



Monitoreo de red de sensores Bluetooth en invernaderos

Autor:

Ing. Laura Andrea Moreno Rodríguez

Director:

Ing. Federico Roux (Globant)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 11 de marzo de 2025 y el 22 de abril de 2025.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	7
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	7
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	10
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	11
11. Diagrama de Gantt	11
12. Presupuesto detallado del proyecto	15
13. Gestión de riesgos	15
14. Gestión de la calidad	16
15. Procesos de cierre	17

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	11 de marzo de 2025
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	16 de marzo de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 11 de marzo de 2025

Por medio de la presente se acuerda con la Ing. Laura Andrea Moreno Rodríguez que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Monitoreo de red de sensores Bluetooth en invernaderos” y consistirá en el desarrollo del protocolo de comunicación basado en Bluetooth Mesh para interconectar los sensores, optimizando el monitoreo y control local de la red. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ XXX, con fecha de inicio el 11 de marzo de 2025 y fecha de presentación pública en noviembre 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Pablo Lodetti
Wentux Tecnoagro

Ing. Federico Roux
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Este proyecto surge como una necesidad de la empresa Wentux Tecnoagro, quien lo ha propuesto dentro del programa de vinculación con empresas de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos. La empresa se dedica a la fabricación y comercialización de diversos dispositivos para la automatización de salas de cultivo, siendo uno de sus productos destacados un sensor de suelo que mide la temperatura y humedad en invernaderos. Actualmente, este sensor utiliza el microcontrolador ESP32-C3 y transmite los datos de medición a través de una red Wi-Fi a un servidor local. Sin embargo, este enfoque limita la instalación de los sensores, ya que deben estar dentro del alcance de la red Wi-Fi para funcionar correctamente.

El objetivo principal de este proyecto es aprovechar las capacidades Bluetooth del ESP32-C3 para desarrollar una solución de transmisión de datos mediante una red de sensores Bluetooth Mesh. Esta tecnología permitirá superar la limitación de cobertura Wi-Fi, al proporcionar una red descentralizada donde cada sensor puede transmitir datos a través de otros nodos, extendiendo el alcance y mejorando la confiabilidad del sistema. Además, se implementará un servidor web local que facilitará la configuración y monitoreo de la red, optimizando la gestión y operación del sistema para el usuario final.

Es importante destacar que las pruebas del sistema no se realizarán con los sensores comerciales de Wentux Tecnoagro. En su lugar, se utilizarán microcontroladores ESP32-C3 adquiridos específicamente para el proyecto, con los cuales se simularán los datos de medición. El enfoque principal se centrará en el diseño e implementación de la comunicación Bluetooth Mesh, dejando la integración del código con los sensores reales para una fase posterior. Esto también implica que no se requieren acuerdos de confidencialidad ni acceso al hardware o software de la empresa durante el desarrollo. Sin embargo, el cliente tendrá acceso completo al software desarrollado y la licencia para integrarlo en sus dispositivos.

La motivación de este proyecto radica en la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante el curso de especialización en sistemas embebidos, a la vez que continúo desarrollando habilidades clave en el desarrollo de firmware. Los microcontroladores ESP32-C3 y la tecnología Bluetooth Mesh son ampliamente utilizados en diversos sistemas, lo que hace que este proyecto sea valioso tanto para el aprendizaje personal como para mi futuro profesional. Además, resulta especialmente gratificante contribuir al crecimiento de una empresa pequeña, ayudándola a agregar valor a sus productos y a mejorar su competitividad en el mercado.

Una red de sensores Bluetooth Mesh es un sistema de comunicación inalámbrica en el que múltiples dispositivos (nodos) se interconectan para formar una red descentralizada de amplio alcance. En este tipo de red, cada nodo retransmite los datos recibidos, lo que extiende la cobertura de comunicación más allá del alcance de un único dispositivo. En el contexto de sensores para invernaderos, esto significa que los datos de los sensores pueden ser transmitidos eficientemente entre nodos hasta llegar a un punto central, sin depender de una única fuente de comunicación como una red Wi-Fi. Esta estructura mejora el consumo energético, reduce la infraestructura necesaria y facilita la escalabilidad del sistema.

