



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

Implementación de un nodo sensor LoRa para monitoreo de maquinaria

Autor:

Pablo Aguirre

Director:

Marcelo Pistarelli (UNR)

Jurados:

Nombre y Apellido (1) (pertenencia (1))

Nombre y Apellido (2) (pertenencia (2))

Nombre y Apellido (3) (pertenencia (3))

*Este trabajo fue realizado en el curso de Gestión de proyectos
entre el 22 de junio de 2020 y el 22 de agosto de 2020.*

Índice

Registros de cambios	3
Acta de constitución del proyecto.	4
Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
Identificación y análisis de los interesados.	7
1. Propósito del proyecto	7
2. Alcance del proyecto	7
3. Supuestos del proyecto.	8
4. Requerimientos	8
Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>)	9
5. Entregables principales del proyecto	9
6. Desglose del trabajo en tareas	10
7. Diagrama de Activity On Node	11
8. Diagrama de Gantt.	11
9. Matriz de uso de recursos de materiales	13
10. Presupuesto detallado del proyecto	13
11. Matriz de asignación de responsabilidades	13
12. Gestión de riesgos	13
13. Gestión de la calidad	15
14. Comunicación del proyecto	15
15. Gestión de compras	15
16. Seguimiento y control.	15
17. Procesos de cierre	16

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	10/08/2020
1.1	Creación capítulos 1-11	10/08/2020

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Pablo Aguirre que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Implementación de un nodo sensor LoRa para monitoreo de maquinaria”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un sistema de control de variables de maquinaria de producción, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 630 hs de trabajo y \$327600, con fecha de inicio 22 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 22 de abril de 2021.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Alejandro Minniti
GENROD S.A.

Marcelo Pistarelli
Director del Trabajo Final

Nombre y Apellido (1)
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (2)
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (3)
Jurado del Trabajo Final

Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El IIoT (*Industrial Internet of Things*) consiste en maquinaria conectada a Internet y en avanzadas plataformas de análisis que procesan los datos que se producen. Los dispositivos IIoT van desde diminutos sensores ambientales hasta complejos robots industriales. Si bien la palabra “industrial” puede referirse a almacenes, astilleros y fábricas, las tecnologías IIoT son muy prometedoras para una amplia gama de sectores industriales, como la agricultura, la sanidad, los servicios financieros, el comercio minorista y la publicidad.

Los sensores forman parte de una variedad de roles en la industria moderna. Además de proveer datos para el control de procesos, asisten en la evaluación de calidad, monitoreo de productos, y hasta seguridad del personal. La llegada del software analítico basado en la nube en conjunto con inteligencia artificial también permitió el uso de datos suministrados por sensores para bajar costos de producción mediante optimización y mantenimiento predictivo. Para servir estos propósitos, existe una amplia variedad de tipos de sensores disponible, con versiones nuevas y mejoradas llegando de manera continua. En la Figura 1 se muestran los principales tipos de sensores utilizados en la actualidad.

