



# Sistema de gestión y monitoreo de CO<sub>2</sub> para la vigilancia de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición al COVID-19 u otras enfermedades respiratorias

Autor:

Ing. Jhonatan Alexander Juño Garcia

Director:

Esp. Ing. Claudio Omar Biale (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos entre el 25 de abril de 2023 y el 13 de junio de 2023.*

## 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 . . . . .	12
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	12
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	14
11. Diagrama de Gantt . . . . .	16
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	20
13. Gestión de riesgos . . . . .	20
14. Gestión de la calidad . . . . .	23
15. Procesos de cierre . . . . .	24

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	25 de abril de 2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	9 de mayo de 2023
2	Se corrige la primera entrega y se completa hasta el punto 9 inclusive	16 de mayo de 2023
3	Se corrige la segunda entrega y se completa hasta el punto 12 inclusive	24 de mayo de 2023
4	Se corrige la tercera entrega y se completa la planificación	1 de junio de 2023

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 25 de abril de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Jhonatan Alexander Juño Garcia que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de gestión y monitoreo de CO<sub>2</sub> para la vigilancia de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición al COVID-19 u otras enfermedades respiratorias ”. El trabajo consistirá esencialmente en el desarrollo de un sistema de gestión y monitoreo para medidores inalámbricos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que permitirá registrar los niveles de CO<sub>2</sub> en tiempo real en los ambientes de trabajo. Esto es parte de una estrategia del gobierno de la República del Perú para un retorno seguro a las labores presenciales en los centros de trabajo. Este trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 660 h de trabajo y S/75140,00 PEN (\$20308,11 USD), con fecha de inicio el 25 de abril de 2023 y fecha de presentación pública en el mes de diciembre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Manuel Behar  
Loratech S.A.C.

Esp. Ing. Claudio Omar Biale  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El presente trabajo surge a partir de un requerimiento de la empresa donde trabaja el responsable y que esta ha notado la problemática a la que se enfrentan muchas empresas en la transición del trabajo remoto a la presencialidad después de la pandemia por el coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) en la República del Perú. El Ministerio de Salud y el Ministerio del Trabajo han dispuesto nuevas normativas de seguridad y salud en el trabajo que las empresas deben cumplir para garantizar un retorno seguro a las labores presenciales. Dentro de este contexto, una de las normas más importantes se refiere a los ambientes de trabajo saludables, en particular a la calidad del aire y la correcta ventilación de los espacios laborales.

Dentro de los parámetros que determinan la calidad de aire en un centro de trabajo el CO<sub>2</sub> es uno de los más importantes, ya que está directamente relacionado con la actividad de los trabajadores y la exhalación generada durante la jornada laboral. Niveles altos de CO<sub>2</sub> en el aire pueden ser causados por la alta aglomeración de personas o una deficiente ventilación del lugar. Esto último genera el ambiente propicio para el incremento del riesgo de exposición a enfermedades respiratorias como SARS-CoV-2 (COVID-19), la influenza, gripe, entre otras.

Hasta el momento, las evaluaciones de la calidad del aire en ambientes de trabajo se han basado en mediciones puntuales del CO<sub>2</sub> realizadas con equipos manuales. Estas mediciones se llevaban a cabo generalmente una o dos veces al año, incluso con periodos más prolongados. Sin embargo, este enfoque no permite un seguimiento continuo de los niveles de CO<sub>2</sub>, ya que solo muestran información de un momento específico.

A raíz del COVID-19 y sus efectos, a través de varios decretos del Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo, se han dispuesto una serie de directivas para la medición de calidad de aire en ambientes de trabajo, específicamente mediante la medición del CO<sub>2</sub>. La norma establece alcances sobre el uso de equipos de medición de CO<sub>2</sub> como parte de los planes de acción para mantener espacios de trabajo ventilados, limpios y seguros.

De lo expuesto, surge la necesidad de desarrollar un sistema de gestión y monitoreo de CO<sub>2</sub>. Este sistema debe gestionar los equipos de medición y monitorizar los valores medidos para el control de la calidad de aire en los ambientes de trabajo. Además contará con alarmas programadas y visualización en tiempo real de niveles de CO<sub>2</sub>. Esto permitirá la implementación de mejoras en los ambientes de trabajo, como protocolos para la apertura de ventanas, la adecuación de aforos, mejor ventilación y/o instalación de sistemas de ventilación forzada entre otros, lo que reducirá el riesgo de exposición a enfermedades respiratorias y mejorará las condiciones de trabajo a largo plazo.

El proyecto se dividirá en dos etapas para alcanzar los objetivos. La primera etapa consistirá en la implementación de una red de comunicación para los equipos de medición de CO<sub>2</sub>. Esta red se utilizará para las pruebas y servirá para elaborar el procedimiento de configuración e instalación de equipos que se utilizará cuando se lleve la solución a un cliente. La segunda etapa se enfocará en el desarrollo del sistema de gestión y de monitoreo.

En la Figura 1 se muestra el diagrama en bloques de la red de comunicación, que se compone de los siguientes elementos:

- Equipos de medición de CO<sub>2</sub> con comunicación LoRaWAN.
- *Gateway* de comunicación LoRaWAN.

- *Network server.*
- Sistema de gestión y monitoreo - *application server.*

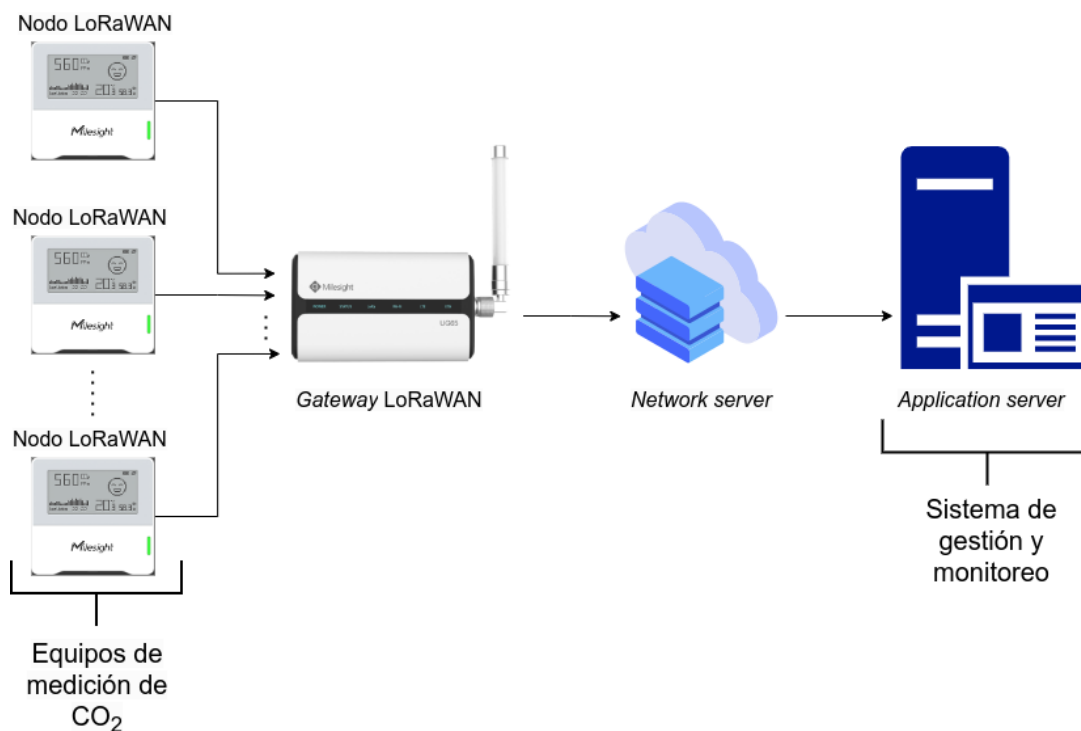


Figura 1. Diagrama de bloques de la red de comunicación.

