

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE0499 – Proyecto Eléctrico

**Implementación de algoritmos para navegación autónoma
en una plataforma robótica móvil F1 a escala, en entornos
de simulación virtual utilizando ROS.**

por

Esteban Rodríguez Qunitana

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Septiembre de 2021

Implementación de algoritmos para navegación autónoma en una plataforma robótica móvil F1 a escala, en entornos de simulación virtual utilizando ROS.

por

Esteban Rodríguez Qunitana

B66076

IE0499 – Proyecto Eléctrico

Aprobado por

Ing. Leonardo José Marín Paniagua, PhD.

Profesor guía

Ing. Marvin Coto Jiménez, PhD.

Profesor lector

Ing. José David Rojas Fernández, Dr.

Profesor lector

Septiembre de 2021

Índice general

Índice general	v
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	vi
1 Introducción	1
1.1. Alcances del proyecto	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivo general	3
1.4. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología	4
1.6. Diagrama Gantt	5

Índice de figuras

Índice de tablas

Lista de Correcciones

INTRODUCCIÓN

El término *robot* viene del idioma checo, en el cual “*robota*” significa fuerza de trabajo. Este, fue utilizado por primera vez en 1921 por el dramaturgo checo Karel Capek, en su obra teatral “*Rosum’s Universal Robots*” [1]. A lo largo de las últimas décadas, desde los años cercanos a 1960: con la explosión de la revolución industrial; hasta la actualidad: con la aparición de tecnologías de la industria 3.0 y temas como la automatización de procesos y el creciente interés en la exploración planetaria, la robótica ha adquirido un papel fundamental en el desarrollo de gran cantidad de tecnologías y aplicaciones de todo tipo. Entre ellas podemos citar la automatización de procesos industriales y de producción, industria biomédica, soluciones de transporte, aplicaciones espaciales y de comunicaciones, entre otras. La robótica es un campo de estudio multidisciplinario que requiere del conocimiento y aporte de diversas ramas de las ciencias y la tecnología, como la ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica e ingeniería de control, así como, las ciencias de la computación, física, matemáticas y estadística [3], por mencionar solo algunas áreas.

Los robots móviles autónomos, tema central de este trabajo, son robots que poseen la capacidad de navegar de forma autónoma a través del entorno que les rodea, mientras desarrollan tareas orientadas a cumplir un objetivo relacionado con su posición y orientación [2] o *pose*. Dicha capacidad de navegación autónoma dependerá tanto de la configuración física y mecánica del robot, como de su habilidad de percepción del entorno, capacidad de cómputo y de los algoritmos que rijan su comportamiento. Algunas aplicaciones que aprovechan las capacidades de la robótica móvil son la inspección, vigilancia o mantenimiento autónomo, así como labores de búsqueda y rescate.

La naturaleza de este proyecto está ligada a la investigación e implementación de algoritmos de navegación en lenguajes de alto nivel en ambientes de simulación virtual, y estará centrado en dar soluciones de navegación autónoma enfocadas en la competición de vehículos de Fórmula 1 a escala 1/10: *F1TENTH*. Este trabajo se desarrolla en aporte a las labores de investigación del CERLab (*Control Engineering Research Laboratory*) de Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

1.1. Alcances del proyecto

Con este proyecto se desea centralizar información relacionada a la competencia F1TENTH para entender las necesidades técnicas que esta plantea desde el punto de vista del modelado e implementación de algoritmos de navegación autónoma con seguimiento de trayectorias y evasión de obstáculos para un robot móvil en configuración Ackerman de Fórmula 1 a escala, y poder encontrar así, solución a algunos de estos requerimientos, además de, esclarecer el camino para futuras implementaciones utilizando la plataforma F1TENTH en el laboratorio del CERLab. Lo anterior utilizando lenguajes de programación de alto nivel y herramientas de simulación virtual. No se abarca el desarrollo de herramientas de simulación ni su modificación o implementación de modelado 3D, ya que estas herramientas serán utilizadas como cajas grises “as-is”.

