

**Diseño y Análisis Estructural de Vehículo de Tracción Humana Según  
Normatividad De La 9na Competencia Nacional**

**Jaime Alejandro Ángel Calderón**

**John Fredy Barragán Pemberthy**

**Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería.**

**Escuela de Ingenierías y Arquitectura.**

**Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial.**

**2020**

**TRABAJO DE GRADO**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Jaime Alejandro Ángel Calderón**

**John Fredy Barragán Pemberthy**

**Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería.**

**Director**

**Ing. Daniel Eduardo Espinosa Corrales**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Escuela De Ingenierías Y Arquitectura**

**Facultad De Ingeniería Mecánica**

**Montería – Córdoba**

**2020**

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	9
2.	Marco Teórico/Estado del Arte.....	11
2.1.	Generalidades .....	14
2.1.1.	Seguridad activa .....	14
2.1.2.	Seguridad Pasiva .....	16
2.1.3.	Geometría de la dirección.....	16
2.2.	Antropometría .....	19
3.	Planteamiento del Problema .....	21
4.	Objetivos .....	23
4.1.	Objetivo general .....	23
4.2.	Objetivos específicos.....	23
5.	Justificación .....	24
6.	Metodología .....	26
6.1.	Definición de Parámetros de Diseño.....	26
6.2.	Condiciones de la Competencia .....	28
6.3.	Marco de Diseño .....	29
6.4.	Diseño Conceptual .....	30
6.5.	Descripción del diseño .....	31
6.6.	Radio de giro máximo (R).....	35
6.7.	Frenos .....	37

6.8.	Ruedas .....	37
6.8.1.	Cassette:.....	37
7.	Simulación .....	39
7.1.	Análisis antivuelco .....	39
7.1.1.	Análisis de carga.....	39
7.1.2.	Métodos y suposición .....	39
7.2.	Análisis de carga lateral .....	41
7.2.1.	Análisis de carga.....	41
7.2.2.	Métodos y Suposición. ....	41
7.3.	Análisis Estructural .....	43
7.3.1.	Carga en el Pedal .....	43
7.4.	Análisis de carga en el pivote.....	45
7.5.	Análisis adicionales.....	47
7.5.1.	Centro de gravedad.....	47
7.5.2.	Análisis aerodinámico .....	51
7.5.3.	Análisis de dirección .....	52
7.5.4.	Análisis de frenado:.....	53
8.	Conclusión .....	56
8.1.	Recomendación .....	56
8.1.1.	Frenos ABS .....	56
8.1.2.	Material.....	56

9.	Bibliografía .....	57
10.	Anexos .....	63

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Vth tipo triciclo a) configuración tipo Delta b) Configuración tipo Tadpole tomado de (Bicycle Man, 2017).....	12
<i>Figura 2.</i> Ilustración de un sistema de frenos. Tomado de (Marchas y rutas , 2020) .....	15
<i>Figura 3.</i> Ilustración de neumáticos en un VTH. Tomado de (Sandoval Hernández & Guevara Rojas , 2015).....	15
<i>Figura 4</i> Ángulo de caída. Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015).....	17
<i>Figura 5</i> .Geometría de Kingpin. Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015) 17	
<i>Figura 6</i> .Ángulo de Salida (Caster). Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015) .....	18
<i>Figura 7</i> .Ángulo de Salida (Caster). Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015) .....	19
<i>Figura 8.</i> Ilustración de las medidas tomadas en la antropometría. Fuente (Lopez E, 2018) .20	
<i>Figura 9.</i> Paso a paso para la elaboración del VTH. ....	26
<i>Figura 10.</i> Referencia de la posición del piloto en un VTh y su inclinación con respecto a la horizontal. Tomado de (Tello Ortiz , 2014).....	27
<i>Figura 11.</i> Diseño del marco del VTH. ....	29
<i>Figura 12.</i> Partes del marco del VTH.....	32
<i>Figura 13.</i> Ángulo de inclinación de la silla del VTH. ....	33
<i>Figura 14</i> Ángulos y posición de pedaleo. ....	34
<i>Figura 15.</i> Dimensiones de las ruedas e inclinación de la silla del VTH. ....	34
<i>Figura 16.</i> Geometría de giro de un vehículo.....	35
<i>Figura 17.</i> Ángulo de caster. ....	36
<i>Figura 18.</i> Ángulo de kingpin. ....	36
<i>Figura 19.</i> Convergencia y divergencia (Toe in and Toe out). ....	36