El objetivo de la red de comunicación es llevar los valores medidos de CO<sub>2</sub> al sistema de gestión y monitoreo. La comunicación que usará el equipo de medición y *gateway* será LoRa con protocolo LoRaWAN. El *network server* permitirá la conexión con el sistema de gestión y monitoreo.

En la Figura 2 se muestra el diagrama del sistema de gestión y monitoreo de medidores de CO<sub>2</sub> donde se observan los siguientes elementos:

- *Network server.*
- Análisis en Node.JS.
- Plataforma de *edge computing*.
- Base de datos.
- Aplicación de visualización.

Esta parte del proyecto es crítica y demandará un esfuerzo significativo en el desarrollo. Será necesario prestar especial atención para cumplir con todos los requerimientos que se planteen en esta planificación.

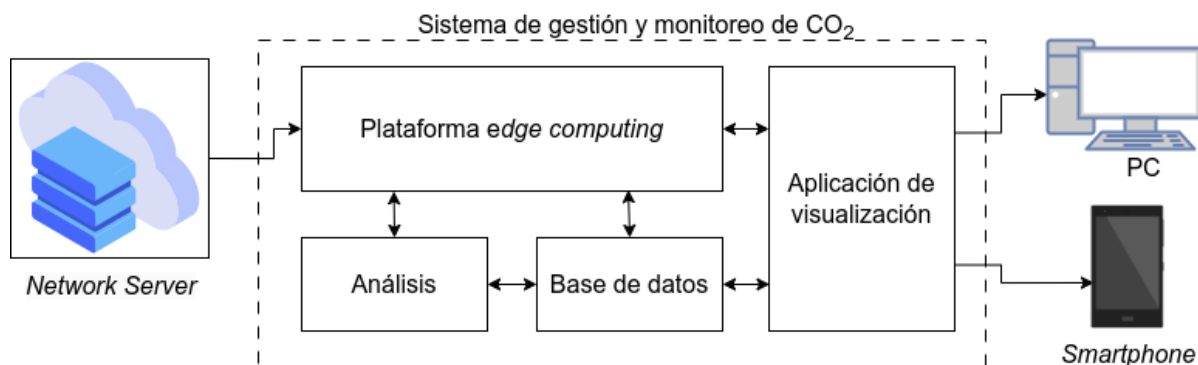


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema de gestión de medidores de CO<sub>2</sub>

## 2. Identificación y análisis de los interesados

En la siguiente tabla se muestra de forma resumida los *stakeholders* del presente proyecto.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Guillermo Amaro	Loratech S.A.C.	Director-Gerente
Cliente	Manuel Behar	Loratech S.A.C.	Gerente General
Responsable	Ing. Jhonatan Alexander Juño García	FIUBA	Alumno
Orientador	Esp. Ing. Claudio Omar Biale	FIUBA	Director Trabajo Final
Usuario final	Clientes de Loratech S.A.C.	-	-

Principales características de cada interesado.

- Auspiciante: Guillermo Amaro, asignará los recursos e instalaciones de la empresa para la elaboración del proyecto. Es riguroso y exigente con la rendición de gastos.
- Cliente: Manuel Behar, participará activamente, con comentarios y sugerencias durante el desarrollo así como en la revisión de entregables.
- Responsable: Ing. Jhonatan Alexander Juño García.
- Usuario final: los usuarios finales serán las empresas a las que se les brindará el sistema de gestión y monitoreo de CO<sub>2</sub> (centros de oficinas, bancos, colegios y universidades, hospitales y clínicas, tiendas por departamentos, centros comerciales, etc).

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema de gestión y monitoreo para los equipos de medición de CO<sub>2</sub> en ambientes laborales. Este sistema será utilizado por las empresas para gestionar ambientes de trabajo saludables y tomar acciones de control para reducir el riesgo de exposición al COVID-19 y otras enfermedades respiratorias. Esto se hace en respuesta a la nueva demanda que están teniendo las empresas debido a las nuevas disposiciones en materia

de seguridad y salud en el trabajo promovidas por el Ministerio de Salud y el Ministerio del Trabajo en la República del Perú.

#### 4. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto está orientado a desarrollar la red de comunicación y el sistema de software. Los siguientes puntos serán tomados en cuenta para el desarrollo del proyecto:

- Dimensionamiento de la red de comunicación LoRaWAN.
- Configuración de equipos (medidor de CO<sub>2</sub>, *gateway* LoRaWAN) y *network server*.
- Elaboración de documentación detallada del dimensionamiento de la red LoRaWAN, configuración de equipos y *network server*.
- Desarrollo del *Backend*, donde se implementará la aplicación de *edge computing* y la base de datos.
- Desarrollo del *frontend*, basado en una aplicación web desde donde los usuarios accederán a la información generada.
- Toda la solución correrá de forma local en un ordenador que actuará de servidor.

El presente proyecto no incluye los siguientes puntos que serán analizados para una futura implementación:

- Montar la solución en un servicio *cloud*.
- Desarrollo de una aplicación móvil nativa para el acceso al sistema.
- Análisis mas exhaustivo de los datos para aprendizaje automático.

#### 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Los equipos LoRaWAN cuentan con la homologación y permiso correspondiente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para ser utilizados en la República del Perú.
- Todos los equipos necesarios para el proyecto han sido adquiridos y se dispone de varias unidades para llevar a cabo las pruebas correspondientes.
- Se dispone de un ordenador de escritorio que será utilizado como servidor, el cual ha sido preparado para su configuración.
- Los permisos necesarios para la instalación de los equipos en el cliente de prueba han sido obtenidos.
- Se ha asignado un ambiente dedicado en el laboratorio de la empresa para el desarrollo del proyecto.
- La empresa ha garantizado el tiempo necesario y apoyo para la obtención de recursos adicionales que puedan ser necesarios durante el proyecto.



## 6. Requerimientos

Los requerimientos del proyecto fueron establecidos en una reunión en la que participaron todos los *stakeholders*. Todos los requerimientos están alineados con las nuevas disposiciones establecidas por el Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo de la República del Perú, tal como se resumen en la Directiva Administrativa N° 339 - MINSA/DGIESP - 2023. Dicho documento establece los requerimientos mínimos para el sistema de medición de CO<sub>2</sub>. A continuación se detallan los requerimientos que se tendrán en cuenta para el proyecto.

### 1. Requerimientos de la red de comunicación y los equipos.

- 1.1. El protocolo de comunicación para los equipos de medición de CO<sub>2</sub> y el *gateway* deberá ser LoRaWAN. El fabricante de dichos equipos debe estar certificado por la LoRa Alliance.
- 1.2. Los equipos deberán operar en la banda de frecuencias autorizada para LoRaWAN en la República del Perú, que abarca desde 915 MHz hasta 928 MHz.
- 1.3. La red de comunicación deberá tener la capacidad de brindar cobertura total en los ambientes laborales. Se establece como requisito que los valores de RSSI (indicador de la fuerza de la señal recibida) en los equipos de medición sean superiores a -120 dBm.
- 1.4. El *gateway* deberá contar con un *network server* embebido y admitir múltiples opciones de *backhaul* como Ethernet, Wi-Fi y red celular.
- 1.5. El *gateway* deberá incluir una interfaz de configuración que permita realizar una integración con el sistema de gestión y monitoreo a través del protocolo HTTP.
- 1.6. El equipo de medición de CO<sub>2</sub> deberá contar con una pantalla que muestre el valor medido. El rango de medición deberá estar comprendido entre 400 y 1500 ppm (partículas por millón).
- 1.7. El equipo de medición de CO<sub>2</sub> deberá permitir la configuración remota de parámetros, como el período de transmisión y los umbrales mínimo y máximo para el envío de alertas.

