



Sistema de gestión y monitoreo de CO₂ 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:

Nombre del Director (pertenencia)

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	24
15. Procesos de cierre	27

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

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 CO₂ 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 (CO₂), que permitirá registrar los niveles de CO₂ 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/57800,00 PEN (\$15621,62 USD), con fecha de inicio el 25 de abril de 2023 y fecha de presentación pública el 21 de noviembre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Manuel Behar
Loratech S.A.C.

Nombre del Director
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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂. La norma establece alcances sobre el uso de equipos de medición de CO₂ 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 CO₂. 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 CO₂. 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 CO₂. 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 CO₂ con comunicación LoRaWAN.
- *Gateway* de comunicación LoRaWAN.

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

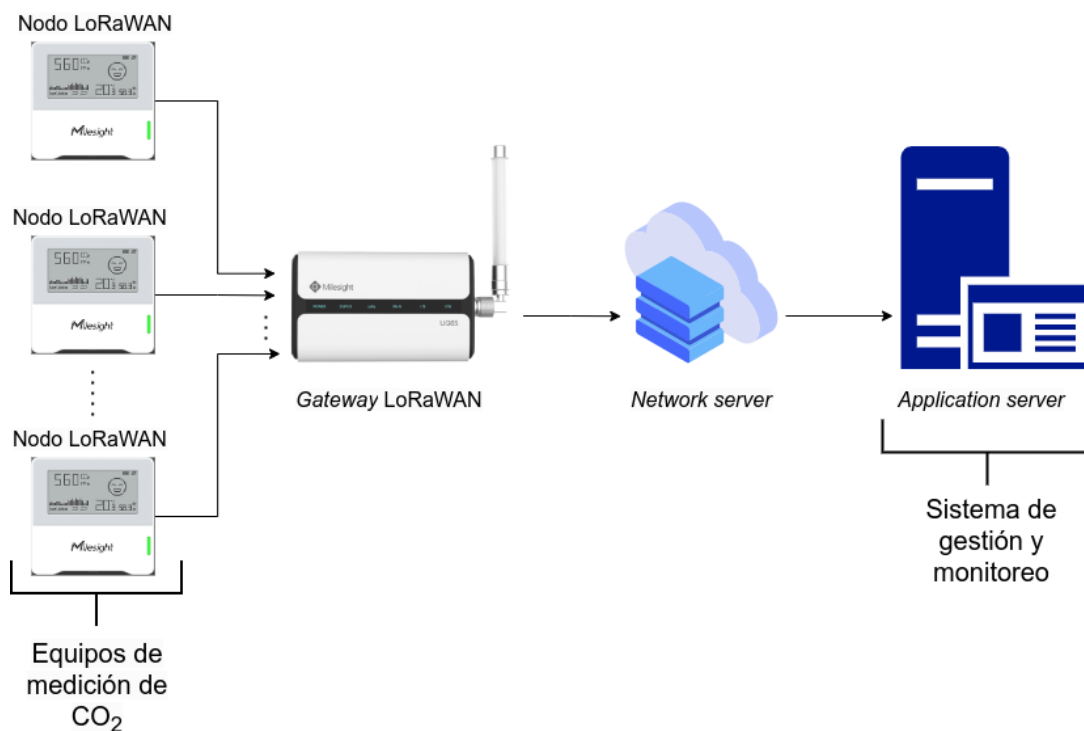


Figura 1. Diagrama de bloques de la red de comunicación.

El objetivo de la red de comunicación es llevar los valores medidos de CO₂ 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 CO₂ 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.

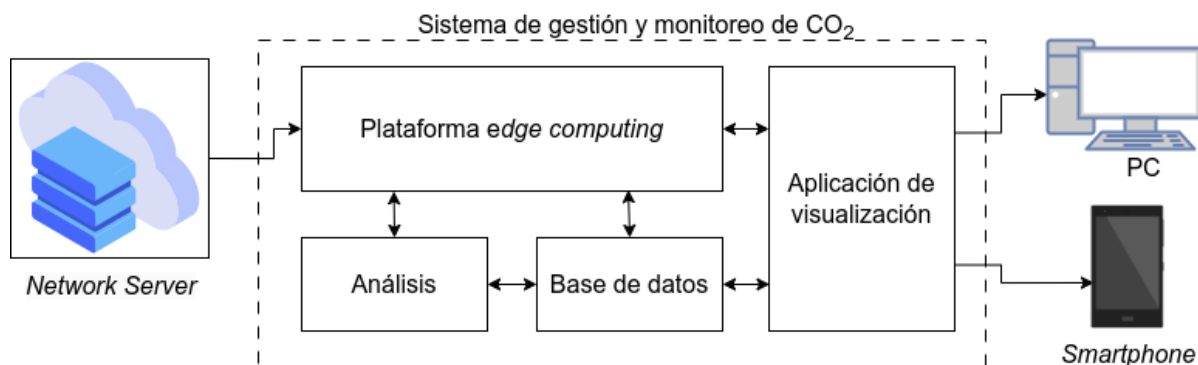


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema de gestión de medidores de CO₂

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	Nombre del Director	pertenencia	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 CO₂ (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 CO₂ 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 CO₂, *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 CO₂. 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 CO₂ 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 de los protocolos HTTP y MQTT.
 - 1.6. El equipo de medición de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂.
 - 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. El 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 deberá simular valores anormales del CO₂, 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 CO₂. 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ (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 en el servidor. (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. (0,5 h)
 - 3.2.3 Instalación de *plugin* para *Broker* MQTT sobre TagoCore. (0,5 h)
 - 3.2.4 Configuración del path de ejecución de NodeJS sobre Tagocore. (0,5 h)
 - 3.3. Creación de las bases de datos adicionales. (10 h)
 - 3.3.1 Definición de las bases de datos adicionales no gestionadas por Tagocore. (6 h)