<i>Figura 20.</i> Freno de disco.....	37
<i>Figura 21.</i> Diseño del sistema de cassette del VTH.....	38
<i>Figura 22.</i> Simulación de Von Mises de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH. .....	40
<i>Figura 23.</i> Simulación ESTRN de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH. ..	40
<i>Figura 24.</i> Simulación de URES de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH.	41
<i>Figura 25.</i> Simulación de Von Mises de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH .....	42
<i>Figura 26.</i> Simulación de ESTRN de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH.	42
<i>Figura 27.</i> Simulación de URES de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH. ...	43
<i>Figura 29.</i> Simulación de deformación y tensión en carga en el pedal.....	44
<i>Figura 30.</i> Simulación de deformación unitaria en carga en el pedal. ....	44
<i>Figura 31.</i> Resultado de desplazamiento estático en carga en el pedal.....	45
<i>Figura 33.</i> Simulación de deformación y tensión en carga en el pivote.....	46
<i>Figura 34.</i> Simulación de deformación unitaria estática en carga en el pivote. ....	46
<i>Figura 35.</i> Simulación de desplazamiento estático en carga en el pivote. ....	47
<i>Figura 34.</i> Entro de gravedad el VTH en un plano 3D .....	49
<i>Figura 38.</i> Centro de gravedad del VTH en un plano 2D .....	51
<i>Figura 39.</i> Simulación de análisis de aerodinámico del VTH (vista frontal).....	51
<i>Figura 40.</i> Simulación de análisis de aerodinámico del VTH (vista lateral).....	52
<i>Figura 41.</i> Análisis de dirección del VTH.....	52

## **Lista de Tablas**

<i>Tabla 1.</i> Categorías de las reglas de la competencia Nacional de VTH en Colombia .....	28
<i>Tabla 2.</i> Criterios de diseño del VTH.....	30
<i>Tabla 3.</i> Especificaciones de materiales. Tomado de (ResearchGate, 2020) .....	32
<i>Tabla 4.</i> Propiedades de centro de gravedad de un vehículo.....	47
<i>Tabla 5.</i> Valores y variables para la obtención del centro de gravedad del VTH. ....	50



## 1. Introducción

El transporte es el movimiento de personas a lo largo de un espacio físico (terrestre fluvial o aéreo), donde el transporte terrestre está dado por el transporte en carreteras de vehículos de toda clase. (Tobón A & Gálvis, 2009)

El transporte mundial es un medio necesario y esencial para el desarrollo económico y social de cada país, este presenta valores consume del petróleo del mundo del 64%, el 27% del total de energía y con respecto a la cantidad de emisiones generadas, da el 23% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) mundial, además de esto, se espera que con el aumento de las tasas de motorización y la cantidad de vehículos en circulación que llegará hasta los 2000 millones, se eleve el impacto ambiental en el transporte, esto es dado que para el año 2050 en las ciudades habrán 5400 millones de habitantes. (Banco Mundial, 2017)

La producción de los gases de efecto invernadero, como lo es el CO<sub>2</sub>, causan efectos nocivos para la salud de los seres humanos, como lo son las enfermedades cardio vasculares y pulmonares, las cuales llegan a un número de 185 000 defunciones al año en forma directa debido a la producción de estos gases dados por los sistemas de transporte (Banco Mundial, 2017). Además de esto, se da el aumento en la temperatura media de la tierra, descenso de la superficie de los glaciares, entre otros.

La disminución de los niveles de gases de efecto invernadero es la necesidad que tiene la sociedad para poder transportarse de manera alternativa y segura, sea cual sea su ruta o destino, por ende, se desea impulsar y dar reconocimiento a las ideas innovadoras que pueden ser amigables con el ambiente y de igual forma transportar de manera segura al usuario.

El uso masivo de los vehículos de transporte como la bicicleta, es una solución popular en las ciudades intermedias en todo el mundo, que ayuda al desarrollo de la movilidad urbana sostenible para los países desarrollados y traen al ambiente beneficios como la reducción de

los gases contaminantes; mejorando la calidad del aire, reducción del uso del espacio de transporte en comparación con un automóvil, reducción en el ruido y agregando, la mejora en la salud de la persona que haga uso este medio de transporte, como por ejemplo, reducción en el desarrollo de enfermedades crónicas, ayuda al mejoramiento del sistema cardiovascular, mejora de la capacidad pulmonar, etc. (Quintero González, 2017)

Como opción en este trabajo se plantea el Vehículo de Tracción Humana (VTH), por ello se precisa de obtener el diseño óptimo y adecuado para el usuario y competencias que incentiven a la aplicación de ciencias básicas y tecnologías innovadoras o diferentes que contribuyan al medio ambiente, de tal forma que esto permita crear un VTH más visible y atractivo para los realizadores, participantes y espectadores.

