



Sistema de monitoreo de ocupación en espacios internos mediante BLE *Beacons*

Autor:

Ing. Facundo Fernández

Director:

Nombre del Director (pertenencia)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 17 de octubre de 2023 y el 05 de diciembre de 2023.*

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar | 5 |
| 2. Identificación y análisis de los interesados | 6 |
| 3. Propósito del proyecto | 7 |
| 4. Alcance del proyecto | 7 |
| 5. Supuestos del proyecto. | 8 |
| 6. Requerimientos | 9 |
| 7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>). | 11 |
| 8. Entregables principales del proyecto | 14 |
| 9. Desglose del trabajo en tareas | 15 |
| 10. Diagrama de Activity On Node. | 16 |
| 11. Diagrama de Gantt | 18 |
| 12. Presupuesto detallado del proyecto | 19 |
| 13. Gestión de riesgos | 19 |
| 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 | 17 de octubre de 2023 |
| 1 | Se completa hasta el punto 5 inclusive | 31 de octubre de 2023 |
| 2 | Se completa hasta el punto 9 inclusive | 7 de noviembre de 2023 |
| 3 | Se completa hasta el punto 12 inclusive | 14 de noviembre de 2023 |
| 4 | Se completa el plan | 21 de noviembre de 2023 |

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 17 de octubre de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Facundo Fernández que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo de ocupación en espacios internos mediante BLE *Beacons*”, consistirá esencialmente en la implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo de ocupación utilizando *Beacons Bluetooth Low Energy*, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 715 h de trabajo y \$10.960 USD, con fecha de inicio 17 de octubre de 2023 y fecha de presentación pública 16 de septiembre de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Nombre del cliente
Empresa del cliente

Nombre del Director
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El proyecto nace como un emprendimiento personal con un enfoque específico para gimnasios y recintos deportivos en donde los usuarios (clientes del gimnasio) pueden acceder a distintas horas sin ningún tipo de limitación. Este emprendimiento surge de la necesidad de entender el comportamiento de usuarios en gimnasios con el objetivo de proporcionar al cliente (propietario del gimnasio) la capacidad de entender a su clientela y cómo usan sus instalaciones.

Adicional, esta herramienta permite entender el tiempo de visita de una persona. El tiempo de visita es una medida sumamente importante para entender a los usuarios que se mantienen como clientes de un gimnasio y a los que no. En el contexto de clientes de gimnasios, es más económico retener a una persona para que siga siendo cliente que conseguir nuevos. El objetivo general es poder dar una herramienta más a los gimnasios donde puedan utilizar datos para tomar decisiones de negocio.

Debido a que este proyecto es un prototipo y un emprendimiento personal, no se cuenta con financiamiento de ningún tipo, por lo que se trabajará en diseñar un sistema funcional que cumpla con las características de un mínimo producto viable, financiado completamente por el autor de este documento. Una de las ventajas de abordarlo de esta manera es que no existen limitaciones de desarrollo ni hay ningún interesado que pueda tener incidencia en el resultado final del trabajo.

En el contexto actual de la tecnología y la creciente demanda de soluciones de posicionamiento en interiores, el presente proyecto se centra en la implementación de un sistema innovador de monitoreo de ocupación en espacios interiores utilizando la tecnología *Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons*. Esta tecnología permite la ubicación precisa de dispositivos móviles en entornos cerrados, brindando a los usuarios una experiencia de ubicación confiable y en tiempo real.

La esencia de este proyecto radica en proporcionar a los propietarios de recintos o edificios una herramienta para la gestión eficiente de la ocupación, así como una herramienta más de recaudación de datos de uso y comportamiento. La solución propuesta se distingue por su capacidad para ofrecer datos precisos y actualizados sobre la cantidad de personas presentes en el recinto en cualquier momento dado, así como la capacidad de determinar el tiempo de visita promedio de un usuario.

El desafío que aborda este proyecto es la falta de sistemas de monitoreo de ocupación precisos y en tiempo real en entornos interiores. La tecnología BLE *Beacons* junto con la estación base ESP32-C3 proporciona una solución efectiva y rentable. Mediante la emisión de señales de baja energía, los *Beacons* identifican la presencia de dispositivos móviles, permitiendo a la aplicación de monitoreo determinar la ocupación actual a través de un algoritmo de triangulación. Esta información se almacena en una base de datos no relacional alojada en MongoDB, brindando al propietario acceso a datos cruciales para la toma de decisiones informadas. Adicional a la base de datos de MongoDB se tendrá un servidor MQTT HiveMQ *Cloud*, el cual funcionara como intermediario entre los *hubs* y MongoDB.

El sistema se compone de cuatro elementos principales: los BLE *Beacons*, la estación base ESP32-C3, la aplicación de monitoreo y la base de datos no relacional. Los *Beacons* emiten señales identificativas, que son escaneadas por la estación base. La aplicación de monitoreo procesa estas señales para determinar la proximidad de los dispositivos móviles y actualiza la base de datos con la información de ocupación. A través de un panel de control intuitivo, el propietario del recinto puede visualizar la ocupación actual y acceder a informes históricos.

En la figura 1 se presenta el diagrama de bloques del sistema, donde se observa claramente la distribución y diseño de los componentes clave.

