



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

Sistema de control para un robot tetrápodo

Autor:

Ing. Pablo Daniel Folino

Director:

Ing. Juan Carlos Gómez (INTI,UTN.BA)

Codirector:

()

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 21 de junio de 2021 y el 20 de agosto de 2021.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	6
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	7
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Requerimientos	8
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	9
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	12
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	21 de junio de 2021
1	Se completa hasta el punto 2 inclusive	25 de junio de 2021
2	Se completa hasta el punto 7 inclusive	02 de julio de 2021
3	Se completa hasta el punto 10 inclusive	06 de julio de 2021

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 21 de junio de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Pablo Daniel Folino que su Trabajo Final de la Maestría en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de control para un robot tetrápodo”, consistirá esencialmente en la implementación de un prototipo de un sistema de control de movimientos para un robot tetrápodo de tres grados de libertad en cada extremo, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$XXX, con fecha de inicio 21 de junio de 2021 y fecha de presentación pública 22 de agosto de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ing. Claudio Verrastro
UTN-FRBA-GIAR

Ing. Juan Carlos Gómez
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El objetivo es diseñar el hardware y firmware para controlar los movimientos de un robot tetrapodo de tres grados de libertad por cada extremo. El cerebro del sistema será una placa EDU-CIAA-NPX, que recibirá la información de los distintos sensores y controlará los actuadores. La placa recibirá información de comunicación por un módulo WIFI (del tipo ESP8266).

En las articulaciones se utilizarán servomotores controlados por modulación de ancho de pulso(PWM-*Pulse-width modulation*).

El sistema (hardware-software) tiene que ser robusto para que permita realizar las distintas pruebas a las que se va a someter.

Uno de los principales problemas de los robots caminantes es su estabilidad, para ello se utilizará un módulo acelerómetro. Otro de los problemas es el consumo de los servomotores, por lo que el sistema medirá la corriente de cada articulación.

La generación y control de la locomoción en robots caminantes requiere de un esfuerzo computacional alto, tanto en el diseño como en la implementación. Es necesario coordinar los movimientos y trayectorias de todas las articulaciones de las extremidades del robot; lo cual resulta especialmente complicado cuando el número de extremidades aumenta, para ello se aplicarán algoritmos de Aprendizaje por Refuerzo (AR).

Antes de realizar la construcción física del prototipo se procederá a la simulación en un equipo informático, para tratar de evitar posibles problemas tanto en la construcción, como en el algoritmo de control empleado. El robot estará diseñado para moverse en espacios interiores (*indoor*), en condiciones de temperaturas estándares entre 5 °C y 40 °C, y humedad relativa normales(entre 40 % y 70 %). También se minimizará la cantidad de piezas par que el sistema sea de bajo costo.

El formato del robot será aproximadamente como lo muestra la Figura 1.

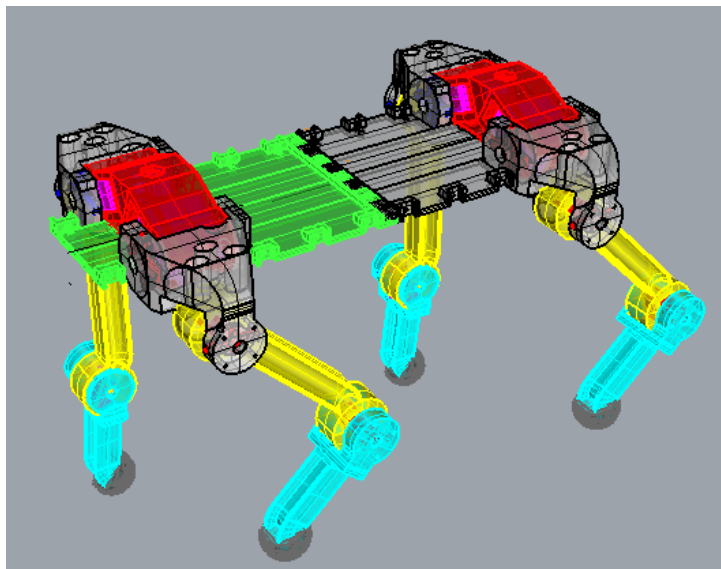


Figura 1. Formato del robot propuesto.