## 2. Marco Teórico/Estado del Arte

Un vehículo de tracción humana (VTH) es aquel medio de transporte que no usa ninguna fuente de energías contaminantes al medio ambiente para transportar a un individuo de un lado a otro. El VTH es un vehículo que ha sido fabricado para un público estándar, dejando de lado a las personas más altas o bajas de la población, uno de los ejemplos más claros sobre este es la bicicleta.

En la actualidad se construyen VTH tipo triciclo, en el cual se pueden escoger de dos tipos, de configuración delta; este cuenta con dos llantas traseras y una delantera (Figura 1 a). El otro tipo de configuración es la tipo tadpole (Figura 1 b), esta cuenta con dos llantas delanteras y una trasera, este tipo de VTH proporcionan a la persona mayor estabilidad y comodidad al momento de ser usado. (Bustamante Ospina, 2015)



a)



b)

*Figura 1. Vth tipo triciclo a) configuración tipo Delta b) Configuración tipo Tadpole tomado de (Bicycle Man, 2017)*

Los VTH son impulsados por el movimiento rotacional que hace una persona con sus piernas al pedalear o con sus brazos, este impulso ayuda a transportar a un individuo de un lugar a otro. Esto se da gracias a un sistema de piñón-cadena, dicho sistema cuenta con un piñón conductor que es el encargado de recibir la fuerza del pedaleo que viene del eje conductor, esta fuerza es transmitida por medio de una cadena que llega al piñón conducido, y como resultado da el movimiento de la rueda para el transporte de un individuo.

En la actualidad existe la necesidad (ambiental y económica) de promover el uso de otros tipos de energía para los medios de transporte e incluso para la recreación, de acuerdo Ahmed Sher & Addoweesh (2012), quienes afirman que “en los últimos años existe una gran problemática frente a las fuentes de energía utilizadas en los vehículos, pues las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad generan grandes problemas de contaminación. Es por lo anterior que han sugerido los vehículos híbridos y de cero emisiones, los cuales utilizan fuentes alternativas de energía y/u optimizan el gasto de energía. Este tipo de energías son el

futuro del transporte y están enfocados en dos objetivos. El primero es disminuir las emisiones de gases contaminantes, lo cual se logra mediante el uso de tracción humana, energía solar, eólica, motores de hidrogeno, entre otros. Además de esto, el segundo objetivo es aumentar la eficiencia energética del vehículo recuperando la energía en exceso al frenar o en momentos que no se necesite potencia del motor para mover el vehículo” (Citado en (HOZ, 2015)).

Cabe resaltar que Ospina & Hernández (2019) en su estudio de Diseño y Construcción de un Vehículo de Tracción Mixta para Zonas Urbanas en la Ciudad de Montería, cuyo objetivo fue la proposición de un transporte para mitigar problemas de contaminación y movilidad en la actualidad con generación de energía autónoma, teniendo en cuenta los sistemas de amortiguación independiente, dirección, suspensión, transmisión piñón-cadena de doble etapa que permitió acortar longitud de la cadena, el correcto funcionamiento del mecanismo de tracción. La generación de energía depende del usuario e intensidad lumínica captada por el panel solar, a través de este modelo la fatiga muscular del piloto es menor y el agotamiento físico más llevadero, cada que el usuario necesita recuperarse físicamente y los electroimanes al superar las 130 Rpm crea un campo eléctrico mayor, que frena de manera automática la movilidad del generador para evitar daños internos o quemar algún componente.

Blanco *et al.* (2014) en su informe preliminar de Diseño de un Vehículo de Tracción Humana, tiene como objetivo; desarrollar el diseño y la construcción de un vehículo a tracción humana para una persona, donde este es impulsado por la fuerza generada por el conductor, teniendo como propósito el recorrer un circuito conocido en el menor tiempo posible.

