los parámetros a analizar son en general de variación lenta. Además, se prevé una distancia entre nodos sensores del orden de decenas de metros en lugar de kilómetros, por lo que una tecnología de gran alcance no resulta algo prioritario.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Nicolas Manuel Muñoz	Viña Las Perdices	Apoderado
Responsable	Ing. Leonardo Agustín Muñoz Valdearenas	FIUBA	Alumno
Orientador	Mg. Ing. Osvaldo P. Ivani	FIUBA	Director Trabajo final
Usuario final	Ing. Christian Ciaglo	Viña Las Perdices	Ing. Agrónomo

Las características principales de cada uno de los interesados listados previamente son:

- Nicolas Manuel Muñoz: persona entusiasta, fomenta la inversión en nuevas tecnologías dentro de su empresa pero siempre que se demuestre fehacientemente que la inversión será rentable. Como cualquier persona con un cargo gerencial, dispone de poco tiempo por lo que los resultados deben ser concisos y comprobables.
- Director : aún sin definir.
- Ing. Christian Ciaglo : ingeniero agrónomo a cargo del cuidado del viñedo de la bodega, actualmente tiene instalados sensores del estilo de recolección manual (como se categorizó en la sección 1). Es la persona que ayudará a establecer los requerimientos de los sensores y será el principal beneficiario de los resultados del proyecto, por lo que es de gran importancia mantener una comunicación periódica durante la etapa temprana del proyecto.

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es el desarrollo de una red de sensores distribuidos de bajo costo y con gran escalabilidad, para que los productores dispongan de datos de alta resolución espacial que mejoren la toma de decisiones, aumentando así ganancias y rendimientos de sus cultivos. Esto se propone tomando como base que la mayoría de la matriz productiva Argentina depende del sector agrícola en general. A pesar de esto, un porcentaje muy pequeño de productores disponen de métricas ambientales y de salud de sus cultivos, lo cual podría incrementar el rendimiento de sus cultivos de manera significativa. Esto puede deberse a falta de interés por su conocimiento, baja oferta de soluciones en el mercado o bien porque se requiere de una gran inversión inicial.

4. Alcance del proyecto

Como se especificó en la sección 1, el proyecto requiere del desarrollo de tres módulos principales y una interfaz de usuario para la visualización e interpretación de los datos colectados. En lo que refiere a la presentación de proyecto dentro del marco de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos, no se realizará un software de visualización específico, sino que se adaptará a la utilización de algún software previamente desarrollado que cumpla los requerimientos propuestos.

Se realizará una fabricación de una cantidad de módulos limitada pero suficientes para validar el funcionamiento integral del proyecto propuesto, por lo que no se realizará un lote de producción en serie que afecte la duración del proyecto.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se toman en cuenta los siguientes supuestos que refieren al marco de desarrollo:

- Disponibilidad de componentes: si bien en este proyecto se realizará un gran esfuerzo por priorizar el uso de componentes disponibles a nivel nacional, inevitablemente habrán componentes específicos dentro del diseño que deberán ser adquiridos desde el exterior.
- Políticas macroeconómicas: se supondrá que las políticas de importación se mantendrán como lo hacen actualmente, lo cual permite el ingreso al país de pequeñas cantidades de componentes sin necesidad de presentar una excesiva cantidad de documentación legal que pueda afectar los tiempos de desarrollo del proyecto.
- Desarrollo a nivel prototipo: este proyecto solo será fabricado a nivel de prototipo sin realizar iteraciones para optimizar la producción en serie del mismo.
- Permiso de comunicaciones: para la comunicaciones dentro de la WSN se utilizará una banda no licenciada para evitar la necesidad de permisos especiales, en caso de que ocurra un cambio legal durante el desarrollo del proyecto se tomará una decisión conjunta con las autoridades del proyecto para evaluar que la alternativa no perjudique de manera significativa el desarrollo del proyecto.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

1.1. Comunicaciones.

- 1) Se debe usar una frecuencia de uso no licenciado.
- 2) En cada red debe haber solamente un único nodo gateway.
- 3) El nodo gateway debe enviar los datos a internet mediante la red celular.
- 4) Cada módulo debe tener un identificador único.
- 5) Se debe implementar un protocolo de comunicación con confirmación de recepción de paquetes.

