



Robot de exploración ambiental

Autor:

Ing. Gonzalo F. Carreño

Director:

Esp. Ing. Sergio Alberino (UTN.BA)

*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	5
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	10
10. Diagrama de Activity On Node.	11
11. Diagrama de Gantt	12
12. Presupuesto detallado del proyecto	14
13. Gestión de riesgos	14
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.	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
5	Se agregan correcciones finales	18 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 en la implementación 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 \$ 108 dólares estadounidenses y 721 horas de trabajo, con fecha de inicio 13 de marzo de 2023 y fecha de presentación pública estimada 20 de noviembre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Esp. Lic. Mariano Landini
FCE UBA - Cliente

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 desarrollar un dispositivo robótico de exploración ambiental controlable a distancia con las funciones básicas de desplazamiento, medición y reporte de parámetros ambientales (presión, temperatura, humedad y luminosidad).

Estado del arte: los robots exploradores son dispositivos robotizados capaces de moverse de forma autónoma, y/o controlados a distancia, que han sido creados con el fin de reconocer y explorar un lugar o entorno donde una persona no pueda o deba acceder ya sea por motivos de capacidad, practicidad o seguridad. Por este motivo, en función de las necesidades de desplazamiento, existen diferentes sistemas de motricidad, como son por ejemplo, los bípedos, cuadrúpedos, con ruedas, tracción oruga, acuáticos/sumergibles, aéreos, etc. En cuanto a la forma de control, hay manejados por control remoto cableado o inalámbrico, habiendo equipos más sofisticados que gracias a aplicaciones de Inteligencia Artificial están preparados para desplazarse y tomar decisiones de forma autónoma. Algunos de los tipos de robots exploradores más conocidos son los espaciales, de minas, de rescate en catástrofes, de tuberías, acuáticos y/o submarinos, y de suelos.

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

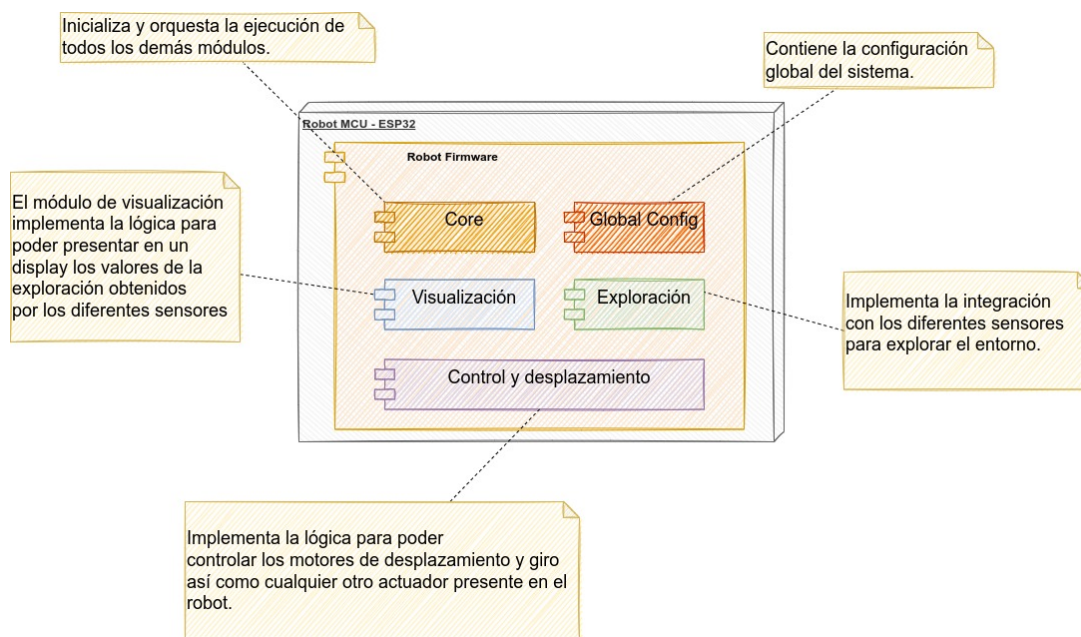


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

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	Esp. Lic. Mariano Landini	FCE UBA - Cliente	-
Responsable	Ing. Gonzalo F. Carreño	UTN.BA	Alumno
Orientador	Esp. Ing. Sergio Alberino	UTN.BA	Director Trabajo final