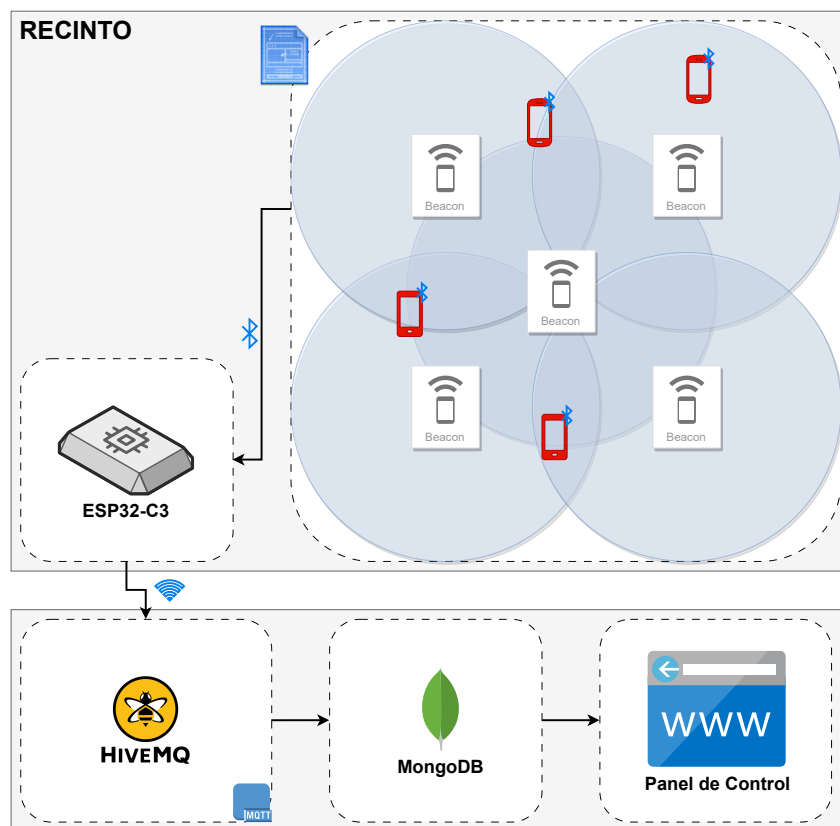


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

La innovación radica en la combinación efectiva de la tecnología BLE *Beacons* con la estación base ESP32-C3 para ofrecer una solución escalable y rentable de monitoreo de ocupación en interiores. Esta solución se destaca por su capacidad para proporcionar datos precisos y accesibles, sentando las bases para futuras implementaciones en diversos entornos comerciales y públicos.

Para la realización de este trabajo, se probarán y utilizarán hasta 6 *beacons* o balizas en un entorno reducido, con el objetivo de probar la viabilidad del proyecto. Este entorno reducido no superará los 50 m² y será en un ambiente doméstico. Para el panel de control se creará una aplicación accesible sólo a través de web, con el objetivo de reducir costos de desarrollo.

2. Identificación y análisis de los interesados

Dado que este proyecto es de carácter personal, no involucra a interesados externos o a un equipo de trabajo formal. En este contexto, la principal parte interesada es el autor, como el iniciador y ejecutor del proyecto. Como único responsable, el autor asume todas las funciones, desde la planificación y desarrollo hasta la gestión económica y control de entregables. Esta autonomía proporciona flexibilidad y agilidad en la toma de decisiones, permitiendo una ejecución eficiente del proyecto.

En calidad de responsable, el rol abarca la supervisión integral del proyecto, incluyendo la gestión económica, planificación de tareas, desarrollo de los componentes técnicos y aseguramiento de la calidad de los entregables. Además, el responsable asume la responsabilidad de mantener el proyecto dentro de los plazos establecidos y gestionar eficazmente los recursos disponibles.

El director, por su parte, desempeñará un papel esencial al brindar orientación y asesoramiento experto en todas las facetas del proyecto. Se espera que actúe como un referente en cuestiones técnicas y organizativas desde el inicio hasta la finalización del proyecto, aportando valiosos conocimientos y experiencia para asegurar su éxito. Su apoyo será fundamental para superar cualquier desafío que pueda surgir a lo largo del desarrollo del proyecto.

| Rol | Nombre y Apellido | Organización | Puesto |
|-------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Cliente | Nombre del cliente | Empresa del cliente | |
| Responsable | Ing. Facundo Fernández | FIUBA | Alumno |
| Orientador | Nombre del Director | pertenencia | Director Trabajo final |

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es implementar un sistema de monitoreo de ocupación en espacios interiores, principalmente en gimnasios, mediante la tecnología *Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons*. Se busca proporcionar al propietario del recinto datos precisos, históricos y de calidad sobre la cantidad de personas presentes en cualquier momento dado, permitiendo así una gestión eficiente de la ocupación y una toma de decisiones informadas a través de datos con el objetivo de medir el comportamiento de los usuarios. Esta solución pionera sienta las bases para futuras implementaciones en diversos entornos comerciales y públicos, abriendo nuevas posibilidades en el campo del posicionamiento en interiores.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye:

- La planificación, diseño, implementación y puesta en funcionamiento de un sistema de monitoreo de ocupación en espacios interiores utilizando la tecnología *Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons* en un espacio no mayor a los 50 m².
- La adquisición y ubicación estratégica de los *BLE Beacons*, así como la configuración de la estación base ESP32-C3 y el desarrollo de la aplicación web de monitoreo.
- La utilización del protocolo MQTT en conjunto con el servidor HiveMQ *Cloud* para gestionar la comunicación bidireccional.
- La implementación de una base de datos no relacional en MongoDB para el almacenamiento y gestión de la información de ocupación.
- Pruebas para verificar el funcionamiento correcto del sistema
- Una interfaz de usuario intuitiva en forma de panel de control para que el propietario del recinto pueda visualizar la ocupación actual, acceder a informes históricos y analizar los datos si lo considera necesario.

- La cobertura de todos los costos relacionados con el desarrollo, como son el hardware y software por parte del autor.

El presente proyecto no incluye:

- La adquisición de hardware o software adicional no especificado en los requerimientos, salvo que sea necesario para la integración del sistema y se determine previamente.
- La adquisición o configuración de servicios de conectividad de red, como proveedores de internet o servicios de datos móviles.
- Mantenimiento continuo del sistema después de la finalización del proyecto.
- La capacitación avanzada en programación o configuración de hardware que no esté directamente relacionada con el sistema implementado.
- Una aplicación de configuración del sistema, a menos que el autor lo requiera.

Cualquier modificación o extensión del alcance del proyecto requerirá una revisión y aprobación previa por parte del director del proyecto y el responsable de este.

5. Supuestos del proyecto

- Disponibilidad de recursos humanos: se asume que el responsable del proyecto contará con el tiempo y dedicación necesarios para llevar a cabo todas las etapas de planificación, implementación y puesta en marcha del sistema. Además, se presupone la colaboración activa del director para brindar orientación técnica y organizativa.
- Estabilidad de las condiciones del entorno: se supone que las condiciones ambientales y estructurales en los recintos seleccionados serán estables y no experimentarán cambios significativos durante el período de implementación del proyecto. Por condiciones ambientales y estructurales se refiere a la disposición física del espacio como paredes y muebles, así como fluctuaciones significativas en la temperatura o en la humedad ya que estas pueden influir en cómo las señales *Bluetooth* se propagan en el espacio.
- Disponibilidad de equipamiento y materiales: se presupone que se podrá adquirir el hardware necesario, incluyendo los BLE *Beacons* y la estación base ESP32-C3, así como cualquier otro equipo o material requerido para la implementación del sistema.
- Presupuesto: se supone que el presupuesto establecido de \$200 USD será suficiente para cubrir los costos de hardware y software, así como cualquier otro material requerido para la implementación del sistema. En caso de incurrir en un gasto mayor, se evaluará la viabilidad, manteniendo un tope máximo de \$1,000 USD.
- Factibilidad técnica: se considera que la tecnología BLE *Beacons* y el microcontrolador ESP32-C3 son adecuados para la aplicación prevista y no presentarán inconvenientes técnicos significativos en su configuración y funcionamiento.
- Cumplimiento de regulaciones y normativas: se parte del supuesto de que el proyecto cumple con todas las regulaciones y normativas locales, estatales y federales aplicables y que no se requerirá de permisos o licencias adicionales para la implementación del sistema.

