



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN EN UN PROTOTIPO  
MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA ESTUDIANTIL SHELL ECO-  
MARATHON**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: OSCAR JAVIER RAMOS AGUIAR  
JUAN SEBASTIAN MEDINA LÓPEZ**

**TUTOR: JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES**

Quito - Ecuador

2023

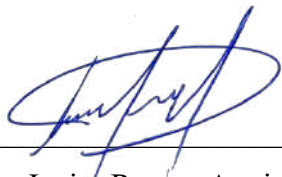
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Oscar Javier Ramos Aguiar con documento de identificación N° 1726054685 y Juan Sebastian Medina López con documento de identificación N° 1723556500 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

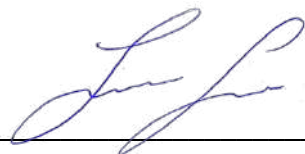
Quito, 07 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Oscar Javier Ramos Aguiar  
1726054685



---

Juan Sebastian Medina López  
1723556500

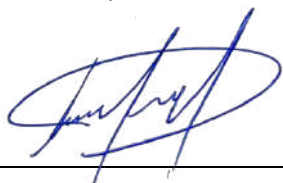
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Oscar Javier Ramos Aguiar con documento de identificación N° 1726054685 y Juan Sebastian Medina López con documento de identificación N° 1723556500, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Implementación de un sistema de dirección en un prototipo monoplaza para la competencia estudiantil Shell Eco-Marathon”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

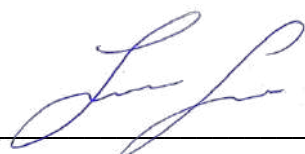
Quito, 07 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Oscar Javier Ramos Aguiar  
1726054685



---

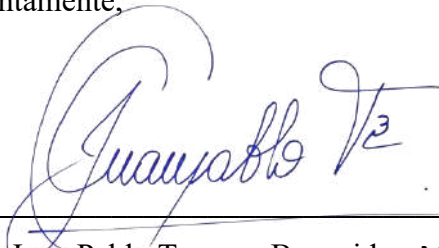
Juan Sebastian Medina López  
1723556500

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tamayo Benavides con documento de identificación N° 1714824156, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN EN UN PROTOTIPO MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA ESTUDIANTIL SHELL ECO-MARATHON, realizado por Juan Sebastian Medina López con documento de identificación N° 1723556500 y por Oscar Javier Ramos Aguiar con documento de identificación N° 1726054685, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 07 de septiembre del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Pablo Tamayo Benavides', is written over a horizontal line.

Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides, MSc.

1714824156

## DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres quienes con su esfuerzo y sacrificio hicieron posible este logro. Son ustedes para mí un ejemplo a seguir en cada momento de mi vida. Su constancia dedicación, determinación y valores me han guiado y me han enseñado el significado del trabajo arduo, la perseverancia y la integridad. Su amor, confianza y aliento me han inspirado a ser la mejor versión de mí mismo. Desde el fondo de mi corazón, les agradezco por todo lo que han hecho por mí. Este logro es una celebración de su dedicación y un testimonio de su amor inquebrantable.

También a mis hermanos quienes fueron impulsores, brindándome su apoyo incondicional, alentándome a seguir mis pasiones y superar cualquier obstáculo que se presente en mi camino. Cada éxito que alcanzo es también su triunfo, porque ustedes me han dado las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos y alcanzar mis metas.

Oscar Javier Ramos Aguiar

Dedico este proyecto técnico a mis queridos padres, quienes han sido el faro luminoso que ha iluminado mi camino a lo largo de toda mi vida. Su presencia constante y su amor incondicional han sido el pilar fundamental que me ha impulsado a alcanzar cada una de mis metas. Su sabiduría, paciencia y ejemplo de perseverancia me han enseñado a enfrentar con valentía y determinación cada desafío que se ha cruzado en mi camino. No puedo pasar por alto el valioso apoyo de mis hermanos y el resto de mi amada familia, quienes han estado presentes en cada etapa de este arduo proceso. Sus palabras de aliento, consejos y ayuda desinteresada han sido un regalo invaluable que ha fortalecido mi determinación y me ha animado a seguir adelante.

A la carrera de Ingeniería Automotriz, a sus profesionales, docentes y compañeros de estudios, les dedico este proyecto con profundo agradecimiento. Su influencia ha dejado una huella significativa en mi vida, guiándome hacia el crecimiento personal y profesional. Espero poder contribuir y honrar esta hermosa carrera, aplicando los conocimientos adquiridos para el beneficio de la sociedad y el avance continuo en el campo de la automoción.

Juan Sebastian Medina López

## AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a mi prestigiosa institución donde forje sueños e ilusiones que hoy los veo realizados. A mis distinguidos ingenieros quienes con su conocimiento y sabiduría han sido una fuente constante de inspiración y aprendizaje. Su pasión por la ingeniería y su dedicación en transmitir ese conocimiento han sido fundamentales para mi crecimiento y desarrollo profesional.

Con cariño a mis amigos y compañeros quienes compartieron conmigo momentos inolvidables, risas y apoyo mutuo a lo largo de esta travesía. Juntos hemos superado desafíos, nos hemos motivado y hemos celebrado nuestros logros.

Finalmente, un sincero agradecimiento al Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides quien con su conocimiento fue una parte fundamental en la elaboración de este proyecto técnico. Su guía experta, asesoramiento y dedicación han sido invaluable a lo largo de todo el proceso.

Oscar Javier Ramos Aguiar

Agradezco de manera especial a mis estimados profesores, cuya sabiduría y orientación han sido fundamentales en mi formación. Su pasión por enseñar y su compromiso con el aprendizaje han sido una fuente inagotable de conocimiento y crecimiento. No puedo dejar de mencionar a mis valorados compañeros de carrera, quienes han sido compañeros de batalla, confidentes y amigos leales.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a Rodrigo Acosta de MECÁNICA ACOSTA, cuya guía y sabiduría han sido vitales en la creación de este proyecto técnico. Su apoyo profesional ha sido un factor determinante en mi desarrollo profesional, y estoy profundamente agradecido por su colaboración.

Por último, quiero agradecer al Ingeniero Juan Pablo Tamayo Benavides, cuya ayuda en la formación y presentación de este proyecto ha sido invaluable. Su experiencia y asesoramiento han contribuido significativamente a la calidad y éxito de este trabajo.

Juan Sebastian Medina López

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	12
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN .....	16
PROBLEMA.....	17
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Marco Teórico.....	19
CAPÍTULO 1.....	24
EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN .....	25
1.1. Metodología aplicada para la implementación del sistema de dirección .....	25
1.1.1. Mejoras al sistema de dirección anterior .....	25
1.1.1.1. Mesa de soporte:.....	26
1.1.1.2. Manguetas de soporte:.....	29
1.1.1.3. Soporte de la columna de dirección.....	30
1.1.1.4. Acople de la columna de dirección a las ruedas:.....	31
1.2. Instrumentos de medición.....	32
CAPÍTULO 2.....	35
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	35
2.1. Construcción de los componentes nuevos para el sistema de dirección.....	35
2.1.1. Mesa de soporte:.....	35
2.1.2. Manguetas de soporte:.....	37
2.1.3. Soporte de la columna de dirección.....	39
2.1.4. Acople de la columna de dirección a las ruedas.....	41
2.1.5. Volante para controlar la dirección .....	43
2.2. Desmontaje del sistema anterior.....	44
2.2.1. Aflojamiento de pernos de ambas manguetas antiguas.....	44
2.2.2. Aflojamiento de pernos del chasis.....	45
2.3. Implementacion de las piezas en el nuevo sistema de dirección.....	45
2.3.1. Unión entre el soporte de columna de dirección y la mesa .....	45
2.3.2. Posicionamiento y ajuste de la mesa de soporte.....	46
2.3.3. Perforación de los acoples de las manguetas.....	47
2.3.4. Colocación de la barra de dirección .....	48
2.3.5. Ubicación y ajuste de las barras de dirección en cada acople .....	48
2.3.6. Adaptacion de las rótulas.....	49
CAPÍTULO 3.....	50

COMPROBACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN .....	50
3.1.    Introducción.....	50
3.2.    Implementación del sistema de dirección antiguo en el chasis del prototipo.....	50
3.2.1.    Requisitos para pruebas del sistema de dirección Antiguo .....	50
3.3.    Implementación del sistema de dirección modificado en el chasis del prototipo	55
3.3.1.    Requisitos para pruebas de evolución de sistema de dirección modificado....	56
3.3.2.    Pruebas de funcionamiento aplicando una carga de 55 kg.....	58
3.4.    Comparativa de las distancias de las diferentes pruebas .....	61
CONCLUSIONES .....	64
RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS .....	67
Anexo 1: Plano de mesa de soporte.....	67
Anexo 2: Plano de manguetas de soporte.....	68
Anexo 3: Plano de soporte de columna de dirección.....	69
Anexo 4: Plano de acople de columna de dirección.....	70
Anexo 5: Fresadora de marca ANDINA #2 JIG GRINDER.....	71
Anexo 6: Soldadora de marca LINCOLN AC-225-s .....	71
Anexo 7: Torno de marca CODIM H200S.....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfica del sistema de lazo cerrado de dirección. Fuente: Autores .....	22
Figura 2: Mesa anterior del prototipo fabricada con grilón.....	26
Figura 3: Soporte del base anterior fabricado con aluminio.....	27
Figura 4: Mesa nueva con forma de arco. ....	28
Figura 5: Mangueta de soporte anterior.....	29
Figura 6: Manguetas nuevas para la mesa de dirección. ....	30
Figura 7: Base de columna de dirección nueva. ....	30
Figura 8: Acople de la columna de dirección a las ruedas. ....	31
Figura 9: Acople nuevo de la barra de dirección a las ruedas. ....	32
Figura 10: Nivel láser de la marca HUEPAR.....	33
Figura 11: Piola de nylon de la marca STIHL.....	34
Figura 12: Cinta métrica de la marca CSI. ....	35
Figura 13: Tubo cuadrado en la baroladora.....	36
Figura 14: Vertimiento de resina en el tubo cuadrado.....	37
Figura 15: Acoples en proceso de desbastado. ....	38
Figura 16: Soldadura de los acoples al cuerpo de la mangueta. ....	39
Figura 17: Perforaciones de manguetas.....	39
Figura 18: Corte de soportes de columna. ....	40
Figura 19: Perforación de la base de la columna de dirección. ....	40
Figura 20: Soldadura de ambas placas al tubo. ....	41
Figura 21: Proceso de corte del acople con fresadora. ....	42
Figura 22: Proceso de acabado del acople.....	42
Figura 23: Perforación del acople con radio de 10°. ....	43
Figura 24: Soldadura del acople con la columna de dirección. ....	43
Figura 25: Volante para el sistema de dirección.....	43
Figura 26: Perno de la mangueta izquierda antigua. ....	44
Figura 27: Perno de la mangueta derecha antigua. ....	44
Figura 28: Retiro pernos de la parte alta del chasis.....	45
Figura 29: Unión de piezas de soporte. ....	46
Figura 30: Nuevas perforaciones al chasis. ....	46
Figura 31: Posicionamiento de la mesa. ....	47
Figura 32: Ajuste de la mesa al chasis.....	47
Figura 33: Perforación de acoples de manguetas. ....	47
Figura 34: Barra de dirección en prototipo.....	48
Figura 35: Barras de dirección en acoples.....	48
Figura 36: Desbaste de manguetas para el giro de las rótulas. ....	49
Figura 37: Rueda delantera proporciona el grado de inclinación.....	51
Figura 38: Rueda delantera proporciona el grado de inclinación.....	51
Figura 39: Sistema de dirección antiguo. ....	52
Figura 41: Recorrido constante con peso de 55 [kg]. ....	53
Figura 40: Intersección o cruce del haz de luz de los laser. ....	53
Figura 43: Medición final del radio de la rueda delantera.....	55
Figura 42: Recorrido final y toma de medidas del radio. ....	55
Figura 44: Sistema de dirección modificado. ....	56
Figura 45: Prueba sin adición de peso. ....	56
Figura 47: Distancia de la rueda posterior al centro.....	57