### 2. Requerimientos del sistema de gestión y monitoreo de medidores de CO<sub>2</sub>.

- 2.1. Se deberá implementar un servidor con sistema operativo Ubuntu Server versión 22.04 LTS o superior.
- 2.2. La base de datos utilizada deberá ser del tipo relacional.
- 2.3. Se deberá implementar una API-REST con NodeJS.
- 2.4. Los *scripts* para análisis de datos se codificarán con NodeJS.
- 2.5. Se deberá utilizar la aplicación de *edge computing* TagoCore.
- 2.6. Se deberá diseñar una aplicación web con Angular.
- 2.7. La aplicación web deberá implementar varios *dashboards* para el *login* de los usuarios, la visualización de los datos, gestión de alarmas y generar reportes con los valores medidos.
- 2.8. La aplicación deberá generar alarmas en tiempo real y notificar al usuario en el momento.

### 3. Requerimientos de documentación.

- 3.1. Se documentará el procedimiento de configuración de equipos y el protocolo de instalación en el local del cliente).
  - 3.2. Se documentará el proceso de levantamiento del sistema de gestión y monitoreo de medidores sobre el servidor (requisitos de *hardware* para el servidor, *software* empleado y procedimiento de instalación).
  - 3.3. Todo el código desarrollado será cargado al repositorio de GitHub de la compañía.
  - 3.4. Se elaborará un manual de uso del equipo de medición y la aplicación web para los usuarios finales.
4. Requerimiento de *testing*
- 4.1. Se deberá implementar una prueba inicial en las oficinas de la empresa para evaluar el funcionamiento.
  - 4.2. Se deberán simular valores anormales del CO<sub>2</sub>, para verificar el comportamiento del sistema y la generación de alarmas.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Se identifican los siguientes roles:

- Cliente: es quien que solicitó el proyecto.
- Usuario final: empresas a las que se les brindará el sistema de medición y monitoreo de CO<sub>2</sub>. Dentro de las empresas existirá un usuario específico directo que será responsable del uso de los equipos y del sistema de medición. Para las historias vamos a considerar los siguientes usuarios específicos:
  - Jefe de salud ocupacional de un edificio empresarial.
  - Supervisor de seguridad en una industria.
  - Director de un colegio inicial.
  - Administrador de un banco.
  - Administrador de un centro comercial.

Criterio para la asignación de *story points* basada en la serie de Fibonacci:

Peso	Dificultad	Complejidad	Riesgo
Bajo	1	1	1
Medio	3	5	5
Alto	5	8	13

A continuación se listan las historias de usuario:

1. Como cliente, quiero un procedimiento de configuración e instalación de equipos claro y conciso para lograr una instalación rápida y sencilla en los locales de los usuarios finales.
  - Dificultad: 5
  - Complejidad: 5

- Riesgo: 1
  - *Story points*: 13
2. Como jefe de salud ocupacional de un edificio empresarial, quiero determinar las áreas con mayor aglomeración de personas dentro del edificio para generar mis planes de control.
- Dificultad: 3
  - Complejidad: 5
  - Riesgo: 5
  - *Story points*: 13
3. Como supervisor de seguridad en una industria, quiero monitorear los niveles de CO<sub>2</sub> en distintos puntos para plantear mis estrategias de control ocupacional.
- Dificultad: 3
  - Complejidad: 5
  - Riesgo: 5
  - *Story points*: 13
4. Como director de un colegio inicial, quiero recibir notificaciones cuando se superen los límites establecidos para poder generar planes de prevención de contagios de enfermedades respiratorias entre los estudiantes.
- Dificultad: 1
  - Complejidad: 5
  - Riesgo: 13
  - *Story points*: 21
5. Como administrador de un banco, quiero que la aplicación muestre la calidad del aire y que esta información pueda ser vista por los clientes para concientizar sobre el respeto a los aforos establecidos.
- Dificultad: 3
  - Complejidad: 5
  - Riesgo: 5
  - *Story points*: 13
6. Como administrador de un centro comercial, quiero poder ver los reportes mensuales de mediciones de CO<sub>2</sub> y el historial de alarmas para poder ajustar mis controles de aforo en las distintas áreas.
- Dificultad: 3
  - Complejidad: 8
  - Riesgo: 1
  - *Story points*: 13

## 8. Entregables principales del proyecto

- Manual de configuración e instalación de equipos. Incluye descripción de actividades y gráficos.
- Un servidor configurado, con la aplicación web corriendo y listo para su uso.
- Manual de configuración del servidor. Incluye todos los pasos y requisitos en caso de que se desee migrar el sistema y aplicación web a otro servidor.
- Manual de uso de la aplicación. Para entrega a los usuarios finales.
- Código fuente del sistema en el repositorio GitHub de la empresa.
- Informe final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación y definición del proyecto. (40 h)
  - 1.1. Análisis del mercado, normativas y soluciones similares. (10 h)
  - 1.2. Definición del alcance, requerimientos y tareas. (10 h)
  - 1.3. Elaboración del plan de proyecto. (20 h)
2. Dimensionamiento de la red de comunicación y configuración de equipos. (30 h)
  - 2.1. Configuración del *gateway* (*network server* embebido, bandas de frecuencias). (5 h)
  - 2.2. Configuración del equipo de medición de CO<sub>2</sub> (registro en el *network server* y ajuste de las subbandas de frecuencias). (5 h)
  - 2.3. Primera prueba de conexión, verificación en los equipos de los niveles de RSSI. (5 h)
  - 2.4. Corrección de la ubicación del *gateway* y los equipos con valores de RSSI inferiores al mínimo. Realización de nuevas mediciones y validación (5 h).
  - 2.5. Documentación del dimensionamiento de la red. (10 h)
3. Configuración del servidor. (22 h)
  - 3.1. Instalación de las aplicaciones requeridas. (5 h)
    - 3.1.1 Instalación del sistema operativo. (2 h)
    - 3.1.2 Instalación de la base de datos MySQL. (0,5 h)
    - 3.1.3 Instalación del paquete de NodeJS. (0,5 h)
    - 3.1.4 Instalación de la aplicación TagoCore. (1 h)
    - 3.1.5 Instalación de Visual Studio Code + *plugins* requeridos. (1 h)
  - 3.2. Configuración de TagoCore. (2 h)
    - 3.2.1 Ejecución de la aplicación. (0,5 h)
    - 3.2.2 Integración con la base de datos. (1 h)
    - 3.2.3 Configuración del path de ejecución de NodeJS sobre Tagocore. (0,5 h)
  - 3.3. Creación de las tablas de datos adicionales. (10 h)
    - 3.3.1 Definición de las tablas de datos adicionales no gestionadas por Tagocore. (6 h)
    - 3.3.2 Creación de las tablas de datos adicionales. (4 h)