Blanco *et al.* (2014) evalúa tres (3) prototipos de tracción humana Tadpole recostado, Delta y Tadpole acostado. El autor determina la mejor estabilidad en curva, en frenado, ergonomía, seguridad y economía de cada uno de los prototipos. Por medio de la ponderación de matriz, el autor concluye que el modelo ideal es el Tadpole acostado, ya que, posee la

relación idónea entre costo, desempeño y facilidad de manufactura, considerando usar acero de carbono y una aleación 6061 de aluminio.

Por otro lado, Aguirre & Pinedo (2017) diseñaron y construyeron un vehículo de tracción humana (VTH) para desplazamiento en vías pavimentadas y sobre agua, para el análisis de los esfuerzos en el chasis usaron el método de los elementos finitos, además establecieron la geometría del casco a partir de embarcaciones pequeñas, de tal manera que el vehículo tuviera flotabilidad y estabilidad.

Dentro de esta variedad los vehículos eficientes propulsados netamente por la fuerza humana o bien conocidos como VTH (UPB, 2018), son aquellos que generan energía potencial y cinética, este sistema mecánico permite la movilidad de manera innovadora y segura, para que lo anterior se cumpla el diseño de los mismos debe verificar si cuenta con capacidades anti-volcamiento, ergonomía y economía.

## **2.1. Generalidades**

Para dar entendimiento de factores importantes en la realización del diseño del VTH, se da una explicación de la seguridad en este tipo de vehículos, la cual puede ser, activa o pasiva. También las diferentes geometrías de la dirección y la antropometría.

### **2.1.1. Seguridad activa**

La Seguridad Activa es el conjunto de elementos que contribuyen a proporcionar una mayor eficacia y estabilidad al vehículo en marcha, y en la medida de lo posible evitar un accidente. (Compara en casa , s.f.) Los elementos de Seguridad Activa son:

**Frenos.** Es el instrumento usado para reducir, detener o parar la velocidad de un vehículo; de la correcta selección de este depende si el triciclo responderá apropiadamente en cualquier situación que se pueda presentar, así como evitar la presencia de fatiga en los frenos. (Oropeza Cabrera & Prieto Garcia , 2012)



*Figura 2.* Ilustración de un sistema de frenos. Tomado de (Marchas y rutas , 2020)

**Neumáticos.** Estos tienen como objetivo darle el “adecuado contacto” contacto con la superficie por la que circula. Además, ayudan al vehículo que las usa arranque, transite y frene de la mejor manera posible, siempre con el agarre adecuado. (G, 2008)



*Figura 3.* Ilustración de neumáticos en un VTH. Tomado de (Sandoval Hernández & Guevara Rojas , 2015)

**Suspensión.** Garantiza el contacto de las ruedas con el piso. Le otorga estabilidad en el ejercicio de la conducción (Inter Cargueros Andinos , s.f.), su objetivo es minimizar los cambios en la superficie, mantenimiento el vehículo estable y que no haya contacto del vehículo y el suelo, suelen dividirse en 4 tipos, suspensión dependiente, independiente, suspensión semindependiente y de doble horquilla

**Dirección.** En los VTH se pueden presentar dos tipos de diseño, el primer diseño es de tipo U y el segundo de doble palanca. El diseño tipo U pre presenta un diseño único pivotado bajo el asiento, donde el conductor puede hacer semicírculos teniendo las extremidades en

posición baja. Este tipo de dirección presenta ventajas que son la construcción simple y económica, en cuanto a las desventajas, en el momento de conducir el vehículo el piloto debe acercar sus manos a las ruedas elevando los riesgos de un accidente.

El sistema de doble palanca es un sistema de comodidad, debido a que permite que los músculos pectorales y dorsales tengan un mayor soporte a la hora de dar una curva, en cuanto a sus desventajas, el peso en el vehículo aumenta, adicionando que es un sistema que también pone en riesgo las manos del piloto acercándolas a las ruedas y piso. (Diseño y construcción de un vehículo de tracción humana (VTH) tipo triciclo, como alternativa al transporte urbano en la ciudad de Bogotá., 2019)

### **2.1.2. Seguridad Pasiva**

Son los componentes utilizados para reducir al mínimo los daños que se pueden producir a los pasajeros del vehículo cuando el accidente es inevitable. (Comisariado Europeo del Automovil (CEA), s.f.) .Los elementos de Seguridad Pasiva son:

**Cinturón de Seguridad.** Es el elemento encargado de mantener al pasajero en su posición, protegiendo a este de salir eyectado por el parabrisas o alguna otra lesión al momento del accidente.

