

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

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	iv
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
2 Marco Teórico	7
2.1. Breve Introducción a la Robótica Móvil	7
2.2. Navegación Autónoma de Robots Móviles	8
2.3. F1tenth, Proyecto Open Source y Competición	9
2.3.1. Plataforma F1TENTH	9
2.4. Robot Móvil en Configuración Ackerman	11
2.4.1. Modelado del Robot Móvil en configuración Ackerman	12
2.5. Algoritmos de Navegación Autónoma	16
2.5.1. Planeamiento Local y Global	16
Bibliografía	17

Índice de figuras

2.1.	Niveles de autonomía de conducción segun SAE (J 3016). Autoría propia.	8
2.2.	Capacidades necesarias para la navegación autónoma. Autoría propia.	8
2.3.	Vehículo F1TENTH. Tomado de https://racecarj.com/products/racecar-j-robot-f1-tenth . . .	9
2.4.	Distribución de niveles vehículo F1TENTH. Tomado de https://f1tenth.org/build.html . . .	10
2.5.	Distribución de niveles vehículo F1TENTH. Tomado de https://f1tenth.org/build.html . . .	10
2.6.	Estructura básica de la configuración Ackerman. Autoría propia.	11
2.7.	Diagrama para modelado del configuración Ackerman sin simplificar. Autoría propia. . . .	14
2.8.	Diagrama para modelado del configuración Ackerman simplificado al modelo de bicicleta. Autoría propia	14

Índice de tablas

Lista de Correcciones

INTRODUCCIÓN

El término *robot* viene del idioma checho, en el cual “*robota*” significa fuerza de trabajo. Este, fue utilizado por primera vez en 1921 por el dramaturgo checho Karel Capek, en su obra teatral “*Rosum’s Universal Robots*” [3]. 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 [9], 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 [4] 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 contemplará 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

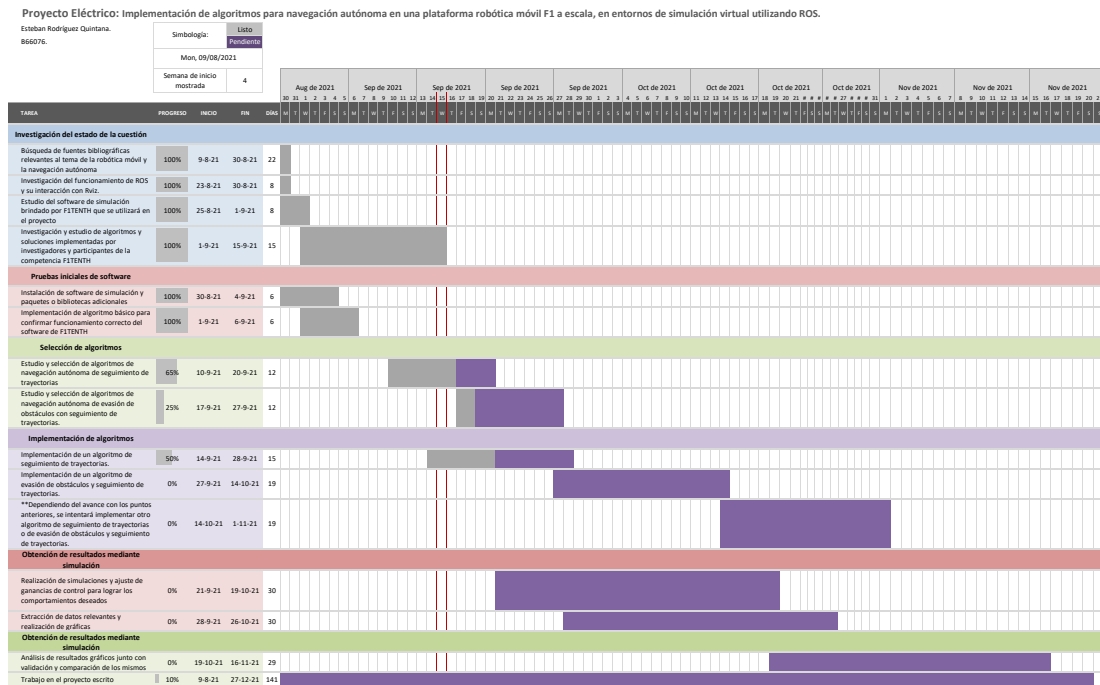
A continuación, se describen las actividades que se realizarán durante el desarrollo de este proyecto, todas alineadas al cumplimiento de cada uno de los objetivos:

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 expresadas en el cronograma del curso. El diagrama posee un formato que permite ampliarlo sin distorsión.