- 3.3.2 Creación de las bases 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 CO₂ 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*. (95 h)
 - 5.1. Definición de los métodos HTTP a utilizar. (5 h)
 - 5.2. Implementación de un CRUD (*Create, Read, Update and Delete*) para la base de datos. (50 h)
 - 5.3. Testeo del CRUD con la base de datos. (5 h)
 - 5.4. Implementación del método para envío de *emails*. (20 h)
 - 5.5. Testeo del envío de *emails*. (5 h)
 - 5.6. 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 configuración para las alertas del sistema. (40 h)
 - 6.4. Programación del *dashboard* de visualización de los datos. (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 y programación de análisis de datos. (130 h)
 - 7.1. Análisis por cambio de variable. (20 h)
 - 7.2. Análisis para envío de notificaciones. (20 h)
 - 7.3. Análisis para cálculo de mínimo, máximo y promedio por periodo de tiempo. (20 h)
 - 7.4. Análisis para generación de reporte de datos. (20 h)
 - 7.5. Análisis para detección de batería baja y desconexión de dispositivos. (20 h)
 - 7.6. Configuración de la ejecución de análisis desde TagoCore. (10 h)
 - 7.7. Pruebas y test con el equipo de medición conectado. (10 h)
 - 7.8. Documentación del desarrollo y programación de los análisis. (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:

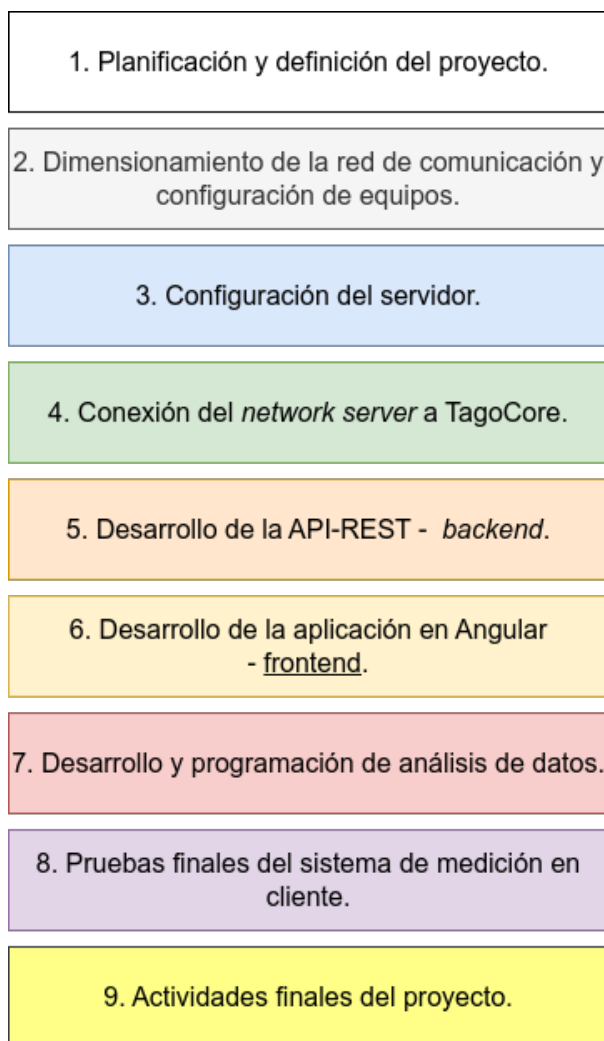


Figura 3. Colores del diagrama de *Activity on Node*.