- Estabilidad de los protocolos de comunicación: se presupone que los protocolos de Internet estándar seleccionados (HTTP o MQTT) para la comunicación entre la aplicación móvil y la base de datos funcionarán de manera estable y confiable.
- Comunicación con dispositivos: HiveMQ actúa como el servidor MQTT central para gestionar la comunicación bidireccional entre los *hubs* y otros dispositivos.
- Acceso a la tecnología y herramientas: se asume que se contará con acceso a las tecnologías y herramientas necesarias para el desarrollo de la aplicación de monitoreo y la configuración de la base de datos en MongoDB.
- Disponibilidad de energía eléctrica: se presupone que se dispondrá de suministro eléctrico confiable ya sea a través de baterías o red eléctrica para alimentar tanto los BLE *Beacons* como la estación base y demás equipos asociados al sistema.
- Compatibilidad de dispositivos móviles: se supone que los dispositivos móviles que se encuentren en el rango de los BLE *Beacons* serán compatibles con la tecnología *Bluetooth Low Energy* y podrán recibir las señales emitidas.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

1.1 Funcionalidades

- 1.1.1 El sistema debe ser capaz de recibir señales BLE de hasta 6 *beacons*.
- 1.1.2 El sistema debe actualizarse en tiempo real o en un tiempo menor a dos minutos.
- 1.1.3 El sistema debe poder determinar un identificador para cada dispositivo.
- 1.1.4 El sistema debe ser capaz de procesar las señales y enviarlas a la base de datos en MongoDB.
- 1.1.5 El sistema debe implementar un algoritmo de triangulación basado en las señales recibidas.
- 1.1.6 El sistema debe poder determinar la ubicación de un dispositivo determinado.
- 1.1.7 El sistema debe poder determinar la cantidad de tiempo que un dispositivo estuvo en un lugar.
- 1.1.8 El sistema debe proporcionar una interfaz de usuario para visualizar y acceder a los datos.

1.2 Configuración del sistema

- 1.2.1 El sistema debe ser capaz de gestionar la conexión y comunicación entre los *beacons* (ESP32-C3 *Bluetooth Low Energy*) y los dispositivos de procesamiento (*Hub* - ESP32-C3).
- 1.2.2 El sistema debe permitir la configuración de parámetros como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación.

1.3 Protocolo MQTT

- 1.3.1 El protocolo utilizado para la gestión y envío de datos será MQTT.
- 1.3.2 El sistema debe garantizar la fiabilidad y consistencia en el envío de datos a través del protocolo MQTT.
- 1.3.3 Se deben establecer mecanismos de detección y gestión de errores en el envío de datos a través de MQTT, asegurando la resiliencia del sistema ante posibles fallos de comunicación.

- 1.3.4 El sistema debe ser capaz de manejar la concurrencia de múltiples dispositivos enviando datos a través de MQTT de manera simultánea.
 - 1.3.5 Se debe proporcionar un mecanismo de notificación o alerta en caso de fallos en la comunicación a través de MQTT para permitir una respuesta rápida y eficaz.
 - 1.3.6 El servidor utilizado para la gestión del protocolo sera HiveMQ *Cloud*.
2. Requerimientos de documentación
- 2.1 Deberá proporcionarse documentación detallada sobre la configuración y conexión de los *beacons* BLE (ESP32-C3).
 - 2.2 Se deberá documentar el proceso de configuración y programación del dispositivo de procesamiento (ESP32-C3) para actuar como *hub*.
 - 2.3 Se debe generar documentación sobre el algoritmo de triangulación utilizado, incluyendo diagramas y fórmulas utilizadas.
 - 2.4 Se debe proporcionar una guía de usuario para la interfaz de usuario del panel de control.
 - 2.5 Documentación de código: comentarios detallados en el código fuente para facilitar el mantenimiento y comprensión futura.
 - 2.6 Deberá proporcionarse documentación detallada sobre la configuración de parámetros, como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación.
3. Requerimiento de *testing*
- 3.1 Se deben realizar pruebas de funcionamiento para garantizar que el sistema pueda determinar la ubicación del dispositivo con la precisión especificada.
 - 3.2 Pruebas de estrés para verificar el rendimiento del sistema bajo cargas máximas esperadas.
 - 3.3 Pruebas de seguridad para identificar y mitigar posibles vulnerabilidades en la comunicación entre el *hub* y los *beacons*.
 - 3.4 Pruebas de conectividad y comunicación entre los *beacons* y el *hub* para asegurar una transmisión de señal confiable.
4. Requerimientos de la interfaz de usuario
- 4.1 La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo la visualización de la ubicación del dispositivo de manera clara y precisa.
 - 4.2 Debe haber opciones para filtrar y buscar registros de ubicaciones en la base de datos.
 - 4.3 La interfaz de usuario debe ser completamente responsiva y compatible con dispositivos móviles para facilitar su acceso desde diferentes plataformas.
 - 4.4 Se deben implementar mecanismos de notificación o alerta en caso de fallos en la determinación de la ubicación del dispositivo.
5. Requerimientos interoperabilidad
- 5.1 El sistema debe ser compatible con diferentes versiones de *beacons* BLE y dispositivos móviles con *bluetooth*.
 - 5.2 Debe ser posible integrar el sistema con otras aplicaciones o sistemas a través de una API.
 - 5.3 El sistema debe ser compatible con diferentes sistemas operativos de dispositivos móviles, como iOS y Android.

6. Requerimientos de seguridad y cumplimiento normativo

- 6.1 El sistema debe cumplir con las regulaciones y normas de privacidad de datos vigentes, como GDPR u otras aplicables.
- 6.2 Debe implementarse un sistema de autenticación y autorización para acceder a la interfaz de usuario y los datos almacenados en MongoDB.
- 6.3 Debe establecerse un registro de auditoría para rastrear el acceso y las acciones realizadas en la base de datos y la interfaz de usuario.
- 6.4 Se debe implementar encriptación de extremo a extremo para proteger la comunicación entre los *beacons*, el *hub* y la base de datos.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

El criterio de selección de los *story points* utilizado fue el que se puede observar en la figura 2. Se evaluó la complejidad y la incertidumbre de cada historia de usuario, con un máximo de puntos de 21 por historia.

| | | Incertidumbre | | |
|---|-------|---------------|-------|------|
| | | Baja | Media | Alta |
| C o m p l e j i d a d | Baja | 3 | 5 | 8 |
| | Media | 5 | 8 | 13 |
| | Alta | 8 | 13 | 21 |

Figura 2. Criterio para el cálculo de los *story points*.

