

Desarrollo de un sistema robótico teleoperado con estabilizador autonomo para motos

Research paper as a course end project

Autor 1¹

cynthia.cordoba@uao.edu.co

Autor 2²

juan.hoyos@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecatrónica (1)
Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Biomédica (2)

Resumen

El desarrollo de un sistema teleoperado que permita la estabilización de los vehículos particularmente de las motos, radica básicamente en el aumento constante de los accidentes que se presentan en estos mismos cumpliendo con el poder garantizar la seguridad de los motociclistas que sean en diversas condiciones, se aumenta la efectividad del estabilizador durante maniobras a grandes velocidades, se logró llegar a un diseño ergonómico que permite la estabilización de la motocicleta, a través de encuestas se investigó sobre las mayores dificultades que podrían tener como riesgo de futuros accidentes y que se implementa para evitarlos, un 28% de las muertes en Colombia son causadas por accidentes en motocicleta, las probabilidades más altas de las muertes en Colombia son accidentes automovilísticos, aproximadamente unos 7.500 han fallecido a causa de esto. Aunque se han logrado avances significativos en la estabilización y teleoperación de motocicletas autónomas, aún existen limitaciones técnicas y lagunas en el conocimiento que deben ser abordadas.

Palabras Clave: Estabilidad, vehículo Autónomo, Control

Abstract

The development of a teleoperated system that allows the stabilization of vehicles, particularly motorcycles, basically lies in the constant increase in accidents that occur in them, complying with the power to guarantee the safety of motorcyclists in various conditions. increases the effectiveness of the stabilizer during maneuvers at high speeds, it was possible to reach an ergonomic design that allows the stabilization of the motorcycle, through surveys the greatest difficulties that could arise as a risk of future accidents were investigated and what is implemented to avoid them 28% of deaths in Colombia are caused by motorcycle accidents, the highest probability of deaths in Colombia are automobile accidents, approximately 7,500 have died from this. Although significant progress has been made in the stabilization and teleoperation of autonomous motorcycles, there are still technical limitations and gaps in knowledge that must be addressed.

Keywords: stability, autonomous vehicles, control

1. INTRODUCCIÓN

La motocicleta es un medio de transporte popular y eficiente que ofrece agilidad y flexibilidad en la movilidad urbana y en carreteras. Sin embargo, uno de los desafíos persistentes en la conducción de motocicletas es mantener la estabilidad, especialmente a bajas velocidades y durante maniobras complejas. Las caídas y accidentes relacionados con la inestabilidad de las motocicletas es un problema en la seguridad vial, representando un riesgo para los conductores.

La estabilidad de una motocicleta depende en gran medida de la habilidad del piloto para manejar el equilibrio del vehículo. A altas velocidades, el giro de las ruedas y el diseño aerodinámico contribuyen a mantener el equilibrio; sin

embargo, a bajas velocidades y durante maniobras lentas, la estabilidad no es buena. Este problema puede llevar a caídas inesperadas y accidentes graves, que a menudo resultan en lesiones para los motociclistas.

La tecnología de estabilización ofrece una solución innovadora que puede transformar la seguridad en la conducción de motocicletas, por lo que nuestro proyecto propuesto se centra en el desarrollo de un sistema robótico teleoperado con estabilizador autónomo para motocicletas. Este sistema tiene como objetivo implementar un algoritmo de control avanzado basado en PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para mantener el equilibrio de la motocicleta en tiempo real. Mediante la combinación de sensores de alta precisión, como giroscopios y acelerómetros, con un control adaptativo, el sistema permitirá que la motocicleta se mantenga estable tanto en movimiento como en reposo.

La importancia de este proyecto se enfoca en su potencial para mejorar de manera significativa la seguridad y eficiencia en la conducción de vehículos de dos ruedas. Al ofrecer una plataforma que se ajusta y adapta automáticamente para mantener la estabilidad, el sistema robótico no solo reducirá el riesgo de caídas y accidentes, sino que también aumentará la confianza de los motociclistas en condiciones variadas de manejo. Este avance no solo beneficiará a los motociclistas individuales, sino que también podría tener un impacto positivo en la industria de la motocicleta en general, fomentando la adopción de tecnologías robóticas y autónomas en el diseño de vehículos

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

El proyecto es realizado con el desarrollo de un sistema teleoperado el cual fue realizado con los siguientes materiales

