



Sistema de monitoreo y gestión remota de red de sensores Bluetooth para el control del clima en invernaderos

Autor:

Lic. Martín Anibal Lacheski

Director:

Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz (FIUBA)

Codirectora:

Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz (UNaM)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 20 de agosto de 2024 y el 8 de octubre de 2024.*

Índice

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

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de agosto de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	2 de septiembre de 2024

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Lic. Martín Anibal Lacheski que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo y gestión remota de red de sensores Bluetooth para el control del clima en invernaderos” y consistirá en desarrollar un prototipo preliminar de un sistema basado en una red de sensores y actuadores inalámbricos, junto con un servidor en la nube y una aplicación web, que permita el monitoreo y control remoto del clima en invernaderos.

El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ XXX, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública el 23 de junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Pablo Lodetti
Wentux

Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz
Director del Trabajo Final

Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz
Codirectora del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

La agricultura enfrenta desafíos crecientes en la optimización de la productividad y la eficiencia, especialmente en regiones con condiciones climáticas adversas y variables. Los sistemas de cultivo tradicionales suelen ser ineficientes en la gestión de recursos esenciales como agua, nutrientes y energía, en gran parte debido a la falta de monitoreo en tiempo real, lo que afecta negativamente tanto la calidad como el rendimiento de los cultivos. Además, los agricultores se enfrentan a altos costos operativos y a un impacto negativo en la sostenibilidad ambiental debido a prácticas no optimizadas. Ante estas dificultades, los cultivos en invernaderos han surgido como una solución mejorada, permitiendo un mayor control sobre las condiciones ambientales y una utilización más eficiente de los recursos.

Este trabajo se desarrolla en colaboración con Wentux, una empresa argentina que, desde 2018, se dedica al desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en IoT (*Internet of Things*) para la gestión del clima en invernaderos. La iniciativa surge a partir del programa de vinculación con empresas del posgrado, que busca fomentar la colaboración entre el sector académico y el ámbito empresarial. Wentux ofrece productos que permiten controlar de manera automatizada el clima de los cultivos mediante el uso de sensores y actuadores.

Actualmente, los sistemas de Wentux están compuestos por un nodo central con conexión Wi-Fi y sensores y actuadores conectados de forma cableada, lo cual limita la flexibilidad y escalabilidad de la solución. Los datos del sistema se visualizan a través de una página web integrada en el nodo central, y el monitoreo y control se realizan únicamente de manera local.

La propuesta, como puede observarse en la figura 1, consiste en desarrollar una red Mesh (malla) de sensores y actuadores inalámbricos basados en el ESP32-C3, que se conectan a un módulo central mediante tecnología BLE (*Bluetooth Low Energy*). Este módulo, también basado en un ESP32-C3, se conecta a Internet vía Wi-Fi y envía los datos a un servidor IoT a través del protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Esto permitirá monitorear y gestionar el sistema de manera remota desde una aplicación web del tipo SPA (*Single Page Application*).

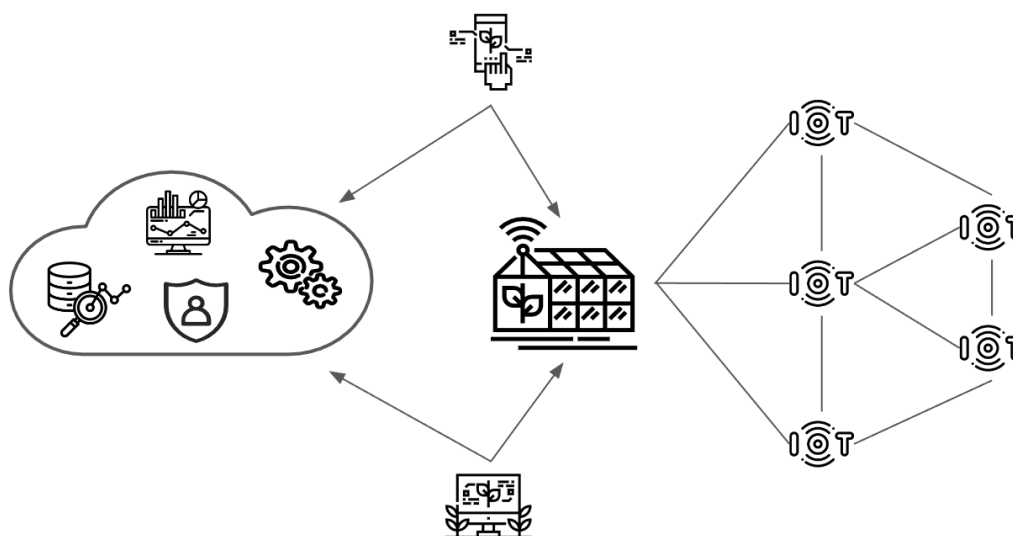


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

Esta solución ofrece a los clientes finales un mayor control sobre sus cultivos, mejora la eficiencia en la gestión del clima y optimiza los recursos, lo que se traduce en una mayor productividad y una reducción de los costos operativos.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Pablo Lodetti	Wentux	Responsable técnico
Responsable	Lic. Martín Anibal Lacheski	FIUBA	Alumno
Orientadores	Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz	FIUBA UNaM	Director Codirectora
Opositores	Empresas que ya ofrecen soluciones similares en el mercado.		
Usuario final	Potenciales clientes interesados en automatizar cultivos en invernaderos.		