Figura 46: Distancia de la rueda delantera al centro. ....	57
Figura 49: Prueba hacia la derecha con peso de 55 [kg]. ....	58
Figura 48: Prueba hacia la izquierda con peso de 55 [kg]. ....	58
Figura 50: Medición final del recorrido. ....	59
Figura 51: Recorrido constante con dirección hacia la izquierda. ....	59
Figura 52: Plano de Mesa de soporte. ....	67
Figura 53: Plano de manguetas. ....	68
Figura 54: Anexo de soporte de columna. ....	69
Figura 55: Plano de acople de columna. ....	70
Figura 56: Fresadora ANDINA. ....	71
Figura 57: Soldadora LINCOLN. ....	71
Figura 58: Torno CODIM. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Quito, 07 de septiembre del año 2023

Tabla 1: Distancias obtenidas sistema antiguo en [cm] y[m]. Fuente: Autores .....	53
Tabla 2: Distancias finales obtenidas de la rueda delantera en [cm] y[m]. Fuente: Autores .....	54
Tabla 3: Distancias obtenidas sistema modificado en [cm] y[m]. Fuente: Autores .....	57
Tabla 4: Distancias finales del recorrido en [cm] y[m]. Fuente: Autores .....	58
Tabla 5: Distancias obtenidas del sistema modificado con dirección hacia la izquierda y derecha en [cm] y[m] Fuente: Autores .....	60
Tabla 6: Distancias finales del recorrido con dirección hacia la izquierda y derecha. Fuente: Autores.....	61
Tabla 7: Comparación del radio de giro. Fuente: Autores .....	62
Tabla 8: Comparación del radio de giro del sistema modificado. Fuente: Autores .....	62
Tabla 9: Comparación del radio de giro del sistema modificado con la dirección a la izquierda y derecha. Fuente: Autores .....	62

## RESUMEN

El presente proyecto técnico, describe el proceso de implementación y construcción de un sistema de dirección mediante el uso de equipos mecánicos, herramientas y software para un prototipo monoplaza reglamentario de la Shell Eco-maratón 2023 Official Rules Chapter 1 de la Universidad Politécnica Salesiana, con la intención de formar parte de la competencia, para el desarrollo del proyecto se empieza con la revisión del reglamento Oficial propiciado por los organizadores de la competencia y la base teórica de diferentes diseños de sistemas de dirección para prototipos con estas especificaciones, por medio del análisis de documentos de diferentes fuentes de información.

En relación con lo anteriormente mencionado se detalla el estudio del comportamiento del vehículo en cuanto a la dirección, en lo referente al diseño del sistema de dirección se establece diferentes parámetros y condiciones que tiene que cumplir, mediante el uso de un proceso informático de diseño se puede verificar las dimensiones, configuraciones y permitirá establecer distintas alternativas de elementos para su composición. El diseño de este debe evitar el contacto entre el neumático y la carrocería o el chasis del prototipo, los ángulos y radio de giro estandarizados serán proporcionados por el reglamento Oficial de la competencia.

Por tal razón, el desarrollo de construcción de este sistema comienza con el proceso de elaboración de cada una de las partes que lo componen, para lo cual se establece las diferentes dimensiones proporcionadas por el programa de diseño software SolidWorks que contiene cada elemento, con la finalidad de ensamblarlo en el chasis del prototipo manteniendo las exigencias del reglamento de competición.

Como finalidad se expone los resultados logrados mediante un análisis de los componentes presentados y la caracterización de este sistema, los Organizadores se reservan el derecho de establecer un recorrido de manejo del vehículo para verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en el reglamento de competición, asimismo se redacta las recomendaciones para futuras implementaciones con la finalidad de mejorar el desempeño y diseño de este sistema, también las conclusiones fueron desarrolladas mediante la exhaustiva elaboración de este proyecto.

**Palabras Claves:** Sistema de dirección, prototipo monoplaça, radio de giro, competencia SOLIDWORKS.

## ABSTRACT

This technical project describes the process of implementation and construction of a steering system through the use of mechanical equipment, tools and software for a single-seater prototype regulation of the Shell Eco-marathon 2023 Official Rules Chapter I of the Salesian Polytechnic University, with the intention of being part of the competition, for the development of the project begins with the review of the official rules provided by the organizers of the competition and the theoretical basis of different designs of steering systems for prototypes with these specifications, through the analysis of documents from different sources of information.

In relation to the above mentioned, the study of the behavior of the vehicle in terms of steering is detailed, in relation to the design of the steering system different parameters and conditions that must be met are established, by using a computer design process can verify the dimensions, configurations and will allow establishing different alternatives of elements for its composition. The design of this must avoid contact between the tire and the body or chassis of the prototype, the standardized angles and turning radius will be provided by the official rules of the competition.

For this reason, the development of the construction of this system begins with the process of elaboration of each of the parts that compose it, for which the different dimensions provided by the SolidWorks software design program containing each element are established, in order to assemble it on the chassis of the prototype while maintaining the requirements of the competition regulations.

As a purpose, the results achieved through an analysis of the components presented and the characterization of this system are exposed, the Organizers reserve the right to establish a driving tour of the vehicle to verify compliance with the requirements established in the competition rules, also the recommendations for future implementations are written in order to improve the performance and design of this system, also the conclusions were developed through the exhaustive elaboration of this project.

**Keywords:** Steering system, single-seat prototype, turning radius, SOLIDWORKS competition.

## INTRODUCCIÓN

La competencia internacional de Shell Eco-marathon reúne a numerosos países que buscan destacar mediante la presentación de sus mejores innovaciones, y la Universidad Politécnica Salesiana no es una excepción. En este proyecto de tesis, se enfoca en promover el trabajo en equipo como base fundamental para demostrar sus habilidades y competir en alto nivel.

En este proyecto técnico, se aborda la necesidad de renovar el sistema de dirección del prototipo. Mediante cambios en las piezas fundamentales, se busca reducir los radios de giro y obtener así una ventaja competitiva en la carrera. En el Capítulo 1, se presenta una exhaustiva evaluación del modelo anterior, destacando los cambios propuestos para mejorar la dirección del prototipo.

En el Capítulo 2, se detalla el proceso de fabricación de cada una de las piezas, con el objetivo de lograr un sistema de dirección que optimice el rendimiento durante la conducción en pista. La meticulosa fabricación de estas piezas es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro.

Por último, en el Capítulo 3, se exponen las pruebas realizadas al sistema de dirección del prototipo, donde se realiza una medición precisa del radio de giro. Estas pruebas comparativas entre el modelo anterior y el nuevo modelo desarrollado para este proyecto permiten establecer una clara diferencia, confirmando el éxito y superioridad del nuevo sistema de dirección.

A través de este proyecto de tesis, se busca no solo destacar en la competencia de Shell Eco-marathon, sino también contribuir al avance de la ingeniería automotriz, explorando soluciones innovadoras y eficientes en el campo de la dirección de vehículos. Se espera que este trabajo sea una valiosa contribución al conocimiento y una inspiración para futuros proyectos en el ámbito de la competición automovilística.



## **PROBLEMA**

El prototipo monoplace de la carrera de Ingeniería Automotriz está siendo desarrollado para competir en la edición 2023 de la competencia Shell Eco-marathon. Uno de los requisitos fundamentales para poder participar es contar con un sistema de dirección que cumpla con las normas y regulaciones de seguridad de la competición del presente año.

El prototipo anterior cuenta con un sistema de dirección mecánico que ha sido homologado únicamente para el año 2019. Para poder competir en la edición del próximo año, es necesario realizar ajustes en todos los componentes del sistema de dirección y agregar aquellos que sean necesarios para optimizar el rendimiento del vehículo y destacarse en la competencia.

Aunque la optimización del sistema de dirección es un factor importante para lograr un mejor desempeño en la competición, la seguridad del conductor y del vehículo siempre debe ser la prioridad número uno. Por lo tanto, es necesario diseñar un sistema de dirección que pueda mejorar el rendimiento del vehículo sin limitar la seguridad de sus ocupantes.

La participación de estudiantes en eventos como el Shell Eco-marathon es fundamental, ya que les brinda la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación en la carrera de Ingeniería Automotriz. Además, participar en este tipo de competencias les permite a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas y trabajar en equipo para resolver problemas técnicos complejos, lo que puede resultar valioso en su futuro profesional como ingenieros automotrices.

## **Delimitación del problema. –**

La Shell Eco-marathon es una competición anual de eficiencia energética que se lleva a cabo en diferentes países del mundo desde el año 1939. La primera competición se realizó en una estación de servicio Shell en Illinois, Estados Unidos, y contó con la participación de estudiantes de instituciones educativas cercanas. El objetivo de la competición era determinar quién podía recorrer la mayor distancia con un solo galón de gasolina.

En América, participan equipos de países como Estados Unidos, México, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador y Perú, entre otros. En Europa, participan equipos de países como Francia, Alemania, Italia, España, Reino Unido, Países Bajos y Suecia, entre otros. Y en Asia, participan equipos de países como China, Japón, Corea del Sur, Malasia, Tailandia e India, entre otros. Cada equipo representa a una universidad o institución educativa de su país y compete en diferentes categorías de la competición, incluyendo prototipos de combustión interna, prototipos de propulsión eléctrica, vehículos urbanos y vehículos con celdas de combustible, entre otro

La próxima edición de la competencia tendrá lugar en Brasil en agosto de 2023. Durante este evento, el equipo enfrentará un nuevo desafío en la competición al utilizar el recién implementado sistema de dirección.

Por consiguiente, es importante que el equipo de la Universidad Politécnica Salesiana continúe manteniendo su nivel de excelencia en la competencia y siga atrayendo a nuevos estudiantes para participar en el proyecto. Esto permitirá que la universidad siga siendo un líder en la industria automotriz sostenible y que se sigan desarrollando soluciones innovadoras que ayuden a enfrentar los desafíos asegurando la continuidad y el crecimiento de los proyectos futuros.

## **Objetivo General.**

Implementar un sistema de dirección mecánico en un prototipo monoplace para la competencia estudiantil Shell Eco Marathon.

## **Objetivos Específicos.**

- Revisar y reconocer los estatutos de la competencia Shell Eco-marathon.
- Realizar pruebas de medición de los radios de giro tanto del sistema de dirección antiguo como del sistema modificado.
- Realizar una investigación de alternativas de los componentes que se encuentran en el sistema de dirección anterior del prototipo.
- Seleccionar el tipo de sistema de dirección que se adapte a los estatutos de la competencia Shell Eco-marathon 2023 para lograr el desempeño deseado.

## **Marco Teórico**

### **Definición del sistema de dirección:**

El sistema de dirección es uno de los componentes más importantes de un vehículo, ya que es el que permite al conductor controlar la trayectoria de este. A lo largo de la historia del automóvil, el sistema de dirección ha evolucionado de forma constante, incorporando nuevas tecnologías y mejoras que han permitido una conducción más segura, cómoda y eficiente (Halderman, 1997).

Los sistemas de dirección son muy diversos, desde los sistemas de dirección mecánicos más sencillos hasta los sistemas de dirección eléctricos más avanzados que ofrecen una mayor precisión y respuesta (Rodríguez, 2022). Además, también existen sistemas de dirección asistida que ayudan al conductor en maniobras complejas o en situaciones de emergencia.

La innovación en los sistemas de dirección ha permitido que los vehículos sean cada vez más seguros y fáciles de conducir, contribuyendo al aumento del confort en la conducción y a la reducción de los accidentes de tráfico. En definitiva, el sistema de dirección es una pieza clave en el funcionamiento del vehículo y su evolución ha permitido mejorar significativamente la experiencia de conducción, debido a que en términos generales, el sistema de dirección convierte la rotación del volante en un movimiento giratorio de las ruedas delanteras del vehículo (M., 2018).

