

**CONVERSIÓN DE UN CUATRICICLO DE LA UNIVERSIDAD ECCI PARA QUE CUMPLA CON LAS  
ESPECIFICACIONES DEL CONCURSO NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE**

**CESAR LUIS GONZÁLEZ CORTES  
SEBASTIÁN ÁLVAREZ HERNÁNDEZ  
JOSÉ ALEJANDRO AGUIRRE VERGARA**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2023**

**CONVERSIÓN DE UN CUATRICICLO DE LA UNIVERSIDAD ECCI PARA QUE CUMPLA CON LAS  
ESPECIFICACIONES DEL CONCURSO NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE**

**CESAR LUIS GONZÁLEZ CORTEZ  
SEBASTIÁN ÁLVAREZ HERNÁNDEZ  
JOSÉ ALEJANDRO AGUIRRE VERGARA**

**DIRECTOR: CESAR GIOVANNI ARÉVALO CABRERA  
MSc.Ingeniero Mecánico.  
CODIRECTOR: JOSÉ DAVID BARÓN PINILLA  
MSc.Ingeniero Mecánico.**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1.....	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1. CHASIS.....	6
1.2.2. SISTEMA DE DIRECCION.....	7
1.2.3. SISTEMA DE TRACCION .....	8
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	9
1.4. OBJETIVO GENERAL .....	10
1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	10
1.6. JUSTIFICACION.....	10
CAPITULO 2.....	11
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION.....	11
2.1.1. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN VEHICULO DE TRACCION HUMANA PARA LA COMPETENCIA UNIANDES 2011.....	11
2.1.2. REDISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DE VEHICULO DE TRACCION HUMANA CON DIRECCION POR INCLINACION .....	12
2.1.3. ANALISIS ESTRUCTURAL DE UN VEHICULO DE TRACCION HUMANA PARA LA COMPETENCIA LOCAL DE VEHICULO DE TRACCION HUMANA ANTIOQUIA 2018.....	13
2.1.4. DESIGN, MODELLING AND ANALYSIS OF TILTED HUMAN POWERED VEHICLE.....	14
2.1.5. SINGLE ARM RECUMBENT BICYCLE .....	15
2.2. MARCO TEORICO .....	16
2.2.1. NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE .....	16
2.2.2. CONCURSO ASME DE VEHICULOS DE TRACCION HUMANA.....	16
2.3. MARCO LEGAL .....	17
2.4. MARCO CONCEPTUAL.....	18
2.4.1. CHASIS.....	18
2.4.1.1. CHASIS DE ESCALERA.....	19
2.4.1.2. CHASIS MONOCASCO O COMPACTO .....	20
2.4.1.3. CHASIS TUBULAR.....	21

2.4.1.4.	CHASIS COLUMNA VERTEBRAL .....	21
2.4.2.	SISTEMA DE DIRECCION.....	22
2.4.2.1.	DIRECCION SOBRE EL ASIENTO .....	23
2.4.2.2.	DIRECCION BAJO EL ASIENTO.....	24
2.4.2.3.	DIRECCION POR INCLINACION .....	24
2.4.3.	SISTEMA DE TRANSMISION.....	25
2.4.3.1.	SISTEMA DE TRANSMISION POR CADENA.....	25
2.4.3.2.	TRANSMISION POR CARDAN.....	26
CAPITULO 3.....		27
3.1.	INSPECCION Y MEDICION .....	27
3.2.	CONCEPCION DEL DISEÑO.....	27
3.3.	CALCULO ESTATICO .....	28
3.4.	PROCESO DE REDISEÑO.....	29
3.4.1.	REDISEÑO DEL CHASIS .....	29
3.4.2.	REDISEÑO DE LOS SOPORTES DE TIJERAS Y SUSPENSION .....	33
3.4.3.	REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCION .....	35
3.4.4.	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRACCION.....	37
3.4.5.	ENSAMBLE DEL CUATRICICLO REDISEÑADOS.....	38
CAPITULO 4.....		41
4.1.	DISEÑO FINAL .....	41
4.1.1.	SISTEMA DE DIRECCION FINAL.....	42
4.1.2.	SISTEMA DE TRACCION FINAL.....	44
4.1.3.	SISTEMAS CONSERVADOS DEL DISEÑO PREVIO .....	45
4.2.	ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....	46
4.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
REFERENCIAS .....		50
ANEXOS.....		52

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Modelo CAD de las primeras versiones del cuatriciclo</i> .....	2
<i>Ilustración 2: Cuatriciclo año 2019</i> .....	3
<i>Ilustración 3: Cuatriciclo año 2019 – 2022</i> .....	3
<i>Ilustración 4: Sistema de dirección</i> .....	4
<i>Ilustración 5: Sistema de suspensión trasero</i> .....	5
<i>Ilustración 6: 2022 NASA Human Exploration Rover Challenge Handbook</i> .....	6
<i>Ilustración 7: Chasis del cuatriciclo</i> .....	6
<i>Ilustración 8: Punto de agarre del copiloto</i> .....	7
<i>Ilustración 9: Columna de dirección</i> .....	8
<i>Ilustración 10: Pedales del cuatriciclo</i> .....	8
<i>Ilustración 11: Sistema de transmisión</i> .....	9
<i>Ilustración 12: VTH para la competencia unidades 2011</i> .....	11
<i>Ilustración 13: VTH con dirección por inclinación</i> .....	12
<i>Ilustración 14: VTH para competencia local de Antioquia</i> .....	13
<i>Ilustración 15: Modelado de un velo móvil</i> .....	14
<i>Ilustración 16: VTH para persona discapacitada</i> .....	15
<i>Ilustración 17: ASME Human Powered Vehicle Challenge 2019</i> .....	17
<i>Ilustración 18: Chasis de un cuatriciclo</i> .....	19
<i>Ilustración 19: Chasis tipo escalera</i> .....	20
<i>Ilustración 20: Chasis monocasco</i> .....	20
<i>Ilustración 21: Chasis tubular</i> .....	21
<i>Ilustración 22: Chasis tipo columna vertebral</i> .....	22
<i>Ilustración 23: Sistema de dirección mecánica</i> .....	23
<i>Ilustración 24: Dirección sobre el asiento</i> .....	23
<i>Ilustración 25: Dirección bajo el asiento</i> .....	24
<i>Ilustración 26: Dirección por inclinación</i> .....	24
<i>Ilustración 27: Transmisión por cadena</i> .....	25
<i>Ilustración 28: Transmisión por cardan</i> .....	26
<i>Ilustración 29: Bosquejo de la propuesta seleccionada</i> .....	27
<i>Ilustración 30: Diagrama de cuerpo libre del cuatriciclo</i> .....	28
<i>Ilustración 31: Comparativa del chasis</i> .....	30
<i>Ilustración 32: Dimensiones del chasis en mm</i> .....	31
<i>Ilustración 33: Clasificación de los miembros del chasis</i> .....	32
<i>Ilustración 34: Ensanchamiento de placas</i> .....	33
<i>Ilustración 35: Comparativa entre el diseño de placas</i> .....	34
<i>Ilustración 36: Plano de rediseño de las placas</i> .....	35
<i>Ilustración 37: Rediseño del sistema de dirección</i> .....	36
<i>Ilustración 38: Plano de extrusión del sistema de dirección</i> .....	36

<i>Ilustración 39: Sistema de pedaleo</i> .....	37
<i>Ilustración 40: Pedales centrales</i> .....	38
<i>Ilustración 41: Comparativa de rediseño</i> .....	39
<i>Ilustración 42: Dimensiones del ensamble final</i> .....	40
<i>Ilustración 43: Posicionamiento de las manijas de freno</i> .....	40
<i>Ilustración 44: Diseño previo vs Rediseño</i> .....	41
<i>Ilustración 45: Ancho del diseño previo vs rediseño</i> .....	42
<i>Ilustración 46: Columna de dirección antes y después</i> .....	42
<i>Ilustración 47: Eje que conecta con la columna de dirección</i> .....	43
<i>Ilustración 48: Unión del brazo de dirección derecho</i> .....	44
<i>Ilustración 49: Sistema de tracción antes y después</i> .....	44
<i>Ilustración 50: Ubicación de las manijas de frenado</i> .....	45
<i>Ilustración 51: Sistema de suspensión antes y después</i> .....	46

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Comparativa de Rover's</i> .....	47
--	----

## LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1: PLANO DEL CHASIS DEL CUATRICICLO</i> .....	52
<i>Anexo 2: PLANO DE LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA TUBULAR</i> .....	53
<i>Anexo 3: PLANO DE DESPIECE DE LOS SOPORTES DE LAS TIJERAS</i> .....	54
<i>Anexo 4: PLANO DE DESPIECE DE LOS SOPORTES DE LAS TIJERAS</i> .....	55
<i>Anexo 5: PLANO DEL CONJUNTO DE SISTEMA DE DIRECCION EXPLOSIONADO</i> .....	56
<i>Anexo 6: PLANO DE LAS PIEZAS A FABRICAR DEL SISTEMA DE DIRECCION</i> .....	57
<i>Anexo 7: PLANO DE SUB-ENSAMBLE DEL SISTEMA DE DIRECCION (ENLACE DE ARRASTRE)</i> .....	58
<i>Anexo 8: PLANO DE CONJUNTO GENERAL DEL CUATRICICLO</i> .....	59
<i>Anexo 9: PLANO DE LAS TIJERAS DELANTERAS</i> .....	60
<i>Anexo 10: PLANO DE LAS TIJERAS TRASERAS</i> .....	61

---

# INTRODUCCIÓN

---

Dentro de la tecnología en mecánica automotriz, el mundo ha generado grandes innovaciones y funciones que permiten desarrollar nuevos artefactos y modernizar objetos ya establecidos para conseguir un mejor desempeño. Es de esta manera que en el contenido de este trabajo se da evidencia de rediseños y mejoras a un cuatriciclo que fue construido hace varios periodos por grupos de los cursos de dibujo de máquinas asistido, donde anteriormente sufrió cambios y modificaciones para que cumpliera con las necesidades establecidas en el momento.

No obstante, al hacer estudios y análisis del cuatriciclo fue necesario reemplazar bases importantes para que este lograra su objetivo principal el cual era que cumpliera con el reglamento que exige la NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE, donde se mejoran partes esenciales para que este tuviera un correcto funcionamiento, ergonomía y se encontrara dentro de los lineamientos del concurso.

Para realizar este proyecto fue necesario la implementación de ingeniería inversa, análisis estáticos, utilizar herramientas digitales como SolidWorks y conocimiento de metalurgia de una forma tal, que logra cumplir a cabalidad la función del cuatriciclo y su participación en el concurso.

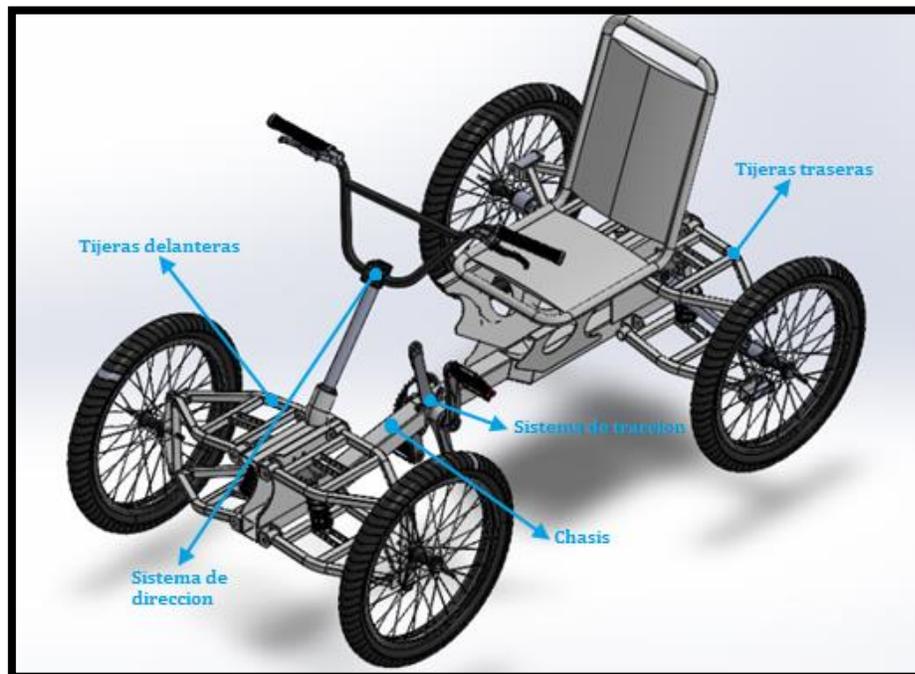
---

# CAPITULO 1

---

## 1.1. ANTECEDENTES

El cuatriciclo surge como iniciativa de un grupo de 5 estudiantes de la Universidad ECCI, los cuales a través del curso de dibujo de máquinas asistido de noveno semestre, llevaron a cabo el diseño y construcción de un cuatriciclo con propulsión trasera eléctrica y suspensión independiente, tomando como base un proyecto realizado con anterioridad de un triciclo convencional como el que se muestra en la *ilustración 1* (Poveda Sotomayor , y otros, 2019).



*Ilustración 1: Modelo CAD de las primeras versiones del cuatriciclo*

*Fuente: Autoridad propia*

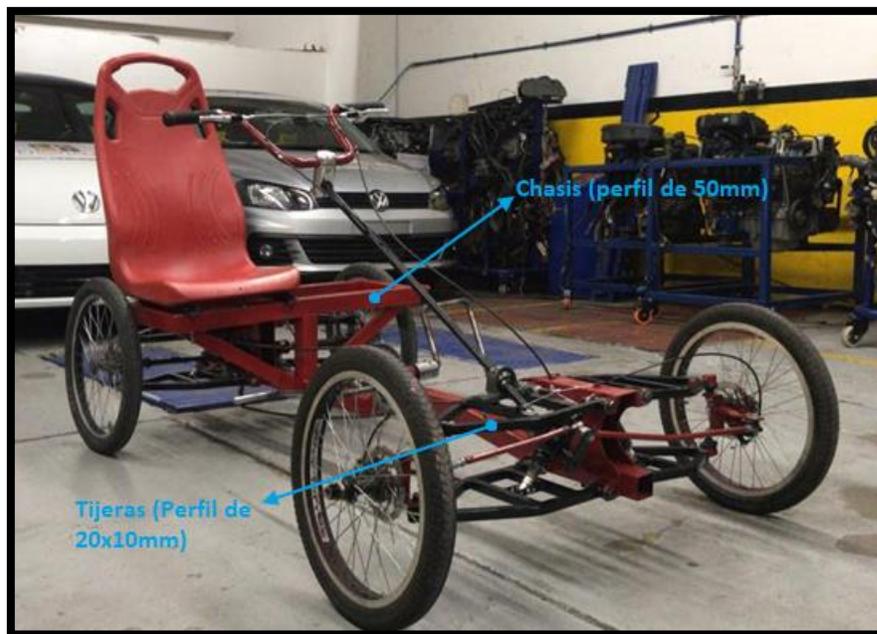
Posteriormente el cuatriciclo pensado con propulsión eléctrica trasera pasó a ser un cuatriciclo impulsado únicamente mediante pedales como se ve en la *ilustración 2*. Además de ello, el cuatriciclo fue rediseñado y/o modificado en diferentes ocasiones, a fin de realizar correcciones y mejoras a los diferentes sistemas que lo componen.



*Ilustración 2: Cuatriciclo año 2019*

*Fuente: PROYECTO CUADRICICLO DE PEDALES PARA DOS PERSONAS (UNIVERSIDAD ECCI /2019)*

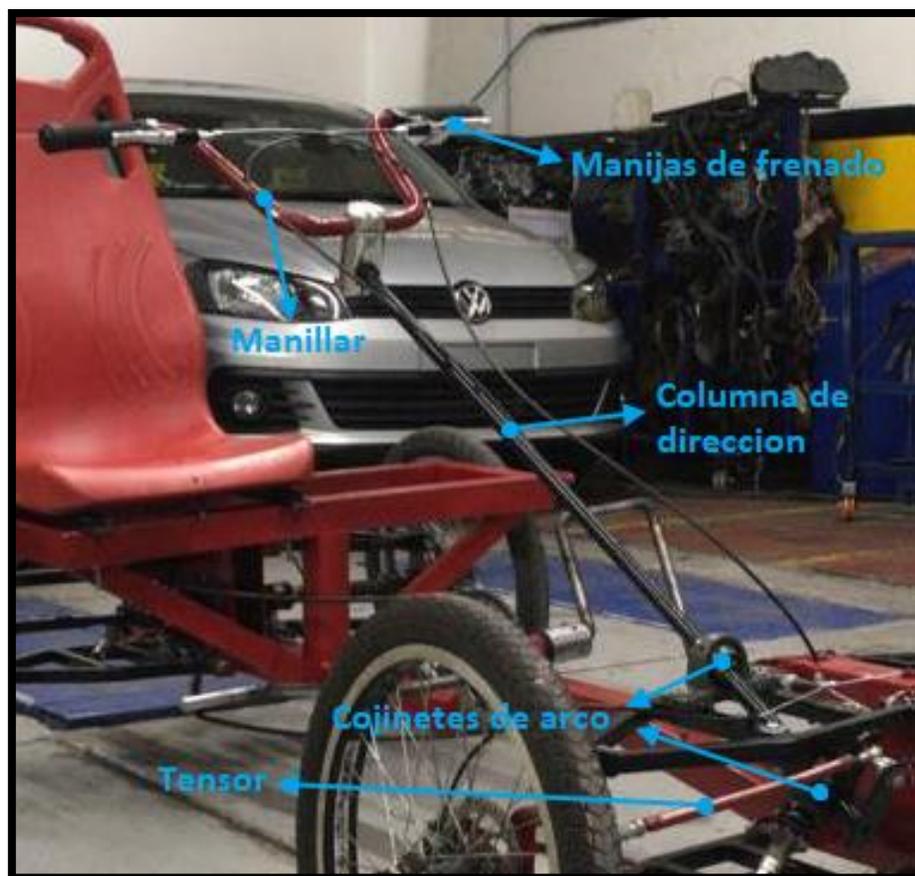
En su último rediseño como se aprecia en la *ilustración 3*, el chasis del cuatriciclo se conformó de una estructura tubular, donde la mayor parte de la misma es de perfil cuadrado de 50[mm] calibre 18 y en menor medida de un perfil rectangular de 20x10[mm] igualmente de calibre 18. Por otro lado, las tijeras presentan un perfil cuadrado de 1/2[in]. El cuatriciclo totalmente ensamblado tiene un largo y ancho de aproximadamente 1940[mm] y 933[mm] respectivamente. La parte más baja del chasis se encuentra a 125[mm] del suelo.



*Ilustración 3: Cuatriciclo año 2019 – 2022*

*Fuente: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUATRICICLO CON SISTEMA DE PEDALES (UNIVERSIDAD ECCI /2019)*

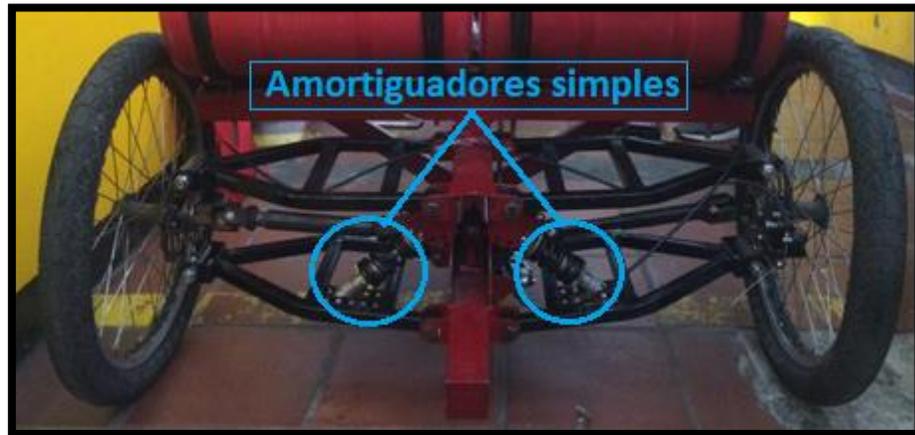
El sistema de dirección se conformaba de un manillar de bicicleta para Cross como se muestra en la *ilustración 4*, el cual contiene las manijas de los frenos, estos últimos son de disco tanto en la parte delantera como trasera. Dicho manillar va unido a una tubería de perfil redondo (columna de dirección), la cual se soporta únicamente en las tijeras delanteras gracias a dos cojinetes de arco. Seguidamente la columna va unida a los respectivos tensores del sistema de dirección, permitiendo así conectar con el soporte de las ruedas delanteras de 20 pulgadas y poder así dar giro.