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

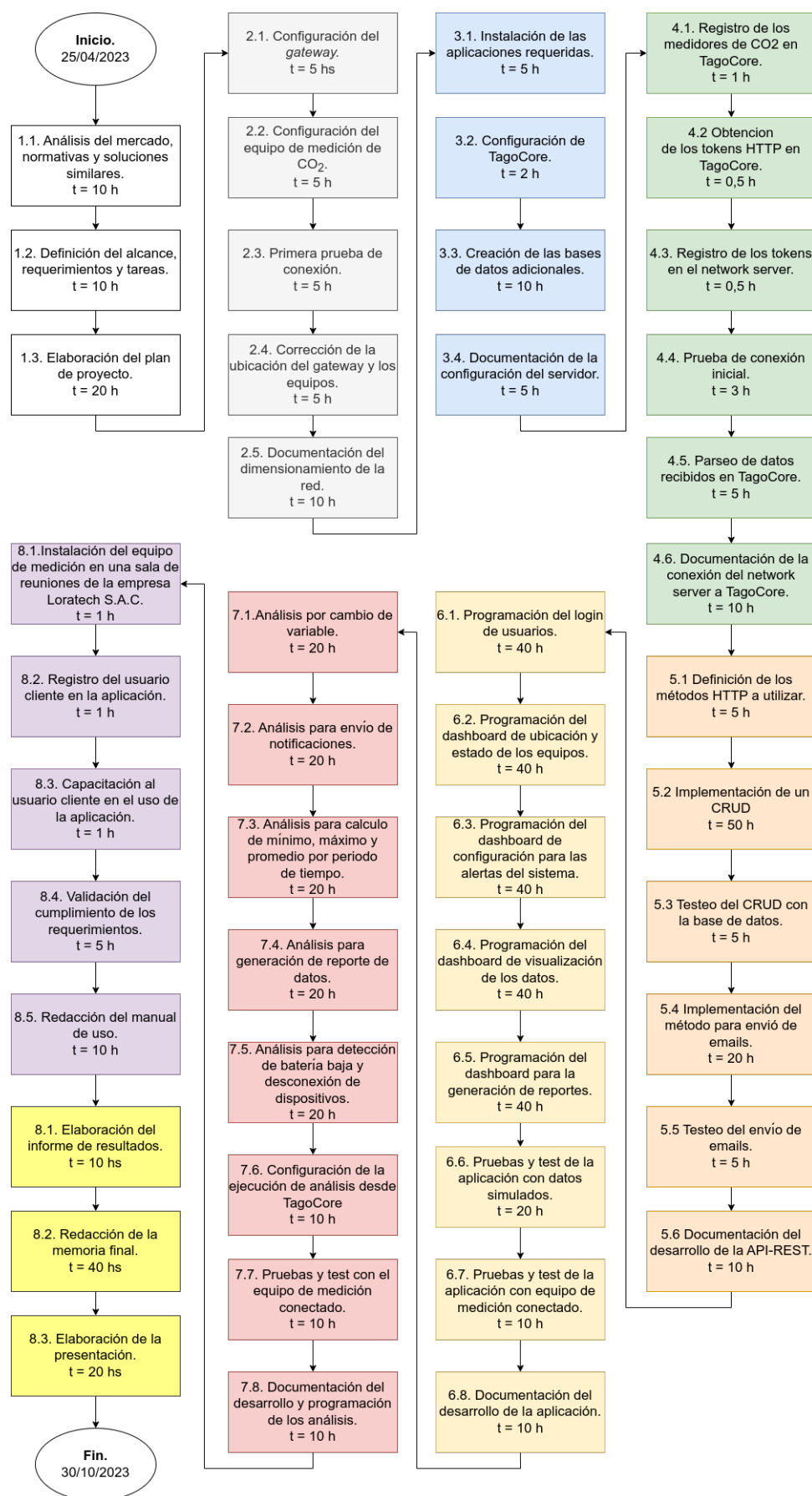


Figura 4. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
▼ Planificación y definición del proyecto.	25/4/23	4/5/23
Análisis del mercado, normativas y soluciones similares.	25/4/23	26/4/23
Definición del alcance, requerimientos y tareas.	27/4/23	28/4/23
Elaboración del plan de proyecto.	29/4/23	4/5/23
▼ Dimensionamiento de la red de comunicación y configuración de equipos.	5/5/23	13/5/23
Configuración del gateway.	5/5/23	5/5/23
Configuración del equipo de medición de CO2.	6/5/23	6/5/23
Primera prueba de conexión.	8/5/23	8/5/23
Corrección de la ubicación del gateway y los equipos.	9/5/23	10/5/23
Documentación del dimensionamiento de la red.	11/5/23	13/5/23
▼ Configuración del servidor.	15/5/23	20/5/23
Instalación de las aplicaciones requeridas.	15/5/23	15/5/23
Configuración de TagoCore.	16/5/23	16/5/23
Creación de las bases de datos adicionales.	17/5/23	18/5/23
Documentación de la configuración del servidor.	19/5/23	20/5/23
▼ Conexión del network server a TagoCore.	22/5/23	27/5/23
Registro de los medidores de CO2 en TagoCore.	22/5/23	22/5/23
Obtención de los tokens HTTP en TagoCore.	23/5/23	23/5/23
Registro de los tokens en el network server.	24/5/23	24/5/23
Prueba de conexión inicial.	25/5/23	25/5/23
Parseo de datos recibidos en TagoCore.	26/5/23	26/5/23
Documentación de la conexión del network server a TagoCore.	27/5/23	27/5/23
▼ Desarrollo de la API-REST - backend.	29/5/23	22/6/23
Definición de los métodos HTTP a utilizar.	29/5/23	29/5/23
Implementación de un CRUD (Create, Read, Update and Delete) para la base de datos.	30/5/23	12/6/23
Testeo del CRUD con la base de datos.	13/6/23	13/6/23
Implementación del método para envío de emails.	14/6/23	19/6/23
Testeo del envío de emails.	20/6/23	20/6/23
Documentación del desarrollo de la API-REST.	21/6/23	22/6/23
▼ Desarrollo de la aplicación en Angular - frontend.	23/6/23	31/8/23
Programación del login de usuarios.	23/6/23	4/7/23
Programación del dashboard de ubicación y estado de los equipos.	5/7/23	15/7/23

Figura 5. Planificación de tareas, parte 1.

Programación del dashboard de configuración para las alertas del sistema.	17/7/23	27/7/23
Programación del dashboard de visualización de los datos.	28/7/23	8/8/23
Programación del dashboard para la generación de reportes.	9/8/23	19/8/23
Pruebas y test de la aplicación con datos simulados.	21/8/23	25/8/23
Pruebas y test de la aplicación con equipo de medición conectado.	26/8/23	28/8/23
Documentación del desarrollo de la aplicación.	29/8/23	31/8/23
▼ Desarrollo y programación de análisis y el motor de reglas.	1/9/23	5/10/23
Análisis por cambio de variable.	1/9/23	6/9/23
Análisis para envío de notificaciones.	7/9/23	12/9/23
Análisis para calculo de mínimo, máximo y promedio por periodo de tiempo.	13/9/23	18/9/23
Análisis para generación de reporte de datos.	19/9/23	23/9/23
Análisis para detección de batería baja y desconexión de dispositivos	25/9/23	29/9/23
Configuración de la ejecución de análisis desde TagoCore.	30/9/23	2/10/23
Pruebas y test con el equipo de medición conectado.	3/10/23	3/10/23
Documentación del desarrollo y programación de los análisis.	4/10/23	5/10/23
▼ Pruebas finales del sistema de medición en cliente.	6/10/23	12/10/23
Instalación del equipo de medición en una sala de reuniones de la empresa Loratech S.A.C.	6/10/23	6/10/23
Registro del usuario cliente en la aplicación.	7/10/23	7/10/23
Capacitación al usuario cliente en el uso de la aplicación.	9/10/23	9/10/23
Validación del cumplimiento de los requerimientos.	10/10/23	10/10/23
Redacción de manual de uso.	11/10/23	12/10/23
▼ Actividades finales del proyecto.	13/10/23	30/10/23
Elaboración del informe de resultados.	13/10/23	14/10/23
Redacción de la memoria final.	16/10/23	26/10/23
Elaboración de la presentación.	27/10/23	30/10/23

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.