El mecanismo de dirección consta de varios componentes clave, incluyendo la caja de dirección, el sistema de transmisión, la columna de dirección, la barra de acoplamiento y las rótulas de dirección. A continuación, se detallan brevemente cada uno de los componentes del sistema que trabajan en conjunto para permitir al conductor controlar la dirección del vehículo se detallan de la siguiente manera:

- **Volante:** Es el componente más visible y reconocible del sistema de dirección. El volante se encuentra en la cabina del conductor y permite al conductor girarlo para controlar la dirección del vehículo (Brown, 2023).
- **Columna de dirección:** Conecta el volante con el resto del sistema de dirección. La columna de dirección suele ser una barra metálica que se extiende desde el volante hasta el mecanismo de dirección (Brown, 2023).
- **Caja de dirección:** Convierte la rotación del volante en un movimiento giratorio de las ruedas. La caja de dirección contiene un conjunto de engranajes y piñones que transmiten el movimiento del volante a las ruedas delanteras (Orozco, 2012).
- **Barras de dirección:** Conectan la caja de dirección con las ruedas delanteras. Las barras de dirección suelen ser barras de metal que se extienden desde la caja de dirección hasta los pivotes de las ruedas (Orozco, 2012).
- **Pivotes de dirección:** Permiten que las ruedas giren. Los pivotes de dirección están ubicados en las ruedas delanteras y permiten que estas giren hacia la izquierda o hacia la derecha.
- **Brazos de dirección:** Conectan los pivotes de dirección con las barras de dirección. Los brazos de dirección suelen ser piezas de metal que se extienden desde los pivotes de dirección hasta las barras de dirección.
- **Barra estabilizadora:** Ayuda a reducir el balanceo del vehículo en las curvas. La barra estabilizadora se conecta a la suspensión delantera del vehículo y ayuda a mantener las ruedas en contacto con el suelo durante las curvas.
- **Juntas universales:** Permiten que las barras de dirección giren mientras se mueven hacia arriba y hacia abajo con la suspensión del vehículo. Las juntas universales se encuentran en los extremos de las barras de dirección y permiten que estas giren en ángulos

Otro aspecto importante de un sistema de dirección bien diseñado y estructurado es la capacidad de proporcionar un control preciso y sensible del vehículo. Esto es especialmente importante en situaciones de emergencia, donde la capacidad de maniobrar rápidamente puede marcar la diferencia entre evitar un accidente y sufrir uno (Orozco, 2012).

Por otra parte, este sistema puede tener un impacto significativo en el desgaste de los neumáticos del vehículo. Si la dirección está desalineada o mal ajustada, puede provocar un desgaste irregular de los neumáticos, lo que reducirá su vida útil y aumentará los costos de mantenimiento del vehículo.

Es fundamental destacar que un sistema de dirección adecuado es esencial para garantizar la estabilidad del vehículo a altas velocidades. Como las trayectorias a recorrer por las ruedas directrices son distintas en una curva, la orientación que debe darse a cada una es distinta, y para que ambas sigan la trayectoria deseada, debe cumplirse la condición de que todas las ruedas del vehículo (Santiago, 2020).

#### **Requisitos generales del sistema de dirección:**

- **Precisión:** Es fundamental en un sistema de dirección, ya que cualquier imprecisión en el movimiento del volante puede afectar la trayectoria del vehículo. Es importante que el sistema de dirección tenga una respuesta rápida y precisa a los movimientos del volante, lo que permite al conductor controlar el vehículo de manera efectiva.
- **Suavidad:** Además de ser preciso, el sistema de dirección debe ser suave. Los movimientos del volante deben ser fluidos y sin esfuerzo para evitar fatiga del conductor y proporcionar una experiencia de conducción cómoda.
- **Seguridad:** Es un aspecto fundamental del sistema de dirección. Este debe ser capaz de soportar las cargas y las fuerzas que se producen durante la conducción y garantizar que el vehículo se dirija de manera segura. También es importante que el sistema de dirección tenga una construcción sólida y duradera para minimizar el riesgo de fallos o roturas.
- **Fiabilidad:** El sistema de dirección debe ser confiable y duradero para garantizar que funcione correctamente durante la vida útil del vehículo. Esto requiere el uso de

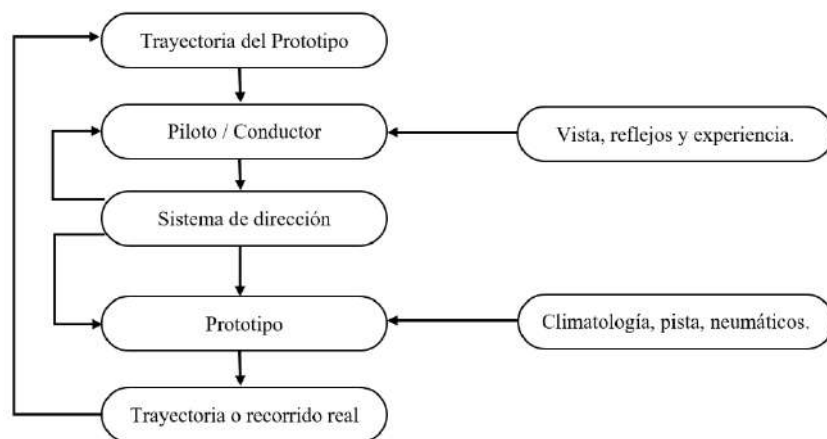
materiales de alta calidad, una construcción sólida y una adecuada lubricación y mantenimiento.

- **Comodidad:** El sistema de dirección también debe ser cómodo para el conductor. Esto incluye un ángulo y una posición del volante adecuados, así como la incorporación de características ergonómicas y ajustables que permitan al conductor personalizar su experiencia de conducción.

### Principales consideraciones del reglamento Shell Eco Marathon en el sistema de dirección del prototipo de competición:

Los prototipos de competición tienen que cumplir un sistema de lazo cerrado en el cual se debe poner en práctica varias variables considerables en el ámbito de la trayectoria de manejo. Estas tienden a afectar el resultado del proceso de direccionar al vehículo a través de un recorrido deseado, y como sistema de lazo cerrado será encargado el conductor de variar la entrada a este sistema para ajustar el máximo recorrido posible. En la figura 1 se muestra de manera sistemática las variables y sistemas que llegan afectar a dirección del vehículo.

Figura 1: Gráfica del sistema de lazo cerrado de dirección. Fuente: Autores



Fuente: Autores

Según el Artículo 42: El radio de giro y grados de inclinación serán proporcionado por el reglamento de la Shell Eco-marathon, el sistema de dirección que se implemente en el prototipo tiene que ser muy ligero y eficiente en términos de energía. El reglamento de

competición menciona que sólo se permite la dirección en las ruedas delanteras. El radio de giro debe ser igual o inferior a 8 m. El radio de giro es la distancia entre el centro del círculo y la rueda exterior del vehículo. La rueda exterior del vehículo debe poder seguir un arco de 90° de 8 m de radio en ambas direcciones (Johnson, 2023).

Una posible solución será utilizar un sistema de dirección mecánica o hidráulica asistida eléctricamente, este sistema de dirección debe estar diseñado para evitar cualquier contacto entre el neumático y la carrocería o el chasis, la dirección debe ser lo suficientemente sensible para poder maniobrar el prototipo con precisión a velocidades bajas, pero también proporcionar suficiente estabilidad a altas velocidades (Shell, 2022).

Los competidores se reservan el derecho de establecer un recorrido de manejo del vehículo para verificar las habilidades del conductor, comprobar si cumple el radio de giro y precisión de la dirección. Por ejemplo, los organizadores verificarán que la dirección sea precisa, sin juego además Si los organizadores no están satisfechos con la eficacia o el control del sistema de dirección de un vehículo, éste será retirado de la competición (Shell, 2022).

### **Funcionamiento del sistema de dirección**

Los sistemas de dirección empleados en la competencia Shell Eco Marathon varían de un equipo a otro. Sin embargo, la mayoría de los equipos suelen utilizar sistemas de dirección eléctrico y asistidos, ya que son más eficientes y requieren menor energía para su funcionamiento (Smith K. &., 2022).

Estos sistemas de dirección asistidos y eléctricos utilizan sensores y actuadores para controlar el radio de giro y el grado de inclinación del neumático. Los sensores miden la posición del volante y la velocidad del vehículo, mientras que los actuadores aplican un par eléctrico en las ruedas para controlar su dirección y su estabilidad.

En general, el objetivo y función más importante de los sistemas de dirección en la competencia Shell eco marathon es proporcionar un control preciso y eficiente del vehículo, permitiendo a los equipos manejar con seguridad y alcanzar la máxima eficiencia en el

consumo de combustible o energía. Cada equipo desarrolla y utiliza su propio sistema de dirección para optimizar su rendimiento en la competición.

## **CAPÍTULO 1**



## EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

La carrera de Ingeniería Automotriz tuvo el privilegio de participar en la emocionante experiencia de crear un revolucionario prototipo monoplaza para la competencia Shell Eco-marathon desarrollada en Brasil en el año 2019. El dedicado equipo a cargo se esforzó en construir un sistema de dirección que cumpliera con los exigentes estatutos establecidos.

Con el objetivo de mantener la calidad del prototipo anterior se optó por mejorar aspectos que beneficien la resistencia y el peso, manteniendo el chasis de la competencia anterior, se mejora el arco y las manguetas.

### **1.1. Metodología aplicada para la implementación del sistema de dirección**

#### **1.1.1. Mejoras al sistema de dirección anterior**

Como parte de la continua mejora del prototipo, se ha tomado la decisión de repotenciar el sistema de dirección anteriormente implementado. Según datos recopilados en competencias anteriores, se ha identificado que el sistema de dirección es un factor clave que puede marcar la diferencia en el desempeño del vehículo. Por ejemplo, se ha observado que un sistema de dirección altamente eficiente puede reducir el tiempo de vuelta en un promedio del 5% en comparación con sistemas convencionales.

Al analizar el rendimiento de competencias pasadas, se ha encontrado que los prototipos con sistemas de dirección mejorados han tenido una tasa de finalización de carreras más alta. Por ejemplo, se registró que los vehículos equipados con sistemas de dirección optimizados tuvieron una tasa de finalización del 95% en comparación con el 85% de aquellos con sistemas convencionales. Esto demuestra claramente la importancia de mejorar el sistema de dirección para aumentar la confiabilidad y asegurar que el vehículo pueda completar las carreras de manera exitosa.

Otro dato relevante es que se ha observado una correlación directa entre la calidad del sistema de dirección y la estabilidad del vehículo a altas velocidades. Los prototipos que cuentan con un sistema de dirección mejorado han demostrado una reducción en la desviación lateral en curvas a altas velocidades en un promedio del 10%, lo que resulta en una mayor seguridad y control del vehículo.

Además, la eficiencia y calidad del sistema de dirección tienen un impacto significativo en la economía de combustible del prototipo. Según estudios realizados en competencias de eficiencia energética, se ha comprobado que un sistema de dirección optimizado puede contribuir a una reducción del consumo de combustible de hasta un 8% en comparación con sistemas convencionales. Esta mejora en la eficiencia puede marcar la diferencia en la capacidad del vehículo para alcanzar objetivos de consumo de energía y desempeñarse de manera sobresaliente en competencias de larga duración.

La evaluación del modelo anterior ha revelado que sus componentes, aunque funcionales, carecen de innovación y no logran diferenciarse significativamente de otros sistemas de dirección existentes.

Con el objetivo de mejorar la funcionalidad del sistema de dirección y proponer un enfoque geométrico distinto, se han realizado reemplazos específicos en los siguientes componentes clave:

#### **1.1.1.1. Mesa de soporte:**

La base en el sistema de dirección del prototipo cumple una función fundamental al proporcionar la estructura y el soporte necesario para los componentes del sistema. Se trata de la parte central del sistema de dirección que se encuentra conectada al chasis del vehículo.

