

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Proyecto Integrador

Diseño y simulación de un vehículo autónomo solar, haciendo uso de caña de bambú en su fabricación, para operación en el campus Gustavo Galindo – ESPOL

Previo la obtención del título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Cristopher Enrique Vacas Baque

Jefferson Bolívar González González

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023 – 2S

Dedicatoria

A mis padres, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y motivación. A mi tío y abuela, por su constante aliento y comprensión. A mis profesores, cuyas enseñanzas han dejado una marca indeleble en mi formación académica. A los que han contribuido a mi éxito, les dedico este logro con profundo agradecimiento.

Cristopher Vacas.

A mis padres, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo y motivación. A mi abuela, por su constante aliento y comprensión. A mis profesores, cuyas enseñanzas han dejado una marca indeleble en mi formación académica. A los que han contribuido a mi éxito, les dedico este logro con profundo agradecimiento.

Jefferson González.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi supervisor, el Dr. Dennys Paillacho, por su orientación experta y dedicación a lo largo de este proceso. También agradezco a mi compañero de tesis, cuyas discusiones y aportes enriquecieron mi trabajo. Mi gratitud se extiende a mi familia y amigos por su apoyo constante. A todos los que contribuyeron, mi agradecimiento por ser parte fundamental de este logro académico.

Cristopher Vacas.

Jefferson González.

Declaración Expresa

Nosotros Christopher Enrique Vacas Baque, Jefferson Bolívar González González acordamos y reconocemos que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 25 de octubre del 2023.



Cristopher Enrique

Vacas Baque



Jefferson Bolivar

González González

Evaluadores

Dennys Dick Cortez Alvarez

Profesor de Materia

Dennys Paillacho Chiluiza

Tutor de proyecto

Resumen

En esta tesis se presenta un análisis que abarca el diseño, simulación y prototipado de un vehículo autónomo solar, que en cuya construcción realiza el uso de la caña de bambú. El escenario de simulación tridimensional se sitúa en el campus Gustavo Galindo – ESPOL, con el objetivo primordial de mitigar la congestión de personal universitario al ingreso y salida de la institución. La investigación resalta el papel esencial que desempeña la caña de bambú en el diseño del vehículo autónomo, siguiendo como guía la "Norma técnica E.100 Bambú" para su desarrollo y simulación. Para el diseño detallado, se empleó el software de diseño 3D, logrando un modelado tridimensional junto con los planos de construcción necesarios. La simulación de la navegación en el campus se lleva a cabo mediante un modelo implementado en ROS con el sistema Ackerman correspondiente. En el proceso de prototipado, se ejecuta un diseño a escala del vehículo para verificar su autonomía y potencia, contrastándolo con los valores teóricos calculados. Los resultados concluyen que, en términos de construcción, la caña no solo se presenta como un material eco amigable, sino que también exhibe robustez y solidez según las pruebas realizadas. La simulación incluye la conducción autónoma mediante programas como ROS y Gazebo, desarrollados en el sistema operativo Linux. Este enfoque científico y tecnológico contribuye significativamente a la comprensión y aplicación de vehículos autónomos con características sostenibles en entornos específicos.

Abstract

This thesis presents an analysis covering the design, simulation, and prototyping of an autonomous solar vehicle, constructed using bamboo cane. The three-dimensional simulation scenario is set on the Gustavo Galindo – ESPOL campus, with the primary objective of alleviating congestion among university personnel entering and leaving the institution. The research underscores the indispensable role played by bamboo cane in the vehicle's design, adhering to the "Technical Standard E.100 Bamboo" as a guide for development and simulation.

For the detailed design, 3D design software was used, achieving three-dimensional modeling along with the necessary construction plans. The simulation of campus navigation is carried out using a model implemented in ROS with the corresponding Ackerman system.

In the prototyping phase, a scaled design of the vehicle is executed to verify its autonomy and power, contrasting with the calculated theoretical values. The results conclude that, in terms of construction, bamboo cane not only proves itself as an eco-friendly material but also demonstrates robustness and solidity based on the conducted tests.

The simulation incorporates autonomous driving using programs such as ROS and Gazebo, developed on the Linux operating system. This scientific and technological approach significantly contributes to understanding and applying autonomous vehicles with sustainable characteristics in specific environments.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de tabla	X
Índice de planos.....	XI
Índice de ecuaciones.....	XI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del problema.....	4
1.3 Justificación del problema	5
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Marco teórico.....	8
1.5.1 Material de construcción del vehículo.....	8
1.5.2 Vehículo eléctrico solar autónomo.....	13
1.5.3 Ruta del Campus Gustavo Galindo.	24
1.5.4 Sistema de propulsión	25
1.5.5 Software	26
1.5.6 Movilidad sostenible	31
1.5.7 Diseño y construcción de un vehículo eléctrico autónomo con energía solar.....	32
1.5.8 Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en zona de estacionamiento	32

1.5.9	Ecobike: utilización de bambú en la construcción de bicicletas ecológicas	33
Capítulo 2	35
2.1	Revisión bibliográfica.....	36
2.2	Diseño del vehículo autónomo solar.....	39
2.2.1	Cálculo de energía.....	40
2.2.2	Selección de materiales y componentes	42
2.3	Software de simulación	51
2.4	Consideraciones legales y éticas.....	52
Capítulo 3	53
3.1	Resultados y análisis.....	54
3.2	Parámetros de diseño	55
3.2.1	Cargas muertas	55
3.2.2	Cargas vivas	56
3.2.3	Prueba de momento de ruptura de la caña de bambú	58
3.2.4	Construcción del prototipo	63
3.2.5	Pruebas en condiciones controladas	66
3.2.6	Ajustes y optimizaciones finales	67
3.2.7	Diseño de vehículo y simulación	67
3.2.8	Análisis de costos	77
Capítulo 4	82
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	83
4.1.1	Conclusiones	83
4.1.2	Recomendaciones.....	85
	Referencias bibliográficas.....	87
	Apéndice A	92

Apéndice B..... 94

Apéndice C..... 97

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
R&D	Research and Development
CC	Corriente Continua
DC	Corriente Directa
CARLA	Car Learning to Act
FCV	Facultad de Ciencias de la Vida
LiDAR	Light Detection and Ranging
IA	Inteligencia Artificial
ROS	Robot Operating System
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
BEV	Vehículos eléctricos a batería
CAD	Computer Aided Design

Simbología

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
V	Voltaje
I	Corriente
Li-ION	Iones de litio
LiPo	Polímero de litio

Índice de figuras

Figura 1 <i>Tipos de variedades de bambú en Ecuador</i>	8
Figura 2 <i>Tipos de vehículos eléctricos</i>	14
Figura 3 <i>Mapeo realizado por IA de un vehículo autónomo</i>	15
Figura 4 <i>Componentes del automóvil solar</i>	16
Figura 5 <i>El chasis y sus componentes.</i>	17
Figura 6 <i>Tipos de Chasis</i>	18
Figura 7 <i>Geometría de dirección de Ackermann</i>	19
Figura 8 <i>Líneas de carrocería</i>	23
Figura 9 <i>Baterías de litio</i>	24
Figura 10 <i>Mapa satelital de la ruta entre garita y rectorado del Campus.</i>	24
Figura 11 <i>Efecto fotovoltaico</i>	26
Figura 12 <i>Elaboración de pieza en software CAD</i>	27
Figura 13 <i>Diagrama radial de ROS</i>	28
Figura 14 <i>Comunicación vía topic y servicio</i>	29
Figura 15 <i>Conjuntos de transformadas de un brazo robótico</i>	29
Figura 16 <i>Simulación del mapeo y desplazamiento de un robot</i>	30
Figura 17 <i>Visualización de datos de sensores de un automóvil robótico</i>	31
Figura 18 <i>Sistema Fotovoltaico en estacionamiento</i>	33
Figura 19 <i>Cuadro de Bicicleta construida con caña de bambú</i>	34
Figura 20 <i>Controlador de velocidad</i>	45
Figura 21 <i>Controlador de carga Solar</i>	49
Figura 22 <i>Paneles solares en CIDIS</i>	50
Figura 23 <i>Prueba de resistencia de la caña de bambú</i>	60
Figura 24 <i>Gráfico del momento de ruptura según su carga</i>	62
Figura 25 <i>Tablero eléctrico para aplicación fotovoltaica</i>	63
Figura 26 <i>Chasis modificado del prototipo</i>	64
Figura 27 <i>Diagrama de conexión eléctrica</i>	65
Figura 28 <i>Prueba de campo</i>	66
Figura 29 <i>Diseño 3D</i>	69
Figura 30 <i>Diagrama de ejecución de simulación</i>	70

Figura 31 <i>Simulación de una sección de la ciclovía espol en Gazebo</i>	71
Figura 32 <i>rqt_graph_RosGraph</i>	76
Figura 33 <i>Simulación Gazebo y código de control</i>	77
Figura 34 <i>Diagrama de conexiones del sistema fotovoltaico</i>	94
Figura 35 <i>Chasis modificado del prototipo</i>	94
Figura 36 <i>Colocación de componentes de potencia</i>	95
Figura 37 <i>Conexión de componentes eléctricos</i>	95
Figura 38 <i>Prueba en terreno llano</i>	96
Figura 39 <i>Muestra 1 carga 420kg</i>	97
Figura 40 <i>Muestra 2 carga 420 kg</i>	97
Figura 41 <i>Muestra 4 carga de 650kg</i>	98
Figura 42 <i>Muestra 6 carga 300 kg</i>	98
Figura 43 <i>Muestra 8 carga 390 kg</i>	99

Índice de tabla

Tabla 1 <i>Comparación entre caña de bambú y fibra de vidrio</i>	11
Tabla 2 <i>Clasificación de motores</i>	20
Tabla 3 <i>Comparación de propuestas</i>	37
Tabla 4 <i>Selección de banco de baterías para prototipo</i>	47
Tabla 5 <i>Tabla de datos Panel Solar</i>	50
Tabla 6 <i>Relación de Cargas Muertas</i>	56
Tabla 7 <i>Relación de Cargas Vivas</i>	56
Tabla 8 <i>Datos de prueba</i>	57
Tabla 9 <i>Tabla de prueba de Potencia</i>	58
Tabla 10 <i>Especificaciones sobre la caña y su punto de ruptura</i>	61
Tabla 11 <i>Parámetros de diseño</i>	68
Tabla 12 <i>Tabla de costo de componentes</i>	78
Tabla 13 <i>Tabla de Costos de Componentes para el Prototipo</i>	79
Tabla 14 <i>Cuadro comparativo</i>	80

Índice de planos

Plano 1 <i>Estructural vista lateral y posterior</i>	92
Plano 2 <i>Estructural vista inferior</i>	92
Plano 3 <i>Estructural soporte de caña</i>	93

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. <i>Energía Cinética</i>	40
Ecuación 2. <i>Energía de rodadura</i>	41
Ecuación 3. <i>Trabajo de Ascenso y Descenso</i>	41
Ecuación 4. <i>Energía total</i>	42
Ecuación 5. <i>Fórmula del Esfuerzo a Comprensión</i>	59

Capítulo 1

1.1 Introducción

En los últimos años, ha crecido una necesidad de impulsar un desplazamiento amigable ambientalmente y constante entre las instalaciones del Campus Gustavo Galindo. La tecnología, motivada a raíz de la energía solar, se presenta como alternativa viable que no solo está respaldada por sistemas de desplazamiento autónomo, sino, que emerge como una innovación en el mercado. Con ello se busca reducir la urgente necesidad de depender de los combustibles fósiles, un recurso de alta demanda, pero lo más importante, es tóxico para el medioambiente y la salud de las comunidades o sociedades alrededor. En el caso de una fuente renovable, sostenible y libre de emisiones nocivas de gases de efecto invernadero ayuda a cumplir con la visión.

Se ha estudiado diversos artículos en las siguientes plataformas digitales de alto renombre como Google Académico, Scienedirect, Pubmed y Scopus. En los estudios revisados, no solo en Ecuador, se buscó una transición a un uso de energía limpia, sino, un fenómeno global y progresivamente, con lo que se busca dejar el uso de combustibles fósiles para llegar a biocombustibles, hidroeléctricas, pero, en particular, solar.

En Perú, desde 2018 se han implementado varios programas con el objetivo de fomentar una participación más activa de las energías limpias. Se busca elevar el consumo de energía limpia del país al 15% en el corto plazo, con una visión de alcanzar un mercado energético con un 40% de energía renovable para 2040. Este ambicioso objetivo aspira a lograr un 80% de consumo de energía renovable en el futuro (Urphy Vásquez Baca, 2018).

Los beneficios potenciales de la energía solar son notables. Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), la energía solar es la fuente de energía que experimenta el crecimiento más rápido a nivel mundial. En 2021, se instalaron alrededor de 160 gigavatios de capacidad de energía solar a nivel global, lo que representa un incremento significativo en

comparación con años anteriores. Sin embargo, el desafío radica en cómo aprovechar eficazmente esta energía en el sector del transporte (Tambi Issac, 2020).

Un análisis de factibilidad realizado en la ciudad de Cuenca, basado en datos empíricos y observaciones, subraya la necesidad de incrementar la disponibilidad de transporte público para atender la demanda en horas de congestión. Esta carencia conduce a una creciente dependencia de vehículos privados, con consecuencias negativas en términos de congestión vial, contaminación del aire y daños ambientales.

La elección de la caña de bambú como material de construcción para un vehículo autónomo solar adquiere relevancia en este contexto. En este contexto, la caña de bambú emerge como un material estructural de gran potencial, respaldado por sus características físicas y mecánicas excepcionales, además de su accesibilidad y costo eficiente. Este recurso natural, renovable y de rápido crecimiento, posee características excepcionales que lo convierten en una alternativa prometedora para la fabricación de vehículos autónomos. La tesis se propone explorar en detalle la aplicación de la caña de bambú en la construcción de un vehículo autónomo solar y su simulación en diversos contextos de movilidad. A través de este enfoque, se busca no solo proporcionar una solución técnica, sino también avanzar hacia un futuro más limpio, sostenible y habitable.

Este análisis de factibilidad, respaldado por datos empíricos y observaciones, revela que la disponibilidad de buses y vehículos en las horas de mayor congestión es insuficiente para satisfacer las necesidades de desplazamiento de la población. Como resultado, se intensifica la dependencia de los vehículos privados, exacerbando los problemas relacionados con la congestión del tráfico, la contaminación del aire y el impacto ambiental negativo (David Avendaño, 2020).

La necesidad de abordar este problema se torna aún más evidente cuando se considera que el transporte público es una solución más sostenible y eficiente desde el punto de vista energético en comparación con los vehículos privados. La falta de opciones de transporte público confiables y

accesibles no solo tiene un impacto negativo en la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también contribuye significativamente a los problemas medioambientales.

En este contexto, la propuesta de diseñar y simular un vehículo autónomo solar, fabricado con materiales sostenibles como la caña de bambú, adquiere una importancia aún mayor. Un vehículo de estas características podría proporcionar una alternativa atractiva y sostenible al transporte privado y público insuficiente, reduciendo la dependencia hacia los vehículos convencionales y promoviendo la adopción de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente. Esta investigación no solo aborda un problema crítico en términos de movilidad, sino que también se alinea con los valores de sostenibilidad y responsabilidad en la gestión del transporte urbano.

1.2 Descripción del problema

En el campus universitario Gustavo Galindo, se presenta un desafío crítico que demanda atención inmediata: la gestión eficiente de los espacios físicos destinados al transporte. En medio de un constante incremento en la población universitaria, se han identificado problemas significativos en las distintas modalidades de salida del campus, principalmente debido a la escasez de unidades de transporte, como autobuses internos y bicicletas.

La falta de disponibilidad de estos medios de transporte está generando obstáculos significativos para la movilidad de la comunidad universitaria. Esta situación no solo afecta la eficiencia en la salida del campus, sino que también tiene un impacto directo en la experiencia diaria de estudiantes, profesores y personal.

Abordar este desafío implica una revisión exhaustiva de la gestión actual de los recursos de transporte, considerando la cantidad de unidades disponibles y la eficiencia de sus rutas. Además, se deben explorar soluciones creativas, como la posible implementación de vehículos autónomos de transporte, para garantizar una movilidad efectiva y sin contratiempos.

Este enfoque busca no solo resolver la escasez actual de medios de transporte, sino también establecer un sistema sostenible y eficiente que se adapte al continuo crecimiento de la población universitaria. Al abordar directamente estos problemas de movilidad, aspiramos a mejorar significativamente la calidad de vida en el campus Gustavo Galindo y fortalecer la experiencia general de la comunidad universitaria.

1.3 Justificación del problema

El proyecto de investigación propuesto, "Diseño y simulación de un vehículo autónomo solar, haciendo uso de caña de bambú en su fabricación, para operación en el campus Gustavo Galindo – ESPOL", surge como una respuesta directa a dos problemáticas cruciales que afectan no solo al entorno universitario, sino también a la sociedad guayaquileña en conjunto, esto debido también a la contaminación ambiental generada por los buses de transporte urbano en Guayaquil, en una tesis que busca aclarar y proponer mejores alternativas para una generar un medio ambiental más sostenible se detalla la complicada situación de su comunidad (Vera Echeverria, 2022).

La carencia de unidades de transporte sostenibles ha generado una creciente dependencia de vehículos convencionales, los cuales emiten gases de efecto invernadero y contribuyen al cambio climático. En este contexto, el diseño de un vehículo autónomo impulsado por energía solar, construido con materiales sostenibles como la caña de bambú, representa una estrategia innovadora y eficaz para reducir la huella de carbono del campus. Esta iniciativa no solo responde a la urgencia de abordar la crisis climática, sino que también establece un modelo a seguir para promover prácticas de movilidad responsables y respetuosas con el entorno.

La falta de opciones de transporte accesible ha tenido un impacto significativo en la movilidad de la comunidad en el campus. La implementación de un vehículo autónomo solar no solo solventará esta necesidad crítica, sino que también mejorará la accesibilidad, permitiendo un flujo más eficiente de personas y recursos dentro del campus Gustavo Galindo – ESPOL. Esta solución no solo conlleva beneficios prácticos inmediatos, sino que también contribuye a la inclusión y participación plena de todos los miembros de la comunidad universitaria.

Este proyecto de investigación no solo representa una innovación tecnológica, sino que también aborda cuestiones críticas relacionadas con la sostenibilidad y la movilidad en entornos

universitarios. Los resultados obtenidos podrán extrapolarse a otras instituciones educativas y espacios urbanos, promoviendo así la adopción de soluciones de transporte más limpias y eficientes a nivel regional y nacional.

En resumen, la realización de este proyecto contribuirá significativamente al avance de la tecnología de vehículos autónomos alimentados por energía solar y al fomento de prácticas de diseño y fabricación sostenibles en el campo de la ingeniería.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un vehículo autónomo solar con materiales sostenibles, como la caña de bambú, para ofrecer una solución de transporte eco-amigable y eficiente en el campus Gustavo Galindo de la ESPOL.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar una carrocería de vehículo que optimice el uso de la caña de bambú en cuanto a peso, resistencia y seguridad, garantizando la integridad estructural del vehículo.
2. Integrar un sistema fotovoltaico móvil para el diseño de un vehículo autónomo solar, considerando su capacidad de captar y transformar la energía solar en electricidad para impulsar el funcionamiento del vehículo.
3. Simular el comportamiento del vehículo autónomo, con el fin de evaluar su control, percepción y rendimiento en entornos simulados que representen escenarios óptimos para la conducción.
4. Adaptar un sistema de control y propulsión del motor, evaluando y seleccionando las tecnologías y componentes más apropiados para el sistema, considerando factores como la electrónica de potencia, sensores, algoritmos de control y sistemas de transmisión.