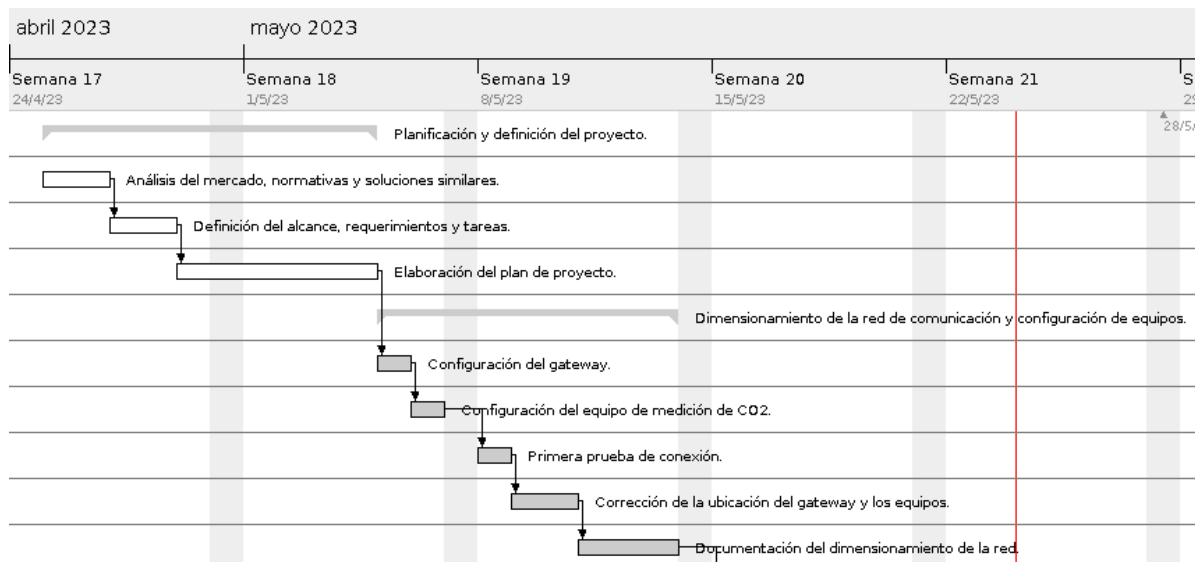


Figura 7. Diagrama de Gantt parte 1

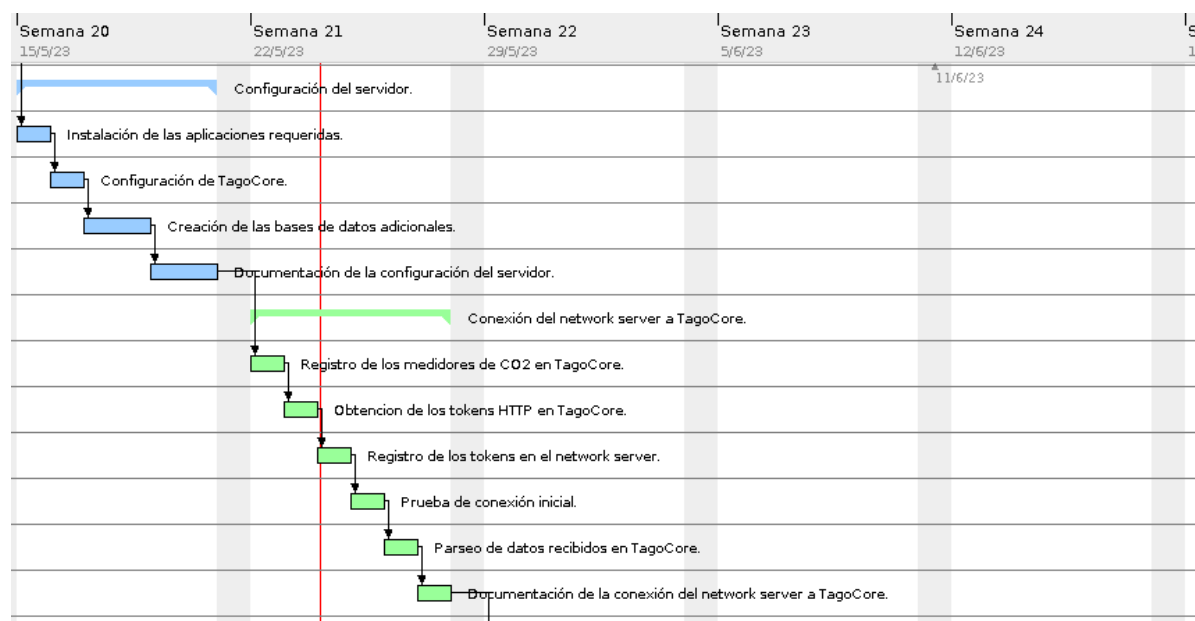


Figura 8. Diagrama de Gantt parte 2

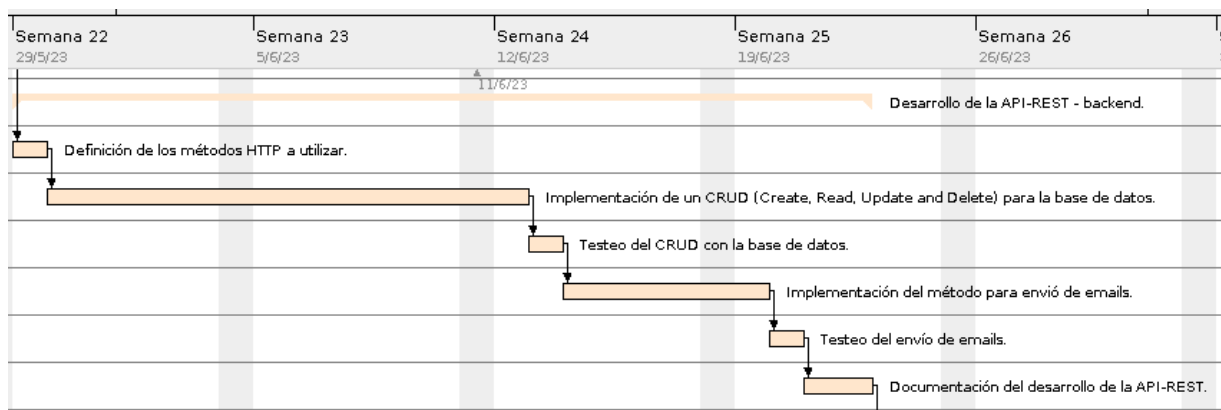


Figura 9. Diagrama de Gantt parte 3

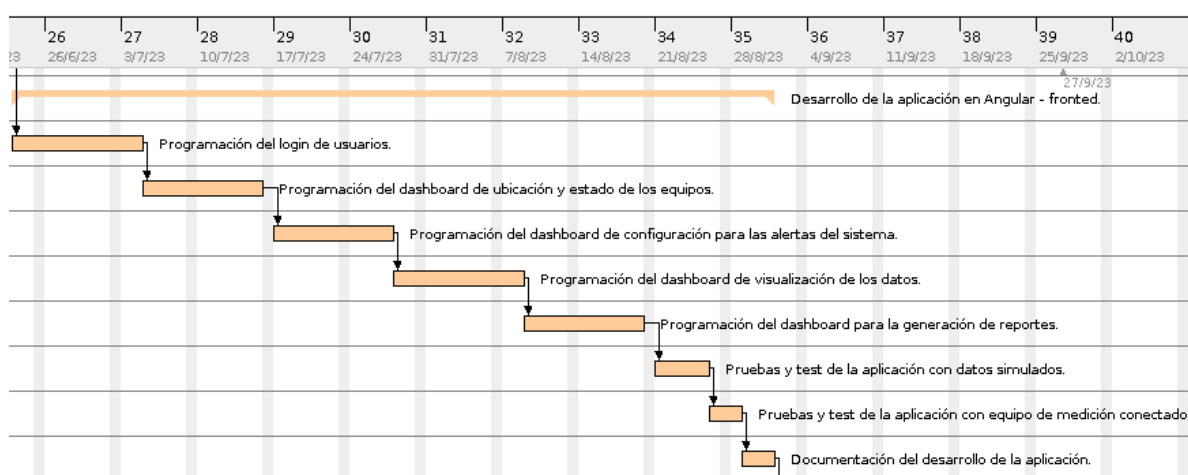


Figura 10. Diagrama de Gantt parte 4

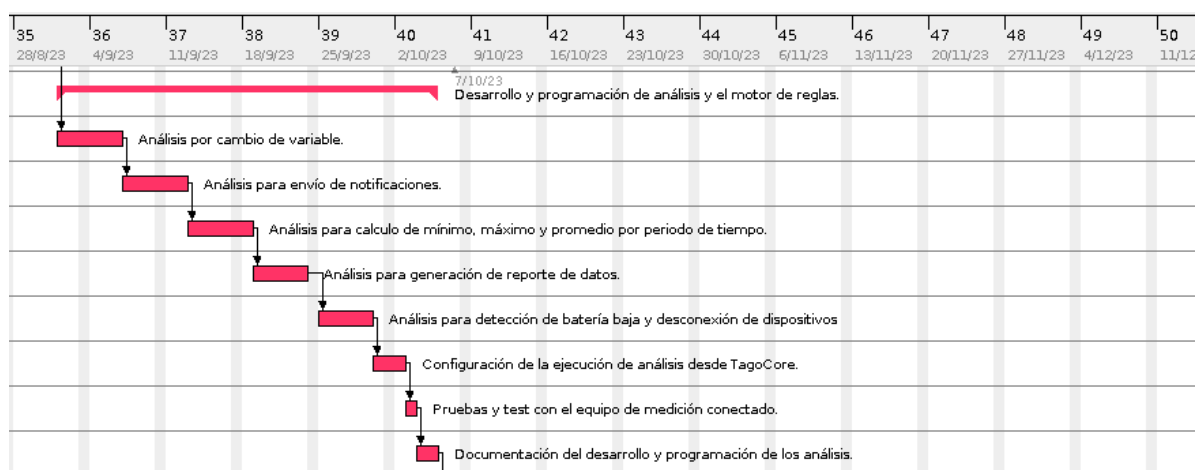


Figura 11. Diagrama de Gantt parte 5

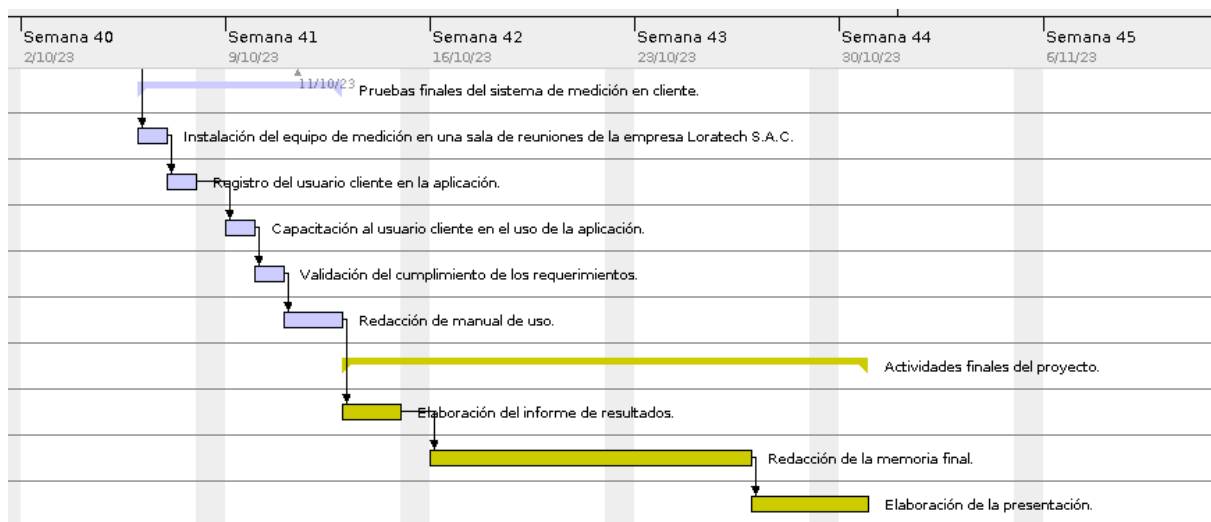


Figura 12. Diagrama de Gantt parte 6

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
SUBTOTAL EN PEN			S/19800,00
SUBTOTAL EN USD			\$5351,35
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
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/38000,00
SUBTOTAL EN USD			\$10270,27
TOTAL EN PEN			S/57800,00
TOTAL EN USD			\$15621,62

CORREGIR SOLO HASTA LA SECCIÓN 12

13. Gestión de riesgos

PDTE DE REVISIÓN a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: Deterioro o daño completo de alguno de los componentes del prototipo.

- Severidad (S): 8.
El prototipo es fundamental en el proyecto. El deterioro de las partes resta confiabilidad en el funcionamiento del mismo. Un daño completo del algún componente del prototipo implicaría hacer una compra no contemplada, esto ocasionaría de retrasos en el cronograma y un gasto mayor de recursos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5 .
El la etapa de armado del prototipo, debido a la alta manipulación de los módulos, 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 mas 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: El sensor de CO₂ no cumpla con las expectativas del cliente durante la comparación con un equipo comercial.

- Severidad (S): 8.
El sensor es un componente importante en el prototipo. Se validó que cumpliera las características técnicas mínimas. Se escogió un sistema modular, para que en caso de falla pueda ser reemplazado fácilmente. En caso el cliente considere que debe usarse un sensor de mayor calidad, se tendrá que replantear el alcance, costos y los tiempos de entrega del proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