1. Como administrador del sistema, quiero recibir señales BLE de hasta 6 *beacons* para obtener datos de ubicación precisos. *Story points*: 13
2. Como administrador del sistema, quiero que las actualizaciones se realicen en tiempo real o en un máximo de dos minutos para garantizar la frescura de los datos. *Story points*: 5
3. Como administrador del sistema, quiero que cada dispositivo tenga un identificador único para poder rastrearlos de manera individual. *Story points*: 5
4. Como administrador del sistema, quiero que el sistema procese y envíe las señales a la base de datos en MongoDB para almacenar la información. *Story points*: 8
5. Como administrador del sistema, quiero que se implemente un algoritmo de triangulación basado en las señales recibidas para determinar la ubicación de los dispositivos. *Story points*: 13
6. Como administrador del sistema, quiero poder determinar la ubicación de un dispositivo específico para responder a solicitudes de localización. *Story points*: 8

7. Como administrador del sistema, quiero poder determinar cuánto tiempo un dispositivo estuvo en un lugar para analizar patrones de movimiento. *Story points: 8*
8. Como administrador del sistema, quiero proporcionar una interfaz de usuario intuitiva y accesible para que los usuarios puedan visualizar y acceder a los datos de ubicación. *Story points: 13*
9. Como administrador del sistema, quiero gestionar la conexión y comunicación entre los *beacons* y los dispositivos de procesamiento para asegurar una transmisión confiable. *Story points: 8*
10. Como administrador del sistema, quiero permitir la configuración de parámetros como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación para adaptar el sistema a diferentes entornos. *Story points: 5*
11. Como administrador del sistema, quiero utilizar el protocolo MQTT para la gestión y envío de datos para asegurar una comunicación eficiente. *Story points: 5*
12. Como administrador del sistema, quiero garantizar la fiabilidad y consistencia en el envío de datos a través del protocolo MQTT para evitar pérdida de información. *Story points: 8*
13. Como administrador del sistema, quiero establecer mecanismos de detección y gestión de errores en el envío de datos a través de MQTT para asegurar la resiliencia del sistema. *Story points: 8*
14. Como administrador del sistema, quiero manejar la concurrencia de múltiples dispositivos enviando datos a través de MQTT simultáneamente para garantizar un rendimiento óptimo. *Story points: 8*
15. Como administrador del sistema, quiero recibir notificaciones en caso de fallos en la comunicación a través de MQTT para responder de manera efectiva. *Story points: 5*
16. Como administrador del sistema, quiero utilizar HiveMQ *Cloud* para garantizar la comunicación entre dispositivos *hubs* e internet (*cloud*).
17. Como administrador del sistema, quiero proporcionar documentación detallada sobre la configuración y conexión de los *beacons* BLE (ESP32-C3) para facilitar la instalación y configuración. *Story points: 5*
18. Como administrador del sistema, quiero documentar el proceso de configuración y programación del dispositivo de procesamiento (ESP32-C3) para actuar como *hub* para ayudar a los usuarios en el proceso de configuración. *Story points: 5*
19. Como administrador del sistema, quiero generar documentación sobre el algoritmo de triangulación utilizado, incluyendo diagramas y fórmulas utilizadas para proporcionar información detallada sobre el funcionamiento del sistema. *Story points: 8*
20. Como administrador del sistema, quiero proporcionar una guía de usuario para la interfaz de usuario del panel de control para facilitar su uso. *Story points: 5*
21. Como administrador del sistema, quiero incluir comentarios detallados en el código fuente para facilitar el mantenimiento y comprensión futura del sistema. *Story points: 5*
22. Como administrador del sistema, quiero proporcionar documentación detallada sobre la configuración de parámetros, como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación, para que los usuarios puedan personalizar la configuración según sus necesidades. *Story points: 5*

23. Como administrador del sistema, quiero realizar pruebas de funcionamiento para garantizar que el sistema pueda determinar la ubicación del dispositivo con la precisión especificada. *Story points: 8*
24. Como administrador del sistema, quiero realizar pruebas de estrés para verificar el rendimiento del sistema bajo cargas máximas esperadas para asegurar su escalabilidad. *Story points: 8*
25. Como administrador del sistema, quiero realizar pruebas de seguridad para identificar y mitigar posibles vulnerabilidades en la comunicación entre el *hub* y los *beacons* para garantizar la seguridad de los datos. *Story points: 8*
26. Como administrador del sistema, quiero realizar pruebas de conectividad y comunicación entre los *beacons* y el *hub* para asegurar una transmisión de señal confiable. *Story points: 8*
27. Como administrador del sistema, quiero que la interfaz de usuario sea intuitiva y fácil de usar, permitiendo la visualización de la ubicación del dispositivo de manera clara y precisa. *Story points: 8*
28. Como administrador del sistema, quiero opciones para filtrar y buscar registros de ubicaciones en la base de datos para facilitar la navegación y búsqueda de información. *Story points: 5*
29. Como administrador del sistema, quiero que la interfaz de usuario sea completamente responsiva y compatible con dispositivos móviles para garantizar la accesibilidad desde diferentes plataformas. *Story points: 5*
30. Como administrador del sistema, quiero implementar mecanismos de notificación o alerta en caso de fallos en la determinación de la ubicación del dispositivo para poder responder de manera proactiva. *Story points: 5*
31. Como administrador del sistema, quiero que el sistema sea compatible con diferentes versiones de *beacons* BLE y dispositivos móviles con Bluetooth para garantizar la flexibilidad y compatibilidad. *Story points: 8*
32. Como administrador del sistema, quiero que el sistema sea capaz de integrarse con otras aplicaciones o sistemas a través de una API para permitir la expansión y personalización del sistema. *Story points: 8*
33. Como administrador del sistema, quiero que el sistema sea compatible con diferentes sistemas operativos de dispositivos móviles, como iOS y Android, para asegurar una amplia cobertura de usuarios. *Story points: 8*
34. Como administrador del sistema, quiero garantizar que el sistema cumple con las regulaciones y normas de privacidad de datos vigentes, como GDPR u otras aplicables, para garantizar la protección de la privacidad del usuario. *Story points: 8*
35. Como administrador del sistema, quiero implementar un sistema de autenticación y autorización para acceder a la interfaz de usuario y los datos almacenados en MongoDB para proteger la seguridad de la información. *Story points: 8*
36. Como administrador del sistema, quiero establecer un registro de auditoría para rastrear el acceso y las acciones realizadas en la base de datos y la interfaz de usuario para garantizar la trazabilidad de las operaciones. *Story points: 8*