MARCO TEÓRICO

2.1. Breve Introducción a la Robótica Móvil

Con el fin de dar contexto a temática de este proyecto eléctrico planteamos la siguiente pregunta: ¿Qué es un robot móvil? Un robot móvil es un conjunto de subsistemas robóticos (articulaciones, patas, ruedas, sensores, procesamiento, etc) que requieren de mecanismos de locomoción que les permitan moverse sin limitaciones a través de su entorno [10] y realizar distintas tareas objetivo [4]. Cuando se habla de movimiento sin limitaciones: entiéndase que su estructura principal no está anclada a un punto fijo en el espacio. Hay una larga variedad de formas en las que un robot de este tipo puede movilizarse en su entorno, y se clasifican de acuerdo al espacio físico en que se movilizan, los mecanismos que usan para dicho fin y la disposición física y espacial que estos mecanismos tienen en el cuerpo del robot, algunos ejemplo de estos son:

- Los robots con extremidades que simulan mecanismos de movimiento biológico de seres humanos o animales, como los robots bípedos y cuadrúpedos.
- Robots que se mueven a través del medios como el agua o el aire.
- Los robots que se movilizan empleando ruedas impulsadas activamente, como los de configuración diferencial, mecanum y Ackerman.

Este proyecto, como veremos posteriormente, se centra en un robot móvil de tipo Ackerman que se moviliza en planos horizontales y que considera el derrape dentro de su modelado.

Como la robótica es un campo de estudio tan amplio y contemporáneo, hay aplicaciones que aún se encuentran en etapas de investigación y desarrollo, mientras otras ya son implementadas de manera más extensiva, por ejemplo, a nivel de industria para realizar tareas en líneas de producción o en el campo de la agricultura [8], también se emplea la robótica móvil en áreas como: la inspección, vigilancia, mantenimiento [5], movilidad, búsqueda y rescate, educación, entre otras.

2.2. Navegación Autónoma de Robots Móviles

La navegación autónoma de robots móviles se refiere a la capacidad que estos poseen de tomar decisiones por sí mismo, basadas en el entorno y su percepción del mismo. Existen distintos niveles de autonomía en la conducción de vehículos y robots móviles. Según el organismo de estándares: SAE (Society of Automation Engineers), hay 6 niveles de autonomía de conducción¹. En la figura ??, se muestra un resumen de estos niveles de autonomía de conducción para agregar más contexto a la investigación desarrollada en este proyecto eléctrico.



Figura 2.1: Niveles de autonomía de conducción según SAE (J 3016). Autoría propia.

Para que un robot se pueda movilizar en su entorno, de manera semi autónoma o autónoma, requiere de las siguientes capacidades elementales:

- Percepción.
- Localización.
- Estrategias o algoritmos de planeamiento y navegación.
- Sistema de control de movimiento.

En la figura 2.2, se resumen estas capacidades necesarias para la navegación autónoma.



Figura 2.2: Capacidades necesarias para la navegación autónoma. Autoría propia.

¹Más información en: SAE, levels of driving automation

2.3. F1tenth, Proyecto Open Source y Competición

F1TENTH es una comunidad internacional de investigadores, ingenieros y entusiastas de los sistemas autónomos. Se fundó originalmente en la Universidad de Pensilvania en 2016, pero desde entonces se ha extendido a muchas otras instituciones en todo el mundo. Su misión es fomentar el interés, la emoción y el pensamiento crítico sobre el campo, cada vez más omnipresente, de los sistemas autónomos, y especialmente en la robótica móvil. El proyecto F1TENTH consta de 4 pilares fundamentales que son: Construir, aprender, competir e investigar.² Comúnmente, una vez al año, se organiza una competencia en conferencias internacionales y se lleva a participar vehículos que siguen los parámetros del proyecto y que además son desarrollados tanto por aficionados como estudiantes de universidades de todo el mundo. En las últimas versiones de la competición se han incorporado herramientas de simulación virtual, para realizar las competiciones en ella y no necesariamente tener que trasladarse a otras locaciones e incluso optimizar el proceso de desarrollo de los vehículos.