- la parte del cuerpo de la moto esta diseñada en 3D con PLA
- la parte electronico constante de tres motores,un servomotor para mover el eje,un motor Dc encoder que genera el momento de inercia ,sensor que mueve la parte trasera

por otra parte,los materiales que se utilizaron para el software son los siguientes:

- se utiliza el ubuntu 20.04 con el sistema linux
- Ros2 humble
- Rviz para visualización del robot
- gazebo para los controladores

giroscopio:

El principio de funcionamiento de un giroscopio se basa en el momento angular (LL), que se expresa como:

$$L = I \cdot \omega \quad L = I \cdot \omega$$

donde:

- LL es el momento angular.
- I es el momento de inercia del rotor (una constante que depende de la masa y la geometría del rotor).
- ω es la velocidad angular del rotor.

Cuando se aplica un par (τ) al giroscopio, el cambio en el momento angular se da por:

$$\tau = dL/dt = d(I \cdot \omega)/dt$$

acelerometro

La aceleración (a) que mide un acelerómetro se relaciona con la fuerza (F) que actúa sobre una masa (m) mediante la segunda ley de Newton:

$$F = m \cdot a$$

donde:

- a es la aceleración que experimenta la masa.
- F es la fuerza aplicada.
- m es la masa del objeto.

Los acelerómetros modernos miden la aceleración a lo largo de múltiples ejes (generalmente 3 ejes: x, y, z)

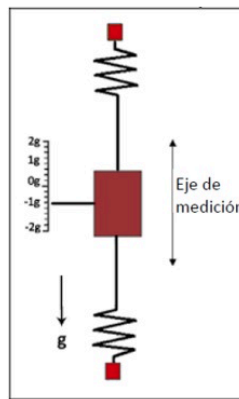


Imagen 1.acelerómetro

Velocidad Angular y giroscopio

La velocidad angular es la tasa de cambio del desplazamiento angular por unidad de tiempo, es decir que tan rápido gira un cuerpo alrededor de su eje:

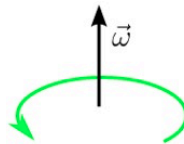


Imagen 2.velocidad angular y giroscopio

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Con un giroscopio podemos medir la velocidad angular, y si se integra la velocidad angular con respecto al tiempo se obtiene el desplazamiento angular (posición angular si se sabe dónde se inició el giro)

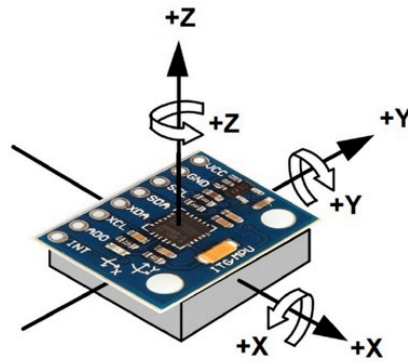


Imagen 3. Módulo acelerómetro

Como se explicó al inicio el giroscopio nos entrega la velocidad angular, y para calcular el ángulo actual necesitamos integrar la velocidad y conocer el ángulo inicial. Esto lo hacemos usando la siguiente fórmula:

$$\theta_x = \theta_{x_0} + \omega_x \Delta t$$

$$\theta_y = \theta_{y_0} + \omega_y \Delta t$$

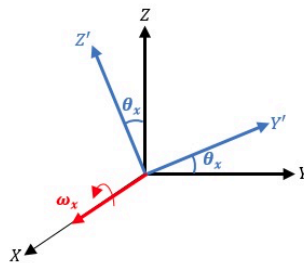


Imagen 4. Ángulo de rotación del giroscopio

implementación acelerómetro +giroscopio:

$$\text{angulo} = 0,98(\text{angulo} + \omega_{\text{giroscopio}} dt) + 0,02(\text{ang acelerometro})$$

amortiguadores de masa sintonizada:

Para la determinación de los parámetros del AMS se siguieron los siguientes criterios

a) *Masa*: Es conocido que mientras mayor es la masa del AMS, mayor es su eficiencia. Sin embargo se tienen limitaciones constructivas, por lo que se adoptó una masa del 1% de la masa total de la estructura. Por lo tanto, $\mu = 0.01$

b) *Resorte*: Se adoptó una relación de frecuencias entre AMS y estructura de 1 (sintonía perfecta). En el modelo adoptado, la rigidez del resorte va a estar definida por la rigidez flexional de la viga de acero. Para la determinación de las dimensiones de la columna (rigidez del resorte) se utilizó la ecuación de la frecuencia fundamental de una viga en voladizo con una masa concentrada en el extremo, en la cual la masa de la viga es despreciable frente a la masa concentrada