37. Como administrador del sistema, quiero implementar encriptación de extremo a extremo para proteger la comunicación entre los *beacons*, el *hub* y la base de datos para garantizar la integridad y seguridad de los datos. *Story points*: 8
38. Como administrador del sistema, quiero implementar medidas de seguridad adicionales para proteger la integridad y privacidad de los datos transmitidos a través del protocolo MQTT. *Story points*: 8

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son los siguientes:

- Documentación sobre la configuración y programación del dispositivo de procesamiento (ESP32-C3) para actuar como *hub*.
- Documentación del algoritmo de triangulación utilizado, incluyendo diagramas y fórmulas.
- Guía de usuario para la interfaz de usuario del panel de control.
- Documentación de código con comentarios detallados.
- Diagrama de circuitos esquemáticos de la configuración hardware.
- Código fuente del firmware para los *beacons* y el dispositivo de procesamiento.
- Diagrama de instalación que ilustre la disposición de los *beacons* y el dispositivo de procesamiento.
- Informe final que incluya una descripción detallada del proyecto, sus objetivos, requisitos, implementación y resultados.
- Pruebas de funcionamiento documentadas, incluyendo resultados y conclusiones.
- Resultados de pruebas con análisis y recomendaciones.
- Informe de pruebas de seguridad con posibles vulnerabilidades identificadas y soluciones propuestas.
- Documentación sobre la configuración de parámetros, como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación.
- Diagrama de flujo del proceso de comunicación entre los *beacons*, el *hub* y la base de datos.
- Prototipos y muestras físicas de los *beacons* y el resto del hardware (si aplica).
- Presentación ejecutiva del proyecto para resumir los logros y beneficios del sistema.
- Archivos de configuración y *scripts* de despliegue para facilitar la implementación en un entorno de producción.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Grupo de Tareas 1: gestión y planificación del proyecto (50 h)
 - 1.1 Planificación y programación del proyecto (30 h)
 - 1.2 Corrección de plan de proyecto (10 h)
 - 1.3 Gestión del tiempo del proyecto (10 h)
2. Grupo de Tareas 2: investigación y planificación inicial (55 h)
 - 2.1 Investigación sobre tecnología BLE y *beacons* (20 h)
 - 2.2 Análisis de requisitos y definición de alcance (15 h)
 - 2.3 Diseño preliminar de la arquitectura del sistema (20 h)
3. Grupo de Tareas 3: configuración de *beacons* y dispositivos ESP32-C3 (105 h)
 - 3.1 Investigación y documentación sobre la configuración de *beacons* BLE (25 hs)
 - 3.2 Programación y configuración de los *beacons* BLE (30 h)
 - 3.3 Configuración de dispositivos ESP32-C3 como *hubs* (30 h)
 - 3.4 Pruebas de conectividad entre *beacons* y *hubs* (20 h)
4. Grupo de Tareas 4: desarrollo de algoritmo de triangulación (70 h)
 - 4.1 Investigación y selección de algoritmo de triangulación (30 h)
 - 4.2 Implementación y pruebas del algoritmo de triangulación (40 h)
5. Grupo de Tareas 5: desarrollo de comunicación con MongoDB y MQTT (80 h)
 - 5.1 Configuración y conexión con la base de datos MongoDB (25 h)
 - 5.2 Implementación del protocolo MQTT para comunicación (35 h)
 - 5.3 Pruebas de envío de datos a la base de datos (20 h)
6. Grupo de Tareas 6: desarrollo de interfaz de usuario (panel de control) (90 h)
 - 6.1 Diseño y maquetación de la interfaz de usuario (30 h)
 - 6.2 Desarrollo de la interfaz de usuario (40 h)
 - 6.3 Implementación de filtros y opciones de búsqueda (20 h)
7. Grupo de Tareas 7: documentación y pruebas (155 h)
 - 7.1 Documentación detallada de configuración de *beacons* BLE (20 h)
 - 7.2 Documentación de configuración de dispositivos ESP32-C3 como *hubs* (20 h)
 - 7.3 Documentación del algoritmo de triangulación (25 h)
 - 7.4 Pruebas de funcionamiento y precisión de la ubicación (30 h)
 - 7.5 Pruebas de estrés y rendimiento del sistema (30 h)
 - 7.6 Pruebas de seguridad y mitigación de vulnerabilidades (30 h)
8. Grupo de Tareas 8: seguridad y cumplimiento normativo (50 h)
 - 8.1 Implementación de medidas de seguridad (25 h)
 - 8.2 Cumplimiento normativo y preparación de documentación (25 h)

9. Grupo de Tareas 9: tareas de cierre (60 h)

9.1 Generación de manuales y documentación final (25 h)

9.2 Preparación de la presentación ejecutiva (15 h)

9.3 Validación y pruebas finales antes de la entrega (20 h)

Cantidad total: 715 horas.

10. Diagrama de Activity On Node

El tiempo mostrado en el diagrama AoN (*Activity on Node*) que se puede observar en la figura 3 se encuentra en horas totales por tarea. Cada uno de los colores representa un grupo de tareas tal como se ve en el recuadro disponible en la figura. El camino crítico tiene un total de 400 horas y esta delineado por flechas de color rojo.