- 3.4. Documentación de la configuración del servidor. (5 h)
- 4. Conexión del *network server* a TagoCore. (20 h)
  - 4.1. Registro de los medidores de CO<sub>2</sub> en TagoCore. (1 h)
  - 4.2. Obtención de los *tokens* HTTP en TagoCore. (0,5 h)
  - 4.3. Registro de los *tokens* en el *network server*. (0,5 h)
  - 4.4. Prueba de conexión inicial. (3 h)
  - 4.5. *Parseo* de datos recibidos en TagoCore. Validación de los datos obtenidos con los valores mostrados en el equipo. (5 h)
  - 4.6. Documentación de la conexión del *network server* a TagoCore. (10 h)
- 5. Desarrollo de la API-REST - *backend*. (130 h)
  - 5.1. Implementación de un CRUD (*Create, Read, Update and Delete*) para la base de datos. (30 h)
  - 5.2. Implementación del método para envío de *emails* y SMS. (15 h)
  - 5.3. Implementación del método para la gestión de equipos. (19 h)
  - 5.4. Implementación del método para la gestión de usuarios. (18 h)
  - 5.5. Implementación del método para la gestión de reglas y alarmas. (19 h)
  - 5.6. Implementación del método para la gestión de reportes. (19 h)
  - 5.7. Documentación del desarrollo de la API-REST. (10 h)
- 6. Desarrollo de la aplicación en Angular - *frontend*. (240 h)
  - 6.1. Programación del *login* de usuarios. (40 h)
  - 6.2. Programación del *dashboard* de ubicación y estado de los equipos. (40 h)
  - 6.3. Programación del *dashboard* de visualización de los datos. (40 h)
  - 6.4. Programación del *dashboard* de configuración de reglas y alertas del sistema. (40 h)
  - 6.5. Programación del *dashboard* para la generación de reportes. (40 h)
  - 6.6. Pruebas y test de la aplicación con datos simulados. (20 h)
  - 6.7. Pruebas y test de la aplicación con equipo de medición conectado. (10 h)
  - 6.8. Documentación del desarrollo de la aplicación. (10 h)
- 7. Desarrollo de *plugins* y *scripts* en TagoCore. (95 h)
  - 7.1. Desarrollo de un *plugin* para la integración con el *backend*. (20 h)
  - 7.2. Desarrollo de un *plugin* para la integración con el *frontend*. (20 h)
  - 7.3. Programación de *script* para cálculo de mínimo, máximo y promedio. (12 h)
  - 7.4. Programación de *script* para detección de batería baja. (10 h)
  - 7.5. Programación de *script* para detección de desconexión. (10 h)
  - 7.6. Programación de *script* para generación de reporte de datos en CSV. (10 h)
  - 7.7. Pruebas y test con el equipo de medición conectado. (3 h)
  - 7.8. Documentación del desarrollo de *plugins* y *scripts*. (10 h)
- 8. Pruebas finales del sistema de medición y monitoreo en cliente. (18 h)
  - 8.1. Instalación del equipo de medición en una sala de reuniones de la empresa Loratech S.A.C. (1 h)

- 8.2. Registro del usuario cliente en la aplicación. (1 h)
- 8.3. Capacitación al usuario cliente en el uso de la aplicación. (1 h)
- 8.4. Validación del cumplimiento de los requerimientos. (5 h)
- 8.5. Redacción del manual de uso. (10 h)
- 9. Actividades finales del proyecto. (65 h)
  - 9.1. Elaboración del informe de resultados. (10 h)
  - 9.2. Redacción de la memoria final. (40 h)
  - 9.3. Elaboración de la presentación. (15 h)

Cantidad total de horas: (660 h).

## 10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 3 se identifican mediante colores las distintas tareas del proyecto:

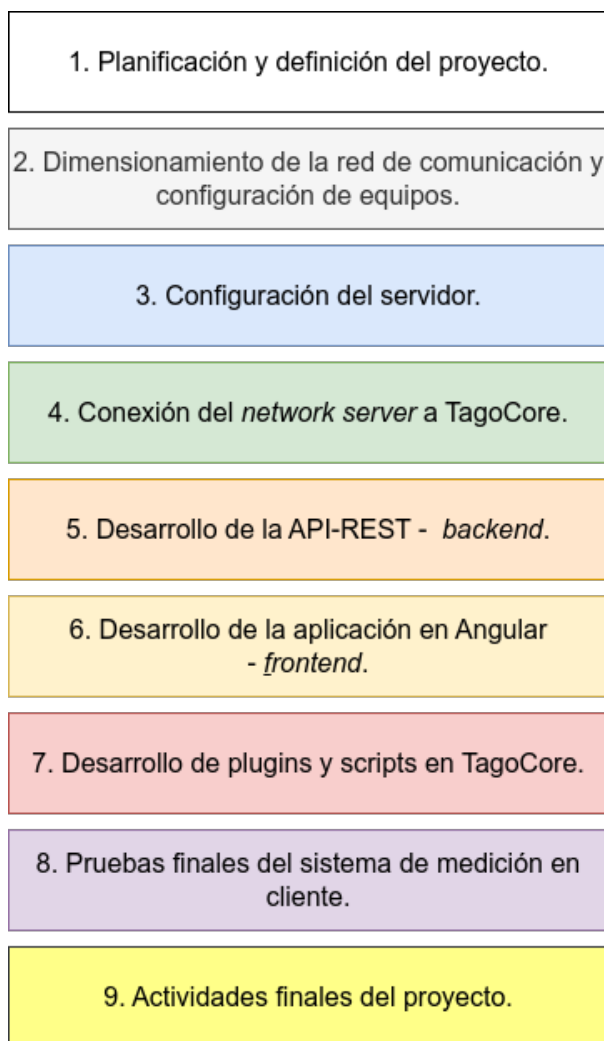


Figura 3. Colores del diagrama de *Activity on Node*.

En la figura 4 se muestra el diagrama de *Activity on Node*.