2.3.1. Plataforma F1TENTH

La plataforma que utiliza F1TENTH es un robot móvil de configuración Ackerman, simulando un vehículo de Fórmula 1. Este consta de un chasis, ruedas, motores, unidades de procesamiento y tarjeta gráfica, así como un sensor LIDAR, encoders, acelerómetros, giróscopos y magnetómetros y otras partes que se pueden encontrar en la Lista de Materiales disponible en Master BOM

En la figura 2.3, se muestra la estructura del robot F1TENTH para referencia. Y en la figura 2.4, se puede observar la división en niveles que posee la plataforma móvil.

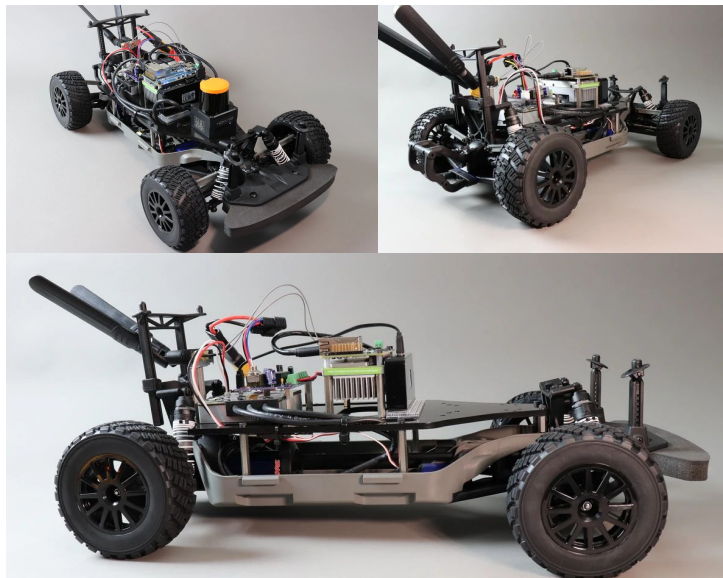


Figura 2.3: Vehículo F1TENTH. Tomado de <https://racecarj.com/products/racecar-j-robot-f1-tenth>

²Puede consultar F1TENTH, home page

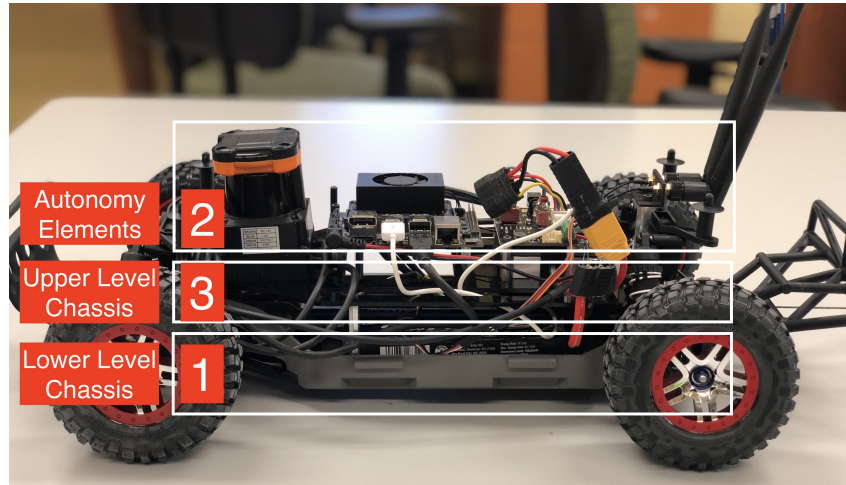


Figura 2.4: Distribución de niveles vehículo F1TENTH. Tomado de <https://f1tenth.org/build.html>

Adicionalmente, en la figura 2.5 se muestra un diagrama de muy alto nivel de los elementos principales que componen al robot móvil F1TENTH.