*Ilustración 4: Sistema de dirección*

*Fuente: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUATRICICLO CON SISTEMA DE PEDALES (UNIVERSIDAD ECCI /2019)*

A pesar de las modificaciones que se le han realizado al cuatriciclo, el sistema de suspensión se ha mantenido independiente y consta de amortiguadores simples como se ve en la *ilustración 5*. Asimismo, el sistema de tracción ha sufrido ligeros cambios desde que la propulsión eléctrica fuera cambiada a una por cadena, la cual de momento transmite la potencia ejercida por los tripulantes mediante dos pedales largos a un plato trasero, este finalmente la transmite a los ejes cardan que conectan con las ruedas traseras de 24 pulgadas.



*Ilustración 5: Sistema de suspensión trasero*

*Fuente: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUATRICICLO CON SISTEMA DE PEDALES (UNIVERSIDAD ECCI /2019)*

Finalmente, el cuatriciclo contaba con dos asientos de plástico los cuales en su parte inferior presentan rieles de deslizamiento que se unen al chasis mediante pernos.

## 1.2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El cuatriciclo que se encuentra almacenado en el taller de inyección y sincronización de la Universidad ECCI, no se encuentra vinculado a una competencia de vehículos de propulsión humana. Por otro lado, no existe una rivalidad o disputa que posibilite competir frente a otros Rovers que sean fabricados dentro la Universidad ECCI o contra otras universidades, para poder medir y/o evaluar las capacidades que presenta el cuatriciclo frente a condiciones de diseño, funcionalidad, dimensiones, confort, seguridad y de manejo extremo que exige el concurso.

Adicionalmente, debido a las especificaciones técnicas y accesorios presentes del cuatriciclo y/o servicios que brinda este, es complejo cumplir a detalle toda la normativa de la competencia, es así que actualmente el diseño estructural del cuatriciclo, más específicamente lo que se denomina como chasis, requiere algunos cambios que se ajusten mejor a las dimensiones de los pedales y a la columna de dirección, a fin de ofrecer conformidad y/o confiabilidad a los tripulantes. Asimismo, se debe solventar el tema de la practicidad debido a lo que se exige en el ítem 6.3 de la guía que brinda la NASA en su página web la cual se visualiza en *ilustración 6* (<https://www.nasa.gov/stem>), donde se solicita que el vehículo presente flexibilidad en el momento de transportarlo de manera no tripulada, aspecto que el cuatriciclo no cumple. En cuanto al sistema de tracción, la NASA sugiere evitar el uso de cadenas por lo que se puede optar por un cambio del mismo.



**Ilustración 6:** 2022 NASA Human Exploration Rover Challenge Handbook

**Fuente:** <https://www.nasa.gov/stem/roverchallenge/handbook/index.html>

A continuación, considerando aspectos importantes como la funcionalidad, ergonomía y seguridad del cuatriciclo, se describe cada parte que se requiere rediseñar o ajustar.

### 1.2.1. CHASIS

El chasis ofrece una rigidez inadecuada en cuanto al peso que debe soportar y las condiciones de manejo extremo que debe resistir. Asimismo, como se logra evidenciar en la *ilustración 7*, el diseño de este chasis solo presenta un punto de apoyo central para los pedales, lo que ocasiona que estos presenten cierta fragilidad.



**Ilustración 7:** Chasis del cuatriciclo

**Fuente:** Autoridad propia

Por otro lado, el cuatriciclo no presenta un método o forma ergonómica que evite la eyección de los tripulantes por la acción de fuerzas centrífugas. Marcado en azul en la *ilustración 8*, se puede visualizar que la única forma de prevención que se tiene es una barra que permite que únicamente el copiloto se sujete con una mano, lo cual es poco efectivo y por tanto inseguro.



*Ilustración 8: Punto de agarre del copiloto*

*Fuente: Autoridad propia*

### 1.2.2. SISTEMA DE DIRECCION

El sistema de dirección presenta una falencia y como se aprecia en la *ilustración 9*, es la inexistencia de un soporte adicional que brinde rigidez y estabilidad a la columna de dirección, ya que esta se soporta únicamente en uno de sus extremos, cosa que la vuelve propensa a flectarse y por consiguiente fracturarse.

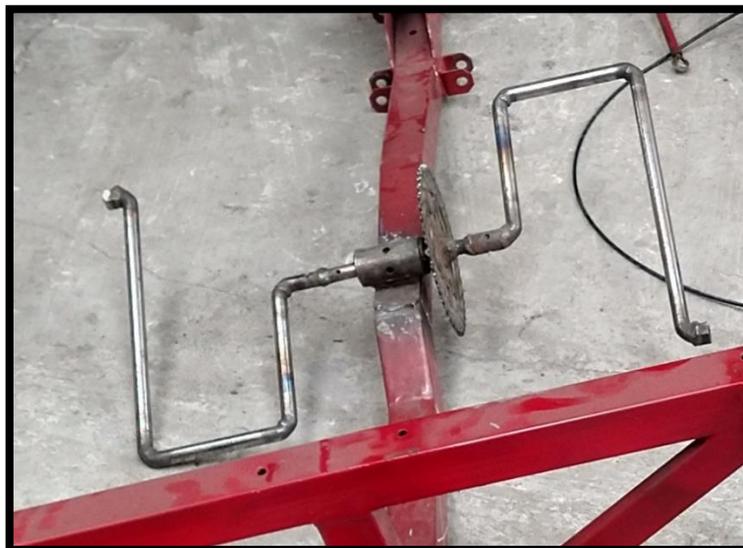


**Ilustración 9:** Columna de dirección

**Fuente:** PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUATRICICLO CON SISTEMA DE PEDALES (UNIVERSIDAD ECCI /2019)

### 1.2.3. SISTEMA DE TRACCION

En este sistema, los pedales como se aprecia en la *ilustración 10*, constan de un tubo con una serie de pliegues. Estos pedales, son bastante incómodos e inseguros a raíz de que uno de los pies de cada tripulante reposa sobre la punta de dicho tubo.



**Ilustración 10:** Pedales del cuatriciclo

**Fuente:** Autoridad propia

Además de ello, las altas exigencias hacen que este sistema tenga daños prematuros por flexión, debido a la acción de los tripulantes. También se pueden producir resbalamientos que tiendan a generar lesiones en las pantorrillas, rodillas y tobillos de los tripulantes. Por último, el sistema tracción no se ajusta a las recomendaciones establecidas en la guía de la NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE, a causa del uso de cadena como se ve en la *ilustración 11*.



*Ilustración 11: Sistema de transmisión*

*Fuente: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CUATRICICLO CON SISTEMA DE PEDALES (UNIVERSIDAD ECCI /2019)*

### 1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

Mediante este proyecto se pretende modificar el diseño del cuatriciclo y la funcionalidad que este presenta, eso sí preservando algunos sistemas característicos que identifican a este, con el fin de cumplir los requisitos que debe presentar el cuatriciclo según la guía del concurso NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE. Ello conlleva a implementar mejoras o cambios funcionales en los diferentes sistemas del cuatriciclo, como lo son: el chasis, sistema de tracción y el sistema de dirección.

Por lo tanto, optimizando dichos sistemas del cuatriciclo junto con sus respectivos componentes, ¿es posible lograr un desempeño, funcionamiento, maniobrabilidad y seguridad óptima para que el cuatriciclo logre cumplir satisfactoriamente la guía del concurso NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE? De aquí que, con todos los conocimientos adquiridos a lo largo del ciclo tecnológico en cuanto al uso de herramientas en el taller automotriz, uso de software de diseño

y modelado 3D y aplicación de los principios de ingeniería, se contrarreste de manera significativa cada falla o falencia con la cual fue abordado inicialmente el cuatriciclo, teniendo en cuenta los distintos criterios establecidos en la guía por la NASA.

#### 1.4. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar componentes del cuatriciclo perteneciente a la universidad ECCI considerando los requisitos de manual que debe presentar, según el concurso NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE.

#### 1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar ingeniería inversa en el chasis del cuatriciclo a fin de cumplir con las condiciones de manejo extremo que exige el concurso.
- Reestructurar el sistema de dirección.
- Modificar el sistema de transmisión.

#### 1.6. JUSTIFICACION

El presente proyecto se enfocará en concebir un desarrollo investigativo, mediante el cual se pretende evidenciar y/o fortalecer aptitudes y habilidades en cuanto a la construcción de prototipos de exploración espacial, esto mediante la profundización y aplicación de todos aquellos conocimientos adquiridos durante el proceso de formación que se ha ido desarrollando.

De igual modo, el proyecto permitirá culminar el proceso de formación tecnológico que se viene dando, al permitir el cumplimiento del requisito que exige la universidad, el cual es la opción de grado, siendo así este proyecto una parte fundamental del progreso y culminación tecnológica.

---

## CAPITULO 2

---

### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACION

Los vehículos de tracción humana han evolucionado significativamente en los últimos años. A medida que se han vuelto más populares entre los usuarios, también se han generado las preocupaciones sobre su seguridad, su impacto ambiental y sus beneficios sociales, por tanto, es importante dar un repaso a diferentes proyectos que abarcan el diseño y construcción de este tipo de vehículos.

#### 2.1.1. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN VEHICULO DE TRACCION HUMANA PARA LA COMPETENCIA UNIANDES 2011

El proyecto realizado en la sede de Bucaramanga de la Universidad Pontificia Bolivariana consistió en la construcción de un VTH rígido bajo las especificaciones y requerimientos de seguridad establecidos por el concurso de UNIANDES del año 2011.

A raíz de la similitud del VTH con una bicicleta, como se aprecia en la *ilustración 12*, la selección de diferentes componentes y partes se hace con base a esta, por tanto, para obtener los mejores resultados se seleccionó un fabricante con una reconocida trayectoria como lo es el caso de SHIMANO. En cuanto al diseño del chasis, se realizó una distribución espacial aproximada para generar así ideas de su geometría y dimensiones. Con esto se generaron 3 propuestas diferentes para la geometría del chasis, las cuales fueron modeladas y analizadas mediante el software SolidWorks, donde para su debida selección se tuvieron en cuenta aspectos como los esfuerzos que soportan, las deformaciones que presentan y el peso de las mismas.



*Ilustración 12: VTH para la competencia unidades 2011*

Fuente: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1767>

Su diseño básico resultó acertado (distribución de peso, distancia entre ejes, centro de gravedad bajo y posición del piloto), permitiendo un buen desempeño durante la competencia logrando el cuarto mejor tiempo en la prueba contra reloj y el primer lugar en la prueba de velocidad (Patiño Molina, 2011).

### 2.1.2. REDISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DE VEHICULO DE TRACCION HUMANA CON DIRECCION POR INCLINACION

El proyecto realizado en la Universidad de los Andes de Bogotá, consistió en la realización de mejoras a un proyecto de un VTH y así vincularlo a una de las competencias realizadas por la American Society of Mechanical Engineers (ASME). Dichas mejoras se enfocaron principalmente en la estructura y dirección del VTH, por lo tanto, estos sistemas fueron rediseñados con el propósito de reducir el peso y mejorar la ergonomía.

Para la definición de la geometría de la estructura, primeramente, se establecieron los parámetros de la posición que tendría el piloto, contemplando que no se presentaran interferencias entre elementos como las llantas y el asiento como se aprecia en la *ilustración 13*. Posteriormente se procedió a realizar la selección de los perfiles y materiales a usar, modelado CAD y simulaciones estáticas de elementos finitos.



**Ilustración 13:** VTH con dirección por inclinación

Fuente: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15159/u754611.pdf?sequence=1>

En comparación con el modelo antecesor, se logró reducir el peso en aproximadamente un 39%, además de ello, en la competencia de la ASME el VTH logró la primera posición en la prueba de diseño y en la de resistencia y el tercer puesto, en la prueba de velocidad para finalmente lograr el segundo puesto en toda la competencia (Vivas Martinez, 2017).

### 2.1.3. ANALISIS ESTRUCTURAL DE UN VEHICULO DE TRACCION HUMANA PARA LA COMPETENCIA LOCAL DE VEHICULO DE TRACCION HUMANA ANTIOQUIA 2018

El proyecto realizado en el instituto tecnológico metropolitano de Medellín, tuvo como propósito definir y construir una jaula antivuelco para un vehículo de tracción humana, el cual sería regido por la normativa establecida en la competencia local de vehículos de tracción humana de Antioquia, llevada a cabo el año 2018.

Mediante el uso de software de diseño asistido por computadora (CAD), se realizó la propuesta de 3 diferentes geometrías o modelos para la jaula antivuelco, las cuales posteriormente fueron analizadas estructuralmente por el método de elementos finitos. Para la definición del modelo a construir, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos principalmente en las tensiones soportadas, las deformaciones y el peso de la misma.



*Ilustración 14: VTH para competencia local de Antioquia*

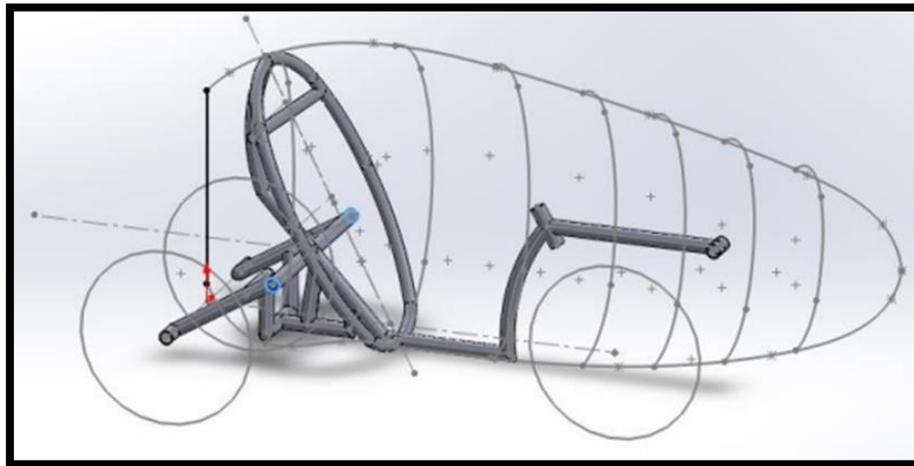
**Fuente:** <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15159/u754611.pdf?sequence=1>

Finalmente, con el modelo de jaula definido y construido como se ve en la *ilustración 14*, se le llevaron a cabo pruebas de resistencia mecánica, deformación y volcamiento, en las cuales obtuvo como resultado la puntuación máxima posible en cada una de las mismas (Bustamante Ospina, 2018).

#### 2.1.4. DESIGN, MODELLING AND ANALYSIS OF TILTED HUMAN POWERED VEHICLE

El proyecto realizado en la Escuela de Gestión e Ingeniería de Tecnología Mukesh Patel de Dhule, Maharashtra, India, consistió en diseñar un nuevo carenado aerodinámico ligero para un triciclo, al cual se le implementó un mecanismo de inclinación de cuatro barras. Además, este nuevo diseño incluyó una relación de transmisión optimizada con la posición del asiento reclinada. El propósito del proyecto era desarrollar procesos innovadores para un VTH que pueda inclinarse a altas velocidades en curvas y de igual modo mantener cierta estabilidad a bajas velocidades.

Por medio de un modelo CAD como el que se aprecia en la *ilustración 15*, se realizó el debido análisis estructural usando el método de análisis de elementos finitos en el software ANSYS, aparte de esto al carenado se le realizó un análisis CFD (análisis dinámico de fluidos computacional). Posteriormente, se procedió a determinar los materiales más factibles para lograr establecer un bajo peso, entre estos materiales destacan la fibra de carbono y la fibra de vidrio, donde el último es seleccionado como la mejor opción, teniendo en consideración aspectos como el costo.



*Ilustración 15: Modelado de un velo móvil*

**Fuente:** <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/377/1/012215/meta>

Para finalizar, los análisis estructurales realizados al marco del VTH dieron como resultado un diseño en el que la carga se distribuye de forma uniforme a lo largo de este, en cuanto al análisis CFD, se obtuvo como resultado que la resistencia que otorga el vehículo a través del aire, es decir

el coeficiente de arrastre, fue de 0.11 y la fuerza de arrastre fue de 7.42[N], esto en las mejores condiciones en las cuales se pueda encontrar el VTH (Fegade, Jadhav, & Ramachandran, 2018).

#### 2.1.5. SINGLE ARM RECUMBENT BICYCLE

El proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica Estatal de California, Estados Unidos, tuvo como objetivo adaptar una bicicleta para una persona discapacitada que cuenta solo con una de las cuatro extremidades, esta adaptación debía permitir la entrada y salida de esta persona por cuenta propia. Además de esto, dicha adaptación debería ser fácil de mantener y tener una durabilidad de aproximadamente 1000[millas] (1609[Km]).

Para el desarrollo de la adaptación primeramente se establecieron los parámetros y requerimientos que debía tener esta, con ello establecido, se realizó la concepción de las ideas por medio de pequeños prototipos, de los cuales dos fueron seleccionados para ejecutar su debida simulación en un software CAD, a fin de mejorar la concepción de la funcionalidad que tendrían dichas ideas. Posteriormente, entre estas dos ideas simuladas, se seleccionó la mejor para llevar a cabo el desarrollo de un prototipo funcional, el cual se sometió a ciertas pruebas, las cuales una vez completadas dieron paso al modelo CAD definitivo, para la obtención de planos y así pasar al proceso de construcción del VTH que se aprecia en la *ilustración 16*.



**Ilustración 16:** VTH para persona discapacitada

**Fuente:** <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/377/1/012215/meta>

Finalmente se obtuvo una adaptación en la cual su sistema de dirección es controlado mediante el movimiento de los hombros y el torso del tripulante, mientras que el sistema de frenado y tracción es controlado mediante un único brazo (Westermann, Borsotti, & Liston, 2018).

## 2.2. MARCO TEORICO

En la actualidad existe una variedad de concursos para vehículos de tracción humana, en estos básicamente los participantes compiten en el diseño, construcción y carreras en diferentes terrenos y/o circuitos que evidencien las capacidades del VTH. Entre las competencias más importantes y reconocidas se encuentran:

### 2.2.1. NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE

El concurso de la NASA HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE, es un evento anual que tiene como objetivo promover en estudiantes a nivel mundial, temas como la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. El concurso involucra la construcción y prueba de un vehículo Rover diseñado para operar en un entorno simulado de la superficie lunar (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

El reto es diseñar, construir y operar un vehículo de tracción humana el cual se conoce como Rover, este debe ser capaz de sortear diferentes obstáculos y terrenos en un circuito simulado. Los participantes tienen que construir el Rover a partir de materiales y componentes específicos, teniendo en cuenta el peso y la durabilidad, así como también la capacidad de poder llevar dos tripulantes, los cuales simulan ser astronautas.

Los equipos participantes deben presentar sus diseños, construir sus Rovers y probarlos en una pista de obstáculos en el Centro Espacial Marshall de la NASA en Huntsville, Alabama. El Rover debe ser capaz de recorrer la pista en un tiempo determinado y superar los diferentes obstáculos presentes en el camino.

El concurso está abierto a estudiantes de secundaria, universidades y colegios técnicos de todo el mundo. El objetivo del desafío es fomentar la creatividad, el trabajo en equipo y el pensamiento crítico, al mismo tiempo que se promueve el interés por la exploración espacial.

