



Robot de exploración ambiental

Autor:

Ing. Gonzalo F. Carreño

Director:

Esp. Ing. Sergio Alberino (FIUBA)

Codirector:

CODIRECTOR (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 13 de marzo de 2023 y el 18 de mayo de 2023.*

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.	6
6. Requerimientos	7
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	8
8. Entregables principales del proyecto	9
9. Desglose del trabajo en tareas	9
10. Diagrama de Activity On Node.	10
11. Diagrama de Gantt	11
12. Presupuesto detallado del proyecto	12
13. Gestión de riesgos	12
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.	13 de marzo de 2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive.	14 de marzo de 2023
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive y se agregan correcciones.	21 de marzo de 2023
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive y se agregan correcciones.	28 de marzo de 2023
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive y se agregan correcciones.	4 de abril de 2023

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 13 de marzo de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Gonzalo F. Carreño que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Robot de exploración ambiental”, consistirá esencialmente en la implementación de un prototipo de un sistema embebido para un dispositivo móvil controlado a distancia con funcionalidades que permiten explorar el entorno, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 760 h de trabajo y \$19.240, con fecha de inicio 13 de marzo de 2023 y fecha de presentación pública 20 de noviembre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Lic. Mariano Landini
-

Esp. Ing. Sergio Alberino
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El presente proyecto es un emprendimiento personal que busca volcar los conocimientos aprendidos de diseño y programación de sistemas embebidos tomando como caso de uso un robot de exploración ambiental.

En una primera versión el dispositivo tendrá las funciones básicas de poder desplazarse, sensar el medio ambiente, ser controlado por un mando a distancia de manera cableada y comunicar las diferentes mediciones al control de mandos para su visualización.

Estado del arte: los robots exploradores son dispositivos robotizados que han sido creados con el fin de reconocer y explorar un lugar o terreno siendo capaces de moverse de forma autónoma o controlados por personas a control remoto. Su objetivo es evitar poner en riesgo la vida de los humanos, ya sea debido a que el lugar es inaccesible o porque se encuentra en una zona contaminada. Tienen como finalidad hacer reconocimiento allí en donde el hombre no puede llegar por ser una zona inaccesible o porque supondría un peligro para la salud. También son utilizados en lugares de difícil acceso, a donde sí que podría llegar una persona solo que empleando más tiempo y recursos económicos. Una de sus principales características es que están diseñados para moverse por terrenos con alta dificultad para desplazarse. En función de las necesidades del entorno en el que van a trabajar, disponen de diferentes sistemas de motricidad, como son los bípedos o cuadrúpedos, a los que hay sumar los que se mueven por medio de una oruga. En cuanto a la forma de control, se pueden manejar por control remoto, habiendo equipos más sofisticados que gracias a aplicaciones controladas por Inteligencia Artificial están preparados para desplazarse y tomar decisiones de forma autónoma. Algunos de los tipos de robots exploradores más conocidos son: robots exploradores espaciales, robots exploradores de minas, robots exploradores de rescate en catástrofes, robots exploradores de tuberías, robots exploradores acuáticos y/o submarinos, etc.

En el siguiente diagrama se puede apreciar el diseño a alto nivel del sistema embebido del robot.