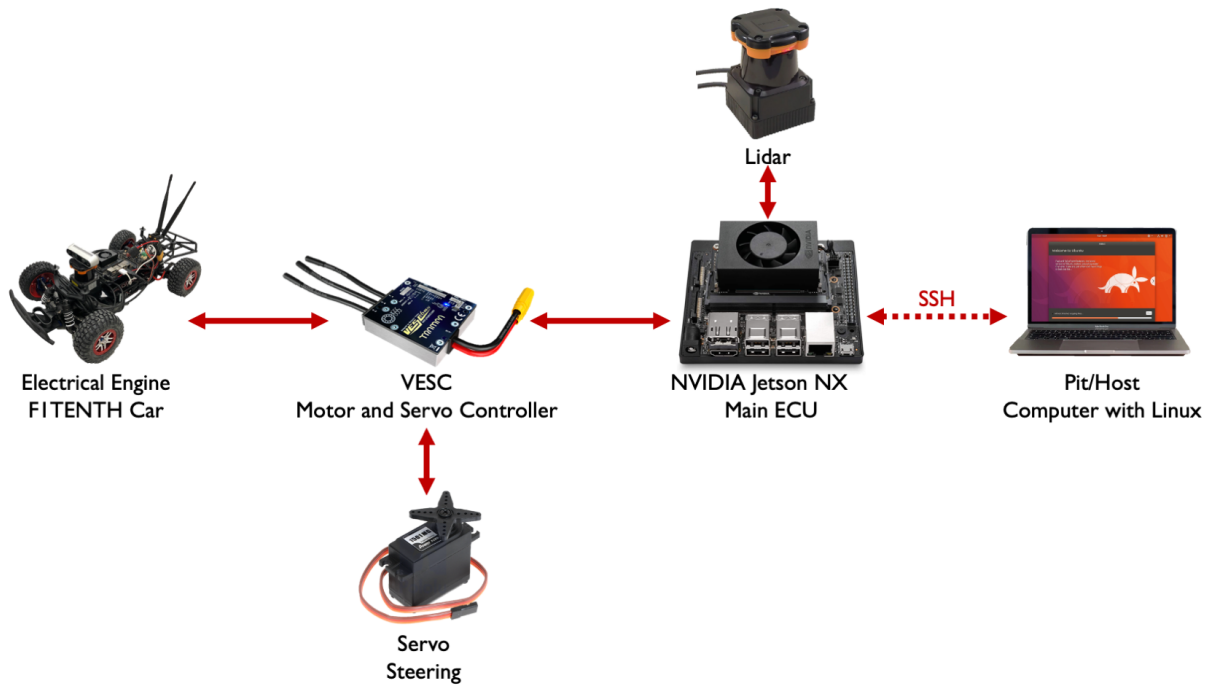


Figura 2.5: Distribución de niveles vehículo F1TENTH. Tomado de <https://f1tenth.org/build.html>

2.4. Robot Móvil en Configuración Ackerman

Este trabajo está centrado en la configuración de robot móvil en configuración Ackerman, y en esta sección extenderemos su estructura, modelado y peculiaridades. La configuración Ackerman, comúnmente conocida como: *car-like* [6], por su uso extensivo en los automóviles, consta de: 4 ruedas que se encuentran colocadas en en dos ejes, uno en la parte delantera y otro en la parte trasera del robot o vehículo. En eje delantero, se ubican las dos ruedas destinadas a dar dirección y en el eje trasero las ruedas encargadas de dar propulsión al vehículo, tal y como se muestra en la figura ??.

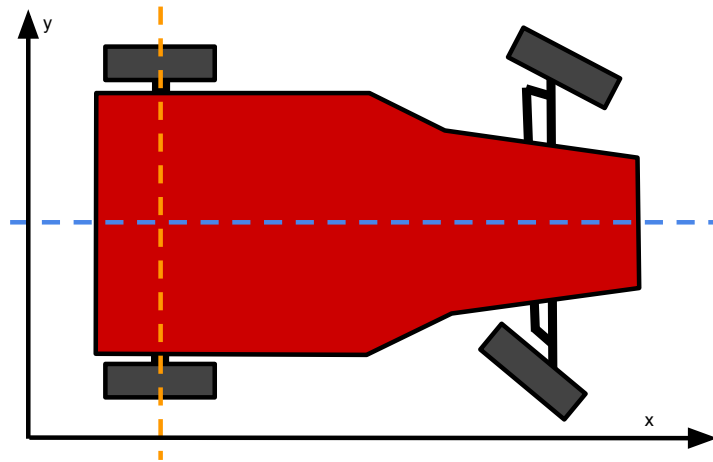


Figura 2.6: Estructura básica de la configuración Ackerman. Autoría propia.

