



# Sistema de monitoreo para equipos de captura de CO<sub>2</sub>

Autor:

Ing. Alena Grebneva

Director:

Mg. Ing. Milton Eduardo Sosa (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 . . . . .	8
4. Alcance del proyecto . . . . .	8
5. Supuestos del proyecto. . . . .	9
6. Requerimientos . . . . .	9
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	10
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	12
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	12
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	14
11. Diagrama de Gantt . . . . .	14
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	17
13. Gestión de riesgos . . . . .	17
14. Gestión de la calidad . . . . .	18
15. Procesos de cierre . . . . .	19

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento y asignación del director	25 de abril de 2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	8 de mayo de 2023
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	16 de mayo de 2023
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	23 de mayo de 2023
4	Se completa el plan	30 de mayo de 2023

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 25 de abril de 2023

Por medio de la presente se acuerda con la Ing. Alena Grebneva que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo para equipos de captura de CO<sub>2</sub>” y consistirá en el desarrollo de un prototipo para un sistema capaz de monitorear a distancia los equipos de captura de CO<sub>2</sub> pertenecientes al proyecto *Green Backbone*, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 671 h de trabajo y \$ 4.006.755, con fecha de inicio el 25 de abril de 2023 y fecha de presentación pública en Diciembre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Mg. Ing. Eddie Jose Sierra Higuerey  
Fundador de *Green Backbone*

Mg. Ing. Milton Eduardo Sosa  
Director del Trabajo Final

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

El presente proyecto forma parte de la iniciativa de sostenibilidad *Green Backbone* (en adelante GB). El objetivo de esta iniciativa es hacer frente a los efectos de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y descarbonizar el aire del ambiente.

La emisión de GEI que se produce en actividades humanas, tales como la quema de hidrocarburos y la industrialización, se asocia con el cambio climático. Estas emisiones tienen efectos perjudiciales en los sistemas naturales y en los seres humanos a nivel mundial.

Algunos de los efectos del cambio climático son: el aumento del nivel del mar, el derretimiento de glaciares y la alteración de los patrones climáticos. Estos cambios, a su vez, pueden tener un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua y la salud de las personas.

Para hacer frente a esta problemática algunos actores globales (países, compañías e instituciones) se comprometieron a implementar una serie de estrategias que, en primer lugar, permitan reducir gradualmente la emisión de los GEI hacia el año 2030 y luego alcanzar lo que se conoce como *net zero* o emisión cero para el año 2050.

El concepto de *net zero* o neutralidad de carbono implica lograr un equilibrio entre las emisiones de GEI producidas y las emisiones que se eliminan o se compensan. Por ello, en los últimos años, han surgido iniciativas para el desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan remover grandes cantidades de dióxido de carbono (entre 100 y 1.000 Gt de CO<sub>2</sub>) presente en la atmósfera y alcanzar el *net zero* más rápidamente.

El proyecto GB es liderado el Mg. Ing. Eddie Jose Sierra Higuerey y surgió en Bogotá (Colombia), en el año 2021, como uno de los participantes de la competencia global *XPRIZE Carbon Removal*, donde se ofrecía un premio económico a quienes desarrollen y demuestren la eficiencia de soluciones tecnológicas para secuestrar y retener el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera y los océanos.

Durante la competencia, los miembros del equipo de GB desarrollaron un proceso químico innovador para capturar CO<sub>2</sub> del aire y demostraron su funcionamiento en un prototipo de pequeña escala.

En el proceso químico desarrollado, el aire del ambiente se inyecta con un compresor en un reactor que contiene desechos orgánicos y luego se lo hace circular por un tren de fotobiorreactores. El CO<sub>2</sub> queda retenido en ambas etapas del proceso y se puede comercializar como materia prima.

Para capturar grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> mediante la implementación a gran escala del proceso desarrollado, el equipo de GB de Bogotá comenzó a construir en el año 2022 un prototipo comercial al que se denominó “GB005 Unidad Ángel”.

Se estima que la unidad GB005 podrá capturar 3,3 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. También permitirá validar las tecnologías, mejorar el diseño y atraer inversionistas al proyecto.

Para esta unidad se solicitó a la autora del proyecto desarrollar un dispositivo que registre los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en la entrada y la salida de aire del equipo y los muestre en un display LCD, para evaluar el rendimiento del proceso de captura.

En la figura 1 se muestra el diagrama en bloques del dispositivo, denominado nodo de medición, al que se adicionaron sensores de temperatura y pH para monitorear la salud de los biorreactores. También se propuso emplear un sensor de luz y relés para controlar el encendido y apagado de la unidad.

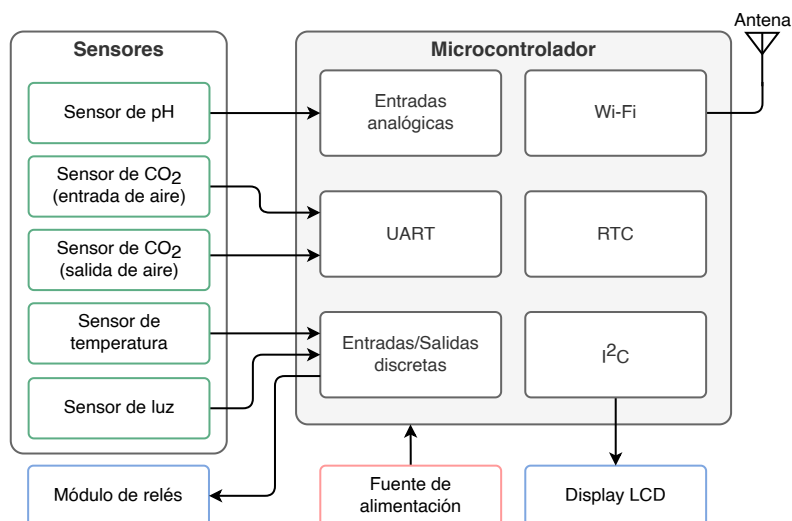


Figura 1. Diagrama en bloques del nodo de medición.

En una instancia de trabajo anterior al curso del posgrado se definió qué microcontrolador y sensores se van a utilizar y se propuso la conexión de todos los elementos. Asimismo, se desarrolló un firmware básico para poder monitorear los niveles de CO<sub>2</sub> y mostrar las mediciones en un display. En el presente proyecto se tomará esta base de diseño para mejorar el firmware propuesto.