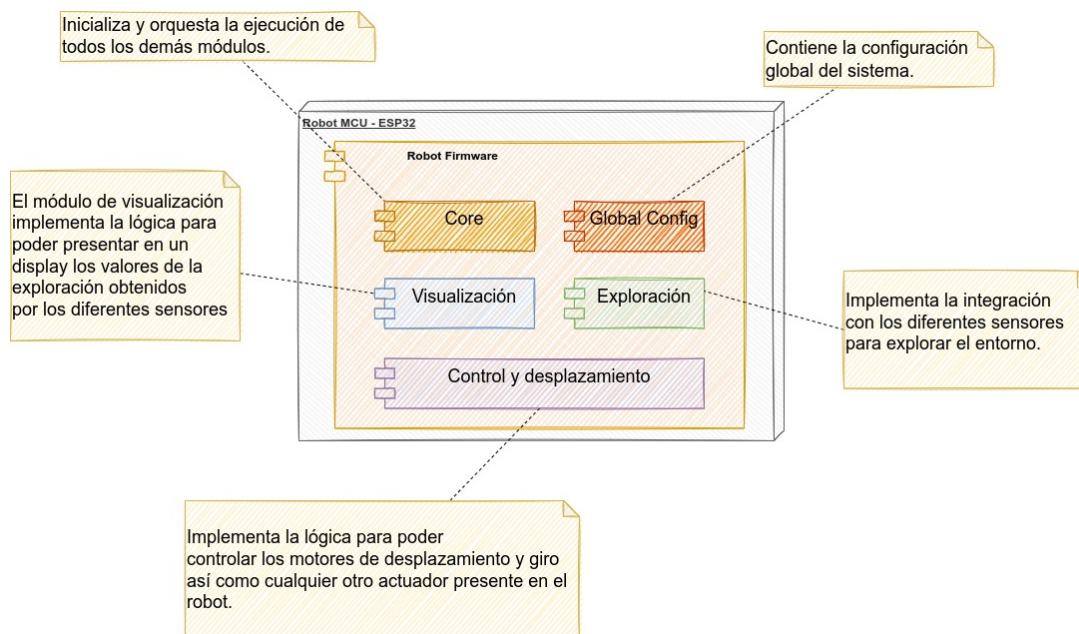


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

A continuación se enumeran los diferentes roles e individuos que participarán en el proyecto.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Lic. Mariano Landini	-	-
Responsable	Ing. Gonzalo F. Carreño	FIUBA	Alumno
Orientador	Esp. Ing. Sergio Alberino	FIUBA	Director Trabajo final

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es volcar en un caso de la industria los conocimientos más importantes aprendidos en la especialización de sistemas embebidos.

Finalmente, cabe destacar, que si bien el robot de exploración ambiental del presente proyecto es una implementación abstracta con a funcionalidades genéricas (detalladas más adelante en la sección Alcance del Proyecto), su arquitectura podría ser extrapolada a casos de uso más interesantes y de valor en la industria como por ejemplo la exploración de suelos en el agro, la exploración submarina para la perforación de pozos de petróleo, o los antes mencionados en el estado del arte.

4. Alcance del proyecto

Las funcionalidades incluidas en el alcance del proyecto serán:

- Sistema de desplazamiento terrestre.
- Operaciones de exploración (como por ejemplo medición de humedad, temperatura, presión ambiental, etc).
- Visualización de estado de exploración (lecturas de los sensores).
- Sistema de control por medio de un Joystick cableado.

Queda fuera del alcance:

- locomoción por cualquier otro medio que no sea terrestre,
- cualquier otra función no contemplada en este alcance.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- será posible conseguir los componentes materiales necesarios,

- se dispondrá del conjunto de librerías, drivers y APIs de bajo nivel para el desarrollo de las funcionalidades planteadas en el alcance sin ser necesario el desarrollo de drivers y dichos componentes de bajo nivel,
- los componentes open source de la comunidad de software libre utilizados a bajo nivel para el acceso al hardware de sensores y actuadores se encontrará estable para que su integración en el proyecto no resulte en desvíos,
- tanto el prototipado de los componentes de software del sistema embebido como el ensamblado de los componentes de hardware del dispositivo no producirán desvíos considerables en el plan,
- no habrá desvíos no contemplados en el plan que impidan o demoren entregas en el proyecto,
- el comité académico encargado de la corrección tendrá disponibilidad para realizar la evaluación en las fechas planificadas de entrega,
- el director asignado tendrá la disponibilidad de tiempo para darle seguimiento al proyecto.
- el alumno contará con una disponibilidad de 5 horas diarias (incluyendo fines de semana) para el desarrollo del proyecto en el tiempo convenido.
- los materiales y componentes adquiridos funcionaran de forma óptima y de acuerdo a lo esperado
- los recursos no directamente relacionados con el desarrollo del proyecto, pero utilizados durante el mismo, funcionaran adecuadamente y en caso de falta de suministro (por ejemplo el servicio de internet) o avería (por ejemplo en el caso de la computadora utilizada) la resolución será expeditiva no suponiendo un desvío en el plan.
- no sucederán nuevos eventos de impacto global (pandemia, guerra mundial, invasión alienígena, etc) durante el desarrollo del proyecto que impliquen una demora o imposibilidad en la entrega.