El proyecto se basará en la implementación de una red Bluetooth Mesh utilizando el SDK de Espressif, que ya incluye los protocolos necesarios para la provisión, enrutamiento y gestión de los nodos. Sin embargo, el enfoque principal de este proyecto será personalizar esta solución para los requisitos específicos del cliente. Se desarrollará una librería modular para integrar la solución fácilmente en los sensores de Wentux Tecnoagro y un servidor web local que no está contemplado en la solución estándar de Espressif. Este servidor web permitirá al cliente

gestionar la red de sensores en tiempo real a través de una interfaz personalizada, optimizando la experiencia del usuario.

Aunque el SDK de Espressif cubre la gestión de la red Bluetooth Mesh, no ofrece una solución directa para la visualización de datos y la interacción con el sistema a través de un servidor web local. La innovación de este proyecto radica en desarrollar esta interfaz web fácil de usar, que permitirá al cliente configurar nodos, monitorear el estado de la red y recibir actualizaciones del sistema en tiempo real. Además, se simularán los datos de los sensores utilizando microcontroladores ESP32-C3, optimizando el consumo energético y asegurando una operación confiable en el entorno de los invernaderos.

El desarrollo de una red de sensores Bluetooth Mesh presenta varios desafíos, especialmente en la gestión eficiente de la comunicación entre nodos, asegurando una transmisión de datos estable en un entorno propenso a interferencias y obstáculos físicos. Además, es fundamental optimizar el consumo energético de los dispositivos, ya que los sensores deben operar de manera eficiente sin afectar su autonomía. Otro reto importante será la integración del protocolo de comunicación con el servidor web local, garantizando que la configuración y monitoreo sean intuitivos para el usuario final. Finalmente, el código deberá ser modular y adaptable para que el cliente pueda integrarlo en sus sensores reales sin modificaciones estructurales significativas, lo que requerirá una arquitectura bien diseñada y documentada para facilitar futuras expansiones.

El objetivo es que el lector, en una o dos páginas, exponga de qué se trata el proyecto y cuáles son sus desafíos, cuál es la motivación para realizarlo y su importancia.

Se debe introducir el contexto del proyecto, el estado del arte en la temática, describir la propuesta de valor, cuál es el problema que atiende y cuál es la solución que se propone. Se debe dar una descripción funcional de la solución que incluya un diagrama en bloques.

La descripción técnica-conceptual **debe incluir al menos un diagrama en bloques del sistema** y descripción funcional de la solución propuesta.

Las figuras se deben mencionar en el texto ANTES de que aparezcan con una frase como la siguiente: “En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. Se observa que...”. La regla es que las figuras nunca pueden ir antes de ser mencionadas en el texto, porque sino el lector no entiende por qué de pronto aparece una figura.

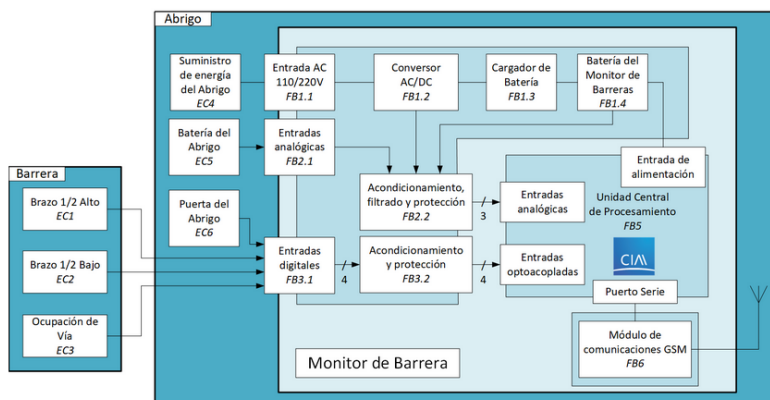


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

El tamaño del texto en TODAS las figuras debe ser adecuado **para que NO pase lo que ocurre en la figura 1**, donde el lector debe esforzarse para poder leer el texto.

Los colores usados en el diagrama deben ser adecuados, tal que ayuden a comprender mejor el diagrama. Se recomienda evitar colores primarios (como rojo, verde o cyan) y usar la gama de colores pastel.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Pablo Lodetti	Wentux Tecnoagro	Responsable técnico
Responsable	Ing. Laura Andrea Moreno Rodríguez	FIUBA	Alumno
Orientador	Ing. Federico Roux	Globant	Director del Trabajo Final

- **Cliente:** El señor Pablo Lodetti es el dueño de la empresa Wentux Tecnoagro y el responsable técnico de sus productos. Junto a él se definieron el alcance del proyecto y los entregables esperados.
- **Orientador:** El Ing. Federico Roux es especialista en Sistemas Embebidos y brindará orientación tanto en el diseño del sistema a implementar como en el desarrollo del firmware embebido. Además, al trabajar en la misma organización que la Ing. Laura Andrea Moreno Rodríguez, la comunicación y el seguimiento del proyecto serán más fluidos.