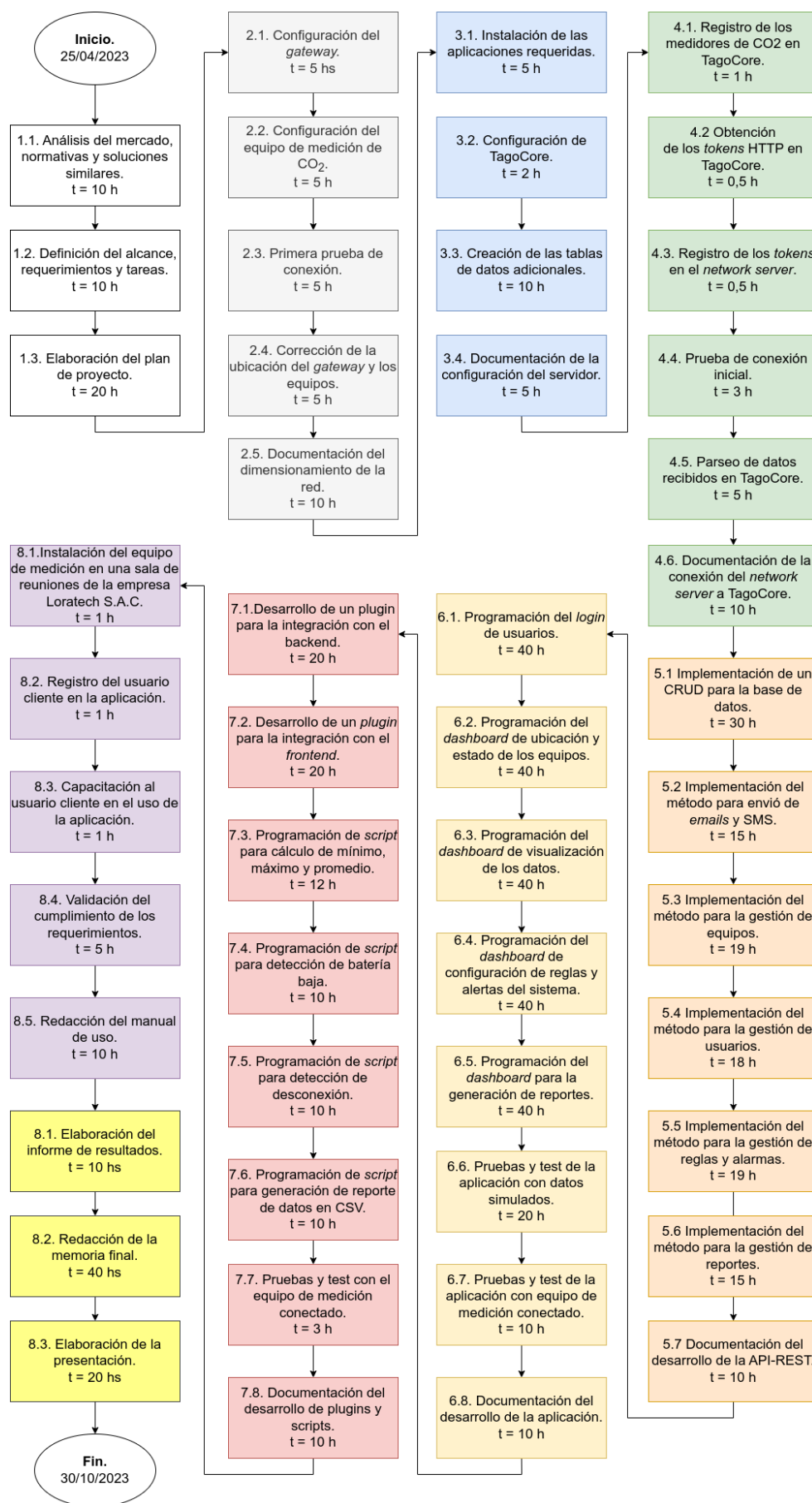


Figura 4. Diagrama de Activity on Node.



Todas las tareas se realizarán de forma secuencial debido a la existencia de un único recurso humano. Por lo tanto, existe un único camino que se considerará como el camino crítico.

## 11. Diagrama de Gantt

En las figuras 5 y 6 se muestra la tabla con el desglose de actividades y fechas de inicio y fin.

WBS	Nombre	Inicio	Fin	Trabajo
<b>1</b>	<b>Planificación y definición del proyecto.</b>	<b>Apr 25</b>	<b>May 5</b>	<b>5d</b>
1.1	Análisis del mercado, normativas y soluciones similares.	Apr 25	Apr 27	1d 2h
1.2	Definición del alcance, requerimientos y tareas.	Apr 27	Apr 29	1d 2h
1.3	Elaboración del plan de proyecto.	May 1	May 5	2d 4h
<b>2</b>	<b>Dimensionamiento de la red de comunicación y configuración de equipos.</b>	<b>May 6</b>	<b>May 15</b>	<b>3d 6h</b>
2.1	Configuración del gateway.	May 6	May 8	5h
2.2	Configuración del equipo de medición de CO2.	May 8	May 9	5h
2.3	Primera prueba de conexión.	May 9	May 10	5h
2.4	Corrección de la ubicación del gateway y los equipos.	May 10	May 11	5h
2.5	Documentación del dimensionamiento de la red.	May 12	May 15	1d 2h
<b>3</b>	<b>Configuración del servidor.</b>	<b>May 15</b>	<b>May 20</b>	<b>2d 6h</b>
3.1	Instalación de las aplicaciones requeridas.	May 15	May 16	5h
3.2	Configuración de TagoCore.	May 16	May 17	2h
3.3	Creación de las bases de datos adicionales.	May 17	May 19	1d 2h
3.4	Documentación de la configuración del servidor.	May 19	May 20	5h
<b>4</b>	<b>Conexión del network server a TagoCore.</b>	<b>May 22</b>	<b>May 26</b>	<b>2d 4h</b>
4.1	Registro de los medidores de CO2 en TagoCore.	May 22	May 22	1h
4.2	Obtención de los tokens HTTP en TagoCore.	May 22	May 22	
4.3	Registro de los tokens en el network server.	May 22	May 22	
4.4	Prueba de conexión inicial.	May 22	May 23	3h
4.5	Parseo de datos recibidos en TagoCore.	May 23	May 24	5h
4.6	Documentación de la conexión del network server a TagoCore.	May 24	May 26	1d 2h
<b>5</b>	<b>Desarrollo de la API-REST - backend.</b>	<b>May 27</b>	<b>Jul 4</b>	<b>16d 2h</b>
5.1	Implementación de un CRUD para la base de datos.	May 27	Jun 5	3d 6h
5.2	Implementación del método para envío de emails y SMS.	Jun 5	Jun 9	1d 7h
5.3	Implementación del método para la gestión de equipos.	Jun 9	Jun 14	2d 3h
5.4	Implementación del método para la gestión de usuarios.	Jun 15	Jun 20	2d 2h
5.5	Implementación del método para la gestión de reglas y alarmas.	Jun 20	Jun 26	2d 3h
5.6	Implementación del método para la gestión de reportes.	Jun 26	Jun 30	2d 3h
5.7	Documentación del desarrollo de la API-REST.	Jul 1	Jul 4	1d 2h
<b>6</b>	<b>Desarrollo de la aplicación en Angular - fronted.</b>	<b>Jul 4</b>	<b>Sep 12</b>	<b>30d</b>
6.1	Programación del login de usuarios.	Jul 4	Jul 15	5d
6.2	Programación del dashboard de ubicación y estado de los equipos.	Jul 15	Jul 27	5d
6.3	Programación del dashboard de visualización de los datos.	Jul 27	Aug 8	5d
6.4	Programación del dashboard de configuración de reglas y alertas del sistema.	Aug 8	Aug 19	5d
6.5	Programación del dashboard para la generación de reportes.	Aug 19	Aug 31	5d
6.6	Pruebas y test de la aplicación con datos simulados.	Aug 31	Sep 6	2d 4h
6.7	Pruebas y test de la aplicación con equipo de medición conectado.	Sep 6	Sep 8	1d 2h
6.8	Documentación del desarrollo de la aplicación.	Sep 9	Sep 12	1d 2h

Figura 5. Planificación de tareas, parte 1.



<b>7</b>	<b>Desarrollo de plugins y scripts en TagoCore.</b>	<b>Sep 12</b>	<b>Oct 10</b>	<b>11d 7h</b>
7.1	Desarrollo de un plugin para la integración con el backend.	Sep 12	Sep 18	2d 4h
7.2	Desarrollo de un plugin para la integración con el frontend.	Sep 18	Sep 23	2d 4h
7.3	Programación de script para cálculo de mínimo, máximo y promedio.	Sep 23	Sep 27	1d 4h
7.4	Programación de script para detección de batería baja.	Sep 27	Sep 29	1d 2h
7.5	Programación de script para detección de desconexión.	Sep 30	Oct 3	1d 2h
7.6	Programación de script para generación de reporte de datos en CSV.	Oct 3	Oct 5	1d 2h
7.7	Pruebas y test con el equipo de medición conectado.	Oct 6	Oct 6	3h
7.8	Documentación del desarrollo de plugins y scripts.	Oct 6	Oct 10	1d 2h
<b>8</b>	<b>Pruebas finales del sistema de medición en cliente.</b>	<b>Oct 10</b>	<b>Oct 14</b>	<b>2d 2h</b>
8.1	Instalación del equipo de medición en una sala de reuniones de la empresa Loratech S.A.C.	Oct 10	Oct 10	1h
8.2	Registro del usuario cliente en la aplicación.	Oct 10	Oct 10	1h
8.3	Capacitación al usuario cliente en el uso de la aplicación.	Oct 10	Oct 10	1h
8.4	Validación del cumplimiento de los requerimientos.	Oct 11	Oct 12	5h
8.5	Redacción de manual de instalación y manual de uso.	Oct 12	Oct 14	2d 2h
<b>9</b>	<b>Actividades finales del proyecto.</b>	<b>Oct 14</b>	<b>Nov 2</b>	<b>8d 1h</b>
9.1	Elaboración del informe de resultados.	Oct 14	Oct 18	1d 2h
9.2	Redacción de la memoria final.	Oct 18	Oct 30	5d
9.3	Elaboración de la presentación.	Oct 30	Nov 2	1d 7h

Figura 6. Planificación de tareas, parte 2.