### 2.2.2. CONCURSO ASME DE VEHICULOS DE TRACCION HUMANA

Con el surgimiento de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, conocida por sus siglas en inglés (ASME), dicha organización ha efectuado ciertas competencias que buscan involucrar estudiantes de diferentes universidades de todo el mundo, para que compitan y desarrollen nuevas tecnologías referentes a los vehículos de tracción humana VTH, o por sus siglas en inglés HPVC (Human Powered Vehicle Challenge), ofreciendo así una oportunidad a los estudiantes para

que demuestren la aplicación de la ingeniería en temas de diseño y desarrollo de tipos de transporte alternos que sean sostenibles, eficientes y prácticos (Gomez Arango, 2016).



**Ilustración 17:** ASME Human Powered Vehicle Challenge 2019

**Fuente:** <https://mse.utoronto.ca/news/human-powered-vehicle-design-team-completes-at-asme-hpvc-north-competition/>

En este concurso, los equipos compiten en diferentes categorías como la velocidad, eficiencia energética, maniobrabilidad y diseño. Como se aprecia en la *ilustración 17*, los vehículos pueden ser de diferentes tipos como bicicletas, triciclos, cuatriciclos y demás diseños que sean innovadores. Dicho evento también incluye una serie de conferencias y talleres para promover la educación y el intercambio de conocimientos entre los participantes.

Este concurso brinda la oportunidad de desarrollar habilidades de diseño, fabricación y trabajo en equipo a aquellas personas que se forman en el campo de la ingeniería, asimismo busca que estas personas promuevan el desarrollo de tecnologías sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

### 2.3. MARCO LEGAL

La NASA, en su página web brinda una guía del HUMAN EXPLORATION ROVER CHALLENGE, la cual contiene información, que los equipos deben saber para participar en el desafío, más específicamente la guía incluye, información general, requisitos de la competencia, cronología, información de seguridad, premios y documentos relacionados. De aquí que tan solo se obedezca algunos ítems referentes al cuatriciclo que se describen en el apartado de “requisitos de la competencia” de dicha guía.

En primera instancia, a nivel general, la guía denota que esencialmente se debe procurar no ubicar a los pasajeros muy lejos y/o muy alto del centro del vehículo, a fin de evitar que este se volque, teniendo en cuenta a su vez que el Rover tiene que ser eficiente, liviano e innovador (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

En segunda instancia, la sección 6 de la guía que establece los requisitos de la revisión de preparación para la misión (MRR), se indican las restricciones de volumen (dimensiones), las cuales deben ser máximo de 5[ft] = 1,524[m] de cada lado (ancho, largo, alto), esto para el Rover recogido, o sea para transportarlo de manera no tripulada. Para las dimensiones del vehículo ensamblado en su totalidad la guía indica que este debe tener ancho máximo de 5[ft] = 1,524[m] en cuanto al largo y alto no hay restricción alguna. Por último, en la misma sección se establece la restricción de espacio libre entre el pedal, suelo y punto más bajo del móvil, el cual no debe ser menor a 1[ft] = 30,48[cm] (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

En tercera instancia, la guía señala en la sección 7 los requisitos de revisión de preparación para excursiones (ERR), en la cual exige la eliminación o protección de los bordes afilados o protuberancias del VTH. Adicionalmente, en la sección 8 se denotan las capacidades que debe presentar el Rover, como por ejemplo atravesar colinas de hasta 5[ft] ósea 1,524[m] con inclinaciones de hasta 30°, igualmente el Rover debe poseer un radio de giro de 15[ft] ósea 4,57[m] o menos. Finalmente, se aconseja el no uso de cadena en el sistema de tracción (National Aeronautics and Space Administration, 2022).

## 2.4. MARCO CONCEPTUAL

Para la correcta ejecución del proyecto se requiere un conjunto de conceptos básicos, es decir un pertinente diseño conceptual de cada pieza que constituye el vehículo, para prevenir ciertos problemas que se llegaran a presentar en la fabricación, montaje, inspección, posterior uso y mantenimiento de este. Para tal fin es necesario explicar el concepto de cada componente que se va a modificar del cuatriciclo, desde un enfoque automotriz, estático y de resistencia del material, para así emplearlos y ajustarlos a las cualidades de un VTH.

### 2.4.1. CHASIS

El chasis es aquel que está construido para soportar el cuerpo del vehículo, dentro de este se incluyen elementos como el bastidor, las ruedas y los componentes de trabajo del vehículo, entendiéndose chasis como una estructura rígida tal como se ve en la *ilustración 18*, más que la carrocería, que proporciona una protección durante un accidente (Martinez Fernandez, 2017). Es debido aclarar que el bastidor es un elemento del chasis, puesto que en ciertas ocasiones se suele llamar chasis al bastidor lo cual genera una confusión de los términos.

Por otra parte, el bastidor es el armazón metálico sobre el que se montan y relacionan todos los elementos del vehículo: la carrocería, el motor y la transmisión por un lado y la suspensión con las ruedas por el otro (Arias Paz , 2004).



*Ilustración 18: Chasis de un cuatriciclo*

*Fuente: <https://galant.com.ar/chasis-de-cuatriciclos-dd78692.html/>*

Actualmente, en el mercado existe una gran variedad de chasis, algunos de estos son los siguientes:

#### 2.4.1.1. CHASIS DE ESCALERA

Normalmente está formado por dos largueros y varios travesaños como se aparecía en la *ilustración 19*, si este es independiente de la carrocería, se construye con chapa de acero forjado en forma de U a la que se le da un tratamiento superficial anticorrosivo, por un procedimiento electrolítico, entre tanto, las chapas se unen por medio de remaches, soldadura por puntos y en otras ocasiones con tornillos, constituyendo una sólida estructura, capaz de soportar las masas de los elementos que se apoyan en él y las vibraciones que se producen en la marcha, asimismo, se le proporciona un recubrimiento de protección final (Arias Paz , 2004).



*Ilustración 19: Chasis tipo escalera*

*Fuente: <https://www.motor.es/que-es/chasis-independiente-escalera>*

#### 2.4.1.2. CHASIS MONOCASCO O COMPACTO

El modelo más común en la actualidad, es el que integra chasis y carrocería como el de la *ilustración 20*, este tipo de chasis se conoce como monocasco y se compone de distintos materiales como acero, aluminio y/o materiales compuestos, dándose éstos últimos sólo en algunos coches de lujo debido a su alto coste y en coches de competición como la fórmula 1 (Calvo Rodríguez, s.f.).

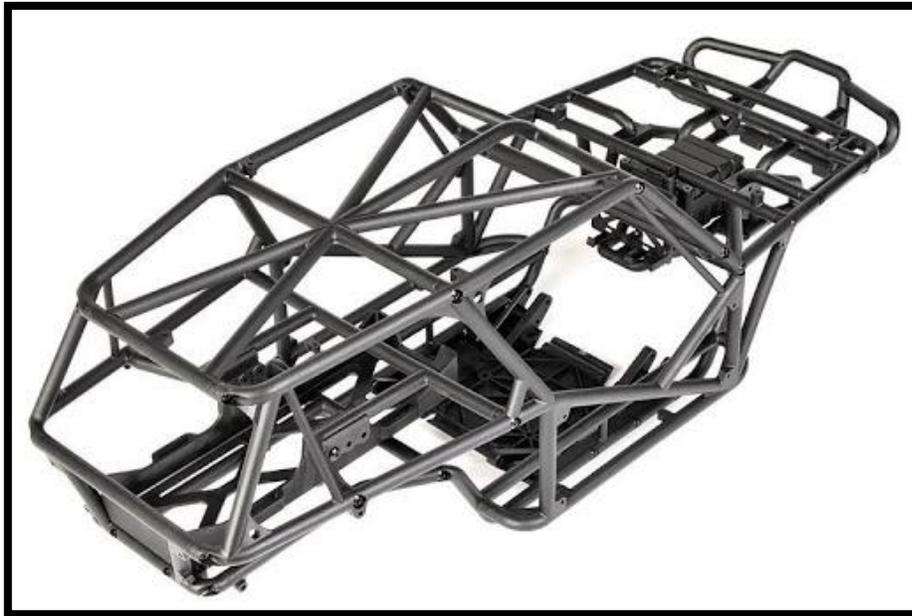


*Ilustración 20: Chasis monocasco*

*Fuente: <https://www.topgear.es/noticias/motorsport/cuanto-cuesta-f1-163692>*

#### 2.4.1.3. CHASIS TUBULAR

Es una estructura constituida por una red de tubos metálicos soldados como se aprecia en la *ilustración 21*, los cuales son recubiertos con láminas metálicas de aluminio, con ello se consigue una buena rigidez y resistencia, pero su fabricación es muy cara y laboriosa ya que es a mano (Automoviles y elementos fijos, 2015).

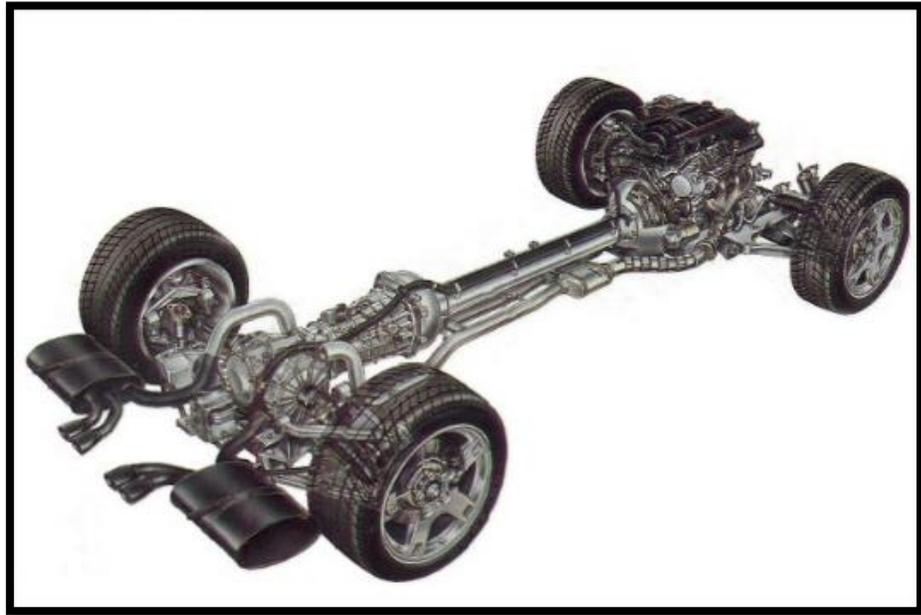


*Ilustración 21: Chasis tubular*

**Fuente:** <https://www.horajaen.com/2020/03/15/motorsport-especial-superdeportivos/chasis-tubular/>

#### 2.4.1.4. CHASIS COLUMNA VERTEBRAL

Es un círculo de gran peso, que como se ve en la *ilustración 22*, une el eje delantero con el eje trasero, y en la columna vertebral es donde van los demás componentes mecánicos, es así que se empleen a menudo en vehículos roadster (descapotable), no obstante, dicho chasis es muy pesado y muy costoso de fabricar en masa (Automoviles y elementos fijos, 2015).



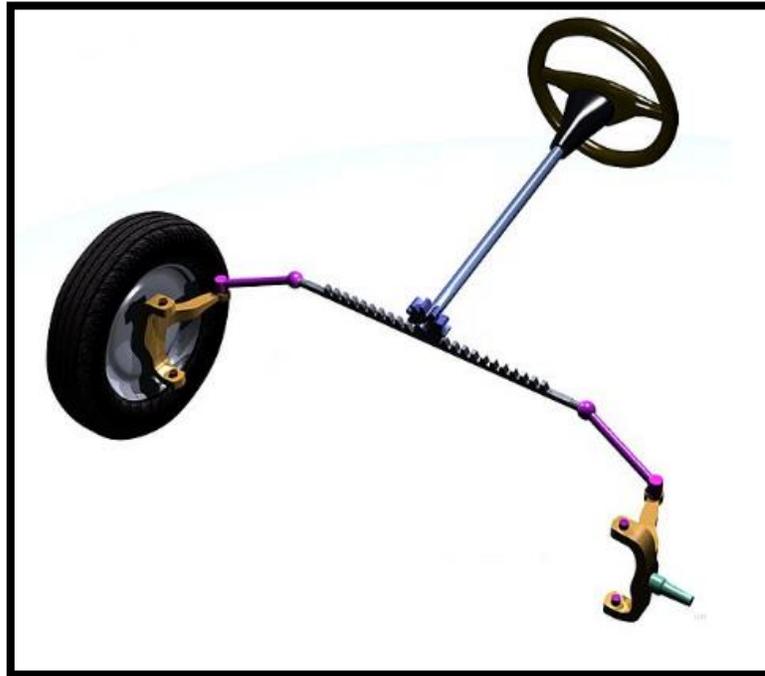
*Ilustración 22: Chasis tipo columna vertebral*

**Fuente:** <http://amoviblesyelementosfijosuperior.blogspot.com/2015/12/>

#### 2.4.2. SISTEMA DE DIRECCION

Es el conjunto de piezas que transforman el movimiento rotativo que el conductor hace en el volante, en giro de las ruedas sobre su eje (ángulo de giro necesario para dirigir el vehículo), consiguiendo además que las oscilaciones de las ruedas sobre el terreno no se transmitan al volante de mando (Arias Paz , 2004).

Por consiguiente, el tipo de dirección que se ajusta de manera perfecta al VTH y a los requisitos que exige la competencia, es la dirección de accionamiento mecánico como la de la *ilustración 23*, entendiéndose esta como la dirección que funciona con la fuerza empleada por el conductor al momento de maniobrar el volante (Revista autopartes, s.f.).

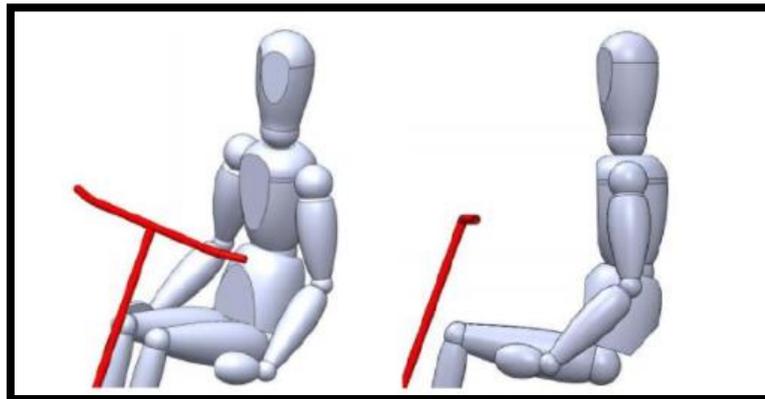


**Ilustración 23:** Sistema de dirección mecánica

**Fuente:** [https://es.wikipedia.org/wiki/Direcci%C3%B3n\\_\(autom%C3%B3vil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Direcci%C3%B3n_(autom%C3%B3vil))

#### 2.4.2.1. DIRECCION SOBRE EL ASIENTO

Con un sistema de volante en “T” o “Y” este permite al piloto un manejo más intuitivo de la dirección de las ruedas, pues como se aprecia en la *ilustración 24*, es muy parecido el de una bicicleta (Guzman Santamaria, 2019).

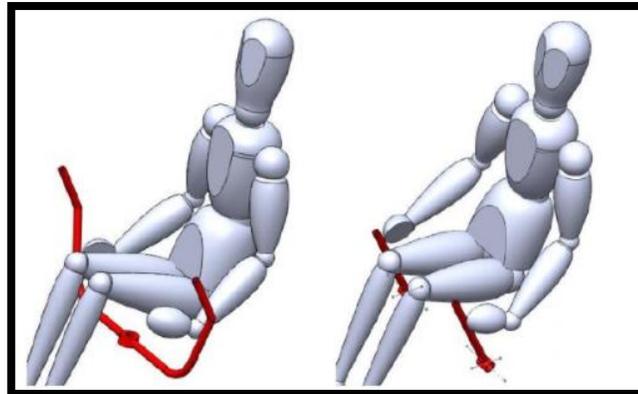


**Ilustración 24:** Dirección sobre el asiento

**Fuente:** <https://www.studocu.com/co/document/universidad-santo-tomas-colombia/estatica/apuntes/vth1-proyecto-de-vth/6171715/view>

#### 2.4.2.2. DIRECCION BAJO EL ASIENTO

Con un volante en forma de “U” debajo del asiento y con las manillas sobresaliendo al costado del asiento como el de la *ilustración 25*, se brinda una mayor comodidad y mejor soporte al tomar las curvas (Guzman Santamaria, 2019).

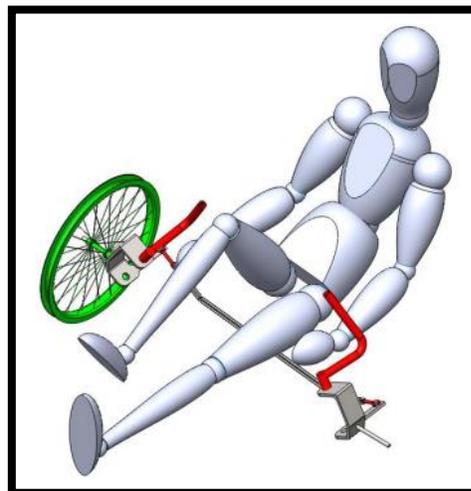


**Ilustración 25:** Dirección bajo el asiento

**Fuente:** <https://www.studocu.com/co/document/universidad-santo-tomas-colombia/estatica/apuntes/vth1-proyecto-de-vth/6171715/view>

#### 2.4.2.3. DIRECCION POR INCLINACION

Este sistema es de construcción más compleja, además de que requiere de práctica para tener un buen control y poder manejar bien en las curvas, en este sistema el asiento se mueve en relación con el marco debido a su unión como se aprecia en la *ilustración 26* (Guzman Santamaria, 2019).



**Ilustración 26:** Dirección por inclinación

**Fuente:** [http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital\\_22747.pdf](http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_22747.pdf)

### 2.4.3. SISTEMA DE TRANSMISION

El sistema de transmisión es el encargado de transferir la potencia que genera el motor a las ruedas del vehículo para que éste pueda avanzar, esta transferencia de energía a las ruedas del vehículo es posible gracias a una serie de componentes que transfieren la potencia desde el cigüeñal hasta las ruedas para que giren (Renting Finders, 2021). No obstante, para el VTH el sistema de transmisión difiere en cierta medida en cuanto a los componentes que se usan.

#### 2.4.3.1. SISTEMA DE TRANSMISION POR CADENA

Las transmisiones por cadenas son transmisiones robustas, que permiten trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación, además, proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y como se identifica en la *ilustración 27*, ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que permite su aplicación en automoción y maquinaria en general que lo requiera (Rodríguez Galbarro, 2021).



*Ilustración 27: Transmisión por cadena*

**Fuente:** [https://es.123rf.com/photo\\_73868493\\_cadenas-de-rodillos-con-pi%C3%B1ones-para-motocicletas-en-el-fondo-blanco.html](https://es.123rf.com/photo_73868493_cadenas-de-rodillos-con-pi%C3%B1ones-para-motocicletas-en-el-fondo-blanco.html)

Para este sistema se requieren montajes precisos con el objetivo de evitar que alguna de las caras de la cadena se someta a cargas superiores y falle por fatiga anticipadamente, es decir se afecte la vida útil de los componentes, por ende se requieren prácticas de mantenimiento minuciosos y procesos de lubricación, donde para el caso de un vehículo de tracción humana, la operación es al aire libre y la lubricación es muy rústica y manual (Obando Ariza, y otros, 2014).

#### 2.4.3.2. TRANSMISION POR CARDAN

El cardán es un componente mecánico cuyo objetivo es transmitir el movimiento de rotación de un eje a otro, y como se identifica en la *ilustración 28*, esto lo hará a pesar de la no colinealidad, este en los vehículos de motor se suele utilizar como parte del árbol de transmisión que lleva la fuerza desde el motor, situado en la parte delantera del vehículo, hacia las ruedas traseras (Motor Mapfre, s.f.).