- Cliente: El señor Pablo Lodetti tiene amplios conocimientos en desarrollo de sistemas embebidos y va a colaborar con la definición de los requerimientos, el apoyo financiero y el seguimiento del proyecto.
- Orientadores:
 - El Director Mg. Lic. Leopoldo Alfredo Zimperz es experto en la temática y guiará con la implementación de los protocolos y herramientas del proyecto.
 - La Codirectora Dra. Lic. Nancy Beatriz Ganz, experta en Sistemas de Información, ayudará con el seguimiento metodológico, para garantizar una gestión rigurosa y efectiva del desarrollo del trabajo.

3. Propósito del proyecto

Diseñar y desarrollar un prototipo preliminar de una red en malla de sensores y actuadores inalámbricos conectados a través de BLE, junto con un servidor IoT y una aplicación web, que permita el monitoreo y control remoto del clima en invernaderos. El proyecto busca proporcionar a los agricultores un mayor control sobre las condiciones ambientales, optimizar el uso de recursos, reducir los costos operativos y contribuir a una mayor sostenibilidad ambiental.

4. Alcance del proyecto

El presente trabajo incluye:

- Análisis e investigación de ESP-BLE-MESH para microcontroladores ESP32-C3.
- Implementación del protocolo ESP-BLE-MESH entre los nodos sensores, actuadores y el nodo central.
- Diseño e implementación de la conexión WiFi en el nodo central.
- Desarrollo del firmware de los nodos que serán alimentados con fuente 12vcc.
 - Programación del firmware de los siguientes nodos sensores para la recopilación y transmisión de datos.
 - Nodo sensor de temperatura ambiente y humedad relativa.
 - Nodo sensor de dióxido de carbono (CO_2).

- Nodo sensor de potencial de hidrógeno (pH).
- Nodo sensor de conductividad eléctrica (CE).
- Programación del firmware del nodo actuador de cuatro salidas para gestionar el control de dispositivos y reportar su estado.
- Programación del firmware del nodo central para gestionar la comunicación con los nodos sensores, actuadores y el servidor IoT.
 - Programación del firmware del ESP32-C3 que actúa como nodo central en la topología mesh mediante Bluetooth (ESP-BLE-MESH).
 - Programación del firmware del ESP32-C3 que opera el servidor web y gestiona la comunicación con el servidor IoT mediante WiFi.
 - Programación del firmware para la comunicación entre los dos ESP32-C3 mediante UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*).
- Implementación del broker MQTT en el servidor IoT.
- Implementación de cifrados de conexión mediante TLS (*Transport Layer Security*).
- Configuración del nodo central para enviar los datos recolectados al servidor IoT mediante el protocolo MQTT.
- Diseño e implementación de una base de datos para almacenar los datos recolectados por los sensores y permitir su consulta y análisis.
- Diseño y desarrollo de una API (*Application Programming Interface*) REST (*Representational State Transfer*) que permita la comunicación con el sistema utilizando HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), MQTT y WebSockets.
- Desarrollo de una aplicación Web SPA.
- Entrega del código del sistema, que incluye todos los componentes desarrollados (sensores, nodo central, servidor y aplicación web), guías de instalación, configuración y operación.

El presente trabajo no incluye:

- Diseño de los gabinetes para los nodos sensores, actuadores y nodo central a utilizar.
- Desarrollo de una aplicación móvil compatible con iOS y Android.
- Desarrollo de módulos para alimentación con baterías.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se contará con los materiales necesarios para la implementación de los nodos de sensores, actuadores, como así también del nodo central.
- Se contará con el apoyo financiero del cliente para comprar los componentes adicionales necesarios para el desarrollo del prototipo.

- Se dispondrá del conocimiento necesario para la implementación del protocolo BLE Mesh en los microcontroladores.
- Se dispondrá del conocimiento necesario para la implementación del protocolo de cifrado TLS y el software necesario en los microcontroladores y servidor IoT.
- Se dispondrá del conocimiento necesario para el diseño y desarrollo de la base de datos, API y la aplicación SPA.
- El cliente tendrá disponibilidad para atender las consultas.
- Los directores tendrán disponibilidad para atender las consultas.
- Se podrá terminar el presente proyecto en el tiempo estipulado.