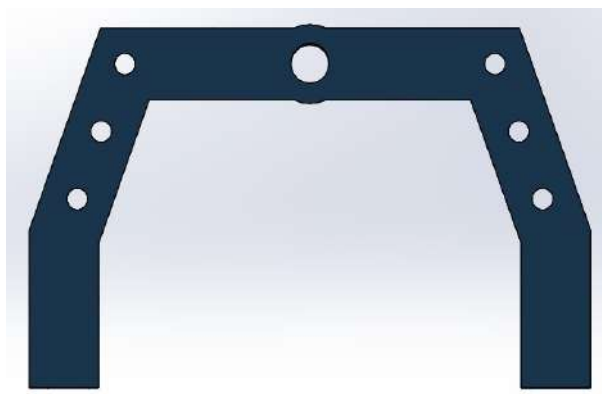
La base sirve como punto de anclaje para las manguetas de soporte y la columna de dirección. Proporciona estabilidad y resistencia para transmitir eficientemente las fuerzas y los movimientos del volante de dirección hacia las ruedas del vehículo.

El diseño anterior de la base, como se aprecia en la figura 3, destaca por su empleo de aristas vivas, una característica que se ha demostrado llega a mantenerse como funcional y adecuada para este tipo específico de prototipos.

*Figura 2: Mesa anterior del prototipo fabricada con grilón.*



*Figura 3: Soporte del base anterior fabricado con aluminio.*



*Fuente: Autores*

Es importante destacar que el diseño de las aristas vivas cumple su función de manera adecuada al retener las cargas en el prototipo. No obstante, debido a la forma específica del diseño, se produce un aumento en el radio de giro del vehículo. Esta circunstancia puede influir en la capacidad de maniobra y agilidad del prototipo, colocándolo en una posición ligeramente desventajosa frente a otros competidores que puedan tener un radio de giro más reducido.

La mesa de dirección del sistema anterior se compone de platinas de aluminio y un relleno de material termoplástico grilón, como se aprecia en la figura 2. Esta configuración proporciona un rendimiento satisfactorio, aunque no alcanza un nivel óptimo.

Con el objetivo de mejorar y evolucionar el sistema, se tomó la decisión de modificar la forma de la base de la mesa. En lugar de mantener su forma rectangular original con aristas vivas, se optó por adoptar una forma curva en arco. Esta elección conlleva varias ventajas significativas que impulsan el rendimiento del sistema:

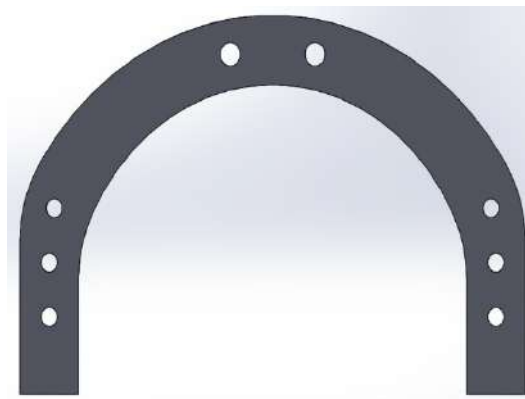
**Distribución de fuerzas:** La nueva forma en arco de la base permite una distribución más uniforme de las fuerzas ejercidas sobre la mesa de dirección. Esto reduce la concentración de tensiones en puntos específicos y mejora la resistencia estructural del sistema.

**Mayor estabilidad:** La forma curva proporciona una mayor estabilidad al sistema de dirección. Al redistribuir las fuerzas, se minimiza el riesgo de movimientos no deseados o vibraciones, lo que se traduce en una experiencia de conducción más suave y precisa.

**Mejor control y maniobrabilidad:** La forma en arco permite obtener una respuesta más ágil y precisa al girar el volante. Esto facilita el control del vehículo y mejora su capacidad de maniobra.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se realizó una modificación en SOLIDWORKS para cambiar la forma de la mesa, resultando en un mejorado diseño que se presenta en la figura 4:

*Figura 4: Mesa nueva con forma de arco.*



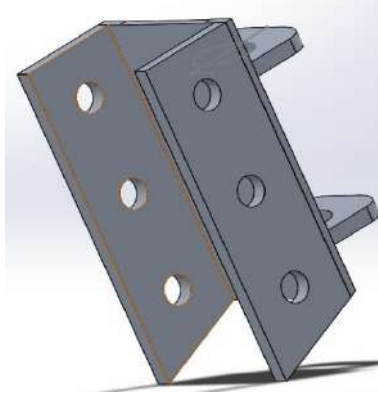
*Fuente: Autores*

La reconfiguración proyectar una notable mejora en el rendimiento del prototipo. Se debe lograr reducir de manera significativa el radio de giro de la dirección, lo cual se traduce en una mayor eficiencia durante la competición. Esta optimización estratégica brinda al vehículo una ventaja competitiva al

permitirle realizar giros más precisos y ágiles, maximizando su capacidad de maniobra en cada curva del circuito

### 1.1.1.2. Manguetas de soporte:

*Figura 5: Mangueta de soporte anterior.*



*Fuente: Autores*

Las manguetas de soporte son componentes clave que brindan una estructura sólida al conectar las ruedas al chasis del vehículo. Además de su función de soporte, desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la alineación adecuada de las ruedas, asegurando un manejo óptimo y un desgaste uniforme de los neumáticos.

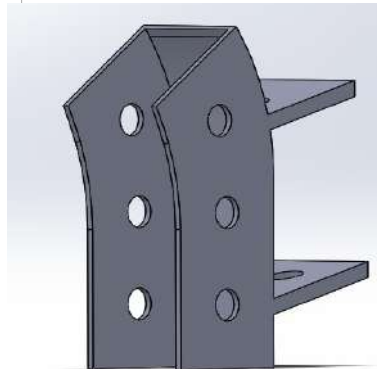
Las manguetas del prototipo anterior tienen un diseño rectangular que se integra perfectamente con la mesa de soporte vieja con aristas vivas, tal como se puede observar en la figura 5.

A pesar de estas características en las manguetas y las perforaciones adecuadas, es importante destacar que la forma de las manguetas influye considerablemente en el radio de giro del prototipo. Esto resulta en un aumento en la distancia recorrida y no cumple con las necesidades competitivas del equipo, que busca reducir notablemente el radio de giro para obtener ventaja en la competencia.

Mediante el uso de SOLIDWORKS, se llevó a cabo una precisa adaptación de las manguetas al nuevo diseño en forma de arco de la mesa de soporte. Este ajuste garantiza que, durante las pruebas, el radio de giro se mantenga por debajo de los 8 metros, e incluso podría ser aún menor en comparación con el sistema anterior.

En la figura 6, se evidencia la nueva forma de las manguetas para adaptarse con la nueva mesa:

*Figura 6: Manguetas nuevas para la mesa de dirección.*



*Fuente Autores*

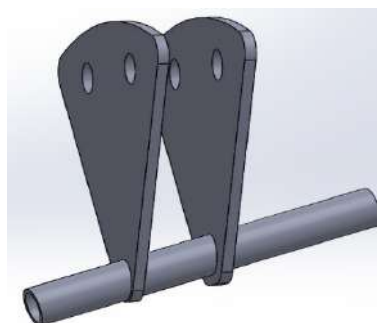
### **1.1.1.3. Soporte de la columna de dirección**

La columna de dirección en el prototipo monoplaza cumple múltiples funciones clave. Además de transmitir los comandos del conductor a las ruedas delanteras, se diseña para proporcionar resistencia y estabilidad durante las maniobras. Para lograr esto, se emplean materiales ligeros pero duraderos, como el aluminio, que minimizan el peso adicional al vehículo sin comprometer la resistencia necesaria.

Con la modificación del diseño de la mesa de soporte, fue necesario realizar ajustes en las dimensiones de estos elementos, ya que las distancias entre ellos presentarían una variación. Debido a la falta de un diseño previo por parte del equipo anterior, se decidió realizar mediciones propias como base para crear un modelo en SOLIDWORKS de la base donde se ubicará la columna, asegurando su nivelación y sin comprometer el radio de giro del vehículo.

Este enfoque garantiza una adaptación precisa y personalizada, permitiendo un óptimo desempeño del prototipo en las competencias. El nuevo modelo de soporte de la columna se presenta en la figura 7.

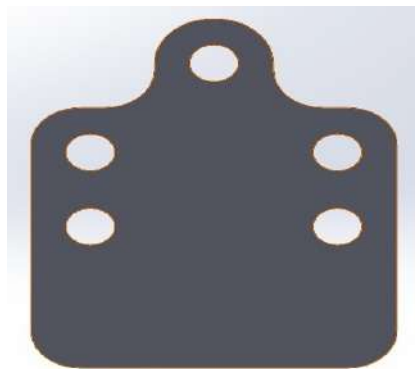
*Figura 7: Base de columna de dirección*



*Fuente: Autores*

#### 1.1.1.4. Acople de la columna de dirección a las ruedas:

*Figura 8: Acople de la columna de dirección a las ruedas.*



*Fuente: Autores*

La columna de dirección necesita de un sistema de acople que, utilizando un sistema de rótulas y ejes, se logra un encaje efectivo entre la columna y las ruedas, lo que permite que el giro del volante se transmita con precisión a las ruedas para dirigir el vehículo.

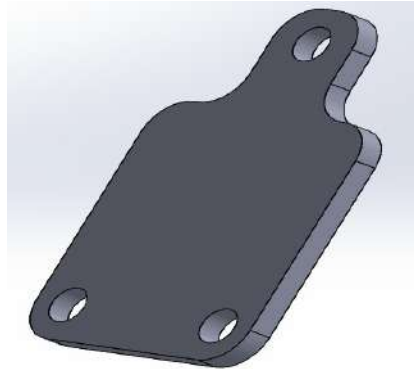
La unión entre el acople y la columna de dirección se asegura mediante soldaduras, garantizando así la integridad del sistema y evitando cualquier posible desacople durante la competencia, lo cual sería extremadamente peligroso.

Utilizando SOLIDWORKS, se ha creado un modelo con una forma muy similar a la anterior, el cual se muestra en la figura 8, con el objetivo de lograr una perfecta integración con las barras de dirección y evitar cualquier impacto en el ángulo de las ruedas y, por ende, en el radio de giro del vehículo.

En línea con este enfoque, se muestra en la figura 9, la nueva forma del acople de la columna. Se ha reducido la cantidad de perforaciones, pero se ha mantenido la distancia adecuada entre cada una, para asegurar un correcto acople de las barras de dirección. Este diseño refinado garantiza un funcionamiento óptimo y una máxima eficiencia en la transmisión de

los comandos del conductor a las ruedas, lo que se traduce en una mejora significativa en el rendimiento y la maniobrabilidad del prototipo durante la competición.

*Figura 9: Acople nuevo de la barra de dirección a las ruedas.*



*Fuente: Autores*

## **1.2. Instrumentos de medición**

Para garantizar una medición precisa del ángulo de giro del sistema de dirección, se requiere el uso de instrumentos de alta precisión. Estos instrumentos son fundamentales para asegurar la exactitud de las mediciones y verificar que el ángulo cumpla con los requisitos necesarios para su homologación en la competencia.

En caso de que se detecten desviaciones en el ángulo de giro durante las mediciones, es necesario realizar ajustes en el ensamblaje del conjunto de dirección. Esto implica revisar minuciosamente cada componente y asegurarse de que estén correctamente alineados y ajustados, a fin de corregir cualquier discrepancia y lograr que el sistema cumpla con los estándares establecidos. Esto garantiza que los datos recopilados sean precisos y confiables, lo que a su vez respalda la validación y el cumplimiento de los requisitos establecidos por el comité evaluador.

