



Plataforma de navegación autónoma para una silla de ruedas mediante algoritmo de SLAM

Autor

Ing. Alfredo Gabriel Rivamar

Director del trabajo

Dr. Ing. Ariel Pola (Fundación Fulgor)

Jurado propuesto para el trabajo

- **Esp. Ing. Facundo Larosa (FIUBA)**
- **Esp. Ing. Nicolás Dassieu Blanchet (FIUBA)**
- **Esp. Ing. Nicolás Álvarez (FIUBA)**

Este plan de trabajo ha sido realizado en el marco de la asignatura Gestión de Proyectos entre octubre y noviembre de 2018.

Tabla de contenido

Registros de cambios	3
Acta de Constitución del Proyecto	4
Descripción técnica-conceptual del Proyecto a realizar	6
Identificación y análisis de los interesados	8
1. Propósito del proyecto	9
2. Alcance del proyecto	9
3. Supuestos del proyecto	9
4. Requerimientos	9
6. Desglose del trabajo en tareas	11
7. Diagrama de Activity On Node	13
8. Diagrama de Gantt	16
9. Matriz de uso de recursos de materiales	18
10. Presupuesto detallado del proyecto	18
11. Matriz de asignación de responsabilidades	19
12. Gestión de riesgos	20
13. Gestión de la calidad	22
14. Plan de comunicación	24
15. Gestión de Compras	26
16. Seguimiento y control	26
17. Procesos de cierre	26

Registros de cambios

Revisión	Detalle de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	29/09/2018
1.1	<p>Correcciones sugeridas por Ariel Lutenberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Se modifica el título del proyecto <p>Correcciones sugeridas por Patricio Bos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Se modifica el título del proyecto ● Se reescribe el objetivo del proyecto ● Se modifica la redacción del texto del proyecto ● Se indica que esta versión del prototipo no hace referencia a la seguridad en sistemas críticos ● Se explicita el modelo de CIAA a utilizar (EDU-CIAA-NXP) y de FPGA (Arty Z7-10 DIGILENT) ● Se agrega el nombre y apellido del Director del Proyecto en el Acta de Constitución del mismo 	07/11/2018
1.2	<p>Correcciones sugeridas por Patricio Bos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Se agregan nombres y apellidos de los tres jurados ● Se corrige el costo de mano de obra (600hs) duplicado en el Acta de Constitución ● Se corrigen aspectos relacionados con el uso de lenguaje ● Se modifica la Matriz de asignación de responsabilidades, específicamente en cuanto al rol del Cliente para independizarlo del nombre del mismo 	20/11/2018
1.3	<p>Correcciones sugeridas por Patricio Bos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Se corrigen aspectos relacionados con el uso del lenguaje ● Se corrigen requerimientos funcionales del proyecto ● Se mejora la visibilidad de los diagramas WBS y AON ● Se especifica la relación entre colores y valores para 	27/11/2018



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

	definir acciones de mitigación de riesgos según RPN	
--	---	--



Acta de Constitución del Proyecto

Buenos Aires, 29 de septiembre de 2018

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Alfredo G. Rivamar que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Plataforma de navegación autónoma para una silla de ruedas mediante algoritmo de SLAM”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de una plataforma de navegación autónoma instalado en una silla de ruedas destinada a personas sin ninguna motricidad, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$111.500, con fecha de inicio miércoles 19 de diciembre de 2018 y fecha de presentación pública lunes 29 de julio de 2019.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg

Director de la CESE-FIUBA

Ing. Alfredo G. Rivamar

CESE-FIUBA

Dr. Ing. Ariel Pola

Director del Trabajo Final

Esp. Ing. Facundo Larosa

Jurado del Trabajo Final

Esp. Ing. Nicolás Dassieu Blanchet

Jurado del Trabajo Final



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

Esp. Ing. Nicolás Alvarez

Jurado del Trabajo Final

Descripción técnica-conceptual del Proyecto a realizar

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar, mediante una placa de desarrollo Arty Z7-10 de DIGILENT, una plataforma de navegación autónoma que se integra al sistema de control del movimiento de una silla de ruedas eléctrica destinada a personas sin ninguna motricidad para ser utilizado exclusivamente en el ámbito domiciliario.

Se trata de un sistema embebido para aplicaciones críticas (sistema de seguridad crítico), ya que una falla de funcionamiento puede ocasionar principalmente, en orden creciente de gravedad:

- Heridas leves y/o daños a la propiedad
- Heridas graves
- Muerte

La maniobrabilidad y gobernabilidad de vehículos de asistencia como las sillas de ruedas (eléctricas o no) dependen actualmente de las habilidades del usuario. Interesan en particular aquellas personas que no disponen de ningún tipo de motricidad para maniobrar y/o gobernar sillas de ruedas.

Si bien una silla de ruedas eléctrica ya implementa un sistema de navegación no-autónomo a cargo del usuario (en general, mediante la operación de un joystick), se pretende dotarla de una cierta inteligencia. Así, el principal aporte de este proyecto será ofrecer a los usuarios sin ninguna motricidad la posibilidad de navegar en forma autónoma en espacios reducidos, enfrentar situaciones inesperadas, desplazarse dentro de ambientes desconocidos o moverse en reversa.