3. Propósito del proyecto

Desarrollar un sistema de comunicación basado en Bluetooth Mesh para la interconexión de sensores de temperatura y humedad en invernaderos, eliminando la dependencia de la cobertura Wi-Fi y ampliando el alcance de transmisión de datos. Esto permitirá una mayor flexibilidad en la instalación de los sensores, optimizando la recolección y monitoreo de la información ambiental. Además, se implementará un servidor web local para la configuración y supervisión de la red, mejorando la eficiencia y facilidad de uso del sistema para el cliente final.

4. Alcance del proyecto

Los siguientes son los entregables de este proyecto:

- **Diseño e Implementación del Protocolo de Comunicación Bluetooth Mesh**
 - Desarrollo del software para la comunicación entre sensores utilizando Bluetooth Mesh.
 - Configuración y optimización de los parámetros de la red para garantizar eficiencia y estabilidad.
 - Documentación técnica del protocolo, incluyendo diagramas de arquitectura y flujo de datos.

- Desarrollo del Firmware para los Sensores ESP32-C3

Implementación del firmware en microcontroladores ESP32-C3 independientes, donde se simularán los datos de medición.

Desarrollo del protocolo de comunicación Bluetooth Mesh en forma de una librería modular, facilitando su integración en los sensores comerciales de Wentux Tecnoagro.

Código estructurado y documentado para permitir futuras modificaciones y escalabilidad. Optimización del consumo energético en los sensores.

- Servidor Web Local para Monitoreo y Configuración

Desarrollo de una aplicación web embebida para la visualización de datos en tiempo real.

Implementación de una interfaz gráfica intuitiva para la configuración de la red y los sensores.

Almacenamiento de datos y configuración en la memoria EEPROM del dispositivo central.

- Integración y Pruebas del Sistema Completo

Pruebas de integración entre sensores, red Bluetooth Mesh y servidor web.

- Documentación y Manuales

Manual de usuario para la configuración y operación del sistema.

Documentación técnica detallada para el mantenimiento y futuras mejoras.

Guía de instalación y despliegue del sistema en invernaderos.

- Presentación Final del Proyecto

Informe final con todos los resultados y conclusiones del desarrollo.

Presentación técnica para Wentux Tecnoagro y el programa de vinculación empresarial.

Entrega del código fuente, documentación y archivos de configuración.

El presente proyecto no incluye:

- Pruebas de alcance, latencia y consumo energético en diferentes escenarios de implementación.
- Integración de los sensores de temperatura y humedad con la nueva red de comunicación.
- Soporte para actualizaciones remotas del firmware
- Evaluación del rendimiento en un entorno de invernadero real. (OTA - Over The Air).

5. Supuestos del proyecto

“Para el desarrollo del presente proyecto se supone que: ...”

- Supuesto 1.

- Supuesto 2.

- ...

Por ejemplo, se podrían incluir supuestos respecto a disponibilidad de tiempo y recursos humanos y materiales, sobre la factibilidad técnica de distintos aspectos del proyecto, sobre otras cuestiones que sean necesarias para el éxito del proyecto como condiciones macroeconómicas o reglamentarias.