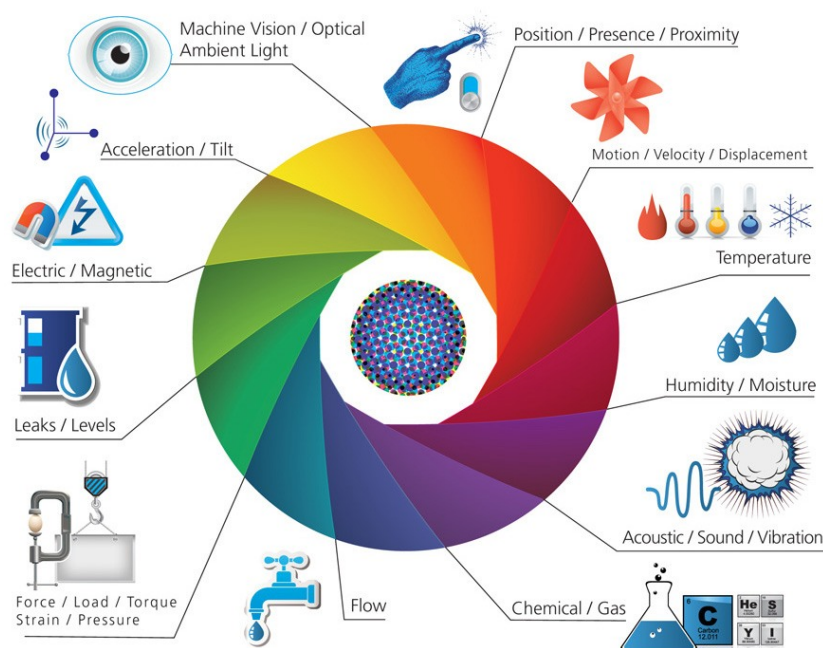


Figura 1: Principales tipos de sensores

GENROD S.A. es una empresa con fábrica propia de gabinetería y tubos dotada con maquinaria de última generación que posee sensores implementados de manera nativa para su control. Además también se utilizan máquinas que, si bien son perfectamente funcionales, carecen de esta capacidad de control que podría ser de suma utilidad para su monitoreo, pudiendo llevar a su optimización y mejora de productividad. Es por esto que la empresa decidió que sería provechoso poder agregar esta funcionalidad a algunas de sus máquinas. Existen soluciones en el mercado compuestas de distintos sensores, un gateway que recolecta información de estos y una plataforma de software que recopila y muestra los datos obtenidos que podrían solucionar la

inquietud de la empresa. Sin embargo la empresa optó por invertir en el desarrollo de tecnología propia para poder obtener autonomía con soluciones personalizadas y de menor costo, junto con mayor control y entendimiento de ellas.

Como primer paso para lograr esta visión se propuso el presente proyecto consistente en la implementación de un enlace LoRa mediante el cual un extremo recopilará datos de sensores y los enviará al otro extremo que se encargará de recibir estos datos y almacenarlos en una base de datos en una computadora, en la que se podrá obtener una visualización clara de los datos almacenados. Se optó por utilizar la tecnología LoRa por su capacidad para implementar soluciones de largo alcance (las instalaciones en las que se aplicará tienen alrededor de 20000 m^2 y se prevé una expansión) y su idoneidad para enviar datos de telemetría y sensores, con bajo consumo de energía y ancho de banda. Además el hecho de ser un enlace inalámbrico implica menores costos de instalación y materiales que una solución cableada.

El proyecto planteado se presenta en la Figura 2. En ella se pueden apreciar los nodos transmisor y receptor. El nodo transmisor tendrá la capacidad de adquirir información de uno o más sensores y la transmitirá mediante un enlace LoRa al nodo receptor, quien se encargará de recibir esta información y transmitirla a una computadora Raspberry Pi, donde será almacenada y podrá ser visualizada con una interfaz gráfica. Los nodos serán implementados con placas de desarrollo suministradas por la empresa.