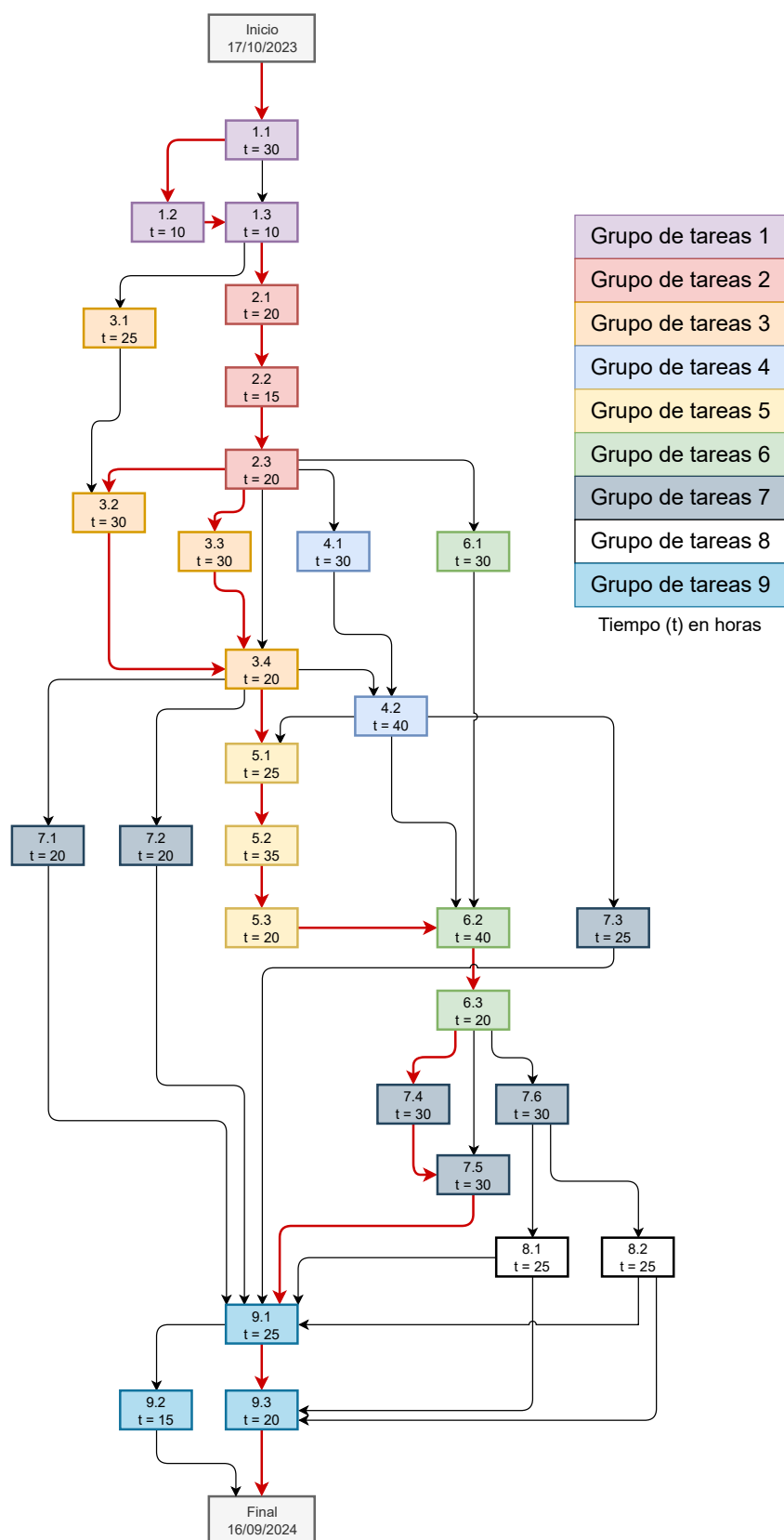


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

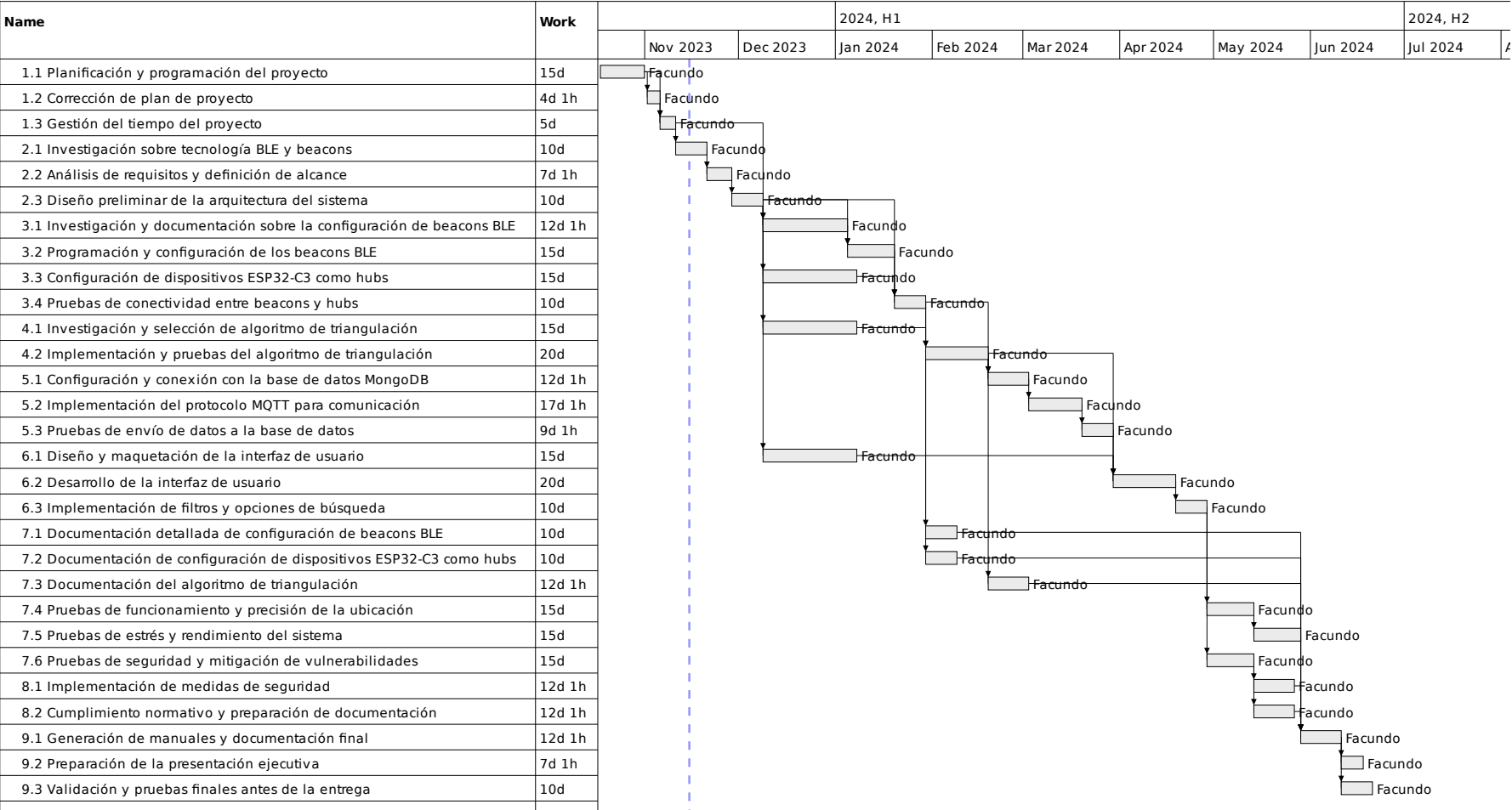


Figura 4. Diagrama de Gantt.