1.5 Marco teórico

En esta sección, se presenta una introducción literaria a los principios teóricos esenciales para desarrollar un vehículo autónomo solar y los sistemas integrados en él. Esto incluye aspectos fundamentales como el sistema de propulsión, los materiales de construcción, el sistema de manejo, el software de simulación y detalles de simulación de este.

1.5.1 Material de construcción del vehículo

Se emprendió una revisión exhaustiva para analizar y comparar las propiedades y características de la caña de bambú en relación con los materiales tradicionales para la construcción de un vehículo como el acero y la fibra de vidrio.

1.5.1.1 Caña de bambú.

En el Ecuador existen diferentes tipos de tallos y plantas de caña de bambú. Estas plantas pertenecen a la familia de las gramíneas y son conocidas por su rápido crecimiento, resistencia y versatilidad. El bambú es utilizado en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la artesanía.

Figura 1 Tipos de variedades de bambú en Ecuador

a) *Bambú Guadua* b) *Bambú Dendrocalamus* c) *Bambú Chusquea* (Laborda, 2022).



a)



b)



c)

La caña de Bambú Guadua (ver la Fig.1.a), también conocida como Guadua angustifolia, es una especie común en Ecuador, valorada por su tamaño, resistencia y flexibilidad en la construcción. El Bambú Dendrocalamus (ver la Fig.1.b), presente en el país, se distingue por sus cañas largas y rectas, utilizadas en la construcción y fabricación de muebles y artesanías. Por otro lado, el Bambú Chusquea (ver la Fig.1.c), hallado en regiones más altas como los páramos, ofrece cañas más delgadas, empleadas en la fabricación de instrumentos musicales, cestería y otros productos artesanales (**Laborda, 2022**).

1.5.1.2 Provincias donde está la caña de bambú.

El bambú se distribuye en varias provincias de Ecuador, especialmente en las regiones de la costa y la Amazonía, donde las condiciones climáticas son propicias para su desarrollo. Provincias como Manabí son conocidas por extensas áreas de bambú, destacando la Reserva Ecológica Mache-Chindul. En Guayas, otra provincia costera, la vegetación favorece el crecimiento de esta planta. En la región sierra, Azuay también cuenta con áreas donde se cultiva y se encuentra bambú, especialmente en zonas más elevadas. En la región amazónica, provincias como Sucumbíos y Napo ofrecen un entorno ideal para el crecimiento de bambú debido a la selva amazónica circundante (García 2019).

1.5.1.3 Fibra de vidrio.

En la industria automotriz la fibra de vidrio es de suma importancia debido a sus características y ventajas que ofrece.

1.5.1.3.1 Usos en la industria automotriz.

La fibra de vidrio se emplea ampliamente en diversas aplicaciones automotrices. En la carrocería, se utiliza para fabricar parachoques, capós, puertas y otras partes, especialmente en vehículos deportivos que requieren reducción de peso. En las correas y cinturones, su

resistencia a la tracción se combina con el caucho en la correa de distribución y la correa trapezoidal. Además, su resistencia a la abrasión la hace ideal para componentes anti-abrasivos como pastillas de freno y embragues. En la industria de neumáticos, se emplea para reforzar tanto neumáticos radiales como de estructura diagonal, mejorando su durabilidad y rendimiento en comparación con otros refuerzos convencionales (Aleksiev, s.f.).

1.5.1.3.2 Proceso de aplicación.

La fibra de vidrio se impregna con resina de resorcinol-formaldehído-látex para crear correas y tejidos reforzados, asegurando un soporte efectivo para diversas aplicaciones automotrices. Su adopción en la fabricación de vehículos no solo se debe a sus propiedades físicas superiores, sino también a su capacidad para abordar los desafíos contemporáneos de la industria, como la eficiencia en el consumo de combustible, la resistencia a la corrosión y el diseño innovador. La continua integración de la fibra de vidrio destaca la importancia de los materiales avanzados en la evolución de la movilidad moderna (Aleksiev, s.f.).

1.5.1.4 Comparativa entre la caña y la fibra de vidrio.

En la selección del material para la carrocería de vehículos, es esencial evaluar diversas características clave que impactan en el rendimiento, la sostenibilidad y la viabilidad económica. A continuación, en la Tabla 1, se presenta una comparación general entre la caña de bambú y la fibra de vidrio, dos opciones que destacan por sus propiedades únicas:

Tabla 1 *Comparación entre caña de bambú y fibra de vidrio*

	Caña de Bambú	Fibra de Vidrio
Resistencia y Durabilidad	Es sorprendentemente fuerte y resistente, especialmente cuando se utiliza en construcciones adecuadas. Sin embargo, puede no tener la misma resistencia a impactos que algunos materiales más convencionales.	Es conocida por su alta resistencia y durabilidad. Tiene una excelente capacidad para absorber energía en caso de impacto, lo que la hace valiosa en aplicaciones de carrocería.
Peso	Es más ligera en comparación con algunos materiales convencionales, pero puede ser más pesada que la fibra de vidrio.	Es conocida por ser ligera y, por lo tanto, contribuye a reducir el peso total del vehículo, lo que puede mejorar la eficiencia en el consumo de combustible.
Sostenibilidad	Es un material sostenible debido a su rápido crecimiento y capacidad para regenerarse. Su cultivo y cosecha pueden ser menos dañinos para el medio ambiente.	Su producción implica el uso de recursos no renovables, y la fibra de vidrio en sí misma no es biodegradable. Sin embargo, las técnicas de producción pueden variar y algunos fabricantes pueden utilizar métodos más sostenibles.

Proceso de Fabricación	Requiere un procesamiento relativamente simple para su uso en construcción. Sin embargo, pueden necesitarse tratamientos para mejorar la resistencia y durabilidad.	La fabricación de piezas de fibra de vidrio puede ser más compleja y requerir técnicas específicas, como la aplicación de resina.
Costo	Puede ser más económica en términos de materias primas, pero el procesamiento y tratamiento pueden influir en los costos finales.	Aunque la fibra de vidrio es a menudo asequible, los costos pueden variar según la complejidad del diseño y el proceso de fabricación.

Estos ejemplos sirven como indicativos, ya que en Ecuador se encuentran diversas especies de bambú. La selección del tipo de bambú variará según su aplicación específica, ya sea en proyectos de construcción, artesanías, fabricación de muebles u otros propósitos. El bambú en Ecuador se distingue por su sostenibilidad y su capacidad para ser una opción ecológica en comparación con otros materiales de construcción.

Es esencial tener en cuenta que el bambú puede hallarse en diferentes provincias del país, y su distribución puede cambiar según la especie y las condiciones particulares de cada región. Además, la información podría evolucionar con el tiempo debido a prácticas agrícolas y modificaciones en el uso del suelo. En resumen, la elección entre la caña de bambú y la fibra de vidrio para la carrocería de vehículos dependerá de varios factores, tales como el rendimiento deseado, las consideraciones medioambientales y los costos asociados. Ambos materiales poseen sus pros y contras, y la aplicación específica influirá en la decisión final.

1.5.2 Vehículo eléctrico solar autónomo

1.5.2.1 Vehículo eléctrico.

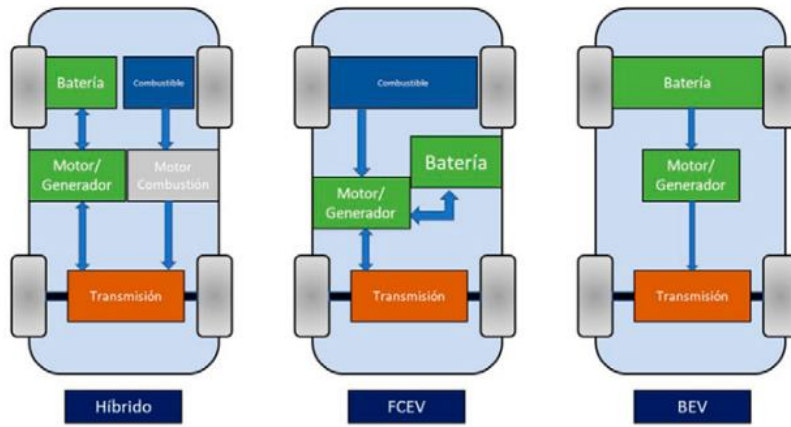
Un vehículo eléctrico se caracteriza por contar con una carrocería propulsada por uno o más motores eléctricos, los cuales obtienen su energía de baterías recargables. Estas baterías almacenan la electricidad y la convierten en energía cinemática, impulsando así el movimiento del vehículo. Esta tecnología representa un avance significativo en la búsqueda de alternativas más sostenibles y eficientes en la movilidad.

1.5.2.2 Tipos de vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos funcionan con electricidad suministrada por baterías recargables y se dividen en tres tipos distintos. Los vehículos híbridos (ver la Fig.2.a), que combinan un motor de combustión interna con un motor eléctrico y baterías, tienen la capacidad de recargar estas últimas mediante el frenado regenerativo (KIA, 2021; LugEnergy, 2023). Seguidamente, los vehículos eléctricos de pila de combustible (ver la Fig.2.b), utilizan un motor de combustión para alimentar las baterías del motor eléctrico. Por último, los vehículos eléctricos a batería (ver la Fig.2.a), funcionan exclusivamente con electricidad almacenada en baterías recargables, sin necesidad de un motor de combustión, y se recargan desde la red eléctrica a través de un punto de recarga.

Figura 2 Tipos de vehículos eléctricos

a) Híbrido b) FCEV c) BEV (Jaime Sánchez Gallebo, 2022)



1.5.2.3 Vehículo solar.

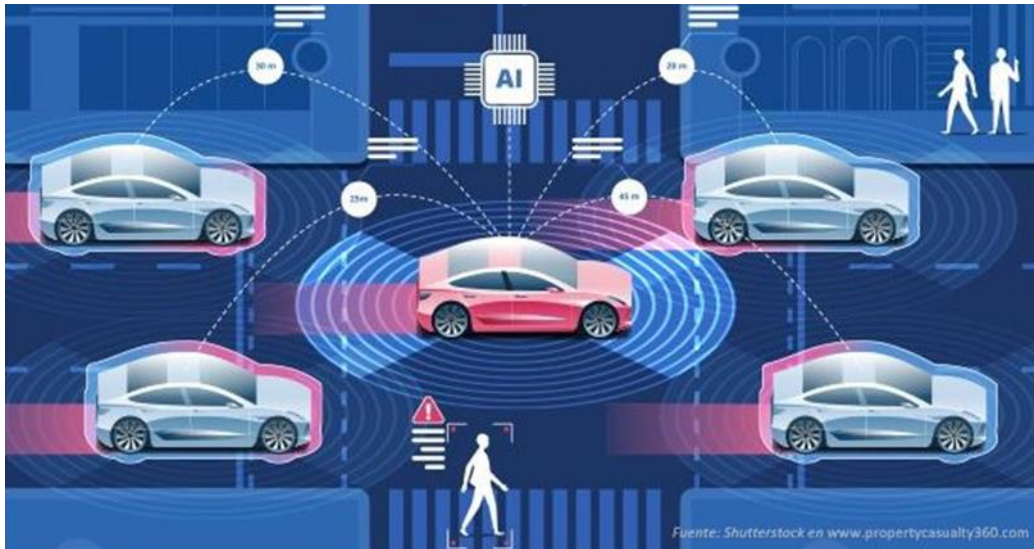
Este tipo de vehículo depende de la energía almacenada en las baterías, mediante la utilización de motores, la energía eléctrica se transforma en energía cinética, permitiendo la movilidad de este (LugEnergy, 2023).

1.5.2.4 Vehículo autónomo.

La autonomía es la capacidad de tomar decisiones en distintas situaciones, un vehículo autónomo puede realizar todas las funciones relacionadas con la conducción entre un punto A y un punto B, sin intervención humana, esto es posible porque el vehículo se intercomunica con el entorno mediante sensores. En la Fig. 3, el vehículo autónomo controlado por IA realiza el mapeo de área, para movilizarse. Actualmente no existen vehículos autónomos, todos limitados porque aún requieren la intervención de un ser humano (CARWOW, s/f).

Figura 3 Mapeo realizado por IA de un vehículo autónomo

(*Maria Eugenia Rivas Amiassorho - Tomás Serebrisky - Agustina Calatayud, 2020*)

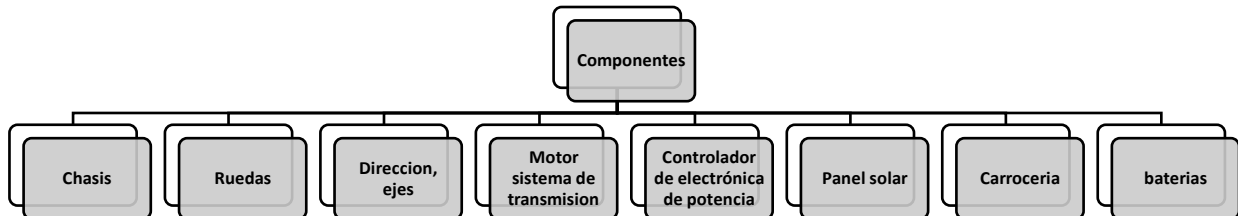


Estos vehículos deben su autonomía a los sistemas de navegación, cuya función es determinar la posición del vehículo en todo momento, la presencia de obstáculos. Los sistemas de navegación autónomos se basan únicamente en la información adquirida mediante sensores, información que debe analizar, tratar y explorar. (Johanna Henao Monsalve, 2014)

Para el diseño del vehículo autónomo solar, se debe determinar los componentes que lo conforman (ver la Fig.4), están los componentes necesarios.

1.5.2.4.1 Componentes básicos de un vehículo autónomo solar.

Figura 4 Componentes del automóvil solar



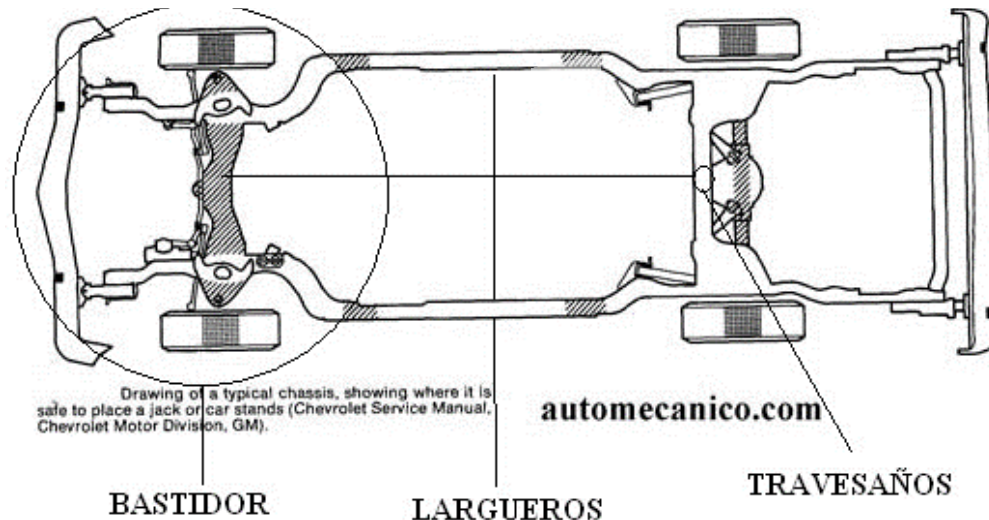
1.5.2.4.2 Descripción de los componentes básicos de un vehículo eléctrico solar.

El chasis es el base principal de todo vehículo, ya que es el encargado de dar soporte y sostenimiento a todas las cargas vivas y muertas con las que contara para el desarrollo del vehículo, entre cargas muertas tendríamos como lo son la carrocería, banco de baterías, controlador, panel solar, motores, sistema de dirección, entre otros, así como otras cargas vivas como lo son la de ocupantes y cargas que lleven con ellos.

El chasis ocupa otra función muy esencial el cual es dar protección a los ocupantes en caso de algún accidente. Este esqueleto automovilístico proporciona que se conecten las cuatro ruedas con su sistema de dirección y amortiguación respectivamente en las lo que serias la ruedas delanteras y traseras, observe la distribución de los componentes del chasis en la Fig. 5.

Figura 5 El chasis y sus componentes.

(Moreno, 2010)



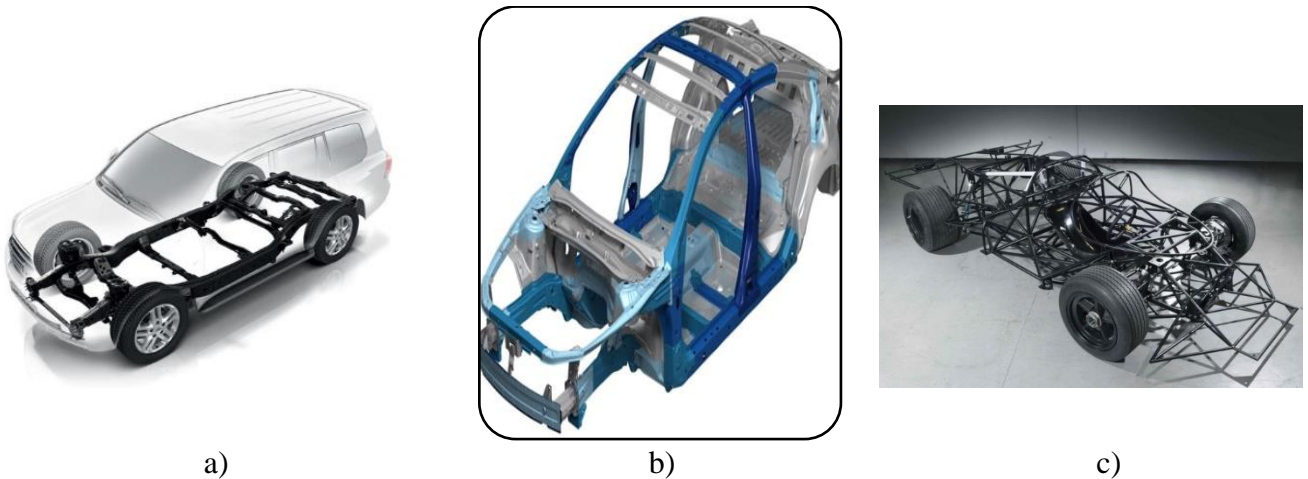
Los componentes de un chasis incluyen bastidores, que constituyen la parte angosta de un larguero y sirven como punto de conexión para el sistema de direccionamiento del vehículo. Los largueros, por su parte, son las barras laterales más largas y resistentes del chasis, sosteniendo el peso del vehículo desde la parte delantera hasta la trasera. Los travesaños, elementos que conectan los largueros entre sí, aumentan la resistencia y rigidez del chasis. Respecto a la suspensión, generalmente dividida en parte delantera y trasera, en la parte delantera del chasis se suelen ubicar resortes para mejorar la agilidad de la dirección y facilitar la conexión con la carrocería. En la parte trasera, la suspensión se coloca en los travesaños para sostener la carrocería y el chasis, con variaciones que pueden incluir resortes o hojas de resortes dependiendo del uso y las necesidades específicas del vehículo.