6) Los módulos debe tener un indicador lumínico para indicar errores.

1.2. Alimentación.

- 1) Los módulos deben disponer de un panel solar.
- 2) Los módulos deben almacenar energía en una batería.
- 3) Todos los módulos deben enviar el porcentaje de batería restante de forma periódica.
- 4) La vida útil de la batería debe ser mayor a 10 años.

1.3. Datos.

- 1) Cada nodo envía una única medición por trama.
- 2) El nodo gateway debe tener una memoria auxiliar donde almacene los datos.
- 3) El nodo gateway debe colocar una estampa de tiempo a los datos.

2. Requerimientos de documentación.

- 2.1. Se debe documentar de manera clara el protocolo de comunicación.
- 2.2. Los formatos de trama deben estar claramente documentados.
- 2.3. Se deberá justificar el dimensionamiento del sistema de alimentación de cada tipo de módulo.
- 2.4. Se deberán documentar procedimientos de puesta en marcha de los módulos.
- 2.5. Se deberá realizar un informe de avance del proyecto y una memoria de trabajo final, una vez finalizado el mismo.

3. Requerimientos de testing.

- 3.1. Se deben presentar resultados de cobertura de las pruebas unitarias y de integración.
- 3.2. Se deben realizar pruebas de aceptación en presencia del cliente.
- 3.3. Se deben evidenciar los resultados obtenidos en las pruebas de sistema.

4. Requerimientos de interoperatividad.

- 4.1. Los datos enviados a internet deben tener un formato JSON, de tal forma de ser compatible con interfaces de usuario desarrolladas por terceros.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

En esta sección se enuncian las historias de usuario, cada una de ellas llevará un puntaje según 3 aspectos:

1. Dificultad: cantidad de trabajo a realizar.
2. Complejidad: complejidad de trabajo a realizar.
3. Riesgo: incertidumbre del trabajo a realizar.

Se utilizará una escala siguiendo la serie de Fibonacci, donde un número mayor implica mayor costo. Si la suma de los 3 componentes no da un número de la serie, se elegirá el valor mayor más cercano.

A continuación se muestra el puntaje que se asignará a cada item dentro de los *story points*:

1. Dificultad.

- Baja 2.
- Media 5.
- Alta 13.

2. Complejidad.

- Baja 5.
- Media 8.
- Alta 13.

3. Riesgo.

- Baja 1.
- Media 3.
- Alta 8.

Como cliente quiero que la cantidad de módulos pueda escalarse para cubrir la superficie de todo el viñedo.

- Dificultad media (5): lograr establecer numerosos enlaces de radio de baja potencia y de manera simultánea en una gran extensión no es una tarea trivial, aunque no se espera que sea de gran dificultad.
- Complejidad alta (13): requerirá la implementación de un protocolo de comunicación lo suficientemente robusto para establecer cientos de enlaces, por lo que complejizará significativamente el esquema de acceso al medio.
- Riesgo alto (8): en caso de que esto no pueda lograrse, significaría un gran fracaso en el proyecto y requeriría de un replanteamiento de hardware y de la topología de la red.

Story point: 34.

Como usuario quiero que los nodos sensores sean versátiles para poder probar diferentes sensores y poder experimentar en función de los resultados.

- Dificultad baja (2): los sensores comerciales en su mayoría utilizan interfaces de comunicación estándar, por lo que se prevé que la integración de estos sea relativamente sencilla.
- Complejidad media (8): se requerirá implementar el driver para el sensor en particular (tramas, tasa de datos, control de errores, etc.).
- Riesgo medio (3): en caso de que no pueda realizarse la adaptación directa con algún sensor específico, se espera que las horas de ingeniería para adaptarlo a la plataforma sean bajas.