6. Requerimientos

A continuación se listan los requerimientos del producto:

1. Requerimientos funcionales

- 1.1. El sistema debe contar con funciones de desplazamiento para poder moverse hacia adelante y atrás, y poder girar radialmente hasta un ángulo de 360 grados.
- 1.2. El sistema debe ser capaz de realizar las siguientes operaciones de exploración:
 - 1) medición de humedad en el ambiente,
 - 2) medición de temperatura en el ambiente,
 - 3) medición de luminosidad en el ambiente,
 - 4) medición de presión ambiental.
- 1.3. El sistema debe poder ser controlado a distancia mediante un joystick para que el dispositivo pueda realizar sus movimientos. En caso de que alguna de sus operaciones de exploración requiera algún mecanismo de control, el mismo también será integrado en el joystick.

- 1.4. El sistema debe proveer un mecanismo de visualización de las operaciones de exploración al usuario que controla el dispositivo para poder ver el estado y lectura de las operaciones de exploración.
2. Requerimientos de documentación
 - 2.1. Documentación de arquitectura técnica a alto nivel del diseño del sistema.
 - 2.2. Documentación técnica de la implementación del software.
 - 2.3. Documentación técnica de la implementación del hardware.
 - 2.4. Manual de usuario.
 - 2.5. Informe de avance.
 - 2.6. Memoria final.
3. Requerimiento de testing
 - 3.1. Se debe incluir tests de integración de componentes.
4. Requerimientos de la interfaz
 - 4.1. La interfaz de usuario debe permitir visualizar las lecturas de cada uno de los sensores.
 - 4.2. Debe haber una pequeña leyenda de la magnitud que se está midiendo y la unidad utilizada junto con el valor.
5. Requerimientos opcionales
 - 5.1. De interfaz: se permite agregar cualquier otra interfaz adicional que agregue mejoras en la experiencia de usuario
 - 5.2. De operaciones de exploración: se permite agregar cualquier otra operación adicional de exploración que agregue valor a exploración.
 - 5.3. De comunicación: se permite agregar comunicación inalámbrica.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

A continuacion se listan las historias de usuario. La ponderacion de *story points* se realiza considerando 1 punto = 1 hora:

- (150 puntos) Como explorador quiero ver las lecturas de exploración en un display, indicando las magnitudes y unidades usadas para saber lo que el robot está midiendo.
- (100 puntos) Como explorador quiero que el robot pueda medir la presión ambiental para que sea de utilidad en la aplicaciones de minería y excavación.
- (100 puntos) Como explorador quiero que el robot pueda medir temperatura y humedad para que sea de utilidad en aplicaciones donde sea necesario determinar dichos parámetros ambientales y una persona no pueda/deba acceder.
- (100 puntos) Como explorador quiero que el robot pueda medir luminosidad ambiental para poder usarlo en aplicaciones de minería.
- (150 puntos) Como explorador quiero un joystick para poder controlar los movimientos del robot.

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Documentación:
 1. Manual de usuario,
 2. Memoria final,
 3. Informe de avance,
 4. Documentación de arquitectura técnica del sistema,
 5. Documentación técnica de diseño de software,
 6. Documentación técnica de diseño de hardware.
- Código fuente del firmware.
- Video demostrativo de uso.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

El conjunto de actividades y tareas que se realizarán durante el proyecto son:

1. POC (prueba de concepto), experimentación y prototipado (168 h)
 - 1.1. POC de plataforma base (24 h).
 - 1.2. POC e integración de sensor de temperatura y humedad en plataforma base (24 hs).
 - 1.3. POC e integración de sensor de luminosidad en plataforma base (24 h).
 - 1.4. POC e integración de sensor de presión ambiental en plataforma base (24 h).
 - 1.5. POC e integración de motores en plataforma base (24 h).
 - 1.6. POC e integración de joystick en plataforma base (24 h).
 - 1.7. POC e integración de display en plataforma base (24 h).
2. Set-up ambiente de integración continua (actividad opcional) (72 h)
 - 2.1. Set-up imagen Docker con código de proyecto (24 h).
 - 2.2. Set-up servicio de integración continua cloud (24 h).
 - 2.3. Configuración con Github para tomar los commits y ejecutar los builds (24 h).
3. Diseño y desarrollo de funcionalidades (120 h)
 - 3.1. Diseño del framework de orquestación de componentes (24 h).
 - 3.2. Desarrollo de funcionalidad de medición de temperatura y humedad (16 h).
 - 3.3. Desarrollo de funcionalidad de medición de presión ambiental (16 h).
 - 3.4. Desarrollo de funcionalidad de medición de luminosidad (16 h).
 - 3.5. Desarrollo de funcionalidad de medición de desplazamiento (16 h).