En la Figura 1 se presenta el diagrama general del sistema.

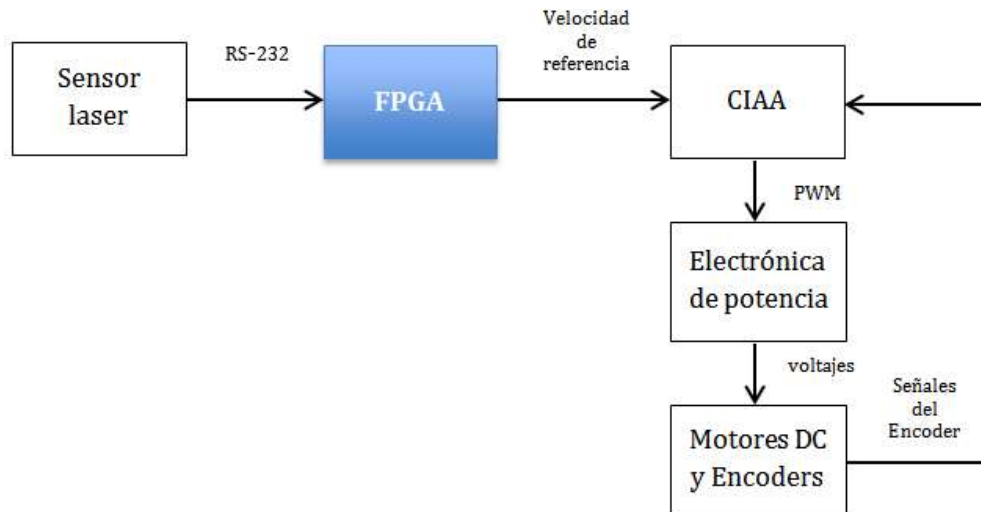


Figura 1. Arquitectura de la silla de ruedas autónoma

Un sensor láser realiza las lecturas de las distancias entre la silla de ruedas automatizada y un obstáculo. Estos valores son la entrada al módulo FPGA donde se ejecutan los algoritmos de alto nivel responsables de la modalidad autónoma de navegación. El módulo de electrónica de potencia es capaz de controlar los motores DC responsables del movimiento de las ruedas de la silla.

Los encoders informan, instante a instante, el movimiento de la silla para que la EDU-CIAA-NXP calcule la posición. En la EDU-CIAA-NXP, además, se implementa una interfaz gráfica que permitirá al usuario, en modo de navegación no autónoma, ingresar comandos utilizando únicamente el joystick sin necesidad de botones extras, muy útil para quienes solamente puedan utilizar el movimiento de su cabeza para dar órdenes y comandar la silla.

Para el modo de navegación autónoma de la silla de ruedas se utilizará el algoritmo de SLAM (por "Simultaneous Localization and Mapping"). Los algoritmos probabilísticos, como SLAM, han sido usados históricamente en robótica móvil a fin de ejecutar las tareas de mapeo, localización y navegación de manera más robusta en relación con las incertidumbres y / o el ruido generado por los sensores y también a las incertidumbres intrínsecas del medio ambiente.

Para implementar la plataforma de navegación autónoma, se ha seleccionado el algoritmo basado en el Filtro Extendido de Kalman (EKF), en un arreglo conocido como EKF-SLAM. El algoritmo de SLAM provee información del mapa del entorno y de la pose de la silla de ruedas autónoma dentro de ese mapa. Implementar el algoritmo de SLAM en un EKF permite, además, un modelado Gaussiano del entorno. Así, es posible asignar a cada punto del entorno mapeado un valor de probabilidad. El algoritmo se implementará en una placa de desarrollo Arty Z7-10 DIGILENT (ZYNQ Processor 650MHz dual-core Cortex-A9 processor).

El modo autónomo requiere de un módulo de planificación de caminos y de un módulo de control. El primero de ellos utiliza la información provista por el algoritmo de SLAM para trazar un camino seguro y compatible para que la silla de ruedas alcance la ubicación deseada. El segundo permite, una vez encontrado un camino viable, ejecutar un controlador cinemático de seguimiento de trayectorias para guiar la silla de ruedas hasta alcanzar la ubicación deseada. Cuando la silla de ruedas autónoma alcance la ubicación deseada por el usuario, el algoritmo de maniobrabilidad autónomo detiene su ejecución.

Se propone un enfoque MHU (módulo de hardware unificado) para implementar el algoritmo EKF-SLAM. Este enfoque se destaca por un mejor desempeño del sistema debido a la menor cantidad de operaciones de lectura y escritura realizadas, la disminución en el consumo del hardware por el menor número de bloques multiplicadores, divisores y sumadores/restadores requeridos y al uso de unidades en punto flotante, en relación a una implementación con bloques independientes. Se consideran las dos etapas (predicción y estimación) del filtro EKF dentro de la misma arquitectura, denominada "arquitectura unificada".

En la Figura 2 se presenta un esquema de la plataforma de navegación autónoma con FPGA a diseñar.