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{ML^3}}$$

c) *Amortiguamiento*: Se utilizó un amortiguamiento ficticio equivalente en el material de la columna con el objeto de simular el amortiguamiento del dispositivo.

para la parte de las simulaciones se hace en la herramienta rviz como se muestra en la figura

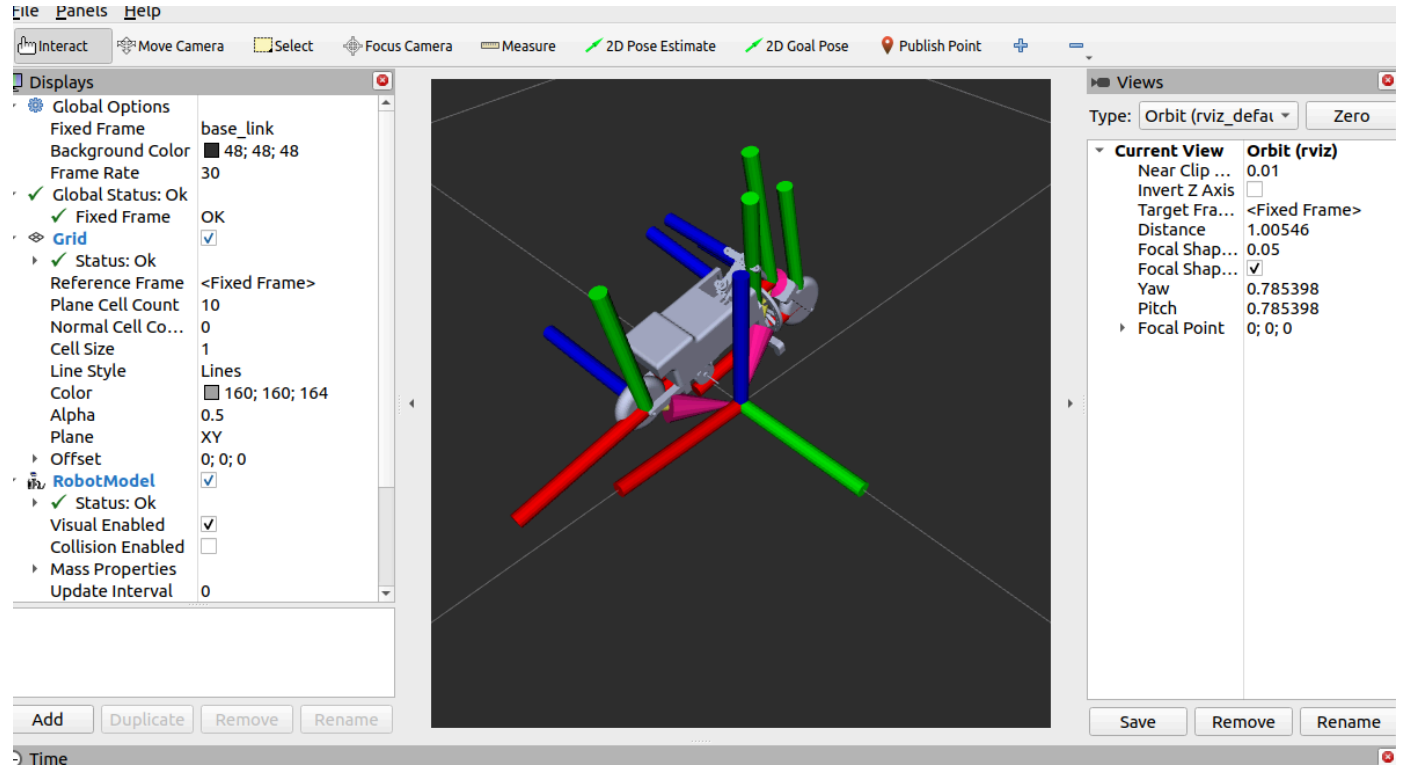


Figura1.simulación en rviz

para la simulación en rviz se tiene en cuenta la base_link con la que se tienen las inercias