A futuro, cuando se logre un diseño eficiente y se obtenga financiación, GB proyecta la construcción en serie de nuevas unidades en diferentes tamaños y capacidades de captura. Estas unidades se van a comercializar en Colombia y en el resto del mundo. Por ello, además del nodo de monitoreo para cada unidad, se necesita una plataforma capaz de recolectar y almacenar datos operativos de todas las unidades instaladas, sin importar donde se localicen físicamente.

Como la primera unidad de GB aún se encuentra en etapa de desarrollo, la propuesta del presente proyecto es un prototipo para evaluar su desempeño, agregar funciones de comunicación inalámbrica al nodo para que envíe las mediciones de los sensores hacia un broker MQTT (*Message Queues Telemetry Transport*) y desarrollar la infraestructura del sistema de monitoreo.

En la figura 2 se muestra una arquitectura tentativa del sistema, que se compone de tres elementos principales: el nodo de medición, un broker MQTT y un entorno de desarrollo para la aplicación de monitoreo.

El nodo de medición recolecta las mediciones de los sensores y los envía al broker MQTT, que actúa como un intermediario entre el nodo de medición y la aplicación.

La aplicación lee los datos del broker MQTT a través del servidor de entradas y salidas. Utilizando esta información, permite visualizar el funcionamiento general de la unidad en tiempo real a través del servidor de aplicación.

Además de la visualización en tiempo real, la aplicación también almacena la información operativa en una base de datos de tiempo real. Esto permite acceder a los datos históricos y realizar análisis posteriores sobre el funcionamiento de la unidad.

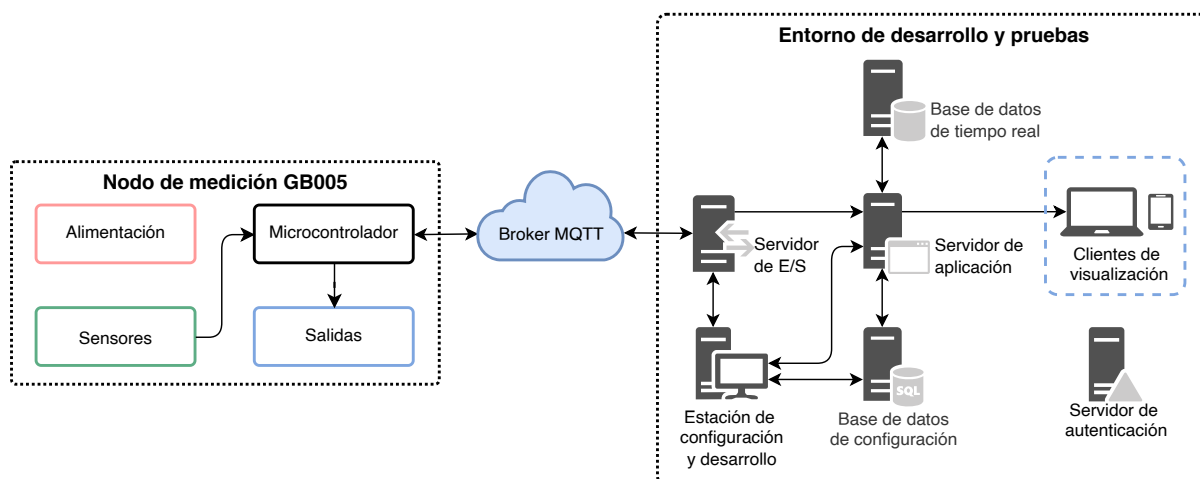


Figura 2. Arquitectura del sistema.

Actualmente existen diferentes soluciones de mercado para implementar aplicaciones IoT. En el presente proyecto, para desarrollar el sistema de monitoreo, se empleará el software *AVEVA System Platform* (ASP) ya que es una solución ampliamente utilizada en la industria con continuo desarrollo y soporte.

El ASP soporta arquitecturas de IoT mediante el uso del protocolo MQTT, posee un entorno gráfico que permite implementar aplicaciones de visualización y una base de datos histórica para almacenar las mediciones de los sensores.

Además, se tiene acceso a una licencia de desarrollo del ASP sin cargo, ya que la autora del presente proyecto es empleada de AVEVA, la empresa que comercializa la solución. Esto permite reducir costos y tiempos de desarrollo del proyecto.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Mg. Ing. Eddie Jose Sierra Higuerey	Green Backbone y AVEVA	Fundador de GB
Responsable	Ing. Alena Grebneva	FIUBA	Alumna
Colaboradores	-	-	Empleados de GB/AVEVA
Orientador	Mg. Ing. Milton Eduardo Sosa	FIUBA	Director del trabajo final
Usuario final	-	-	Equipo de GB y sus clientes

- Cliente: Eddie Sierra, creó GB como emprendimiento personal y es el principal interesado en el desarrollo de la aplicación de monitoreo para mostrar el valor del proyecto. Trabaja en AVEVA y está impulsando la visibilidad del proyecto GB dentro de esta organización y empresas asociadas para conseguir financiamiento e interesados. Actualmente se ocupa de todas las cuestiones constructivas de la unidad Ángel, con lo cual no dispone de tiempo para hacer un seguimiento detallado del desarrollo. Su prioridad es que el desarrollo tenga el menor costo posible y esté en funcionamiento cuanto antes. Vive en Colombia y se debe considerar la diferencia horaria para programar reuniones con él.

- Orientador: Milton Sosa, ayudará con la definición de los requerimientos y alcance del proyecto. Se encuentra viviendo en Europa y se debe considerar la diferencia horaria para programar reuniones con él.
- Usuario final: los miembros del equipo de GB y sus clientes utilizarán la plataforma desde diferentes partes del mundo para visualizar el estado de funcionamiento y rendimiento de las unidades.

### 3. Propósito del proyecto

Desarrollar e implementar el prototipo para una plataforma de monitoreo que permita visualizar en tiempo real y almacenar el historial de los datos operacionales de la unidad GB005 y las unidades futuras del proyecto *Green Backbone*.

El objetivo de este prototipo será monitorear el estado de funcionamiento de las unidades, evaluar su rendimiento y poder programar el mantenimiento o recambio de consumibles.