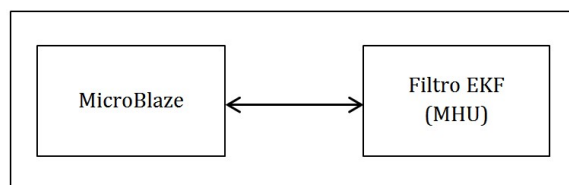


Figura 2. Arquitectura (simplificada) FPGA para algoritmo EKF-SLAM con enfoque MHU

Identificación y análisis de los interesados

La identificación y análisis de los interesados se muestra en la siguiente Tabla.

Rol	Nombre y Apellido	Departamento	Puesto
Responsable	Alfredo G. Rivamar	CESE UBA	Project Manager
Orientador	Ariel Pola	Fundación Fulgor	Doctor Ingeniero. R+D on Digital Communications
Cliente	Ariel Pola	Fundación Fulgor	Doctor Ingeniero. R+D on Digital Communications



El Orientador cumple el rol de Director del Trabajo Final de Especialización.

1. Propósito del proyecto

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema embebido que permita la navegación autónoma de una silla de ruedas a personas sin ningún tipo de movilidad, para uso exclusivamente domiciliario.

2. Alcance del proyecto

El proyecto incluye el diseño, implementación y verificación de una plataforma responsable de la navegación autónoma de una silla de ruedas eléctrica, basado en FPGA, que implementa el algoritmo EKF-SLAM, restringiendo la aplicación a interiores domiciliarios dado el escaso espacio disponible para maniobrar la silla.

No incluye la interfaz ni el desarrollo e implementación del resto de los módulos que integran la arquitectura de la silla de ruedas robotizada. Tampoco un bloque de control que contemple cuestiones relacionadas con la seguridad. Si bien se trata de un sistema crítico, esta versión no incorpora especificidades particulares en ese sentido, ya que se trata de una prueba de concepto.

3. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El equipo de desarrollo dispone de la experiencia suficiente trabajando con FPGA y Verilog para realizar el proyecto.
- Se dispone de los recursos necesarios para adquirir el hardware requerido para el proyecto.
- El equipo de desarrollo dispone del tiempo necesario para realizar el proyecto.
- Se dispone de una PC y una placa EDU-CIAA-NXP, adquiridas anteriormente para otros proyectos.
- Se dispone de una silla de ruedas postural eléctrica.

4. Requerimientos

→ 1. Requerimientos funcionales

1.1 El tiempo de procesamiento del algoritmo EKF-SLAM ejecutado sobre la placa Arty Z7-10 DIGILENT debe ser menor que el período de actualización de datos del móvil, establecido en 100 ms (tiempo de barrido típico sensor láser: 100 ms/scan).

1.2 El error absoluto de la trayectoria real del vehículo en relación a la predicción mediante el algoritmo EKF-SLAM será, a lo sumo, de 10 cm.



1.3 Las dimensiones del mapa, tanto real como simulado, donde el vehículo ejecutará su trayectoria son 7 m de longitud y 5 m de ancho (35m²).

1.4 El porcentaje de uso de elementos lógicos disponibles en la FPGA de la placa Arty Z7-10 DIGILENT para la implementación del filtro EKF por enfoque MHU debe ser menor a 70%.

→ 2. Requerimientos de validación

2.1 Se debe evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM mediante simulación.

2.2 Se debe evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM mediante simulación con aritmética de punto fijo.

2.3 Se deben realizar tests unitarios con un porcentaje de cobertura del código de al menos 40%.

2.4 Se deben realizar pruebas de campo para evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM.

→ 3. Requerimientos de metodología de trabajo

3.1 Realizar el control de versiones mediante la herramienta GIT.

3.2 Seguir el flujo de diseño digital avanzado en FPGA: desarrollo de algoritmos; diseño a nivel de sistema, verificación y testing; desarrollo de software y testeo; desarrollo de hardware y testeo.

→ 4. Requerimientos de documentación

4.1 Se debe generar un documento de planificación del proyecto.

4.2 Se debe generar una memoria técnica del proyecto con información de ingeniería de detalle.

5. Entregables principales del proyecto

El proyecto contará con los siguientes entregables:

1. Código fuente del firmware y software utilizados
2. Diagrama esquemático del prototipo
3. Informes de avance del proyecto
4. Informe del proyecto final