Story point: 13.

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Un prototipo del nodo gateway.
- Dos prototipos del nodo de enrutamiento.
- Cuatro prototipos del nodo sensor.
- Circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Instrucciones de puesta en marcha.
- Manual de usuario.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

A continuación se presenta el desglose de trabajo en tareas con su correspondiente duración estimada:

1. Desarrollo de módulos (subtotal 405).

1.1. Enlace de comunicación (subtotal 160 h).

- 1) Implementación del protocolo dentro de la WSN (30 h).
- 2) Desarrollo del método de enrutamiento automático (30 h).
- 3) Definición del formato de tramas (15 h).
- 4) Desarrollo de la interfaz con el transceiver (40 h).
- 5) Realizar control de paquetes (25 h).
- 6) Desarrollo de la interfaz con módulo de red celular (20 h).

1.2. Alimentación (subtotal 55 h).

- 1) Estimación y verificación de consumos (10 h).
- 2) Dimensionamiento de componentes (15 h).
- 3) Selección de componentes (30 h).

1.3. Sensores (subtotal 60 h).

- 1) Selección de sensores (20 h).
- 2) Programación de drivers específicos (40 h).

1.4. Armado (subtotal 130 h).

- 1) Diseño de esquemáticos (40 h).
- 2) Armado y prueba del prototipo (20 h).
- 3) Diseño de placas (40 h).
- 4) Ensamblaje de módulos definitivos (30 h).

2. Testing (subtotal 90 h).

- 2.1. Realizar pruebas unitarias (40 h).
- 2.2. Realizar pruebas de integración (25 h).
- 2.3. Realizar pruebas de sistema (25 h).

3. Documentación (subtotal 130 h).

- 3.1. Realizar reporte de testing (30 h).
- 3.2. Redacción del manual de usuario (20 h).
- 3.3. Elaboración del informe de avance (20 h).
- 3.4. Redacción de la memoria del trabajo final (40 h).
- 3.5. Elaboración de la presentación del proyecto (20 h).

Total de horas del proyecto: 625 h.

10. Diagrama de Activity On Node

En las figuras 3 y 4 se muestra el diagrama de AoN (Activity on Node de sus siglas en inglés) del presente proyecto, siguiendo el desglose de tareas previamente definido en la sección 9. Las referencias temporales de cada una de las actividades se encuentran especificadas en horas.

Puede observarse una flecha de color rojo entre tareas, esto se usó para indicar el camino crítico del proyecto, el cual suma un total de 305 horas.