### 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Adaptación del firmware del nodo para que envíe datos mediante el protocolo MQTT
- Despliegue y configuración del entorno de desarrollo y pruebas
  - Configuración del entorno virtual
  - Instalación y licenciamiento del software ASP
  - Configuración de acceso y seguridad
- Configuración de la colección e historización de datos
- Desarrollo de la aplicación de visualización en tiempo real
- Desarrollo de plantillas para las unidades futuras

El proyecto no incluye:

- Desarrollo del hardware del nodo de medición
- Despliegue del broker MQTT
- Contratación de servicios en la nube para implementar la aplicación de monitoreo
- Adquisición de cualquier otra licencia de software que pueda ser requerida
- Puesta en marcha para producción



## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se contará con los recursos económicos necesarios para realizar del proyecto.
- Se tendrá a disposición la infraestructura de hardware necesaria para implementar la aplicación de monitoreo.
- Se dispondrá una conexión a Internet mediante Wi-Fi continuamente para las pruebas.
- No habrá dificultades para conseguir el software necesario (licencias, bibliotecas, certificaciones, etc).
- Se dispondrá del conocimiento necesario para programar el microcontrolador.
- Se dispondrá del conocimiento para desarrollar la aplicación de monitoreo.
- Se contará con la colaboración de profesionales idóneos en temas de conectividad, programación del microcontrolador y desarrollo de aplicaciones con el ASP.
- El cliente aceptará que algunas mediciones sean simuladas por no disponer de los sensores localmente.

## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos de *firmware* del nodo de medición

- 1.1. Correr sobre un microcontrolador ESP32 (ESP-WROOM-32)
- 1.2. Disponer de conexión a una red Wi-Fi en el sitio para pruebas
- 1.3. Envío y recepción de datos mediante el protocolo MQTT, utilizando certificados SSL/TLS para la comunicación con el broker
- 1.4. Obtención de información horaria desde un servidor NTP
- 1.5. Lectura de las mediciones de CO<sub>2</sub> de dos sensores MH-Z19B/T6793 empleando los puertos UART/I<sup>2</sup>C
  - Los sensores MH-Z19B poseen un rango de medición entre 0 y 5000 ppm con una precisión de  $\pm 50$  ppm y salida UART TTL de 3.3 V.
  - Los sensores T6793 poseen un rango de medición entre 0 y 2000 ppm con una precisión de  $\pm 45$  ppm y salida I<sup>2</sup>C que soporta Modbus.
- 1.6. Lectura de la medición de temperatura de un sensor digital DS18B20, utilizando el protocolo *1-Wire*
  - Este sensor posee un rango de medición entre -55°C y 125°C con una precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  entre -10 y +85 °C, tiene una resolución programable entre 9 y 12 bits y cuenta con una salida digital de datos para la comunicación bidireccional con el microcontrolador.
- 1.7. Lectura y conversión de la medición del pH de un sensor SEN0249, mediante el ADC del microcontrolador
  - Este sensor posee un rango de medición entre 0 y 14 pH, tiene una precisión de  $\pm 0.1$  pH y cuenta con un transmisor con salida analógica entre 0 y 3.3 V.

- 1.8. Detección de luz diurna a través de un módulo fotorresistivo LDR (*Light Depending Resistor*) conectado a una entrada discreta
  - Este sensor posee una salida discreta que indica con un nivel alto que la intensidad de la luz se encuentra por debajo de cierto umbral (que se establece mediante el potenciómetro de la placa).
- 1.9. Accionamiento de un módulo con relés mediante salidas discretas, para encender y apagar los compresores
  - Este módulo posee dos entradas opto-acopladas y dos salidas a relé que permiten controlar la conexión y desconexión de cargas de hasta 250 V (CA) y 10 A.
- 1.10. Visualización de las mediciones en un display LCD1602 conectado al puerto I<sup>2</sup>C
  - Este display posee 16 caracteres en 2 líneas, color azul con retro-iluminación ajustable e incluye un adaptador para I<sup>2</sup>C.
2. Requerimientos funcionales del broker MQTT
  - 2.1. Proveer certificados SSL/TLS para la comunicación del microcontrolador y la aplicación de monitoreo
  - 2.2. Ser capaz de manejar múltiples conexiones simultáneas de nodos de monitoreo
  - 2.3. Ser de acceso público
3. Requerimientos de la aplicación de monitoreo
  - 3.1. Envío y recepción de datos mediante el protocolo MQTT, utilizando certificados SSL/TLS para la comunicación con el broker
  - 3.2. Organización de los datos recibidos en una estructura jerárquica
  - 3.3. Visualización de las mediciones en tiempo real
  - 3.4. Registro de las mediciones obtenidas en una base de datos
  - 3.5. Autenticación de los usuarios y control de acceso a las funcionalidades
  - 3.6. Escalabilidad para agregar nuevas unidades de GB a futuro
  - 3.7. Generación de alarmas cuando se superen los umbrales definidos para las mediciones
  - 3.8. Configuración de los umbrales de alarma
  - 3.9. Generar reportes de datos instantáneos e históricos
  - 3.10. Manejo de errores de comunicación con el broker MQTT y con la base de datos
4. Requerimientos de la interfaz de visualización
  - 4.1. Mostrar las mediciones de los sensores en tiempo real de manera gráfica
  - 4.2. Permitir la visualización de datos históricos
  - 4.3. Ser fácil de usar para cualquier usuario sin conocimientos técnicos especializados
  - 4.4. Comunicarse con la aplicación de monitoreo mediante un protocolo de comunicación seguro
  - 4.5. Mostrar alertas y notificaciones de las alarmas generadas
  - 4.6. Ser accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet y compatible con diferentes navegadores
  - 4.7. Proteger los datos mediante autenticación y autorización de usuarios
5. Requerimientos de *testing*

- 5.1. Pruebas de funcionalidad para validar que el nodo de monitoreo realice la lectura de las mediciones desde los sensores sin errores, por ejemplo, contrastando los valores medidos contra un sensor calibrado o valores tabulados para las condiciones ambientales bajo las que se realizó una determinada medición.
- 5.2. Pruebas de comunicación para validar que el broker MQTT recibe los datos enviados por el nodo de medición, por ejemplo, empleando un cliente MQTT externo.
- 5.3. Pruebas de comunicación para validar que el servidor de entradas/salidas de la aplicación de monitoreo reciba las mediciones del broker MQTT con el mismo formato enviado desde el nodo de medición.
- 5.4. Pruebas de integración para validar que los diferentes componentes del sistema funcionen en conjunto, de modo que en la aplicación de monitoreo y base de datos histórica que se vean exactamente los mismos datos que genera el nodo de medición.
- 5.5. Se deberán realizar pruebas de seguridad para validar que el acceso a las herramientas de desarrollo y visualización solamente sean accesibles para los usuarios autorizados.