12. Presupuesto detallado del proyecto

El presupuesto está realizado en dólares estadounidenses (USD). La cotización al día 14 de noviembre de 2023 respecto al peso argentino (ARS) es de \$ 350,08 para el oficial.

| COSTOS DIRECTOS | | | |
|--|----------|----------------|-------------|
| Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
| Costo por hora del desarrollador | 715 | 5 USD | 3.575 USD |
| ESPRESSIF ESP32-C3-DEVKITM-1 | 9 | 15 USD | 135 USD |
| Otros materiales | 1 | 150 USD | 150 USD |
| Base de datos (MongoDB + HiveMQ Cloud) | 1 | 100 USD | 100 USD |
| SUBTOTAL | | | 3.960 USD |
| COSTOS INDIRECTOS | | | |
| Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
| Espacio de trabajo | 12 | 300 USD | 3.600 USD |
| Computadora para desarrollo | 1 | 1.000 USD | 1.000 USD |
| Servicios (luz, comida, agua) | 12 | 200 USD | 2.400 USD |
| SUBTOTAL | | | 7.000 USD |
| TOTAL | | | 10.960 USD |

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos

Riesgo 1: problemas de alcance de *beacons*.

- Severidad (S): 7.
- Ocurrencia (O): 4.
- Descripción: los *beacons* pueden no tener el alcance necesario para proporcionar una cobertura efectiva en la ubicación deseada, lo que afectaría la precisión del sistema de ubicación.

Riesgo 2: interferencias en la infraestructura de la habitación.

- Severidad (S): 6.
- Ocurrencia (O): 3.
- Descripción: interferencias electromagnéticas o estructurales en la habitación de prueba podrían afectar la calidad de la señal y la triangulación.

Riesgo 3: problemas de conectividad entre *hubs* y *beacons*.

- Severidad (S): 8.
- Ocurrencia (O): 5.

- Descripción: dada la poca experiencia del desarrollador en el ámbito de IoT, obstáculos físicos u otras interferencias, la conectividad entre dispositivos podría verse afectada, lo que podría comprometer la comunicación.

Riesgo 4: cambio en la elección del protocolo (de MQTT a HTTP).

- Severidad (S): 5.
- Ocurrencia (O): 2.
- Descripción: descubrir que MQTT no es la mejor opción y decidir migrar a HTTP podría generar cambios significativos en el sistema y en la comunicación entre dispositivos.

Riesgo 5: problemas de autenticación y autorización en MQTT.

- Severidad (S): 7.
- Ocurrencia (O): 4.
- Descripción: dificultades en la implementación de autenticación y autorización en MQTT podrían afectar la seguridad del sistema.

Riesgo 6: problemas de escalabilidad en MongoDB.

- Severidad (S): 7.
- Ocurrencia (O): 2.
- Descripción: si la cantidad de datos crece significativamente podrían surgir problemas de escalabilidad en MongoDB que afecten el rendimiento del sistema.

Riesgo 7: cambios en la disponibilidad de materiales.

- Severidad (S): 5.
- Ocurrencia (O): 2.
- Descripción: dificultades para adquirir todos los materiales necesarios podrían retrasar el proyecto y afectar la planificación.

Riesgo 8: problemas de configuración y programación de los dispositivos (*hubs* y *beacons*).

- Severidad (S): 8.
- Ocurrencia (O): 6.
- Descripción: dificultades en la configuración y programación de los dispositivos pueden generar retrasos significativos en el desarrollo y dada la poca experiencia del desarrollador y arquitecto de la solución, la severidad es alta.

Riesgo 9: aumento inesperado de costos.

- Severidad (S): 4.
- Ocurrencia (O): 6.
- Descripción: factores imprevistos podrían resultar en un aumento dramático de los costos que afecten el presupuesto original del proyecto.

Riesgo 10: cambios en la normativa de privacidad y datos.

- Severidad (S): 4.
- Ocurrencia (O): 2.
- Descripción: cambios en las regulaciones de privacidad y datos podrían requerir ajustes en la implementación para cumplir con nuevas normativas.

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

| Riesgo | S | O | RPN | S* | O* | RPN* |
|--|---|---|-----|----|----|------|
| Problemas de alcance de <i>beacons</i> | 7 | 4 | 28 | 5 | 3 | 15 |
| Interferencias en la infraestructura de la habitación | 6 | 3 | 18 | - | - | - |
| Problemas de conectividad entre <i>hubs</i> y <i>beacons</i> | 8 | 5 | 40 | 6 | 4 | 24 |
| Cambio en la elección del protocolo (de MQTT a HTTP) | 5 | 2 | 10 | - | - | - |
| Problemas de autenticación y autorización en MQTT | 7 | 4 | 28 | 4 | 3 | 12 |
| Problemas de escalabilidad en MongoDB | 7 | 2 | 14 | - | - | - |
| Cambios en la disponibilidad de materiales | 5 | 2 | 10 | - | - | - |
| Problemas de configuración y programación de los dispositivos (<i>hubs</i> y <i>beacons</i>) | 8 | 6 | 48 | 5 | 4 | 20 |
| Aumento inesperado de costos | 4 | 6 | 24 | 4 | 3 | 12 |
| Cambios en la normativa de privacidad y datos | 4 | 2 | 8 | - | - | - |

Criterio adoptado: se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 20.

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

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

Riesgo 1: problemas de alcance de *beacons*.

- Plan de mitigación: realizar un mapeo previo del entorno y ubicación estratégica de los *beacons* para optimizar el alcance. Realizar pruebas piloto para evaluar el alcance real y ajustar según sea necesario.
- Severidad (S*): 5. Al realizar un mapeo y pruebas piloto, se puede identificar y corregir problemas de alcance antes de implementar completamente el sistema, reduciendo así el impacto severo.
- Ocurrencia (O*): 3. Al tener un plan detallado y pruebas piloto, se reducirá la probabilidad de problemas de alcance inesperados.

Riesgo 3: problemas de conectividad entre *hubs* y *beacons*.

- Plan de mitigación: realizar pruebas exhaustivas de conectividad en diferentes escenarios dentro de la habitación de prueba. Implementar redundancias en la conectividad para garantizar una comunicación estable.
- Severidad (S^*): 6. Las pruebas exhaustivas permitirán identificar y abordar problemas de conectividad antes de la implementación completa.
- Ocurrencia (O^*): 4. Al implementar redundancias y realizar pruebas, se reduce la probabilidad de problemas persistentes de conectividad.