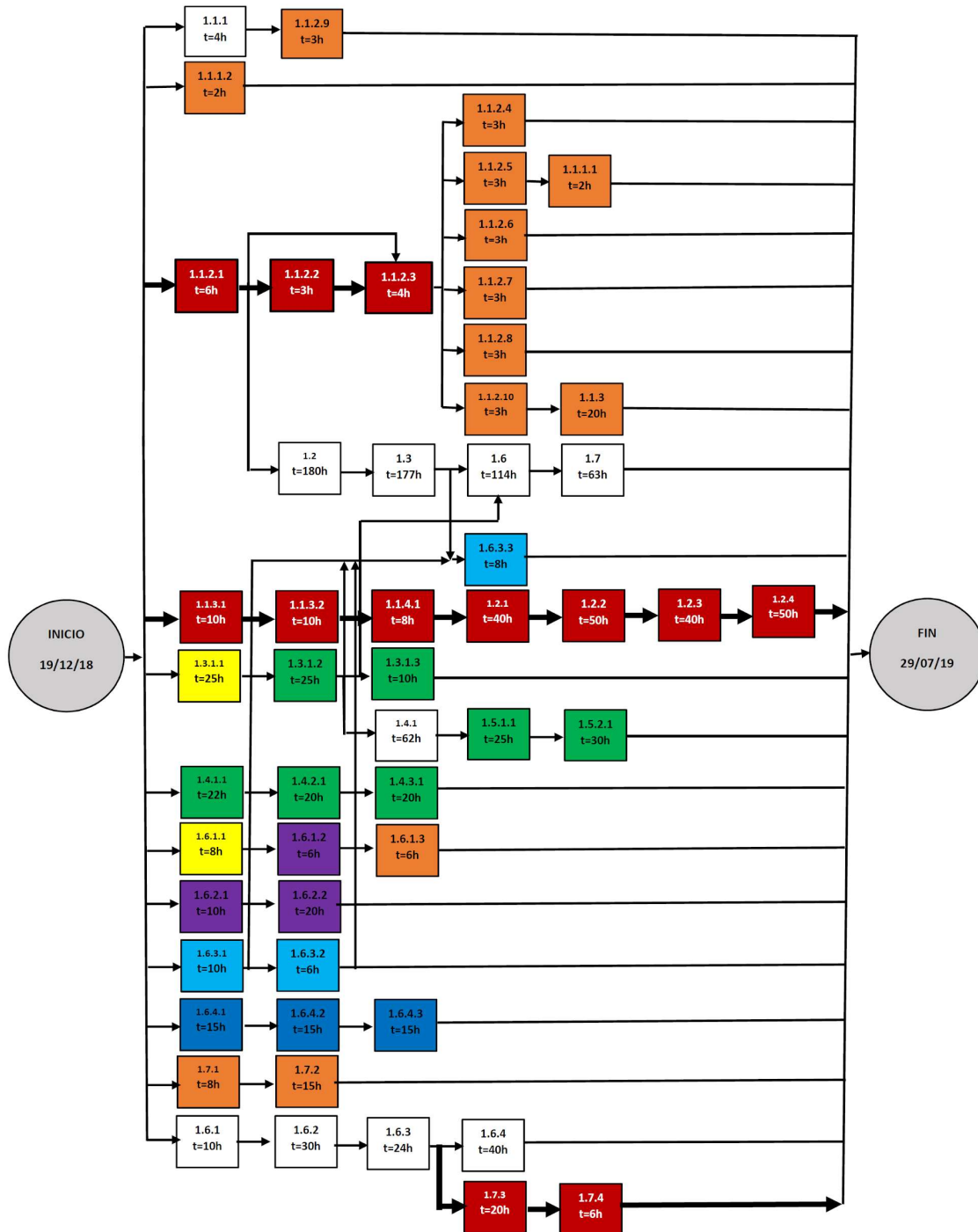
6. Desglose del trabajo en tareas

**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

WBS	Name	Work
1	- Plataforma de navegación autónoma para una silla de ruedas mediante algoritmo de SLAM	600 h
1.1	- Gestión del Proyecto	89 h
1.1.1	- Procesos de inicio	4 h
1.1.1.1	-Identificar los interesados	2 h
1.1.1.2	-Completar el Acta de Constitución del Proyecto	2 h
1.1.2	- Procesos de planeamiento	37 h
1.1.2.1	-Identificar los requerimientos	8 h
1.1.2.2	-Redactar el Project Scope Statement	3 h
1.1.2.3	-Crear el WBS	8 h
1.1.2.4	-Realizar el diagrama de Activity on Node	3 h
1.1.2.5	-Realizar la Gestión del Costo	3 h
1.1.2.6	-Realizar la Gestión de Calidad	3 h
1.1.2.7	-Realizar la Gestión de los Recursos Humanos	3 h
1.1.2.8	-Realizar la comunicación del proyecto	3 h
1.1.2.9	-Realizar la Gestión de Riesgos del proyecto	3 h
1.1.3	- Procesos de control	40 h
1.1.3.1	-Control de avance de tareas	20 h
1.1.3.2	-Ajuste de las tareas y resignificación	20 h
1.1.4	- Procesos de cierre	8 h
1.1.4.1	-Procesos de cierre	8 h
1.2	- Prototipo de hardware	78 h
1.2.1	-Investigación preliminar	10 h
1.2.2	-Diseño del hardware	10 h
1.2.3	-Adquisición del kit de desarrollo FPGA, EDU-CIAA-NXP y componentes	5 h
1.2.4	-Montaje del prototipo	18 h
1.2.5	- Validación del diseño del hardware	35 h
1.2.5.1	-Diseño de la prueba para validar el hardware	7 h
1.2.5.2	-Implementación de la prueba de validación	22 h
1.2.5.3	-Ejecutar la prueba y resolver los errores	6 h
1.3	-Diseño del software	194 h
1.3.1	- Metodología de diseño	40 h
1.3.1.1	-Investigación acerca de la metodología de diseño	16 h
1.3.1.2	-Implementación práctica de la metodología	16 h
1.3.1.3	-Documentación de la metodología utilizada	8 h
1.3.2	- Diseño detallado del software	50 h
1.3.2.1	-Diagrama de cada bloque	10 h
1.3.2.2	-Diseño detallado	40 h
1.3.3	- Implementación	104 h
1.3.3.1	-Codificación de los bloques	40 h
1.3.3.2	-Codificación de la prueba unitaria	40 h
1.3.3.3	-Ejecución de la prueba unitaria y corrección de los errores	24 h
1.4	- Validación	106 h
1.4.3.1	-Implementar software de ensayos FPGA	40 h
1.4.3.2	-Compatibilizar software de ensayos bajo Windows	33 h
1.4.3.3	-Ejecutar ensayos y corregir errores	33 h
1.5	- Documentación	133 h
1.5.1	-Plan de proyecto	8 h
1.5.2	-Informes de avance	24 h
1.5.3	-Informe del proyecto final	80 h
1.5.4	-Presentación del proyecto final	21 h