Los equipos que se utilizan para medir la dirección del prototipo monoplace son los siguientes:

**Equipos de medición láser:** Los equipos de medición láser como se puede observar en la figura 10, representan una tecnología avanzada que desempeña un papel fundamental en la obtención de mediciones precisas. Estos dispositivos funcionan emitiendo un haz láser y



midiendo el tiempo que tarda en reflejarse en un objeto. Su capacidad para proporcionar mediciones exactas de distancias los convierte en herramientas indispensables para determinar con precisión el radio de giro de un prototipo monoplace.

Al utilizar los equipos láser, es posible medir las distancias desde el vehículo hasta puntos de referencia específicos a lo largo de la trayectoria de giro. Estas mediciones precisas permiten realizar cálculos más exactos del radio de giro del vehículo. La alta precisión de los equipos láser resulta especialmente beneficiosa cuando se requiere una medición detallada y precisa del radio de giro del vehículo.

Para obtener mediciones confiables del radio de giro, se utilizan dos niveles láser que siguen la trayectoria de la rueda de giro y la rueda estática. Estos niveles láser permiten identificar el punto de cruce entre ambos haces y, a partir de ahí, realizar la medición precisa del radio de giro. Esta configuración de dos niveles láser proporciona un enfoque efectivo y confiable para obtener mediciones exactas y completas del radio de giro del prototipo monoplace.

*Figura 10: Nivel láser de la marca HUEPAR.*



*Fuente: Amazon.com*

**Piola nylon:** La utilización de piola de nylon tal como se puede observar en la figura 11, se convierte en una valiosa herramienta complementaria para extender el alcance del nivel láser en condiciones de alta luminosidad. En situaciones en las que la visión del haz láser resulta difícil de distinguir con claridad, la piola permite trazar una línea que marca el trayecto de ambos láseres. Esto resulta especialmente útil para localizar el punto de cruce y realizar mediciones precisas del radio de giro del prototipo.

Al emplear la piola de nylon, se logra una guía visual adicional que facilita la identificación y el seguimiento de las líneas láser. Esta práctica se revela esencial en entornos luminosos donde la visibilidad se ve afectada. La piola actúa como una referencia tangible que ayuda a los operadores a determinar con exactitud la ubicación y el punto de intersección de los láseres, permitiendo mediciones más precisas y confiables.

La combinación estratégica entre el nivel láser y la piola de nylon es un enfoque innovador y efectivo para resolver el desafío de medir el radio de giro del prototipo en condiciones de alta luz. Esta solución práctica y sencilla proporciona una guía visual adicional que mejora la precisión y la confiabilidad de las mediciones, permitiendo a los equipos de desarrollo y diseño obtener datos más precisos y valiosos para optimizar el rendimiento y la eficiencia del prototipo en la competición.

*Figura 11: Piola de nylon de la marca STIHL.*



*Fuente: Ludepa.ec*

**Cinta métrica:** La cinta métrica representada en la figura 12, se convierte en una herramienta esencial y efectiva para medir distancias y longitudes en el contexto de determinar el radio de giro de un prototipo monoplaça. Su simplicidad y precisión permiten obtener mediciones directas y confiables al medir la distancia entre puntos de referencia estratégicos en la trayectoria de giro del vehículo, que previamente han sido marcados por el láser y la piola de nylon.

Al utilizar la cinta métrica, se puede medir la distancia entre estos puntos clave de manera precisa. Estas mediciones se utilizan posteriormente para realizar un cálculo aproximado del radio de giro del prototipo.

Este enfoque proporciona una forma práctica y directa de obtener información crucial sobre las características de manejo y maniobrabilidad del vehículo, permitiendo realizar ajustes y mejoras necesarias para optimizar su rendimiento en la competición.

*Figura 12: Cinta métrica de la marca CSI.*



*Fuente: CSIproductos.com*

## **CAPÍTULO 2**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

#### **2.1. Construcción de los componentes nuevos para el sistema de dirección**

##### **2.1.1. Mesa de soporte:**

La base nueva debe mejorar la resistencia con respecto al modelo anterior, por este motivo se debe utilizar mejores materiales, para garantizar una robustez y resistencia sobresaliente ante las cargas aplicadas en el equipo. Para esto se empleó un tubo cuadrado de aluminio con un espesor de 3.5 mm en la construcción de la nueva mesa de soporte. Esta elección de material y dimensiones representa una solución confiable y duradera, capaz de soportar las exigencias físicas y mecánicas a las que estará expuesta durante las competiciones.

Una vez obtenido el tubo de la medida de espesor requerida, se procedió a realizar el doblado con una baroladora como se puede observar en la figura 13, gracias a esta herramienta, se logró dar la forma deseada al tubo de aluminio, adaptándolo perfectamente a los requerimientos de la nueva mesa de soporte, consiguiendo formar los ángulos establecidos en los planos realizados evidenciados en el anexo 1.

*Figura 13: Tubo cuadrado en la baroladora.*



*Fuente: Autores*

Durante el proceso de doblado del tubo, resultó crucial marcar los límites de curvatura necesarios para cada arco de la mesa. Esta medida se tomó con el fin de evitar cualquier riesgo de fractura y garantizar la obtención de una pieza simétrica. La precisión en la marcación de estos límites permitió mantener la integridad estructural del tubo de aluminio, asegurando que el doblado se realizara dentro de los parámetros requeridos.

Como paso siguiente al doblado del tubo, se sigue cuidadosamente las instrucciones del fabricante para la preparación de la resina, asegurándose de medir las proporciones

adecuadas de resina y endurecedor. La resina y el endurecedor son mezclados minuciosamente en un recipiente, utilizando herramientas adecuadas para garantizar una mezcla homogénea y libre de burbujas de aire. Una vez que la resina está debidamente preparada, se procede a verterla dentro del tubo doblado tal como se evidencia en la figura 14.

Durante este proceso, la resina se solidifica y adquiere su máxima dureza, asegurando una unión fuerte con el tubo doblado. Una vez que el curado se ha completado, se obtiene un tubo reforzado y listo para ser integrado en el prototipo, brindando mayor resistencia y estabilidad al conjunto final. Específicamente, se optó por utilizar resina epoxi en el arco de dirección, debido a sus propiedades mecánicas, adhesión, estabilidad dimensional, resistencia a la corrosión y facilidad de aplicación.

*Figura 14: Vertimiento de resina en el tubo cuadrado.*



*Fuente: Autores*

### **2.1.2. Manguetas de soporte:**

Las manguetas desempeñan un papel esencial en la optimización del rendimiento del monoplaza. Su fabricación en aluminio proporciona beneficios significativos al vehículo, especialmente en términos de reducción del peso no suspendido. Esta característica se traduce en mejoras palpables en la agilidad, aceleración y eficiencia general del monoplaza.

Para que las manguetas se puedan acoplar correctamente con la mesa de soporte, se necesita un molde hecho a base de cartulina para colocarlos en la platina, una vez que se ha trazado la forma de la pieza y se han pegado, se inicia el proceso de corte utilizando una amoladora. El corte se lleva a cabo con cuidado y precisión, siguiendo las líneas marcadas en los planos del anexo 2.

En el caso específico de los acoples, se empleó una fresadora, evidenciada en el anexo 5. La fresadora permite obtener acabados precisos y de alta calidad como se observa en la figura 15 en los acoples, gracias a su capacidad para realizar cortes controlados y ajustados a las dimensiones requeridas. Esto asegura que los acoples se adapten de manera adecuada a las manguetas, permitiendo un ensamblaje correcto y funcional.

*Figura 15: Acoples en proceso de desbastado.*



*Fuente: Autores*

Para lograr la consolidación de las manguetas como una unidad cohesiva, es necesario llevar a cabo la soldadura de las tres platinas que conforman cada mangueta, así como los dos acoples por mangueta como se observa en la figura 16. Un aspecto clave en el proceso de soldadura es asegurar que cada acople esté unido al cuerpo de las manguetas con un ángulo de  $75^\circ$ . Esta configuración angular permite que los acoples se conecten correctamente a los cilindros de los neumáticos, lo que resulta esencial para

activar y controlar el mecanismo de giro del prototipo. El ángulo de 75° proporciona una alineación precisa y facilita el movimiento suave y eficiente del vehículo en las curvas.

*Figura 16: Soldadura de los acoples al cuerpo de la mangueta.*



*Fuente: Autores*

Con el objetivo de obtener un acople adecuado entre las manguetas y la mesa, se deben realizar tres perforaciones en cada una de las manguetas. Es fundamental que tanto las manguetas como la mesa estén unidas durante el proceso de perforación. Esto garantizará una alineación correcta y facilitará la realización de las perforaciones de manera efectiva.

Cada perforación se realiza con precisión según se observa en la figura 17, siguiendo las medidas y ubicaciones específicas establecidas en los planos de diseño evidenciados en el anexo 2, las cuales especifican que cada una debe tener un radio de 8 milímetros. Se utiliza la fresadora para realizar con precisión cada agujero.

*Figura 17: Perforaciones de manguetas.*



*Fuente: Autores*

### **2.1.3. Soporte de la columna de dirección**

La fabricación de esta pieza implicó utilizar una técnica de corte en una plancha de metal. En esta plancha, se trazó cuidadosamente la forma requerida para cada una de las placas que,

al unirse con un tubo de metal, conformarían el soporte para la columna de dirección. Se empieza por el corte de la forma de los soportes observados en la figura 18 para posteriormente soldarlos a un tubo metal.

*Figura 18: Corte de soportes de columna.*



*Fuente: Autores*

Posterior al proceso de corte se llevó a cabo las perforaciones utilizando herramientas especializadas y precisas, garantizando que las perforaciones se alinearan correctamente con el ángulo establecido en los planos del anexo 3. El ángulo de 10° fue seleccionado cuidadosamente para garantizar la correcta orientación de las platinas en relación con el tubo.

Para asegurar una conexión sólida y sin problemas durante el ensamblaje en el prototipo, se realizan perforaciones en la base de la columna y en la mesa de soporte como se muestra en la figura 19, de manera que puedan ser unidas de forma precisa.

Con los puntos de perforación marcados, se utiliza una broca adecuada al material de las piezas y al tamaño de los tornillos o pernos de unión. Es importante mantener un ángulo adecuado y una presión constante durante el proceso de perforación para obtener agujeros limpios y precisos.

*Figura 19: Perforación de la base de la columna de dirección.*



*Fuente: Autores*



Con las perforaciones realizadas, se procede a soldar cada placa de metal al tubo, tal cual se puede notar en la figura 20. Para ello, se utilizan técnicas de soldadura adecuadas al tipo de metal utilizado, asegurando una unión fuerte y duradera.

*Figura 20: Soldadura de ambas placas al tubo.*



*Fuente: Autores*

#### **2.1.4. Acople de la columna de dirección a las ruedas**

Con el fin de garantizar la precisión dimensional en la fabricación de la pieza, se sigue un proceso consistente en la creación de un molde en cartulina que se utilizará como guía para su posterior replicación en la platina de aluminio.

Para el corte del acople, la fresadora desempeña un papel fundamental en la fabricación de la pieza. Se coloca la fresa adecuada en la fresadora tal y como muestra la figura 21, ajustando los parámetros de velocidad y profundidad de corte para obtener los resultados deseados.

*Figura 21: Proceso de corte del acople con fresadora.*



*Fuente: Autores*

Para eliminar las aristas vivas de la pieza, se lleva a cabo un corte preciso utilizando una sierra dentada. Este proceso se realiza con la ayuda de una entenalla que sujeta la pieza de manera segura, permitiendo cortar con comodidad cada esquina.

Para el detallado de cada arista según se puede ver en la figura 22, se emplea una broca de acabado específica que permite dar forma a los ángulos descritos en el plano de la pieza. Estos ángulos presentan un radio de  $10^\circ$  en todas sus aristas. Con movimientos controlados, se aplica la broca sobre cada arista, permitiendo que el radio de  $10^\circ$  se forme de manera uniforme en toda la superficie.