*Ilustración 28: Transmisión por cardan*

**Fuente:** <https://gearjunkie.com/biking/ceramicspeed-chainless-driveshaft-driven-system-eurobike-bicycles>

---

## CAPITULO 3

---

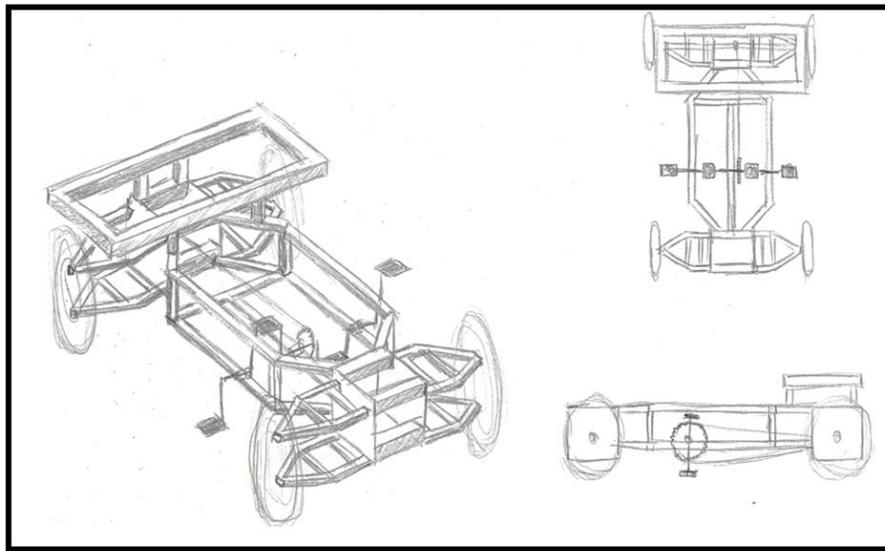
### 3.1. INSPECCION Y MEDICION

Al tratarse de un proceso de reingeniería, previamente se realiza una inspección de todos los sistemas que componen el cuatriciclo, a fin de poder generar las propuestas de mejora e igualmente determinar aquellas partes y/o piezas que se reusaran en el rediseño. Análogamente se realiza la toma de medidas para así tener una mejor idea del ajuste dimensional que se aplica en el rediseño.

### 3.2. CONCEPCION DEL DISEÑO

El desarrollo de las modificaciones y/o mejoras al cuatriciclo requiere de una conceptualización de las diferentes ideas que pueden surgir, por tanto, en este punto es donde se da la realización de los primeros bosquejos bien sea a mano alzada o haciendo uso de las diferentes herramientas de dibujo.

Con las diferentes ideas plasmadas, se procede a la selección de la mejor propuesta de diseño, la cual tiene que reflejar una adecuada funcionalidad y factibilidad para su debida ejecución, tal y como se muestra en la *ilustración 29*.



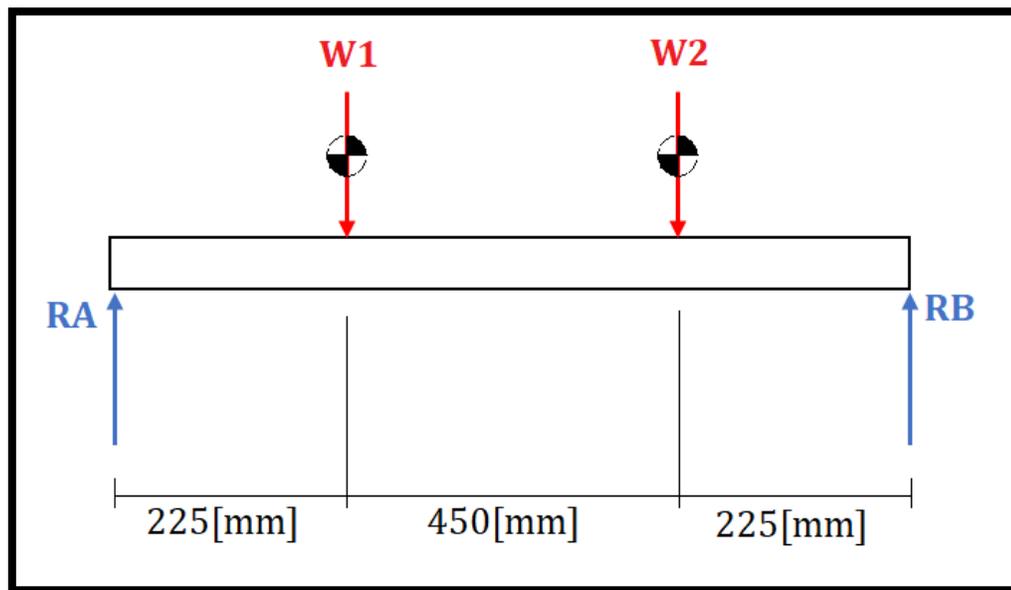
**Ilustración 29:** Bosquejo de la propuesta seleccionada

**Fuente:** Autoridad propia

### 3.3. CALCULO ESTATICO

Con el diseño conceptualizado se realiza un breve análisis estático del cuatriciclo con el fin de tener una aproximación de la reacción que se obtendrá en cada rueda.

Como se observa en la *ilustración 30*, se toma toda la extensión del cuatriciclo como una viga de 900[mm] de longitud (ancho del marco de los asientos), las fuerzas  $W_1$  y  $W_2$  representan el peso de los tripulantes, el cual se tomó como 150[kg] cada uno.



*Ilustración 30: Diagrama de cuerpo libre del cuatriciclo*

Primeramente, se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje  $y$ .

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_A - W_1 - W_2 + R_B = 0$$

$$R_A - (150[\text{kg}])(9,81[\text{m}/\text{s}^2]) - (150[\text{kg}])(9,81[\text{m}/\text{s}^2]) + R_B = 0$$

$$R_A - 1471,5[\text{N}] - 1471,5[\text{N}] + R_B = 0$$

$$R_A - 2943[\text{N}] + R_B = 0 \quad (1)$$

Posteriormente se realiza la sumatoria de momentos en el punto  $A$ , obteniendo así la reacción en el punto  $B$ .

$$\sum M_{R_A} = 0$$

$$-W_1(0,225[m]) - W_2(0,675[m]) + R_B(0,9[m]) = 0$$

$$-(1471,5[N])(0,225[m]) - (1471,5[N])(0,675[m]) + R_B(0,9[m]) = 0$$

$$(1471,5[N])(-0,225[m] - 0,675[m]) + R_B(0,9[m]) = 0$$

$$R_B = \frac{1324,35[Nm]}{0,9[m]}$$

$$\therefore R_B = 1471,5[N]$$

Con la reacción en el punto *B* obtenida, se reemplaza en la Ecuación 1 y se despeja la reacción en *A*.

$$R_A - 2943[N] + 1471,5[N] = 0$$

$$R_A = 2943[N] - 1471,5[N]$$

$$\therefore R_A = 1471,5[N]$$

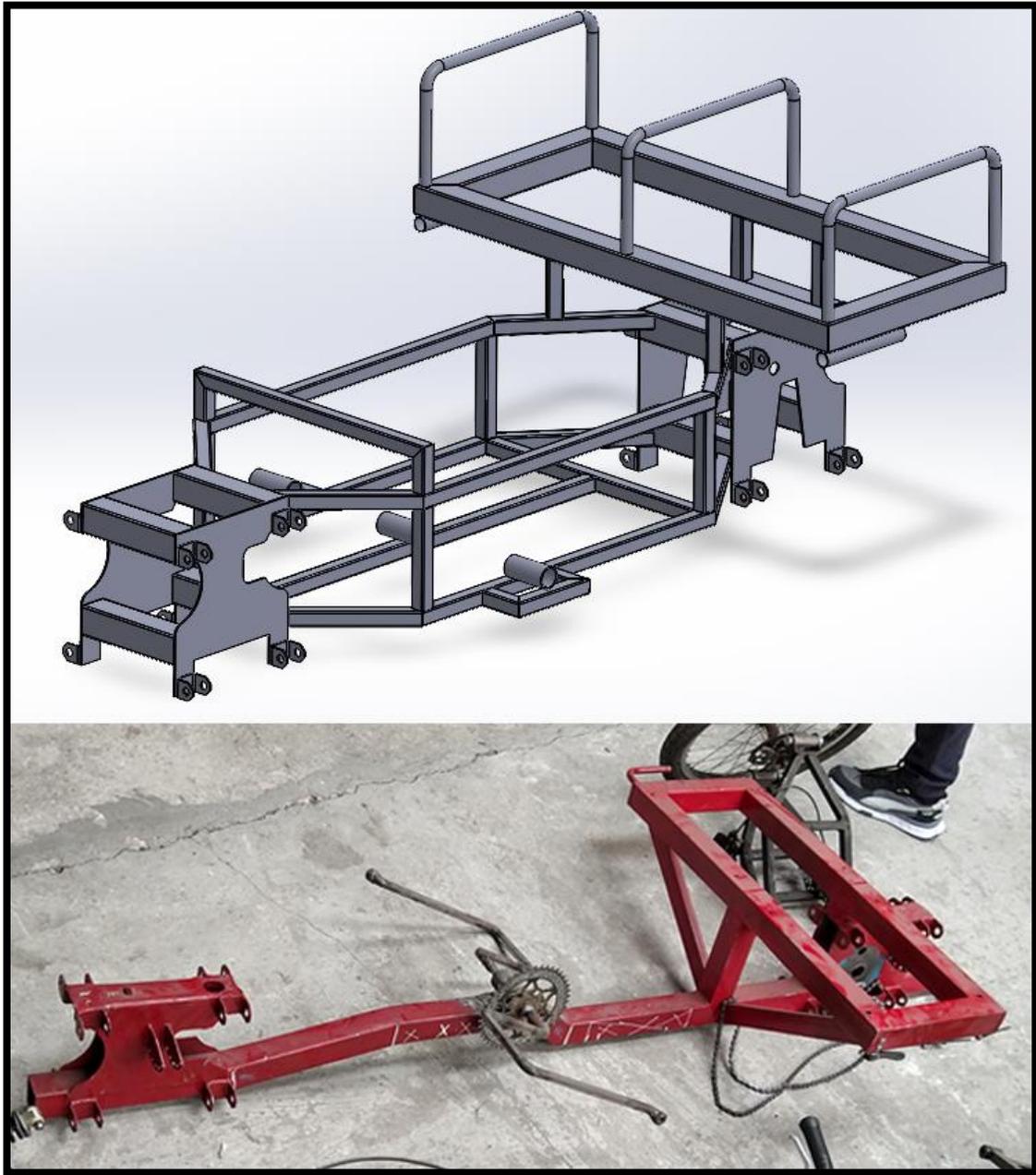
Finalmente, para obtener la reacción que se generará por cada rueda, se dividen las reacciones obtenidas en los puntos *A* y *B*. Es así que se obtiene que aproximadamente la reacción en cada rueda del cuatriciclo será de 735,75[N].

### 3.4. PROCESO DE REDISEÑO

Con el objetivo de comprender y tener una mejor percepción de la idea seleccionada previamente, esta se traslada del papel a un modelo tridimensional mediante la ayuda de un software CAD, el cual para este caso se trata de SOLIDWORKS 2021. En este software se logra pulir e incluso ampliar la idea al contemplar en mejor forma aspectos como la ergonomía, seguridad y ensamblado del nuevo diseño, ya que debido al redimensionamiento que se realiza para cumplir con lo establecido en la norma, estos aspectos se ven afectados.

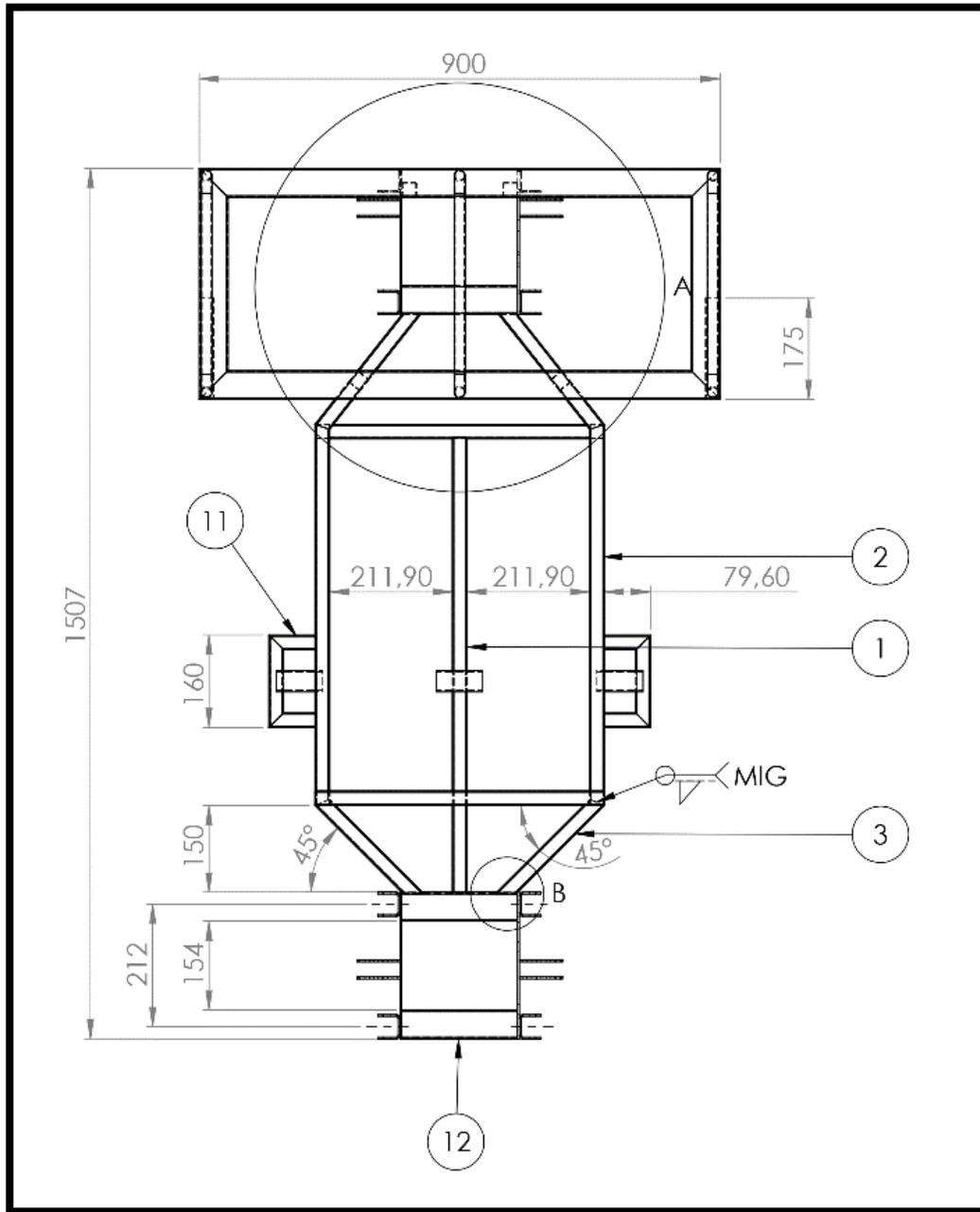
#### 3.4.1. REDISEÑO DEL CHASIS

La mayoría de los cambios se evidencian principalmente en el chasis del cuatriciclo, a raíz de que este es el que recoge la mayoría de inconvenientes identificados. Como se aprecia en la *ilustración 31*, el principal cambio es la extensión de la estructura tubular, la cual ahora se basa en la geometría conjunta de un chasis de tipo escalera y de tipo tubular.



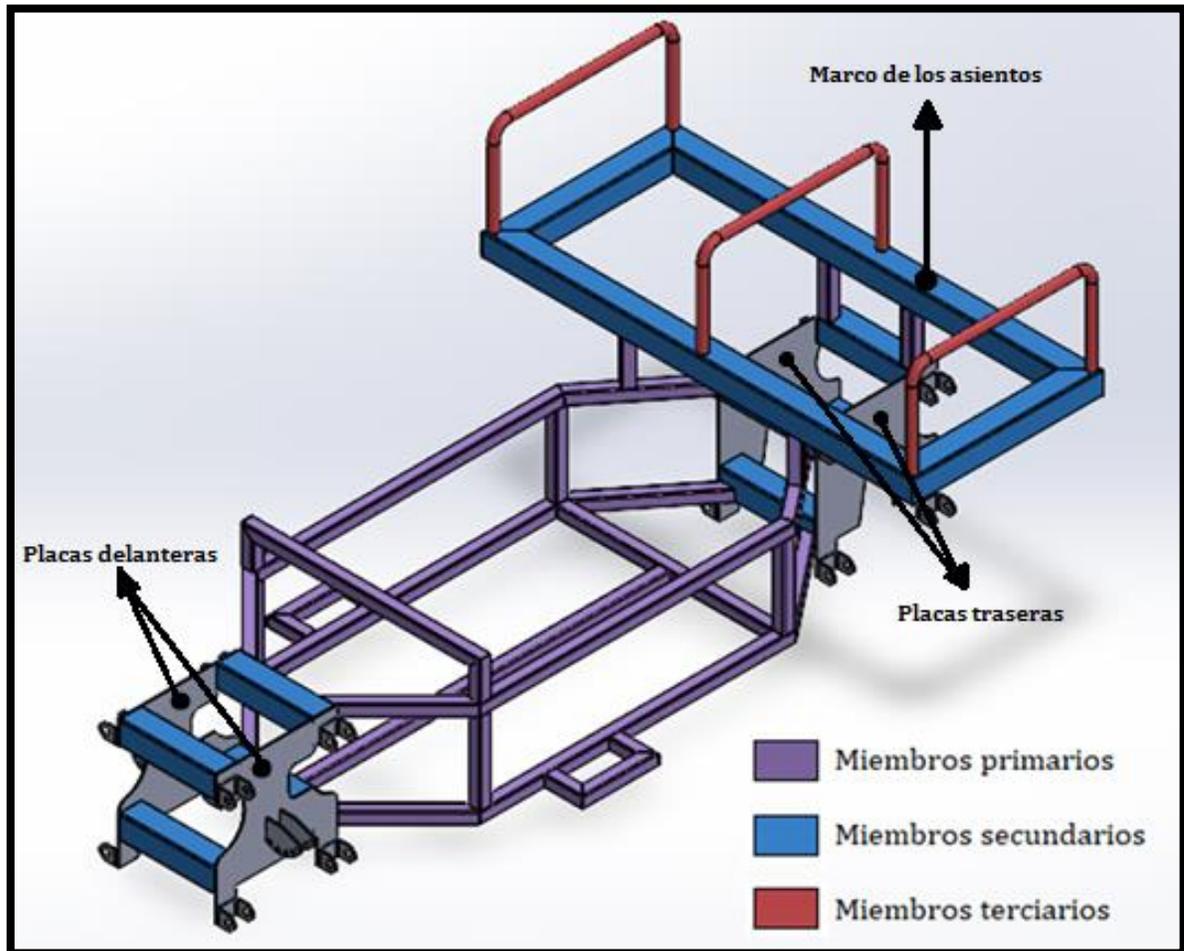
*Ilustración 31: Comparativa del chasis*

Este nuevo chasis es más compacto gracias a la reducción dimensional que se le realiza, en la *ilustración 32* se aprecia que el largo total de este es de 1.507[mm] denotando una reducción de 433[mm] con respecto al modelo previo, cosa que permite ubicar a los tripulantes más cerca del centro del cuatriciclo, contribuyendo así a reducir las probabilidades de volcamiento.