7. Diagrama de Activity On Node





Identificación del tipo de tarea

Tipo de tarea
INVESTIGACION
HARDWARE
PRUEBAS FUNCIONALES
SOFTWARE
DOCUMENTACION
TAREAS CRITICAS
VALIDACION
TAREAS RESUMEN

Camino crítico

Actividad	1.1.2.1	1.1.2.2	1.1.2.3	Total
Tiempo	6h	8h	4h	18h

Actividad	1.1.3.1	1.1.3.2	1.1.4.1	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	Total
Tiempo	10h	10h	8h	40h	50h	40h	50h	208h

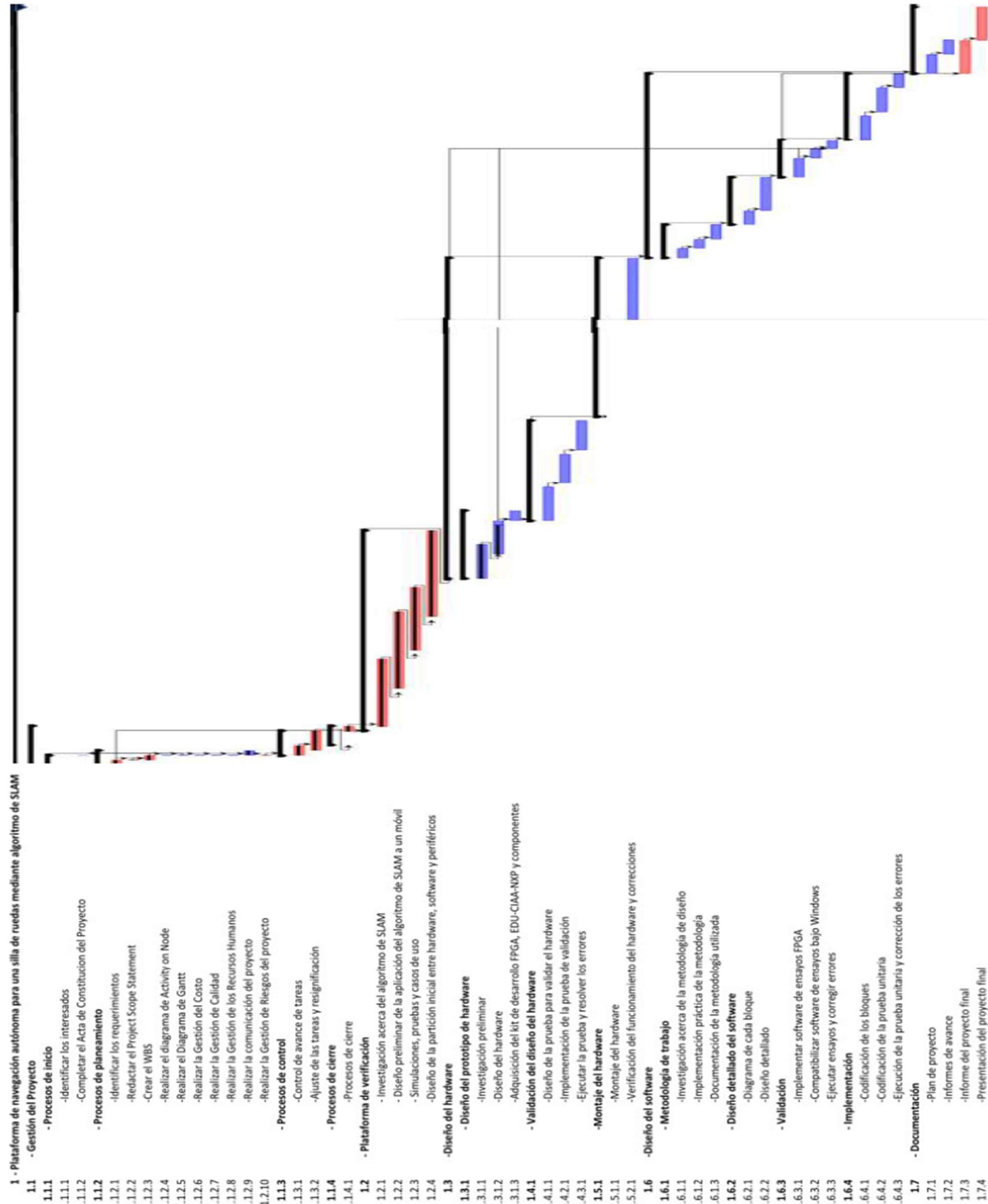
Actividad	1.7.3	1.7.4	Total
Tiempo	20h	20h	40h