- 3.6. Desarrollo de funcionalidad de medición de comandos en el joystick analógico (16 h).
- 3.7. Desarrollo de funcionalidad de escritura y formato de valores en el display (16 h).
- 4. Testing (96 h)
 - 4.1. Desarrollo de tests de integración de sensores (24 h).
 - 4.2. Desarrollo de tests de integración de display (24 h).
 - 4.3. Desarrollo de tests de integración de joystick (24 h).
 - 4.4. Desarrollo de tests de integración de motores (24 h).
 - 4.5. Desarrollo de tests de integración de producto (16 h)
 - 4.6. Tests funcional de interfaz (8 h)
 - 4.7. Tests funcional del producto final (16 h)
- 5. Ensamblado del hardware (72 h)
 - 5.1. Ensamblado del joystick (36 h).
 - 5.2. Ensamblado del robot (36 h).
- 6. Funcionalidades extras (actividad opcional) (72 h)
 - 6.1. POC comunicación inalámbrica (36 h).
 - 6.2. POC dispositivo de video cámara integrada (36 h).
- 7. Documentación (160 h)
 - 7.1. Escritura de manual de usuario (24 h).
 - 7.2. Escritura de memoria final (40 h).
 - 7.3. Escritura de informe de avance (12 h).
 - 7.4. Escritura de documentación de arquitectura técnica del sistema (24 h).
 - 7.5. Escritura de documentación técnica de diseño de software (24 h).
 - 7.6. Escritura de documentación técnica de diseño de hardware (24 h).
 - 7.7. Creación del video demostrativo de uso (12 h).

Cantidad total de horas: (800 h)

10. Diagrama de Activity On Node

A continuación se detalla la lista de actividades que se realizarán durante el proyecto. Los tiempos están expresados en días, y como se considera una dedicación de 5 horas diarias (incluyendo fines de semana).

Como se puede apreciar en la figura 2, el camino crítico está formado por las tareas: [1 - 3 - 4] y la duración mínima es de 74 días.

Id	Tarea	Duración	Dependencia	Predecesora
1	POC, experimentación y prototipado	168 h / 29 d	-	-
2	Set-up integración continua (opcional)	72 h / 15 d	-	-
3	Diseño y desarrollo de funcionalidades	120 h / 24 d	1	1
4	Testing	96 h / 19 d	3	3 , 6
5	Ensamblado del hardware	72 h / 15 d	-	-
6	Funcionalidades extras (opcional)	72 h / 15 d	-	-
7	Documentación	160 h / 32 d	-	-