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

Para determinar los *story points* de una historia de usuario, se asignaron valores a cada uno de los siguientes aspectos:

- Complejidad del trabajo:
  - Alta: 13
  - Media: 5
  - Baja: 1
- Dificultad del trabajo:
  - Alta: 5
  - Media: 3
  - Baja: 1
- Incertidumbre del trabajo:
  - Alta: 5
  - Media: 3
  - Baja: 1

Para obtener los *story points*, se sumaron los valores asignados a cada aspecto y se aproximaron al siguiente número de la serie de Fibonacci.

Por ejemplo, si la complejidad del trabajo es media (5), la dificultad es alta (5) y la incertidumbre es media (3), los *story points* serían 21 ( $5 + 5 + 3 = 13$ , que se aproxima al siguiente número de Fibonacci, que es 21).

1. Como miembro del equipo de GB, quiero registrar los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en la entrada y la salida de aire de la unidad, para evaluar el rendimiento del proceso de captura. *Story points*: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

2. Como miembro del equipo de GB, quiero que la unidad tenga conexión a Internet y envíe los datos de los sensores a una plataforma de monitoreo centralizada.  
*Story points:* 13 (complejidad: 5, dificultad: 3, incertidumbre: 5)
3. Como miembro del equipo de GB, quiero acceder a un registro histórico de las lecturas y alarmas generadas por cada unidad, para poder analizar su comportamiento en el largo plazo.  
*Story points:* 8 (complejidad: 3, dificultad: 3, incertidumbre: 1)
4. Como miembro del equipo de GB, quiero que la plataforma de monitoreo sea segura y proteja los datos recolectados por los nodos de medición, para evitar posibles ataques o filtraciones de información.  
*Story points:* 13 (complejidad: 5, dificultad: 5, incertidumbre: 3)
5. Como usuario, quiero ver los datos de funcionamiento y estadísticas sobre el rendimiento de mi unidad, desde una interfaz fácil de usar.  
*Story points:* 13 (complejidad: 5, dificultad: 5, incertidumbre: 2)
6. Como usuario, quiero que el sistema de monitoreo me muestre alarmas cuando se detecten niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en la entrada o salida de aire por encima o por debajo de ciertos umbrales.  
*Story points:* 8 (complejidad: 2, dificultad: 3, incertidumbre: 3)
7. Como ingeniero de mantenimiento, quiero que el dispositivo registre y muestre en tiempo real la temperatura y el pH de los biorreactores de la unidad, para monitorear su funcionamiento y programar el cambio de consumibles.  
*Story points:* 13 (complejidad: 5, dificultad: 5, incertidumbre: 2)
8. Como ingeniero de mantenimiento, quiero que la unidad funcione solo durante las horas del día en que hay luz solar disponible para ahorrar energía y consumibles.  
*Story points:* 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)
9. Como ingeniero de desarrollo, quiero garantizar que la plataforma sea escalable para incorporar nuevas unidades, a medida que se expande el negocio de *Green Backbone*.  
*Story points:* 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)
10. Como ingeniero de desarrollo, quiero poder asignar roles y permisos de usuario para garantizar que los datos sean accesibles solo para personas autorizadas.  
*Story points:* 8 (complejidad: 2, dificultad: 5, incertidumbre: 1)
11. Como científico de datos quiero que la plataforma de monitoreo tenga la capacidad de generar informes para poder analizar los datos operativos de manera detallada.  
*Story points:* 13 (complejidad: 5, dificultad: 3, incertidumbre: 3)

## 8. Entregables principales del proyecto

- Firmware mejorado para el nodo de medición, que permitirá enviar mediciones de los sensores hacia un broker MQTT y podrá ser utilizado para futuras unidades de GB.

- Sistema de monitoreo para la unidad GB005, que permitirá visualizar en tiempo real las mediciones de CO<sub>2</sub>, temperatura, pH y luz, así como el estado de encendido y apagado de la unidad.
- Plataforma para recolectar y almacenar datos operativos de todas las unidades instaladas de GB, capaz de recibir datos de los nodos de medición mediante un broker MQTT y mostrarlos en una interfaz de usuario.
- Documentación técnica del proyecto, que incluye diagramas y esquemáticos de conexión, listados de componentes, código fuente del firmware y archivos de backup del sistema de monitoreo.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión de proyecto (50 h)
  - 1.1. Reuniones con el cliente y con el director del trabajo (10 h)
  - 1.2. Elaboración del plan de proyecto de Trabajo Final (20 h)
  - 1.3. Elaboración de la presentación del plan de proyecto (10 h)
  - 1.4. Revisión y correcciones de los entregables (10 h)
2. Investigación preliminar y aprendizaje de tecnologías (120 h)
  - 2.1. Protocolos de comunicación (40 h)
  - 2.2. Lenguajes de programación (40 h)
  - 2.3. Herramientas de desarrollo (40 h)
3. Desarrollo del firmware para el microcontrolador (111 h)
  - 3.1. Portar desarrollo existente en el *framework* Arduino al de ESP-IDF (10 h)
  - 3.2. Programación de la conexión Wi-Fi y configuración de la red (5 h)
  - 3.3. Implementación del protocolo MQTT con certificados SSL/TLS (20 h)
  - 3.4. Integración del servidor NTP para obtener información horaria (2 h)
  - 3.5. Programación de la adquisición de mediciones (34 h)
    - 3.5.1. Definición de conexiones entre el microcontrolador y los sensores (10 h)
    - 3.5.2. Lectura de niveles de CO<sub>2</sub> desde los sensores MH-Z19B (5 h)
    - 3.5.3. Lectura de la temperatura del sensor DS18B20 (5 h)
    - 3.5.4. Simulación de la medición del pH (5 h)
    - 3.5.5. Detección de luz diurna (2 h)
    - 3.5.6. Accionamiento de los relés (2 h)
    - 3.5.7. Visualización de las mediciones en el display LCD (5 h)
  - 3.6. Pruebas de adquisición de datos de todos los sensores disponibles (10 h)
  - 3.7. Pruebas de envío de mediciones de todos los sensores al broker MQTT (10 h)
  - 3.8. Corrección de errores (20 h)
4. Desarrollo del *backend* de la aplicación de monitoreo (165 h)
  - 4.1. Configuración del entorno de desarrollo y pruebas (20 h)