En la Figura 2 se observan las relaciones entre los distintos componentes del sistema.

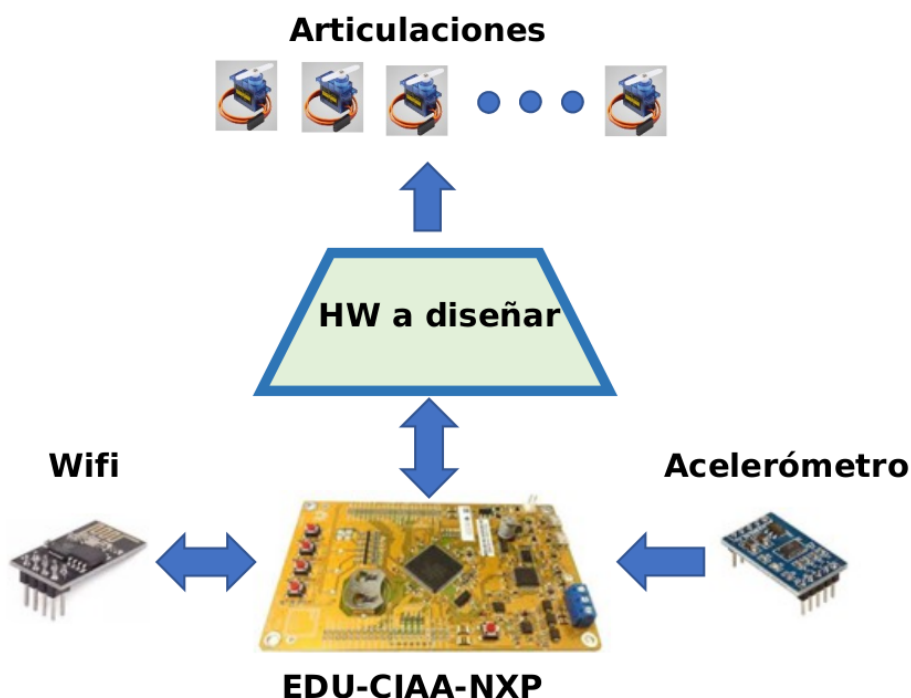


Figura 2. Módulos de hardware del robot propuesto.

2. Identificación y análisis de los interesados

En esta plataforma se aplicarán algoritmos de Aprendizaje por Refuerzo (AR), se utilizara para formar recursos humanos dentro del Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica (GIAR). Una vez afianzada la técnica, se realizará la transferencia de lo aprendido a los distintos clientes que posee el grupo de investigación, como materias afines de las distintas carreras de grado de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Buenos Aires.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Claudio Verrastro	UTN-FRBA-GIAR	-
Impulsor	Lic. Patricia CIBEIRAT	UTN-FRBA-GIAR	Secretario de SeCyT
Responsable	Ing. Pablo Daniel Folino	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Miembros del GIAR	UTN-FRBA	-
Orientador	Ing. Juan Carlos Gómez	INTI,UTN.BA	Director trabajo final
Opositores	Otros Grupos Invest.	UTN-FRBA	-
Usuario final	Alumnos de materia -IA	UTN-FRBA-GIAR	-

- Orientador: Ing. Juan Carlos Gómez, posee mucha experiencia en el tema debido a su trabajo, y formación profesional, pero no posee mucho tiempo.
- Cliente: posee muchas restricciones con respecto a los costos.

3. Propósito del proyecto

El propósito del proyecto es diseñar el hardware y el firmware de un controlador de movimientos para un robot tetrápodo de tres grados de libertad en cada extremo, y aplicar los conocimientos en materias de inteligencia artificial dictadas en la UTN-FRBA.

4. Alcance del proyecto

El objetivo del proyecto comprende:

- Diseñar y armar el prototipo del hardware del robot tetrápodo.
- Diseñar e implementar en la placa EDU-CIAA-NXP el software embebido de A.R.
- Diseñar comandos para cambiar el modo de funcionamiento desde línea de comandos, desde una PC.
- Realizar el proyecto dentro del tiempo destinado al mismo.