Para este proyecto, que es un prototipo, se planteo que usaríamos un sensor confiable y que cumpla las características técnicas mínimas. El sensor escogido es de una marca reconocida, por lo que es muy poco probable que se requiera un cambio a medio proyecto.

Riesgo 4: Problemas con el consumo de energía del prototipo.

- Severidad (S): 3.
Luego de las pruebas en cliente se determinará la duración real de la batería en el equipo, acorde a las frecuencias de envío de datos. Si el consumo es muy elevado se analizará maneras de reducir el consumo o aumentar la capacidad de las baterías.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 8.
Como el proyecto es nuevo, la incertidumbre sobre el consumo de energía de los componentes en conjunto es elevado. Solo en operación real se podrá determinar el consumo real del prototipo.

Riesgo 5: Nueva reglamentación que disponga el Ministerio de Salud y Ministerio de Trabajo, que incluya características adicionales al sistema de medición de CO₂ no contemplados.

■ Severidad (S): 10.

La motivación principal del proyecto es atender la nueva demanda de equipos de medición de CO₂ que tendrán las empresas cuando entre en vigencia estas disposiciones. Cambios en el reglamento y características técnicas requeridas, 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 el Perú hace que hayan 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 6: Conflictos sociales que impidan el trabajo presencial en el laboratorio de la empresa.

■ Severidad (S): 5.

El escenario político actual en el Perú, hace que exista bastantes protestas en la capital. Aunque la situación ya se esta calmando, existe la posibilidad de que la empresa suspenda las labores presenciales durante los días de protesta, a fin de salvaguardar la integridad de sus trabajadores.