Existen tres tipos principales de chasis. El chasis de Escalera (ver la Fig. 6.a), caracterizado por su resistencia ante impactos debido a vigas de acero en los largueros, protegiendo la parte inferior del vehículo en caso de colisión, aunque su peso y bajo aerodinamismo lo hacen menos común en vehículos más pequeños y modernos. Por otro

lado, el chasis de Monocasco (ver Fig. 6.b), envuelve completamente el vehículo, ofreciendo mayor estabilidad, ligereza al ocupar parte de la carrocería, resistencia a la torsión y deformación, siendo rentable en ensamblajes a gran escala. Finalmente, el chasis tubular (ver Fig. 6.c), una estructura de malla con tubos de metal es más estable y común en vehículos de competición o alta gama, buscando reducir el peso estructural (Chasis I Conoce la estructura base de un vehículo, s.f.).

Figura 6 *Tipos de Chasis*

a) Chasis de Escalera, b) Chasis de Monocasco, c) Chasis tubular (García P., 2020)

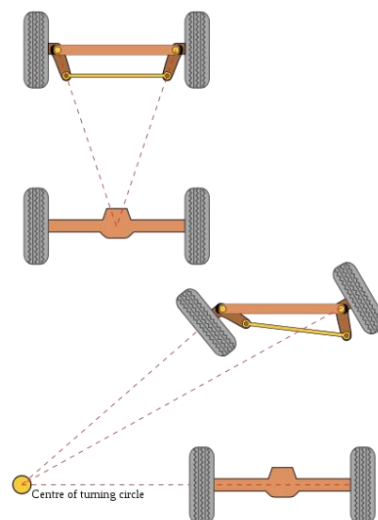


Las ruedas, y existen varios tipos. La dirección mecánica utiliza la fuerza aplicada por el piloto, mientras que la dirección hidráulica emplea un depósito de aceite distribuido por bomba para movilizar las ruedas. Por otro lado, la dirección electrohidráulica comparte la base hidráulica, pero con una bomba eléctrica en lugar de mecánica. Finalmente, la dirección electromecánica utiliza motores eléctricos directos para la dirección del vehículo (García B. , 2020).

Para el control de robot y vehículos terrestres, se emplean diversos sistemas de direccionamiento. La dirección diferencial permite que dos ruedas en un lado del robot giren a diferentes velocidades para cambiar su dirección, mientras que las del otro lado se mantienen constantes. La dirección a las cuatro ruedas posibilita que todas giren de manera independiente. En la dirección omnidireccional, las ruedas están dispuestas de forma que el movimiento puede realizarse en cualquier dirección sin alterar la orientación del robot. El sistema Mecanum dispone las ruedas en ángulos especiales con rodillos diagonales, lo que permite al robot moverse y rotar en cualquier dirección al variar las velocidades de las ruedas. En el sistema de dos ruedas direccionales y dos fijas, las traseras permanecen estáticas mientras que las delanteras pueden girar para cambiar la dirección. Por último, la dirección por Ackermann (ver Fig. 7), hace que todas las ruedas converjan en un punto conocido como el "punto de Ackermann" al girar, facilitando giros suaves y precisos (Tecnología Del Automovil, 2020; tuteorica, 2017).

Figura 7 Geometría de dirección de Ackermann

(Gil, 2018)

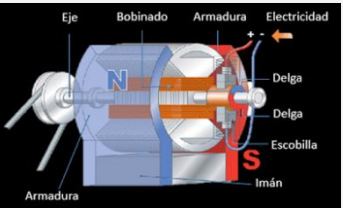
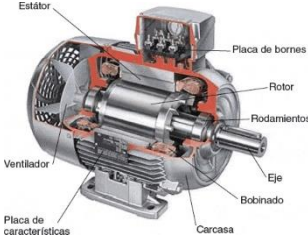


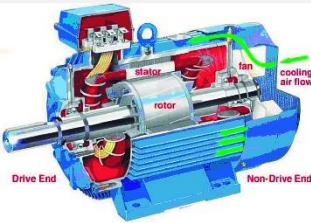



Para el desarrollo del proyecto utilizaremos el sistema de dirección de Ackermann, las ruedas traseras son las motrices, mientras que la dirección del vehículo se controla mediante la orientación de las ruedas delanteras.

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, generando movimiento. Hay varios tipos de motores eléctricos, cada uno diseñado para cumplir con requisitos específicos en términos de rendimiento, eficiencia y aplicación.

En la Tabla 2, se define y se describen algunos tipos de motores eléctricos:

Tabla 2 *Clasificación de motores*

Motor	Definición	Aplicación	Imagen
Corriente Continua	Un motor de corriente continua convierte la energía eléctrica de corriente continua en movimiento rotativo. Utiliza un rotor y un estator, y la dirección del flujo de corriente en el rotor se invierte mediante un conmutador para mantener el giro constante.	Juguetes eléctricos, electrodomésticos, vehículos eléctricos.	
Corriente Alterna	Estos motores convierten la energía eléctrica de corriente alterna en movimiento rotativo. Los motores de inducción son el tipo más común de motores de corriente alterna.	Equipos industriales, electrodomésticos, sistemas de calefacción y ventilación.	

Inducción	Un tipo de motor de corriente alterna que funciona mediante la inducción electromagnética. No requiere conexiones eléctricas directas al rotor, lo que simplifica su diseño y mejora su durabilidad.	ombas, ventiladores, sistemas de calefacción, sistemas de refrigeración.	
Síncrono	En este tipo de motor de corriente alterna, la velocidad del rotor es igual a la frecuencia de la corriente alterna suministrada. Sincroniza su velocidad con la frecuencia de la red eléctrica.	Equipos industriales, generadores eléctricos, sistemas de ventilación.	
Paso a Paso	Estos motores dividen el movimiento en pasos discretos y son controlados por pulsos eléctricos. Son precisos y se utilizan comúnmente en aplicaciones que requieren un posicionamiento exacto.	Impresoras 3D, máquinas herramientas CNC, sistemas de enfoque automático en cámaras.	
Hub	A diferencia de los motores donde se realiza el movimiento del eje, los motores hub realiza el movimiento de la rueda.	Ruedas de bicicleta.	

(Planas, 2018) (Motor a pasos tutorial introductorio, 2018) (Qi Huang, 2022) (Cómo funciona el motor eléctrico?, 2019) (Hub Motor Working Principle, s.f.) (Gissisipi, 2015).

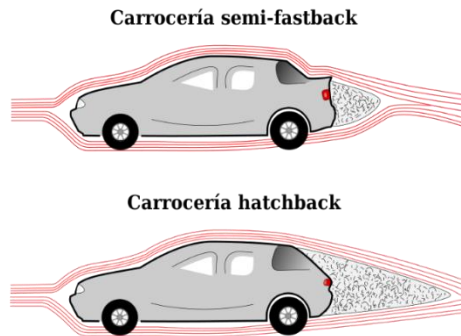
La principal función del controlador de velocidad es el de regular la velocidad y la dirección del motor electro, están diseñados para convertir el voltaje DC de entrada en un voltaje DC controlado y regulado a los niveles necesarios para el motor, este control proviene de algún pedal o manubrio que regula un voltaje pequeño y lo ajusta dependiendo de la presión o movimiento que se ejerza en él.

Los paneles solares transforman la energía solar en electricidad o calor, con variantes híbridas que combinan ambos tipos de energía. El panel fotovoltaico convierte la energía solar en electricidad, utilizando materiales como silicio cristalino monocristalino, policristalino, silicio amorfo, cobre y selenio en su construcción. Por otro lado, el panel térmico aprovecha la energía solar para calentar el agua, siendo más comúnmente utilizados como calentadores de agua caliente, aunque su eficacia disminuye en climas fríos. Los paneles híbridos, en cambio, ofrecen simultáneamente electricidad y calor al recibir la energía solar. Estos paneles combinan celdas fotovoltaicas en la parte delantera con colectores térmicos de alta eficiencia en la parte trasera para cumplir ambas funciones de manera eficaz (Gros, 2023).

La carrocería de un vehículo actúa estructuralmente como una protección para las piezas mecánicas y como un espacio para pasajeros o carga. Se construye utilizando diversos materiales como acero y aluminio para mejorar la estética y aerodinámica del automóvil. En la Fig. 8, se indica los tipos de carrocería, que poseen un chasis independiente, autoportantes, monocasco, monovolúmenes, dos volúmenes, tres volúmenes, sedán, compacta, familiar, coupé, todoterreno, descapotable y SUV, cada una diseñada para diferentes necesidades y preferencias de los usuarios (Carrocería, s.f.).

Figura 8 Líneas de carrocería

(Tipos de carrocería (II), s.f.)



El acumulador eléctrico, también conocido como pila o batería, es un dispositivo compuesto por celdas electroquímicas capaces de convertir la energía química en energía eléctrica, generando corriente continua (CC) para alimentar diversos circuitos eléctricos. La capacidad de almacenamiento de energía de las baterías varía según su tamaño, el tipo de químico utilizado y el tiempo de fabricación. Su funcionamiento se basa en las reacciones de oxidación-reducción de los componentes químicos, lo que permite su carga y descarga. Las celdas químicas de las baterías contienen polos positivos y negativos y convierten la energía química en energía eléctrica. Existen dos tipos de celdas: primarias, que reaccionan una vez a los químicos y no pueden volver a su estado original, y secundarias, que pueden recargarse y descargarse repetidamente. Respecto a los tipos de baterías, se encuentran las alcalinas, de ácido-plomo, de níquel (incluidas las de Níquel-hierro y Níquel-cadmio), de iones de litio (Li-ION) (ver fig. 9) y de polímero de litio (LiPo). Cada tipo tiene características específicas, desde su uso descartable en las alcalinas hasta las aplicaciones en electrónica de las de iones de litio, aunque estas últimas pueden presentar problemas de seguridad como la sobrecarga y el sobrecalentamiento (Ondarse, 2021).

Figura 9 Baterías de litio

(Diego, 2018)

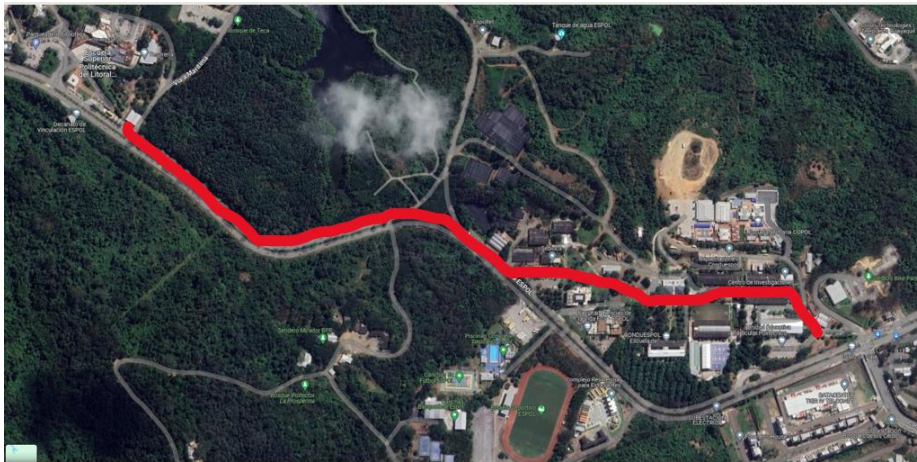


1.5.3 Ruta del Campus Gustavo Galindo.

Mediante el uso de la imagen satelital visualizada en la Fig. 10, se puede observar cuál es la distancia entre los puntos indicados, tales como la garita ESPOL y el rectorado del campus. La distancia que se recorre entre estos dos puntos es de aproximadamente 1.5 km, obteniendo una distancia total de ida y vuelta de 3 km. La ruta presenta diferentes tipos de subidas, bajadas y curvas.

Figura 10 Mapa satelital de la ruta entre garita y rectorado del Campus.

(Google, 2023)



1.5.4 Sistema de propulsión

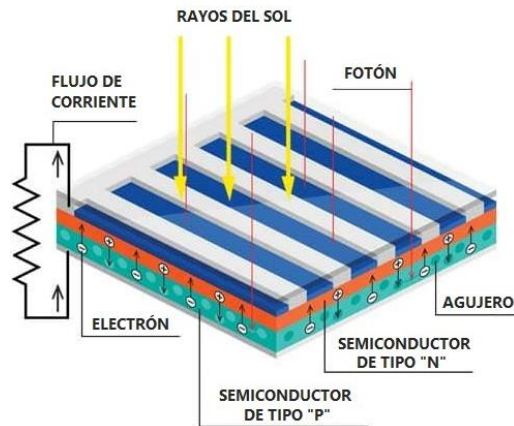
El sistema de propulsión es esencial para el desplazamiento del vehículo. Actualmente, existen varios tipos de sistemas de propulsión; pero nos enfocaremos en la propulsión eléctrica fotovoltaica. Este enfoque se fundamenta en la integración de motores eléctricos, cuya cantidad puede variar según el diseño del vehículo. Estos motores son alimentados por baterías, y la autonomía del vehículo dependerá de la cantidad de baterías necesarias.

1.5.4.1 Energía fotovoltaica.

La energía fotovoltaica es una forma de generación de electricidad que aprovecha la radiación solar para convertirla directamente en electricidad. Se logra la generación de energía a través de dispositivos llamados células fotovoltaicas, que están compuestos por materiales semiconductores. Cuando la luz solar incide sobre estas células, los electrones en el material se excitan y generan una corriente eléctrica, en la Fig. 11 observamos el principio del efecto fotovoltaico. La energía fotovoltaica es una fuente de energía limpia y renovable, ya que no emite contaminantes y utiliza una fuente de energía abundante y gratuita, el sol. Se utiliza ampliamente para la generación de electricidad en paneles solares, y también se aplica en vehículos solares para alimentar motores eléctricos y baterías (Effio Velasco, 2023; González Reolid, 2021).

Figura 11 Efecto fotovoltaico

(Principio de funcionamiento del autoconsumo, s/f)



1.5.5 Software

Para elaborar el proyecto se requiere de software diverso, para realizar un diseño y simulado del vehículo autónomo solar.

1.5.5.1 Diseño en 3D

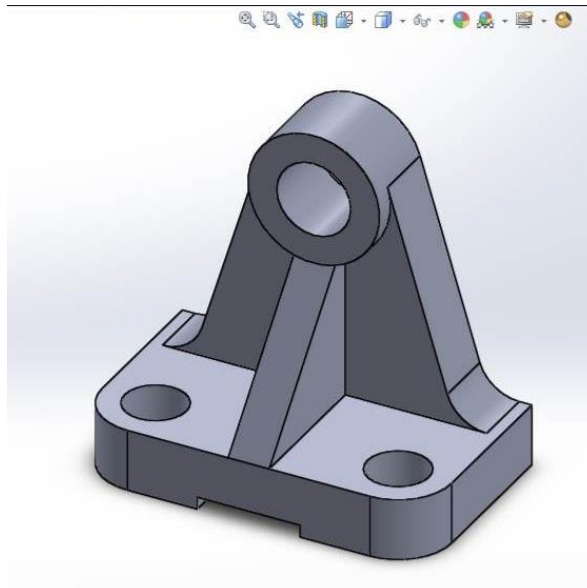
Los softwares CAD son herramientas fundamentales para el diseño de componentes en 3D, brindando una amplia gama de funcionalidades que permiten a los ingenieros y diseñadores crear modelos precisos y detallados. Estos programas ofrecen ventajas significativas, como la capacidad para realizar diseños complejos de manera eficiente, la optimización de la geometría para mejorar el rendimiento y la facilidad de iteración durante el proceso de diseño (c., 26).

Además, los softwares CAD proporcionan herramientas de simulación que permiten evaluar el comportamiento del componente en diferentes condiciones y entornos, lo que ayuda a identificar posibles problemas antes de la fabricación. La posibilidad de realizar modificaciones rápidas y precisas en el diseño es otra ventaja importante, lo que permite

adaptarse a cambios en los requisitos del proyecto o a retroalimentación del cliente de manera ágil y efectiva (3D, s.f.). En la Fig. 12, veremos una pieza en 3D ejecutada en software CAD.

Figura 12 *Elaboración de pieza en software CAD*

(Xtutorials CAD, 2012)

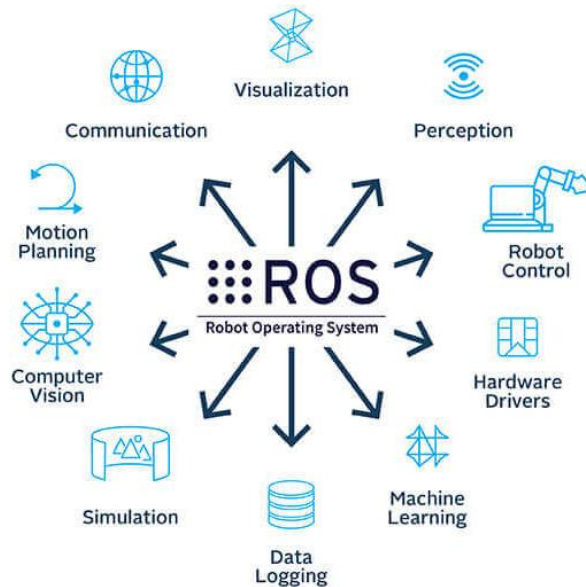


1.5.5.2 ROS.

Robot Operating System (ROS) es un meta sistema operativo de código abierto y de libre acceso, para el desarrollo de software para robots, solo se ejecuta en plataformas basadas en Unix, como Ubuntu y Mac OS X. En la Fig. 13, indica las funciones que puede realizar ROS. Posee una gran comunidad la responsable de abastecer los repositorios con una amplia cantidad de algoritmos, ampliando las aplicaciones del software en el ámbito de la robótica.

Figura 13 Diagrama radial de ROS

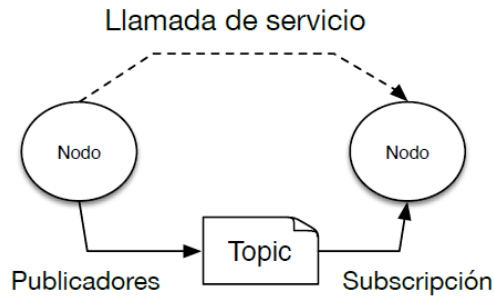
(AutomationWare, s/f)



El funcionamiento de ROS se basa en nodos que son las unidades base, dedicándose cada uno a una tarea por separado y localizables entre sí gracias al Máster. Los nodos intercambian información mediante el empleo de topics, como se muestra en la Fig. 14, permite publicar mensajes como suscribirse a ellos, pero siendo inviable que realice ambas cosas a la vez. Esta interacción entre nodos también se puede llevar a cabo mediante servicios. Estos tienen un mecanismo similar al cliente/servidor. Un nodo registra el servicio y otro nodo puede obtener los datos solicitándolo. Al contrario que con los topics, en este caso la comunicación es bidireccional. Aquello que se publica en los topics o se recibe de ellos, se denominan mensajes. Estos son datos con una estructura determinada. Una vez diseñado el sistema requerido en ROS, puede observarse un diagrama de la interconexión de los nodos y los topics mediante la introducción del comando `rqt_graph` (Diego José Bermúdez Salguero, 2022).

Figura 14 Comunicación vía topic y servicio

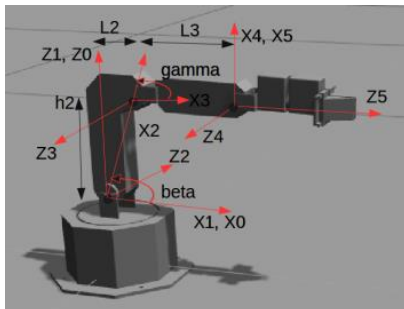
(D. Francisco de Borja Ponz Camps, s/f)



Considerando que los robots poseen múltiples piezas móviles que deben verificarse en tiempo real en cada momento para un correcto movimiento, es diferente según su estructura. Mediante la utilización de la transformada, es posible mantener un seguimiento de las múltiples coordenadas del robot, la en Fig. 15 es un ejemplo de la visualización de las coordenadas de las piezas móviles.