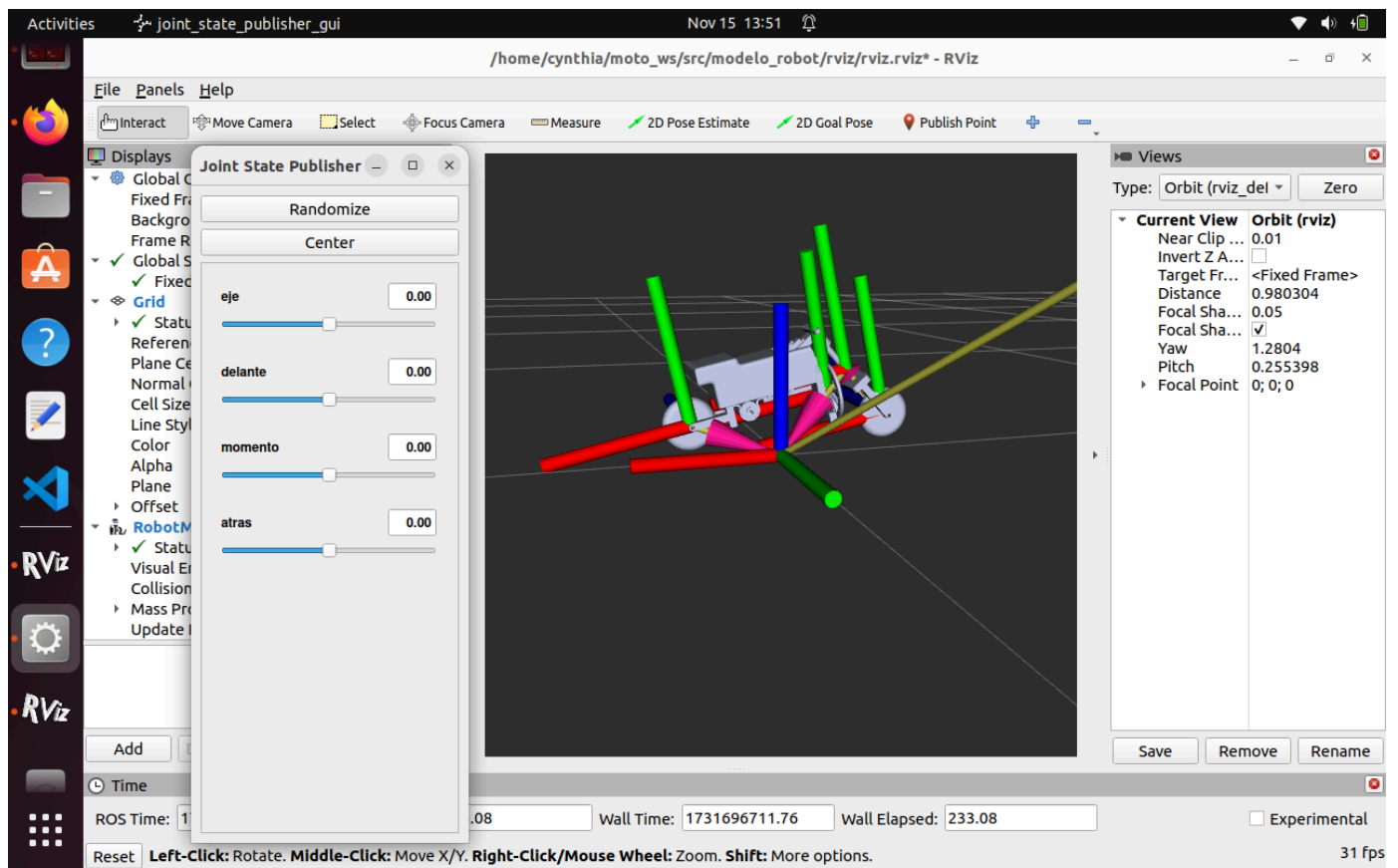


Figura2. simulación con join state publisher

como se muestra en la figura se tienen los join que son (eje,delante,momento,atrás)