- 4.2. Instalación y licenciamiento del software ASP (10 h)
- 4.3. Configuración de acceso y seguridad en el ASP (15 h)
- 4.4. Modelado de la aplicación mediante objetos (40 h)
- 4.5. Configuración de la adquisición de datos mediante el driver MQTT (20 h)
- 4.6. Configuración de la historización de datos (10 h)
- 4.7. Despliegue del *runtime* de la aplicación (10 h)
- 4.8. Pruebas de adquisición de datos (10 h)
- 4.9. Pruebas de funcionamiento en *runtime* (10 h)
- 4.10. Corrección de errores (20 h)
5. Desarrollo del *frontend* de la aplicación de monitoreo (130 h)
  - 5.1. Diseño del *layout* de la interfaz de usuario (20 h)
  - 5.2. Implementación de la visualización de datos en tiempo real (30 h)
  - 5.3. Implementación de la visualización de datos históricos (10 h)
  - 5.4. Implementación del acceso remoto a la aplicación de visualización (20 h)
  - 5.5. Implementación de reportes (20 h)
  - 5.6. Pruebas de funcionamiento en *runtime* (10 h)
  - 5.7. Corrección de errores (20 h)
6. Generación de entregables y proceso de cierre (95 h)
  - 6.1. Elaboración del informe de avance (15 h)
  - 6.2. Elaboración memoria técnica de Trabajo Final (40 h)
  - 6.3. Revisión y correcciones de la memoria (15 h)
  - 6.4. Elaboración de la presentación final (15 h)
  - 6.5. Revisión y correcciones de la presentación final (10h)

Cantidad total de horas: 671 h.

## 10. Diagrama de Activity On Node

En la figura ?? se muestran los grupos de tareas, junto con el camino crítico.

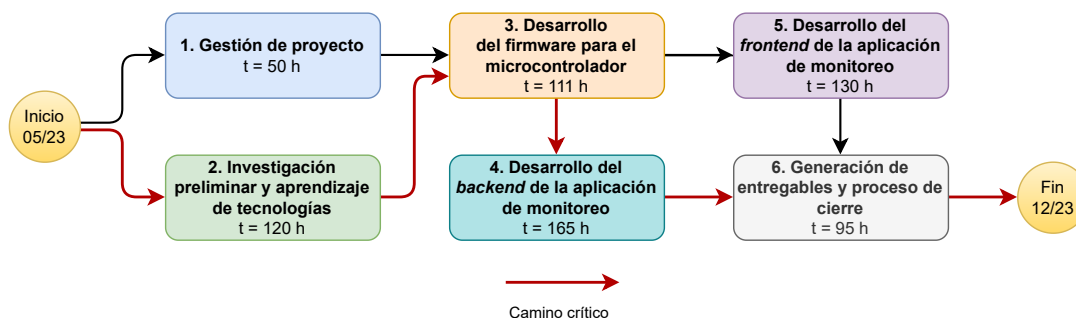


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node* de alto nivel.

En la figura 3 se muestra el diagrama de *Activity on Node* con el detalle de todas las tareas del proyecto, también indicando el camino crítico.

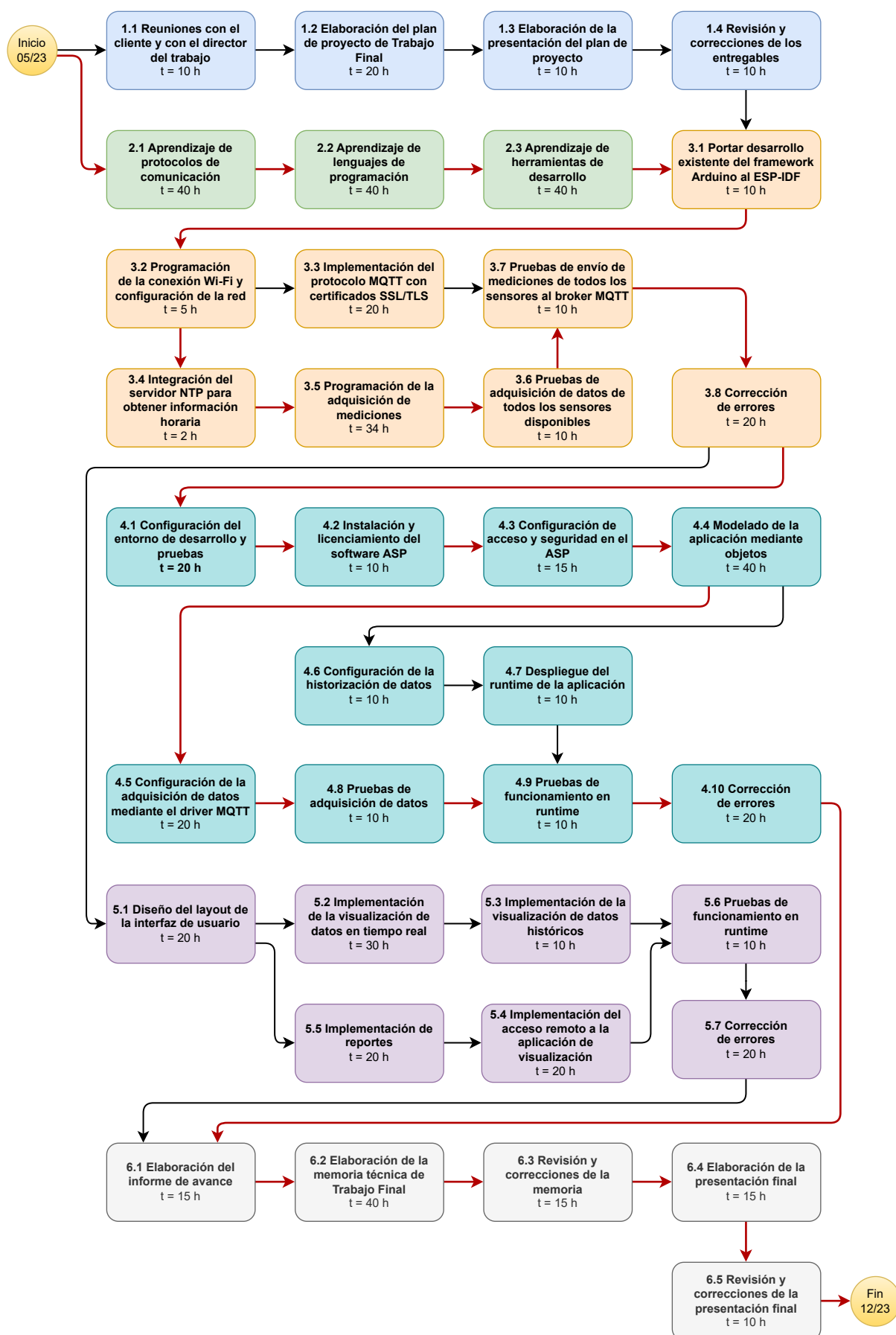


Figura 4. Diagrama de Activity on Node detallado.