Riesgo 5: problemas de autenticación y autorización en MQTT.

- Plan de mitigación: capacitación adicional sobre seguridad en MQTT y consultas regulares con expertos en seguridad. Implementar buenas prácticas de seguridad recomendadas por la comunidad de MQTT.
- Severidad (S^*): 4. Con una comprensión mejorada de MQTT y la implementación de medidas de seguridad recomendadas, se reducirá significativamente el impacto potencial.
- Ocurrencia (O^*): 3. La capacitación y la consulta regular reducirán la probabilidad de errores de seguridad.

Riesgo 8: problemas de configuración y programación de los dispositivos (*hubs* y *beacons*).

- Plan de mitigación: obtener orientación adicional de expertos en IoT y utilizar recursos educativos disponibles. Realizar pruebas exhaustivas durante la configuración y programación para identificar y corregir problemas.
- Severidad (S^*): 5. Con orientación y pruebas exhaustivas, se reducirá la severidad al abordar problemas durante las etapas iniciales.
- Ocurrencia (O^*): 4. La orientación y las pruebas reducirán la probabilidad de errores de configuración y programación.

Riesgo 9: aumento inesperado de costos.

- Plan de mitigación: realizar un seguimiento continuo de los costos, buscar alternativas de bajo costo para materiales y considerar opciones de código abierto siempre que sea posible.
- Severidad (S^*): 4. El seguimiento continuo y la búsqueda de opciones de bajo costo reducirán el impacto financiero.
- Ocurrencia (O^*): 3. Al monitorear constantemente los costos y buscar alternativas, se reducirá la probabilidad de aumentos inesperados.

14. Gestión de la calidad

A continuación se listan todos los requerimientos que garantizan la calidad, el cumplimiento y el éxito del proyecto.

- Req 1.1.1: el sistema debe ser capaz de recibir señales BLE de hasta 6 *beacons*.
 - Verificación: monitoreo en tiempo real de la recepción de señales de los 6 *beacons* en un entorno de prueba.
 - Validación: demostración al usuario del recinto, mostrando que el sistema puede detectar y recibir señales de los 6 *beacons* correctamente.
- Req 1.1.2: el sistema debe actualizarse en tiempo real o en un tiempo menor a dos minutos.
 - Verificación: monitoreo en tiempo real de la frecuencia de actualización del sistema durante pruebas continuas.
 - Validación: confirmación con el usuario del recinto de que las actualizaciones son en tiempo real o dentro del límite especificado.
- Req 1.1.3: el sistema debe poder determinar un identificador para cada dispositivo.
 - Verificación: pruebas de asignación de identificadores únicos a cada dispositivo.
 - Validación: revisión de la asignación de identificadores con el usuario del recinto y confirmación de su unicidad.
- Req 1.1.4: el sistema debe ser capaz de procesar las señales y enviarlas a la base de datos en MongoDB.
 - Verificación: monitoreo de la transferencia de señales a la base de datos durante pruebas de carga.
 - Validación: confirmación de la integridad de los datos almacenados al revisarlos con el usuario del recinto.
- Req 1.1.5: el sistema debe implementar un algoritmo de triangulación basado en las señales recibidas.
 - Verificación: revisión y prueba del código del algoritmo de triangulación, simulaciones en entornos controlados.
 - Validación: demostración práctica al usuario del recinto, explicando cómo el sistema determina la ubicación a través de la triangulación.
- Req 1.1.6: el sistema debe poder determinar la ubicación de un dispositivo determinado.
 - Verificación: pruebas de ubicación de dispositivos en diferentes puntos de la habitación.
 - Validación: verificación visual con el usuario del recinto de que el sistema puede determinar la ubicación con precisión.
- Req 1.1.7: el sistema debe poder determinar la cantidad de tiempo que un dispositivo estuvo en un lugar.
 - Verificación: pruebas de seguimiento del tiempo de permanencia en diferentes áreas.
 - Validación: confirmación visual con el usuario del recinto de que el sistema puede determinar con precisión el tiempo de permanencia.
- Req 1.1.8: el sistema debe proporcionar una interfaz de usuario para visualizar y acceder a los datos.

- Verificación: revisión del diseño y la funcionalidad de la interfaz de usuario, simulaciones de interacción.
 - Validación: sesiones de prueba con el usuario del recinto para confirmar la facilidad de uso y la efectividad de la interfaz.
- Req 1.2.1: el sistema debe ser capaz de gestionar la conexión y comunicación entre los *beacons* (ESP32-C3 *Bluetooth Low Energy*) y los dispositivos de procesamiento (ESP32-C3 Wi-Fi).
- Verificación: pruebas de comunicación entre *beacons* y dispositivos de procesamiento en un entorno de prueba.
 - Validación: observación del usuario del recinto durante las pruebas para confirmar una conexión estable y comunicación efectiva.
- Req 1.2.2: el sistema debe permitir la configuración de parámetros como la potencia de transmisión de los *beacons* y la frecuencia de actualización de la ubicación.
- Verificación: pruebas de configuración de parámetros y monitoreo de su efectividad.
 - Validación: confirmación con el usuario del recinto de que puede ajustar los parámetros según sea necesario.

15. Procesos de cierre

El director del proyecto, junto con el responsable designado para la evaluación del cumplimiento, llevarán a cabo una revisión exhaustiva del plan de proyecto original. Este proceso implicará la comparación de hitos, plazos y entregables planificados con los logros alcanzados, así como el análisis de desviaciones y las razones detrás de los cambios en el plan. Se llevarán a cabo encuestas o entrevistas con los miembros del equipo para obtener retroalimentación adicional. Los indicadores clave incluirán el porcentaje de cumplimiento de hitos y plazos, el número de cambios significativos respecto al plan original y la satisfacción del equipo con respecto a la planificación.

La responsabilidad recae en el equipo y el responsable del proyecto para la identificación y documentación de técnicas y procedimientos. Se realizará una revisión retrospectiva de las prácticas utilizadas, identificando aquellas que resultaron efectivas y las que presentaron dificultades. Se documentarán problemas encontrados y soluciones aplicadas, y se generará un informe detallado que incluirá lecciones aprendidas, buenas prácticas y áreas de mejora.

El responsable designado para la organización del evento tomará la iniciativa en la planificación de la ubicación, fecha y formato del acto de agradecimiento. Se establecerá un presupuesto que considerará la asignación de recursos del presupuesto del proyecto o, en su caso, la obtención de patrocinios o contribuciones externas. Además, se coordinarán agradecimientos específicos para el equipo de trabajo y colaboradores. El proceso incluirá la obtención de aprobación para el presupuesto y los detalles del evento.