Figura 15 Conjuntos de transformadas de un brazo robótico

(Marina Aguilar, 2018)

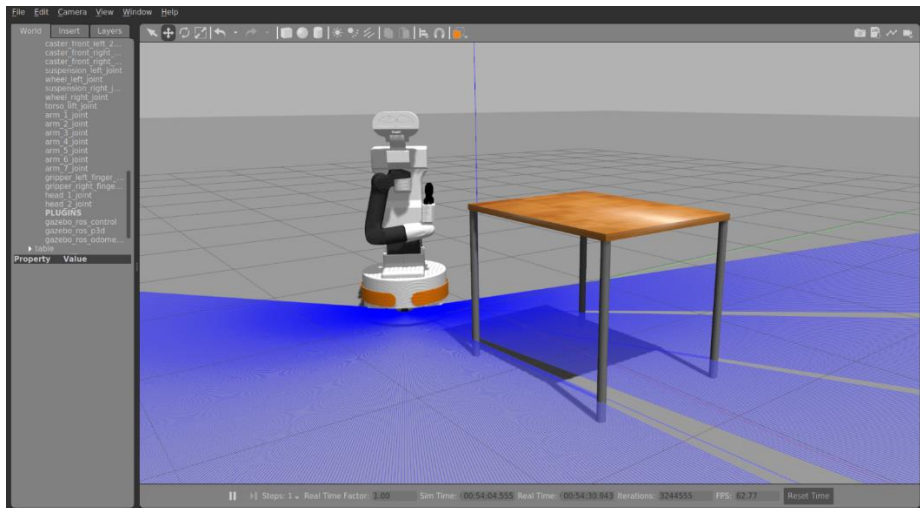


1.5.5.2.1 Gazebo.

Es un entorno de simulación en 3D para desarrollo de robot, sistemas autónomos y entornos virtuales. Se usa en investigación, desarrollo de robots y en proyectos de inteligencia artificial. Proporciona un entorno gráfico tridimensional que permite visualizar y analizar la simulación de manera efectiva, posee una interfaz gráfica que facilita la configuración y control de la simulación. También permite la incorporación de modelos de robots, creados por la comunidad, además de poseer sensores y actuadores, permitiendo visualizar realísticamente el comportamiento del sistema robótico, como en la Fig. 16 (Gazebo, s/f; VarHowto, 2020).

Figura 16 Simulación del mapeo y desplazamiento de un robot

(VarHowto, 2020)

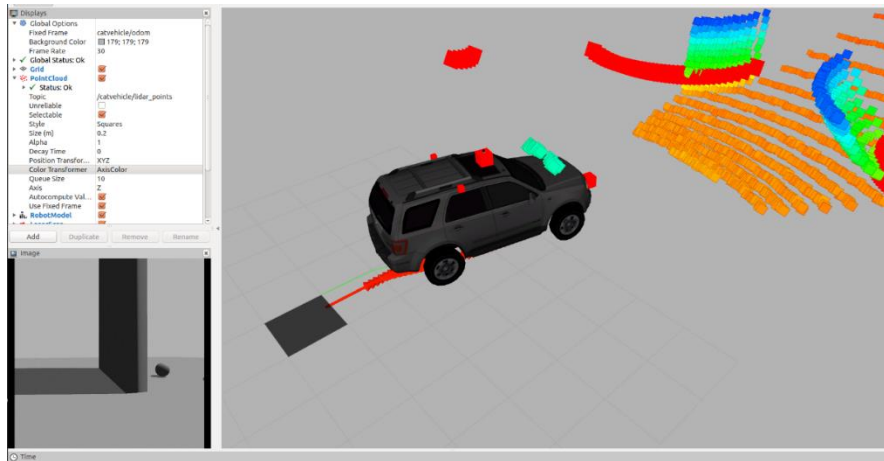


1.5.5.2.2 RVIZ.

Es una herramienta de visualización en 3D, proporciona una vista del modelo del robot, captura la información de los sensores del robot y los reproduce los datos capturados, todo al mismo tiempo, un ejemplo de la ejecución del software es la Fig.17, donde se muestra la visualización de las señales de los sensores de presencia que posee el vehículo.

Figura 17 Visualización de datos de sensores de un automóvil robótico

(Anil Mahtani, 2023)



1.5.6 Movilidad sostenible

La movilidad sostenible se refiere a la adopción de prácticas de transporte que minimizan el impacto negativo en el medio ambiente y promueven la eficiencia, la seguridad y la calidad de vida. Esto implica la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de la contaminación del aire y la conservación de recursos naturales. La movilidad sostenible busca lograr un equilibrio entre la necesidad de desplazamiento de las personas y la protección del entorno.

Se fomenta el uso de vehículos limpios y eficientes, como vehículos eléctricos alimentados por energía solar, el uso compartido de automóviles, el transporte público eficiente y modos de transporte activos como caminar y andar en bicicleta.

La movilidad sostenible contribuye a la reducción de la congestión del tráfico, mejora la calidad del aire en las ciudades y reduce el impacto ambiental del transporte (González Reolid, 2021; Júlvez Sancho, 2019).

1.5.7 Diseño y construcción de un vehículo eléctrico autónomo con energía solar

La construcción de vehículos eléctricos autónomos impulsados por energía solar fotovoltaica es un campo de investigación y desarrollo en constante evolución. Estos vehículos ofrecen una solución innovadora para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte. El diseño y construcción de un vehículo eléctrico solar en la región de Puno destaca la viabilidad técnica y económica de esta tecnología, proporcionando información valiosa para comprender los aspectos técnicos y la eficiencia de los vehículos solares (Puraca Calapuja, 2022).

1.5.8 Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en zona de estacionamiento

La implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica en áreas de estacionamiento es esencial para la expansión de la infraestructura de carga de vehículos solares. La instalación de paneles solares en zonas de estacionamiento techadas maximiza la utilización de la energía solar y reduce la dependencia de fuentes no renovables. Estos sistemas autónomos en zonas de estacionamiento ofrecen una solución rentable y sostenible para la generación de electricidad, lo que resulta en la reducción de costos operativos y emisiones de carbono. Ver Fig. 18. (Effio Velasco, 2023).

Figura 18 Sistema Fotovoltaico en estacionamiento

(Effio Velasco, 2023)



1.5.9 Ecobike: utilización de bambú en la construcción de bicicletas ecológicas

La incorporación de materiales sostenibles y ecológicos en la fabricación de vehículos, como se ha demostrado en el caso de las bicicletas ecológicas de bambú de Ecobike, ejemplifica una tendencia emergente en el ámbito de la movilidad sostenible.

La elección del bambú como material estructural para la construcción de bicicletas (Fig. 19) representa una innovación en la exploración de nuevos materiales y tecnologías en el campo del transporte. Este enfoque resalta la importancia de la sostenibilidad en la fabricación y el uso de medios de transporte, lo que puede inspirar la investigación y el diseño de vehículos autónomos solares que hacen uso de la caña de bambú en su fabricación (Galvez Coarete, 2020).

Figura 19 *Cuadro de Bicicleta construida con caña de bambú*

(Dfm Directorio Forestal Maderero, 2020)



Capítulo 2

2.1 Revisión bibliográfica

En la etapa inicial del estudio, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva en la que se examinaron numerosas fuentes de información científica y técnica relacionada con la energía solar, la movilidad sostenible, el diseño de vehículos autónomos y el uso de materiales sostenibles como la caña de bambú en la construcción de vehículos, específicamente, se indagó en portales como Google Académico, Sciencedirect, Elsevier, Scopus, etc. El objetivo de esta revisión era establecer una base sólida de conocimientos y antecedentes para el proyecto, además, de conocer los propios antecedentes del trabajo realizado.

Se realizaron búsquedas en bases de datos académicas, bibliotecas digitales y revistas científicas relevantes. La revisión abarcó temas como la eficiencia de los paneles solares, las tecnologías de almacenamiento de energía, los sistemas de propulsión eléctrica, las aplicaciones de la caña de bambú en la ingeniería y la sostenibilidad en la movilidad.

Como resultado de esta revisión, se identificaron las mejores prácticas y enfoques utilizados en proyectos similares a nivel global. Se recopiló información sobre diseños de vehículos solares, materiales sostenibles y estrategias de simulación que se habían aplicado con éxito en proyectos anteriores. Estos hallazgos proporcionaron una base sólida para la formulación de los objetivos y el alcance del proyecto.

A continuación, en la Tabla 3 se presentó un cuadro comparativo entre la propuesta de tesis y tres diseños relacionados detallados en la revisión bibliográfica, con el fin de haber destacado las características clave, proporcionado una visión más completa de la investigación en curso y reafirmado el rumbo y enfoque del proyecto.

Tabla 3 Comparación de propuestas

Propuestas para mejorar la movilidad del alumnado que sean amigables con el ambiente

Propuestas para mejorar la movilidad del alumnado que sean amigables con el ambiente				
Aspecto	Vehículo Autónomo Solar con Caña de Bambú	Automóvil de Energía Solar para Personas con Capacidades Diferentes	Sistema de Navegación Autónoma sobre Andenes para Robots Móviles	AMR Modular Base (RB-VOGUI)
Objetivo Principal	Desarrollar un vehículo autónomo impulsado por energía solar y construido con materiales sostenibles, con énfasis en la movilidad y la sostenibilidad ambiental.	Diseñar un automóvil solar para personas con capacidades diferentes, abordando la dependencia del petróleo y fomentando una cultura ambiental diferente.	Desarrollar un sistema de navegación autónoma para robots móviles en entornos urbanos, centrado en la mejora de la eficiencia en la realización de tareas específicas.	Crear una base modular altamente móvil para la automatización de diversas tareas en sectores como R&D, agricultura, seguridad y logística.
Fuente de Energía	Integración de tecnología solar y uso de caña de bambú como material estructural sostenible.	Implementación de energía solar con gestión de baterías para maximizar la autonomía del vehículo.	No se especifica la fuente de energía, pero se presume autonomía	No se especifica la fuente de energía, aunque se destaca la capacidad de navegación autónoma.
Enfoque Ambiental	Incorporación de energía solar y materiales reciclables (caña de bambú) para reducir la huella ecológica.	Reducción de la dependencia del petróleo y promoción de prácticas ambientalmente sostenibles.	No se detalla específicamente el enfoque ambiental.	No se detalla específicamente, pero se resalta la robustez y la capacidad de evitar obstáculos en diversos entornos.
Innovación / Valor Social	Contribución a la movilidad	Fomento de la independencia	Mejora en la eficacia de la	Automatización de tareas en

	sostenible y promoción de la sostenibilidad ambiental.	para personas discapacitadas y reducción de costos asociados al transporte convencional.	navegación autónoma en robots móviles para entornos urbanos.	sectores diversos, con énfasis en capacidades de manipulación y transporte.
Economía	Los costes son mínimos optando por una alternativa sostenible que aumenta su renovación	Proyección de reducción significativa de costos en comparación con vehículos de combustión interna.	No se detalla costes específicos.	No se detalla costes específicos.
Durabilidad y Vida Útil	Detalles específicos sobre durabilidad y vida útil no proporcionados.	Mejora de la vida útil de las baterías mediante una gestión eficiente.	No se ofrece información detallada sobre durabilidad y vida útil.	No se ofrece información detallada sobre durabilidad y vida útil.
Configuración Técnica	Implementación de tecnología solar con énfasis en la eficiencia energética, utilizando caña de bambú como material estructural.	Integración de tecnología solar con enfoque en la autonomía del vehículo.	Desarrollo de un sistema de navegación autónoma en entornos urbanos, con consideraciones de velocidad y evitación de obstáculos.	Base modular resistente con diversas configuraciones cinemáticas y capacidades de navegación autónoma.

Este cuadro comparativo ofreció un análisis estructurado de las características clave de las propuestas, proporcionando una visión comprensiva que sirvió como recurso valioso para la evaluación y contextualización de la investigación en curso (Francisco, 2008) (Ayalde, 2021) (Granados, 2015) (Desconocido, s.f.) (Salguero, 2022).

2.2 Diseño del vehículo autónomo solar

El diseño del vehículo se fundamentó en las mejores prácticas identificadas durante la revisión bibliográfica y en las necesidades específicas del campus Gustavo Galindo. Se destacó la necesidad de una gran capacidad y potencia para auxiliar a muchos estudiantes en embotellamiento vehicular. Se llevaron a cabo reuniones de trabajo y sesiones de lluvia de ideas para establecer los parámetros de diseño, incluyendo la selección de componentes, la configuración del sistema de propulsión eléctrica, la disposición de los paneles solares para una mayor captación de luz solar y la integración de la caña de bambú en la estructura.

Se empleó software de diseño asistido por computadora y simulaciones computacionales para visualizar y evaluar el diseño propuesto. Se consideraron aspectos clave como la aerodinámica, la resistencia, la eficiencia energética y la seguridad del vehículo.

Durante la fase de lluvia de ideas, se seleccionaron dos diseños principales para llevar a cabo el proyecto. El primero, con 4 ruedas, presentaba ruedas traseras del tipo 'rueda loca', dependiendo del movimiento de otras ruedas para la dirección, mientras que la tracción principal provenía de las ruedas delanteras. En el segundo diseño, se propuso un sistema Ackerman, con tracción trasera de las ruedas eléctricas y dirección de las ruedas delanteras.

Aunque el primer diseño ofrecía estabilidad con sus 4 ruedas, la presencia de ruedas locas dificultaba el control, especialmente a altas velocidades, revelando su falta de estabilidad y resistencia para transportar a la población universitaria. Por ello, se optó por el segundo diseño, brindando mayor estabilidad para los ocupantes, adaptándose a variaciones de carga.

Para el desarrollo del prototipo a menor escala, se decidió dotarlo de la potencia necesaria para el desplazamiento de una persona y diseñar un chasis compuesto por un material estructural tubular cuadrado, configurado para albergar elementos esenciales como la dirección Ackerman, la

silla, el banco de baterías, el motor hub y el controlador de velocidad. De manera innovadora, se diseñó una parte clave del chasis y la carrocería utilizando caña de bambú, siguiendo parámetros de construcción específicos para este material sostenible. Además, se planificó integrar paneles solares en la estructura del vehículo para aprovechar la energía solar y alimentar el sistema eléctrico, demostrando el compromiso con la sostenibilidad y la versatilidad del bambú en la ingeniería de vehículos. Al calcular la fuerza y definir las dimensiones del vehículo, se identificó como limitante las dimensiones de la ruta de la ciclovía. Basándonos en las medidas de la ciclovía, determinamos el tamaño de los paneles solares y la potencia máxima que podríamos transmitir a los motores, lo que nos llevó a buscar los demás componentes, que serían parte del sistema de control y del sistema fotovoltaico.

2.2.1 Cálculo de energía

Calcular la energía necesaria para el movimiento de una carga en un vehículo implica considerar varios factores, y la metodología específica puede variar según la situación y el contexto del vehículo. La energía necesaria para el movimiento de un vehículo generalmente se relaciona con la energía cinética y la resistencia a la rodadura. Aquí hay una guía básica:

2.2.1.1 Energía cinética.

La energía cinética se refiere a la energía asociada con el movimiento de un objeto. Se calcula mediante ecuación 1:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2$$

Ecuación 1. Energía Cinética

donde:

- E_C es la energía cinética.
- m es la masa del vehículo y la carga.

- v^2 es la velocidad del vehículo.

2.2.1.2 Energía resistencia a la rodadura.

La resistencia a la rodadura es la fuerza que se opone al movimiento del vehículo sobre la superficie. La energía asociada con la resistencia a la rodadura se puede calcular utilizando la ecuación 2:

$$E_r = F_r d$$

Ecuación 2. *Energía de rodadura*

donde:

- E_r es la energía asociada con la resistencia a la rodadura.
- F_r es la fuerza de resistencia a la rodadura.
- d es la distancia recorrida.

2.2.1.3 Trabajo de ascenso o descenso.

Si el vehículo se mueve en terreno inclinado, es necesario considerar el trabajo realizado contra la gravedad al subir o bajar la pendiente. El trabajo se calcula con la ecuación 3:

$$W = mgh$$

Ecuación 3. *Trabajo de Ascenso y Descenso*

donde:

- W es el trabajo realizado.
- m es la masa del vehículo y la carga.
- g es la aceleración debido a la gravedad.
- h es la altura vertical de la subida o bajada.

2.2.1.4 Consideraciones de eficiencia y pérdidas.

Además de los factores mencionados, es importante considerar las pérdidas de eficiencia en la transmisión, el sistema de propulsión y otros componentes. Las pérdidas se expresan comúnmente como eficiencia (n) y la energía total necesaria se ajusta según la eficiencia del sistema:

$$E_{total} = \frac{E_C + E_r + W}{n}$$

Ecuación 4. *Energía total*

Es fundamental adaptar estas ecuaciones a las características específicas del vehículo, la carga, el terreno y otros factores relevantes para obtener una estimación precisa de la energía necesaria para el movimiento.

2.2.2 Selección de materiales y componentes

Una vez establecido los parámetros de diseño, que incluyeron el dimensionamiento del vehículo y la determinación de la potencia requerida de los motores, se procedió a la selección de los materiales y componentes que se emplearían en la construcción del vehículo. Se dio especial atención a la elección de materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, en coherencia con la esencia del prototipo que se basa en el uso de caña de bambú.

2.2.2.1 Caña de bambú.

La elección del material de refuerzo para la construcción del vehículo autónomo solar plantea una consideración significativa entre la caña guadúa y el bambú. En la revisión bibliográfica se detallada, se llevó a cabo un estudio con la finalidad de discernir la comparativa entre ambos materiales, respaldado por el método de curado de fibras vegetales

mediante el método de inmersión y la aplicación del preservante maderol concentrado, reveló características distintivas en el comportamiento de ambos materiales.

En el proceso de anclaje del bambú, se destacó la eficacia del corte en forma de boca de pescado realizado con una broca copa, garantizando un acabado óptimo en diversos grosores del bambú, conforme a las normativas constructivas establecidas. Asimismo, se determinó que el bambú y la caña guadúa, cuando se utilizan como material de refuerzo, no presentan una resistencia adecuada a la flexión en comparación con el acero. El ensayo de flexión a los 28 días de curado del hormigón demostró que las vigas reforzadas con guadúa superaron en un 29% a las reforzadas con bambú.

Además, se observó que tanto la caña guadúa como el bambú, cuando no son tratados, tienden a descomponerse dentro del hormigón, disminuyendo su resistencia a la flexión y, en consecuencia, haciéndolos menos aptos como materiales de refuerzo. A pesar de esta limitación, se reconoció que la caña guadúa y el bambú exhiben una mejor trabajabilidad en el proceso constructivo en comparación con el acero.

El análisis de los resultados del ensayo de flexión a los 28 días de curado del hormigón evidenció que el bambú, con gancho de refuerzo, presenta una carga significativa de 33.759 KN con una deformación de 5.375 mm, destacando su desempeño comparado con la caña guadúa y el acero en condiciones similares.

En conclusión, la elección del bambú como material de refuerzo se respalda en su capacidad para ofrecer una combinación favorable de resistencia y ligereza, atenuando el peso en la estructura del vehículo autónomo solar. Este enfoque buscó optimizar la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto, estableciendo al bambú como una opción preferida para la construcción de dicho vehículo autónomo (Siguenza., 2016).

La metodología aplicada consistió en someter una muestra representativa de la caña a una carga progresiva, registrando de manera sistemática los niveles de carga alcanzados. Cuando la caña alcanzó su límite de resistencia, se interrumpió la prueba y se procedió a la recopilación de datos.