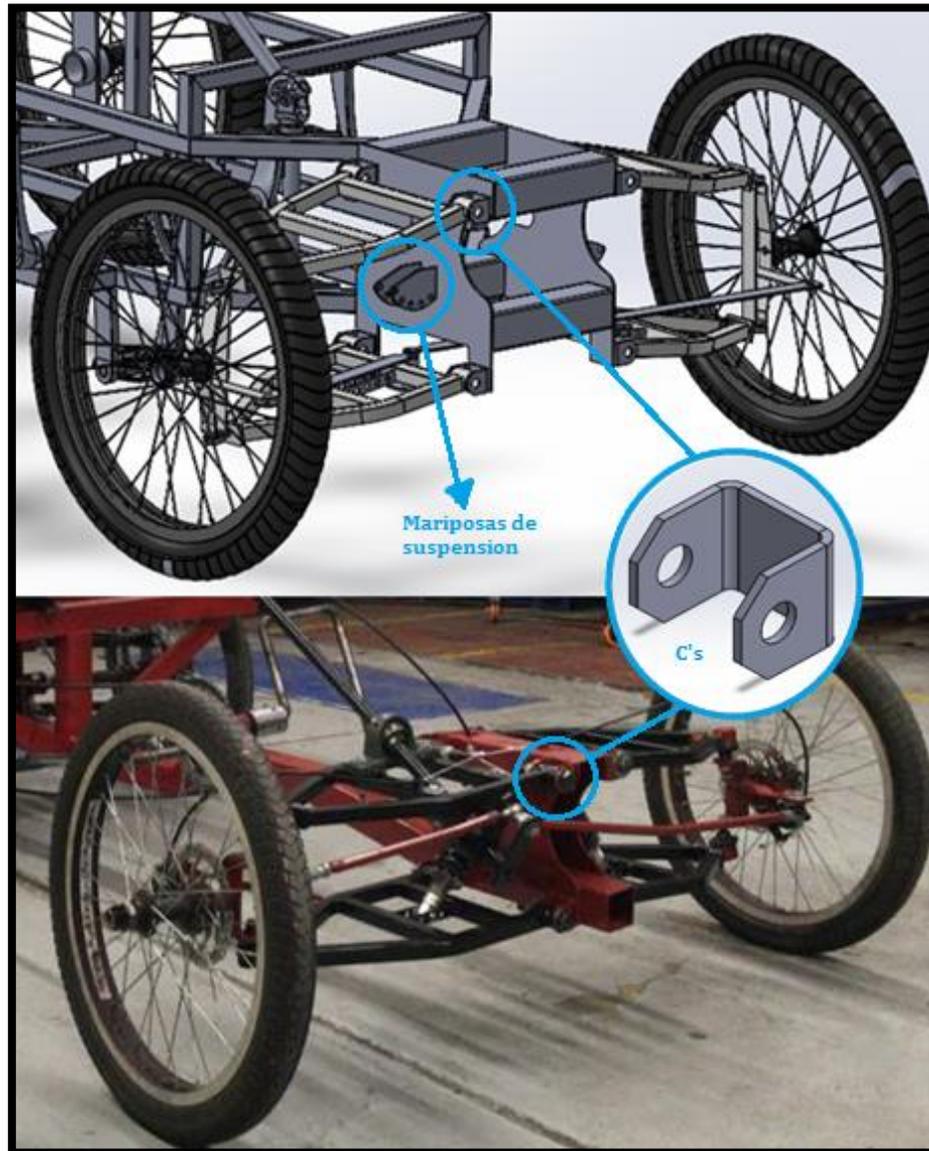
**Ilustración 32:** Dimensiones del chasis en mm

Los miembros estructurales usados para el rediseño del chasis se diferenciaron como primarios, secundarios y terciarios (*ilustración 33*), donde los primarios (denotados en color morado), son los que conforman la mayor parte del chasis (largueros y travesaños), entre estos se encuentran parte de las mejoras como lo es el soporte para los pedales de ambos tripulantes y el soporte para la columna de dirección. Por otro lado, estos miembros son de perfil cuadrado de 1[pulgada] y espesor de 1.2[mm].



*Ilustración 33: Clasificación de los miembros del chasis*

Los miembros secundarios (denotados en color azul en la *ilustración 33*), son los que conforman el marco donde se posicionan los asientos, el cual, a comparación del marco original se ensancha 80[mm], obteniendo así, un ancho total en el marco de 900[mm], esto con el propósito de dar más comodidad y espacio a los tripulantes. Dichos miembros estructurales también son los que permiten el ensanchamiento de la parte frontal y trasera, es decir que unen y soportan las placas (denotadas en color gris y señalizadas en la *ilustración 33*), en las cuales a su vez se soportan las tijeras y suspensión del cuatriciclo como se evidencia en la *ilustración 34*, dicho ensanchamiento es de 156[mm] con respecto al modelo previo, por tanto se obtiene un ensanchamiento total de 206[mm], el propósito de dicho ensanche es mejorar la estabilidad del cuatriciclo a la hora de tomar las curvas. Por último, estos miembros son de perfil cuadrado de 50[mm].



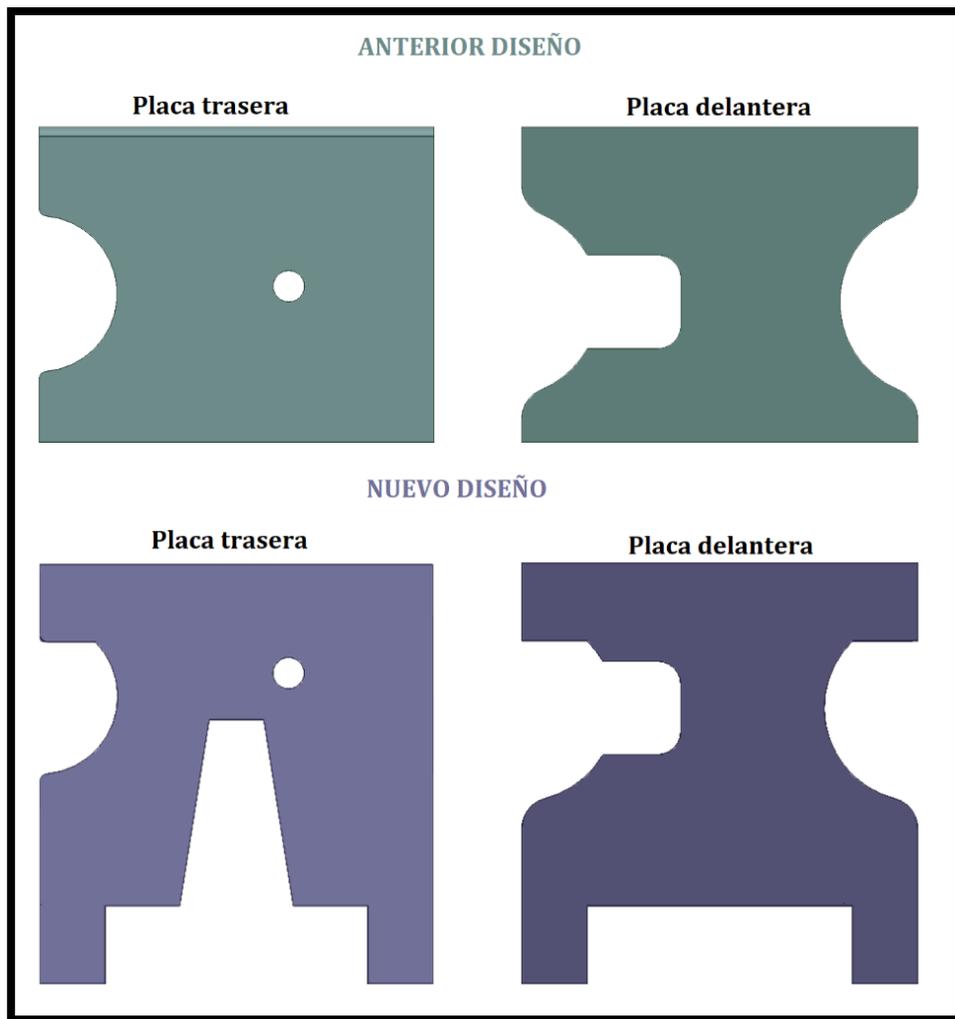
*Ilustración 34: Ensanchamiento de placas*

En cuanto a los miembros terciarios (denotados en color rojo en la *ilustración 33*), son los que funcionan como reposabrazos o manijas para que los tripulantes se sujeten (principalmente el copiloto), así mismo, estos tienen una altura considerable para evitar la caída de los tripulantes por la acción de fuerzas centrífugas a la hora de tomar una curva. Por último, el perfil presente en estos miembros es redondo, con un diámetro de 3/4 [pulgada] y un espesor de 1.5[mm].

### 3.4.2. REDISEÑO DE LOS SOPORTES DE TIJERAS Y SUSPENSION

Se toma como base el diseño que se tenía originalmente con unos ligeros cambios como se identifica en la *ilustración 35*, el primero de ellos es la separación de las placas para unir las con

un miembro secundario como se evidencia en las *ilustraciones 33 y 34*, esto a fin de ensanchar la estructura y brindar una mayor rigidez. El segundo cambio pretende incrementar en cierta medida la altura que existe entre el suelo y la zona más baja del cuatriciclo. Esto se logra bajando en 20[mm] las mariposas en las que se conecta la suspensión y de igual forma las piezas que permiten la unión de las tijeras con las placas, las cuales debido a su forma se bautizaron como C's (detallada en la *ilustración 34*). Sin embargo, bajar las C's requiere que se anexe material a las placas (sombreado azul en la *ilustración 36*) a fin de que estas no queden flotando parcial o totalmente.



*Ilustración 35: Comparativa entre el diseño de placas*

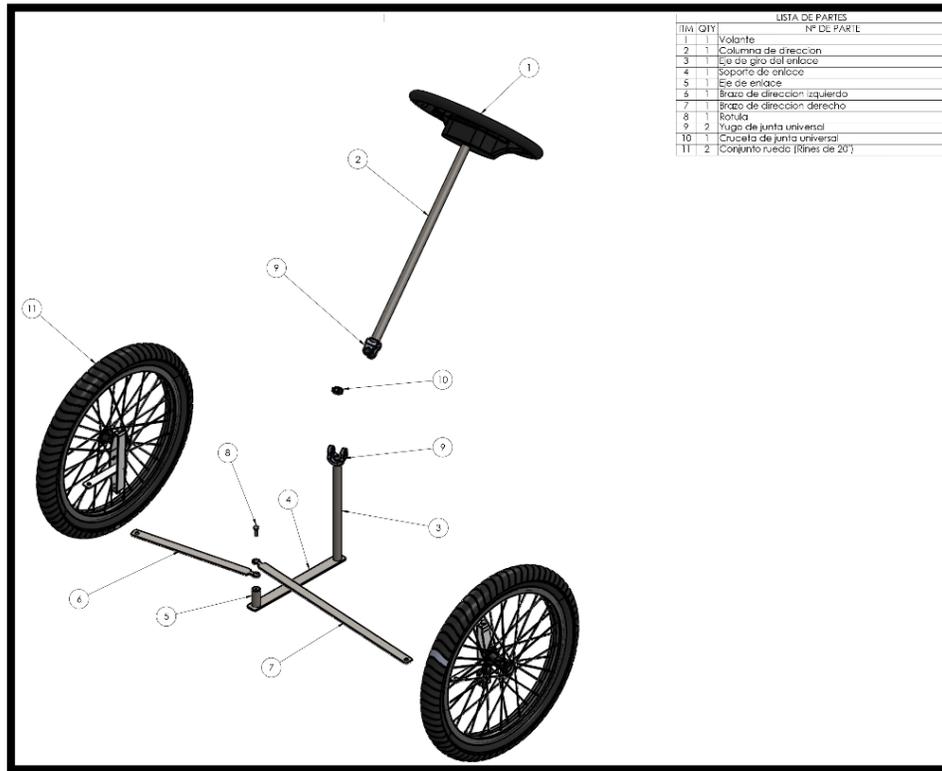


*Ilustración 36: Plano de rediseño de las placas*

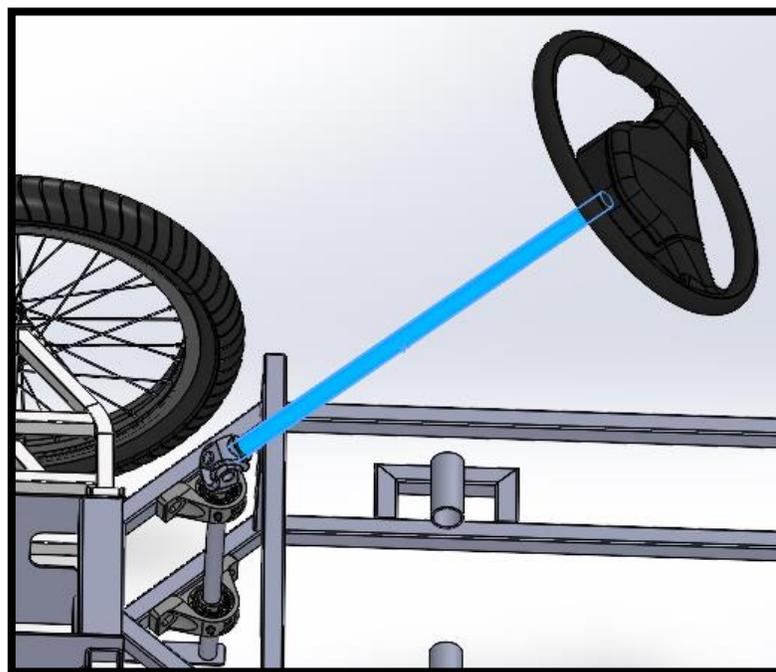
Por último, en el diseño de las placas traseras se retira material (sombreado rojo en la *ilustración 36*), con el objetivo de brindar espacio al eje de transmisión.

### 3.4.3. REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCION

Con el propósito de lograr que el sistema de dirección sea efectivo en condiciones de manejo extremo, se le realiza una serie de cambios. Este sistema ahora consta de una columna de dirección de 555[mm], siendo esta 425[mm] más corta, dicha columna (ítem N°2 de la *ilustración 37*), reposa sobre un miembro principal del chasis, además de ello ya no se enlaza directamente a los brazos de dirección, ahora bien, se enlaza primeramente a un eje mediante juntas universales, dicho eje está sujeto al chasis mediante dos cojinetes de arco de 18[mm] como se aprecia en la *ilustración 38*, a su vez este eje se encuentra unido a un enlace de arrastre (este conjunto de piezas es el ítem N°5 de la *ilustración 37*), en el que van ensamblados los brazos de dirección (ítem N°6 y 7 de la *ilustración 37*), los cuales finalmente conectan con las rotulas axiales, logrando así el movimiento de las ruedas.



**Ilustración 37:** Plano de extrusión del sistema de dirección

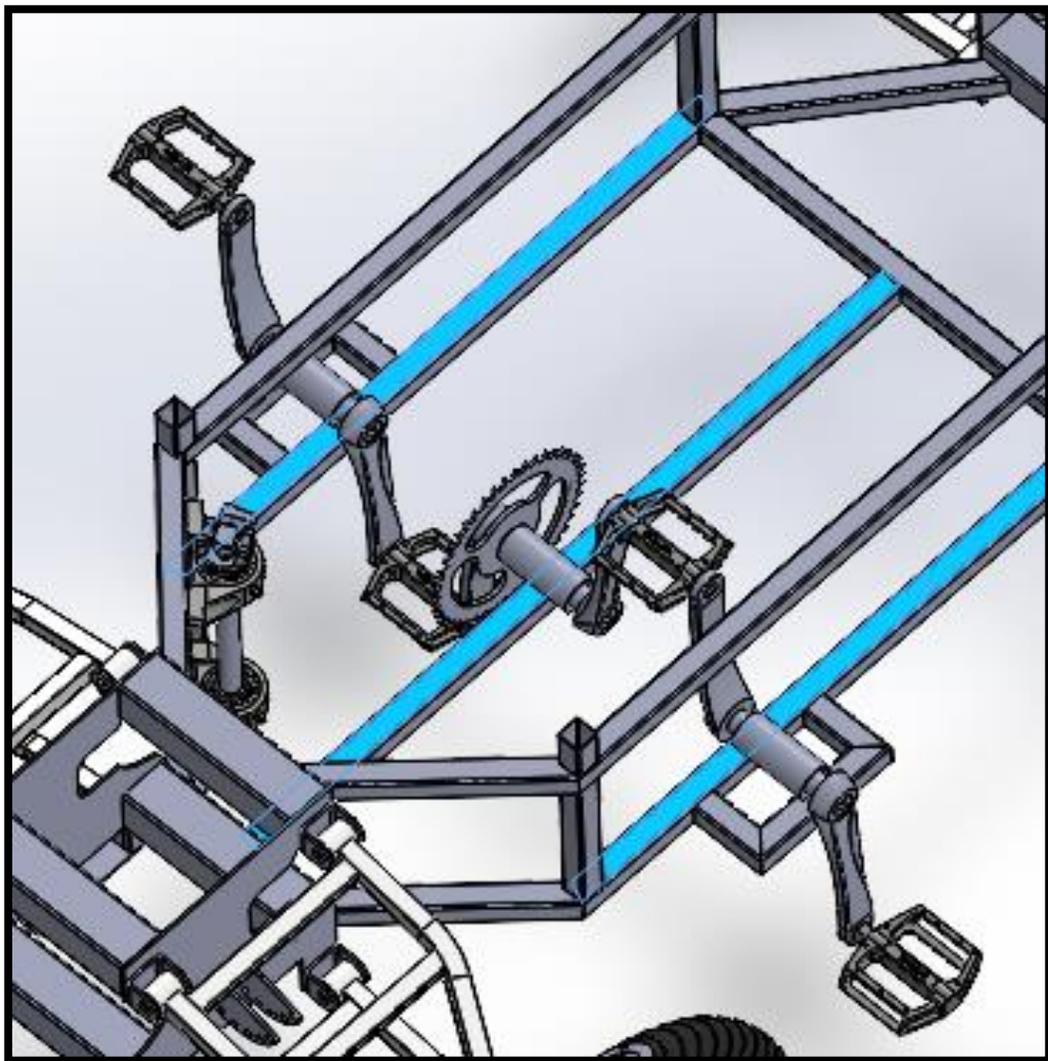


**Ilustración 38:** Rediseño del sistema de dirección

Otro cambio notable en este sistema es la implementación de un volante (ítem N°1 de la *ilustración 37*), en lugar del manillar de bicicleta que se tenía originalmente, este volante presenta un diámetro de 37.5[cm] y busca brindar practicidad y comodidad a la hora de virar.

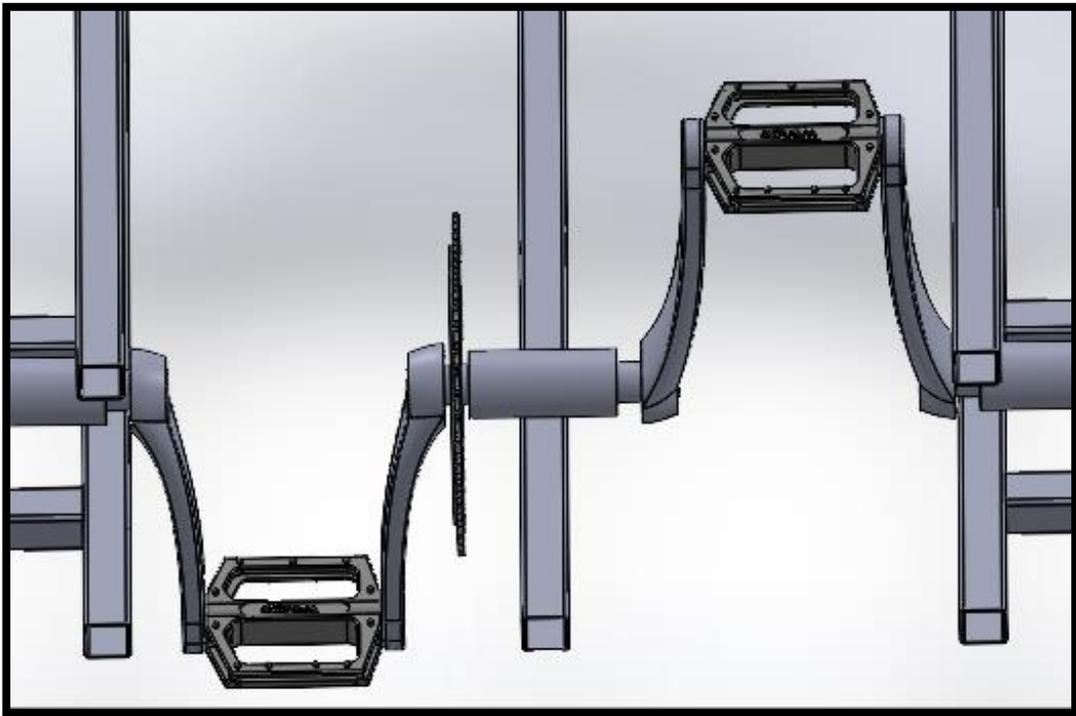
#### 3.4.4. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRACCION

Se implementa un nuevo sistema de pedaleo acorde al rediseño del chasis, el cual se evidencia en la *ilustración 39*. Este nuevo sistema consta de un eje central y dos laterales posicionados respectivamente en el larguero central y los largueros laterales (exteriores), de la parte inferior del chasis. Cada eje está unido a 2 bielas de 21[cm] cada una.