6. Requerimientos

Los requerimientos deben enumerarse y de ser posible estar agrupados por afinidad, por ejemplo:

1. Requerimientos funcionales:
 - 1.1. El sistema debe...
 - 1.2. Tal componente debe...
 - 1.3. El usuario debe poder...
2. Requerimientos de documentación:
 - 2.1. Requerimiento 1.
 - 2.2. Requerimiento 2 (prioridad menor)
3. Requerimiento de testing...
4. Requerimientos de la interfaz...
5. Requerimientos interoperabilidad...
6. etc...

Leyendo los requerimientos se debe poder interpretar cómo será el proyecto y su funcionalidad.

Indicar claramente cuál es la prioridad entre los distintos requerimientos y si hay requerimientos opcionales.

!!!No olvidarse de que los requerimientos incluyen a las regulaciones y normas vigentes!!!

Y al escribirlos seguir las siguientes reglas:

- Ser breve y conciso (nadie lee cosas largas).
- Ser específico: no dejar lugar a confusiones.
- Expresar los requerimientos en términos que sean cuantificables y medibles.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

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

Se debe indicar explícitamente el criterio para calcular los *story points* de cada historia.

El formato propuesto es:

1. “Como [rol] quiero [tal cosa] para [tal otra cosa].”

Story points: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son (ejemplo):

- Manual de usuario.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Diagrama de instalación.
- Memoria del trabajo final.
- etc...

9. Desglose del trabajo en tareas

El WBS debe tener relación directa o indirecta con los requerimientos. Son todas las actividades que se harán en el proyecto para dar cumplimiento a los requerimientos. Se recomienda mostrar el WBS mediante una lista indexada:

1. Grupo de tareas 1 (suma h)
 - 1.1. Tarea 1 (tantas h)
 - 1.2. Tarea 2 (tantas h)
 - 1.3. Tarea 3 (tantas h)
2. Grupo de tareas 2 (suma h)
 - 2.1. Tarea 1 (tantas h)

- 2.2. Tarea 2 (tantas h)
- 2.3. Tarea 3 (tantas h)
- 3. Grupo de tareas 3 (suma h)
 - 3.1. Tarea 1 (tantas h)
 - 3.2. Tarea 2 (tantas h)
 - 3.3. Tarea 3 (tantas h)
 - 3.4. Tarea 4 (tantas h)
 - 3.5. Tarea 5 (tantas h)

Cantidad total de horas: tantas.

¡Importante!: la unidad de horas es h y va separada por espacio del número. Es incorrecto escribir “23hs”.

Se recomienda que no haya ninguna tarea que lleve más de 40 h. De ser así se recomienda dividirla en tareas de menor duración.

10. Diagrama de Activity On Node

Armar el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Una herramienta simple para desarrollar los diagramas es el Draw.io (<https://app.diagrams.net/>). Draw.io

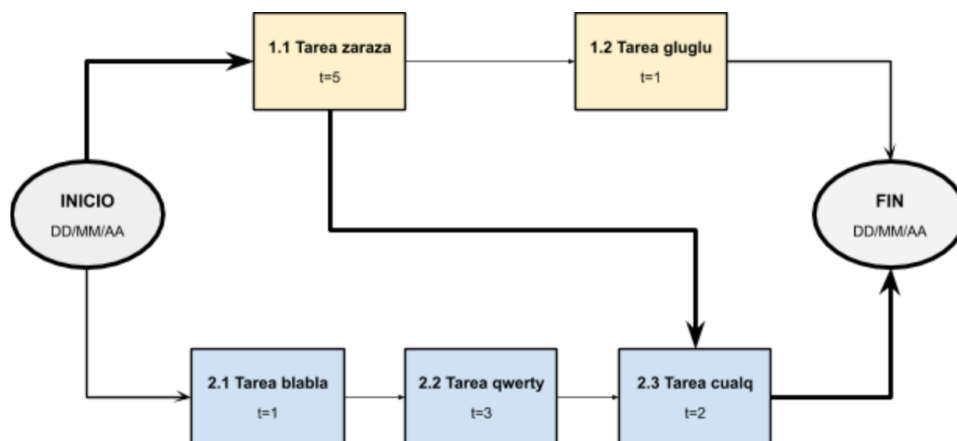


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semi críticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color.

11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de Gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 3, se muestra un ejemplo de diagrama de gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

Las fechas pueden ser calculadas utilizando alguna de las herramientas antes citadas. Sin embargo, el siguiente ejemplo fue elaborado utilizando [esta hoja de cálculo](#).