8. Diagrama de Gantt



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos**
Ing. Alfredo G. Rivamar



9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre de la tarea	Recursos requeridos (horas)		
		PC	Arty Z7-10 DIGILENT	EDU-CIAA- NXP
1.1	Gestión del proyecto	66h	-	-
1.2	Plataforma de verificación	180h	-	-
1.3	Diseño del hardware	177h	62h	55h
1.6	Diseño del software	114h	54h	40h
1.7	Documentación	63h	-	-
Total		600h	116h	95h

10. Presupuesto detallado del proyecto

Categoría	Detalle	Costos (\$)
Costos directos	600 h de trabajo (200\$/h)	120.000
Costos indirectos	60% costos directos	72.000
Otros costos directos	Costo Arty Z7-10 (incluyendo flete y aduana)	9.000
Reserva por contingencias	15% del total de gastos	30.150
Total		231.150



11. Matriz de asignación de responsabilidades

Código WBS	Título de la tarea	Listar todos los nombres y apellidos y el rol definidos en el proyecto		
		Alfredo G. Rivamar Responsable	Ariel Pola Director	Ariel Pola Cliente
1.1.1	Proceso de inicio	P	I	I
1.1.2	Procesos de planeamiento	P	C	I
1.1.3	Procesos de control	P	C	I
1.1.4	Procesos de cierre	P	I	I
1.2	Plataforma de verificación	P	A	A
1.3	Diseño del hardware	P	A	A
1.6	Diseño del software	P	A	A
1.7	Documentación	P	C	A

Referencias: P = Responsabilidad Primaria
S = Responsabilidad Secundaria
A = Aprobación
I = Informado
C = Consultado



12. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

- ☐ Riesgo 1: No cumplir con los requerimientos debido a una programación inadecuada del software y/o una mala implementación.
 - ☐ Severidad: 10. Implica no entregar el proyecto final de Especialización.
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 5. Sin la implementación de medidas preventivas existe esta probabilidad de ocurrencia.
- ☐ Riesgo 2: No entrega del proyecto final en fecha de finalización por una estimación inadecuada del tiempo de duración de las tareas.
 - ☐ Severidad: 10. Implica no entregar el proyecto final de Especialización en tiempo y forma.
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 3. Dada la experiencia del Director del Proyecto, ésta probabilidad de ocurrencia es baja.
- ☐ Riesgo 3: No disponer del recurso humano en tiempo y forma para desarrollar el proyecto de acuerdo a su programación.
 - ☐ Severidad: 10. Implica no entregar el proyecto final de Especialización en tiempo y forma.
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 5. El responsable tiene compromisos laborales que pueden impactar sobre el proyecto si no se toman las medidas anticipatorias adecuadas. Además de los imprevistos que pudieran ocurrir.
- ☐ Riesgo 4: Pérdida del hardware por robo o hurto, destrucción del hardware por incendio, descarga eléctrica, sobre tensión u operación inadecuada.
 - ☐ Severidad: 6. Si bien se puede adquirir un nuevo hardware, esta situación generaría un retraso en el tiempo de diferentes tareas.
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 6. Sin medidas de prevención la probabilidad de daño del hardware es grande.
- ☐ Riesgo 5: pérdida del código programado por pérdida o rotura de la PC y del medio de almacenamiento.
 - ☐ Severidad 10. Implica un retraso máximo y un nuevo comienzo con la imposibilidad de entregar el proyecto final de Especialización en tiempo y forma.
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 4. Se utilizará control de versiones en la nube. La PC es de reciente adquisición.



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

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

Riesgo	Severidad	Ocurrencia	RPN	Severidad*	Ocurrencia*	RPN*
1	10	5	50	10	2	20
2	10	3	30	10	2	20
3	10	5	50	10	2	20
4	6	6	36	6	3	18
5	10	4	40	10	2	20

Criterio adoptado: se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN ≥ 30 .

- Color rojo: ≥ 40
- Color naranja: ≥ 30
- Color amarillo: ≥ 10
- Color verde: ≤ 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:

- ☐ Riesgo 1: No cumplir con los requerimientos debido a una programación inadecuada del software y/o una mala implementación.
 - ☐ Mitigación: Utilización de la metodología flujo de diseño digital avanzado en FPGA (desarrollo de algoritmos; diseño a nivel de sistema, verificación y testing; desarrollo de software y testeo; desarrollo de hardware y testeo), la prueba de cada módulo y la revisión del código por el Director del Trabajo Final de Especialización.
 - ☐ Severidad: 10 (sin cambios).