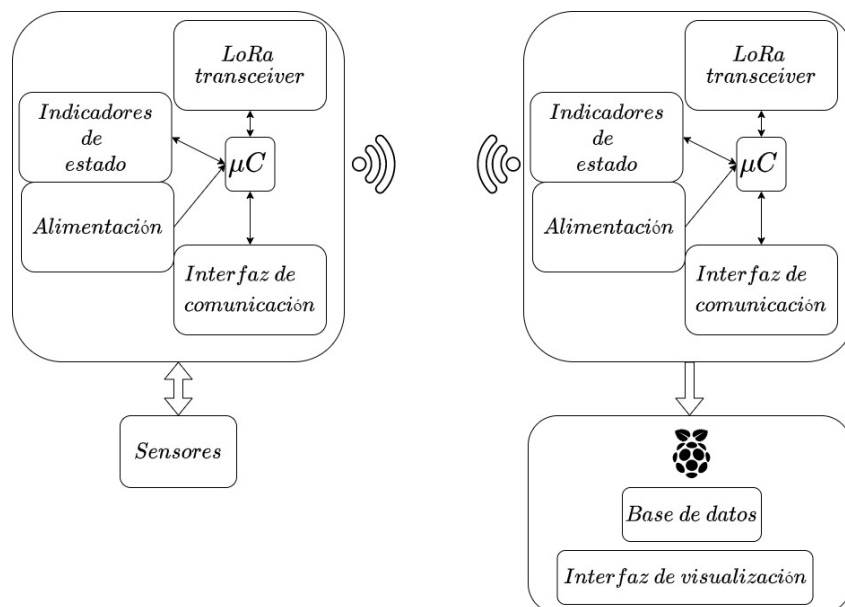


Figura 2: Diagrama en bloques del sistema

Dentro de cada nodo se distinguen los siguientes módulos:

- **Microcontrolador:** es el encargado de controlar las operaciones realizadas por los nodos. El microcontrolador presente en las placas de desarrollo es el STM32L072CZ.
- **LoRa Transceiver:** módulo encargado de la comunicación LoRa. En la placa de desarrollo el módulo presente es el SX1276.

- **Alimentación:** módulo encargado de la alimentación del nodo. En la placa de desarrollo la alimentación puede ser a través de baterías o una entrada micro USB.
- **Indicadores de estado:** serán luces LED que indiquen de manera visual el estado del nodo (batería, errores de comunicación, transmisión de datos).

Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Alejandro Minniti	GENROD S.A.	Desarrollador
Responsable	Pablo Aguirre	FIUBA	Alumno
Orientador	Marcelo Pistarelli	UNR	Director Trabajo final
Usuario final	-	GENROD S.A.	Análisis de datos

1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un prototipo de sistema capaz de comunicar información recibida de sensores colocados en una máquina de la fábrica a través de un enlace LoRa a una computadora, donde será almacenada y podrá ser visualizada.

En un plano más general el propósito de este proyecto es comenzar a generar conocimiento en los temas de sensores, programación de microcontroladores y comunicación LoRa para poder aplicarlo en proyectos futuros en busca de conseguir una fábrica más eficiente y controlada.

2. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluirá diseño y creación de software para la implementación de un prototipo de sistema de monitoreo de maquinaria. Dicho sistema está comprendido por un par de nodos de transmisión y recepción de radiofrecuencia utilizando tecnología LoRa. Un nodo permitirá la lectura y transmisión de datos medidos por sensores mediante la implementación de interfaces de comunicación entre estos y el sistema embebido. Otro nodo recibirá la información transmitida de manera inalámbrica y la transferirá a una Raspberry Pi, donde será almacenada a una base de datos y podrá ser visualizada. La implementación a nivel hardware de los nodos se realizará con placas de desarrollo provistas por el cliente.

El proyecto incluye:

- Diseño del firmware de los nodos.
- Implementación del firmware de los nodos.
- Implementación del software encargado de almacenar los datos en una base de datos.
- Implementación de una herramienta de visualización de los datos adquiridos.

El proyecto no incluye:

- Diseño de hardware.
- Implementación de una red de nodos.

3. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- la empresa cliente proveerá los kits de desarrollo B-L072Z-LRWAN1 de ST.
- la empresa cliente se hará cargo de la compra de sensores para la adquisición de datos a ser transmitidos por el nodo transmisor.
- se podrán realizar pruebas dentro de la fábrica.
- serán respetados los tiempos de trabajo asignados al proyecto durante la etapa de planificación.

4. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

1.1. Nodo transmisor

- 1.1.1. El nodo deberá ser capaz de realizar la lectura de diversos sensores.
- 1.1.2. El nodo deberá transmitir información de los sensores conectados de manera periódica.
- 1.1.3. La transmisión de datos deberá ser implementada utilizando LoRa.
- 1.1.4. La alimentación debe ser implementada mediante baterías AAA.
- 1.1.5. La nodo deberá tener un sleep-mode configurable para administrar la duración de la batería.
- 1.1.6. El nodo deberá informar de manera visual cuando tenga poca batería.
- 1.1.7. El nivel bajo de batería deberá ser informado al nodo receptor.
- 1.1.8. El nodo deberá informar de manera visual cuando realice una transmisión.