Como se observa en la figura 2.6, en el eje de dirección cuyas ruedas que pueden girar alrededor de su eje z , el ángulo de orientación de las ruedas es distinto entre ellas cuando se realiza una maniobra de giro. Esta peculiaridad de diseño mecánico es debida a que la rueda interior a la curva se encuentra a una distancia menor del eje de rotación del vehículo que la rueda exterior a la curva; lo anterior para evitar que las ruedas delanteras derrapen, ya que geométricamente su recorrido es distinto alrededor del eje de rotación del cuerpo del vehículo. Respecto al punto anterior, cabe mencionar que se puede dar derrape en condiciones de alta velocidad, más no debido a la geometría intrínseca del vehículo gracias al diseño mecánico Ackerman.

En resumen, la rueda exterior a la curva recorre una mayor distancia que la rueda interior a la curva durante un giro, esto debido a la restricción cinemática que ejerce el eje trasero sobre el cuerpo del vehículo.

La descripción matemática de la configuración a trabajar permite definir el estado del robot (*pose*) y la detección de objetos en el entorno, lo cual es esencial para las tareas de localización y navegación [5]. En este sentido, se procede a definir el modelado del robot móvil en configuración Ackerman en la siguiente subsección.

2.4.1. Modelado del Robot Móvil en configuración Ackerman

Esta sección se basa en los aportes de [1, 2], donde se desarrolla el modelado del vehículo en configuración Ackerman, desde un modelo sencillo: Punto-Masa, hasta un modelo mucho más complejo: Multicuerpo. Para efectos de este proyecto y de la herramienta de simulación brindada por el proyecto *F1TENTH*, se empleará un modelo de conocido como "*Single-Track Model*", el cual contempla características tanto cinemáticas como dinámicas del robot. Entre estas características, la más importante para nuestro enfoque es el derrape del vehículo a alta velocidad, ya que la competición F1TENTH implica recorrido de circuitos a alta velocidad.

Se introduce la siguiente simbología que será utilizada más adelante:

Variable	Símbolo	Unidad
Ángulo de dirección	δ	rad
Ángulo de derrape	β	rad
Ángulo de rumbo	Ψ	rad
Velocidad del ángulo de dirección	v_δ	$\frac{rad}{s}$
Velocidad	v	$\frac{rad}{s}$
Velocidad máxima sin derrape	v_S	$\frac{rad}{s}$
Separación entre ruedas	l_{wb}	m
Altura del centro de gravedad	h_{cg}	m
Distancia de centro de gravedad a eje trasero	l_r	m
Distancia de centro de gravedad a eje delantero	l_f	m
Masa del vehículo	m	kg
Inercia del vehículo alrededor de z	I_z	kgm^2
Coefficiente de fricción	μ	-
Coefficiente de rigidez en curvas frontal/trasera	$C_{f,r}$	-
Mínimo valor posible	$\underline{\square}$	-
Máximo valor posible	$\overline{\square}$	-
Variable en dirección lateral	\square_{lat}	-
Variable en dirección longitudinal	\square_{long}	-

Inicialmente se desarrollan algunas restricciones de movimiento del eje de dirección y de aceleración. Posteriormente se cubre el modelo *Single-Track*.

Restricciones de dirección y aceleración

Las restricciones a la velocidad del ángulo de dirección, ángulo de dirección y velocidad son sencillas y vienen dadas por ??:

$$v_S \in [\underline{v_S}, \overline{v_S}], \quad v_S \in [\underline{v_S}, \overline{v_S}], \quad v_S \in [\underline{v_S}, \overline{v_S}] \quad (2.1)$$

Considerando que la potencia y el frenado son limitados, tenemos ??:

$$a_{long} \in [\underline{a}, \bar{a}(v)], \quad \bar{a}(v) = \begin{cases} a_{max}^{v_s/v}, & \text{para } v > v_s \\ a_{max}, & \text{de otra manera.} \end{cases} \quad (2.2)$$

Finalmente, considere el círculo de fricción (*aka Kamm's Circle*) que limita la aceleración absoluta en 2.3:

$$\sqrt{a_{long}^2 + a_{lat}^2} \leq a_{max}, \quad (a_{max} = v\dot{\Psi}) \quad (2.3)$$