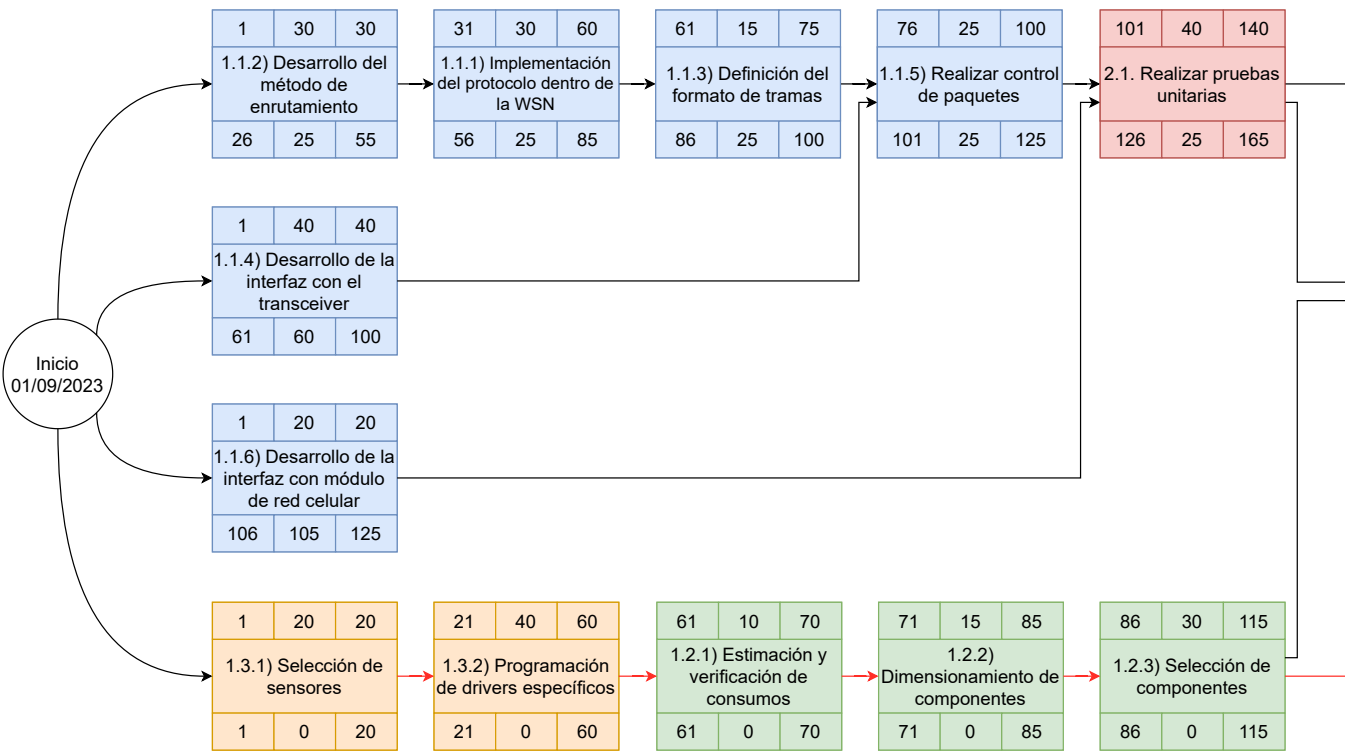


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node (a)*.