## 11. Diagrama de Gantt

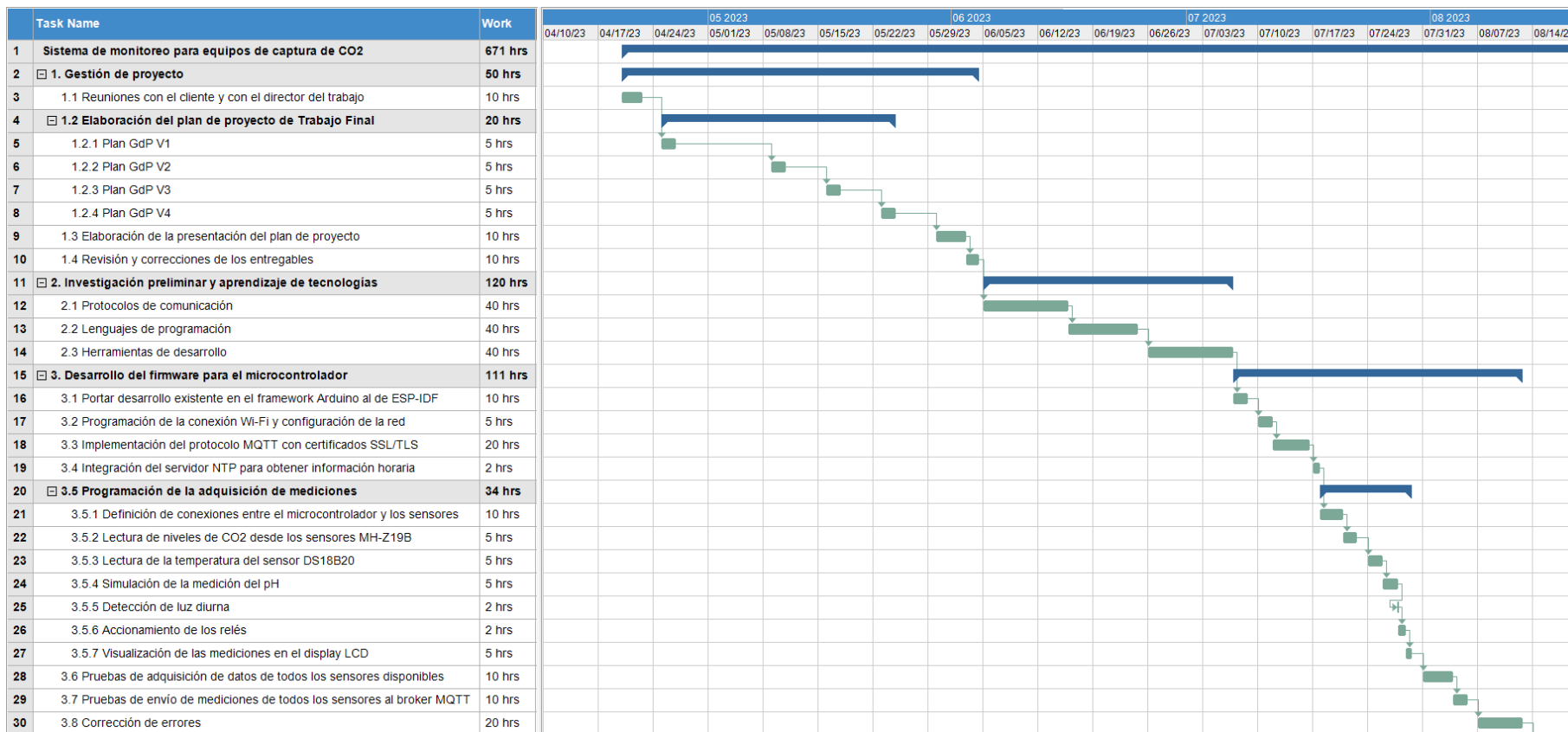


Figura 5. Diagrama de Gantt del proyecto (parte 1).