Modelo *Single-Track*

Este modelo es también conocido como: Modelo de bicicleta. Posee una simplificación de 4 ruedas a 2 ruedas, colocando las 2 ruedas equivalentes a lo largo del eje central del vehículo y en las posiciones correspondientes de al eje trasero y delantero.³ Se toma en cuenta la transferencia de carga del vehículo debida a la aceleración longitudinal a_{long} , sin contemplar la dinámica de la suspensión. Estas fuerzas verticales ejercidas en el eje delantero y trasero son denotadas como $F_{z,f}$ 2.4 y $F_{z,r}$??, respectivamente.

$$F_{z,f} = \frac{mgl_f - ma_{long}h_{cg}}{lr + lf} \quad (2.4)$$

$$F_{z,r} = \frac{mgl_r + ma_{long}h_{cg}}{lr + lf} \quad (2.5)$$

³Este modelo posee singularidades a baja velocidad, por tanto, para velocidades menores a $0.1 \frac{m}{s}$ se utilizar el modelo *Kinematic Single-Track*. Podrá encontrar dicho modelo en la sección de anexos

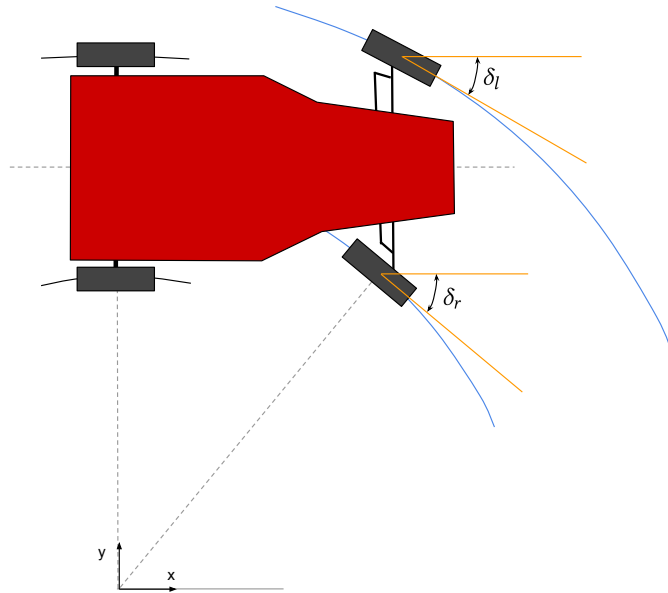


Figura 2.7: Diagrama para modelado de la configuración Ackerman sin simplificar. Autoría propia.

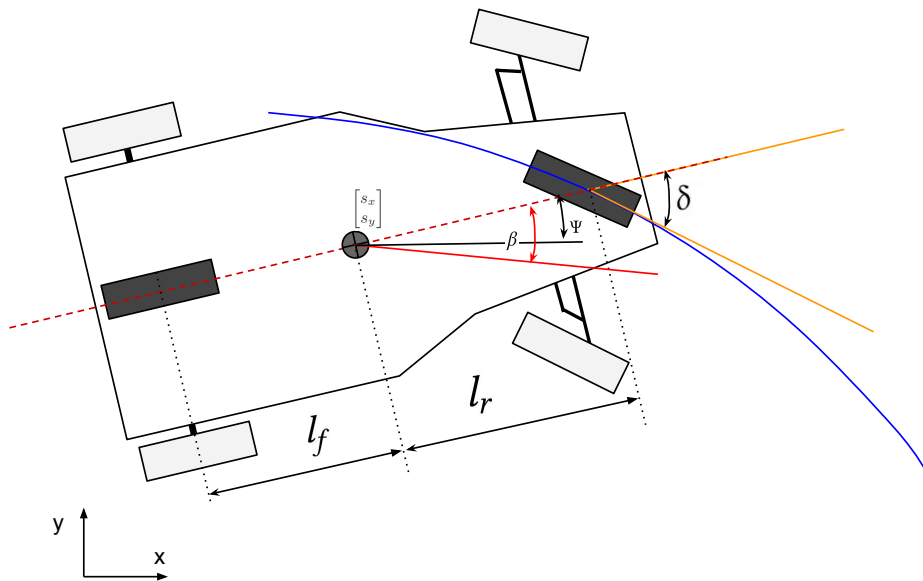


Figura 2.8: Diagrama para modelado de la configuración Ackerman simplificado al modelo de bicicleta. Autoría propia