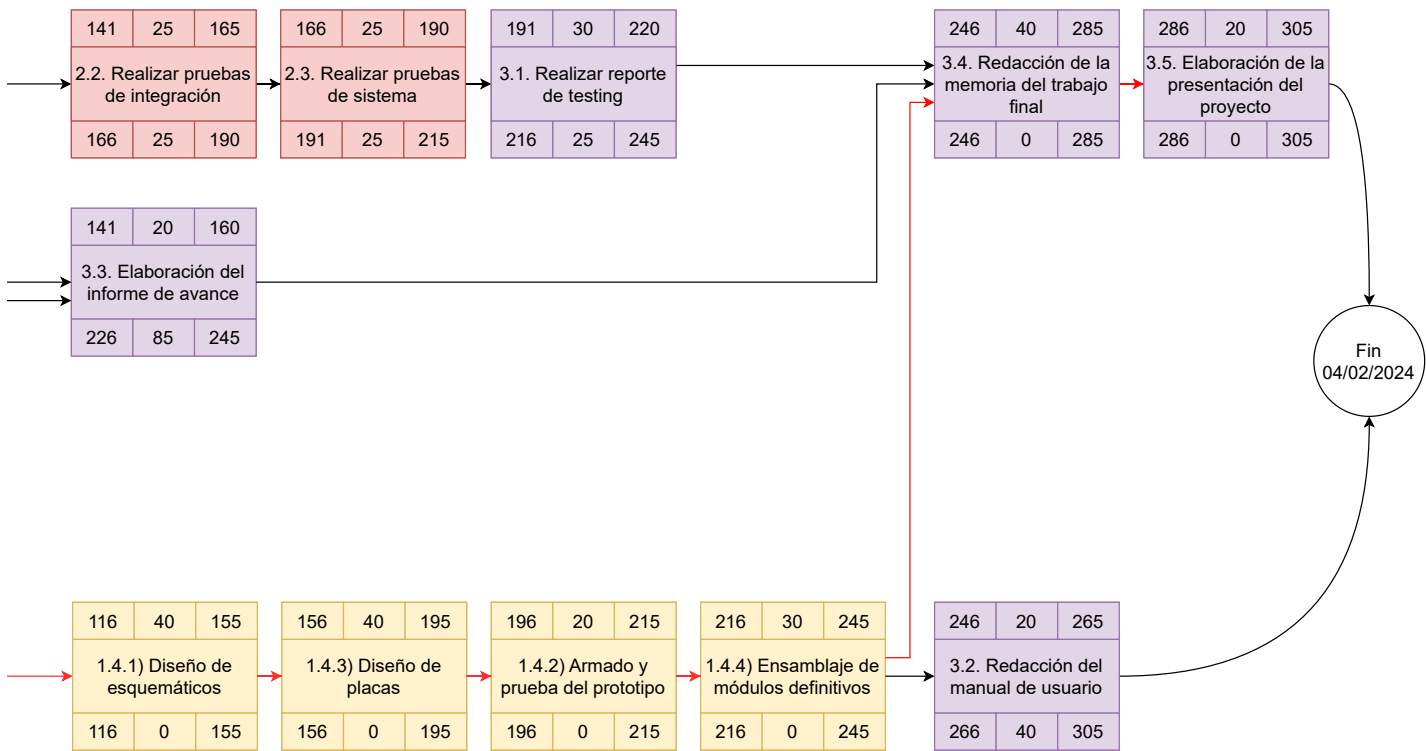


Figura 4. Diagrama de *Activity on Node* (b).

11. Diagrama de Gantt

En la figura 5, se muestra el diagrama de Gantt del presente proyecto siguiendo el desglose de tareas de la sección 9.