Es importante destacar que el ancho del diagrama estará dado por la longitud del texto utilizado para las tareas (Ejemplo: tarea 1, tarea 2, etcétera) y el valor $x\ unit$. Para mejorar la apariencia del diagrama, es necesario ajustar este valor y, quizás, acortar los nombres de las tareas.

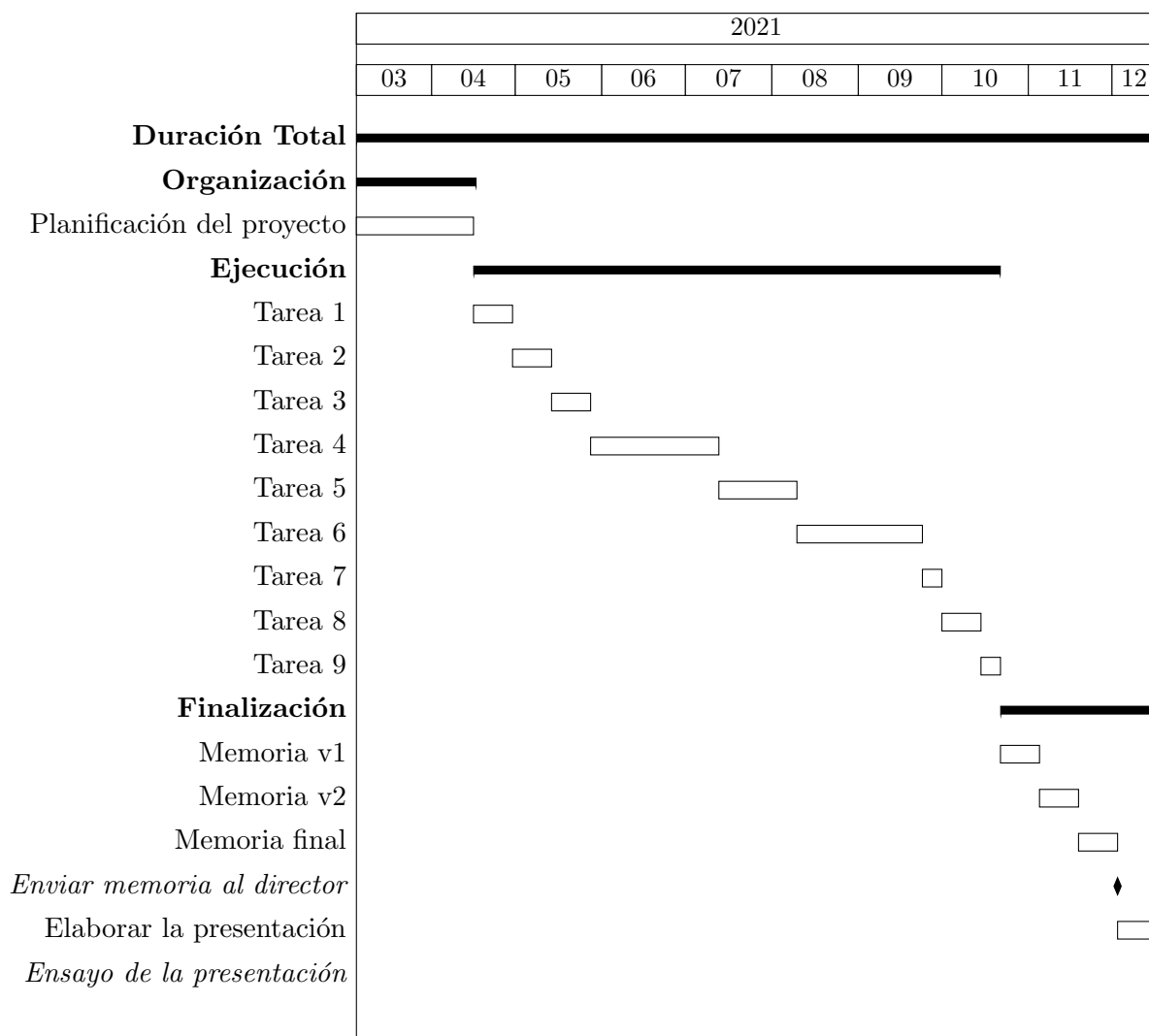


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo



Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

IMPORTANTE: No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

Incluir la aclaración de si se emplea como moneda el peso argentino (ARS) o si se usa moneda extranjera (USD, EUR, etc). Si es en moneda extranjera se debe indicar la tasa de conversión respecto a la moneda local en una fecha dada.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S): X.
Justificación...

- Ocurriencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurriencia (O): Y.
Justificación...

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

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

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

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).
Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (S*): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O*): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento con su correspondiente número.

- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar.
- Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar.

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc.

Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno.

En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
 - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.