Después, se elaboró una tabla y un gráfico para proporcionar una representación visual y cuantitativa, se dio la relación entre la carga aplicada y la respuesta de la caña, permitiendo estimar el punto de ruptura. Este enfoque metodológico riguroso contribuye significativamente a la comprensión de las propiedades mecánicas de la caña evaluada.

2.2.2.2 Control de velocidad.

Un controlador de velocidad (ver Fig. 20) para motores eléctricos representa un componente esencial en los sistemas de accionamiento eléctrico, siendo responsable de la regulación de la velocidad de operación del motor. Este dispositivo desempeña una función crítica al administrar la energía suministrada al motor, permitiendo un control preciso sobre su velocidad de rotación. Al ajustar tanto la corriente como el voltaje entregado al motor, el controlador garantiza una respuesta suave y eficiente, adaptándose a las necesidades específicas de la aplicación.

Además de su función básica de control de velocidad, muchos controladores modernos incorporan características avanzadas como la protección contra sobre corriente, frenado regenerativo y la capacidad de integrarse con sistemas de control más amplios. Su aplicación abarca desde maquinaria industrial hasta vehículos eléctricos, contribuyendo significativamente a la eficiencia y versatilidad de los motores eléctricos en diversas aplicaciones. En este contexto, el manejo de diversas señales de activación, como los cables

de alimentación hacia los motores y la señal HALL, así como los cables de la señal del acelerador, subraya la versatilidad y adaptabilidad de estos dispositivos.

Para evaluar su rendimiento, se llevó a cabo una prueba inicial utilizando el "Brainpower Motor Controller" con una potencia de 350 vatios, un voltaje de alimentación de 36 a 48 voltios, una salida máxima de 15 voltios y un límite de 13 amperios. Aunque este equipo cumplía con la función requerida de propulsar una persona, no proporcionaba una respuesta óptima. Por esta razón, se tomó la decisión de cambiar el controlador para aumentar la potencia y el voltaje suministrado a los motores, buscando así mejorar el rendimiento general del sistema.

Figura 20 *Controlador de velocidad*



2.2.2.3 Banco de baterías.

Un banco de baterías destinado a vehículos eléctricos desempeña un papel esencial en la movilidad sostenible. Su función principal es almacenar la energía eléctrica necesaria para alimentar el motor y otros sistemas del vehículo. Este banco de baterías permite a los vehículos eléctricos funcionar sin la necesidad de un motor de combustión interna, aprovechando la electricidad almacenada para propulsar el vehículo. Además de proporcionar la autonomía necesaria para recorridos diarios, el banco de baterías en vehículos eléctricos contribuye a la reducción de emisiones y al impulso de una alternativa

más limpia y eficiente en comparación con los vehículos tradicionales con motores de combustión.

En el proceso de selección del banco de baterías para el desarrollo del vehículo solar autónomo, se han considerado varios factores clave para garantizar un rendimiento óptimo. En primer lugar, se evaluó el voltaje de alimentación del controlador de velocidad como criterio primordial. Posteriormente, se tomó en cuenta el peso de las baterías, estableciendo un rango específico de 10 ± 5 kg para cumplir con los requisitos de diseño. Por último, pero no menos importante, se incorporó el tiempo de autonomía como un parámetro esencial para evaluar el rendimiento del banco de baterías en diferentes configuraciones.

La Tabla 4, se detalla el análisis de la selección del banco de baterías, presentando diferentes opciones con variaciones en voltaje, cantidad, peso, y otros factores importantes. Este análisis exhaustivo refleja nuestra preocupación por elegir un banco de baterías que cumpla con los criterios técnicos específicos y se ajuste de manera óptima a las necesidades del vehículo solar autónomo.

Tabla 4 Selección de banco de baterías para prototipo

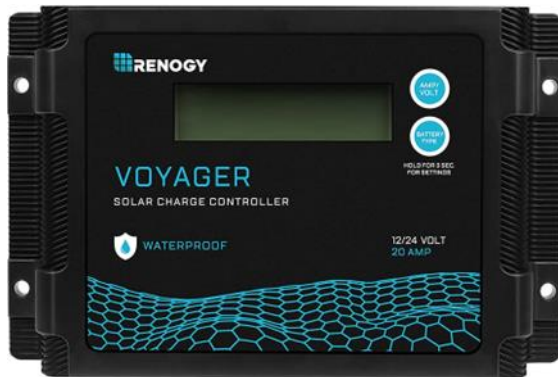
	V controlador [V]	Cantidad		Precio	Peso [kg]	V conexión [V]	I conexión [A]	I control [A]	P batería [W]	P consumo [W]	horas de autonomía [h]
		Serie	Paralelo								
HRB Lipo Batería	36/48	2	1	\$199,98	1,45	44,4	5	13	22	577,2	0,384615
	36/48	2	2	\$399,96	2,9	44,4	10	13	44	577,2	0,769231
	36/48	2	3	\$599,94	4,35	44,4	15	13	66	577,2	1,153846
	36/48	2	1	\$1.002,00	1,45	44,4	22	13	97	577,2	1,692308
Iones de litio/LiFe PO4	36/48	1	1	\$168,00	3,62	36	20	13	72	468	1,538462
Ciclo profundo LiFePO4 de litio	12/48	3	2	\$599,94	19,32	36	48	26	17	936	1,846154
		2	2	\$399,96	12,88	24	48	26	11	624	1,846154
		2	3	\$599,94	19,32	24	72	26	17	624	2,769231
Lithium Battery Pack	12/48	1	1	\$206,88	1,5	48	14	26	67	124	0,538462
		1	2	\$413,76	3	48	28	26	13	124	1,076923
		1	3	\$620,64	4,5	48	42	26	20	124	1,615385
Batería de litio	12/48	2	1	\$199,90	6,8	24	12	26	28	624	0,461538
		2	2	\$399,80	13,6	24	24	26	57	624	0,923077
		2	3	\$599,70	20,4	24	36	26	86	624	1,384615

2.2.2.4 Regulador de carga solar.

Un regulador de carga solar, también conocido como controlador de carga solar, es un componente vital en sistemas de energía solar fotovoltaica. Su función principal es gestionar la carga de las baterías conectadas al sistema, actuando como un supervisor inteligente que evita tanto la sobrecarga como la descarga excesiva. Este dispositivo monitoriza constantemente la corriente y el voltaje provenientes de los paneles solares, regulando la cantidad de energía que fluye hacia las baterías para prevenir daños y prolongar su vida útil. Además de su capacidad para evitar condiciones adversas, algunos reguladores modernos incorporan funciones avanzadas como la compensación de temperatura, la optimización de la carga y la protección contra cortocircuitos. Su interfaz de usuario permite la configuración y programación de parámetros específicos, brindando flexibilidad y control sobre el rendimiento del sistema solar.

En última instancia, el regulador de carga solar desempeña un papel crucial al garantizar la eficiencia operativa, la seguridad y la durabilidad del sistema fotovoltaico. Así es como el equipo Renogy Voyager (ver Fig. 21) de 20 amperios, con una salida de tensión de 12 o 24 voltios, se utiliza para cargar el banco de baterías integrado en el vehículo solar. Su funcionamiento consiste en recibir la energía generada por los paneles solares y mantener un voltaje y corriente estables para cargar el banco de baterías. A través de la pantalla, se puede obtener visualmente información sobre el nivel de carga, el voltaje suministrado por los paneles y el voltaje de carga hacia el banco de baterías.

Figura 21 Controlador de carga Solar



2.2.2.5 Panel solar

Un panel solar destinado a vehículos eléctricos juega un papel clave en la búsqueda de soluciones sostenibles para la movilidad. Su función principal es aprovechar la energía solar para cargar las baterías del vehículo, ofreciendo una fuente adicional de energía limpia y renovable. Montados en la carrocería o tejado del vehículo, estos paneles capturan la luz solar y la convierten en electricidad, que se utiliza para alimentar sistemas auxiliares o recargar directamente la batería principal. Esta tecnología contribuye a extender la autonomía de los vehículos eléctricos y reduce la necesidad de recargas frecuentes desde fuentes de energía convencionales. Además, representa un paso significativo hacia la sostenibilidad, al disminuir la huella de carbono asociada con la movilidad y ofrecer una forma eficiente y ecológica de impulsar el transporte eléctrico. Datos del panel solar (como se muestra en la Tabla 5) (ver Fig. 22).

Tabla 5 *Tabla de datos Panel Solar*

Datos Panel Solar		SunLink PV SL080-12M100	
Rated Max Power	Pmax	100W	
Minimum power tolerance		0-+3%	
Current at Pmax at STC	Imp	5.81A	
Voltage at Pmax at STC	Vmp	17.2V	
Short-Circuit Current at STC	Isc	6.43A	
Open-Circuit Voltage at STC	VDC	21.6V	
Weight		8Kg	
Max System Voltage		1000V	
Max Series Fuse Rating		8A	

Figura 22 *Paneles solares en CIDIS*

2.3 Software de simulación

Para llevar a cabo la simulación del vehículo autónomo alimentado por energía solar, se llevó a cabo una exhaustiva investigación de las herramientas de simulación disponibles en el ámbito, centrándonos específicamente en la selección de dos simuladores destacados: CARLA, un entorno de simulación desarrollado por el equipo de investigación de vehículos autónomos de Intel, y ROS, un marco de desarrollo de código abierto ampliamente utilizado en robótica (Dosovitskiy et al. 2017) (Gazebo, s/f; VarHowto, 2020).

La elección de estos simuladores se basó en su capacidad para proporcionar entornos virtuales realistas y la compatibilidad con los requisitos específicos del vehículo autónomo solar. CARLA, reconocido por su fidelidad visual y física, ofrece un entorno tridimensional rico en detalles, mientras que ROS facilita la integración de algoritmos y controladores complejos. La decisión de optar por ROS se fundamenta en varios factores, entre ellos, la facilidad de programación que ofrece y la eficiencia en el uso de recursos en comparación con CARLA. La naturaleza modular y la amplia comunidad de usuarios de ROS brindan ventajas adicionales al simplificar el desarrollo e implementación de algoritmos de control, así como al facilitar la colaboración en proyectos relacionados con vehículos autónomos y sistemas de energía renovable.

Esta elección estratégica se basa en la necesidad de garantizar una representación precisa y efectiva del comportamiento del vehículo solar en diversos escenarios y condiciones, permitiendo así la validación y optimización de algoritmos de conducción autónoma y sistemas de gestión de energía en un entorno virtual controlado antes de la implementación práctica.

2.4 Consideraciones legales y éticas

Antes de implementar el vehículo autónomo solar en el campus Gustavo Galindo, se llevaron a cabo consultas con las autoridades universitarias y se consideraron las regulaciones y normativas vigentes en materia de movilidad y seguridad. Las normativas usadas fueron en su mayoría normativas americanas por la obtención pronta de sus piezas y manuales.

Se prestaron especial atención a las consideraciones éticas y culturales relacionadas con el uso de materiales como la caña de bambú, asegurando que su recolección y utilización respetaran los valores y tradiciones de las comunidades locales. Se estableció un diálogo continuo con los grupos étnicos presentes en la región para garantizar su participación y considerar sus opiniones en el proceso de implementación del vehículo autónomo solar. Además, se promovió la inclusión y la equidad en el acceso al transporte sostenible en el campus, y también se buscó la integración de comunidades útiles del prototipo por su versatilidad.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

Inicialmente, se consideró como parámetro de diseño la dimensión de la ciclovia, debido a que esta consiste en dos carriles de un metro cada uno, estableciendo así el tamaño que debe tener el vehículo autónomo solar. Posteriormente, se procedió a determinar la potencia máxima necesaria, lo que influyó en la selección de paneles solares y motores hub. Iniciando con el cálculo de la potencia requerida, se abordó el dimensionamiento del vehículo y la evaluación de la resistencia estructural de la caña de bambú. Esta fase involucró la determinación de la potencia necesaria para superar el momento de inercia, considerando diversos factores como la resistencia de los materiales y los requisitos de energía para situaciones específicas. La sección correspondiente al cálculo de potencia abarca tablas detalladas con datos recopilados durante las pruebas, donde se evaluaron aspectos como la resistencia de los materiales, las condiciones de carga y los requerimientos de energía para superar el momento de inercia. Estas tablas proporcionan información clave para analizar el rendimiento del vehículo en distintas circunstancias. En paralelo, se presentó un apartado dedicado al procedimiento y cálculo del experimento para evaluar la resistencia estructural de la caña de bambú. Aquí se detallaron el método empleado, los parámetros de medición y los resultados obtenidos, contribuyendo a comprender la idoneidad de la caña de bambú como material estructural para el vehículo.

Posteriormente, se abordó la determinación del sistema fotovoltaico, donde se seleccionaron paneles solares y el controlador de carga solar. Este proceso se diseñó para optimizar la captura y almacenamiento de energía solar, asegurando un funcionamiento eficiente del vehículo autónomo. A continuación, se exploró la simulación del vehículo en un ambiente controlado, utilizando el software ROS. Esta simulación permitió evaluar el desempeño del vehículo en una sección de la ciclovia del campus, proporcionando información valiosa sobre su comportamiento en condiciones

específicas. Finalmente, se introdujo el prototipado del vehículo, destacando los avances y logros obtenidos mediante la experimentación y simulación. Estos resultados validaron el diseño propuesto y respaldaron la viabilidad del uso de la caña de bambú como material estructural en la construcción de un vehículo autónomo solar.

3.2 Parámetros de diseño

Se determina la potencia mínima requerida para que el vehículo rompa el momento de inercia, dato que nos permitirá escoger el motor del vehículo.

3.2.1 Cargas muertas

En la Tabla 6, se presenta una descripción detallada de las cargas estáticas, comúnmente referidas como cargas muertas. En el contexto de la masa vehicular, se contempla una exhaustiva definición que abarca elementos fundamentales como el chasis, la carcasa de caña, el sistema de direccionamiento Ackerman y los controladores de carga y velocidad.

Con respecto a la masa de los paneles solares, se registra el peso resultante de la combinación de dos módulos solares. Es relevante destacar que este valor es susceptible de variación, dependiendo directamente de la cantidad de paneles integrados en el sistema.

En relación con la masa del banco de baterías, su magnitud está intrínsecamente vinculada al tipo de batería seleccionada, ya sea de celdas de litio u otras variantes químicas. Es imperativo subrayar que el peso, voltaje y capacidad de almacenamiento y suministro de energía varían significativamente entre estas distintas tecnologías de baterías.

Tabla 6 *Relación de Cargas Muertas*

Cargas muertas	Masa (Kg)
Masa del Vehículo	80
Masa de Paneles solares	8
Masa del Banco de Baterías	8
total	96
Gravedad	9.81
Fuerza generada	941.76

3.2.2 *Cargas vivas*

En la Tabla 7, podemos observar las cargas vivas o también llamadas como cargas móviles, estas cargas dependen del usuario y del equipaje que transporte mientras utiliza el vehículo. Para este cálculo se utilizó un peso promedio de estudiantes universitarios.

Tabla 7 *Relación de Cargas Vivas*

Cargas Vivas	Masa (Kg)
Masa de Piloto	90
Masa de maletas	7
total	97
Gravedad	9.81
Fuerza Generada	951.57

Se presenta el cálculo de la masa, esto permite obtener valores relacionados con la energía, como la energía cinética, la energía de rodadura y el trabajo realizado. Estos resultados se detallan en la Tabla 8, que proporciona una visión integral de la energía total. A través de la modificación del tiempo, es posible aproximar la potencia requerida por los motores para llevar a cabo distintos tipos de tramos de conducción.

Tabla 8 *Datos de prueba*

Datos	Valores
Masa	193 kg
Velocidad	10 km/h
	2,78 m/s
Distancia	2000 m
Coefficiente de Fricción	0,7
Fuerza de rodadura	1325,33 N
Gravedad	9,8 m/s ²
Eficiencia	0,9

En la Tabla 9 se observa que a medida que aumenta el ángulo de inclinación de una pendiente que se debe ascender, se incrementa el tiempo necesario para mantener la potencia dentro del rango de 3 kW. Se evidencia que con una inclinación de 30° para subir una distancia de 2 km, se requiere un tiempo de 26 minutos. Estos valores, probados en cálculos extremos, nos permiten conocer la autonomía del vehículo.

Tabla 9 *Tabla de prueba de Potencia*

Energía cinética [Joules]	744,5987			
Energía de Resistencia a Rodadura [Joules]	2650662			
Ángulos [°]	30	20	10	0
Energía de Trabajo en Ascenso [Joules]	1891400	1293793,798	656876,3265	0
Energía Total [Joules]	4542806,599	3945200,397	3308282,925	2651406,599
Tiempo [minuto]	26	22	19	15
Potencia [W]	2912,0555	2988,788	2902,002	2946,007

3.2.3 Prueba de momento de ruptura de la caña de bambú

Es crucial verificar la capacidad de la caña para resistir la tensión, especialmente cuando se diseña un vehículo que debe soportar tanto la carga estructural como el peso de una persona promedio.

La evaluación de los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras (f_p) es especialmente crucial en las áreas de apoyo y en aquellos puntos donde se concentren cargas en superficies reducidas. Es esencial que el esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras no supere el límite permisible, ajustado con factores de modificación correspondientes. Este proceso de verificación es vital para garantizar la integridad estructural y la resistencia en zonas críticas del material. El esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra actuante se calcula con la Ecuación 5.

$$f'_{c\perp} = \frac{3RD_e}{2t^2l} < F'_p$$

Ecuación 5. Fórmula del Esfuerzo a Compresión

En donde:

$f'_{c\perp}$ = esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa.

d_c = esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en MPa.

D_e = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm.

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm.

l = longitud de apoyo, en mm.

R = Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N.

(Walter Villavicencio, s/f)

A través de experimentación, se llevó a cabo una prueba para evaluar la resistencia a la tensión de las cañas de bambú. Se seleccionaron seis cañas de 2 metros de longitud (ver Fig. 23.a), y se colocó una caña a la vez de tal manera que 20 centímetros de cada extremo estuvieran apoyados sobre una base, dejando el resto suspendido en el aire (ver Fig. 23.b). Simultáneamente, en el centro de cada caña se agregó un saco de arena con un peso de 30 kg, se siguió agregando sacos hasta que la caña cedió (ver Fig. 23.c). Este procedimiento se repitió para cada caña.

Figura 23 Prueba de resistencia de la caña de bambú

a) Caña brava 2mt b) Muestra 2 con carga de 420 kg, c) Muestra 6 con carga de 300kg



a)



b)



c)

De la Tabla 10, se realizaron análisis y gráficas considerando dos variables: la fuerza ejercida sobre la caña de bambú y el momento de ruptura de esta. Los resultados obtenidos indican que, en promedio, las cañas de bambú son capaces de resistir una fuerza de 4410 N antes de llegar a su punto de ruptura. Este dato es fundamental para la investigación, ya que proporciona una comprensión cuantitativa de la resistencia a la tensión de las cañas de bambú en condiciones específicas.