En las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se muestra el diagrama de Gantt. Para la elaboración se consideró una jornada laboral de lunes a sábado con 4 horas de trabajo diario en la empresa Loratech SAC.

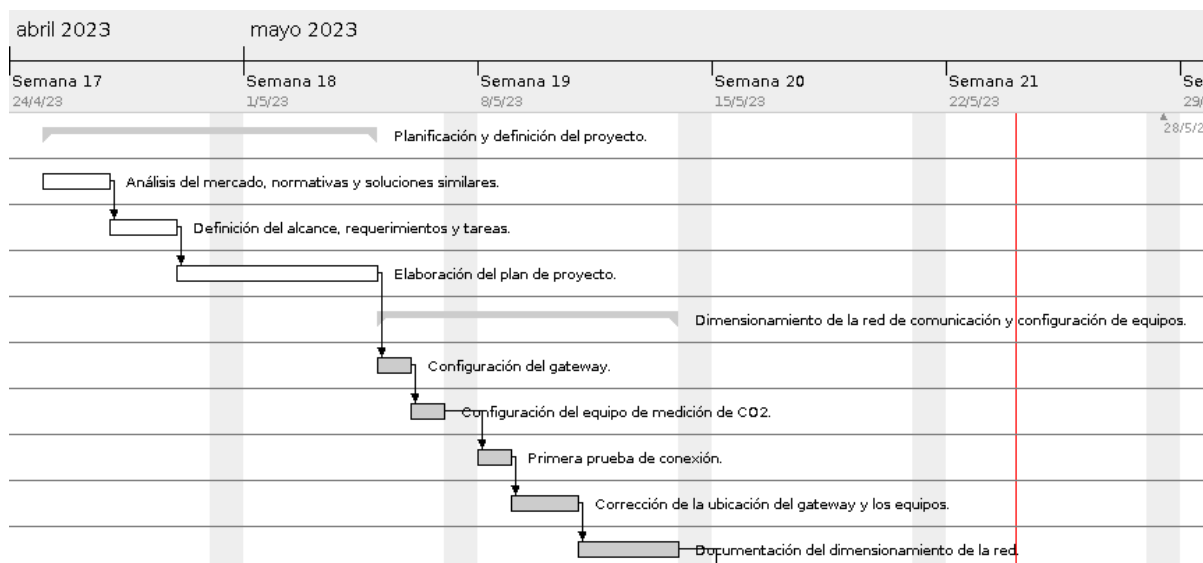


Figura 7. Diagrama de Gantt, parte 1.



Figura 8. Diagrama de Gantt, parte 2.

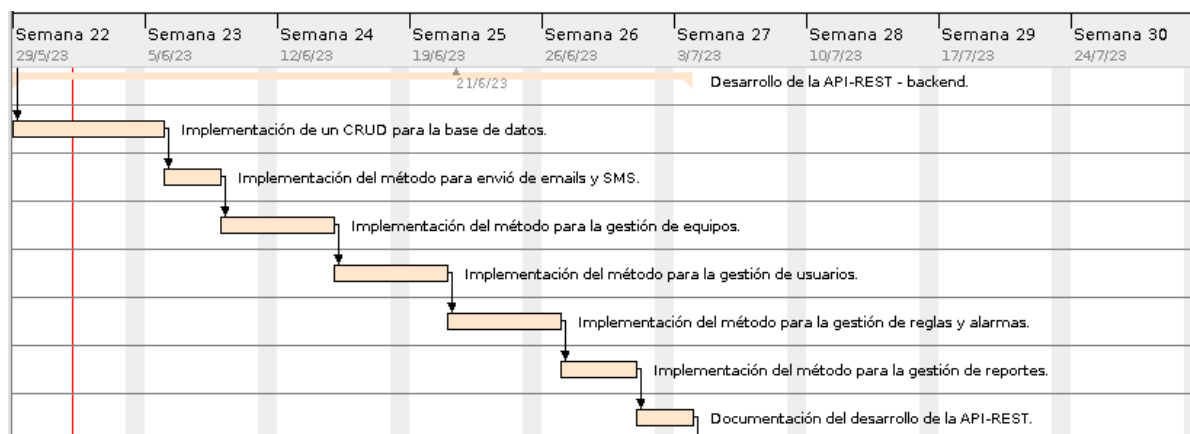


Figura 9. Diagrama de Gantt, parte 3.

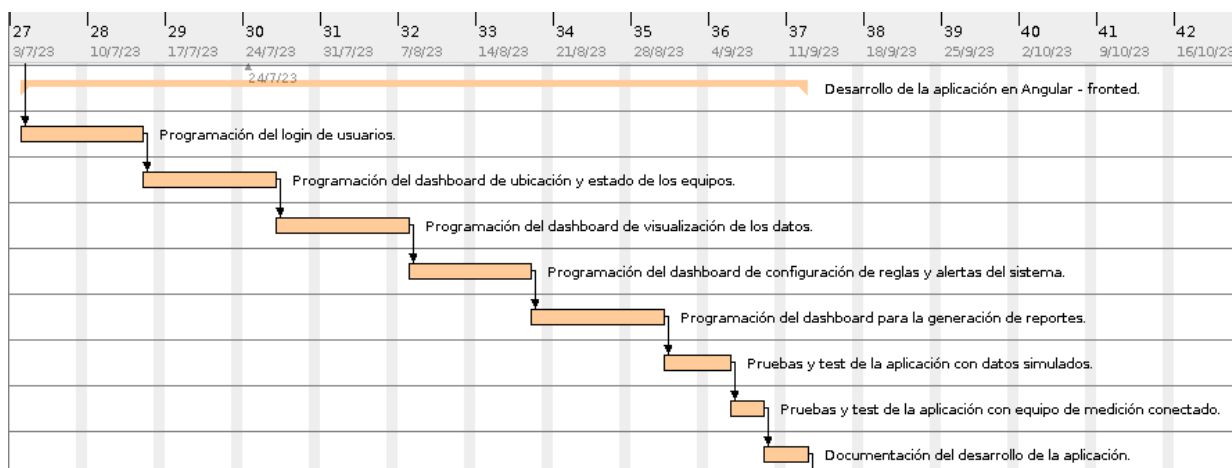


Figura 10. Diagrama de Gantt, parte 4.