1.2. Nodo receptor

- 1.2.1. El nodo deberá recibir información de manera inalámbrica utilizando LoRa.
- 1.2.2. El nodo deberá informar de manera visual cuando reciba datos.
- 1.2.3. El nodo deberá reenviar la información recibida hacia la PC utilizada para el almacenamiento de datos.

1.3. Software de manejo de datos

- 1.3.1. La información recibida del nodo receptor deberá ser almacenada en una base de datos.
- 1.3.2. La herramienta de visualización deberá permitir ver más de una variable a la vez.
- 1.3.3. La herramienta de visualización deberá permitir configurar el span de tiempo que se quiere ver.

2. Requerimientos no funcionales

2.1. Documentación

- 2.1.1. Se deberá elaborar un informe de avance del proyecto.
- 2.1.2. Se deberá elaborar la documentación del firmware desarrollado.
- 2.1.3. Se deberá elaborar documentación del uso del sistema.

2.2. Testing

- 2.2.1. Deberán realizarse pruebas de funcionamiento del sistema antes de su entrega.

Historias de usuarios (*Product backlog*)

Descripción: En esta sección se deben incluir las historias de usuarios y su ponderación (*history points*). Recordar que las historias de usuarios son descripciones cortas y simples de una característica contada desde la perspectiva de la persona que desea la nueva capacidad, generalmente un usuario o cliente del sistema. La ponderación es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo.

5. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Firmware nodo transmisor.
- Firmware nodo receptor.
- Interfaz de visualización.
- Documentación del sistema.
- Informe final.

6. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión	190 hs
1.1. Planificación del proyecto	15
1.2. Redacción del informe de avance	25
1.3. Redacción documentación nodo transmisor	20
1.4. Redacción documentación nodo receptor	20
1.5. Redacción manual de uso del sistema	30
1.6. Redacción del informe final	60
1.7. Redacción de la presentación final	20
2. Análisis e investigación	70 hs
2.1. Búsqueda de información sobre programación de microcontroladores	30
2.2. Búsqueda de información LoRa	20
2.3. Búsqueda de información sobre interfaces de visualización	20
3. Desarrollo de software	230 hs
3.1. Selección y configuración del entorno de diseño	10
3.2. Diseño de arquitectura de firmware de los nodos	40
3.3. Desarrollo rutinas de lectura y transmisión de datos	30
3.4. Desarrollo rutinas de control de estado del nodo	30
3.5. Integración de firmware propio con firmware del módulo de transmisión	30
3.6. Diseño de arquitectura de software de visualización	20
3.7. Desarrollo software de adquisición y visualización de datos	40
3.8. Diseño de detalle	30
4. Testing	140 hs
4.1. Pruebas de firmware de nodo transmisor	20
4.2. Pruebas de firmware de nodo receptor	20
4.3. Pruebas de software de adquisición y visualización	10
4.4. Pruebas de comunicación	20
4.5. Pruebas de sistema completo	30
4.6. Corrección de errores	40

Cantidad total de horas: 630 hs

7. Diagrama de Activity On Node

En la Figura 3 se muestra el diagrama de *Activity on Node* del proyecto. La unidad de tiempo está expresada en horas. Se puede observar que existen dos caminos críticos de igual longitud. Estos se encuentran marcados en la figura con un trazo de línea más grueso.