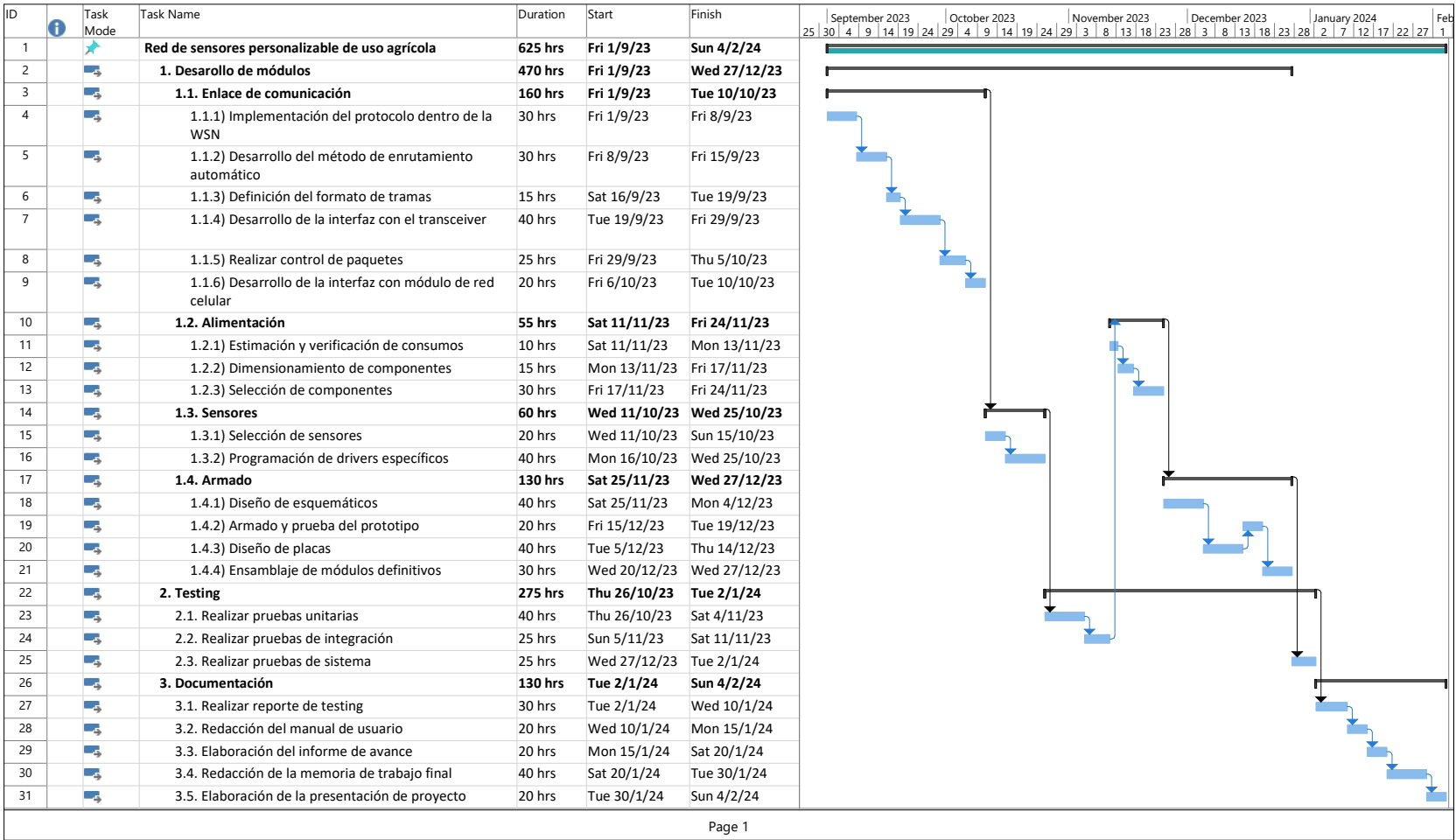


Figura 5. Diagrama de Gantt del proyecto.

12. Presupuesto detallado del proyecto

En la siguiente tabla se presenta detalladamente el valor de los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería	625	\$ 1700	\$ 1.062.500
Placa de desarrollo STM32G031	3	\$ 5.000	\$ 15.000
Microcontrolador SMT32G031	5	\$ 2.500	\$ 12.500
Transceiver de radio	5	\$ 1.500	\$ 7.500
Módulo de GSM	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Modelo de PBC final	10	\$ 500	\$ 5.000
Sensor de temperatura	2	\$ 1.000	\$ 2.000
Sensor de humedad de suelo	2	\$ 3.500	\$ 7.000
Panel solar	5	\$ 1.500	\$ 7.500
Supercapacitor	6	\$ 1.000	\$ 6.000
Batería de litio	3	\$ 3.000	\$ 9.000
Circuito de protección para batería de litio	3	\$ 400	\$ 1.200
SUBTOTAL			\$ 1.145.200
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
30 % de los costos directos	1	\$ 343.560	\$ 343.560
SUBTOTAL			343.560
TOTAL			\$ 1.488.760

13. Gestión de riesgos

a) A continuación se identifican los riesgos principales y sus consecuencias, el método para estimar su importancia consistirá en el análisis de los siguientes parámetros:

1. Severidad (S), del 1 al 10, siendo 10 el grado más alto de importancia para sus consecuencias.
2. Probabilidad de ocurrencia (O), del 1 al 10, siendo 10 el grado más alto de probabilidad de ocurrencia.
3. Nivel de prioridad de riesgo (RPN), que se calcula como el producto de los anteriores y representa un nivel relativo de importancia que permite comparar riesgos.

Riesgo 1: detección de errores en el diseño de los PCB entregables al cliente.

- Severidad (S): 4, encontrar un error en el diseño de placas implicaría un aumento en el tiempo de desarrollo y costos no previstos, aunque no es esperable que sea significativo.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2, previo al diseño de las placas entregables al cliente, se realizarán placas de prueba para validar su funcionamiento, por lo que ya habrán pruebas previas que validen el diseño.