El proyecto no incluye:

- Realizar pruebas de estructuras de hardware, para saber la vida útil del sistema.
- Diseñar una interface gráfica amigable para cambiar los distintos modos de funcionamiento.
- Diseñar y/o armar el cargador de baterías.
- El diseño del módulo de alimentación se lo dejará para un estado posterior a este proyecto, como así también las pruebas de autonomía. El objetivo del proyecto comprende:
 - Diseñar y armar el prototipo del hardware del robot, tipo triciclo.
 - Diseñar e implementar en la placa EDU-CIAA-NXP el software embebido de A.R.
 - Diseñar comandos para cambiar el modo de funcionamiento desde línea de comandos, desde una PC.
 - Realizar el proyecto dentro del tiempo destinado al mismo.

El proyecto no incluye:

- Realizar pruebas de estructuras de hardware, para saber la vida útil del sistema.
- Diseñar una interface gráfica amigable para cambiar los distintos modos de funcionamiento.
- Diseñar y/o armar el cargador de baterías.
- Carcasa, ni gabinete para el robot.

5. Supuestos del proyecto

Se supone para el siguiente proyecto que:

- se posee el presupuesto para comprar todo lo relacionado con el hardware necesario para construir el robot.
- se contará con acceso a todo el equipamiento para la construcción y testeo de los distintos elementos electrónicos.
- la complejidad de la programación se restringirá en función de las horas de trabajo propuestas para hacer este proyecto.
- se podrá conseguir los distintos elementos electrónicos en este contexto de pandemia.

6. Requerimientos

1. Requerimientos de funcionamiento general

- 1.1. El robot debe alimentarse mediante un sistema que le permita tener la posibilidad de desplazarse sin problemas.
- 1.2. Se debe comunicar en forma inalámbrica y mediante el puerto USB de la placa EDU-CIAA-NXP.
- 1.3. El robot debe ser lo suficiente ligero para que los servomotores puedan mover las articulaciones .

2. Grupo de requerimientos asociados con el hardware

- 2.1. El hardware debe ser fácilmente replicable utilizando una impresora 3D.
- 2.2. Debe poseer la menor cantidad de piezas posibles, no mayor a cuarenta.
- 2.3. El cuerpo del robot debe albergar todo el hardware (motores, placa EDU-CIAA, drivers de motores, , etc.) necesario para el funcionamiento normal.
- 2.4. Debe poseer un botón de parada de emergencia de fácil acceso, para interrumpir el funcionamiento del robot en caso de urgencia.

3. Grupo de requerimientos asociados con el software

- 3.1. Se programará usando Lenguaje C, utilizando el modelo de capas y las sAPI del proyecto CIAA.
- 3.2. La herramienta de programación en Lenguaje C deberá poseer un modo DEBUG.
- 3.3. El uso de memoria no debe exceder a la placa EDU-CIAA-NXP.

4. Requerimientos no funcionales

- 4.1. La estructura del robot no debe tener bordes filosos ni punzantes, que puedan ocasionar lesiones.
- 4.2. La velocidad que desarrolla el robot debe ser inferior a 1 m/seg.

5. Requerimientos documentación

- 5.1. Redactar el manual de uso.
- 5.2. Redactar un documento en donde se registre el código fuente.
- 5.3. Redactar un documento técnico que figuren los circuitos esquemáticos, y el armado de la plataforma.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Criterio: a mayor valor de prioridad, la historia de usuario es más importante. Para el grado de ponderación se toma el criterio horas-hombre (valor de esfuerzo) que supone la implementación de la historia de usuario.