**Chasis.** Este es la estructura encargada del soporte de la carrocería y del motor y sus componentes en un automóvil, en el caso de un VTH, es el elemento de soporte de este y donde se sostienen la tracción, dirección y la silla. (Salamanca , Acosta , Higuera , & Rojas , 2018)

### **2.1.3. Geometría de la dirección**

**Ángulo de Caída (Camber).** Como se ve en la *Figura 4*, el ángulo de caída es la inclinación que tiene el neumático con respecto a la vertical de este. El ángulo de caída es positivo cuando apunta hacia el exterior del vehículo, este no debe estar presente durante a



conducción para generar una mayor tracción del neumático en curva y negativo cuando apunta al interior. (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015)

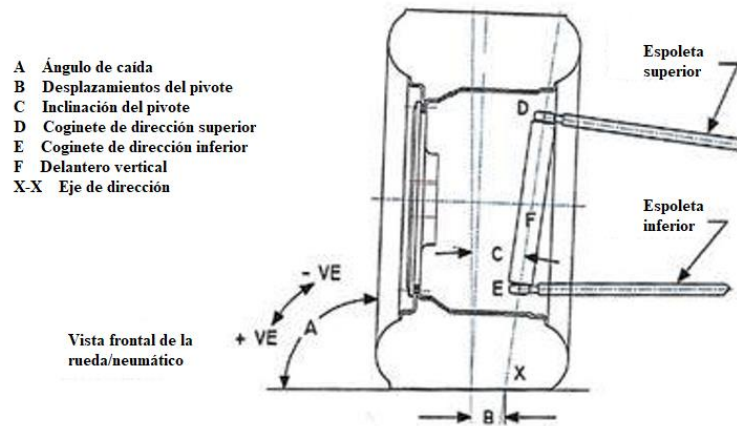


Figura 4 Ángulo de caída. Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015)

**Ángulo de inclinación de dirección (Kingpin).** Como lo explica (Mejía Gonzáles, 2015), es la proyección de una línea imaginaria entre la rótula superior y la inferior con respecto a la vertical de la rueda.

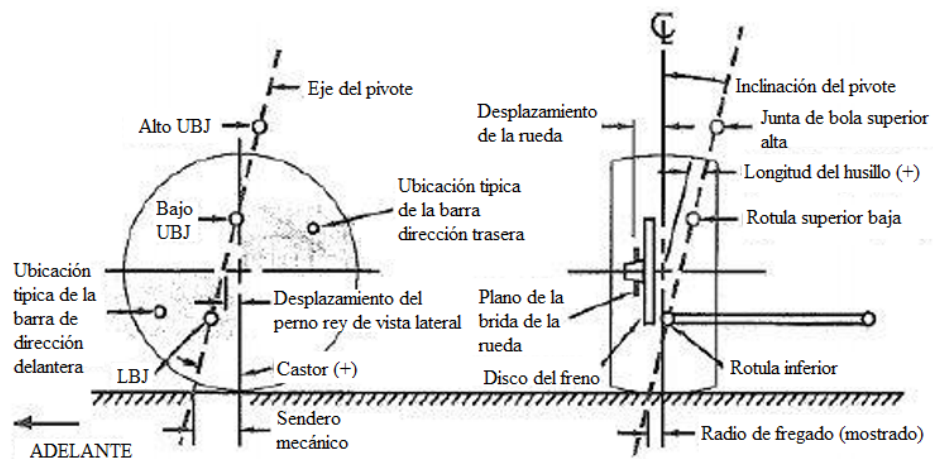


Figura 5 .Geometría de Kingpin. Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015)

**Ángulo de Salida (Caster).** Como lo dice (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015) como se ve en la Figura 6 el ángulo de salida es el ángulo, en vista lateral, comprendido entre la línea de proyección de la sujeción de los brazos de control y la vertical del neumático, se considera positivo cuando apunta hacia el centro del vehículo.