Riesgo 2: demoras ocasionadas por aduana durante el proceso de importación de componentes.

- Severidad (S): 8, según disposiciones internas de aduana y el valor de la encomienda, el pedido puede permanecer retenido un periodo de tiempo entre semanas o hasta incluso meses.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6, en el contexto macroeconómico actual es esperable que se adopten medidas que restrinjan la importación de componentes electrónicos y afines.

Riesgo 3: destrucción o extravíos de prototipos durante pruebas.

- Severidad (S): 7, esto puede afectar los tiempos del proyecto de forma significativa.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4, a pesar de que todos los módulos estarán a la intemperie durante las pruebas, se mantendrán en un ambiente controlado.

Riesgo 4: dificultad mayor a la esperada en la implementación del protocolo de acceso al medio.

- Severidad (S): 7, esto podría aumentar el tiempo de diseño del sistema, a nivel de que si no se desarrolla correctamente, afectará en gran medida a la integridad y ocasionaría pérdida de los datos transmitidos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3, siendo que se espera que los nodos sensores generen una baja tasa de datos, no existirá gran concurrencia de datos y por ende no hay necesidad de implementar algoritmos ni protocolos de gran complejidad.

Riesgo 5: cambio significativo del costo de los componentes y materiales necesarios.

- Severidad (S): 3, en este proyecto no hay componentes de cuyo precio sea elevado, por lo que un aumento porcentual no implicaría sobrecostos importantes.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6, es altamente esperable que en el contexto económico actual incrementen los precios de componentes electrónicos, tanto a nivel local o bien la cotización del dolar para su importación.

Riesgo 6: dificultad mayor a la prevista para el establecimiento de los enlaces de radio.

- Severidad (S): 10, si no pudiese implementarse el enlace de radio el proyecto sería completamente disfuncional, por lo que es necesario asegurar el establecimiento de dicho enlace.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 6, considerando que para disminuir tiempo de desarrollo se utilizarán módulos comerciales, es posible que el modelo elegido tenga algún error de diseño que contribuya negativamente al establecimiento del enlace de radio.

b) A continuación se presenta la tabla de gestión de riesgos, con el objetivo de representar el nivel de prioridad de los riesgos listados previamente:

Criterio adoptado: se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 40.

N°	Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	Detección de errores en el diseño de los PCB entregables a cliente	4	2	8	-	-	-
2	Demoras ocasionadas por aduana durante el proceso de importación de componentes	8	6	48	8	2	16
3	Destrucción o extravíos de prototipos	7	4	28	-	-	-
4	Dificultad en la implementación del protocolo de acceso al medio	7	3	21	-	-	-
5	Cambio significativo del costo de los componentes y materiales necesarios	3	6	18	-	-	-
6	Dificultad mayor a la prevista para el establecimiento de los enlaces de radio	10	6	60	6	3	18

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

Riesgo 2: para esto se buscará minimizar la cantidad de componentes electrónicos importados, y en caso de ser necesario, tener mayor discreción con el volumen de compra para no ser retenido por aduana.

- Severidad (S*): 8, en caso de que ocurra, sería igual de severo para el proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 2, con la técnica de evasión mencionada, es esperable que la probabilidad de ocurrencia disminuya significativamente.

Riesgo 6: siendo que el enlace de radio es uno de los elementos más críticos del proyecto, se le asignará una mayor prioridad temporal al estudio de alternativas y a la validación del enlace, para así confirmar el módulo de comunicaciones utilizado. De esta forma se minimiza el proceso de reingeniería en caso de ser necesario un cambio de diseño.

- Severidad (S*): 6, la severidad se verá disminuida desde el punto de vista de que al ocurrir más temprano en el tiempo, se tiene mayor margen de maniobra.
- Probabilidad de ocurrencia (O*): 3, ya habiendo realizado un análisis detallado es menos probable que la alternativa elegida presente fallas en el enlace de radio.