*Ilustración 39: Sistema de pedaleo*

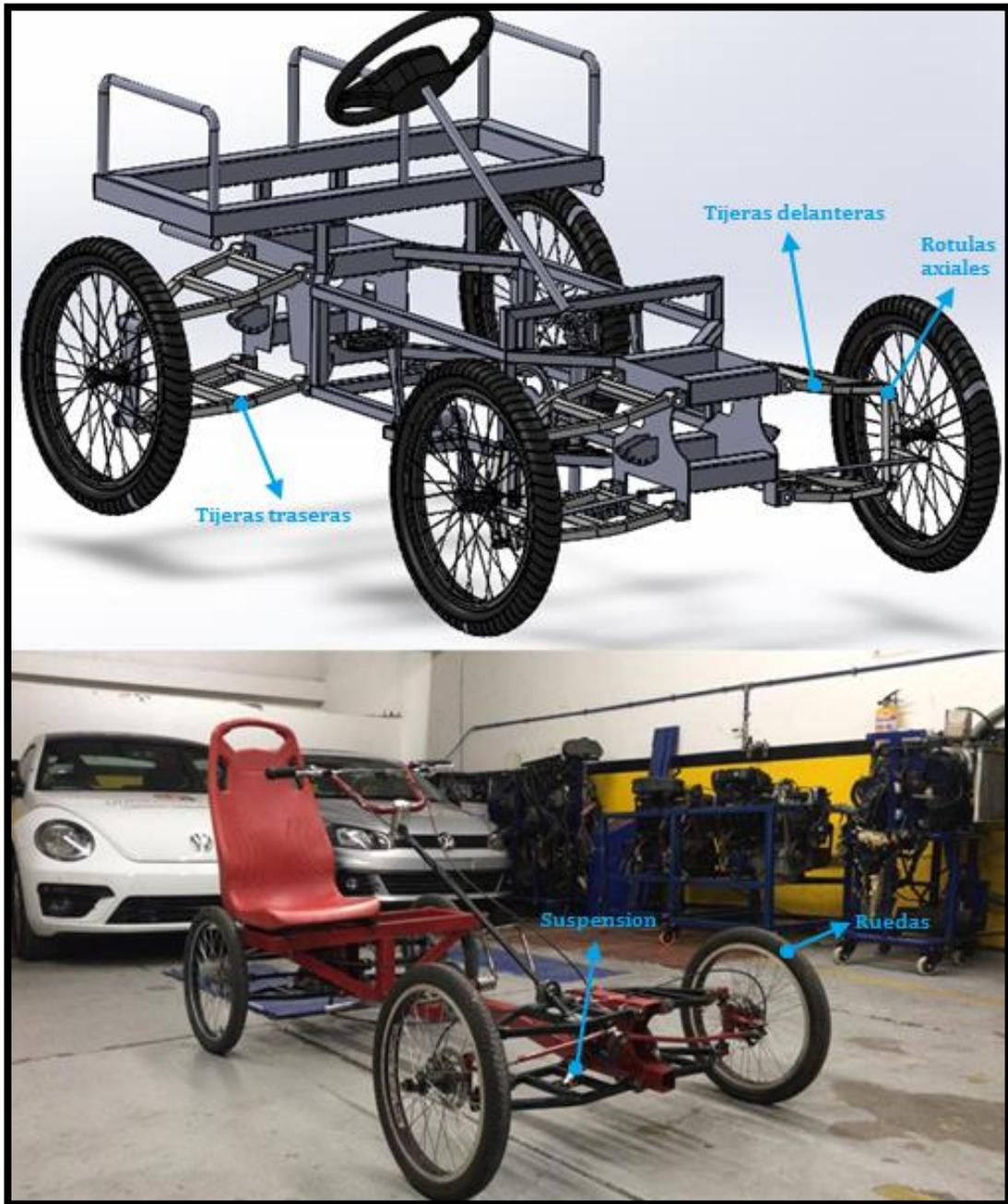
Aquellas bielas que se ubican entre el larguero central y uno lateral (exterior), van unidas mediante un pedal como se aprecia en la *ilustración 40*, permitiendo así, la transmisión de potencia de los dos tripulantes al eje central, el cual va unido al plato o disco, que mediante una cadena lleva dicha potencia al eje trasero, que finalmente la transmite a las ruedas.



*Ilustración 40: Pedales centrales*

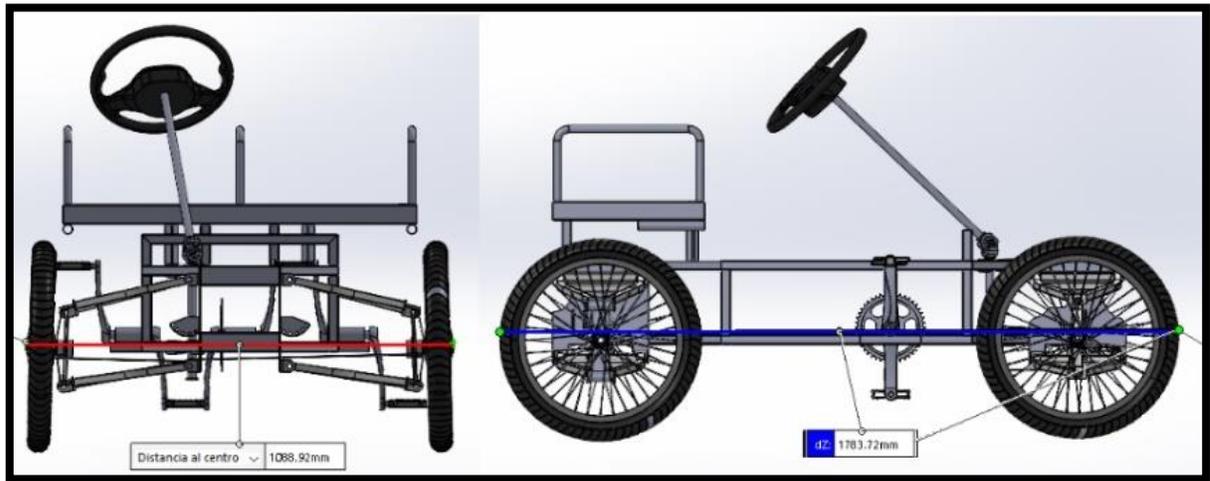
#### 3.4.5. ENSAMBLE DEL CUATRICICLO REDISEÑADO

Para tener una mejor percepción y de igual forma facilitar el ensamble del cuatriciclo una vez construido, mediante el software se realiza el debido ensamble de las piezas y/o sistemas rediseñados con aquellos que no se rediseñaron (*ilustración 41*), pero sí se conservaron tal cual del modelo previo. Entre estas piezas se encuentran las tijeras tanto delanteras como traseras, el plato y cadena, la suspensión, las rótulas axiales y por último las ruedas.



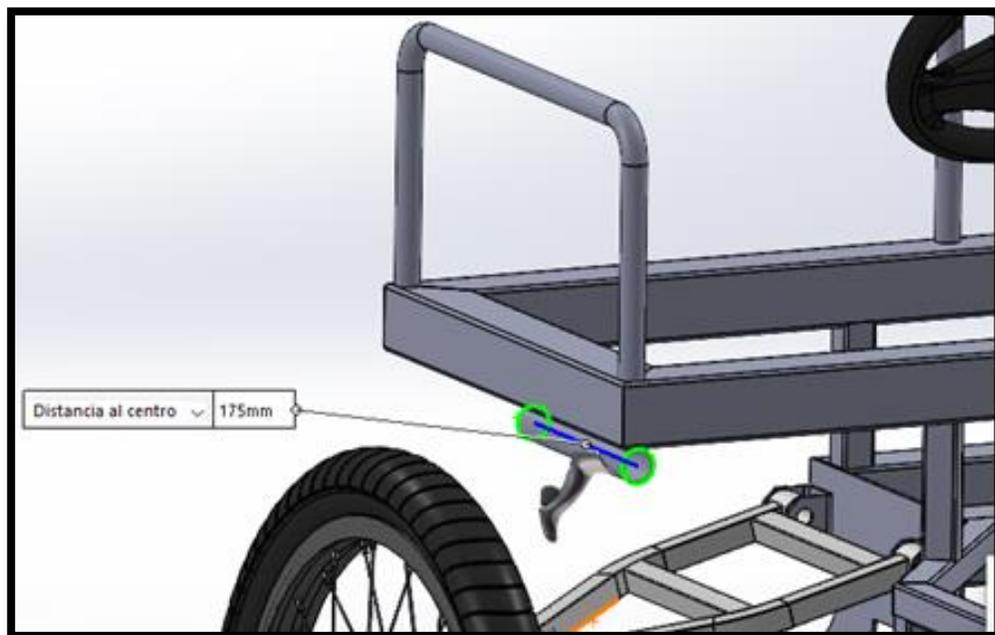
**Ilustración 41:** Comparativa de rediseño

Como se aprecia en la *ilustración 42*, el rediseño del cuatriciclo ensamblado en su totalidad, presenta un largo y un ancho respectivamente de 1783.72[mm] y 1088.92[mm], además de ello, la distancia de la parte más baja del chasis con respecto al suelo es de 250[mm].



*Ilustración 42: Dimensiones del ensamble final*

En cuanto al sistema de frenos, se conservó el sistema de frenos de disco con un ligero cambio, el cual es el posicionamiento de las manijas de frenado, ya que, al sustituir el manillar de bicicleta por un volante, se da la necesidad de reubicar estas, por tanto, se anexó una tubería paralela al marco del asiento como se observa en la *ilustración 43*, con un diámetro de 1½[pulgada], longitud de 175[mm] y un espesor de 2.5[mm]. En dicho miembro se posicionan las manillas de frenado.



*Ilustración 43: Posicionamiento de las manijas de freno*

---

## CAPITULO 4

---

### 4.1. DISEÑO FINAL

El nuevo diseño generado para el cuatriciclo al ser ensamblado en su totalidad, tal y como se puede apreciar en la *ilustración 44*, resulta ser ligeramente más compacto que el diseño previo, ya que el largo total del chasis paso a ser 1507[mm], es decir que se obtuvo una reducción en el chasis de 433[mm], por tanto, la lejanía que existía entre los tripulantes y el centro del vehículo se redujo de igual manera. En cuanto a la distancia existente entre el suelo y la parte más baja del chasis, se duplico de manera que se obtuvo una medida de 250[mm].



*Ilustración 44: Diseño previo vs Rediseño*

En la *ilustración 45*, se puede evidenciar la diferencia en el ancho de los ensambles, donde en el rediseño se obtuvo un incremento de 156[mm] con respecto al modelo previo, es así que finalmente el ancho del cuatriciclo ensamblado es de 1089[mm].



*Ilustración 45: Ancho del diseño previo vs rediseño*

#### 4.1.1. SISTEMA DE DIRECCION FINAL

El sistema de dirección se reestructuro totalmente. Como se evidencia en la *ilustración 46*, se sustituyó el manillar de bicicleta por un volante, se acorto la columna de dirección 425[mm] para quedar con una longitud final de 555[mm].



*Ilustración 46: Columna de dirección antes y después*

Como se ve en la *ilustración 46*, la columna de dirección originalmente se soportaba en una de las tijeras delanteras mediante dos cojinetes de arco, dichos cojinetes se reutilizaron (*ilustración 47*), para acoplar al chasis el eje que se une a la columna de dirección, por medio de juntas universales (detalle indicado en azul en las *ilustraciones 46 y 47*).



*Ilustración 47: Eje que conecta con la columna de dirección*

Aquel eje que va sujeto al chasis, a su vez va unido en su parte inferior al enlace de arrastre, el cual en su otro extremo comunica con los brazos de dirección (*ilustración 48*).



*Ilustración 48: Unión del brazo de dirección derecho*

#### 4.1.2. SISTEMA DE TRACCION FINAL

El sistema de tracción al igual que el diseño previo se mantuvo igual (plato y cadena), el mayor cambio en este sistema tal y como se visualiza en la *ilustración 49*, es el sistema de pedaleo el cual paso de contar con un único eje a contar con 3 ejes (la potencia converge al eje central, es decir donde se posiciona el plato), además de ello, ahora se cuenta con bielas de 21[cm] y pedales que permiten reposar y mejorar el agarre de los pies.



*Ilustración 49: Sistema de tracción antes y después*

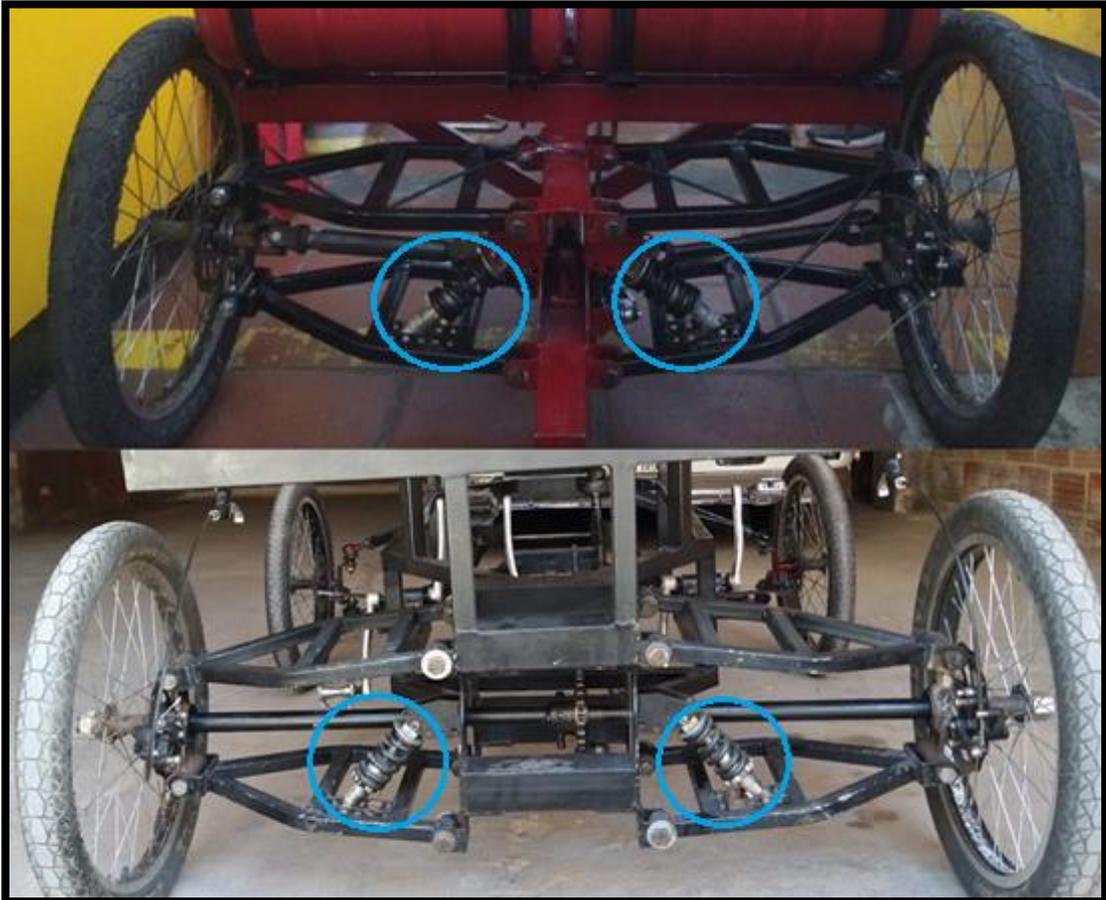
### 4.1.3. SISTEMAS CONSERVADOS DEL DISEÑO PREVIO

Como se expresó en el apartado 3.4.5 ENSAMBLE DEL CUATRICICLO REDISEÑADO, el sistema de frenos abarcaría un único cambio y es la ubicación de las manijas de frenado, que como se ve en la *ilustración 50*, se posicionaron en el lugar que se contempló, el resto del sistema se conservó tal cual se tenía en el diseño previo (frenos de disco).



*Ilustración 50: Ubicación de las manijas de frenado*

Por último, el sistema que no sufrió ningún cambio y se conservó tal cual el modelo previo, fue el sistema de suspensión (*ilustración 51*).



*Ilustración 51: Sistema de suspensión antes y después*

#### 4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACION DEL ENSAMBLE FINAL

Con el ensamble final del cuatriciclo y su nueva estructura, se ha puesto a prueba su mecanismo en diferentes terrenos similares a los que se pudo haber enfrentado en el concurso de la NASA. La principal mejoría que se vio frente a lo que se tenía antes de la realización del rediseño, fue el chasis, ya que este no presentó ninguna deformación por el peso de los tripulantes, en comparación al anterior el cual tenía una barra central con una unión que se flectaba y era probable que en una de las pruebas se rompiera.

Por otra parte, uno de los avances más relevantes fue una parte del sistema de transmisión, a raíz de que estaba compuesto por unas varillas lisas, que al entrar en contacto con los zapatos de los tripulantes, se deslizaban y al estar en pruebas como subir pendientes o terrenos inestables no tenían el suficiente agarre como ahora, donde fueron puestos pedales y un nuevo plato, el cual

al infringir la suficiente fuerza, proporciona el torque necesario para todo tipo de terreno al que se enfrente el cuatriciclo.

Adicionalmente, cuando en las pruebas nos aparecían curvas cerradas o imprevistas, el antiguo sistema de dirección no estaba lo suficientemente rígido y su rango de giro no era muy amplio para poder curvar correctamente. Ahora, implementando un volante de auto que permite un mejor agarre y modificando la barra de dirección para que su rango de giro se ampliara, se pudieron hacer trazadas más eficientes en las curvas.

<b><i>Criterio</i></b>	<b><i>Rover Mecánica</i></b>	<b><i>Rover IAN (2020)</i></b>	<b><i>Rover ECCI (2023)</i></b>
<i>Posición de tripulantes ergonómica</i>	Cumple	Cumple	Cumple parcialmente (Uno de los tripulantes no tiene visual del camino)
<i>Tipo de sistema de dirección</i>	Sobre el asiento (Mediante juntas universales)	Bajo el asiento	Sobre el asiento (Mediante juntas universales)
<i>Tipo de sistema de tracción</i>	Cadena	Juntas homocinéticas (No funcional)	Cadena
<i>Tripulantes que ejercen fuerza</i>	Ambos tripulantes pedalean	Solo uno de los tripulantes pedalea	Ambos tripulantes pedalean
<i>Tipo de amortiguación</i>	De acción simple	No posee	De acción simple
<i>Tipo de frenado</i>	Mecánico (Mediante guaya y disco)	Desconocido	Mecánico (Mediante guaya)
<i>Tipo de ruedas</i>	Bicicleta Cross	Fabricación propia	Fabricación propia
<i>Sistema de seguridad que evita la eyección de los tripulantes</i>	Apoya brazos (Funcionan como agarraderas)	No posee	Cinturones de seguridad

**Tabla 1:** Comparativa de Rover's

Por último, en la *tabla 1* se denota una comparativa de los principales sistemas que componen tanto el Rover del presente proyecto (Rover Mecánica), como los que se han desarrollado dentro de la institución, donde el Rover con el que se presenta una mayor similitud, es con el Rover ECCI (2023), el cual es hasta el momento el mejor Rover construido y presentado por la Universidad.

### 4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del proyecto se determinaron hallazgos importantes, que permitieron identificar la mejoría que trae consigo ciertos cambios, y de igual forma, se establecen algunos cambios que permitirían perfeccionar el VTH.