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un robot de exploración ambiental en el que se implementen distintas funcionalidades (detalladas más adelante en la sección Alcance del Proyecto). Su arquitectura podría ser extrapolada a otros casos de uso 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. Por otra parte, se pretende volcar en un desarrollo concreto y de aplicación industrial los conocimientos adquiridos durante la cursada de la la especialización de sistemas embebidos.

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. Además, tanto estos componentes de software como los open source de la comunidad de software libre utilizados durante el desarrollo del producto, 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 entre 3 y 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, guerras, 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 ambiental,
 - 2) medición de temperatura ambiental,
 - 3) medición de luminosidad ambiental,
 - 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,
 - 3.2. se debe incluir tests funcionales (smoke test) del producto general.
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 continuación se listan las historias de usuario. La ponderación de *story points* se realiza considerando 1 punto = 1 hora:

1. Desplazamiento
 - Detalle: Como explorador quiero que el robot pueda desplazarse por tierra con cuatro ruedas hacia adelante, atrás y girar 360 grados en ambas direcciones.
 - Esfuerzo: 110 puntos
 - Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.
2. Reporte de lecturas
 - Detalle: Como explorador quiero ver las lecturas de exploración en un display desde el joystick, indicando las magnitudes y unidades usadas para saber lo que el robot está midiendo.
 - Esfuerzo: 116 puntos
 - Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.
3. Operaciones de exploración - presión ambiental

- Detalle: Como explorador quiero que el robot pueda medir la presión ambiental para que sea de utilidad en la aplicaciones de minería y excavación.
- Esfuerzo: 100 puntos
- Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.

4. Operaciones de exploración - temperatura y humedad ambiental

- Detalle: 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.
- Esfuerzo: 100 puntos
- Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.

5. Operaciones de exploración - luminosidad ambiental

- Detalle: Como explorador quiero que el robot pueda medir luminosidad ambiental para poder usarlo en aplicaciones de exploración submarina.
- Esfuerzo: 100 puntos
- Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.

6. Control del robot

- Detalle: Como explorador quiero un joystick para poder controlar los movimientos del robot.
- Esfuerzo: 110 puntos
- Criterio de aceptación: funcionalidad verificada (incluyendo prototipado, integración y ensamblado), tests y documentación.

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. Gestión del proyecto (45 hs)
 - 1.1. Definición de alcance, funcionalidades e historias de usuario (3 hs).
 - 1.2. Armado del plan de actividades y tareas (3 hs).
 - 1.3. Reconocimiento de riesgos (3 hs).
 - 1.4. Definición de proceso de calidad (2 hs).
 - 1.5. Confección de documentación de planificación de proyecto (10 hs).
 - 1.6. Seguimiento y control de hitos, desvíos y riesgos(24 hs).
2. Adquisición de materiales (16 hs)
 - 2.1. Análisis y selección de materiales y proveedores (8 hs).
 - 2.2. Compra de materiales (8 hs).
3. Investigación y prototipado (112 hs)
 - 3.1. Prototipo de plataforma base (16 hs).
 - 3.2. Prototipo de integración de sensor de temperatura y humedad en plataforma base (16 hs).
 - 3.3. Prototipo de integración de sensor de luminosidad en plataforma base (16 hs).
 - 3.4. Prototipo de integración de sensor de presión ambiental en plataforma base (16 hs).
 - 3.5. Prototipo de integración de motores en plataforma base (16 hs).
 - 3.6. Prototipo de integración de joystick en plataforma base (16 hs).
 - 3.7. Prototipo de integración de display en plataforma base (16 hs).
4. Set-up ambiente de integración continua (actividad opcional) (44 hs)
 - 4.1. Set-up imagen Docker con código de proyecto (24 hs).
 - 4.2. Set-up servicio de integración continua cloud (12 hs).
 - 4.3. Configuración con Github para tomar los commits y ejecución de builds (8 hs).
5. Diseño y desarrollo de funcionalidades (120 hs)
 - 5.1. Diseño del framework de orquestación de componentes (24 hs).
 - 5.2. Desarrollo de funcionalidad de medición de temperatura y humedad (16 hs).
 - 5.3. Desarrollo de funcionalidad de medición de presión ambiental (16 hs).
 - 5.4. Desarrollo de funcionalidad de medición de luminosidad (16 hs).
 - 5.5. Desarrollo de funcionalidad de desplazamiento (16 hs).
 - 5.6. Desarrollo de funcionalidad de lectura de comandos en el joystick analógico (16 hs).
 - 5.7. Desarrollo de funcionalidad de escritura y formato de valores en el display (16 hs).
6. Testing (92 hs)
 - 6.1. Desarrollo de tests de integración de sensores (12 hs).