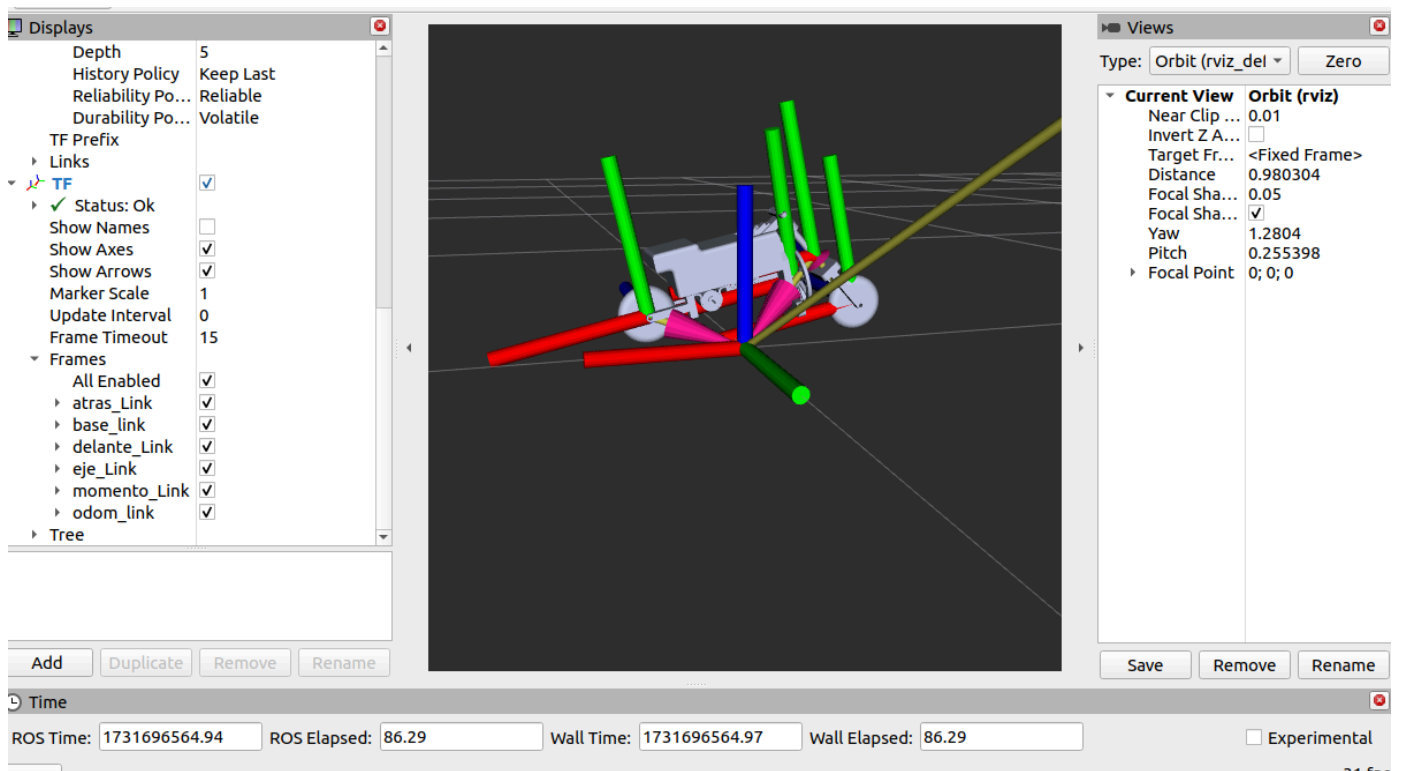


Figura3.simulacion frames

aqui se puede mostrar como funciona cada uno en base_link y con el join state se controla cada uno de estos con respecto a las incercias