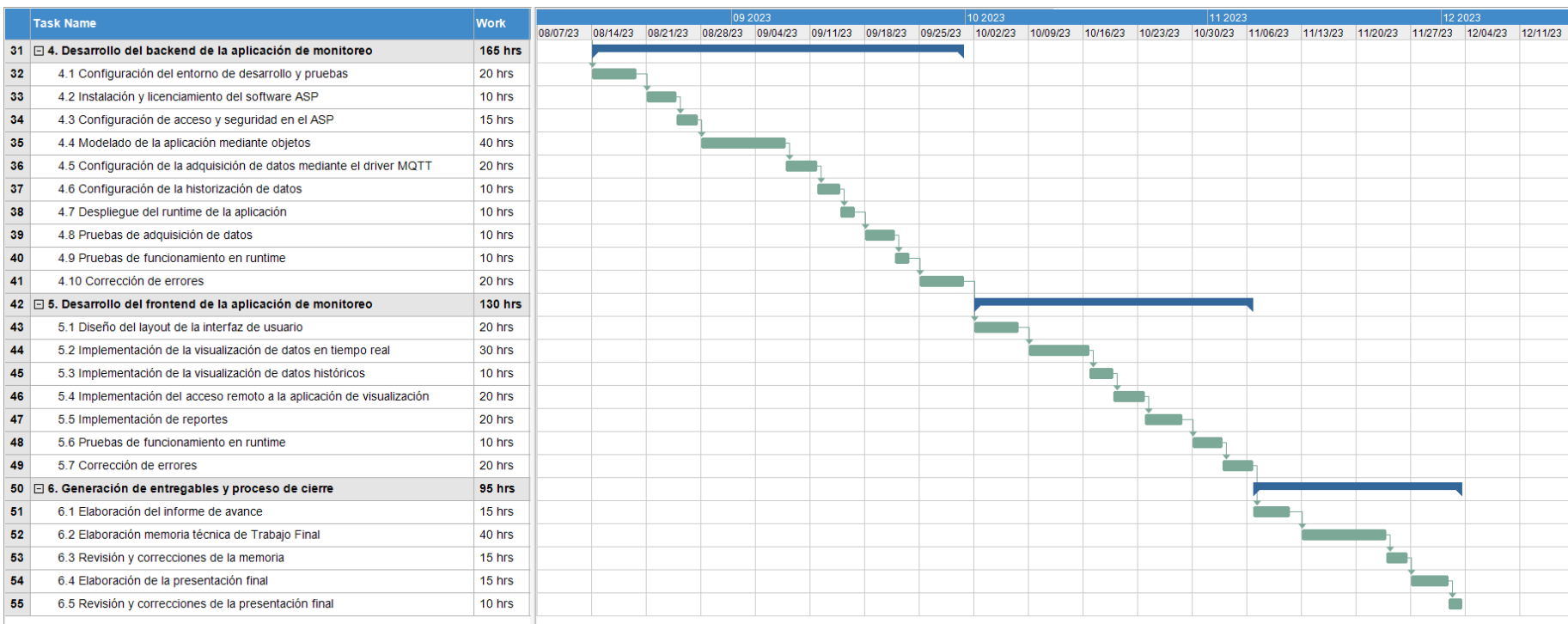


Figura 6. Diagrama de Gantt del proyecto (parte 2).

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

A continuación, se muestra el presupuesto del proyecto, expresado en pesos argentinos.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería y desarrollo	671	\$ 4.000	\$ 2.684.000
Microcontrolador ESP32 ESP-WROOM-32 Wi-Fi	1	\$ 4.000	\$ 4.000
Sensor de CO <sub>2</sub> NDIR MH-Z19B	2	\$ 29.950	\$ 59.900
Sensor de CO <sub>2</sub> NDIR T6793	2	\$ 19.967	\$ 39.934
Sensor de temperatura DS18B20 sumergible	1	\$ 1.120	\$ 1.120
Display LCD 1602 I <sup>2</sup> C azul	1	\$ 3.000	\$ 3.000
Sensor de pH DFRobot SEN0249	1	\$ 67.857	\$ 67.857
Módulo de relés 2 canales 5 V	1	\$ 1.525	\$ 1.525
Módulo sensor de luz con LDR	1	\$ 632	\$ 632
SUBTOTAL			\$ 2.861.968
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
40 % de los costos directos	1	\$ 1.144.787	\$ 1.144.787
SUBTOTAL			\$ 1.144.787
TOTAL			\$ 4.006.755

## 13. Gestión de riesgos

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

Los riesgos listados a continuación serán cuantificados, en un rango del 1 al 10, en los siguientes índices: Severidad (S): cuanto más severo el riesgo, más alto el número. Ocurrencia (O): cuanto más probable es que ocurra el riesgo, más alto el número.

Riesgo 1: falla en la conexión a Internet en el sitio de pruebas.

- Severidad (S): 7. Esta falla impediría la comunicación entre el nodo de medición y el broker MQTT, lo que afectaría la visualización de datos en la aplicación de monitoreo.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 5. La probabilidad puede ser moderada, ya que depende de la calidad y estabilidad, tanto de la red interna, como del proveedor de servicios de internet en el sitio de pruebas.

Riesgo 2: errores de firmware que afecten el envío de datos al broker MQTT.

- Severidad (S): 6. Si hay errores en el firmware del nodo de medición, los datos pueden enviarse incorrectamente o no enviarse en absoluto. Esto dificulta el monitoreo en tiempo real y la obtención de datos.
- Ocurrencia (O): 4. Los errores en el firmware pueden ocurrir debido a problemas de programación, falta de pruebas exhaustivas o cambios inesperados en los requisitos. Existe una probabilidad moderada de que se presenten errores en el firmware del nodo de medición.

Riesgo 3: falla de los sensores que genere mediciones inexactas o nulas.

- Severidad (S): 9. Ante la falla de uno o varios sensores, las mediciones obtenidas podrían ser inexactas o nulas, lo que afectaría la calidad y utilidad de los datos recopilados y visualizados en la plataforma de monitoreo.
- Ocurrencia (O): 4. La probabilidad de fallos en los sensores de medición puede ser baja, especialmente si se utilizan sensores de alta calidad y se realiza un mantenimiento adecuado. Sin embargo, existe la posibilidad de que los sensores experimenten problemas técnicos o de calibración.

Riesgo 4: errores en la configuración de seguridad y acceso de la plataforma de monitoreo.

- Severidad (S): 6. Implica problemas de autenticación y control de acceso a la plataforma de monitoreo, lo que podría comprometer la integridad y privacidad de los datos y la funcionalidad general del sistema.
- Ocurrencia (O): 6. La probabilidad puede ser moderada, ya que depende de la precisión y exhaustividad con la que se configuren los mecanismos de seguridad y acceso.

Riesgo 5: desvinculación de algún miembro importante del equipo de GB de su trabajo principal.

- Severidad (S): 8. Implica que no se tenga más acceso a herramientas o recursos cruciales para el desarrollo de alguna de las partes del proyecto. Esto a su vez deriva en un cambio de alcance o requerimientos con el proyecto en marcha.
- Ocurrencia (O): 4. Hay una probabilidad moderada de que algún miembro se desvincule de la compañía, ya sea por una oportunidad de crecimiento profesional en otra compañía o por recorte de costos.

Riesgo 6: cambios en los requerimientos del cliente.

- Severidad (S): 7. Si se producen cambios significativos en los requerimientos del cliente durante el desarrollo del proyecto, podría ser necesario ajustar el diseño y la implementación, lo que podría generar retrasos y costos adicionales.
- Ocurrencia (O): 6. La probabilidad de que se produzcan cambios en los requerimientos del cliente es moderada, ya que es común que surjan nuevas necesidades o se realicen ajustes a medida que avanza el proyecto.

b) Tabla de gestión de riesgos, donde el RPN se calcula como  $RPN=S \times O$ :

Criterio adoptado: se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 35.

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Falla en la conexión a Internet en el sitio de pruebas	7	5	35			
Errores de firmware que afecten el envío de datos al broker MQTT	6	5	30			
Falla de los sensores que genere mediciones inexactas o nulas	9	4	36	7	3	21
Errores en la configuración de seguridad y acceso de la plataforma de monitoreo	6	6	36	6	5	30
Desvinculación de algún miembro importante del equipo de GB de su trabajo principal	8	4	32			
Cambios en los requerimientos del cliente	7	6	42	7	4	28

Riesgo 3: Falla de los sensores que genere mediciones inexactas o nulas.