- 6.2. Desarrollo de tests de integración de display (12 hs).
- 6.3. Desarrollo de tests de integración de joystick (12 hs).
- 6.4. Desarrollo de tests de integración de motores (12 hs).
- 6.5. Desarrollo de tests de integración de producto (12 hs).
- 6.6. Tests funcional de interfaz (8 hs).
- 6.7. Test de regresión (8 hs)
- 6.8. Tests funcional del producto final (16 hs).
- 7. Ensamblado del hardware (60 hs)
 - 7.1. Ensamblado del joystick (24 hs).
 - 7.2. Ensamblado del robot (36 hs).
- 8. Funcionalidades extras (actividad opcional) (72 hs)
 - 8.1. Prototipo de comunicación inalámbrica (36 hs).
 - 8.2. Prototipo de visión por cámara integrada (36 hs).
- 9. Documentación (160 hs)
 - 9.1. Escritura de manual de usuario (24 hs).
 - 9.2. Escritura de memoria final (40 hs).
 - 9.3. Escritura de informe de avance (12 hs).
 - 9.4. Escritura de documentación de arquitectura técnica del sistema (24 hs).
 - 9.5. Escritura de documentación técnica de diseño de software (24 hs).
 - 9.6. Escritura de documentación técnica de diseño de hardware (24 hs).
 - 9.7. Creación del video demostrativo de uso (12 hs).

Cantidad total de horas: (721 hs)

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 4 horas diarias (incluyendo fines de semana).

Id	Tarea	Duración	Dependencia	Predecesora
1	Gestión del proyecto	45 h / 12 d	-	-
2	Adquisición de materiales	16 h / 4 d	-	-
3	Investigación y prototipado	112 h / 28 d	-	-
4	Set-up integración continua (opcional)	44 h / 11 d	-	-
5	Diseño y desarrollo de funcionalidades	120 h / 30 d	-	3 , 2
6	Testing	92 h / 23 d	-	5 , 8
7	Ensamblado del hardware	60 h / 15 d	-	-
8	Funcionalidades extras (opcional)	72 h / 18 d	-	-
9	Documentación	160 h / 40 d	-	-

Como se puede apreciar en la figura 2, el camino crítico está formado por las tareas: [3 - 5 - 6] y la duración mínima es de 81 días.