■ Probabilidad de ocurrencia (O): 5.

Los protestas todavía son posibles en la ciudad de Lima, aunque con el transcurso de los meses la probabilidad de ocurrencia irá disminuyendo.

Riesgo 7: Retraso debido a imprevistos laborales con la empresa.

■ Severidad (S): 9.

La empresa tiene otros proyectos que pueden implicar 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 tener la mínima programación de viajes en el presente año, a fin 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.

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 usará guantes anti-estáticos para evitar daños en los módulos, se acondicionará una mesa de trabajo exclusivo en el laboratorio, en un área reservado solo para el proyecto. Además se adquirirá componentes adicionales de *backup*.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Deterioro o daño completo de alguno de los componentes del prototipo.	8	5	40	8	2	16
Deterioro o daño del ordenador de escritorio que se usará como servidor.	10	1	10	-	-	-
El sensor de CO ₂ no cumpla con las expectativas del cliente durante la comparación con un equipo comercial.	8	2	16	-	-	-
Problemas con el consumo de energía del prototipo.	3	8	24	-	-	-
Nueva reglamentación que disponga el Ministerio de Salud y Ministerio de Trabajo, que incluya características adicionales al sistema de medición de CO ₂ no contemplados.	10	7	70	2	7	14
Conflictos sociales que impidan el trabajo presencial en el laboratorio de la empresa.	5	5	25	1	5	5
Retraso debido a imprevistos laborales con la empresa.	9	5	45	9	1	9

- Severidad (S): 8.
La severidad se mantiene.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 2.
Con las medidas adoptadas en muy poco probable que se deterioren o dañen los equipos. Además con el área reservado se impide que personal ajeno al proyecto pueda manipular los componentes. Finalmente los *backup* de componentes permitirán no tener que paralizar el proyecto en caso algo de lo anterior falle.