- ☐ Probabilidad de ocurrencia: 2 (baja). Con las medidas de mitigación a implementar se mejora calidad del proyecto disminuyendo significativamente la probabilidad de ocurrencia.
- ☐ Riesgo 2: No entrega del proyecto final en fecha de finalización por una estimación inadecuada del tiempo de duración de las tareas.
 - ☐ Mitigación: acciones de control de avance del proyecto que permitan detectar inconvenientes lo antes posible. Prever la asignación de horas suplementarias para el proyecto. Realizar tareas y requerimientos opcionales si la programación no se está cumpliendo en tiempo y forma.
 - ☐ Severidad: 10 (sin cambios).
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 2 (baja). Debido a las acciones de mitigación propuestas.
- ☐ Riesgo 3: No disponer del recurso humano en tiempo y forma para desarrollar el proyecto de acuerdo a su programación.
 - ☐ Mitigación: Planificar acciones para solicitar permisos laborales si la urgencia lo amerita, recuperar horas de proyecto durante los fines de semana y feriados.
 - ☐ Severidad: 10 (sin cambios).
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 2 (baja).
- ☐ Riesgo 4: Pérdida del hardware por robo o hurto, destrucción del hardware por incendio, descarga eléctrica, sobre tensión u operación inadecuada.
 - ☐ Mitigación: almacenar el hardware en un lugar específicamente destinado a este fin, mantener equipos desconectados de la tensión de red cuando no estén en uso, utilizar pulseras electrostáticas al manipular el hardware, revisar tres veces el conexionado de las placas de prototipado para disminuir la probabilidad de destrucción por operación inadecuada.
 - ☐ Severidad: 6 (sin cambios).
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 3. Las medidas preventivas propuestas permiten disminuir la probabilidad de daño del hardware.
- ☐ Riesgo 5: pérdida del código programado por extravío o rotura de la PC y del medio de almacenamiento.
 - ☐ Mitigación: utilizar control de versiones mediante dos servicios cloud alternativos.
 - ☐ Severidad: 10 (sin cambios).
 - ☐ Probabilidad de ocurrencia: 2 (baja). La probabilidad de pérdida de información en un sistema de control de versiones es muy baja.

13. Gestión de la calidad

- Requerimiento 1.1: El tiempo de procesamiento, del algoritmo EKF-SLAM ejecutado sobre la placa Arty Z7-10 DIGILENT debe ser menor que el período de actualización de datos del móvil, establecido en 100 ms (tiempo de barrido típico sensor láser: 100 ms/scan).



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

- ◆ Verificación: Se implementarán simulaciones para evaluar el tiempo de procesamiento del algoritmo EKF-SLAM.
- ◆ Validación: Se desarrollará un programa de prueba que genere datos conocidos de modo de asegurar que el tiempo de procesamiento no supere el esperado.
- **Requerimiento 1.2:** El error absoluto de la trayectoria del vehículo en relación a la predicción mediante el algoritmo EKF-SLAM será, a lo sumo, 10 cm.
 - ◆ Verificación: Respuesta de la silla de ruedas postural eléctrica mediante simulación.
 - ◆ Validación: Se desarrollará un programa de prueba que genere datos conocidos de modo de asegurar que el error absoluto de la trayectoria del vehículo no supere 10 cm.
- **Requerimiento 1.3:** Las dimensiones del mapa, tanto real como simulado, donde el vehículo ejecutará su trayectoria son 7 m de longitud y 5 m de ancho (35m²).
 - ◆ Verificación: Resultados de la simulación y aplicación en situaciones reales del algoritmo EKF-SLAM.
 - ◆ Validación: Se desarrollará un programa de prueba para asegurar que las dimensiones del mapa incluidas en la simulación sean las correctas.
- **Requerimiento 1.4:** El porcentaje de uso de los elementos lógicos que constituyen la FPGA de la placa Arty Z7-10 DIGILENT, para la implementación del filtro EKF por enfoque MHU, será menor a 70%.
 - ◆ Verificación: Análisis de los resultados de la síntesis realizados mediante Vivado.
 - ◆ Validación: Se desarrollará un programa de prueba para asegurar que el uso de los recursos de hardware en la FPGA sea menor al 70%.
- **Requerimiento 2.1:** Se debe evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM mediante simulación.
 - ◆ Verificación: En un entorno de navegación simulado de dimensiones conocidas y similar al utilizado en pruebas reales.
 - ◆ Validación: se desarrollará un banco de pruebas (test bench) para probar y depurar los algoritmos.
- **Requerimiento 2.2 :** Se debe evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM mediante simulación con aritmética de punto fijo.
 - ◆ Verificación: En un entorno de navegación simulado de dimensiones conocidas y similar al utilizado en pruebas reales.
 - ◆ Validación: El error de cuantización debe ser menor o igual a 40 dB (Relación Señal/Error).
- **Requerimiento 2.3:** Se deben realizar test unitarios con un porcentaje de cobertura del código de al menos 40%.
 - ◆ Verificación: En un entorno de navegación simulado de dimensiones conocidas y similar al utilizado en pruebas reales.