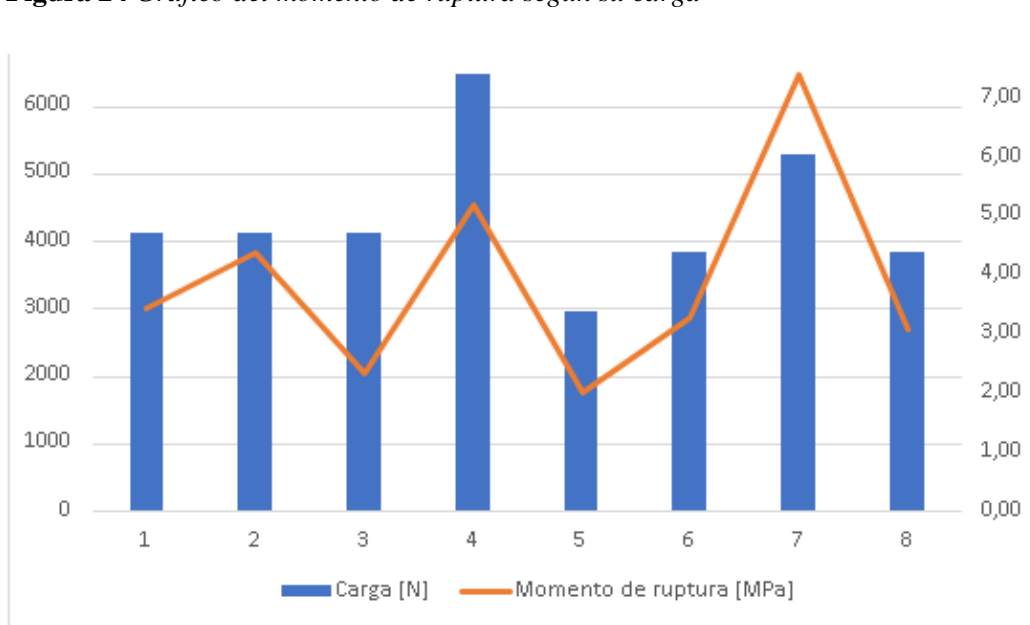
Tabla 10 Especificaciones sobre la caña y su punto de ruptura

Muestr a	Longitu d [mt]	Pes o [kg]	Diámetr o exterior [mm]	Diámetr o interior [mm]	Espeso r [mm]	Peso carg a [kg]	Carg a [N]	Longitu d de apoyo [mm]	Moment o de ruptura [MPa]
1	2	3,1	90,5	81,5	9	420	4116	2000	3,45
2	2	3,2	91	83	8	420	4116	2000	4,39
3	2	3,2	91	80	11	420	4116	2000	2,32
4	2	6	107	97	10	660	6468	2000	5,19
5	2	4	91	81	10	300	2940	2000	2,01
6	2	2,5	93	84	9	390	3822	2000	3,29
7	2	5	105	97,5	7,5	540	5292	2000	7,41
8	2	5	97,5	88	9,5	390	3822	2000	3,10

En el contexto del análisis se centra en la utilización de la caña de bambú como material estructural para un vehículo, se llevó a cabo una evaluación técnica detallada de su capacidad para resistir tensiones críticas. Dada la necesidad de que el vehículo sea capaz de soportar el peso de una persona y resistir las vibraciones asociadas con la movilización, se ha focalizado especialmente en la respuesta de la caña de bambú bajo fuerzas aplicadas y su punto de ruptura.

En la Fig. 24, se puede apreciar de manera grafica la comparación entre la fuerza aplicada sobre la caña con respecto a su momento de ruptura.

Figura 24 Gráfico del momento de ruptura según su carga

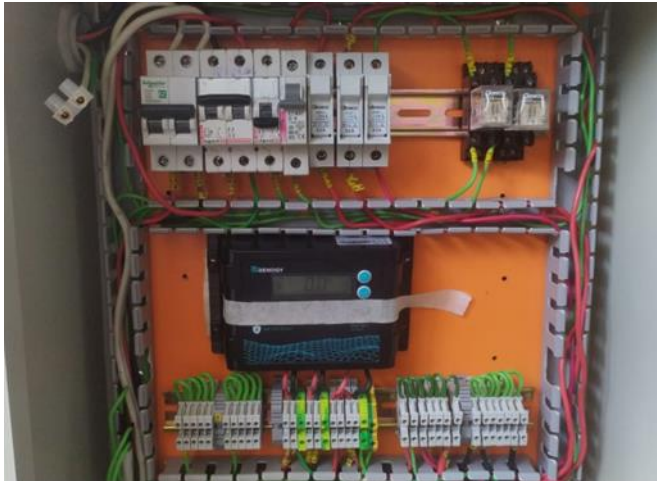


Sin embargo, con base en un análisis más detallado de las especificaciones del vehículo autónomo solar y considerando las limitaciones prácticas, se concluye que la caña de bambú, debido a su diámetro relativamente grueso, resulta más adecuada para su implementación en la carrocería del vehículo. Este enfoque permitirá aprovechar las propiedades de resistencia de la caña de bambú de manera efectiva, mientras que se explorarán alternativas más adecuadas para otras partes estructurales del vehículo, garantizando así una solución equilibrada y eficiente para el diseño del vehículo autónomo.

3.2.4 Construcción del prototipo

En la construcción de un vehículo solar autónomo, se abordaron dos componentes críticos en la consecución de este proyecto. Inicialmente, se enfocó en el diseño y la implementación del sistema fotovoltaico, el cual se compone de dos paneles solares estratégicamente posicionados para maximizar la captura de energía solar. Este sistema fue complementado con un controlador de carga solar, encargado de regular la corriente hacia el banco de baterías de litio, garantizando así un almacenamiento eficiente de la energía generada por los paneles solares. La Fig. 25 en el documento presenta el tablero de control con el controlador de carga de baterías utilizando paneles solares, detallando la aplicación fotovoltaica.

Figura 25 Tablero eléctrico para aplicación fotovoltaica



Posteriormente, se avanzó hacia la segunda fase del proyecto, que se centró en la integración de los componentes de control (ver Fig. 26.c) y de energía para el vehículo eléctrico. Para ello, se reutilizó un chasis preexistente de dimensiones 1.2 x 0.7 metros, como se evidencia en la Fig. 26.a.b. Este enfoque estratégico permitió maximizar la eficiencia en el uso de recursos, asegurando

al mismo tiempo una adaptación precisa a los rigurosos parámetros de diseño establecidos para el proyecto.

Figura 26 *Chasis modificado del prototipo*

a) Chasis modificado b) Sistema de suspensión c) Integración de componentes



a)



b)

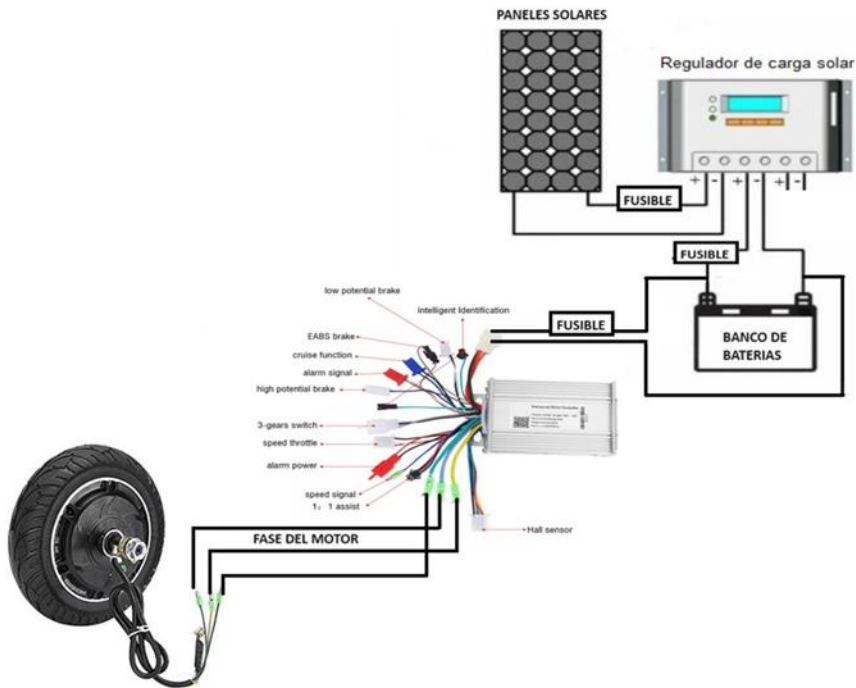


c)

En la selección de componentes, se optó por utilizar dos motores hub provenientes de bicicletas eléctricas, reconocidos por su eficiencia en la conversión de energía eléctrica en movimiento. Asimismo, se incorporaron baterías de litio de alta capacidad, diseñadas para almacenar la energía generada por el sistema fotovoltaico. Aunque inicialmente concebido como una entidad separada del vehículo, este diseño fue estratégicamente planificado para complementar de manera sinérgica la funcionalidad del conjunto.

La integración de ambos componentes resultó en un vehículo autónomo solar diseñado para una sola persona, capaz de desplazarse utilizando exclusivamente la energía solar almacenada en las baterías de litio. Este enfoque técnico integral, respaldado por la eficiencia del sistema fotovoltaico y la selección cuidadosa de componentes, ofrece una solución avanzada y sostenible para la movilidad autónoma impulsada por energía solar, como se observa en el diagrama de conexiones de la Fig. 27. La conjugación de estos elementos culmina en un vehículo funcional y eficiente que representa un paso significativo hacia la viabilidad y eficiencia de la movilidad solar autónoma.

Figura 27 Diagrama de conexión eléctrica



3.2.5 Pruebas en condiciones controladas

Con el prototipo construido, se llevaron a cabo pruebas iniciales en condiciones controladas, (ver Fig. 28). Estas pruebas incluyeron el consumo de potencia y verificación de autonomía para evaluar el rendimiento del vehículo en situaciones controladas. Además, se realizó una prueba de integración para comprobar la conectividad del sistema fotovoltaico con el sistema de control del vehículo, asegurando una operación sin problemas y una gestión eficiente de la energía solar.

Figura 28 Prueba de campo

a) Rampa bajada b) Ciclo vía espol c) Rampa subida



a)



b)



c)

Las pruebas permitieron identificar posibles áreas de mejora y optimización del sistema. Cualquier problema o desviación con respecto a las especificaciones de diseño se abordó durante esta etapa, realizando ajustes y mejoras según fuera necesario.

3.2.6 *Ajustes y optimizaciones finales*

Con base en los resultados de las pruebas de campo, se realizaron los ajustes y optimizaciones finales en el vehículo autónomo solar. Estos ajustes incluyeron mejoras en la eficiencia energética buscando un factor de potencia del motor que favorezca a la optimización de la energía, la seguridad y la versatilidad del vehículo. Se realizaron pruebas adicionales para verificar la efectividad de las optimizaciones y garantizar que el vehículo cumpliera con los estándares de calidad y seguridad requeridos, dichas pruebas fueron realizadas con el fin de encontrar los límites del vehículo y con ellos se estableció una garantía de manera general.

3.2.7 *Diseño de vehículo y simulación*

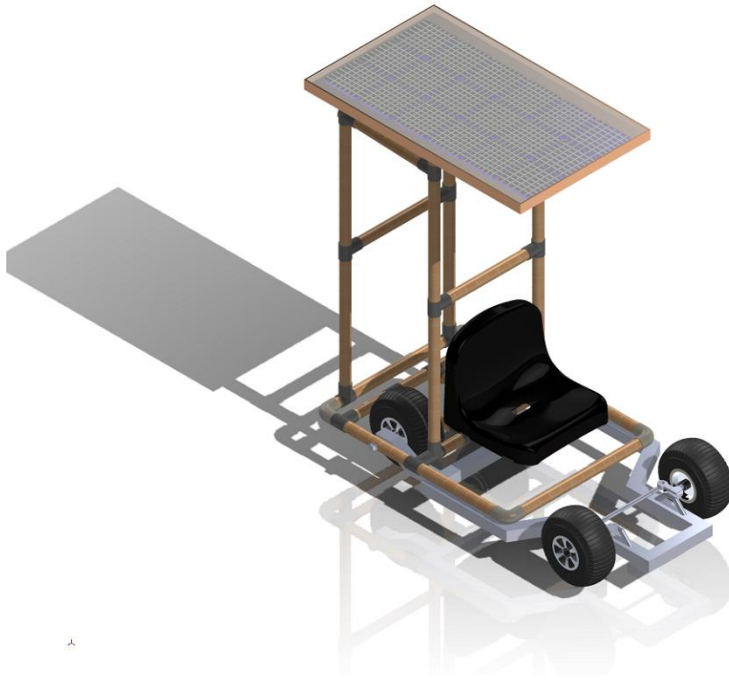
3.2.7.1 Diseño en 3D

El diseño de un vehículo autónomo solar en 3D implica la consideración de diversos parámetros para garantizar eficiencia energética, seguridad y rendimiento. A continuación, en la Tabla 11 se detallan los principales parámetros de diseño para este tipo de vehículo:

Tabla 11 *Parámetros de diseño*

Dimensiones Generales	Base:1.35 x0.70 metros Altura: 1.20 metros
Sistema de Propulsión:	Motor Hub sin escobillas
Paneles Solares:	1.00 x 0.60 metros
Baterías de Almacenamiento:	Baterías de litio
Chasis y Estructura:	Chasis ligero y resistente: Caña de bambú Estructura de acero y metal
Suspensión y Neumáticos:	Suspensión semirrígida en ruedas traseras Neumáticos de 10 pulgadas
Sistema de Dirección:	Direccionamiento Ackermann en las ruedas delanteras y diferencial en las ruedas traseras
Sistema de Frenos:	Frenos regenerativos para recuperar energía durante la frenada y mejorar la eficiencia general.

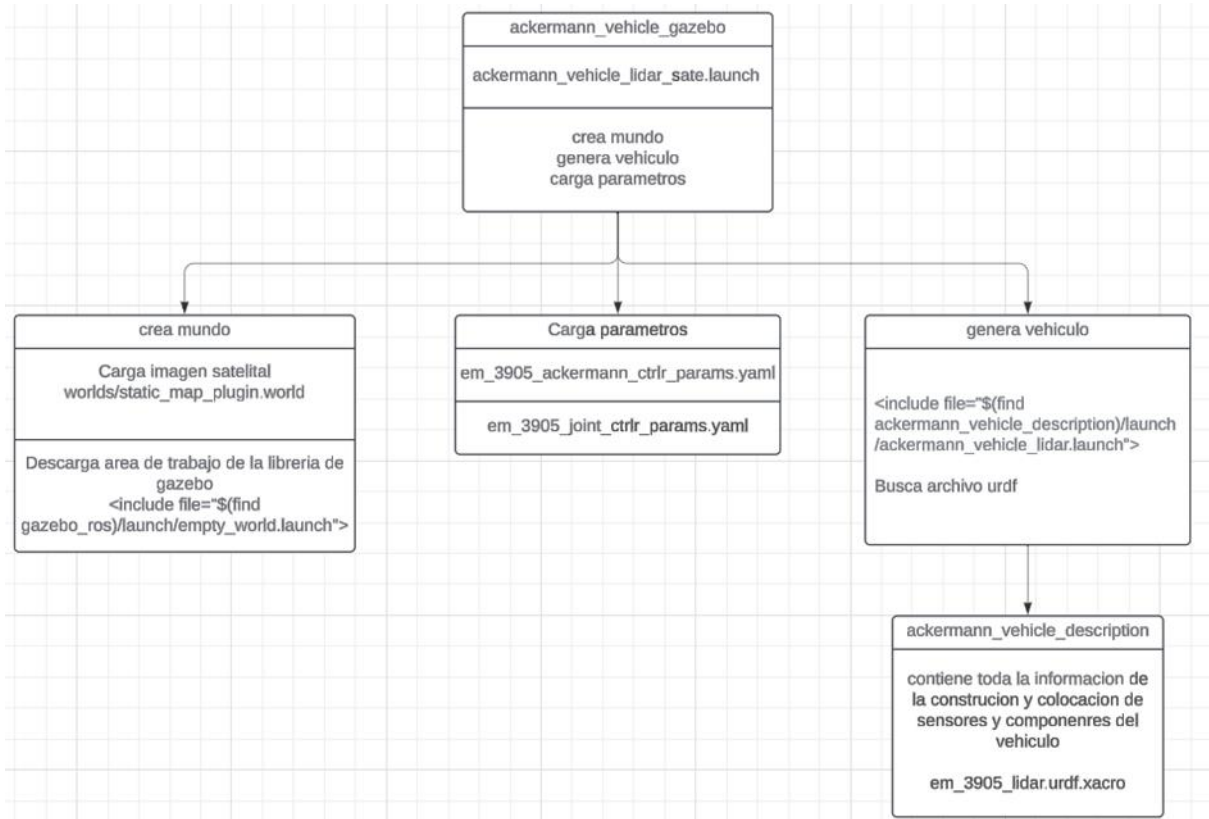
Cumplimiento con las regulaciones locales de seguridad y requisitos normativos. En la Fig. 29, se presenta la integración armoniosa de estos parámetros garantizará un diseño eficiente y funcional para un vehículo autónomo solar en 3D, capaz de aprovechar la energía solar para una movilidad sostenible. En el Anexo A, se encuentra los planos del diseño.

Figura 29 *Diseño 3D*

3.2.7.2 Simulación en Gazebo

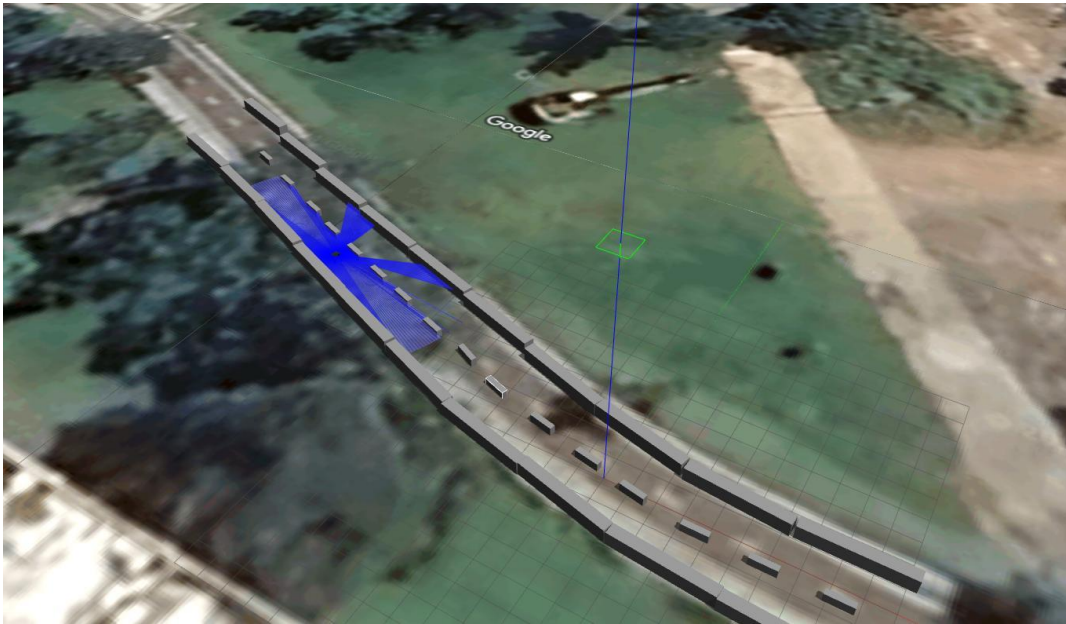
La simulación del vehículo autónomo solar con sistema de dirección Ackermann se llevó a cabo en una sección específica de la ciclovía del campus Gustavo Galindo, utilizando los algoritmos necesarios para simular el modelo. Los paquetes esenciales para la instalación de las herramientas de ROS en el entorno Linux se descargan desde consola (IsaacSaito, 2023), también se reutilizó el código de la conducción Ackermann (hdh7485, 2021), se modificó el código para cargar una imagen satelital de una sección de la ruta del ciclo vía espol antes de llegar a la facultad de FCV (gazebo, 2024). Este enfoque garantiza una configuración precisa del ambiente simulado. A través de esta simulación, se evaluó el comportamiento del vehículo en condiciones cercanas a la realidad. Para la implementación del control automático, se empleó un sensor líder, cuyas especificaciones y detalles técnicos se describirán en secciones posteriores de este análisis.