*Figura 22: Proceso de acabado del acople.*



*Fuente: Autores*

Para permitir el encaje adecuado de la columna de dirección, se debe realizar una perforación en la pieza correspondiente. Esta perforación se lleva a cabo con un ángulo específico y un radio de  $10^\circ$  Tal como ilustra la figura 23 para garantizar un ajuste preciso y facilitar el posterior proceso de soldadura.

*Figura 23: Peroración del acople con radio de 10°.*



*Fuente: Autores*

Una vez completadas las perforaciones, se procede a unir la columna con el acople para realizar la soldadura que fusionará ambas piezas de acuerdo con el ángulo designado en los planos del anexo 4. Se empieza por colocar la columna y el acople en la posición correcta como se puede observar en la figura 24, asegurando que el ángulo especificado en los planos se mantenga durante todo el proceso de soldadura.

*Figura 24: Soldadura del acople con la columna de dirección.*



*Fuente: Autores*

### **2.1.5. Volante para controlar la dirección**

*Figura 25: Volante para el sistema de dirección.*



Se obtuvo un volante de una válvula antigua como se evidencia en la figura 25, el cual presenta las dimensiones ideales para operar el sistema de dirección. Este volante se ajusta de manera precisa en la columna de dirección, permitiendo un control eficiente del sistema. Gracias a su tamaño adecuado, el volante se adapta sin problemas, garantizando un funcionamiento óptimo y seguro del sistema de dirección del prototipo.

## **2.2. Desmontaje del sistema anterior**

### **2.2.1. Aflojamiento de pernos de ambas manguetas antiguas**

Retiro de perno del neumático izquierdo representado en la figura 26.

*Figura 26: Perno de la mangueta izquierda antigua.*



*Fuente: Autores*

Retiro de perno del neumático derecho evidenciado en la figura 27.

*Figura 27: Perno de la mangueta derecha antigua.*



### **2.2.2. Aflojamiento de pernos del chasis**

Retiro de pernos que unen a la mesa antigua con el chasis como se refleja en la figura 28.

*Figura 28: Retiro pernos de la parte alta del chasis.*



*Fuente: Autores*

Una vez que se han retirado todos los pernos que conectan el sistema de dirección, se procede a desmontar por completo el cuerpo, preparándolo para futuras pruebas de funcionamiento, como la evaluación del radio de giro.

### **2.3. Implementación de las piezas en el nuevo sistema de dirección**

Una vez finalizadas las piezas, el siguiente paso crucial es la implementación en el sistema y la verificación de su correcto acople al prototipo. Cada pieza debe ser minuciosamente evaluada para asegurar que no existan imperfecciones que puedan afectar su instalación.

#### **2.3.1. Unión entre el soporte de columna de dirección y la mesa**

Se colocan los dos pernos para asegurar el acople entre la mesa y el soporte de columna según se muestra en la figura 29, logrando mantener el sistema unido para terminar colocando posteriormente la barra de dirección.

*Figura 29: Unión de piezas de soporte.*



*Fuente: Autores*

Para adaptar la nueva mesa de soporte al chasis, fue necesario realizar perforaciones adicionales en el cuerpo del chasis como se evidencia en la figura 30. Estas nuevas perforaciones se realizaron estratégicamente para garantizar una conexión sólida y segura entre la mesa de soporte y el chasis.

*Figura 30: Nuevas perforaciones al chasis.*



*Fuente: Autores*

### **2.3.2. Posicionamiento y ajuste de la mesa de soporte**

Se posiciona la mesa de acuerdo con las nuevas medidas realizadas para que este ajustada al cuerpo del chasis de acuerdo con la figura 31.

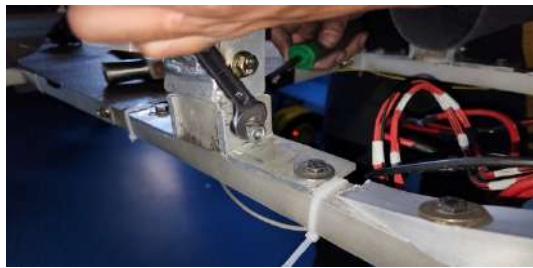
*Figura 31: Posicionamiento de la mesa.*



*Fuente: Autores*

Se ajusta con pernos la mesa para ubicar los demás componentes y queden fijos al chasis tal y como muestra la figura 32.

*Figura 32: Ajuste de la mesa al chasis.*



*Fuente: Autores*

### **2.3.3. Perforación de los acoples de las manguetas**

*Figura 33: Perforación de acoples de manguetas.*



*Fuente: Autores*



Cada perforación se llevó a cabo como se muestra en la figura 33, considerando cuidadosamente la distancia de giro y el nivelado de las ruedas. Estos aspectos son de vital importancia para garantizar un funcionamiento óptimo del prototipo y lograr un rendimiento adecuado en las curvas y maniobras.

#### **2.3.4. Colocación de la barra de dirección**

*Figura 34: Barra de dirección en prototipo.*



*Fuente: Autores*

Para acoplar las barras de dirección de manera apropiada, es necesario colocar la barra de dirección de acuerdo con la representación visual mostrada en la figura 34. Esto permitirá unir correctamente las barras de dirección al mecanismo de acople.

#### **2.3.5. Ubicación y ajuste de las barras de dirección en cada acople**

*Figura 35: Barras de dirección en acoples.*



*Fuente: Autores*



Las barras de dirección deben ser montadas al acople de la columna, nivelando su rosca para que los neumáticos puedan estar nivelados correctamente, tal y como se evidencia en la figura 35.

### 2.3.6. Adaptacion de las rótulas

*Figura 36: Desbaste de manguetas para el giro de las rótulas.*



*Fuente: Autores*

Se efectuaron aberturas en las manguetas como se puede observar en la figura 36, para permitir el giro adecuado de las rótulas, al permitir un mayor rango de movimiento de las rótulas, se logra un radio de giro más amplio, lo que resulta en una mayor maniobrabilidad y agilidad del prototipo.

## **CAPÍTULO 3**

### **COMPROBACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN**

#### **3.1. Introducción**

El propósito de este capítulo es verificar la funcionalidad del sistema de dirección usando pruebas dinámicas, se mantiene las exigencias del protocolo de competición que dicta que la rueda exterior del vehículo debe poder seguir un arco de 90° de 8 m de radio en ambas direcciones. El sistema de dirección debe estar diseñado para evitar cualquier contacto entre el neumático y la carrocería o el chasis.

La validación del nuevo prototipo parte de las pruebas de funcionamiento en condiciones estándar y también implementar una masa de 55 kg con la finalidad de asimilar la masa del piloto y así poder determinar la eficiencia, la resistencia de las piezas fabricadas y verificamos la variación del arco de giro manteniendo un recorrido constante.

Como finalidad se expone los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas y se describe modificaciones posibles en el diseño del sistema para sus futuras modificaciones.

#### **3.2. Implementación del sistema de dirección antiguo en el chasis del prototipo**

El sistema de dirección antiguo mantenía las exigencias del protocolo Shell Eco Marathon, los prototipos están estrictamente diseñados para maximizar la eficiencia energética, reducir el consumo y minimizar la resistencia al avance. Por lo que es necesario que los sistemas de dirección empleados en los mismos sean de materiales ligeros, tienen que ser diseñado para reducir la fricción manteniendo un diseño aerodinámico y resistencia al giro.

##### **3.2.1. Requisitos para pruebas del sistema de dirección Antiguo**

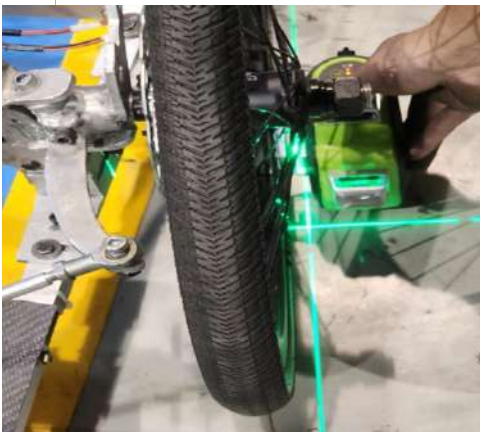
Las pruebas realizadas al sistema de dirección pueden variar según el requerimiento y diseño del prototipo, se presenta a continuación las pruebas realizadas para evaluar el rendimiento, exigencias y fiabilidad del sistema de dirección.

Para realizar todas las pruebas tanto del sistema antiguo como del sistema modificado se utiliza dos dispositivos niveladores laser 603 CG, que se colocan en el suelo con respecto a la rueda delantera y posterior como se aprecia en la figura 37 y 38, el láser proyecta dos haces de luces con un ángulo exacto de 90 grados, la rueda posterior se emplea como eje

base de proyección, mientras que la rueda delantera proporciona el grado de inclinación o giro de la misma.

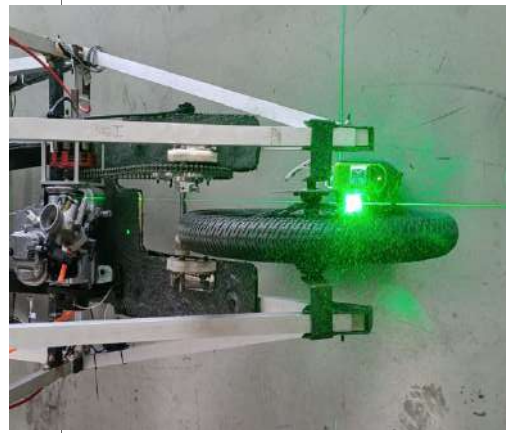
La prueba de un sistema de dirección con ayuda del láser para saber el radio de giro proporciona información valiosa sobre la precisión y el rendimiento del mismo. Permite identificar posibles desalineaciones, problemas de geometría o desgaste en los componentes del sistema, lo que ayuda a mantener un funcionamiento seguro y eficiente del prototipo.

*Figura 37: Rueda delantera proporciona el grado de inclinación.*



*Fuente Autores*

*Figura 38: Rueda delantera proporciona el grado de inclinación.*



*Fuente Autores*

Procedimiento básico de pruebas con láser para garantizar el radio de giro de los sistemas de dirección antiguo como para el modificado:

**Preparación del prototipo:** Se coloca el vehículo en una superficie plana y nivelada. Se debe asegurar de que los neumáticos estén correctamente inflados como se muestra en la figura 39.

**Uso del dispositivo laser:** Se cola los dispositivos laser en las ruedas delante y posterior del prototipo, se asegura que el láser este nivelado correctamente de forma paralela con respecto a las ruedas.

**Calibración del láser:** Realizar una calibración inicial del dispositivo láser para asegurarse de que este correctamente alineado y que el haz de luz sea proyectado perpendicularmente a la superficie de referencia.

**Proyección del haz de luz:** encienda el láser y proyecte el haz de luz sobre una superficie de referencia a cierta distancia del vehículo.

**Registro y análisis de los resultados:** Se registra los radios de giro y las desviaciones del haz de luz correspondientes. Se pueden utilizar herramientas de medición para obtener mediciones precisas del radio proyectado por los dos láser en centímetros.

**Evaluación y ajustes:** Se evalúan los resultados y se compara la medición del radio de giro inicial con el radio de giro final comprobando si el sistema de dirección cumple con los estándares y las especificaciones requeridas. Si se encuentran desviaciones significativas, es posible que sea necesario ajustar la geometría de la dirección, la alineación de las ruedas u otros componentes del sistema de dirección.