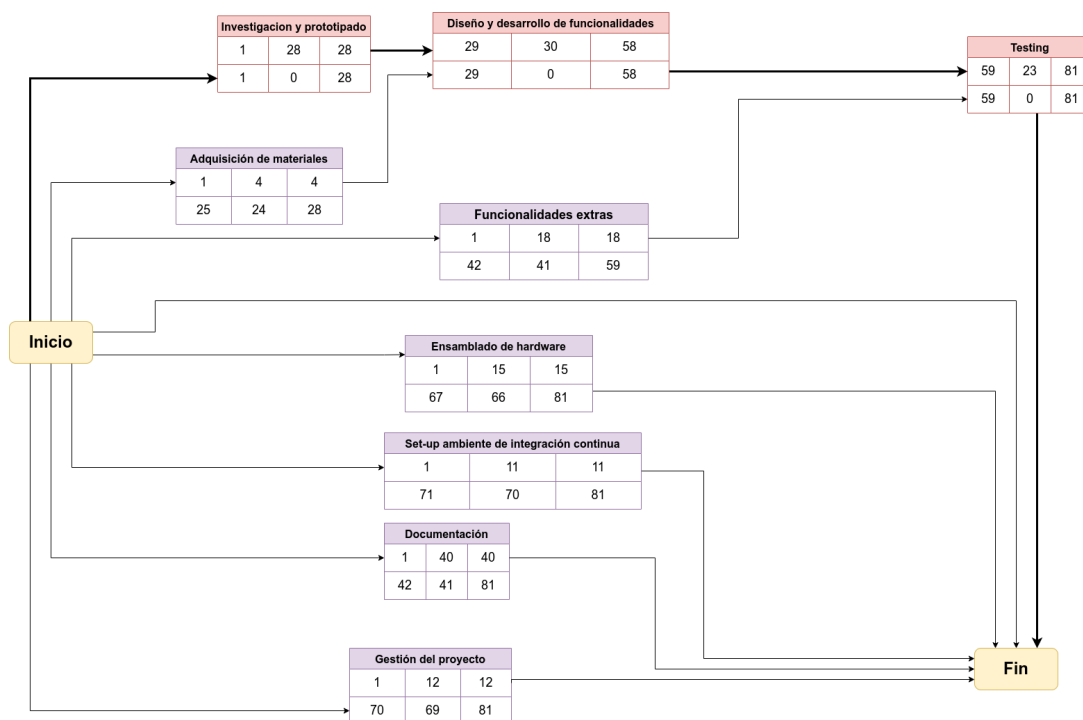


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

En las siguientes figuras se presenta el diagrama de Gantt realizado con el paquete de *GanttProject* conteniendo el plan de actividades del proyecto. En la figura 3 se puede apreciar el plan general a alto nivel mientras que en las figuras 4 y 5, se muestran los detalles de las tareas.

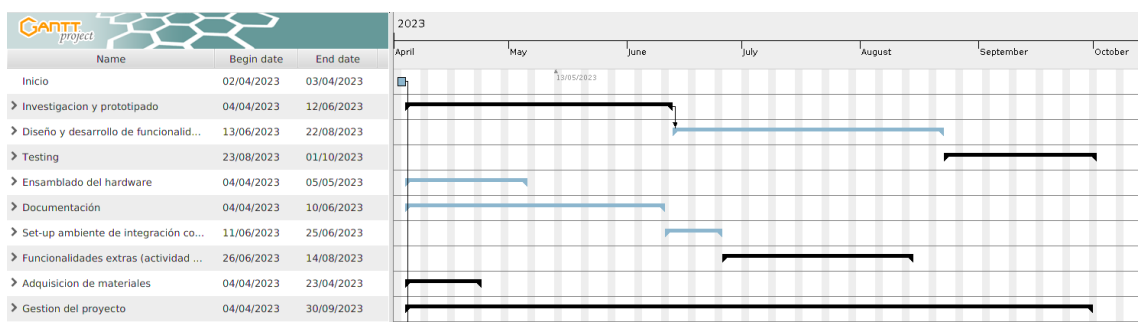


Figura 3. Diagrama de Gantt general a alto nivel.