Figura 30 Diagrama de ejecución de simulación



En la Fig. 30, se presenta el diagrama de flujo que ilustra los archivos llamados por el ejecutable para simular el área de trabajo en Gazebo. Este proceso incluye la inserción de una imagen satelital de la sección de la ciclovía y la generación de la construcción junto con los tópicos de control necesarios para el vehículo autónomo, como se observa en la Fig. 31.

Figura 31 Simulación de una sección de la ciclovía espol en Gazebo



Para la programación del control autónomo considerando la ruta, se desarrolló un archivo de Python cuya función principal es la evaluación de la distancia mediante el sensor LiDAR (Light Detection and Ranging). En base a esta información, se ajusta la velocidad y el sentido de giro del vehículo. Aquí hay una explicación detallada del código:

3.2.7.2.1 Importación de bibliotecas:

```
import rospy
import math
from sensor_msgs.msg import LaserScan
from ackermann_msgs.msg import AckermannDrive
from ackermann_msgs.msg import AckermannDriveStamped
from geometry_msgs.msg import Twist
from std_msgs.msg import Bool
```

Se importan las bibliotecas necesarias para la comunicación con ROS y el manejo de mensajes, así como las bibliotecas para matemáticas y geometría.

3.2.7.2.2 *Funciones auxiliares:*

```

def convert_trans_rot_vel_to_steering_angle(v, omega, wheelbase):
    if omega == 0 or v == 0:
        return 0
    radius = v / omega
    return math.atan(wheelbase / radius)

def cmd_callback(data):
    global wheelbase
    global ackermann_cmd_topic
    global frame_id
    global pub
    global message_type
    if message_type == 'ackermann_drive':
        v = data.linear.x
        steering = convert_trans_rot_vel_to_steering_angle(v, data.angular.z, wheelbase)
        msg = AckermannDrive()
        msg.steering_angle = steering
        msg.speed = v
        pub.publish(msg)
    else:
        v = data.linear.x
        steering = convert_trans_rot_vel_to_steering_angle(v, data.angular.z, wheelbase)
        msg = AckermannDriveStamped()
        msg.header.stamp = rospy.Time.now()
        msg.header.frame_id = frame_id
        msg.drive.steering_angle = steering
        msg.drive.speed = v
        pub.publish(msg)

def lidar_callback(msg):
    global pub

```

```

ackermann_msg = AckermannDrive()
# Obtener el rango más cercano del LiDAR
ranges = msg.ranges
# Número de lecturas en el frente del robot (depende de la configuración de tu LiDAR)
front_readings = 360 # ajusta esto según tu configuración
# Rango de ángulos para considerar en la detección de obstáculos
obstacle_angle_range = (-math.pi / 4, math.pi / 4) # Ajusta según sea necesario

# Verifica si hay algún obstáculo en el frente (dentro de 1 metro)
if not any (0.2 < r < 1.2 for r in ranges[:front_readings] ):
    # Continuar moviéndose si no hay obstáculos cercanos
    rospy.loginfo("MOVING!" ) #state situation constantly
    ackermann_msg.speed = 0.5 # Ajusta la velocidad lineal según sea necesario
    ackermann_msg.steering_angle = 0.0 # Ajusta la velocidad angular según sea
necesario
else:
    # Encuentra el ángulo del rango con el objeto más lejano
    farthest_obstacle_angle = ranges.index(max(ranges))
    # Determina si girar a la derecha o a la izquierda para moverse hacia el objeto más
lejano
    if farthest_obstacle_angle < front_readings / 2:
        rospy.loginfo("Moving towards farthest obstacle on the right!")
        ackermann_msg.steering_angle = obstacle_angle_range[0]
    else:
        rospy.loginfo("Moving towards farthest obstacle on the left!")
        ackermann_msg.steering_angle = obstacle_angle_range[1]

# Ajusta la velocidad para moverse hacia el objeto más lejano
ackermann_msg.speed = 0.2 # Ajusta la velocidad lineal según sea necesario
pub.publish(ackermann_msg)

```

Estas funciones auxiliares realizan operaciones específicas necesarias para el control del vehículo.

3.2.7.2.3 *Callbacks:*

cmd_callback(data): Este callback se activa cuando se recibe un comando de velocidad.

Dependiendo del tipo de mensaje (**ackermann_drive** o **ackermann_drive_stamped**), ajusta la velocidad y el ángulo de dirección del vehículo.

lidar_callback(msg): Este callback se activa al recibir datos del LiDAR. Evalúa las lecturas del LiDAR para determinar si hay obstáculos en el frente del vehículo. En función de esta información, ajusta la velocidad y el ángulo de dirección para evitar obstáculos.

3.2.7.2.4 *Función principal y configuración de parámetros*

Se ejecuta cuando el script es llamado como programa principal e se inicializa un nodo ROS llamado “obstacle_avoidance_node”

```
if __name__ == '__main__':
    try:
        rospy.init_node('obstacle_avoidance_node')
        rospy.loginfo("Inicio!")
```

Configuración de parámetros ROS como tópicos de comandos, dimensiones del vehículo y tipo de mensaje para la publicación de comandos.

```
twist_cmd_topic = rospy.get_param('~twist_cmd_topic', '/cmd_vel')
ackermann_cmd_topic = rospy.get_param('~ackermann_cmd_topic',
'/ackermann_cmd')
wheelbase = rospy.get_param('~wheelbase', 1.0)
frame_id = rospy.get_param('~frame_id', 'odom')
message_type = rospy.get_param('~message_type', 'ackermann_drive') #
ackermann_drive or ackermann_drive_stamped
```

3.2.7.2.5 *Configuración de publicadores y suscriptores:*

Configura el publicador en función del tipo de mensaje seleccionado

```
if message_type == 'ackermann_drive':
    pub = rospy.Publisher(ackermann_cmd_topic, AckermannDrive, queue_size=1)
else:
    pub = rospy.Publisher(ackermann_cmd_topic, AckermannDriveStamped,
queue_size=1)
```

Configura los suscriptores para los comandos de velocidad y los datos del LIDAR.

```
rospy.Subscriber(twist_cmd_topic, Twist, cmd_callback, queue_size=1)
rospy.Subscriber('/lidar/scan', LaserScan, lidar_callback)
```

3.2.7.2.6 *Registro y ejecución*

Registra la información del nodo y mantiene el nodo en ejecución

```
rospy.loginfo("Node 'obstacle_avoidance_node' started.\nListening to %s, publishing
to %s. Frame id: %s, wheelbase: %f", "/cmd_vel", ackermann_cmd_topic, frame_id,
wheelbase)
```

En resumen, este código establece un nodo ROS para el control autónomo de un vehículo, utilizando datos del LiDAR para evitar obstáculos y respondiendo a comandos de velocidad, en la figura se observa el grafo de la ejecución de la simulación. La lógica de evasión de obstáculos se basa en la detección de obstáculos en el frente del vehículo y ajusta la velocidad y el ángulo de dirección en consecuencia. En la Fig. 32 y 33 observamos el grafo y la simulación del vehículo autónomo ejecutando el controlador.

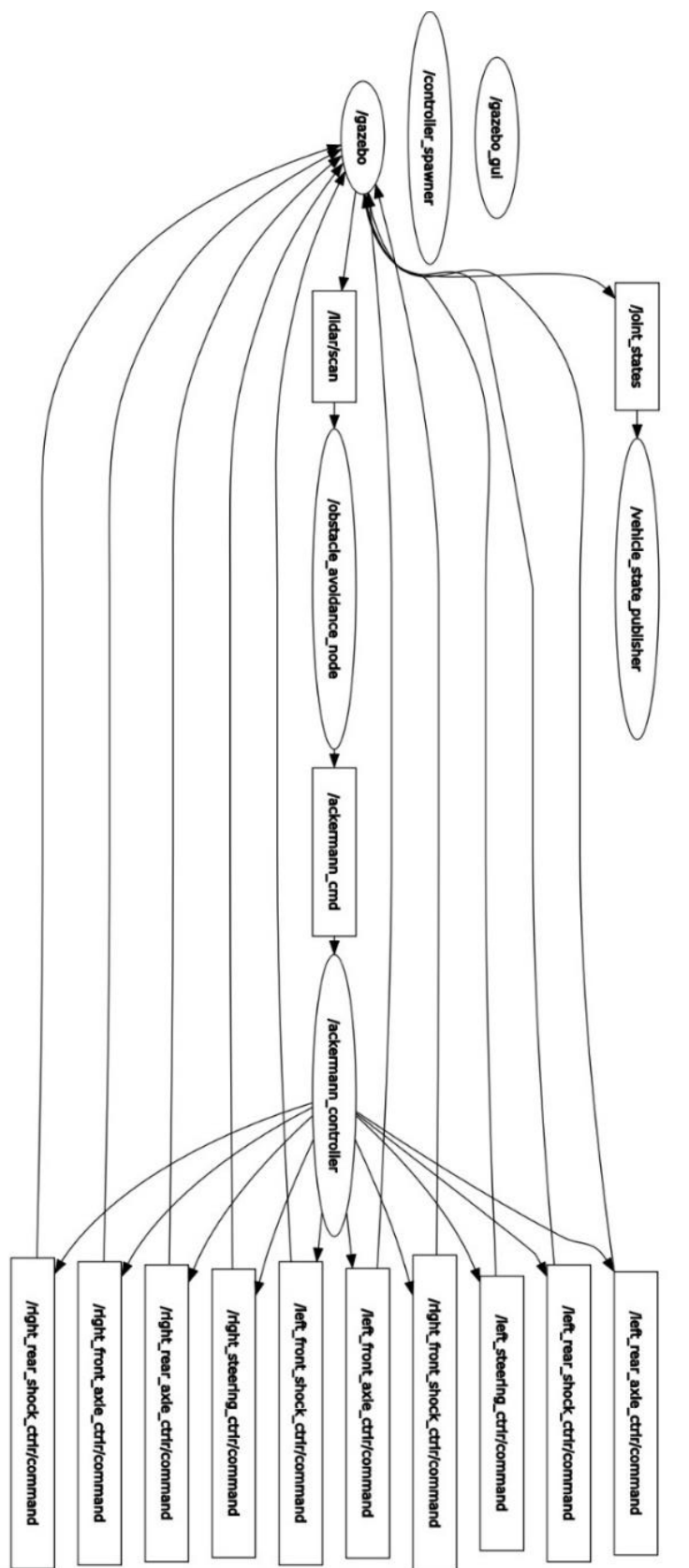
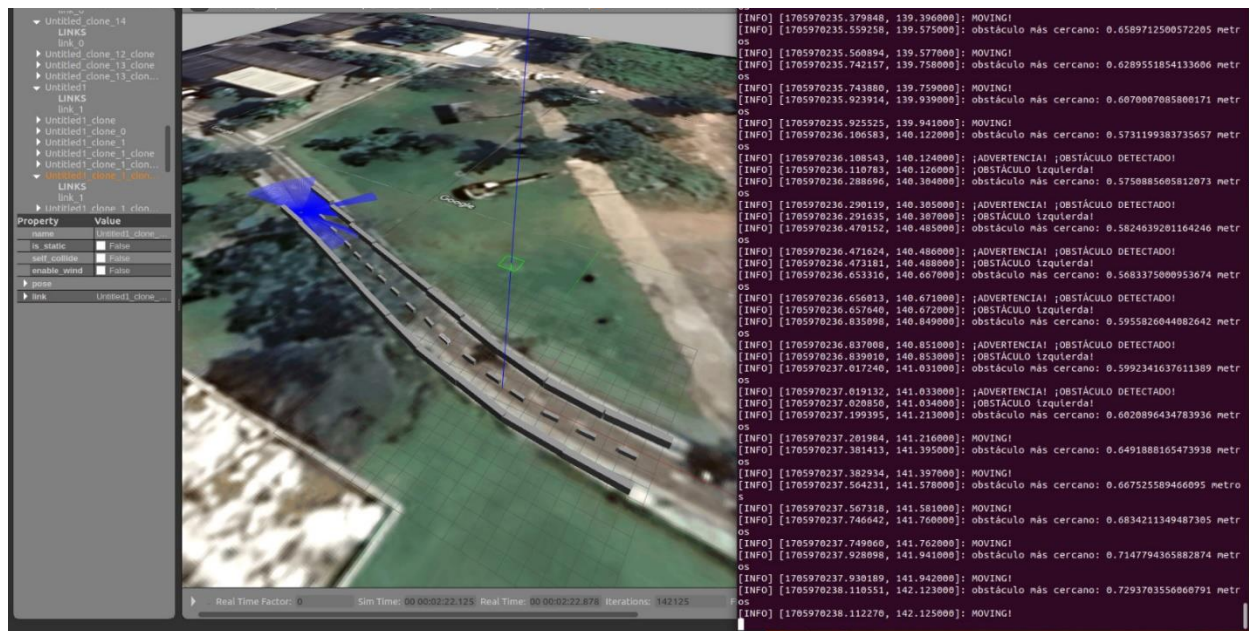
Figura 32 *rqt_graph_RosGraph*

Figura 33 Simulación Gazebo y código de control



3.2.8 Análisis de costos

Al llevar a cabo la determinación de los componentes requeridos para la construcción del vehículo autónomo solar, se procedió a la elaboración de tres tablas de análisis. En la Tabla 12 se detalla el costeo integral para la fabricación de un vehículo autónomo solar, considerando los parámetros de diseño establecidos previamente. Por otro lado, la Tabla 13 presenta un presupuesto detallado para la construcción del prototipo, priorizando la selección de componentes con menor capacidad. En cuanto a la Tabla 14, se llevó a cabo una comparativa exhaustiva de los costos asociados a vehículos con parámetros similares, con el objetivo de identificar tendencias y oportunidades de optimización en el proceso de construcción y adquisición de componentes.

3.2.8.1 Diseño

Tabla 12 *Tabla de costo de componentes*

Componentes de diseño							
	Cantidad	Voltaje min. [V]	Voltaje max. [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Costo c/u	Costo total
Motores Hub	2	36	60	7,5	350 -1500	203,79	406,38
Controlador de velocidad	2	36	48	30	1000		151,54
Lithium Battery Pack, BMS	1		48	30	250-1500	340	340
Controlador de carga	1	12	48	30		39,6	39,6
Paneles solares	2	16	24	5,56	200	89,9	179,8
Chasis de vehículo	1						150
Kit de barra de acoplamiento de eje reajutable	1					86	86
Cubierta de caña	1						80
						total	1433,32

3.2.8.2 Prototipo

Tabla 13 *Tabla de Costos de Componentes para el Prototipo*

Prototipo							
	Cantidad	Voltaje min. [V]	Voltaje max. [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Costo c/u	Costo total
Motores Hub	2	24	36		250	100	200
Kit de controlador de motor sin escobillas de 24 V/36 V 250 W/350 W	1	24	36		350	81,51	81,51
Lithium Battery Pack, BMS	2		22,2	5		199,98	399,96
Controlador de carga	1	12	24	20		49,94	49,94
Paneles solares	2	16	24	5,56	200	89,9	179,8
chasis de vehículo	1						80
cubierta de caña							50
						total	1041,21

Tabla 14 Cuadro comparativo

	Peso [kg]	Velocidad máxima [km/h]	Batería:	Motor:	Tiempo de carga:	Carga máxima [kg]	Costo
Segway Ninebot Gokart	51,2	37	iones de litio, 52V 432Wh	500W x 2, con picos de 2.400W x 2	6 horas	100	\$1.659,00
Kart Trailmaster ULTRA BLAZER 200EX EFI	300	60	N/A	4 tiempos, mono cilíndrico, refrigerado por aire	N/A	226	\$3.299,00
X-PRO Rover 125 ZongShen Engine Go Kart	165	56	N/A	Zongshen de 125cc	N/A	150	\$1.399,00
diseño	120	30 - 60	Batería de litio de 60 V, 20 Ah	350W x 2, con picos de 1500W x 2	5-7 horas	150	\$1433,32
Prototipo	100	20	Batería de litio de 26 V, 4.4 Ah	350W x 2	3 horas	100	\$1041,21

Para analizar la capacidad de carga y el costo de los vehículos, podemos considerar los siguientes aspectos:

Capacidad de carga:

Segway Ninebot Gokart: 100 kg

Kart Trailmaster ULTRA BLAZER 200EX EFI: 226 kg

X-PRO Rover 125 ZongShen Engine Go Kart: 150 kg

Diseño: 150 kg

Prototipo: 100 kg

Costo:

Segway Ninebot Gokart: \$1,659.00

Kart Trailmaster ULTRA BLAZER 200EX EFI: \$3,299.00

X-PRO Rover 125 ZongShen Engine Go Kart: \$1,399.00

Diseño: \$1,433.32

Prototipo: \$1,041.21

Considerando ambos aspectos, el óptimo sería el prototipo, ya que tiene una capacidad de carga suficiente (100 kg) y un costo relativamente bajo (\$1,041.21) en comparación con los otros modelos. Además, su tiempo de carga es más corto (3 horas), lo que podría ser beneficioso en términos de eficiencia y disponibilidad del vehículo.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Siendo la caña un material de baja densidad, sostenible y económicamente viable, tras la evaluación de la resistencia a la ruptura de la caña, se han determinado valores generales de resistencia en la vecindad de los tres mil newtons de fuerza de soporte. Esto, considerando que el diámetro no debe descender de los ocho centímetros para alcanzar dicha resistencia estructural. Este análisis ha conducido a la conclusión de que la caña proveniente de la región ecuatorial exhibe notables propiedades de firmeza y solidez ante diversas cargas. Al considerar estos parámetros de resistencia, se plantea la posibilidad de potenciar aún más estas propiedades mediante tratamientos específicos. Dado el diseño intrínseco de una cubierta de caña, se ha requerido la implementación de tornillos pasantes en cada unión de la caña. La selección de estos elementos se fundamentó en la investigación de normas técnicas aplicables en construcciones, validando así la idoneidad de dicha conexión ante posibles calamidades estructurales. Este enfoque de diseño, implementado y simulado en Software de diseños, ha permitido representar de manera gráfica la configuración y composición de diversas partes estructurales, como el chasis, carcasa y motores, proporcionando una clara visualización de la posición y disposición de la caña en el conjunto.
- En virtud de la diversificación en la integración de componentes solares, se ha ejecutado un análisis pormenorizado y una evaluación económica de diversos dispositivos, meticulosamente seleccionados en función de las características esenciales como el dimensionamiento, la potencia máxima y el peso. Para los paneles solares, se ha

determinado una potencia nominal de doscientos vatios, considerando con meticulosidad las limitaciones impuestas por el dimensionamiento y el confinado espacio del vehículo. De esta evaluación, se deduce que este género de paneles solares, a pesar de exhibir una tensión próxima a los cuarenta voltios, aseguran un suministro ininterrumpido al controlador de carga, superando holgadamente el umbral voltaico requerido por las baterías. Este fenómeno, mientras se ejecuta la operación del vehículo, perpetúa un ciclo constante de carga y descarga en las baterías, ampliando significativamente la autonomía al utilizar exclusivamente la capacidad energética de las baterías. Cabe resaltar que esta oscilación energética es supervisada de manera continua por el controlador de carga solar, cesando al instante de percibir la plena carga de la batería e iniciando el proceso de carga únicamente cuando se identifica la necesidad energética subsiguiente.