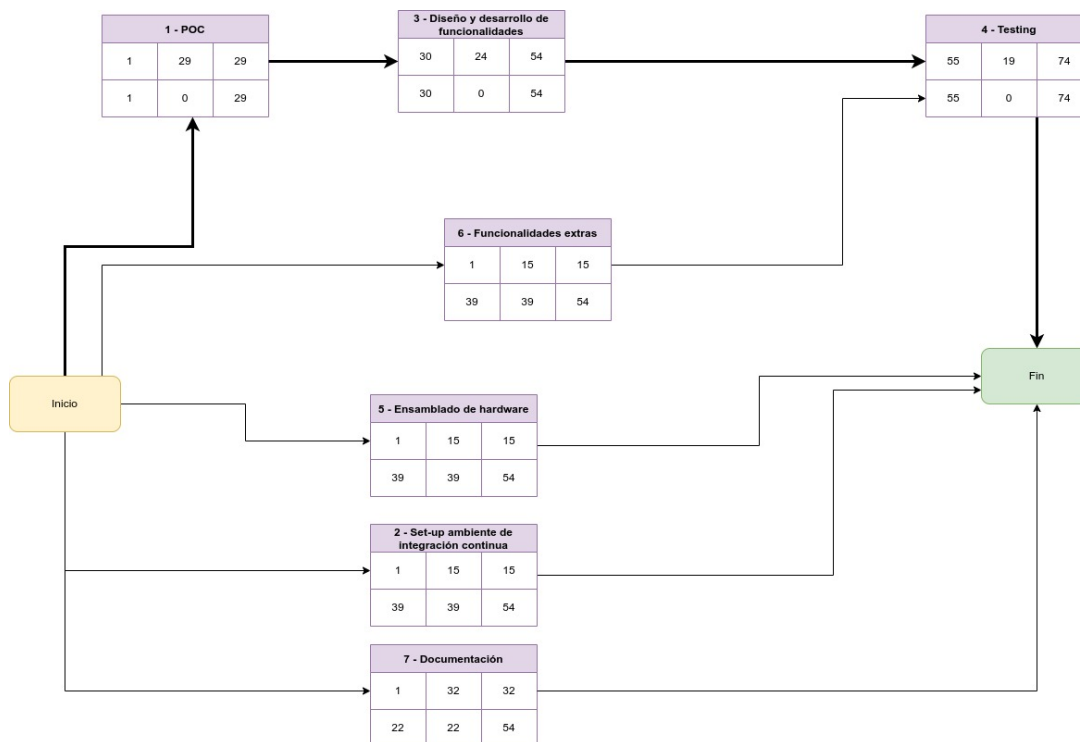


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

En la figura 3, se muestra un ejemplo de diagrama de Gantt realizado con el paquete de *GanttProject*.

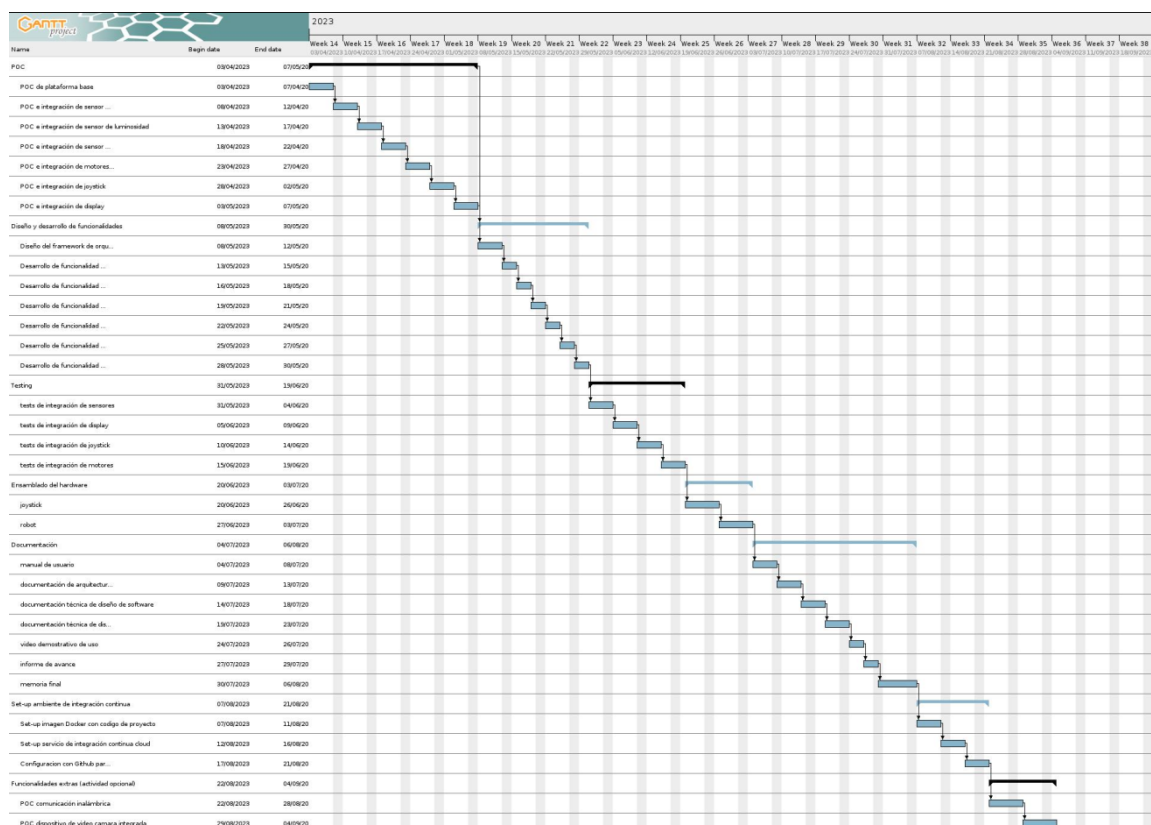


Figura 3. Diagrama de Gantt del proyecto.