- Plan de mitigación:
  - Realizar un mantenimiento y calibración regular de los sensores para asegurar su correcto funcionamiento.
  - Desarrollar un algoritmo que detecte falla en los sensores y envíe una alerta al sistema de monitoreo.
  - Contar con sensores de respaldo para reemplazar rápidamente aquellos que presenten fallas.
- Severidad (S\*): 7 (sin cambios).
- Ocurrencia (O\*): 3 (reducida), considerando las medidas de mitigación implementadas.

Riesgo 4: Errores en la configuración de seguridad y acceso de la plataforma de monitoreo.

- Plan de mitigación:
  - Realizar una revisión exhaustiva de la configuración de seguridad y acceso de la plataforma, siguiendo las mejores prácticas y estándares de seguridad.
  - Realizar pruebas de penetración y auditorías regulares para identificar posibles vulnerabilidades.
  - Establecer un proceso de revisión y aprobación para los cambios en la configuración de seguridad.
- Severidad (S\*): 6 (sin cambios).
- Ocurrencia (O\*): 5 (reducida), considerando las medidas de mitigación implementadas.

Riesgo 6: Cambios en los requerimientos del cliente.

- Plan de mitigación:
  - Establecer un proceso formal de gestión de cambios que incluya la evaluación de impacto, el seguimiento de solicitudes y la comunicación efectiva con el cliente.
  - Realizar reuniones regulares con el cliente para revisar y validar los requerimientos.

- Mantener una documentación clara y actualizada de los requerimientos acordados.
- Severidad ( $S^*$ ): 7 (sin cambios).
- Ocurrencia ( $O^*$ ): 4 (reducida), considerando las medidas de mitigación implementadas.

## 14. Gestión de la calidad

- Req #1.4: lectura de las mediciones de  $CO_2$  de dos sensores MH-Z19B (correspondientes a la entrada y salida de aire) empleando la UART.
  - Verificación:
    - Ejecutar la lógica de lectura de los datos de los sensores y mostrar los resultados en un terminal serie o display LCD.
    - Verificar que los valores leídos no sean nulos y que corresponden a mediciones tabuladas de acuerdo con el ambiente donde se llevan a cabo las pruebas. Por ejemplo, un valor de referencia para el exterior ronda los 400 ppm y se debe verificar niveles similares de  $CO_2$  durante las pruebas.
  - Validación:
    - Mostrar las mediciones de  $CO_2$  de ambos sensores en el display LCD y contrastar las mediciones contra las de un sensor de  $CO_2$  calibrado.
    - Obtener la aprobación del cliente de que las mediciones de  $CO_2$  son precisas y confiables.
- Req #3.1: envío y recepción de datos mediante el protocolo MQTT, utilizando certificados SSL/TLS para la comunicación con el broker.
  - Verificación:
    - Realizar pruebas de conexión con el broker MQTT y verificar que se establezca una comunicación segura.
    - Hacer pruebas de envío de datos desde el nodo de medición monitoreando en tiempo real los datos enviados y confirmar mediante el servidor de E/S de la aplicación de monitoreo que se reciben los mismos datos.
  - Validación:
    - Realizar pruebas de comunicación con el broker MQTT en presencia del cliente y confirmar que los datos se envíen y reciban correctamente.
    - Obtener la aprobación del cliente de que los datos se visualizan de la manera que se espera en la aplicación de monitoreo.
- Req #3.4: registro de las mediciones obtenidas en una base de datos.
  - Verificación:
    - Realizar pruebas de escritura en la base de datos y verificar que los datos se guarden correctamente (sin errores registrados en el log de la aplicación de monitoreo).
    - Verificar que se pueda acceder a los datos almacenados y que estén completos y consistentes respecto a los datos que se estuvieron enviando.

- Validación:
  - Mostrar los datos almacenados en la aplicación de monitoreo mediante un gráfico de tendencia, haciendo el *retrieval* para diferentes períodos.
  - Obtener la aprobación del cliente de que los datos se almacenen correctamente y sean accesibles a través de la interfaz de visualización.
- Req #3.7: generación de alarmas cuando se superen los umbrales definidos para las mediciones.
  - Verificación:
    - Configurar los umbrales de alarma para cada tipo de medición (CO<sub>2</sub>, temperatura, pH, luz).
    - Realizar pruebas simulando mediciones que superen los umbrales establecidos y verificar que se generen las alarmas correspondientes.
    - Verificar que las alarmas se registren y se muestren correctamente en la aplicación de monitoreo.
  - Validación:
    - Mostrar un panel de alarmas en la aplicación de visualización.
    - Efectuar una simulación de todas las fallas para visualizar las alarmas y sus correspondientes descripciones y umbrales.
    - Obtener la aprobación del cliente de que las alarmas se generen adecuadamente y cumplan con los requisitos establecidos.
- Req #4.1: mostrar las mediciones de los sensores en tiempo real de manera gráfica.
  - Verificación:
    - Realizar pruebas enviando datos de mediciones a la aplicación y verificar que se muestren correctamente en forma gráfica.
    - Verificar que los gráficos se actualicen en tiempo real con los nuevos datos recibidos.
  - Validación:
    - Mostrar al cliente la aplicación de monitoreo con las mediciones de los sensores mostradas en tiempo real de manera gráfica.
    - Obtener la aprobación del cliente de que las mediciones se visualicen adecuadamente y reflejen el estado actual del sistema.

## 15. Procesos de cierre

Las actividades de los procesos de cierre estarán a cargo de la responsable del proyecto, Alena Grebneva.

- Se analizará el grado de cumplimiento del plan en la ejecución del proyecto.
- Se detectarán las tareas que no se cumplieron a tiempo y se hará una evaluación de los motivos, con fines de mejora.

- Se identificarán las técnicas y procedimientos que resultaron útiles o inútiles para alcanzar los objetivos del proyecto.
- Se describirá detalladamente el uso de las distintas herramientas utilizadas y las tecnologías más relevantes en el desarrollo del proyecto.
- Se realizará una presentación formal del proyecto donde con agradecimiento a todas las personas involucradas, miembros del jurado, docentes y autoridades de la CEIoT.