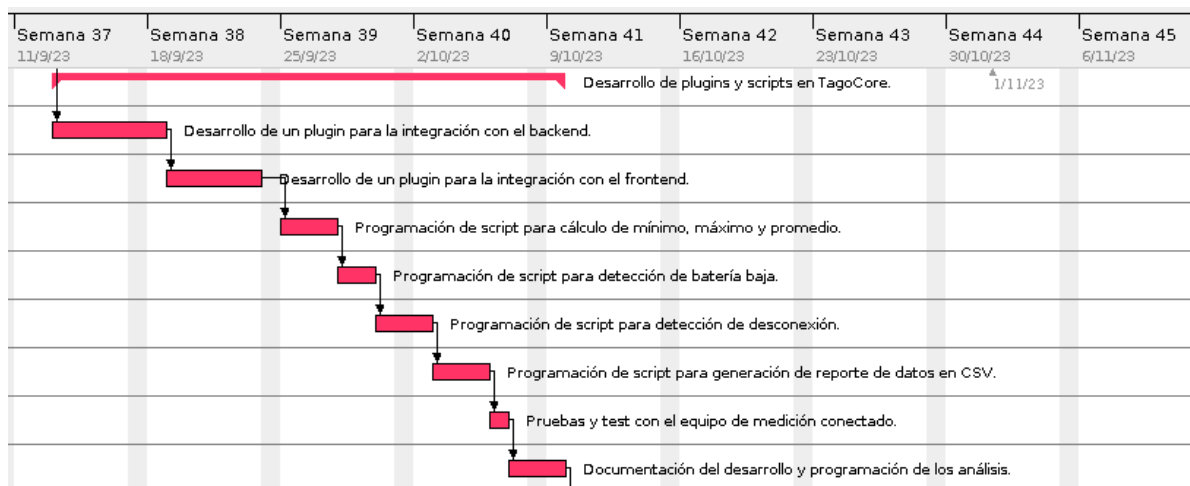


Figura 11. Diagrama de Gantt, parte 5.

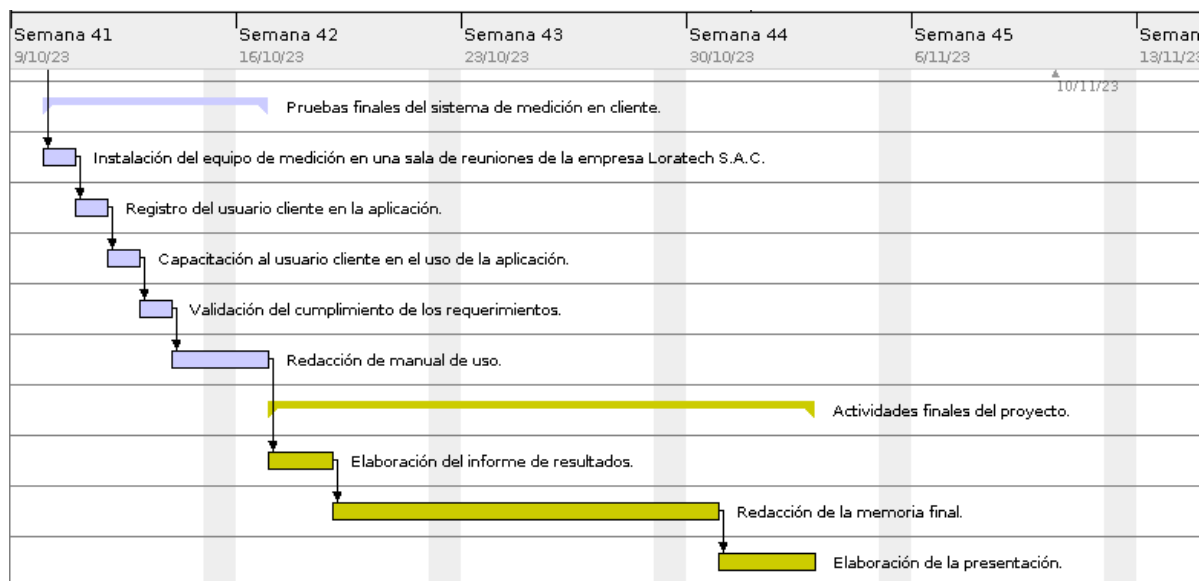


Figura 12. Diagrama de Gantt, parte 6.

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

El proyecto se ejecutará en la República del Perú. Todos los precios indicados están expresados en soles peruanos - PEN (S/. ). Al Final de cada sección se indica el precio aproximado en dólares americanos - USD. Para el tipo de cambio se consideró el valor 1 USD = 3,70 PEN. Este fue el tipo de cambio promedio del mes de mayo del año 2023.

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto para este proyecto.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería.	660 h	S/30,00	S/19800,00
Ordenador de escritorio (servidor).	1 uni.	S/5000,00	S/5000,00
Uso del laboratorio de la empresa Loratech S.A.C	660 h.	S/50,00	S/33000,00
SUBTOTAL EN PEN			S/57800,00
SUBTOTAL EN USD			\$15621,62
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Se estima 30 % de los costos directos	-	S/17340,00	S/17340,00
SUBTOTAL EN PEN			S/17340,00
SUBTOTAL EN USD			\$4686,49
TOTAL EN PEN			S/75140,00
TOTAL EN USD			\$20308,11

## 13. Gestión de riesgos

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

Riesgo 1: Deterioro o daño completo de alguno de los equipos del proyecto.

- Severidad (S): 9.  
El equipo de medición de CO<sub>2</sub> y el *Gateway* de comunicación LoRaWAN son fundamentales para el proyecto. El daño o deterioro implicaría hacer una compra no contemplada, esto ocasionaría de retrasos en el cronograma y un gasto mayor de recursos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3 .  
En el dimensionamiento de la red de comunicación y configuración de equipos, debido a la manipulación de los equipos, puede ocurrir algún tipo de deterioro o daño no previsto.

Riesgo 2: Deterioro o daño del ordenador de escritorio que se usará como servidor.

- Severidad (S): 10.  
El servidor es la parte más importante de nuestro proyecto, ya que la mayor cantidad de horas de desarrollo se realizará sobre él. Un deterioro o daño en el equipo ocasionaría la paralización temporal del proyecto hasta su reposición, debido a que el equipo es parte de los activos de la empresa.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 1 .

La empresa cuenta con un ambiente adecuado y respaldo de energía para el funcionamiento del ordenador. Se destinará el uso de este equipo a exclusividad del proyecto, de esta manera las probabilidades de daño por manipulación de un tercero serán mínimas.

Riesgo 3: Nueva reglamentación que disponga el Ministerio de Salud y Ministerio de Trabajo, que incluya características adicionales al sistema de medición de CO<sub>2</sub> no contemplados.

- Severidad (S): 10.

La motivación principal del proyecto es atender la nueva demanda de equipos de medición de CO<sub>2</sub> que están teniendo las empresas. Cambios en el reglamento y características técnicas podrían paralizar el proyecto temporalmente hasta que se pueda validar si es necesario un replanteamiento o podremos seguir con lo desarrollado.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 7.

El escenario político actual en la República del Perú hace que existan altas probabilidades de cambios de las autoridades que laboran en los ministerios, esto puede traer como consecuencia modificaciones a las normas de seguridad laboral ya existentes.

Riesgo 4: Conflictos sociales que impidan el trabajo presencial en el laboratorio de la empresa.

- Severidad (S): 5.

Hay varias zonas del país donde todavía se llevan a cabo protestas con motivos políticos. Dado que la ubicación de la empresa se encuentra en una zona propensa a actos de vandalismo durante las protestas, siempre se suspenden las labores presenciales durante los días de protesta. Esto se hace con el objetivo de proteger la integridad y seguridad de los trabajadores. Durante estos días no se podrá avanzar con las actividades previstas.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 3.