Riesgo 5: Se converso con el cliente sobre esta posibilidad, se llego a un acuerdo que si ocurriera alguna modificatoria se analizará previamente. Si los cambios no son complejos y si los tiempos cuadran 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 6: Se converso con el cliente, para tener un mecanismo de contingencia. En estos casos y de manera excepcional, se armará un laboratorio temporal en el domicilio del responsable del proyecto. En el caso del servidor, se instalara una aplicación para poder tener acceso remoto y poder trabajar a distancia sin problemas. También se acordó que se recuperará las horas de trabajo perdidas los días sábado y domingo siempre que sea posible.

- Severidad (S): 1.
Se reduce la severidad, por que se cuenta con mecanismos para afrontar este riesgo.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5.
La probabilidad se mantiene, ya que es un evento externo a la empresa.

Riesgo 7: Se conversó con el cliente y el proyecto tiene prioridad 2 dentro de las actividades de la empresa. Solo en casos excepcionales se podría paralizar temporalmente la ejecución, pero

luego se recuperaría los días sábado y domingo según acuerdo. La empresa se compromete a usar esto como ultimo recurso ya que la finalización de este proyecto esta dentro de sus intereses comerciales.

- Severidad (S): 9.
La severidad se mantiene.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 1.
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. Requerimientos funcionales del *hardware*.

1.1. El equipo debe usar un microcontrolador con capacidad de leer los datos del sensor de CO₂ utilizado.

- Verificación: se observa la hoja de datos del microcontrolador ESP32 y del sensor SCD-30. Se verifica que son compatibles.
- Validación: se realizará un test de lectura del sensor con el microcontrolador para validar el requerimiento.

1.2. El *firmware* desarrollado para el microcontrolador debe implementar lecturas periódicas del sensor de CO₂, gestionar la pantalla de visualización y el teclado de configuración. Además debe implementarse el protocolo MQTT con autenticación mediante TLS o usuario y contraseña.

- Verificación: se observa la hoja de datos, capacidad de memoria e interfaces de comunicación que posee la ESP32. También se revisa la hoja de datos de la pantalla y teclado a utilizar, se verifica que son compatibles. Se verifica que existe a librería para implementar MQTT en el microcontrolador.
- Validación: durante el test de lecturas del sensor, se validará el funcionamiento de la pantalla y teclado. Se probará el muestreo periódico. Se probará el prototipo con una conexión MQTT en TagoCore usando autenticación por Usuario y contraseña.

1.3. En el caso del modulo Wi-Fi debe soportar mínimamente la banda de 2.4 GHz.

- Verificación: se observa en la hoja de datos que cumple con la banda 2.4 GHz.
- Validación: en el test de lecturas se validará la conexión Wi-Fi a una red de 2.4 GHz

1.4. El equipo debe contar con una interfaz que permita configurar fácilmente el SSID (identificador de red) y clave para conectarnos a una red Wi-Fi.

- Verificación: según la documentación del fabricante del ESP32 se puede generar un web-server embebido para poder implementar esta función.
- Validación: se validará el acceso a un web-server embebido en la ESP32, cuando el equipo se encienda y no pueda conectarse a una red Wi-Fi se mostrará para su configuración.

- 1.5. El sensor de CO₂ utilizado debe ser de bajo consumo. Además su rango de medición debe estar comprendido entre 400 y 4000 ppm.
 - Verificación: se observa la hoja de datos del sensor SCD-30 y la forma de medición es por NDIR (*Non Dispersive Infrared Detector*) que se caracteriza por ser de bajo consumo comparado con los sensores químicos.
 - Validación: el bajo consumo no podemos validarlo directamente ya que tendríamos que compararlo con otro sensor. Tomaremos como válido lo que indica la hoja de datos, y validaremos el consumo completo de todo el prototipo para determinar la duración de la batería. Durante el test de lecturas lo compararemos con un equipo comercial calibrado. Usaremos una oficina limpia y ventilada para validar el valor mínimo y una oficina cerrada con gas de CO₂ para validar el rango máximo. En ambos casos se comparara las mediciones con el equipo comercial calibrado.
 - 1.6. Los datos medidos deben ser enviados por Wi-Fi al sistema de gestión de medidores de CO₂.
 - Verificación: la ESP32 tiene la capacidad de leer el sensor y enviar los datos por Wi-Fi
 - Validación: durante la integración del prototipo a TagoCore se validará la recepción de los datos medidos.
 - 1.7. La pantalla de visualización debe mostrar mínimamente el valor actual medido, el nivel de carga de la batería e indicar de la calidad del aire como buena, regular o mala.
 - Verificación: se observa en la hoja de datos que la pantalla usada es una GLCD de 128x64 pixeles, por lo tanto tiene la capacidad de mostrar la información requerida.
 - Validación: durante el test de lecturas se validará la información mostrada en pantalla.
 - 1.8. El equipo debe funcionar con baterías de larga duración. Como opción adicional, se podría utilizar una batería recargable con un sistema de carga.
 - Verificación: se usará batería recargable. Se observa en la hoja de datos que la capacidad es de 2400 mA. Se calculará el tiempo de vida esperado antes de una recarga.
 - Validación: durante las pruebas en cliente se validará la duración real de la batería.
 - 1.9. Debe permitir la configuración de parámetros de forma remota (lectura a demanda, periodo de transmisión, umbrales mínimo-máximo para el envío de alertas).
 - Verificación: el protocolo MQTT permite al prototipo recibir comandos de control mediante la suscripción a un tópico.
 - Validación: durante las pruebas en cliente se validará la lectura a demanda, cambio del periodo de transmisión, configuración de los umbrales de alarma, todo esto desde la aplicación web.
2. Requerimientos funcionales del *Software*.
 - 2.1. Se debe implementar un servidor con sistema operativo Ubuntu Server versión 22.04 LTS o superior.
 - Verificación: se verifica que se tiene un *pendrive* con el sistema operativo para la instalación en el servidor.