12. Presupuesto detallado del proyecto

El siguiente cuadro presenta los costos en pesos estimados para el proyecto:

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
ESP32	1	\$5.000	\$5.000
Joystick analógico	1	\$415	\$415
Rueditas	4	\$480	\$1.920
Sensor BMP280	1	\$1.255	\$1.255
Sensor DHT22	1	\$2.300	\$2.300
Fotoresistor	1	\$1.220	\$1.220
Motores DC 3-6 V	4	\$990	\$3.960
Cables dupont macho-macho	1	\$960	\$960
Cables dupont macho-hembra	1	\$960	\$960
Plaqueta de cobre para montar	1	\$1.250	\$1.250
TOTAL			\$19.240

13. Gestión de riesgos

Se han identificado los siguientes riesgos:

1. Riesgo de demora

- Severidad (S): 9 - Teniendo en cuenta que solo habrá un recurso desarrollando el proyecto, una demora en cualquier tarea puede implicar demora en la fecha de entrega.
- Ocurrencia (O): 3 - Dada la planificación y priorización de tareas, el riesgo de demora es bajo, pero no nulo.

2. Riesgo de no contar con toda la funcionalidad deseada

- Severidad (S): 9 - El no cumplimiento con la funcionalidad deseada pone en riesgo el éxito del proyecto.
- Ocurrencia (O): 1 - La probabilidad de no poder cumplir con la funcionalidad deseada es realmente bajo teniendo en cuenta que tanto el alumno como el director tienen experiencia en el desarrollo de integraciones similares y los materiales necesarios son de fácil obtención.

3. Riesgo de calidad insuficiente

- Severidad (S): 4 - La calidad insuficiente no pone en riesgo el cumplimiento con la funcionalidad pero si compromete la estabilidad y resistencia a fallas del producto, por lo que puede desencadenar en un producto poco o menos confiable.
- Ocurrencia (O): 4 - Se estima que con las técnicas empleadas durante el desarrollo del producto, este riesgo tiene una baja probabilidad de ocurrencia.

4. Riesgo de desvío en costos

- Severidad (S): 5 - La realización de este riesgo impacta en los costos del proyecto, pero no imposibilitan ni demora la entrega del mismo.
- Ocurrencia (O): 8 - Teniendo en cuenta que los precios son estimados en base a los productos que se logran identificar al momento de realizar el presente plan, es altamente posible que haya artículos adicionales que requieran ser comprados y/o que los costos finales difieran de los esperados. Además de lo antes mencionado, existe el factor inflación argentina como otro disparador de este riesgo.

5. Riesgo de indisponibilidad de recursos

- Severidad (S): 5 - Al momento de realizar el presente plan se identifican ciertos recursos y se asume que será posible disponer de ellos. No obstante, existe el riesgo de que esto no suceda así, y sea más difícil por ejemplo adquirir ciertos materiales, o haya recursos no directamente asociados al proyecto pero cuya ausencia lo afectan, como por ejemplo fallas en el acceso a internet, el mal funcionamiento de la computadora utilizada para su desarrollo, etc.
- Ocurrencia (O): 2 - Se espera que la probabilidad de ocurrencia de este riesgo sea realmente baja.

b) Tabla de gestión de riesgos: (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 15.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Riesgo de demora en la entrega	9	3	27	9	3	27
Riesgo de no contar con toda la funcionalidad deseada	9	2	18	7	2	14
Riesgo de calidad insuficiente	4	4	16	-	-	-
Riesgo de desvío en costos	5	8	40	5	3	15
Riesgo de indisponibilidad de recursos	5	2	10	-	-	-

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:

1. Riesgo de demora en la entrega: Las posibles causas del evento asociado están vinculadas a situaciones no controlables ni predecibles que impactan de alguna manera en la disponibilidad de tiempo o alguno de los recursos necesarios para la realización del proyecto. Por este motivo se considera que la única herramienta de mitigación disponible es o pedir una prórroga para la entrega, o aceptar el riesgo.
 - Nueva Severidad (S*): 9 - No cambia.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 3 - No cambia.
2. Riesgo de no contar con toda la funcionalidad deseada: Las posibles causas del evento asociado están vinculadas a situaciones que impactan de alguna manera en la viabilidad o desarrollo de alguna de las funcionalidades en el tiempo planificado. Por este motivo se considera como herramienta de mitigación sacrificar algún otro entregable, como por ejemplo la cobertura de testing (lo cual sacrifica calidad), o la documentación.
 - Nueva Severidad (S*): 7 - Dado que tras la mitigación se incrementa el impacto por pérdida de calidad.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 2 - Se reduce mucho la probabilidad de ocurrencia dado que se agrega tiempo para el desarrollo de funcionalidad eliminando el tiempo empeñado para el desarrollo de tests o documentación.
3. Riesgo de calidad insuficiente: Las posibles causas del evento asociado están vinculadas a la falta de estabilidad del producto. Para mitigar este problema se plantea incrementar las prácticas de testing y CI/CD (como actividad opcional) siempre que esto no dispare el riesgo 1 generando una demora en el proyecto.
 - Nueva Severidad (S*): 4 - No cambia.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 2 - Se reduce la probabilidad de que esto suceda.
4. Riesgo de desvío en costos: Las posibles causas del evento que dispara este riesgo son olvidar de estimar algún componente y la inflación. Para mitigar el segundo factor se plantean los precios en dólares americanos, dado que la inflación de los precios en dicha divisa sera inferior a los representados en pesos argentinos.
 - Nueva Severidad (S*): 5 - Esto no varía.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 3 - Se reduce mucho la probabilidad de ocurrencia dado que la inflación del USD es menor que la del peso.

14. Gestión de la calidad

A continuación se detalla cómo se realizará el control de calidad para cada uno de los requerimientos del producto:

1. Funciones de desplazamiento (hacia adelante, atrás, y radialmente en 360 grados)
 - 1.1. Verificación previo a la entrega: se verificará mediante la ejecución de tests de integración para esta funcionalidad.
 - 1.2. el cliente validará la funcionalidad en el producto final.
2. Operaciones de exploración (medición de humedad, temperatura, luminosidad y presión ambiental)
 - 2.1. Verificación previo a la entrega: se verificará mediante la ejecución de tests de integración para esta funcionalidad.
 - 2.2. el cliente verifica la funcionalidad en el producto final.
3. Control a distancia mediante joystick
 - 3.1. Verificación previo a la entrega: se verificará mediante la ejecución de tests de integración para esta funcionalidad.
 - 3.2. el cliente verifica la funcionalidad en el producto final.
4. Visualización/reporte de las operaciones de exploración
 - 4.1. Verificación previo a la entrega: se verificará mediante la ejecución de tests de integración para esta funcionalidad.
 - 4.2. el cliente verifica la funcionalidad en el producto final.
5. Documentación técnica, manual de usuario, informe de avance y memoria final
 - 5.1. Verificación previo a la entrega: se verificará mediante la revisión de los documentos.
 - 5.2. el cliente verificará los documentos.
6. Testing
 - 6.1. Verificación previo a la entrega: Se verificará el cumplimiento con los tests por funcionalidad previo la integración de cada componente en el prototipo final.
 - 6.2. El cliente validará el reporte de los tests de integración.
7. Requerimientos de la interfaz
 - 7.1. Verificación previo a la entrega: Se verificará el cumplimiento con los requerimientos de interfaz mediante un smoke test, además del test funcional final sobre el prototipo integrado.
 - 7.2. El cliente verificará el cumplimiento con la interfaz sobre el prototipo final.

8. Para los requerimientos adicionales (de interfaz, operaciones y comunicación)

8.1. Una vez realizada una prueba de concepto de su viabilidad, serán prototipados y se realizará el correspondiente test de integración. El cliente confirmará si la funcionalidad provista en la prueba de concepto se ajusta al requerimiento opcional. Si esto es así, se integrará al prototipo final y se verificará el funcionamiento.

8.2. El cliente verifica la funcionalidad como parte del prototipo final

15. Procesos de cierre

A continuación se detallan las pautas y actividades para realizar la reunión final de evaluación del proyecto:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Responsable: Ing. Gonzalo F. Carreño:
 - Se evaluarán los requerimientos y los objetivos alcanzados frente a los planteados en el plan
 - Se pondrá especial interés en verificar si se cumplieron los objetivos de tiempo y funcionalidad propuestos.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Responsable: Ing. Gonzalo F. Carreño:
 - Se evaluará cuál fue la configuración que mejores resultados arroja, para los objetivos planteados en el plan.
 - Se identificarán nuevas herramientas o procedimientos, en caso que corresponda.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores - Responsable: Ing. Gonzalo F. Carreño:
 - Luego de la presentación del proyecto mediante la defensa pública, se procederá a agradecer a todas las personas que participaron del desarrollo del proyecto, al director, a los compañeros y a las autoridades del CESE.