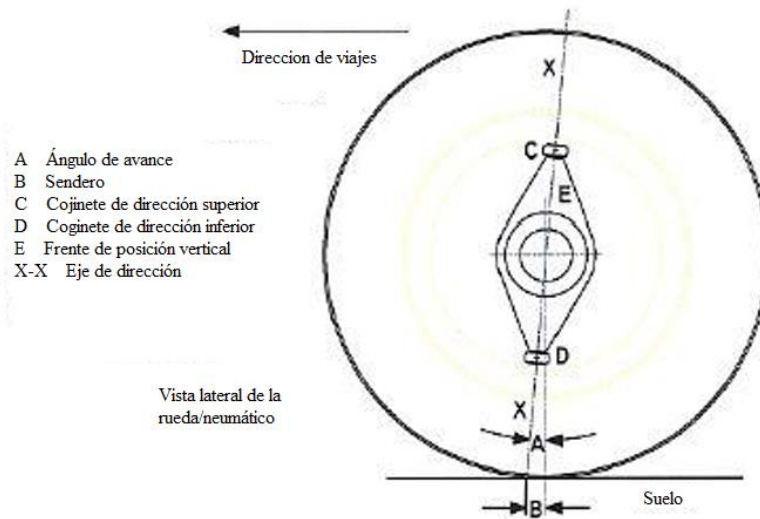


Figura 6 .Ángulo de Salida (Caster). Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015)

**Convergencia y divergencia (Toe in and Toe out).** Según (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015) es el ángulo que forma el neumático con una línea paralela al plano longitudinal del vehículo visto desde arriba se denomina convergencia cuando las llantas tienen su movimiento a la zona interna o divergencia cuando son puestas de forma externa, esto se puede ver en la Figura 7.

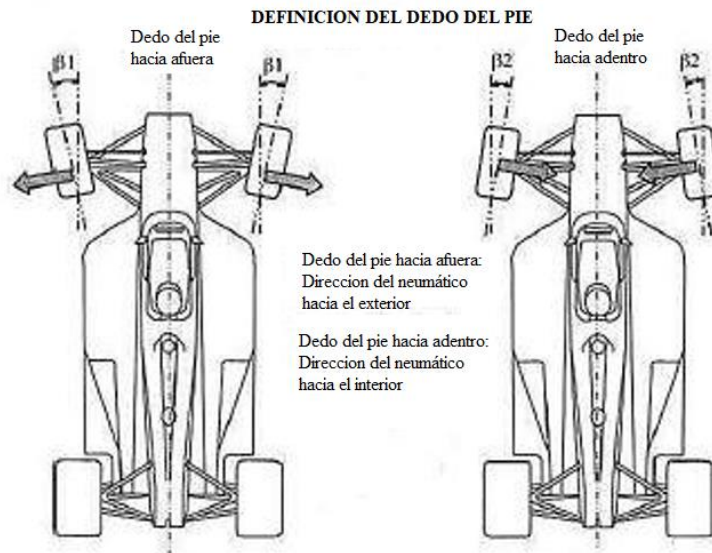


Figura 7. Ángulo de Salida (Caster). Tomado de (Caraguay Correa & Caraguay Correa, 2015)

**Aplicación de la condición de Ackerman.** La traslación lateral generada por la dirección es conducida mediante barras a los brazos de los bujes de las ruedas. La geometría de este mecanismo normalmente no es un paralelogramo (que giraría el mismo ángulo ambas ruedas), sino un trapecioide muy aproximado a la geometría de “Ackerman” que hace girar un ángulo mayor a la rueda interior que a la exterior. (Ospina Fabra & Hernández Zapata, 2019)

## 2.2. Antropometría

Su nombre viene de antropos (humano) y métricos (medida), esta ciencia presenta las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano y estudia las dimensiones considerando como referencia las estructuras anatómicas, en otras palabras, es la encargada de describir las características físicas de una persona(s). Esta es necesaria para hacer estudios ergonómicos, debido a que este proporcionará las medidas para el diseño, teniendo en cuenta el tipo de medidas a tomar y el error admisible.

Para hacer un estudio de las características antropométricas se debe cumplir con unos requisitos que son: Usar poca ropa, sin algún artículo en la cabeza o en los pies, superficie del piso y asiento deben ser planos y horizontales, medición de ambos lados del cuerpo, utilizar

equipos de medición y fotografía y en medidas donde estén afectadas por la respiración se recomienda ser tomadas durante una respiración mediana. (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito)