Asimismo, se abarca la descripción de las características físicas del robot, así como su modelado mecánico y parametrización. Sin embargo, no se desarrolla ni deduce el modelo del sistema mecánico ya que se utiliza el modelado dado por fuentes bibliográficas y por el ambiente de simulación. No se incluye la deformación de las ruedas en el modelo del sistema. Además, tampoco se contemplara la descripción teórica de la sintonización de los controladores ni el modelado de motores DC o componentes electrónicos. El trabajo se desarrolla bajo condiciones de superficie horizontal en entornos cerrados y se contempla el deslizamiento lateral de las ruedas y vehículo además de situaciones de alta velocidad.

1.2. Justificación

El fin principal de este proyecto eléctrico es realizar aportes significativos a las labores que se desempeñan en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería de Control o CERLab (*Control Engineering Research Laboratory*) de la Universidad de Costa Rica. Parte de la investigación que se desarrolla en el CERLab está relacionada a la robótica móvil colaborativa, y dentro de este tema, surge la necesidad de desarrollar plataformas robóticas móviles funcionales para la implementación de algoritmos y soluciones, además de, la necesidad de dotar de conocimiento técnico al estudiantado que colabora en dichas investigaciones. El proceso de adquisición de conocimiento y herramientas técnicas para las labores del laboratorio suelen representar una curva de aprendizaje compleja. Por otra parte, las plataformas son sistemas que deben ser utilizados con precaución para evitar daños y accidentes. Por las razones anteriores, se ha hecho una serie de esfuerzos por desarrollar proyectos eléctricos que permitan realizar simulación, implementación, pruebas y validación de algoritmos para las plataformas móviles de interés, y que dan solución a distintas necesidades del laboratorio, además de disminuir y administrar de mejor manera el tiempo de desarrollo e implementación de las plataformas. Este proyecto es parte de dichos esfuerzos.

Adicionalmente, el aporte más significativo de este trabajo es el de ser una recopilación de información, consideraciones, algoritmos e implementaciones a nivel de simulación que permitirán el desarrollo de una plataforma robótica móvil en configuración Ackerman de la competencia y proyecto *Open Source*: F1TENTH. Dicha plataforma móvil Ackerman será adquirida por el CERLab en el mediano plazo.

1.3. **Objetivo general**

Implementar una plataforma robótica móvil en configuración Ackerman para la validación de algoritmos de seguimiento de trayectoria y evasión de obstáculos en condición de plano horizontal, utilizando entornos de simulación virtual basados ROS y en el modelo de Fórmula 1 a escala del proyecto *Open Source* y competencia F1TENTH.

1.4. **Objetivos específicos**

1. Describir las características físicas, así como el modelado matemático y la parametrización de la plataforma Ackerman F1TENTH.
2. Centralizar la información de todos los algoritmos para navegación autónoma requeridos para la plataforma Ackerman, enfocados en las necesidades técnicas para la competición F1TENTH.
3. Investigar el funcionamiento de ROS y su interacción con el software Rviz, para el modelado y simulación de la evolución de la postura de una plataforma robótica Ackerman F1TENTH.
4. Implementar al menos un algoritmo de navegación autónoma de seguimiento de trayectorias en lenguaje de alto nivel para una plataforma móvil F1TENTH, en un plano horizontal.
5. Implementar al menos un algoritmo de evasión de obstáculos con seguimiento de trayectoria en lenguaje de alto nivel para una plataforma móvil F1TENTH, en un plano horizontal.
6. Validar el funcionamiento de los algoritmos de seguimiento de trayectoria y evasión de obstáculos implementados, mediante el software de simulación Rviz y el cálculo de índices de desempeño para la plataforma propuesta en al menos dos circuitos con obstáculos diferentes.