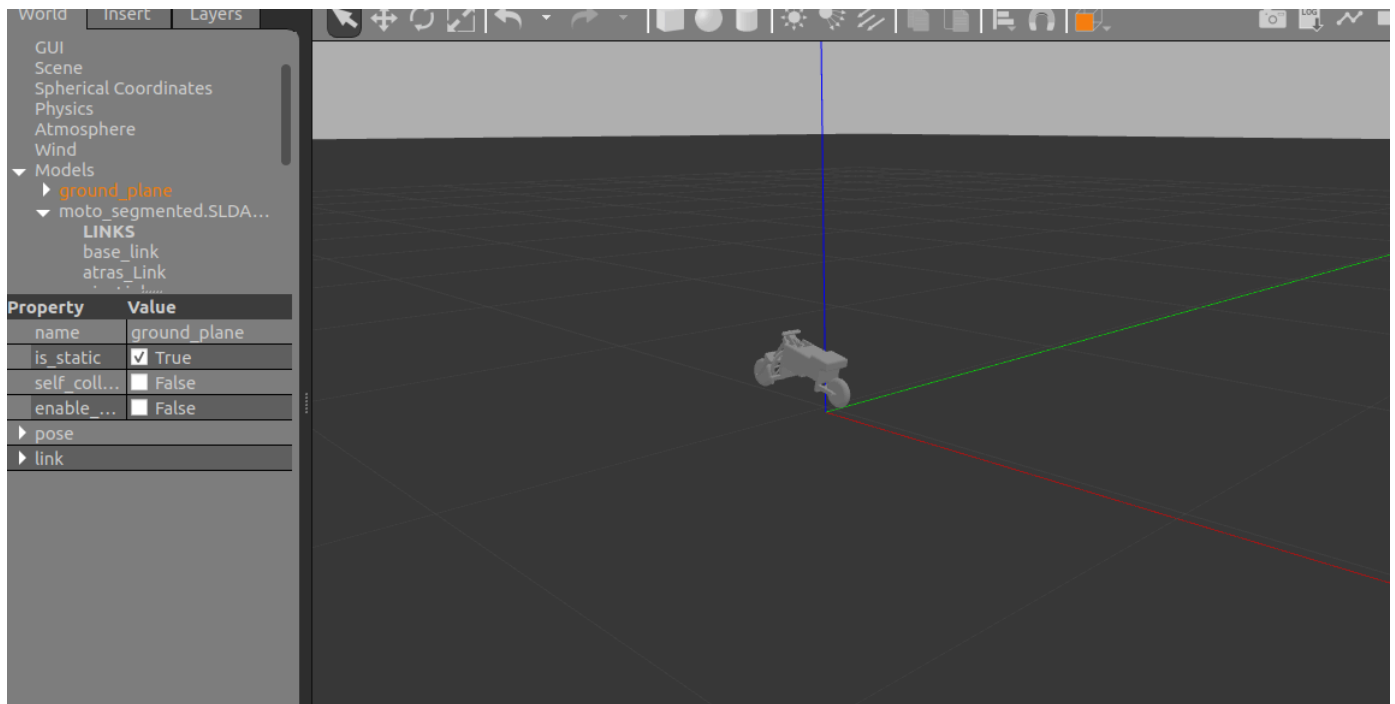


Fig4.simulación en condiciones iniciales

para esta simulación se tienen en cuenta las condiciones iniciales en 0 para todos los tres ejes y cuando se inicia esta al no estar completamente centrada tiende a caerse hacia un lado

Se muestra el gazebo en la siguiente figura para la que se usó el joint state para controlar tanto la dirección como que acelere o retroceda

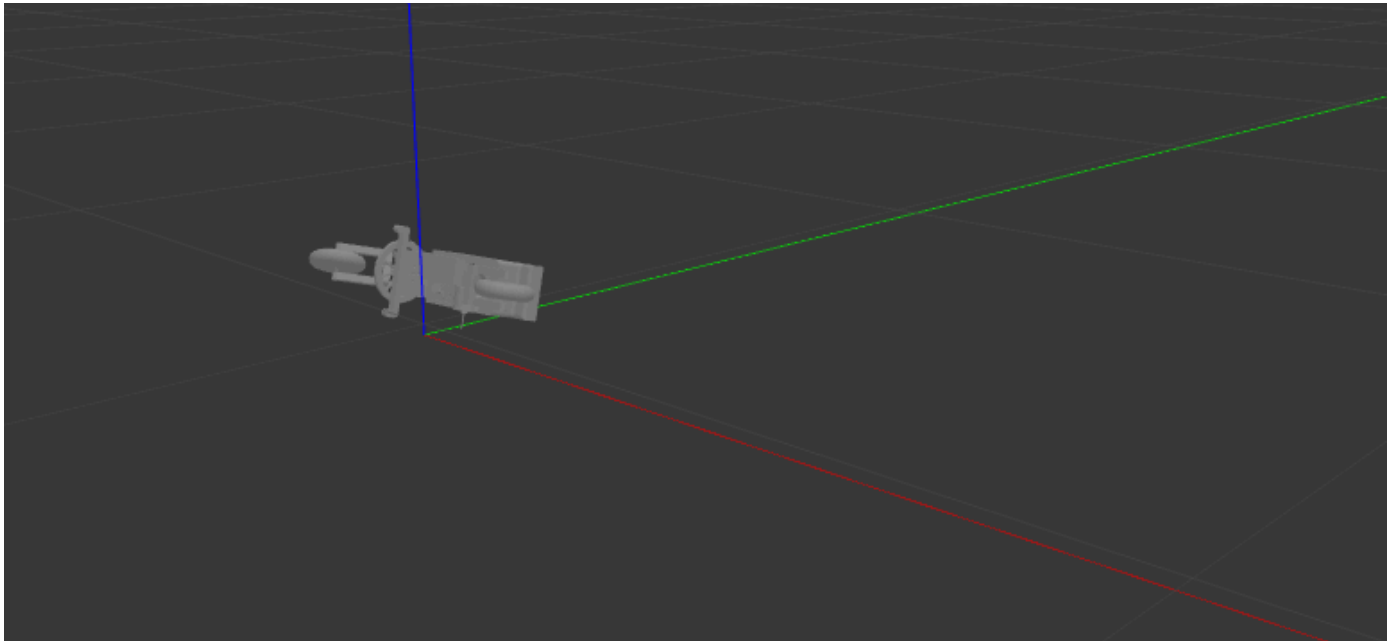
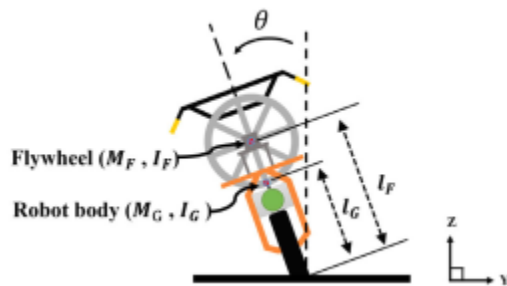