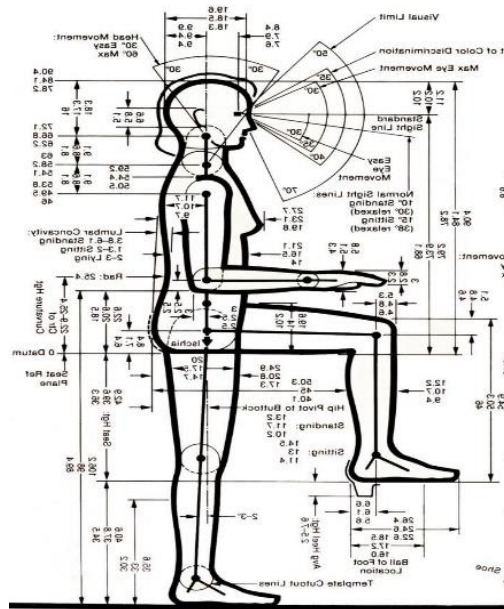


Figura 8. Ilustración de las medidas tomadas en la antropometría. Fuente (Lopez E, 2018)

### **3. Planteamiento del Problema**

El crecimiento de la población mundial trae el aumento en el uso de los sistemas de transporte convencionales como lo son autos, motocicletas, buses, entre otros. Este aumento trae consigo el consumo de energía, ruido, ocupación del suelo, contaminación atmosférica y contribución con el efecto invernadero. Los efectos generados por el transporte al medio ambiente lo afectan en dos puntos principales que son: La emisión de CO<sub>2</sub>, que intensifica el efecto invernadero y favorece el cambio climático, y la emisión de diversos contaminantes (óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y compuestos Volátiles (COV)). (Pereira Moreiro , 2002)

El aumento del uso de sistemas de transporte público (buses, taxis, etc.), motocicletas y automóviles conllevan a problemas de movilidad, como lo son las largas distancia de tráfico concentrado que generan congestión vial, el retraso en la movilidad, haciendo largos los tiempos desde un punto a otro, etc.

Según (Quintero Gónzales, 2019) en las ciudades se presentan algunos factores para el desarrollo de los sistemas de movilidad como lo son, el retraso del progreso de los estos sistemas según la necesidad de la población, los problemas de transporte que dificultan el desarrollo de las zonas urbanas y disminuyen su atractivo de inversión; el bajo nivel de seguridad en el tráfico y las dificultades para obtener inversiones importantes para la modernización de estos sistemas.

La movilidad por medio de los VTH es una de las alternativas de transporte que ayuda a la disminución en la congestión vial, este va enlazado a disminuir los niveles de contaminación generada por los vehículos que usan combustibles fósiles, dando así, un efecto favorable al ambiente, dado que, se reduce la emisión de los gases de efecto invernadero.

Asimismo, dando un mejoramiento a la movilidad urbana, desarrollo del turismo y otros efectos económicos positivos en las ciudades. (Quintero Gonzáles, 2017)

Desde otro punto, es favorable el uso de la implementación de los VTH debido a sus beneficios a la salud humana, debido a que favorece la fuerza muscular y su capacidad de resistencia, también, el estímulo necesario al sistema cardiovascular, ayudando a incrementar la sensación de bienestar y poder disfrutar de un estilo de vida más productivo y feliz. (Carmichael & Burke, 2004)

En Colombia se realiza anualmente la competencia nacional de VTH, donde la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) y otras universidades se postulan con sus diseños basados en la normativa desarrollada por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y proponen con sus diseños soluciones las problemáticas antes mencionados.

Como propuesta en este trabajo de grado para abordar el problema se plantea un VTH que cumpla con las normas de la competencia establecidas por la ASME, generando un vehículo con las condiciones óptimas para el uso de una persona como medio de transporte.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

- ✓ Diseñar un Vehículo de Tracción Humana (VTH) como modelo para el concurso nacional de VTH.

### **4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Escoger las diferentes alternativas de diseño teniendo en cuenta los parámetros de la competencia.
- ✓ Diseñar un chasis de simple estructura y de bajo peso, siguiendo los parámetros de diseño impuestos en la competencia.
- ✓ Simular en SolidWorks el prototipo del chasis usando el material que se estableció y así evaluar los esfuerzos mecánicos sufridos por la estructura.
- ✓ Optimizar el VTH, analizando la relación costo/beneficio que este proporcione y el análisis final del modelo.

## 5. Justificación

La Normativa ASME de un VTH para competencia, ha configurado el aspecto a lo largo de los años, haciendo que tome un enfoque más importante. Desafíos como la recogida y entrega de paquetes en el evento de resistencia demuestran que los jueces quieren que los estudiantes diseñen y construyan vehículos que puedan resolver problemas del mundo real, además de hacer que sus vehículos sean rápidos y eficientes que puedan probarse en la competencia.