- En virtud de la investigación llevada a cabo para el sistema de control, se han identificado los componentes pertinentes, destacando el control de velocidad, regido por un acelerador. Este componente, a través de un desplazamiento en su estructura, efectúa variaciones en el voltaje. Dicho voltaje de ajuste regula las puertas de los transistores de accionamiento, permitiendo así la variación de voltaje para los motores, cuyo rendimiento se encuentra intrínsecamente ligado a dicha regulación.

La ejecución del prototipado, empleando un único controlador de velocidad para la operación de ambos motores, ha proporcionado un entendimiento profundo de las características inherentes a esta metodología. Los resultados obtenidos sugieren que, para alcanzar una eficiencia óptima en la potencia de trabajo, se aconseja la implementación de dos controladores, uno dedicado a cada motor hub. Este enfoque asegura que cada motor disponga de una corrección de voltaje individualizada, posibilitando el desarrollo de su potencia sin experimentar caídas en el rendimiento.

4.1.2 *Recomendaciones*

- Con el propósito de optimizar el rendimiento y la autonomía de vehículos de esta índole, se sugiere la implementación de una estación de carga para las baterías. En este contexto, se propone considerar los andenes de bicicletas como estructuras de soporte para paneles solares de alta potencia. Esta disposición permitiría maximizar la captación de energía lumínica, proporcionando así una potencia ampliada al controlador de carga solar. Como consecuencia, se lograría la reducción del tiempo de carga, no solo para una única unidad de batería, sino para múltiples unidades simultáneamente. Esta estrategia posibilitaría el uso continuado del vehículo a lo largo del día mediante cambios eficientes de baterías, constituyendo una solución viable para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética en la movilidad urbana.
- Entre los segmentos abordados en el marco de la tesis, se contempla la conducción autónoma del vehículo; sin embargo, dadas las dimensiones del proyecto, esta fase no ha sido implementada. En vista de ello, se recomienda la adopción de simulaciones mediante el entorno de desarrollo ROS (Robot Operating System) para la subsiguiente programación y validación de sistemas sensoriales, entre los cuales se destacan el Lidar y dispositivos de seguimiento. Se insta también a considerar la incorporación de una unidad central de procesamiento (CPU) dedicada para el análisis y la optimización de la aceleración del vehículo, proporcionando así una base sólida para investigaciones futuras en el ámbito de la conducción autónoma y sistemas avanzados de asistencia al conductor.
- Considerando las propiedades de resistencia y flexibilidad inherentes a la caña, se sugiere la exploración de la viabilidad de confeccionar un chasis integral utilizando

métodos de curado específicos para dicho material. Esta técnica, basada en procesos científicos, permitiría la formación de un chasis robusto y eco amigable, representando así una alternativa innovadora y sostenible en el diseño de estructuras para vehículos.

- En caso de requerir un incremento en la potencia o capacidad del vehículo en un futuro, se sugiere la implementación de elevadores de voltaje. Estos dispositivos permitirían alimentar nuevos controladores de velocidad diseñados para recibir una entrada de potencia más elevada. Esta adaptación se propone con el objetivo de optimizar el rendimiento del vehículo sin la necesidad de aumentar la cantidad de paneles solares ni realizar modificaciones significativas en el sistema solar preexistente.
- En aras de perfeccionar la simulación de vehículos a mayor escala, se recomienda la adopción de la versión más reciente del simulador, ROS 2. Esta actualización introduce nuevas bibliotecas que no solo mejoran la comunicación con Gazebo, sino que también ofrecen una perspectiva más refinada del vehículo en diversos entornos. Este avance tecnológico brinda una mayor precisión y eficacia en la representación virtual del comportamiento del vehículo, permitiendo una investigación más avanzada y detallada en escenarios complejos.

Referencias bibliográficas

- Alicia M. (2023). *¿Es Solidworks el software de diseño ideal para fabricación aditiva?*
- Anil Mahtani, L. S. E. F. A. M. (2023). *ROS Programming: Building Powerful Robots.*
- AutomationWare. (s/f). *Programming a robot with ROS (Robot Operating System).*
- Carwow. (s/f). *Coches autónomos.*
- D. Francisco de Borja Ponz Camps. (s/f). *Navegación automática en un vehículo con distribución Ackermann.* Universidad Politécnica de Valencia.
- David Avendaño, M. S. R. A. (2020). *Análisis del Nivel de Opacidad de la Flota de Buses Urbanos de la Cooperativa Uncometro S.A.*
- DFM Directorio Forestal Maderero. (2020). *Como construir una bicicleta de bambú.*
- Diego José Bermúdez Salguero. (2022). *Métodos de ayuda a la navegación en exteriores para robot Summit en entorno ros.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Effio Velasco, E. A. (2023). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo en zona de estacionamiento de empresa cementera.*
- Galvez Coarete, k. g. h. r. m. a. r. b. j. j. s. t. m. e. (2020). *Ecobike.*
- Gazebo. (s/f). *About Gazebo.*
- González Reolid, I. (2021). *Arquitectura de control para vehículos solares autónomos de superficie para aguas someras en misiones de larga duración.*
- Jaime Sánchez Gallego. (2022). *Vehículo eléctrico: presente y futuro.*
- Johanna Henao Monsalve. (2014). *Sistemas de Navegación Autónomos.*
- Júlvez Sancho, S. (2019). *Vehículo auxiliar de montaje de carril alimentado mediante paneles solares.*
- Kia. (2021). *¿Cómo funcionan los autos eléctricos?*

LugEnergy. (2023). *¿Qué es un Vehículo Eléctrico?*

Maria Eugenia Rivas Amiassorho - Tomás Serebrisky - Agustina Calatayud. (2020). *¿Imaginas cuánto podrían ahorrar los hogares de América Latina con la llegada de los vehículos autónomos?*

Marina Aguilar, a. c.-m. y j.-a. f.-m. (2018). *Modelado Cinemático Y Simulación Realista Del Manipulador Móvil De Bajo Coste Turtlebot2 + Widow-x En ROS*. Universidad de Málaga. *Principio de funcionamiento del autoconsumo*. (s/f).

Puraca Calapuja, E. A. (2022). *Diseño y construcción de un vehículo eléctrico autónomo impulsado por energía solar fotovoltaica en la Universidad Nacional de Juliaca - Puno*.

Simon. (2019). <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>.

Solidbi. (S/F). *Solidworks. Qué es y para qué sirve*.

Tambi Issac. (2020). *IRENA invita a desarrolladores de proyectos en energía renovable a registrarlos en la Plataforma de Inversión Climática*.

Tecnología Del Automóvil. (2020). *Geometría de la dirección (2/9)*. YouTube.

tutoria. (2017). *Sistema De Dirección Del Vehículo*.

Urphy Vásquez Baca, P. G. A. (2018). *Transición energética con energías renovables para la seguridad energética en el Perú: una propuesta de política pública resiliente al clima*.

VarHowto. (2020). *How to Move a Gazebo Model from Terminal*.

Vera Echeverría, P. A. (2022). *La Comunicación ambiental y su importancia en el desarrollo sostenible de Guayaquil*.

Walter Villavicencio. (s/f). *Norma Técnica 11, E.100 Bambu*.

Xtutorials CAD. (2012). *Curso básico Solidworks - Piezas 6 y 7 (como hacer un nervio)*. YouTube.

(5 de 1 de 2024). Obtenido de gazebo: https://classic.gazebosim.org/tutorials? t ut=static_map_plugin&cat=build_world#PluginParameters

Aleksiev, H. (s.f.). Los diferentes usos de la fibra de vidrio en la industria del automóvil.

Recuperado el 11 de 2023, de Open Innovation Hub for Companies, Startups, and Experts: <https://www.ennomotive.com/es/fibra-de-vidrio-industria-automovil/>

Ayalde, D. G. (2021). Sistema de navegacion autonomo sobre andes para robots. Obtenido de Universidad autonomo de occidente:

https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/14062/T10295_Sistema%20de%20navegaci%C3%B3n%20aut%C3%B3noma%20sobre%20andenes%20para%20robots%20m%C3%B3viles%20en%20ambientes%20urbanos.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Carrocería. (s.f.). Recuperado el 2023, de Hello Auto:

<https://helloauto.com/glosario/carroceria#:~:text=En%20funci%C3%B3n%20de%20su%20construcci%C3%B3n%20se%20pueden%20encontrar%3A,como%20el%20cap%C3%B3%20las%20puertas%20o%20los%20parachoques.>

Chasis I Conoce la estructura base de un vehículo. (s.f.). Recuperado el 10 de 2023, de Tullanta.com: Chasis I Conoce la estructura base de un vehículo

Cómo funciona el motor eléctrico? (8 de 2019). Obtenido de Como Funciona Que:

<https://comofuncionaque.com/como-funciona-el-motor-electrico/>

Desconocido. (s.f.). Rb-vogui. Obtenido de ROS robots: <https://robots.ros.org/rb-vogui/>

Diego. (18 de 12 de 2018). Web de Liternas. Recuperado el 11 de 2023, de Tipos de baterías según su química y tamaño: <https://www.webdelinternas.es/componentes/tipos-baterias/>

Francisco, V. G. (2008). Diseño y fabricacion de un automovil dde energia solar para personas con capacidades diferentes. Obtenido de Instituuto Politécnico Nacional:

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/536/VALDEZ%20GUZMAN%20CELSO%20FRANCISCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, B. (07 de 2020). Dirección hidráulica, electro-hidráulica y eléctrica. Obtenido de Memo Lira: <https://memolira.com/analisis/direccion-hidraulica-electro-hidraulica-y-electrica.html>

García, P. (10 de 2020). Guía básica para conocer los principales tipos de chasis de vehículos.

Recuperado el 10 de 2023, de SoyMotor.com: <https://soymotor.com/coches/articulos/guia-basica-para-conocer-los-principales-tipos-de-chasis-de-vehiculos-981031>

- Gissisipi. (12 de 2015). Motores Eléctricos de Corriente Continua (CC). Recuperado el 11 de 2023, de Blog Electrónica Radical: <https://electronicaradical.blogspot.com/2015/12/motores-electricos-de-corriente.html>
- Google. (11 de 2023). Ciclovía parada 1. Obtenido de https://www.google.com/search?sca_esv=cb74d586e7d8c145&sca_upv=1&rlz=1C1ALOY_esEC955EC955&sxsrf=ACQVn09WE6aW4DsRGTjtiGCl38LfgHgjUw:1706157264669&q=esp+ol+mapa&npsic=0&rflfq=1&rldoc=1&rllag=-2149080,-79956987,852&tbm=lcl&sa=X&sqi=2&ved=2ahUKEwjQ58ON2_eDAxUs
- Granados, M. Z. (2015). Construcción de mapas de exteriores. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial: <https://www.uma.es/media/tinyimages/file/Memoria.pdf>
- Gros, P. (6 de 2023). Tipos de paneles solares. Obtenido de Ahora Solar: <https://ahora-solar.com/blog/conoces-los-diferentes-tipos-de-paneles-solares/#:~:text=Sin%20embargo%2C%20es%20muy%20importante%20recordar%20que%20el,energ%C3%ADa%20solar%20recibida%20en%20electricidad%20y%20calor%20simult%C3%A1neamente>
- Hdh7485. (2021). hdh7485/ackermann_vehicle: Gazebo ackermann vehicle model. Recuperado el 16 de 9 de 2023, de https://github.com/hdh7485/ackermann_vehicle
- Hub Motor Working Principle. (s.f.). Recuperado el 10 de 2023, de ATO: <https://www.ato.com/hub-motor-working-principle>
- IsaacSaito. (4 de 3 de 2023). ros.org. Recuperado el 12 de 10 de 2023, de Ubuntu install of ROS Noetic: <https://wiki.ros.org/noetic/Installation/Ubuntu>
- Laborda, N. (31 de 5 de 2022). Tipos de bambú. Recuperado el 10 de 2024, de JardineríaOn: <https://www.jardineriaon.com/tipos-de-bambu.html>
- Motor a pasos tutorial introductorio. (19 de 7 de 2018). Obtenido de Geek Factory: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/motor-a-pasos-tutorial-introductorio/>
- Ondarse, D. (15 de 7 de 2021). Concepto. Recuperado el 11 de 2023, de Batería: <https://concepto.de/bateria/>
- Planas, O. (23 de 11 de 2018). Encodi. Obtenido de DeMotor: <https://demotor.net/motores-electricos/tipos>
- Qi Huang, Q. H. (8 de 2022). Motor de inducción asincrónico: en frecuencia alta e industrial. Obtenido de <https://www.editores->

srl.com.ar/autor/ricardo_berizzo/20211117_berizzo_motor_de_induccion_asincronico_en_frecuencia_alta_e_industrial

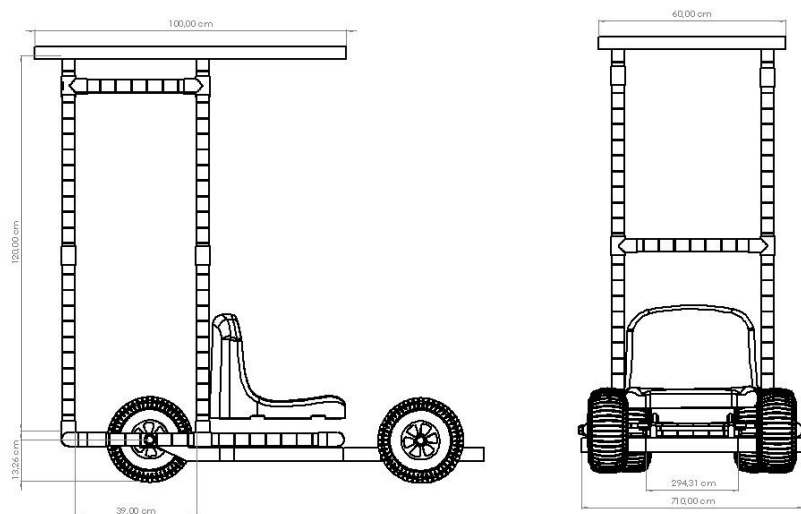
Salguero, D. J. (2022). Métodos de ayuda a la navegación en exteriores para robot Summit en entorno ros. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/140687/TFG4555_Bermudez%20Salguero.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Siguenza., I. K. (2016). Análisis de la caña guadúa y bambú como material estructural utilizado en vigas. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23506/1/Tesis%201028%20-%20Cuji%20Siguenza%20Irene%20Kruzkaya.pdf>

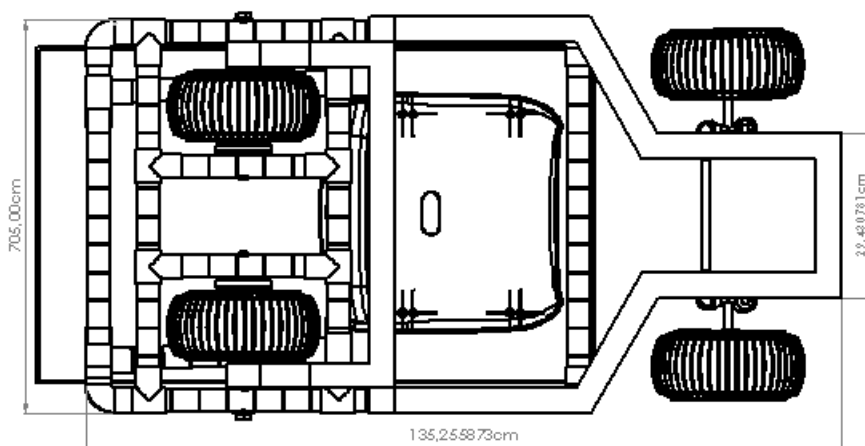
Tipos de carrocería (II). (s.f.). Recuperado el 11 de 2023, de Tecnología del automóvil: <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/nuevas-tecnologias/tipos-de-carroceria-ii/>

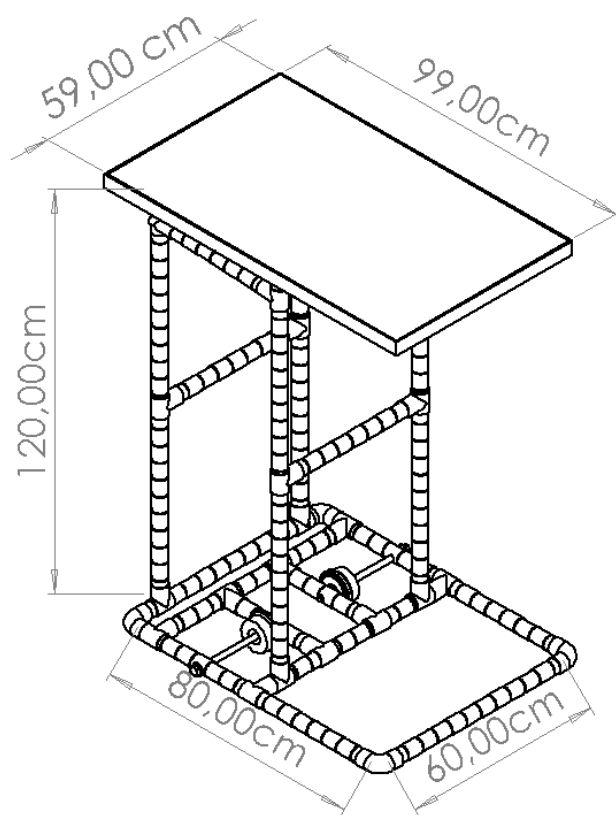
Apéndice A

Plano 1 Estructural vista lateral y posterior



Plano 2 Estructural vista inferior



Plano 3 Estructural soporte de caña

Apéndice B

Figura 34 *Diagrama de conexiones del sistema fotovoltaico*

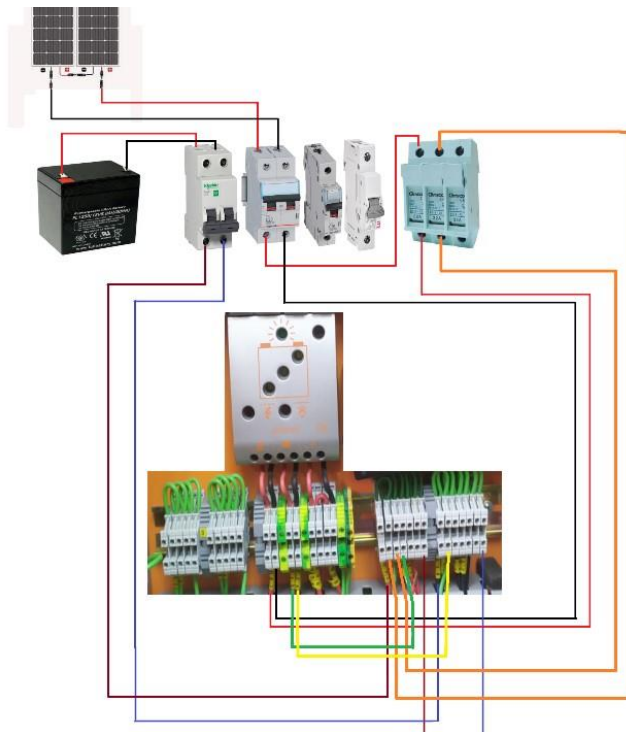


Figura 35 *Chasis modificado del prototipo*



Figura 36 *Colocación de componentes de potencia*



Figura 37 *Conexión de componentes eléctricos*



Figura 38 *Prueba en terreno llano*



Apéndice C

Figura 39 *Muestra 1 carga 420kg*



Figura 40 *Muestra 2 carga 420 kg*



Figura 41 Muestra 4 carga de 650kg



Figura 42 Muestra 6 carga 300 kg



Figura 43 *Muestra 8 carga 390 kg*