1.5. Metodología

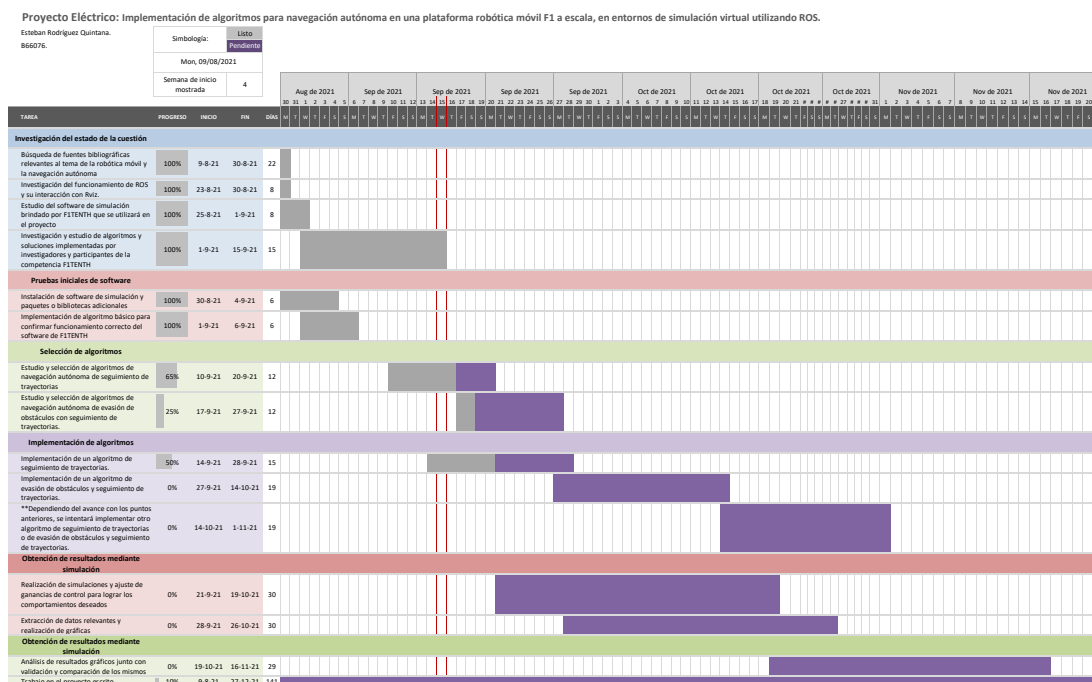
A continuación se describen las actividades que se realizarán durante el desarrollo de este proyecto, todas alineadas al cumplimiento de cada uno de los objetivos:

1. Investigación del estado de la cuestión: Con el objetivo de describir la plataforma Ackerman y de centralizar la información requerida para la competencia F1TENTH.
 - a) Búsqueda de fuentes bibliográficas relevantes al tema de la robótica móvil y la navegación autónoma.
 - b) Investigación del funcionamiento de ROS y su interacción con Rviz.
 - c) Estudio del software de simulación brindado por F1TENTH que se utilizará en el proyecto.
 - d) Investigación y estudio de algoritmos y soluciones implementadas por investigadores y participantes de la competencia F1TENTH.
2. Pruebas iniciales de software: Para asegurar funcionamiento de las herramientas.
 - a) Instalación de software de simulación y paquetes o bibliotecas adicionales.
 - b) Implementación de algoritmo básico para confirmar funcionamiento correcto del software de F1TENTH.
3. Selección de algoritmos:
 - a) Estudio y selección de algoritmos de navegación autónoma de seguimiento de trayectorias.
 - b) Estudio y selección de algoritmos de navegación autónoma de evasión de obstáculos con seguimiento de trayectorias.
4. Implementación de algoritmos:
 - a) Implementación de un algoritmo de seguimiento de trayectorias.
 - b) Implementación de un algoritmo de evasión de obstáculos y seguimiento de trayectorias.
 - c) Dependiendo del avance con los puntos anteriores, se intentará implementar otro algoritmo de seguimiento de trayectorias o de evasión de obstáculos y seguimiento de trayectorias.
5. Obtención de resultados mediante simulación: simulaciones en al menos dos circuitos distintos con y sin obstáculos.
 - a) Realización de simulaciones y ajuste de ganancias de control para lograr los comportamientos deseados.
 - b) Extracción de datos relevantes y realización de gráficas.
6. Análisis de resultados:
 - a) Análisis de resultados gráficos junto con validación y comparación de los mismos.

Paralelamente a cada una de estas etapas se irá documentando la información y procedimientos pertinentes para su posterior inclusión en el trabajo escrito.

1.6. Diagrama Gantt

En este diagrama se contemplan las etapas de desarrollo del proyecto a manera de guía. No se incluye la realización de presentaciones ni tareas secundarias ya que estas se encuentran expresas en el cronograma del curso. El diagrama posee un formato que permite ampliarlo sin distorsión.



Bibliografía

- [1] A.O. Baturone. *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. ACCESO RÁPIDO. Marcombo, 2005.
- [2] K. Berns and E. Puttkamer. *Autonomous Land Vehicles: Steps towards Service Robots*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- [3] F. REYES. *Robótica - control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor, 2011.