Fig5.simulación en la vida real

para este caso en la simulación se puede observar que la moto no tiene equilibrio a no ser que se detenga pues esta no cuenta con el equilibrio sola,sin embargo se logra ver

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la implementación del sistema estabilizador para la moto se tomó en consideración de varios informes para el desarrollo del proyecto, enfocándonos en la parte de tiempo de estabilización del robot se propusieron distintas posiciones y combinaciones de control en donde la rueda que generará el momento de inercia, en el [3.1] se propone un control inteligente con el método fuzzy ubicando el generador de momento de inercia en el asiento de la moto obteniendo los resultados de velocidad angular vs tiempo[3.2], obteniendo resultados satisfactorios, a partir de 1.5 grados el sistema intentará estabilizar logrando mantener una estabilización de 0 grados hasta 6 segundos.



[3.1] sistema estabilizador con fuzzy

velocidad angular vs tiempo

El robot fue diseñado a partir de estos modelos teniendo en cuenta la ergonomía del usuario, posicionando la rueda de estabilización en la parte frontal detrás de las ruedas delanteras, para garantizar la estabilización de la moto se procuró que la rueda pesará un 30% de masa total de la moto, basado en los experimentos consultados la rueda de estabilización ronda en todos los experimentos este valor de peso, a continuación, se replicó un prototipo en SolidWorks para definir el prototipo final.

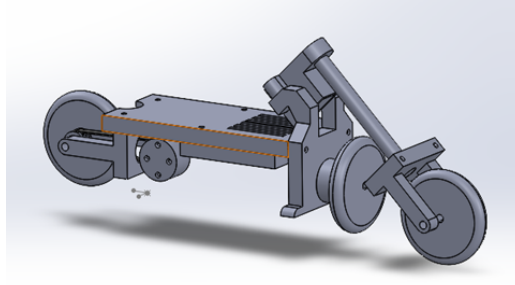


Figura6.Primer prototipo de la motocicleta.

El primer diseño tenía bastantes problemas en especial que la rueda no estaba equilibrando la posición de la moto y debido que se diseñó con llantas pequeñas, la rueda de estabilización se golpeaba en el suelo provocando que las piezas salieron volando, otro problema encontrado fue que la rueda no es lo suficientemente grande para proporcionarle masa por medio de tornillos y tuercas y muy ancho para poder insertar mas peso entre tornillos, también el espacio para poder sujetar todo los elementos electrónicos no era suficiente, por lo que no se podía integrar en un mismo producto.

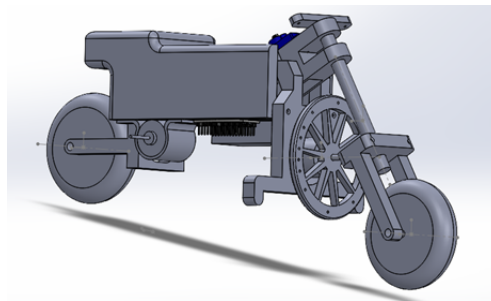


Figura7.Prototipo final de la motocicleta.