Aún es posible que se produzcan protestas en la ciudad de Lima, aunque con el paso de los meses la probabilidad de que ocurran irá disminuyendo.

Riesgo 5: Retraso debido a imprevistos laborales con la empresa.

- Severidad (S): 9.

La empresa tiene otros proyectos que pueden requerir realizar viajes fuera de la ciudad. Durante los viajes será imposible avanzar con el proyecto lo que podría generar retrasos.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.

Se coordino con la empresa para reducir al mínimo la programación de viajes en el presente año, con el objetivo de poder avanzar el proyecto. Sin embargo, existe la posibilidad de que ocurra.

b) Tabla de gestión de riesgos:

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores o iguales a 25.

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Deterioro o daño completo de alguno de los equipos del proyecto.	9	3	27	9	1	9
Deterioro o daño del ordenador de escritorio que se usará como servidor.	10	1	10	-	-	-
Nueva reglamentación que disponga el Ministerio de Salud y Ministerio de Trabajo, que incluya características adicionales al sistema de medición de CO <sub>2</sub> no contemplados.	10	7	70	2	7	14
Conflictos sociales que impidan el trabajo presencial en el laboratorio de la empresa.	5	3	15	-	-	-
Retraso debido a imprevistos laborales con la empresa.	9	5	45	5	2	10

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido: Se trabajará en un plan de mitigación para los riesgos 1, 5, 6 y 7, ya que exceden el valor máximo admitido: 25.

Riesgo 1: Se acondicionará un almacén temporal para los equipos del proyecto, una mesa de trabajo exclusivo en el laboratorio y en un área reservado solo para el proyecto. Además se adquirirá algunos equipos de *backup*.

- Severidad (S): 9.  
La severidad se mantiene.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 1.  
Con las medidas adoptadas, es muy poco probable que se deterioren o dañen los equipos. Además, al contar con un área reservada para el proyecto, se evita que personal ajeno pueda manipular los equipos. Finalmente los *backup* de equipos permitirán continuar con el proyecto en caso algo de lo anterior falle.

Riesgo 3: Se conversará con el cliente sobre esta posibilidad y se llegará a un acuerdo, previo análisis de los cambios. Si los cambios no son complejos y si se ajustan dentro de los plazos establecidos, se harán las modificaciones en el plan de proyecto. Caso contrario, se considerarán para una segunda etapa después de finalizar este proyecto.

- Severidad (S): 2.  
Se reduce la severidad, por que se acordó que se mantendría el plan proyecto, y solo si el cambio no implica modificar significativamente la planificación se podría tomar en cuenta.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 7.  
La probabilidad se mantiene, ya que es un evento externo a la empresa.

Riesgo 5: Se conversará con el cliente para buscar compañero de reemplazo para los viajes. Solo en casos excepcionales se podrá paralizar temporalmente la ejecución del proyecto, pero luego se recuperará durante la jornada laboral, dedicando tiempo completo según acuerdo. La empresa se compromete a usar esto como último recurso ya que la finalización de este proyecto está dentro de sus intereses comerciales.

- Severidad (S): 5.  
La severidad se reduce, ya que habrá posibilidad de dedicar más tiempo dentro de la jornada laboral en caso se retrase el proyecto.

- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.

La probabilidad se reduce, ya que hay un compromiso de la empresa por evitar en lo posible este escenario.

## 14. Gestión de la calidad

Se presenta a continuación los requerimientos con sus verificaciones y validaciones.

1. Req 1,3: La red de comunicación deberá tener la capacidad de brindar cobertura total en los ambientes laborales. Se establece como requisito que los valores de RSSI (indicador de la fuerza de la señal recibida) en los equipos de medición sean superiores a -120 dBm.
  - Verificación: Se verificará en los equipos, en el *network server* y con un *tester* LoRaWAN que los niveles de RSSI sean mayores a -120 dBm.
  - Validación: no aplica.
2. Req 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7: Requerimientos de los equipos.
  - Verificación: Se revisará los manuales, hojas de datos e información de soporte por parte del fabricante, para verificar que se cumpla el protocolo de comunicación, los rangos de frecuencia de operación y las especificaciones técnicas de los equipos.
  - Validación: no aplica.
3. Req 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5: Requerimientos del sistema de gestión y monitoreo de medidores de CO<sub>2</sub> (*backend*).
  - Verificación: Se revisará la version del sistema y cada una de las aplicaciones instaladas en el servidor. Se revisara los códigos para verificar el uso de cada programa instalado.
  - Validación: no aplica.
4. Req 2.6, 2.7 y 2.8: Requerimientos del sistema de gestión y monitoreo de medidores de CO<sub>2</sub> (*frontend*).
  - Verificación: Se revisará el código de implementación, se iniciará sesión en la aplicación web y se revisará la consola del navegador. Se verificará cada *dashboard* y la información presentada.
  - Validación: Se registrará al cliente en la aplicación. El cliente validará la visualización de los datos en la aplicación y configurará los valores para las alertas.
5. Req 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4: Requerimientos de documentación.
  - Verificación: Se revisara la entrega de la documentacion y manuales generados. Asimismo se verificará la carga exitosa de los codigos desarrollados en el repositorio GitHub de la compañía.
  - Validación: El cliente dará su conformidad por cada documento generado, así como por el código subido al repositorio de GitHub.
6. Req 4.1 y 4.2: Requerimiento de *testing*
  - Verificación: Se generará datos simulados desde *network server* para probar cada funcionalidad de la aplicación. Se verificara la base de datos y las alarmas generadas.
  - Validación: El cliente realizará la configuración del sistema, validando la funcionalidad con la generación de las alarmas, notificaciones y generación de reportes.

## 15. Procesos de cierre

Las actividades del proceso de cierre estarán a cargo del responsable del proyecto Ing. Jhonatan Alexander Juño García.

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el plan de proyecto original:
  - Una vez finalizado cada bloque de tareas, durante de la documentación, se hará una análisis del grado de cumplimiento de los objetivos y requerimientos.
  - Se analizará las horas empleadas en cada bloque de tareas, en caso que la estimación haya sido en exceso se aprovechará en avanzar las siguientes tareas. Si hubo tareas que no se estimaron correctamente, se tratará de reorganizar las actividades con tal de no afectar la fecha de entrega final.
  - Se tomará nota de aquellas tareas que pudieron haberse hecho en paralelo y aquellas cuyo alcance inicial estaba sobredimensionado para el proyecto.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
  - Se incluirá en la documentación entregable del proyecto aquellos aciertos y desaciertos durante la ejecución del proyecto. Las técnicas más útiles y aquellos procesos que pudieron afrontarse de mejor manera también serán incluidos como comentarios.
  - En el informe final del proyecto se analizarán las oportunidades de mejora. Estas podrán ser tomadas en consideración en la planeación de futuros proyectos.
  - Se analizará aquellas tareas que fueron más complicadas y los riesgos que se materializaron, a fin de documentar si las acciones de mitigación tuvieron el efecto esperado.
- Acto de agradecimiento a todos los interesados, al equipo de trabajo y colaboradores:
  - En la memoria técnica se incluirá un apartado para los agradecimiento a todos los que colaboraron con el desarrollo del proyecto.
  - Previo a la presentación ante el jurado, se tendrá una presentación de resultados a la empresa, que estará precedida por el cliente y auspiciador del proyecto. Se indicarán los objetivos alcanzados, proyectos a futuro y se darán los agradecimientos correspondientes.
  - Después de la presentación y sustentación ante el jurado, se realizará un agradecimiento público al director, jurado, revisores y docentes que colaboraron con el proyecto.