#### 4.3.1. CONCLUSIONES

Un chasis de mayor robustez, mejora notablemente la rigidez de un vehículo, ya que, en retrospectiva, el cuatriciclo se sentía muy endeble al momento de incorporarse al mismo, con ello

se puede decir que esta mejora otorga una mayor capacidad de carga. Asimismo, al ser un chasis más sólido se obtiene una base más estable, lo que contribuye a una mejora del manejo, cosa que proporciona un mayor control del vehículo al conducir en terrenos irregulares.

El uso de un manillar tan amplio para el control de dirección en un cuatriciclo, presenta una dificultad, debido a que, a la hora de realizar giros cerrados, este tiende a chocar o golpear el torso del piloto, hecho el cual se torna bastante incomodo y peligroso al ingresar a una curva cerrada, y no solo en dicho caso, sino también cuando se reacciona frente a un obstáculo. Es así, que el uso de un volante solventa este inconveniente, al permitir realizar giros sin la necesidad de realizar movimientos físicos tan amplios, lo cual da agilidad a las maniobras que se realizan, por lo que, análogamente otorga un mejor control del vehículo.

El manejo de los frenos de un vehículo efectuados por una sola persona, permite una distribución de frenada mucho más uniforme, a diferencia de un manejo de frenos efectuado por dos personas, es decir, tanto por el piloto como por el copiloto, ya que, si estos no mantienen una debida sincronización a la hora de frenar, tanto en el tiempo de reacción como en la presión ejercida, la distribución de frenada variara, por tanto, el vehículo tendera a cambiar su dirección ligeramente, por lo que se dificulta el control del vehículo.

En el diseño y construcción de un VTH, la ergonomía es bastante fundamental en el sistema de tracción, más específicamente en el pedaleo, ya que este aspecto, en cierta medida define la eficiencia de los tripulantes, por lo que análogamente se define la eficiencia del VTH. Una de las razones, se debe a que, lógicamente la acción de pedalear genera fatiga en los tripulantes, y el grado de la misma es dependiente de la ergonomía. De igual forma, la transferencia de energía de los tripulantes al vehículo, se hace dependiente de este aspecto, ya que, si el vehículo no otorga una posición optima a los tripulantes, estos no podrán transferir eficientemente su energía al vehículo.

#### 4.3.2. RECOMENDACIONES

A fin de mejorar el agarre y control del cuatriciclo, se recomienda generar diferentes diseños de ruedas, a las cuales se les varíe la profundidad de los labrados y/o tacos, de igual forma, el ancho de las mismas, eso sí teniendo como referente los neumáticos que son usados en bicicletas de montaña.

Para omitir el uso de cadena, se recomienda desarrollar un sistema de tracción, haciendo uso de juntas universales y cardan, debido a que esta tiene una mayor durabilidad, además de ello, sus mantenimientos no son tan constantes como los de un sistema con cadena. Por otro lado, este tipo de piezas pueden ser sometidos a condiciones adversas.

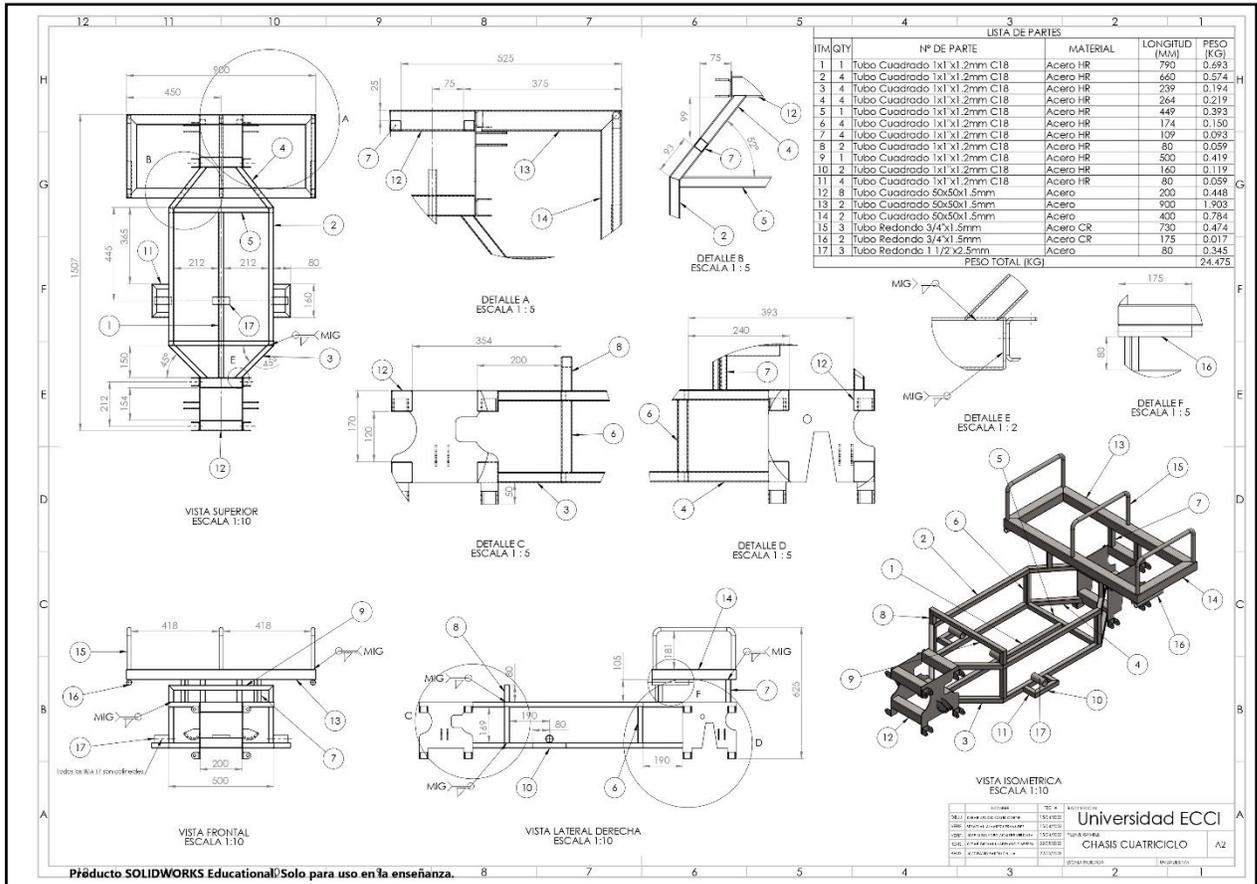
Finalmente, se recomienda alterar las posiciones de los apoyos de las pedaleras, de manera tal, que estas queden situadas lo más ergonómicamente posible, con el objetivo de que los tripulantes puedan ser lo más eficientes, tendiendo así a mejorar el rendimiento del VTH.

## REFERENCIAS

- Arias Paz , M. (2004). *Manual de automoviles*. Madrid: CIE DOSSAT 2000.
- Automoviles y elementos fijos. (24 de Diciembre de 2015). *Estructuras y carrocerias de vehiculos*. Obtenido de Automoviles y elementos fijos: <http://amoviblesyelementosfijosuperior.blogspot.com/2015/12/>
- Bustamante Ospina, S. (2018). *Repositorio Institucional ITM*. Obtenido de Repositorio Institucional ITM : <http://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1502>
- Calvo Rodríguez, A. (s.f.). *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de formula SAE*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31404033/Diseno\\_y\\_analisis\\_de\\_un\\_chasis\\_para\\_un\\_prototipo\\_formula\\_sae-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1624482940&Signature=Q1SDROT6VeCKG4PAwNch4eLlrllyeJEIE4HIArPWW4sjm14rxhhEwALnWHKq0XGKSDZAyz8fWfJ7vAKFSOFKlu~PxuLpaWG](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31404033/Diseno_y_analisis_de_un_chasis_para_un_prototipo_formula_sae-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1624482940&Signature=Q1SDROT6VeCKG4PAwNch4eLlrllyeJEIE4HIArPWW4sjm14rxhhEwALnWHKq0XGKSDZAyz8fWfJ7vAKFSOFKlu~PxuLpaWG)
- Fegade, V., Jadhav, G., & Ramachandran, M. (2018). *IOPSCIENCE*. Obtenido de IOPSCIENCE: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/377/1/012215/meta>
- Gomez Arango, J. A. (Enero de 2016). Sistema de almacenamiento de energía para un vehículo de tracción humana - VTH. Bogotá D.C, Colombia.
- Guzman Santamaria, D. (10 de Octubre de 2019). *studocu*. Obtenido de Vehiculo de tracción humana (VTH): <https://www.studocu.com/co/document/universidad-santo-tomas-colombia/estatica/apuntes/vth1-proyecto-de-vth/6171715/view>
- Martinez Fernandez, I. (junio de 2017). Diseño de un chasis tubular para un carcass. Tudela, España.
- Motor Mapfre. (s.f.). *Cardan de una moto*. Obtenido de Motor Mapfre: <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/que-es-transmision-cardan/>
- National Aeronautics and Space Administration. (2022). *NASA*. Obtenido de NASA: <https://www.nasa.gov/stem/roverchallenge/competition/index.html>
- National Aeronautics and Space Administration. (2022). *NASA*. Obtenido de NASA: <https://www.nasa.gov/stem/roverchallenge/handbook/index.html>
- Obando Ariza, A., Alarcón, R. R., Cuevas Sánchez, A., Chavarro Sampayo, H., Terán Pájaro, C., Pajaro Vilorio, D., . . . Campo Escudero, L. (16 de Junio de 2014). *academia*. Obtenido de Vehículo de tracción humana: [https://www.academia.edu/9709248/VEH%C3%8DCULO\\_DE\\_TRACCI%C3%93N\\_HUMAN](https://www.academia.edu/9709248/VEH%C3%8DCULO_DE_TRACCI%C3%93N_HUMAN)
- Patiño Molina, F. J. (10 de Septiembre de 2011). *Repositorio Institucional de la Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Pontificia Bolivariana: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1767>
- Poveda Sotomayor , C. E., Ruiz Molina , F. E., Vargas Quintero, J. C., Mora Mora, I. D., Mecon Castillo , L. A., Tavera Amado, J. A., . . . Ordoñez Laguna, S. (2019). CUADRICICLO DE PEDALES PARA DOS PERSONAS. Bogota D.C.

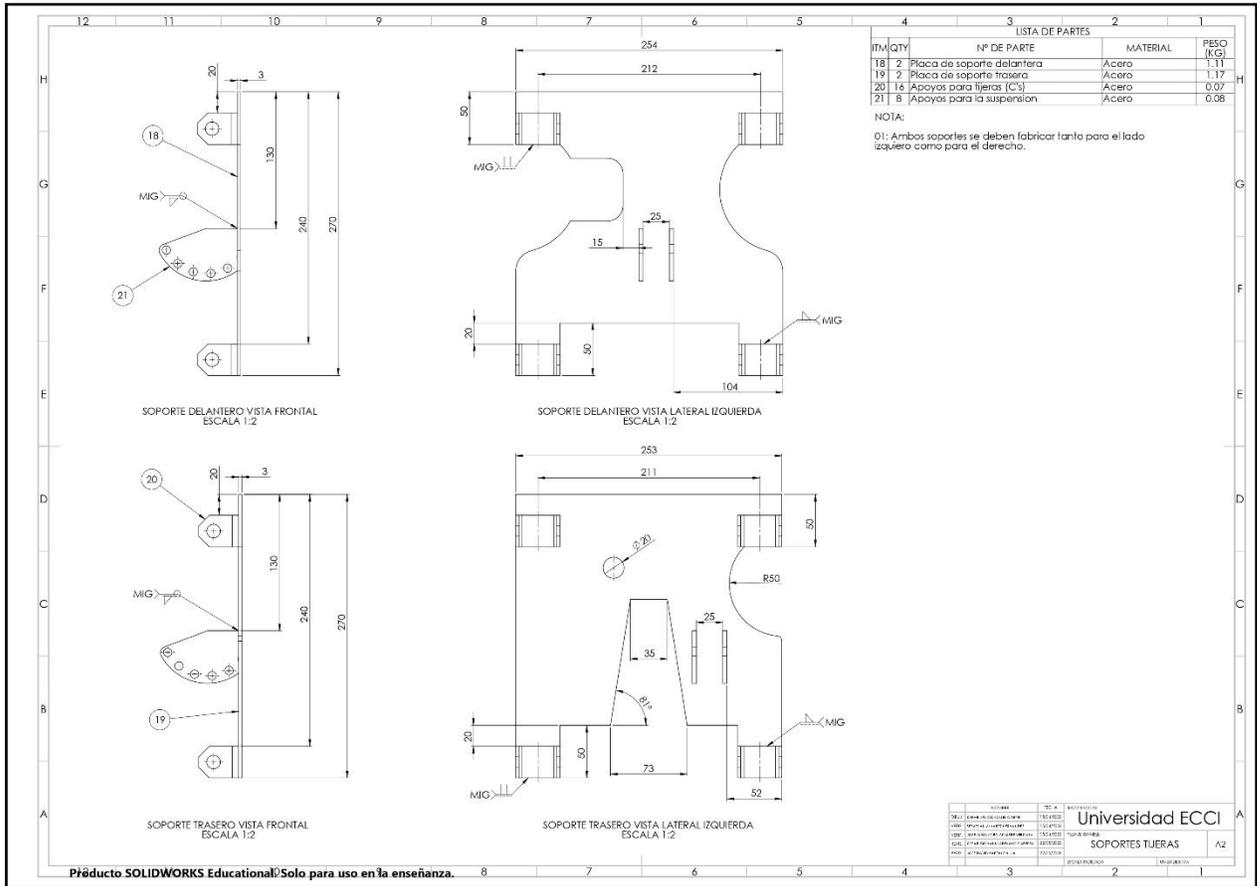
- Renting Finders. (2021). *Sistema de transmisión* . Obtenido de Renting Finders: <https://rentingfinders.com/glosario/sistema-de-transmision/>
- Revista autopartes. (s.f.). *Conozca los tipos de dirección que existen*. Obtenido de Revista autopartes: [http://www.revistaautopartes.co/no-se-lo-pierda/ver/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=91&cHash=c36a8b725975284b79748430f94b7973](http://www.revistaautopartes.co/no-se-lo-pierda/ver/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=91&cHash=c36a8b725975284b79748430f94b7973)
- Rodríguez Galbarro, H. (24 de 06 de 2021). *Transmisión por Cadenas Cálculo y diseño*. Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>
- Vivas Martinez, K. A. (Enero de 2017). *Repositorio institucional Séneca*. Obtenido de Repositorio institucional Séneca: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15159/u754611.pdf?sequence=1>
- Westermann, R., Borsotti, A., & Liston, S. (2018). *California Polytechnic State University*. Obtenido de CAL POLY: <https://digitalcommons.calpoly.edu/mesp/468/>