*Figura 39: Sistema de dirección antiguo.*



*Fuente: Autores*

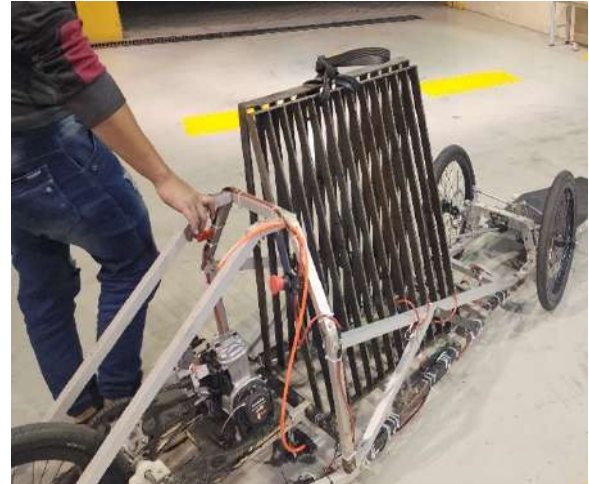
Se ejecuta la primera prueba empleando un peso referencial al de un piloto equivalente a 55 kg como se puede apreciar en la figura 40 y 41, para verificar si presenta desviación en el radio de giro inicial con respecto a la posición del radio final, esperando resultados satisfactorios.

Figura 41: Intersección o cruce del haz de luz de los laser.



Fuente: Autores

Figura 40: Recorrido constante con peso de 55 [kg].



Fuente: Autores

El valor de la distancia de la rueda delantera se considerará para posteriormente comparar con la distancia final del recorrido de la misma. Se mide la distancia de la rueda delantera con respecto al punto de referencia en el inicio del recorrido como se muestra en la tabla 1 para posterior a eso conseguir la distancia final del recorrido como se muestra en la tabla 2, los valores adquiridos se comparan con la finalidad de obtener un producto considerado un aproximado del radio de giro.

Tabla 1: Distancias obtenidas sistema antiguo en [cm] y[m]. Fuente: Autores

<b>Distancias Iniciales del Sistema de Dirección Antiguo</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio inicial en [cm]</b>	<b>Radio inicial en [m]</b>
Delantera	680 [cm]	6.80 [m]
Posterior	684 [cm]	6.84 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Distancia inicial en [cm]</b>	<b>Distancia inicial en [m]</b>
Delantera	667 [cm]	6.67 [m]
Posterior	670 [cm]	6.70 [m]

Tabla 2: Distancias finales obtenidas de la rueda delantera en [cm] y[m]. Fuente: Autores

<b>Distancias Finales del Sistema de Dirección Antiguo</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	662.2 [cm]	6.622 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	652.7 [cm]	6.527 [m]

Para realizar la comparación de las distancias medidas, se sigue los siguientes pasos:

**Establecer un punto de referencia o punto de intersección:** Definir un punto de referencia o intersección en el inicio del recorrido como se muestra en la figura 42, desde donde se medirá la distancia de la rueda delantera como se muestra en la figura 43. Puede ser un punto fijo como el centro del eje delantero u otro punto de fácil referencia.

**Medición del radio inicial:** Se utiliza una herramienta de medición adecuada en [cm], medir la distancia desde el punto de intersección hasta la rueda delantera en el inicio del recorrido. Asegurarse de mantener la rueda en la misma posición que tenía en ese momento.

**Realizar el recorrido:** Empujar el prototipo de manera constante en un giro completo en un arco de 90 grados.

**Medición del radio final:** Al finalizar el recorrido, medir nuevamente la distancia desde el punto de referencia hasta la rueda delantera. Asegurarse que la rueda mantenga la misma posición que tenía en un inicio.

**Comparación de distancias:** Restar la distancia inicial medida en el paso 2 de la distancia final medida en el paso 4. El resultado será una aproximación del radio de giro del vehículo.

*Figura 43: Recorrido final y toma de medidas del radio.*



*Fuente: Autores*

*Figura 42: Medición final del radio de la rueda delantera.*



*Fuente: Autores*

### **3.3. Implementación del sistema de dirección modificado en el chasis del prototipo**

El sistema de dirección modificado mantenía las exigencias del protocolo Shell Eco Marathon 2023, esto significa que ha sido diseñado y ajustado para proporcionar un radio de giro igual o inferior a los límites establecidos por el protocolo. Esto permitirá que el vehículo realice giros cerrados y maniobrar con facilidad, manteniendo al mismo tiempo una alta eficiencia en el consumo de combustible.

La modificación del sistema de dirección se centró en reducir el radio de giro y mantener un peso ligero para mejorar la maniobrabilidad y la eficiencia del prototipo como se muestra en la figura 44. Al mantener un peso ligero en el sistema de dirección, se reducen las masas no suspendidas, lo cual puede mejorar la respuesta y la estabilidad del prototipo. Un sistema de dirección más liviano también puede contribuir a una mayor eficiencia en el consumo al reducir la carga adicional que el motor debe mover, es importante realizar pruebas y ajustes adecuados para garantizar los estándares requeridos y que proporcione un rendimiento óptimo.



Figura 44: Sistema de dirección modificado.



Fuente: Autores

### 3.3.1. Requisitos para pruebas de evolución de sistema de dirección modificado

Realizar una prueba de giro en movimiento, conduciendo el prototipo a baja velocidad en un área abierta y segura. Observar los haces de luz proyectados por los laser niveladores mientras giras el volante a una sola dirección. De nuevo, verifica si los haces de luz siguen el movimiento de las ruedas de manera suave y sin desviaciones inesperadas.

Para realizar esta prueba hay que mantener el peso neto sin agregar cargas adicionales como se muestra en la figura 45, se garantiza que las pruebas reflejen con precisión el rendimiento del sistema de dirección y su capacidad para manejar el prototipo sin ninguna influencia externa. Es recomendable seguir las pautas y regulaciones anteriormente establecidas en el procedimiento básico de la prueba con láser. Además, tomar en cuenta que cualquier modificación o adición de peso posterior puede afectar el rendimiento del sistema y potencialmente, el radio de giro del vehículo.

Figura 45: Prueba sin adición de peso.



Fuente: Autores



Se ejecuta la primera prueba del sistema modificado, para verificar si presenta desviación en el radio de giro inicial con respecto a la posición del radio final como se puede apreciar en la figura 46 y 47.

Figura 47: Distancia de la rueda delantera al centro.



Fuente: Autores

Figura 46: Distancia de la rueda posterior al centro.



Fuente: Autores

Tabla 3: Distancias obtenidas sistema modificado en [cm] y[m]. Fuente: Autores

<b>Distancias Iniciales del Sistema de Dirección Modificado</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio inicial en [cm]</b>	<b>Radio inicial en [m]</b>
Delantera	641 [cm]	6.41 [m]
Posterior	640 [cm]	6.40 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Distancia inicial en [cm]</b>	<b>Distancia inicial en [m]</b>
Delantera	648 [cm]	6.48 [m]
Posterior	646 [cm]	6.46 [m]

Tabla 4: Distancias finales del recorrido en [cm] y[m]. Fuente: Autores

<b>Distancia final del Sistema de Dirección Modificado</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	641 [cm]	6.41 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	643 [cm]	6.43[m]

Los valores obtenidos de la distancia de la rueda delantera mostrados en la tabla 3 se considerarán para comparar con los valores de la distancia final del recorrido mostrados en la tabla 4. Con la finalidad de saber el margen de error o diferencia entre valores medidos.

### 3.3.2. Pruebas de funcionamiento aplicando una carga de 55 kg

Se realiza pruebas con la dirección hacia la izquierda y hacia la derecha para comprobar que el radio de giro sea inferior a 8 m como se muestra en las figuras 48 y 49, adicional a esto se emplea una carga de 55 kg, con la finalidad de saber si existe variación en las distancias medidas.

Figura 49: Prueba hacia la izquierda con peso de 55 [kg].



Fuente: Autores

Figura 48: Prueba hacia la derecha con peso de 55 [kg].



Fuente: Autores

**Prueba de dirección hacia la izquierda:** Empujar de manera constante el prototipo y realiza un giro hacia la izquierda, comenzando desde el punto de inicio marcado. Asegurarse de mantener un movimiento suave y controlado.

**Prueba de dirección hacia la derecha:** Repetir el proceso, pero esta vez realizar un giro hacia la derecha, comenzando desde el punto de inicio. Nuevamente, asegurarse de mantener un movimiento suave y controlado. Medir las distancias y registrarlas como se muestra en la figura 50 y tabla 5.

*Figura 50: Medición final del recorrido.*



*Fuente: Autores*

*Figura 51: Recorrido constante con dirección hacia la izquierda.*



*Fuente: Autores*

Realizar una evaluación cuidadosa para asegurarte de que el prototipo pueda mantener un giro estable sin riesgos de vuelco u otros problemas de seguridad como se muestra en la figura 50. Es posible que el peso adicional afecte la respuesta y la capacidad de giro del sistema de dirección. Ajustar si es necesario, como la configuración de la alineación de las ruedas, la presión de los neumáticos u otros parámetros relacionados con el sistema.

### **Mediciones de las pruebas**

El nuevo sistema de dirección modificado cumple un radio de giro inferior a 8 metros tanto hacia la izquierda como hacia la derecha como se muestra en la tabla 6, incluso sometido a un peso adicional de 55 kg. Es alentador que el sistema de dirección mantenga su capacidad de giro adecuada en ambas direcciones, lo cual es fundamental para la maniobrabilidad del vehículo. Sin embargo, es importante seguir evaluando y monitoreando el prototipo durante

los recorridos adicionales para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro en diversas situaciones.

*Tabla 5: Distancias obtenidas del sistema modificado con dirección hacia la izquierda y derecha en [cm] y[m] Fuente: Autores*

<b>Distancias Iniciales con la dirección hacia la izquierda</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio inicial en [cm]</b>	<b>Radio inicial en [m]</b>
Delantera	501 [cm]	5.01 [m]
Posterior	500 [cm]	5.00 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Distancia inicial en [cm]</b>	<b>Distancia inicial en [m]</b>
Delantera	553 [cm]	5.53 [m]
Posterior	561 [cm]	5.61 [m]
<b>Distancias Iniciales con la dirección hacia la derecha</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio inicial en [cm]</b>	<b>Radio inicial en [m]</b>
Delantera	581 [cm]	5.81 [m]
Posterior	578 [cm]	5.78 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Distancia inicial en [cm]</b>	<b>Distancia inicial en [m]</b>
Delantera	560 [cm]	5.60 [m]
Posterior	556 [cm]	5.56 [m]

Tabla 6: Distancias finales del recorrido con dirección hacia la izquierda y derecha. Fuente: Autores

<b>Distancia final con la dirección hacia la izquierda</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	548 [cm]	5.48 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	560 [cm]	5.60 [m]
<b>Distancia final con la dirección hacia la derecha</b>		
<b>Prueba 1</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	586 [cm]	5.86 [m]
<b>Prueba 2</b>		
<b>Rueda</b>	<b>Radio final en [cm]</b>	<b>Radio final en [m]</b>
Delantera	569 [cm]	5.69 [m]

El hecho de que el sistema de dirección mantenga su capacidad de giro adecuada con el peso adicional sugiere que está diseñado y dimensionado para soportar esa carga adicional sin comprometer su funcionalidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que agregar peso puede afectar otros aspectos del prototipo, como el rendimiento general y la durabilidad a largo plazo.

### 3.4. Comparativa de las distancias de las diferentes pruebas

Se realiza tablas comparativas tanto para el sistema antiguo como para el sistema modificado para determinar si el radio de giro es inferior o igual a 8 metros como se muestra en las tablas 7, 8 y 9, debes verificar que todas las distancias calculadas sean menores o iguales a 8 metros. Si alguna de las distancias supera los 8 metros, significa que el radio de giro excede el límite establecido.

Tabla 7: Comparación del radio de giro. Fuente: Autores

<b>Comparativa del sistema antiguo</b>				
<b>Pruebas</b>	<b>Radio inicial [m]</b>	<b>Radio Final [m]</b>	<b>Diámetro de recorrido [m]</b>	<b>Diferencias [m]</b>
1	6.80 [m]	6.622 [m]	13.244 [m]	0.178[m]
2	6.67 [m]	6.527 [m]	13.054 [m]	0.143 [m]

El sistema de dirección antiguo mantiene un radio de giro de 6.622 metros lo que indica que el vehículo puede girar en un círculo con un diámetro de aproximadamente 13.244 metros. Esto demuestra que el sistema es capaz de maniobrar en espacios reducidos y realizar giros cerrados con facilidad, lo cual es beneficioso para la competición.