- Historia de usuario 1: Como docente quiero que el robot se pueda conectar a una red local, para poder controlarlo desde una posición remota.
 - Prioridad : 1
 - Ponderación : 5
- Historia de usuario 2: Como alumno quiero poder cambiar los distintos algoritmos de control, para poder sintonizar los movimientos de la plataforma móvil.
 - Prioridad : 2
 - Ponderación : 5
- Historia de usuario 3: Como alumno quiero tener una aplicación gráfica en un dispositivo móvil, para poder manejar los movimientos del robot mediante *wifi* o el puerto USB.
 - Prioridad : 3
 - Ponderación : 7
- Historia de usuario 4: Como ayudante de laboratorio encargado del robot quiero que se pueda reparar rápidamente, para no perder tiempo.
 - Prioridad : 4
 - Ponderación : 3
- Historia de usuario 5: Como docente quiero tener la posibilidad de contar con una fuente de energía a baterías para poder usar el robot en cualquier ambiente.
 - Prioridad : 5
 - Ponderación : 1

8. Entregables principales del proyecto

Al final del proyecto se entregará:

- Prototipo del robot.
- Manual de uso.
- Diagrama esquemático.
- Código fuente.
- Diagrama de instalación.
- Informe final..

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación de tareas. (40 hs)
 - 1.1. Generación del documento de planificación del proyecto. (30 hs)
 - 1.2. Aprobación y revisión del documento de planificación del proyecto. (10 hs)
2. Investigación preliminar del hardware a utilizar. (38 hs)
 - 2.1. Fabricación del robot. (20 hs)
 - 2.2. Placas electrónicas(placa principal, microcontrolador, drivers, etc). (10 hs)
 - 2.3. Características de los motores. (4 hs)
 - 2.4. Características de las fuente de alimentación. (4 hs)
3. Selección y compra de los materiales del hardware. (8 hs)
 - 3.1. Selección de los componentes. (5 hs)
 - 3.2. Compra y adquisición.(3 hs)
4. Armado y verificación de la estructura del robot. (43 hs)
 - 4.1. Construcción de las piezas. (30 hs)
 - 4.2. Ensamblaje de piezas. (3 hs)
 - 4.3. Verificación de la estructura. (10 hs)
5. Armado y verificación de la electrónica del robot. (10 hs)
 - 5.1. Armado de la placa adaptadora entre EDU-CIAA y los distintos módulos. (5 hs)
 - 5.2. Cableado del robot. (2 hs)
 - 5.3. Verificación de la electrónica. (3 hs)

6. Integración del hardware. (6 hs)
7. Desarrollo del software (189hs)
 - 7.1. Módulo PWM. (25 hs)
 - 7.2. Módulo WIFI y protocolo de comunicaciones. (44 hs)
 - 7.3. Módulo acelerómetro. (25 hs)
 - 7.4. Módulo de aprendizaje por refuerzo. (40 hs)
 - 7.5. Módulo manual. (25 hs)
 - 7.6. Integración de los distintos módulos. (30 hs)
8. Verificación del software(*Testing*). (75 hs)
 - 8.1. Diseño de pruebas de ensayo de los distintos módulos. (25 hs)
 - 8.2. Diseño de las distintas pruebas de navegación. (30 hs)
 - 8.3. Comparación de las distintas estrategias de navegación. (20 hs)
9. Validación del sistema completo. (40 hs)
 - 9.1. Ensayos de verificación del cliente en forma parcial. (20 hs)
 - 9.2. Ensayos de validación final. (20 hs)
10. Presentación del trabajo. (151 hs)
 - 10.1. Redacción de informes de avance. (10 hs)
 - 10.2. Redacción de manual de uso. (20 hs)
 - 10.3. Elaboración de circuitos esquemáticos. (20 hs)
 - 10.4. Redacción de memoria del proyecto. (80 hs)
 - 10.5. Preparación de la presentación pública del trabajo final. (20 hs)
 - 10.6. Presentación pública del trabajo final. (1 h)

Cantidad total de horas: (600 hs)

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 3, se observa el camino crítico en color rojo. La unidad de tiempo definida en cada tarea es en hora.