- Validación: durante el primer uso del servidor se validará que el sistema instalado es Ubuntu Server version 22.04 LTS o superior.
- 2.2. Se utilizará un *broker* MQTT. Debe permitir el uso de TLS o usuario y contraseña como método de autenticación.
 - Verificación: se verifica en la documentación de TagoCore que mediante un *plugin* se puede habilitar un *broker* MQTT con autenticación por usuario y contraseña.
 - Validación: durante la integración del prototipo a TagoCore se validará la conexión por MQTT.
- 2.3. La base de datos utilizada debe ser del tipo relacional.
 - Verificación: se verifica en la documentación de MySQL que la base de datos es del tipo relacional.
 - Validación: no aplica validación en este caso.
- 2.4. Se debe implementar una API-REST con Express en NodeJS.
 - Verificación: se verificará en el código de la API-REST que se haga uso de la librería Express con NodeJS.
 - Validación: se realizará algunas consultas HTTP para validar el funcionamiento de la API-REST
- 2.5. El motor de reglas y análisis de datos se codificarán con NodeJS.
 - Verificación: se verificará que el código se realice con javascript como lenguaje usando NodeJS.
 - Validación: no aplica validación en este caso.
- 2.6. Se debe utilizar la aplicación de *edge computing* TagoCore. Esta aplicación gestionará las conexiones y tópicos del *Broker* MQTT y generará tablas para la base de datos. También permitirá realizar acciones basadas en los datos recibidos o calculados. Además ejecutará los análisis con los datos almacenados para agregar valor a la información generada.
 - Verificación: se verificará que la aplicación instalada en el servidor es TagoCore. Se verifica con la documentación de TagoCore que todas las funciones descritas en el requerimiento indicadas pueden ser realizadas.
 - Validación: no aplica validación en este caso.
- 2.7. Se debe diseñar una aplicación web con Angular. En esta aplicación se debe implementar diferentes *dashboards* que permitan la visualización de los datos, el *login* de los usuarios previamente cargados en la base de datos, gestión del sistema donde el usuario podrá establecer los valores de alarmas y generar reportes con los valores medidos.
 - Verificación: se verificará en el código de la aplicación cada una de las funciones descritas.
 - Validación: se validará con el cliente, el acceso a cada uno de los *dashboards* descritos en el requerimiento.
- 3. Requerimientos de documentación.
 - 3.1. Se documentará el procedimiento completo de construcción del prototipo (desarrollo del *firmware*, ensamblado del prototipo y pruebas en el sitio del cliente).
 - Verificación: se verificará que el documento contenga las partes descritas junto a esquemas, imágenes y gráficos.
 - Validación: se entregará al cliente una copia en digital del documento, quien validará la entrega.

- 3.2. Se documentará el proceso de levantamiento del sistema de gestión de medidores sobre el servidor (requisitos de *hardware* para el servidor, *software* empleado y procedimiento de instalación).
 - Verificación: se verificará que el documento contenga las partes descritas junto a esquemas, imágenes y gráficos.
 - Validación: se entregará la cliente una copia en digital del documento, quien validará la entrega.
- 3.3. Todo el código desarrollado será cargado al repositorio de Github de la compañía.
 - Verificación: se verificará que el código completo se haya subido exitosamente al repositorio de la empresa.
 - Validación: el cliente validará desde su cuenta de Github que este cargado todo el código del proyecto.
- 3.4. Se elaborará un manual de uso del equipo y uso de la aplicación web para los usuarios finales.
 - Verificación: se verificará que el documento contenga las partes descritas junto a esquemas, imágenes y gráficos.
 - Validación: se entregara la cliente una copia en digital del documento, quien validará la entrega.

4. Requerimiento de *testing*

- 4.1. Se implementará el prototipo inicial en las oficinas de la empresa para evaluar el funcionamiento.
 - Verificación: se verificará que el prototipo se encuentre instalado en la oficina para las pruebas.
 - Validación: el cliente validara la implementación del prototipo en la oficina.
- 4.2. Se validará los valores medidos de CO₂, comparándolo con las mediciones de un equipo comercial.
 - Verificación: se verificará los valores medidos vistos desde la aplicación web, comparándolo con un equipo comercial calibrado instalado en las mismas condiciones.
 - Validación: el cliente validará que los valores medidos por el prototipo son los esperados y están cerca a los medido por el equipo calibrado.
- 4.3. Se realizará la prueba del sistema de gestión de medidores de CO₂ con el prototipo inicial.
 - Verificación: el sistema se desarrolló cumpliendo todos los requerimientos. Se elaboran casos de prueba para validar el funcionamiento completo del sistema.
 - Validación: el cliente validará que la funcionalidad del sistema con los casos de prueba. En caso alguna funcionalidad presentara problemas se corregirá inmediatamente.

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 o aquellos riesgos que se materializaron, a fin de documentar si las acciones de mitigación tuvieron el efecto esperado.
- Acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
- En la memoria técnica se incluirá un apartado para los agradecimientos 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.