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

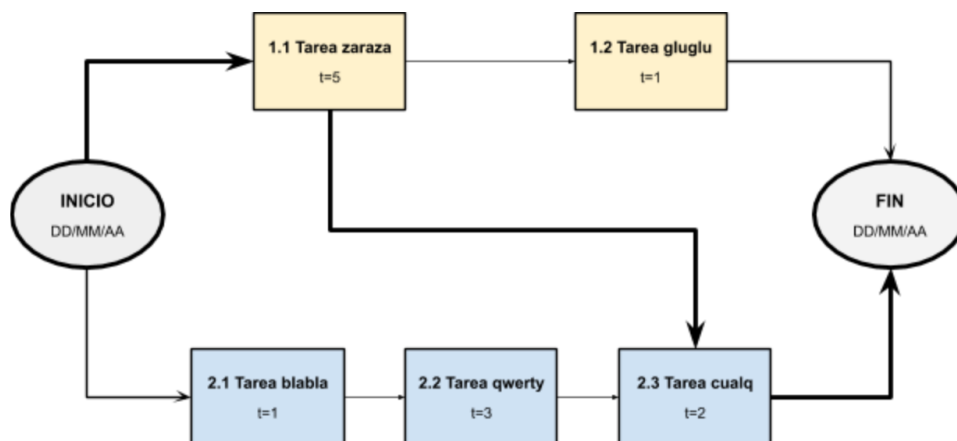


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

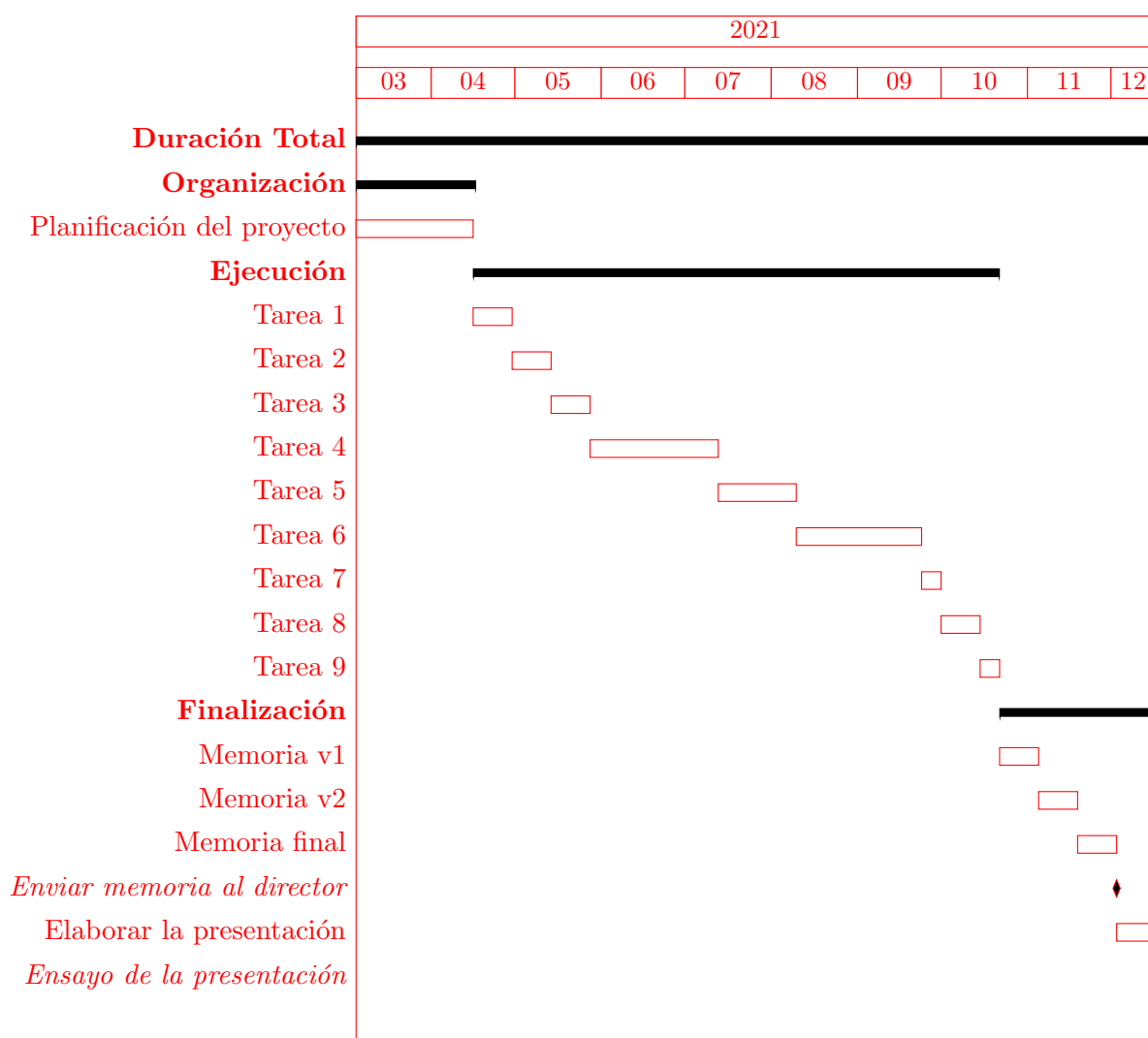


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo



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.