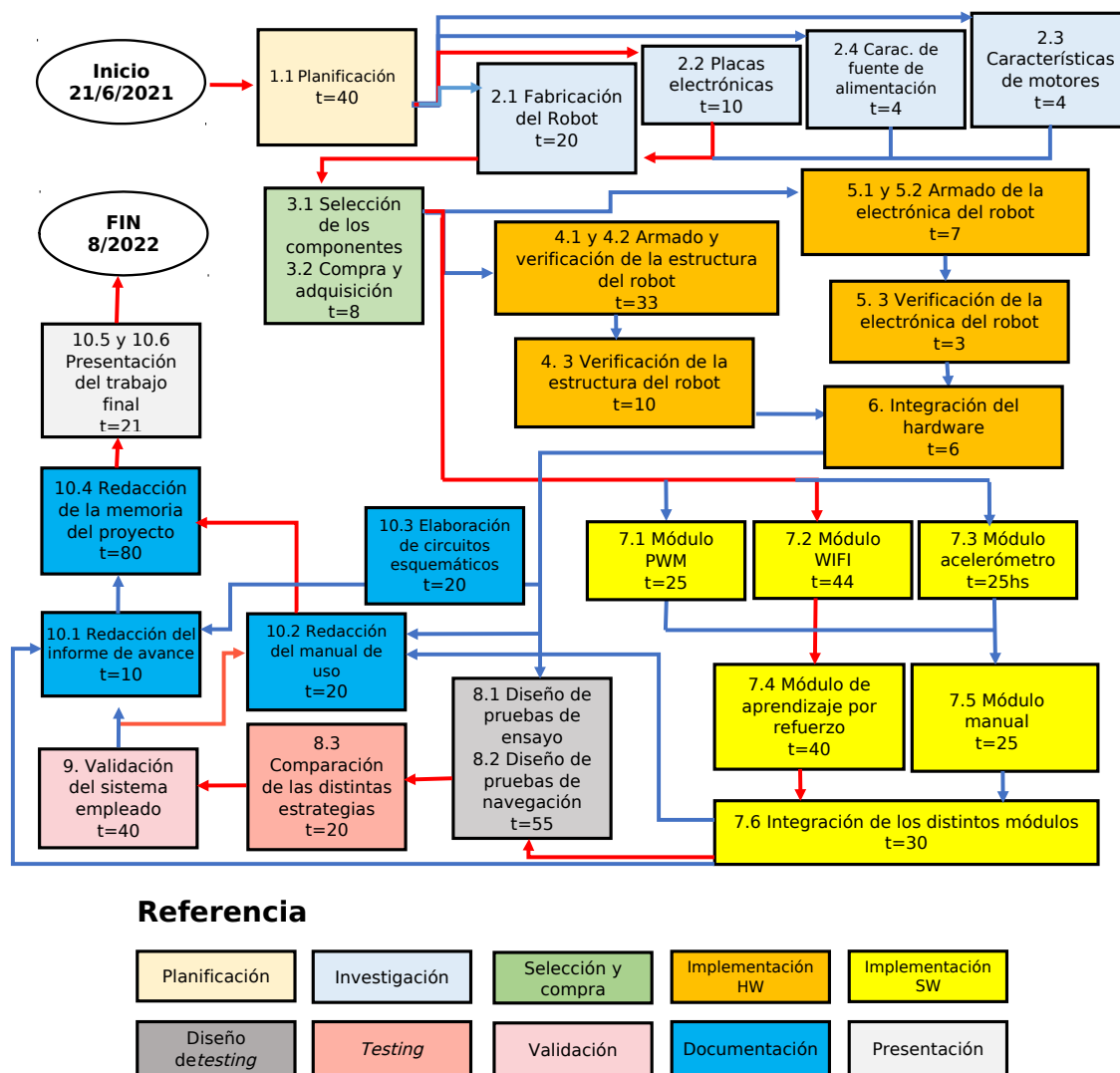


Figura 3. Diagrama de *Activity on Node*

11. Diagrama de Gantt

Los datos de la tabla 1 y de la figura 4 se obtuvieron de un software de gestión de proyectos teniendo en cuenta los días no laborables (feriados y vacaciones), y con una dedicación semanal de 10 horas reloj.

Tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Anterior
1	Inicio	0 días	21/06/21	21/06/21	
2	1. Planificación de tareas	20 días	21/06/21	28/06/21	
3	1.1 Generación de documento	30 horas	21/06/21	25/06/21	1
4	1.2 Aprobación y revisión	10 horas	25/06/21	28/06/21	3
5	2. Investigación preliminar del hardware	10 días	19/07/21	04/08/21	
6	2.1 Fabricación del Robot	20 horas	19/07/21	04/08/21	4,9,8,7
7	2.2 Placas electrónicas	10 horas	02/08/21	03/08/21	4
8	2.3 Características de motores	4 horas	03/08/21	jue 03/08/21	7
9	2.4 Características de baterías	4 horas	03/08/21	04/08/21	8
10	3. Selección y compra de los materiales	9,5 días	20/08/21	24/08/21	
11	3.1 Selección de los componentes	5 horas	vie 7/8/20	mar 11/8/20	
12	3.2 Compra y adquisición	3 horas	mar 11/8/20	mié 12/8/20	
13	textbf4. Armado y verificación de la estructura del robot	14 días	jue 13/8/20	mié 2/9/20	
14	4.1 Construcción de las piezas	15 horas	jue 13/8/20	mar 25/8/20	
15	4.2 Ensamblaje de las piezas	3 horas	mar 25/8/20	mié 26/8/20	
16	4.3 Verificación de la estructura	10 horas	jue 27/8/20	mié 2/9/20	
17	5. Armado y verificación de la electrónica del robot	5 días	jue 3/9/20	mié 9/9/20	
18	5.1 Armado de la EDU-CIAA	5 horas	jue 3/9/20	lun 7/9/20	
19	5.2 Cableado del robot	2 horas	lun 7/9/20	mar 8/9/20	
20	5.3 Verificación de la electrónica	3 horas	mar 8/9/20	mié 9/9/20	
21	6. Integración del hardware	2 horas	jue 10/9/20	jue 10/9/20	
22	7. Desarrollo del software	87,5 días	vie 11/9/20	jue 21/1/21	
23	7.1 Módulo PWM	25 horas	vie 11/9/20	mar 29/9/20	
24	7.2 Módulo WIFI	40 horas	vie 11/9/20	jue 8/10/20	
25	7.4 Módulo acelerómetro	25 horas	vie 9/10/20	mié 28/10/20	
26	7.6 Módulo de aprendizaje por refuerzo	40 horas	jue 26/11/20	mar 29/12/20	
27	7.7 Módulo manual	25 horas	lun 9/11/20	jue 26/11/20	
28	7.8 Integración de los distintos módulos	30 horas	mar 29/12/20	jue 21/1/21	
29	8. Verificación del software	37,5 días	jue 21/1/21	lun 15/3/21	
30	8.1 Diseño de pruebas de ensayo	25 horas	jue 21/1/21	lun 8/2/21	
31	8.2 Diseño de pruebas de navegación	30 horas	mar 9/2/21	lun 1/3/21	
32	8.3 Comparación de las distintas estrategias.	20 horas	mar 2/3/21	lun 15/3/21	
33	textbf9. Validación del sistema empleado	20 días	mar 16/3/21	mié 14/4/21	
34	9.1 Ensayos de verificación del cliente parcial	20 horas	mar 16/3/21	mar 30/3/21	
35	9.2 Ensayos de validación final	20 horas	mié 31/3/21	mié 14/4/21	
36	10. Presentación del trabajo final	75,5 días	jue 15/4/21	lun 2/8/21	
37	10.1 Redacción del informe de avance	10 horas	jue 15/4/21	mié 21/4/21	
38	10.2 Redacción del manual de uso	20 horas	jue 22/4/21	mié 5/5/21	
39	10.3 Elaboración de los circuitos esquemáticos	20 horas	jue 6/5/21	mié 19/5/21	
40	10.4 Redacción de la memoria del proyecto	80 horas	jue 20/5/21	vie 16/7/21	
41	10.5 Preparación de la presentación pública	20 horas	lun 19/7/21	vie 30/7/21	
42	10.6 Presentación pública	1 hora	lun 2/8/21	lun 2/8/21	
43	FIN	0 días	lun 2/8/21	lun 2/8/21	