# ANEXOS

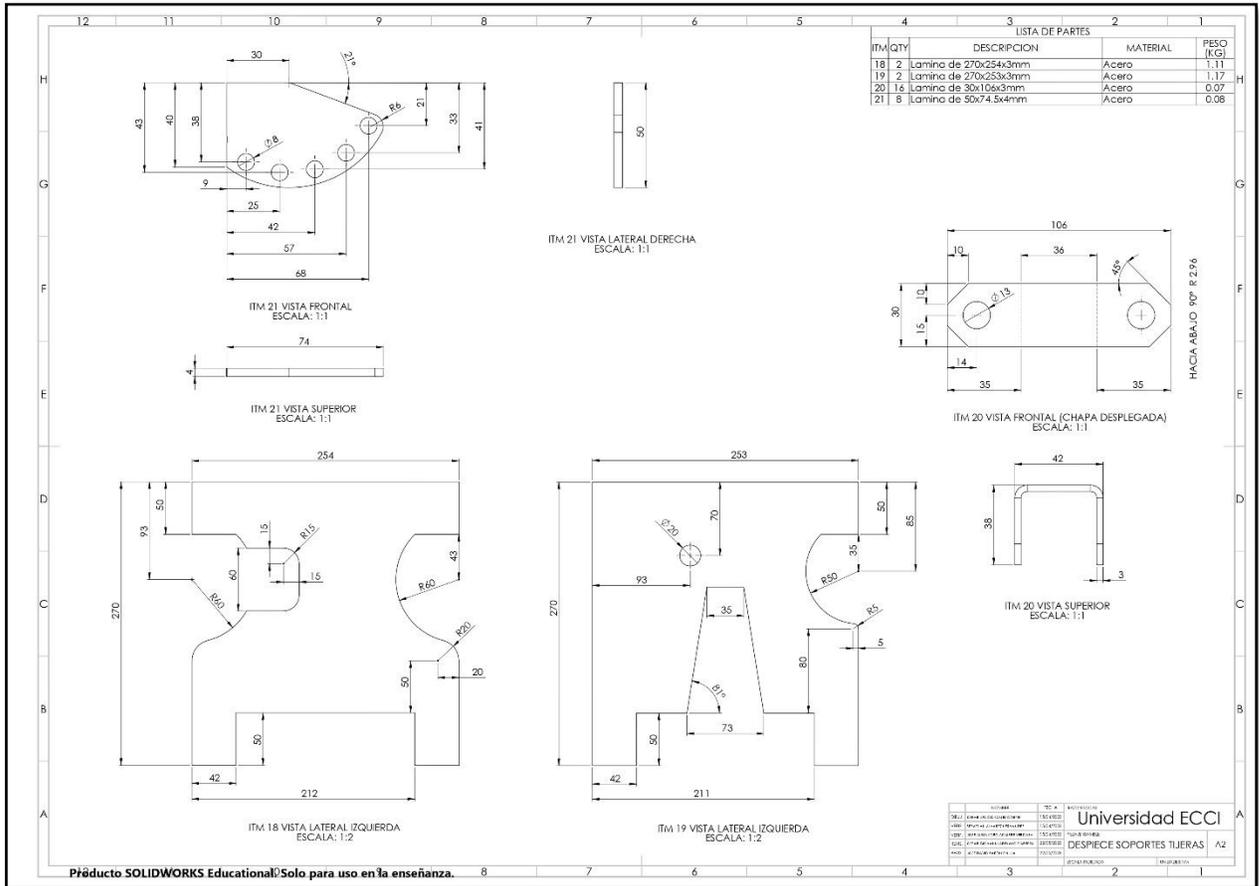


Anexo 1: PLANO DEL CHASIS DEL CUATRICICLO

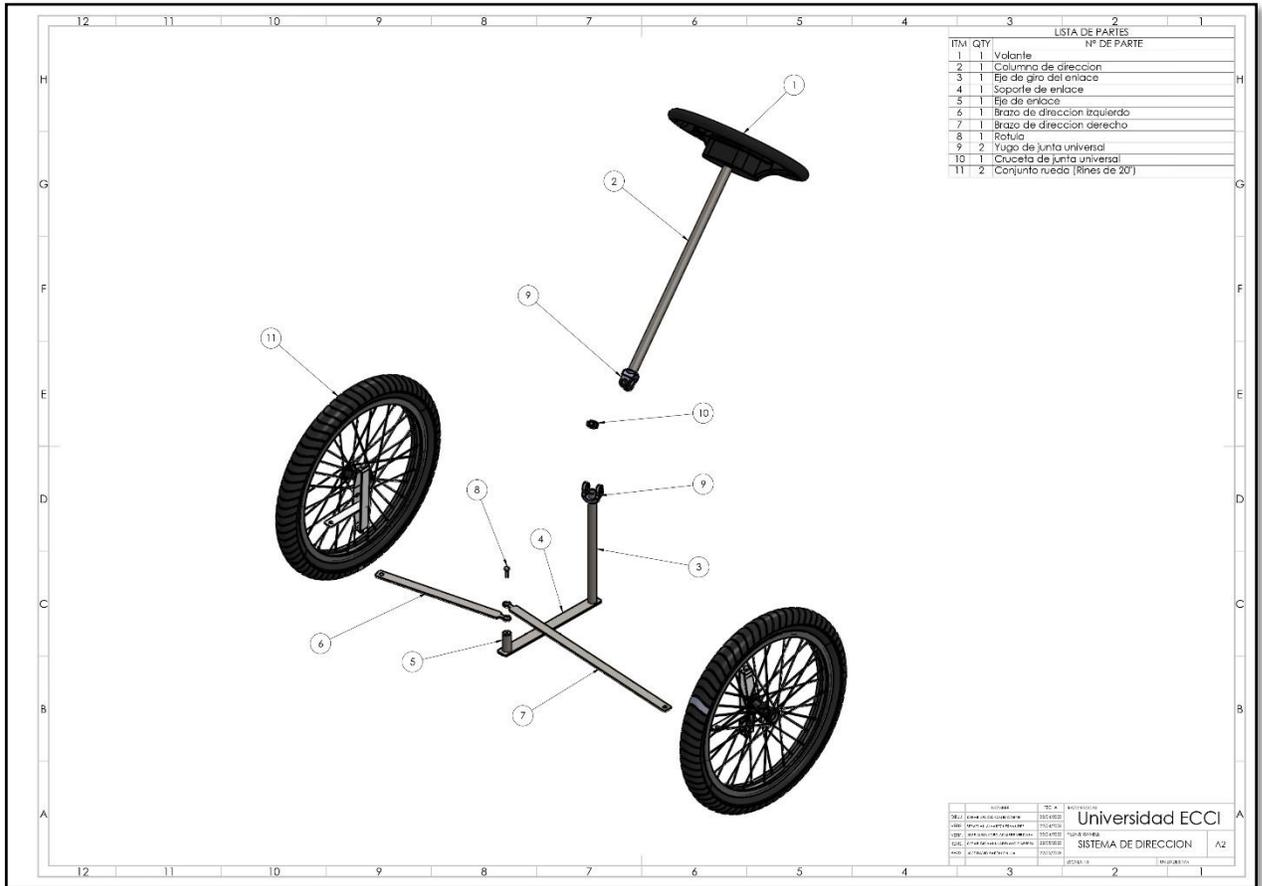




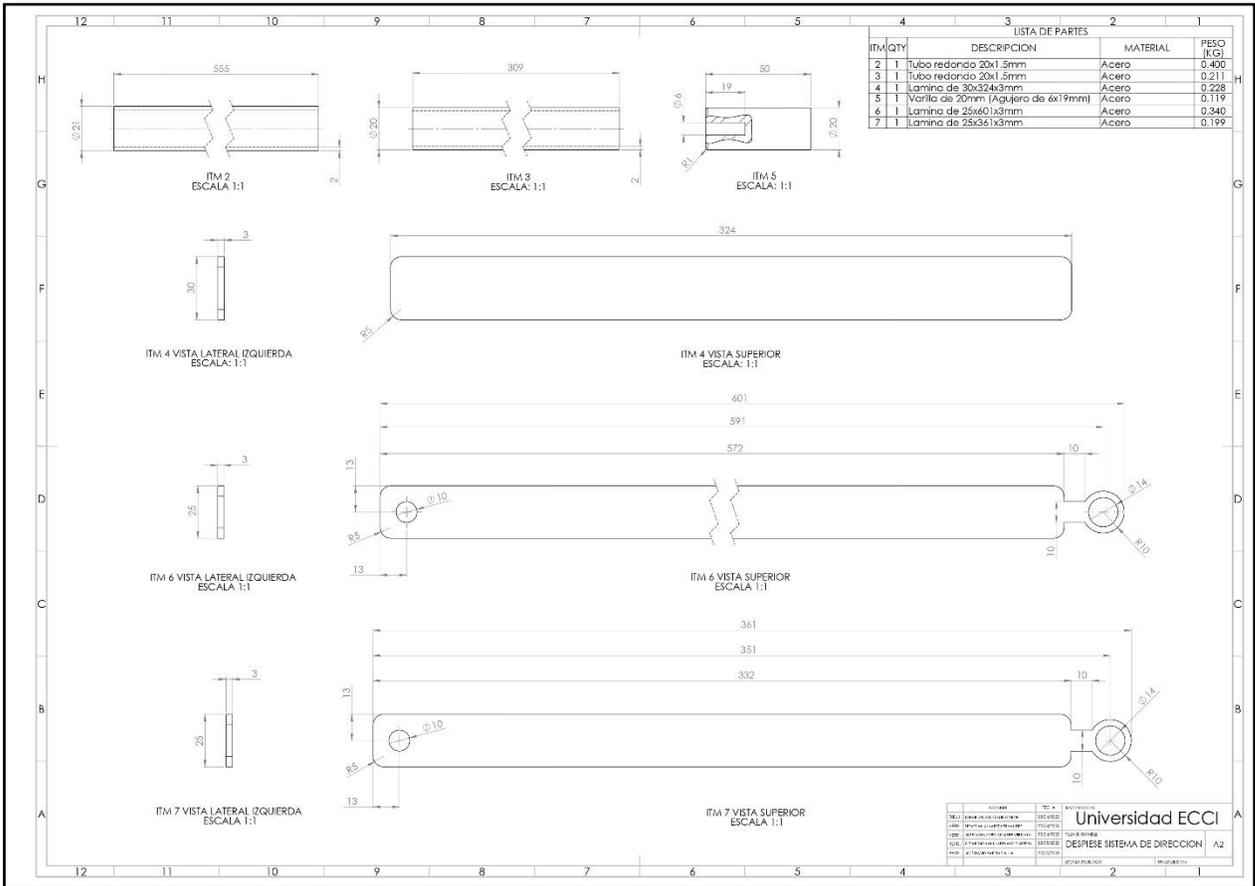
**Anexo 3: PLANO DE DESPIECE DE LOS SOPORTES DE LAS TIJERAS**



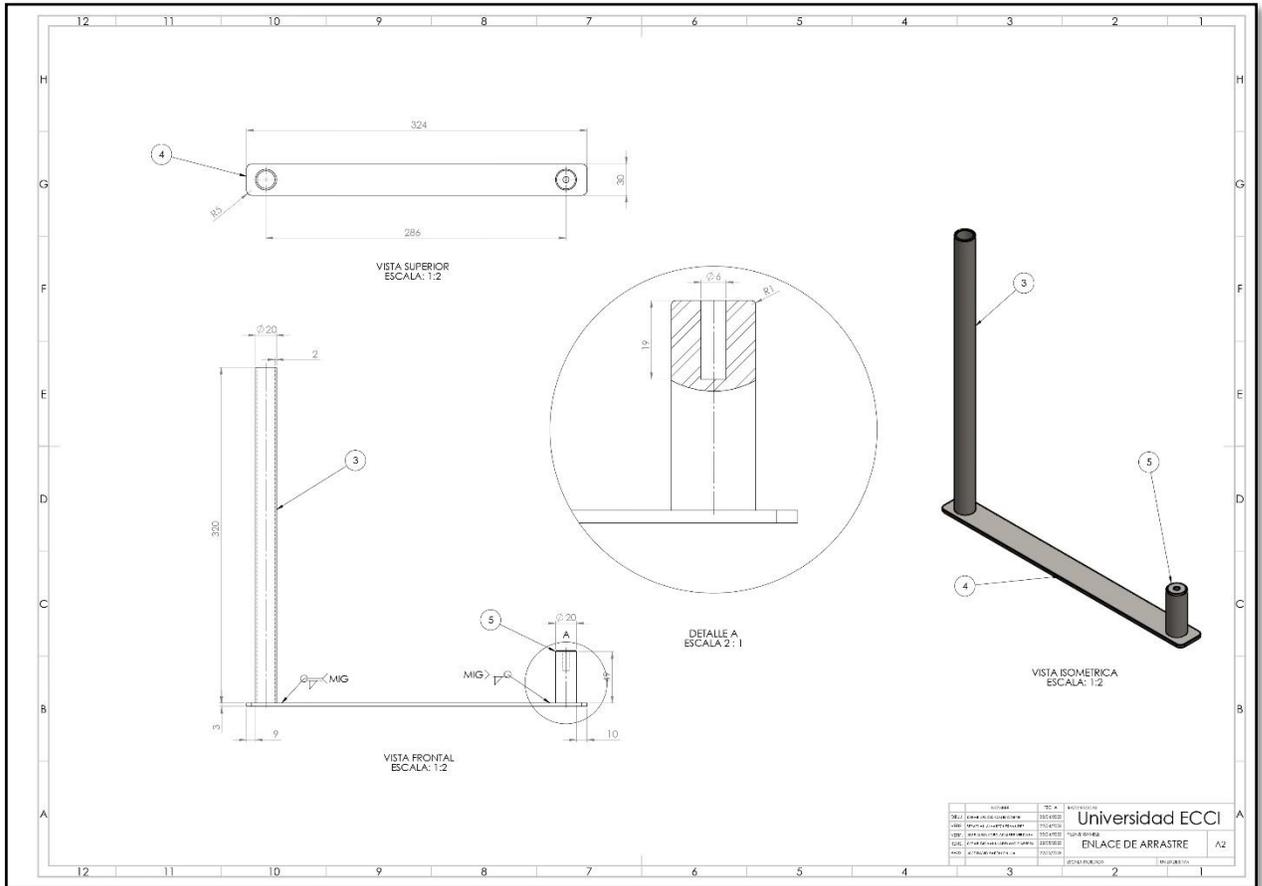
**Anexo 4: PLANO DE DESPIECE DE LOS SOPORTES DE LAS TIJERAS**



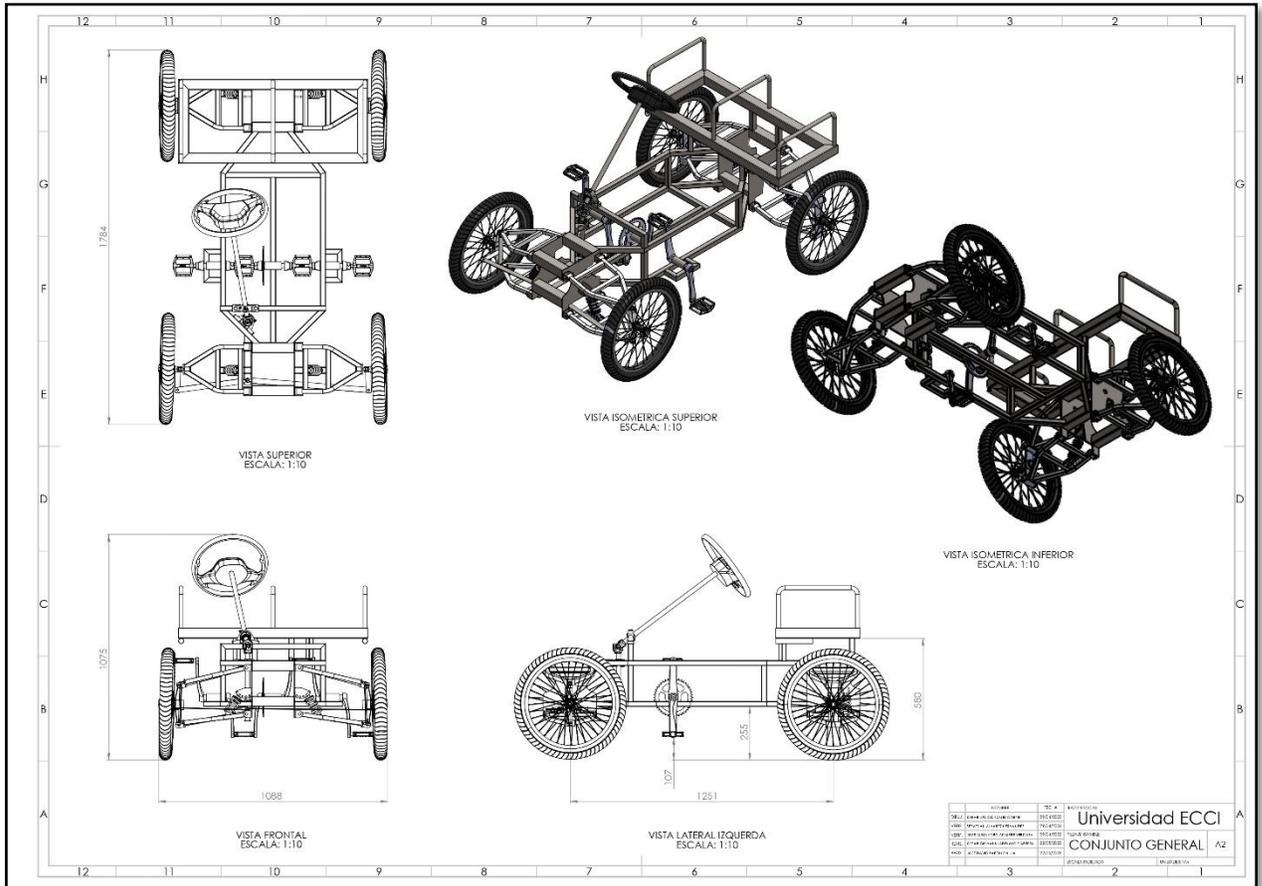
**Anexo 5: PLANO DEL CONJUNTO DE SISTEMA DE DIRECCION EXPLOSIONADO**



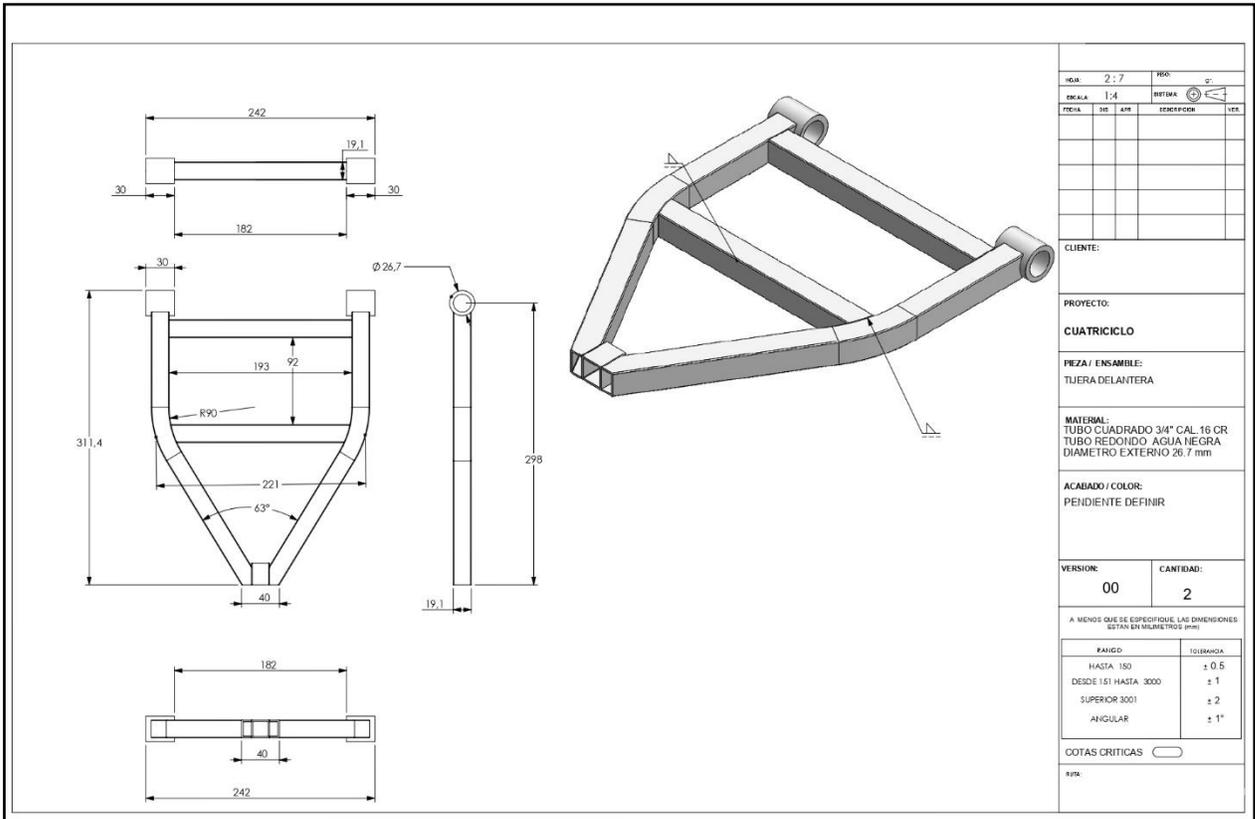
**Anexo 6: PLANO DE LAS PIEZAS A FABRICAR DEL SISTEMA DE DIRECCION**



**Anexo 7: PLANO DE SUB-ENSAMBLE DEL SISTEMA DE DIRECCION (ENLACE DE ARRASTRE)**

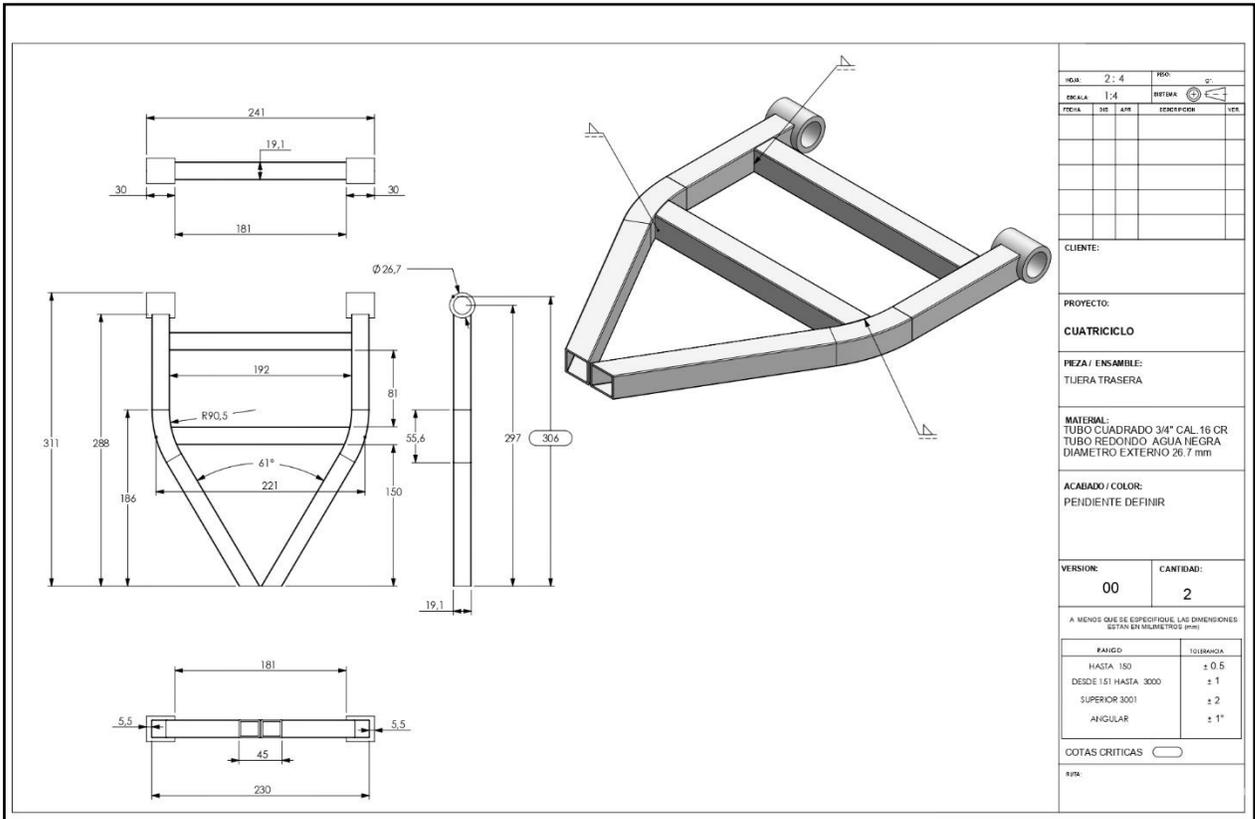


**Anexo 8: PLANO DE CONJUNTO GENERAL DEL CUATRICICLO**



**Anexo 9: PLANO DE LAS TIJERAS DELANTERAS**

**Fuente:** (Poveda Sotomayor, y otros, 2019)



**Anexo 10: PLANO DE LAS TIJERAS TRASERAS**

**Fuente:** (Poveda Sotomayor, y otros, 2019)