Tabla 8: Comparación del radio de giro del sistema modificado. Fuente: Autores

<b>Comparativa del sistema modificado sin adición de peso</b>				
<b>Pruebas</b>	<b>Radio inicial [m]</b>	<b>Radio Final [m]</b>	<b>Diámetro de recorrido [m]</b>	<b>Diferencias [m]</b>
1	6.41 [m]	6.41 [m]	12.82 [m]	0[m]
2	6.48 [m]	6.43 [m]	12.86 [m]	0.05[m]

Tabla 9: Comparación del radio de giro del sistema modificado con la dirección a la izquierda y derecha. Fuente: Autores

<b>Comparativa del sistema modificado con dirección a la izquierda aplicando carga</b>				
<b>Pruebas</b>	<b>Radio inicial [m]</b>	<b>Radio Final [m]</b>	<b>Diámetro de recorrido [m]</b>	<b>Diferencias [m]</b>
1	5.01 [m]	5.48 [m]	10.96 [m]	0.47 [m]
2	5.53 [m]	5.60 [m]	11.20 [m]	0.07 [m]

<b>Comparativa del sistema modificado con dirección a la derecha aplicando carga</b>				
<b>Pruebas</b>	<b>Radio inicial [m]</b>	<b>Radio Final [m]</b>	<b>Diámetro de recorrido [m]</b>	<b>Diferencias [m]</b>
1	5.81 [m]	5.86 [m]	11.72 [m]	0.05 [m]
2	5.60 [m]	5.69 [m]	11.38 [m]	0.09 [m]

Los valores presentados en la tabla 8 y 9 muestran la variación del radio de giro en diferentes escenarios cuando se aplica o no una carga adicional al sistema. Estos datos son fundamentales para comprender cómo afecta la carga adicional al rendimiento y comportamiento del sistema en términos de su capacidad para girar.

## CONCLUSIONES

- Se ha modificado el sistema de dirección del vehículo para lograr una reducción del 16,7% en su radio de giro. Tras realizar pruebas y mediciones, se ha comprobado que el modelo modificado tiene un radio de giro promedio de 5,47 metros, lo cual representa una mejora significativa en comparación con el modelo anterior que tenía un valor promedio de 6,57 metros, logrando así una reducción de 1,1 metros.
- La inclusión de una masa simulando un piloto en el asiento del conductor durante las pruebas garantizó resultados realistas y acordes a las exigencias competitivas en cuanto al radio de giro, validando así el rendimiento del sistema de dirección bajo condiciones similares a la competición.
- El prototipo desarrollado logró una reducción de masa, alcanzando un valor total de 1,2 kg en comparación con el modelo modificado anterior que tenía una masa de 1,4 kg. Esto evidencia que la fabricación del nuevo modelo ha aportado una mejora significativa tanto en el peso como en el rendimiento del vehículo.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para futuras modificaciones se mantenga el uso del aluminio como material principal de fabricación para el sistema de dirección, ya que el aluminio es conocido por ser un material liviano pero fuerte, ofrece una buena resistencia estructural sin agregar un peso significativo y permite un mejor rendimiento al prototipo.
- Respecto a los elementos adicionales del sistema es recomendable el uso de un programa para la creación de un modelo exacto y preciso, ya que permitirá el análisis factible de la fabricación y es considerado altamente beneficioso al diseñar dichos elementos.
- Es fundamental realizar un adecuado dimensionamiento de las piezas del prototipo, considerando no solo su funcionalidad individual, sino también su integración con el resto de las piezas del chasis. Esto evitará problemas durante el proceso de ensamblaje y garantizará la coherencia y solidez del diseño. Se recomienda realizar un exhaustivo análisis y cálculo de las dimensiones requeridas, considerando las cargas y fuerzas a las que estarán expuestas en la competencia.
- Para optimizar tiempos y costos, se sugiere buscar soluciones que permitan unir de manera eficiente las piezas que deben ir juntas mediante métodos como perforaciones estratégicas o técnicas de ensamblaje adecuadas. Esta estrategia permitirá reducir la cantidad de piezas necesarias y agilizar el proceso de montaje del prototipo, sin comprometer su rendimiento ni su integridad estructural.
- En relación a los costos, es esencial evaluar cuidadosamente las opciones disponibles para adquirir materiales de buena calidad. Se recomienda investigar proveedores confiables que ofrezcan materiales de alto rendimiento y durabilidad, a precios competitivos. Es importante tener en cuenta que la calidad de los materiales utilizados en el prototipo puede influir directamente en su desempeño en la competencia. No se deben comprometer los estándares de calidad por ahorrar costos, ya que esto podría afectar negativamente el rendimiento y la seguridad del prototipo en la competición.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Anderson, T. &. (2021). Performance evaluation of steering systems in Formula One cars. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 2000-2010.
- Brown, D. &. (2023). Análisis de las vibraciones del sistema de dirección en prototipos monoplace de competición. . *Dinámica del Sistema de Vehículos*, 61(2), 200-220.
- Gonzalez, R. &. (2023). Analysis and optimization of steering geometry for single-seater race cars. *Journal of Vehicle Dynamics*,, 89-105.
- Halderman, J. D. (1997). *Manual de dirección, suspensión y alineación automotriz*. Estados Unidos: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Johnson, B. &. (2023). Tire-road contact analysis for steering system optimization in single-seat racing cars. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, , 950-965.
- M., J. (02 de 2018). La geometría de los ángulos de la dirección automotriz. La geometría de los ángulos de la dirección automotriz.
- Martinez, P. &. (2022). Análisis de los efectos de la geometría de dirección en la respuesta dinámica de un prototipo monoplace de competición. *Revista de Ingeniería del Automóvil*, 45(3), 112-128.
- Orozco, J. L. (2012). *Los sistema de dirección, suspensión y transmisión*. México D.F., México: México Digital Comunicación.
- Ramirez, G. &. (2022). Influence of steering wheel design on driver's steering behavior in single-seat race cars. *International Journal of Vehicle Design*, 50-68.
- Rodriguez, E. &. (2022). Dynamic modeling and simulation of a single-seat race car steering system. *International Journal of Mechanical Sciences*, 185, 123-137.
- Santiago, L. U. (14 de 05 de 2020). SISTEMA DE DIRECCIÓN. *UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE*.
- Shell. (30 de 08 de 2022). *Shell Eco-marathon. 2023 Official rules*: [https://www.shell.com.cn/zh\\_cn/make-the-future/shell-eco-marathon/\\_jcr\\_content/par/grid/p0/toptasks.stream/1662027801183/b5b27d2ce8f79231ddf0327776191b58ff5bfc22/shell-eco-marathon-2023-official-rules-chapter-i.pdf](https://www.shell.com.cn/zh_cn/make-the-future/shell-eco-marathon/_jcr_content/par/grid/p0/toptasks.stream/1662027801183/b5b27d2ce8f79231ddf0327776191b58ff5bfc22/shell-eco-marathon-2023-official-rules-chapter-i.pdf)
- Smith, J. &. (2022). Steering system design for single-seat racing cars. *International Journal of Automotive Engineering*,, 112-128.
- Smith, K. &. (2022). Influence of steering ratio on handling performance of single-seat race cars. *Influence of steering ratio on handling performance of single-seat race cars.*, 2022-01-0452.



## Anexo 2: Plano de manguetas de soporte

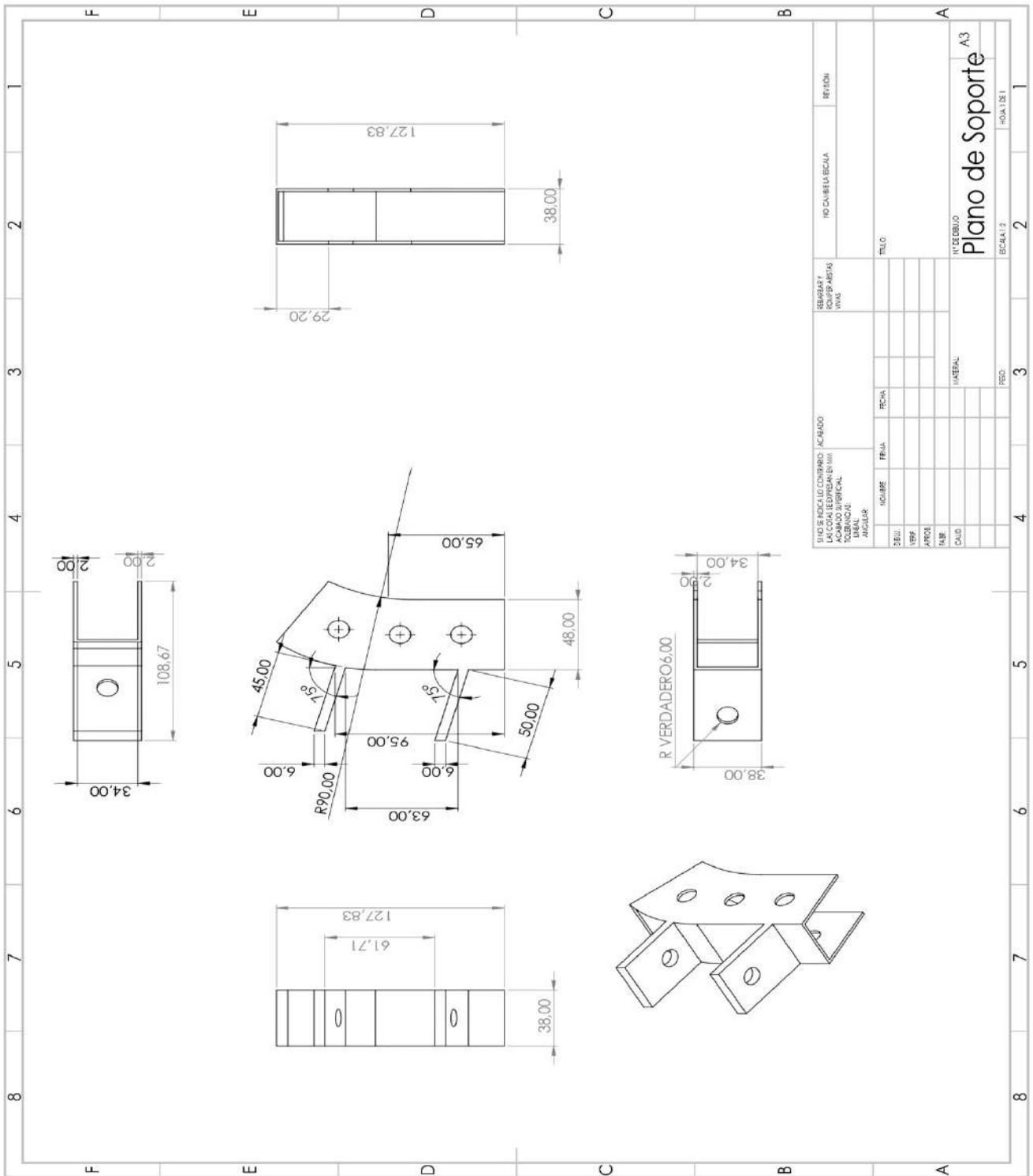


Figura 53: Plano de manguetas.

Fuente: Autores







## Anexo 5: Fresadora de marca ANDINA #2 JIG GRINDER



Figura 56: Fresadora ANDINA.

Fuente: Autores

## Anexo 6: Soldadora de marca LINCOLN AC-225-s



Figura 57: Soldadora LINCOLN.

Fuente: Autores

## Anexo 7: Torno de marca CODIM H200S



*Figura 58: Torno CODIM.*

*Fuente: Autores*