**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

- ◆ Validación: Se generará un programa de prueba de distintos caminos para determinar la performance del algoritmo EKF-SLAM.
- Requerimiento 2.4: Se deben realizar pruebas de campo para evaluar el funcionamiento del algoritmo EKF-SLAM.
 - ◆ Verificación: Se utilizarán test unitarios para corroborar funcionalidad individual de los módulos y asegurar que el RTL responda a los requerimientos.
 - ◆ Validación: Se verificará que los módulos del proyecto tengan sus test unitarios y Vector Machine.
- Requerimiento 3.1: Realizar el control de versión de cambios mediante la herramienta GIT
 - ◆ Verificación: Crear un repositorio en GIT y preparar la herramienta previo a la etapa de implementación.
 - ◆ Validación: Se verificará que el código programado se encuentre en un repositorio GIT. Se compartirá el link al repositorio con el director del proyecto cuando esté finalizado.
- Requerimiento 3.2: Seguir la metodología flujo de diseño digital avanzado en FPGA: desarrollo de algoritmos; diseño a nivel de sistema, verificación y testing; desarrollo de software y testeo; desarrollo de hardware y testeo.
 - ◆ Verificación: Por la aplicación de la metodología flujo de diseño digital avanzado en FPGA.
 - ◆ Validación: Cumplimiento de los requerimientos 1.1 y 1.2.
- Requerimiento 4.1: Se debe generar un documento de planificación del proyecto.
 - ◆ Verificación: Documentar de acuerdo a las exigencias de la 7ma. CESE.
 - ◆ Validación: Finalizar en tiempo y forma del proyecto final de la 7ma. CESE.
- Requerimiento 4.2 Se debe generar una memoria técnica del proyecto con información de ingeniería de detalle.
 - ◆ Verificación: Documentar de acuerdo a las exigencias de la 7ma. CESE.
 - ◆ Validación: Finalizar en tiempo y forma del proyecto final de la 7ma. CESE.

14. Plan de comunicación

El plan de comunicación del proyecto es el siguiente:

PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicación	Responsable

**Plan de Proyecto del Trabajo Final de Carrera
de Especialización de Sistemas Embebidos
Ing. Alfredo G. Rivamar**

Identificar los requerimientos	Director del Trabajo Final	Relevamiento	Al inicio	Reunión, email	Responsable del proyecto
Identificar los riesgos	Director del Trabajo Final	Relevamiento	Al inicio	Reunión, email	Responsable del proyecto
Generar el diagrama de bloques	Director del Trabajo Final	Relevamiento	Al inicio	Reunión, email	Responsable del proyecto
Generar el WBS	Director del Trabajo Final	Relevamiento	Al inicio	Reunión, email	Responsable del proyecto
Mostrar resultados de los procesos de planeamiento e iniciación	Director del Trabajo Final	Información de inicio	Al inicio	Reunión, email	Responsable del proyecto
Reporte de avance del proyecto	Director del Trabajo Final	Control	Semanal	Reunión, email	Responsable del proyecto
Revisión del diseño del hardware	Director del Trabajo Final	Verificación	Una vez	Reunión, email	Responsable del proyecto
Revisión del diseño del software	Director del Trabajo Final	Verificación	Una vez	Reunión, email	Responsable del proyecto
Consultas de diseño y/o implementación	Director del Trabajo Final	Consultas	Semanal y/o según necesidad	Reunión, email	Responsable del proyecto
Mostrar resultados de las pruebas de validación	Director del Trabajo Final	Validación	Al finalizar	Reunión, email	Responsable del proyecto
Mostrar la documentación generada	Director del Trabajo Final	Documentación	Al finalizar	Reunión, email	Responsable del proyecto



15. Gestión de Compras

Solamente será necesario adquirir la placa Arty Z7-10 DIGILENT mediante compra directa en la web de la empresa DIGILENT (fabricante). El envío e importación estarán a cargo del courier fedex/DHL/correo argentino. Se estima una demora de 10 días calendario desde la colocación de la orden de compra.

16. Seguimiento y control

Se define que el control y seguimiento se realizará para todas las tareas involucradas en el proyecto y que será mediante la misma metodología: presentaciones mensuales al Director, seguimiento del proyecto mediante Open Project y meeting semanales utilizando Hangout. El control de versiones se realizará con la herramienta GIT y utilizando Trello para las tareas diarias. En la tabla siguiente se indica la frecuencia y los indicadores con los que se seguirá el avance de las tareas y quién será el responsable de hacer dicho seguimiento. A su vez, se indica a quién deberá comunicarse el estado de situación (en concordancia con el plan de comunicación del proyecto).

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Responsable de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunicación
Todas	% de avance	Mensual	Alfredo G. Rivamar	Director del Trabajo Final	email

17. Procesos de cierre

- ☐ El responsable del proyecto mantendrá actualizado el archivo de WBS con las horas utilizadas para cada tarea. Se almacenará la versión original del WBS y se la comparará con la versión final al terminar el proyecto. Así, luego de la comparación, se podrá analizar si se respetó o no el plan de proyecto original.
- ☐ Finalizado el proyecto, el responsable del mismo dejará registro escrito de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se utilizaron.
- ☐ En la fecha de defensa pública del proyecto está contemplado un acto de cierre al finalizar la jornada por cuenta de las autoridades de la ESE.