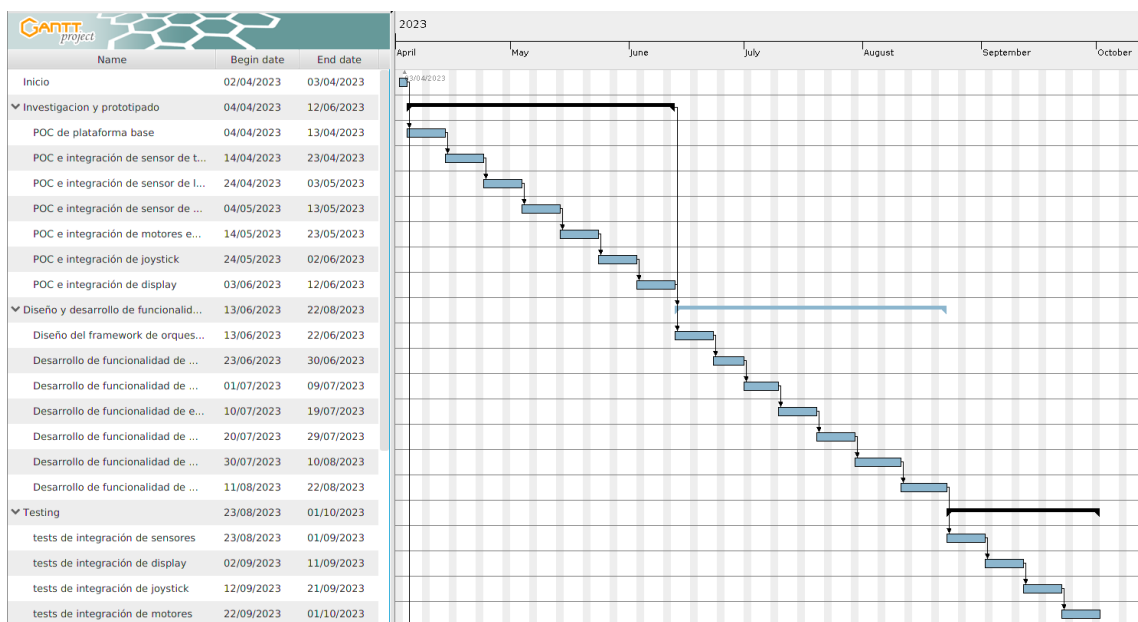


Figura 4. Diagrama de Gantt - detalles de tareas (parte 1).