Cuadro 1. Inicio y fin de cada tarea

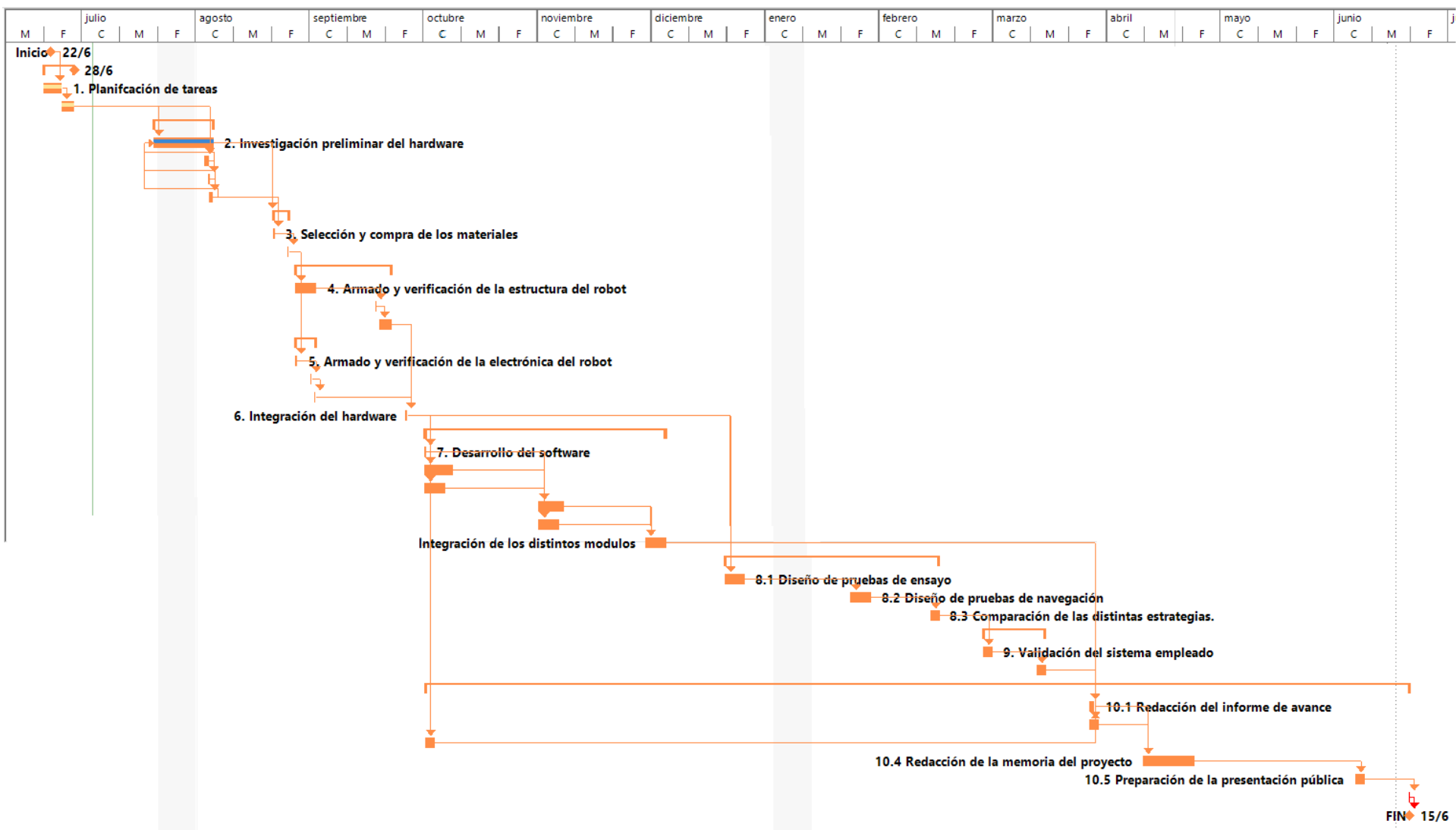


Figura 4. Diagrama de *Gantt*

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**.

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):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):

■ Ocurrencia (O):

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

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
 - 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, y 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.