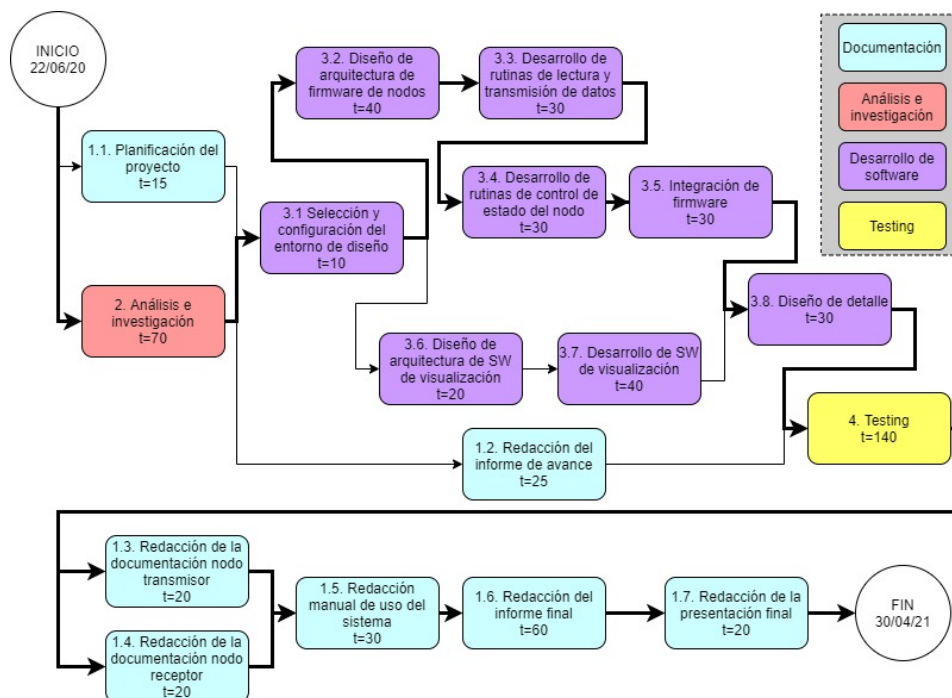


Figura 3: Diagrama en *Activity on Node*

8. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt del proyecto se presenta en la Figura 4. En el mismo se pueden apreciar las fechas de inicio y finalización de cada tarea, así como también sus dependencias.