14. Gestión de la calidad

A continuación se listan las verificaciones y validaciones asociadas a cada requerimiento:

- Req 1.1.2) En cada red debe haber un único nodo gateway.
 - Verificación: durante las pruebas se pondrá en marcha un único nodo gateway de manera simultánea.
 - Validación: se validará mediante inspección visual por parte del cliente.
- Req 1.1.3) El nodo gateway debe enviar los datos a internet mediante la red celular.

- Verificación: se eliminarán todas las vías de comunicación posibles, a excepción de internet, entre el nodo gateway y la computadora utilizada para la recepción de paquetes.
- Validación: se validará la recepción de datos en una computadora con conexión a internet en una ubicación distante al nodo gateway.
- Req 1.1.6) Los módulos deben tener un indicador lumínico para indicar errores.
 - Verificación: se simulará en tiempo de ejecución cada uno de los posibles errores y se verificará que el encendido del indicador se corresponda con el error simulado.
 - Validación: se demostrará al cliente el encendido de los indicadores al forzar errores sobre los prototipos en campo.
- Req 1.2.2) Los módulos deben almacenar energía en una batería.
 - Verificación: se verificarán los ciclos de carga y descarga para validar la funcionalidad de la batería.
 - Validación: se le solicitará al cliente que valide esto mediante inspección visual.
- Req 1.2.3) Todos los módulos deben enviar el porcentaje de batería restante de forma periódica.
 - Verificación: se tomarán mediciones de la tensión de la batería durante ciclos de carga y descarga con un multímetro para posteriormente compararlo con el valor enviado en las tramas de datos.
 - Validación: se le mostrará al cliente el campo de porcentaje de batería restante en los mensajes de los nodos.
- Req 1.2.4) La vida útil de la batería debe ser mayor a 10 años.
 - Verificación: se verificará la cantidad de ciclos de carga contra la hoja de datos del fabricante.
 - Validación: se le otorgará al cliente documentos del fabricante que certifiquen la cantidad de ciclos de carga de la batería utilizada en los módulos.
- Req 1.3.1) Cada nodo envía una única medición por trama.
 - Verificación: se forzarán escenarios donde ocurran mediciones simultáneas, a fin de comprobar que estas se realizan en forma individual.
 - Validación: se mostrará un panel de mediciones en tiempo real al cliente para que pueda validarlo.
- Req 1.3.2) El nodo gateway debe tener una memoria auxiliar donde almacene los datos.
 - Verificación: se verificará el correcto grabado en memoria con datos previamente conocidos.
 - Validación: se realizará una adquisición de mediciones a lo largo de un tiempo predeterminado y se presentarán los archivos al cliente.
- Req 1.3.3) El nodo gateway debe colocar una estampa de tiempo a los datos.

- Verificación: se verificará sobre un intervalo de tiempo significativo la coherencia temporal en los datos adquiridos.
 - Validación: se le indicará a cliente el campo que se corresponde con la estampa de tiempo en los paquetes recibidos.
- Req 4.1. Los datos enviados a internet deben tener un formato JSON, de tal forma de ser compatible con inferces de usuario desarrolladas por terceros.
- Verificación: se verificará el correcto formato de todas la variables que puedan ser enviadas por los nodos sensores.
 - Validación: se demostrará al cliente el formato de tramas mediante interfaces de usuario capaces de reconocer tramas JSON y validar su formato.

15. Procesos de cierre

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
1. Responsable: Leonardo Muñoz.
 2. Se revisará el cumplimiento de los requerimientos, se validará la estimación de tiempos para las tareas y se analizará si los planes de mitigación de riesgo fueron efectivos.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
1. Responsable: Leonardo Muñoz
 2. Se evaluará si las técnicas de diseño de software utilizadas fueron las efectivas y se listará cómo estas aportaron a la solución de problemas.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
1. Responsable: Leonardo Muñoz
 2. Se agradecerá formalmente a todos los colaboradores, profesores y autoridades de la especialización.