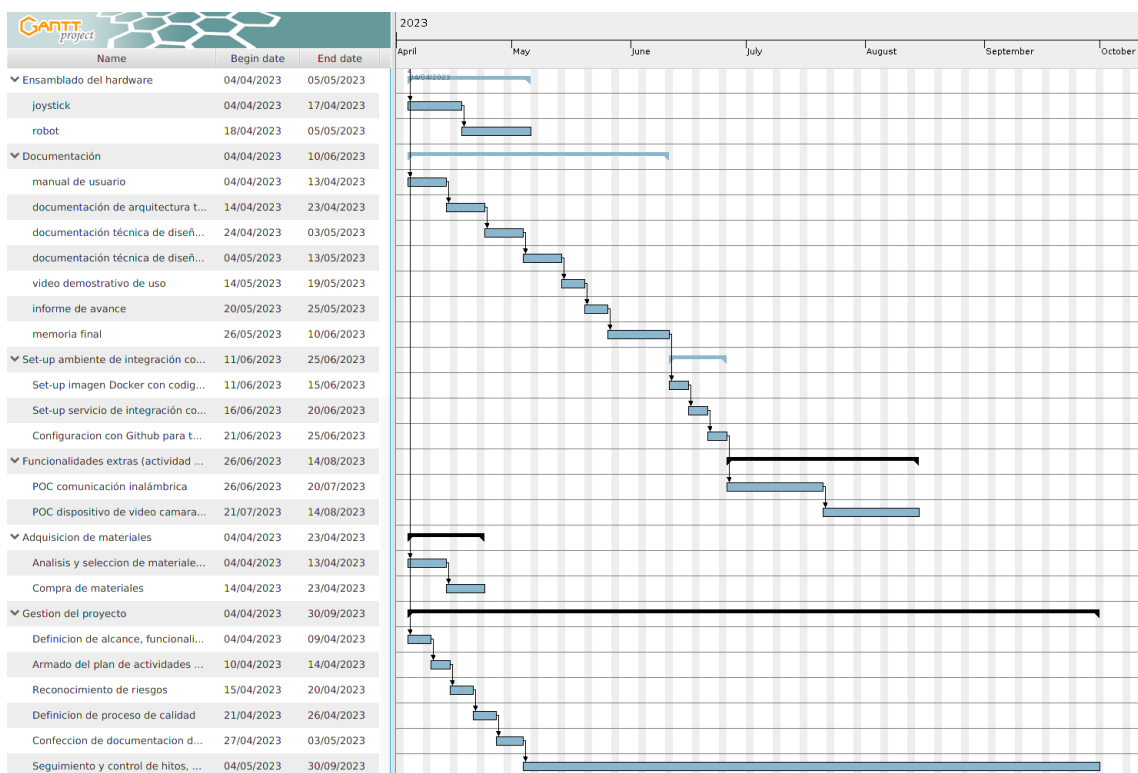


Figura 5. Diagrama de Gantt - detalles de tareas (parte 2)

12. Presupuesto detallado del proyecto

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

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
ESP32	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Joystick analógico	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Kit de 4 motores DC 3-6 V con rueditas	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Sensor BMP280	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Sensor DHT11	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Fotoresistor	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Cables dupont macho-macho	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Cables dupont macho-hembra	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Plaqueta de cobre para montar	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Varios / Imprevistos	1	\$ 30,00	\$ 30,00
TOTAL			\$ 108,00

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de riesgos:

1. Riesgo de demora

- Severidad (S): 9 - Teniendo en cuenta que solo habrá un recurso (el alumno) asignado al proyecto desarrollando el producto, 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): 2 - 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 ocurrencia de este riesgo impacta en los costos del proyecto, pero no imposibilita ni demora la entrega del producto.
- 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 hayan 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 $RPN=S \times O$)

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Riesgo de demora en la entrega	9	3	27	9	1	9
Riesgo de no contar con toda la funcionalidad deseada	9	2	18	7	2	14
Riesgo de calidad insuficiente	4	4	16	4	2	8
Riesgo de desvío en costos	5	8	40	5	3	15
Riesgo de indisponibilidad de recursos	5	2	10	-	-	-

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 15.

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. Con el fin de cumplir con la entrega de la funcionalidad en la fecha acordada se consideran como posibles acciones de mitigación la eliminación (o no realización) de otras tareas dentro del plan, como por ejemplo, tareas de documentación, de ensamblado de hardware, de testing, y de ser necesario, de desarrollo de funcionalidad. Se asume que la eliminación de estas tareas ponen en riesgo la calidad del producto y/o contar con toda la funcionalidad esperada.
 - Nueva Severidad (S*): 9 - No cambia.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 1.
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 y/o documentación, lo cual puede implicar sacrificar calidad, mantenibilidad y/o usabilidad respectivamente.

- 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 y/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, el cual podría generar 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 estimar algún componente y el impacto de la inflación en Argentina. Para mitigar el primer factor se agrega el ítem *Varios / Imprevistos* a la tabla de materiales con el fin de proveer holgura en el caso de no contemplar algún componente adicional. Para mitigar el factor inflación se plantean los precios en dólares americanos.
- Nueva Severidad (S*): 5 - Esto no varía.
 - Nueva Ocurrencia (O*): 3 - Se reduce mucho la probabilidad de ocurrencia dado que la inflación del dólar estadounidense es menor que la del peso argentino.

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. Validación: 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. Validación: el cliente validará 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. Validación: el cliente validará 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. Validación: el cliente validará 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. Validación: el cliente validará 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. Validación: 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. Validación: el cliente validará el cumplimiento con la interfaz sobre el producto final.
- 8. Para los requerimientos adicionales (de interfaz, operaciones y comunicación)
 - 8.1. Verificación previo a la entrega: una vez realizada la prueba de concepto y determinada la viabilidad, el cliente confirmará si la funcionalidad provista se ajusta al requerimiento opcional. Si esto es así esta funcionalidad será prototipada, se desarrollarán sus tests de integración, se integrará al producto y verificará el resultado de los tests por regresión, así como el correcto funcionamiento del producto final.
 - 8.2. Validación: el cliente validará la funcionalidad como parte del producto 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 arrojó 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 de la CESE.