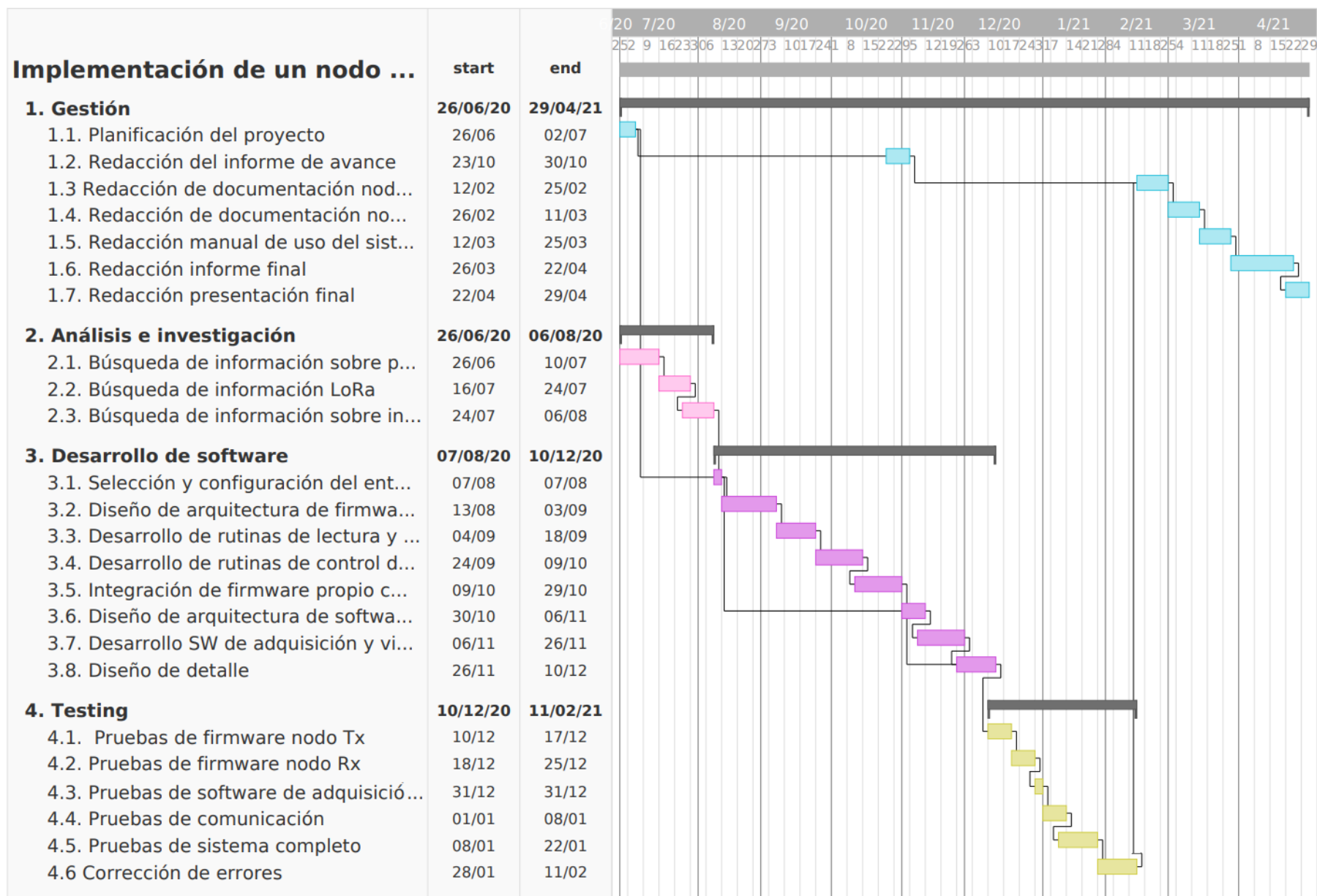


Figura 4: Diagrama en *Diagrama de Gantt del proyecto*

9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre de tarea	Recursos requeridos (horas)			
		PC	Placas de desarrollo	Sensores	Raspberry Pi
1.	Gestión	190			
2.	Análisis e investigación	70			
3.	Desarrollo de software	230	100	100	40
4.1.	Pruebas de firmware de nodo transmisor		20	20	
4.2.	Pruebas de firmware de nodo receptor		20	20	20
4.3.	Pruebas de software de adquisición y visualización				10
4.4.	Pruebas de comunicacion		20	20	20
4.5.	Pruebas de sistema completo		30	30	30
4.6.	Corrección de errores	40	40	40	40

10. Presupuesto detallado del proyecto

Categoría	Detalle	Cantidad	Costo unitario (ARS)	Costo (ARS)
Costos directos	Horas de ingeniería	630	400	252000
Costos indirectos	30 % costos directos	-	-	75600
Total costos del proyecto				327600

11. Matriz de asignación de responsabilidades

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto		
		Responsable Pablo Aguirre	Orientador Marcelo Pistarelli	Cliente Alejandro Minniti
1.	Gestión	P	C,A	C,A
2.	Análisis e investigación	P	C	I
3.	Desarrollo de software	P	C,A	A
5.	Testing	P	C	A

Referencias:

- P = Responsabilidad Primaria
- S = Responsabilidad Secundaria
- A = Aprobación
- I = Informado
- C = Consultado

12. 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)

- 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):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

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)

13. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: Copiar acá el requerimiento.

Verificación y validación:

- 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, etc.

14. Comunicación del proyecto

El plan de comunicación del proyecto es el siguiente:

PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicac.	Responsable

15. Gestión de compras

En caso de tener que comprar elementos o contratar servicios: a) Explique con qué criterios elegiría a un proveedor. b) Redacte el Statement of Work correspondiente.

16. Seguimiento y control

Para cada tarea del proyecto establecer la frecuencia y los indicadores con los se seguirá su avance y quién será el responsable de hacer dicho seguimiento y a quién debe comunicarse la situación (en concordancia con el Plan de Comunicación del proyecto).

El indicador de avance tiene que ser algo medible, mejor incluso si se puede medir en % de avance. Por ejemplo, se pueden indicar en esta columna cosas como “cantidad de conexiones ruteadas” o “cantidad de funciones implementadas”, pero no algo genérico y ambiguo como “%”, porque el lector no sabe porcentaje de qué cosa.

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.

17. 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 utilizaron, y 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.