En este nuevo prototipo se mejoró la altura de la moto además del tamaño de rueda de estabilización, se mejoraron los detalles del ajuste de los actuadores y se estilizo el diseño, a partir de este prototipo se hicieron más pruebas y se instalaron todos los elementos para que el dispositivo funcione.

A pesar de haber mejorado la altura y tamaño de la rueda de estabilización, los resultados de estabilización no tuvieron una gran mejoría, debido a que se opto por usar motores brushless para tener una mayor potencia, lo cual nos dio varias desventajas con respecto otros motores, la principal fue el tiempo de respuesta del motor, debido a que el motor al

alcanzar grandes revoluciones se demora significativamente bastante para hacer el cambio de giro, esto también conlleva que ante perturbaciones repentinas el sistema puede reaccionar rápidamente pero tardara bastante en detenerse evitar salir de la franja.

Otro detalle que nos fijamos es que la mayoría de los proyectos basados en este sistema procura que la rueda esté lo mas arriba posible o también que la parte superior de la rueda esté con diferencia mas arriba de la moto por lo que se requeriría de otro diseño para comprobar esta hipótesis.

Para el funcionamiento de la moto se le incorporaron un sistema de arranque bidireccional, un sistema de timón para controlar la dirección, el sistema de control y comunicación con el ordenador y finalmente un sistema que estabiliza Angulo de inclinación, obteniendo la siguiente imagen.

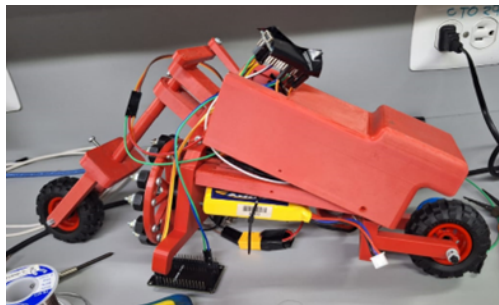


Figura8.Prototipo en la vida real.

Al realizarlo en materia se dieron a conocer mas detalles, en especial el espacio para retener el cableado y los drivers, se implemento

4. CONCLUSIONES

Aunque se han logrado avances significativos en la estabilización y teleoperación de motocicletas autónomas, aún existen limitaciones técnicas y lagunas en el conocimiento que deben ser abordadas. La mayoría de los estudios se han realizado en entornos controlados o simulados, dejando una falta de evidencia robusta sobre el rendimiento de estos sistemas en escenarios del mundo real. Los desafíos como la latencia en la teleoperación, la fiabilidad en entornos adversos y la integración eficiente de sensores aún requieren investigación adicional para garantizar la viabilidad comercial y la seguridad de las motocicletas autónomas.

REFERENCIAS

- [1] C. -H. Chiu and C. -Y. Wu, "Bicycle Robot Balance Control Based on a Robust Intelligent Controller," in IEEE Access, vol. 8, pp. 84837-84849, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992792.
 - [2] M. R. García, D. A. Mántaras, J. C. Álvarez and D. Blanco F, "Stabilizing an Urban Semi-Autonomous Bicycle," in IEEE Access, vol. 6, pp. 5236-5246, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2795247.
 - [3] Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). Springer Handbook of Robotics (2nd ed.). Springer.
 - [4] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots (2nd ed.). MIT Press.
- Esta obra incluye los avances clave en el desarrollo de robots móviles, destacando los sistemas de control y estabilización que han influido en el diseño de vehículos autónomos.
- [5] Sheridan, T. B. (1992). Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control. MIT Press.
 - [6] Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. (2001). Global positioning systems, inertial navigation, and integration. John Wiley & Sons.
 - [7] Titterton, D., & Weston, J. (2004). Strapdown inertial navigation technology. IET.
 - [8] Den Hartog, J. P. (1956). Mechanical Vibrations (4th ed.). McGraw-Hill.
 - [9] Pinkaew, T., & Lukkunaprasit, P. (2003). Seismic effectiveness of tuned mass dampers for damage reduction of structures. Engineering Structures, 25(1), 39-46.
 - [10] Ogata, K. (2010). Modern control engineering (5th ed.). Pearson.
 - [11] Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). Feedback control of dynamic systems (7th ed.). Pearson.