Del modelo definido en [1,2] y utilizando el diagrama de la figura 2.8:

$$\dot{\delta} = v_{\delta} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \dot{\beta} = & \frac{\mu}{v(l_r + l_f)} (C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg})\delta - \\ & (C_{S,r}(gl_f + a_{long}h_{cg}) + C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg}))\beta + \\ & (C_{S,r}(gl_f + a_{long}h_{cg})l_r - C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg})l_f)\frac{\dot{\Psi}}{v}) - \Psi \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\Psi} = & \frac{m\mu}{I_z(l_r + l_f)} [l_f C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg})\delta + \\ & (l_r C_{S,r}(gl_f + a_{long}h_{cg}) - l_f C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg}))\beta] - \\ & (l_f 2C_{S,r}(gl_f + a_{long}h_{cg}) + l_r 2C_{S,f}(gl_r - a_{long}h_{cg}))\frac{\dot{\Psi}}{v} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\dot{v} = a_{long} \quad (2.9)$$

$$\dot{S}_x = v \cos(\beta + \psi) \quad (2.10)$$

$$\dot{S}_y = v \sin(\beta + \psi) \quad (2.11)$$

Adicionalmente la definición del ángulo de derrape:

$$\beta = \arctan\left(\tan(\delta)\frac{l_r}{l_{wb}}\right) \quad (2.12)$$

2.5. Algoritmos de Navegación Autónoma

Los vehículos autónomos basan sus decisiones en los módulos de planeamiento para crear o encontrar un camino, compuesto por una serie de puntos [7], que lleven al vehículo desde la posición actual hasta una posición final deseada. Lo anterior, siguiendo una trayectoria definida y evadiendo obstáculos cuando sea necesario.

2.5.1. Planeamiento Local y Global

En la navegación autónoma, los planeadores son los encargados de definir las acciones o decisiones que toma un robot dadas las circunstancias o situaciones que percibe de su entorno, dígame objetos ,localización por sensores y datos de trayectoria deseada, por ejemplo. Generalmente, estos planeadores requieren información del entorno a priori para funcionar, sin embargo hay algoritmos que dotan al robot de la capacidad de recorrer y recordar un mapa, mismo que luego puede ser utilizado para un planeamiento más efectivo y puramente autónomo.

Es normal que en la navegación de robots móviles se utilicen principalmente dos planeadores, bien conocidos como planeador global y planeador local. El planeador global es el encargado de definir un recorrido óptimo en el entorno que lo lleve de su punto inicial al destino [?], este planeador ya conoce el mapa a priori y además posee información sobre los obstáculos estáticos presentes en el mismo. El planeador local es el encargado de recalculer la ruta deseada cuando en el camino aparecen obstáculos dinámicos, o sea, obstáculos que no eran conocidos a priori por el planeador global, y tiene la tarea esencial de evadirlos para posteriormente volver a recuperar la trayectoria definida por el planeador global.

Ejemplos de planeadores globales comúnmente utilizados son: Voronoi, Dijkstra, Best First o descomposición celular; mientras los planeadores locales pueden ser: Braitenberg, Slides, Arcos y Segmentos o líneas de Clothoids. [7]

En resumen, el plan global se encarga de los algoritmos de seguimiento de trayectorias y el plan local se encarga de la evasión de obstáculos.

Bibliografía

- [1] Commonroad: Composable benchmarks for motion planning on roads. *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2017.
- [2] M Althoff and G. Wursching. *CommonRoad: Vehicle Models*. Technische Universitat Munchen, 2020.
- [3] A.O. Baturone. *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Marcombo, 2005.
- [4] K. Berns and E. Puttkamer. *Autonomous Land Vehicles: Steps towards Service Robots*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- [5] K. Berns and E. Puttkamer. *Autonomous Land Vehicles: Steps towards Service Robots*. Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- [6] J.P. Laumond and M. Overmars. *Algorithms for Robotic Motion and Manipulation: WAFR 1996*. CRC Press, 1997.
- [7] Pablo Marin-Plaza, Ahmed Hussein, David Martin, and Arturo de la Escalera. Global and local path planning study in a ros-based research platform for autonomous vehicles. *Journal of Advanced Transportation*, 2018:6392697, Feb 2018.
- [8] F.R. Más, Q. Zhang, and A.C. Hansen. *Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles*. Springer London, 2010.
- [9] F. Reyes. *Robótica - control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor, 2011.
- [10] R. Siegwart and I.R. Nourbakhsh. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. A Bradford book. Bradford Book, 2004.