Una de las principales debilidades de las bicicletas verticales estándar es que son inestables, especialmente a bajas velocidades, cuando las calles están mojadas, sobre grava, en caminos mal mantenidos y durante el arranque. Otro problema es que el ciclista se sienta muy por encima del suelo: una simple caída puede provocar una lesión grave en la cabeza. Un tercer problema es la tendencia de las bicicletas a lanzar a los ciclistas de cabeza sobre el manillar en frenadas bruscas. Las bicicletas reclinadas (reclinables) resuelven algunos de los problemas de seguridad. Son más estables a velocidades medias y altas debido al bajo centro de gravedad. También acercan la cabeza mucho más al suelo y no tiran al ciclista por encima del manillar en paradas bruscas.

Las bicicletas reclinadas permiten al ciclista poner ambas piernas en el suelo fácil y rápidamente para mayor estabilidad durante las paradas. Sin embargo, las bicicletas reclinadas no son estables durante el arranque.

Los triciclos reclinables resuelven los problemas de seguridad de las bicicletas estándar verticales y reclinadas. Proporcionan estabilidad al inicio, sobre calles mojadas, sobre grava, en mal mantenimiento carreteras, ya todas las velocidades. Aunque los resultados recientes de la competencia HPVC indican que las bicicletas reclinadas son más rápidas y competitivas en las carreras de velocidad/arrastre, tienden a ser inestables a velocidades más bajas y también



requieren un mecanismo de tren de aterrizaje. Después de una extensa investigación de antecedentes, el equipo decidió elegir la configuración de triciclo reclinado. (Galante, y otros, 2016)

## 6. Metodología

Este trabajo cuenta con una tipología de diseño, donde se tuvo en cuenta tres fases para la creación del VTH, estas fases fueron: La caracterización del problema de diseño, donde se tuvo en cuenta el diseño conceptual del VTH, también, el diseño de los componentes más importantes como ergonomía, sistema de transmisión, sistema de dirección, mecanismos estructurales y la escogencia de partes comerciales. Por último, se verificará el comportamiento del Vehículo de Tracción Humana en el programa SolidWorks mediante la simulación de este, proponiendo mejoras adicionales de ser necesario.

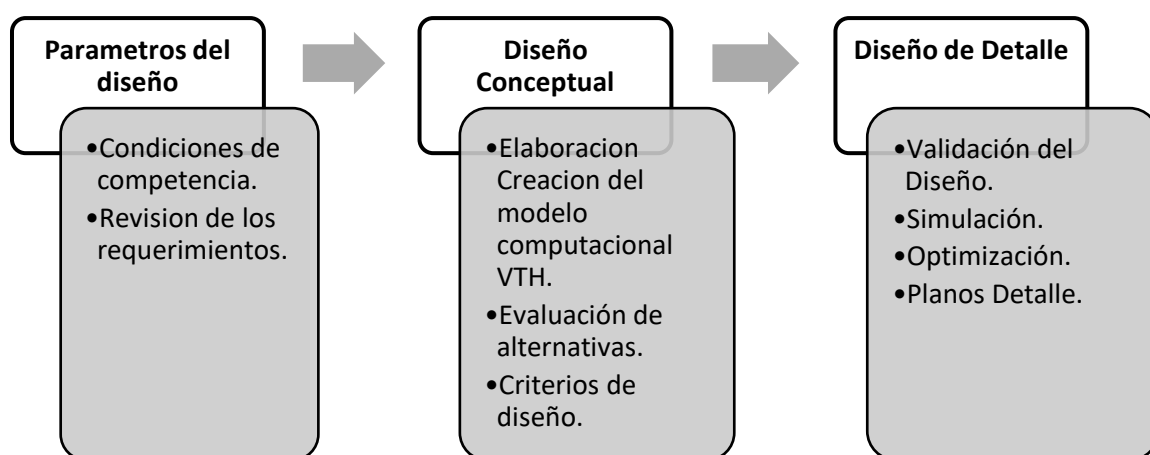


Figura 9. Paso a paso para la elaboración del VTH.

### 6.1. Definición de Parámetros de Diseño

Para avalar que el VTH cumple con los requerimientos propuestos en las normas de la Competencia Nacional, es importante identificar los parámetros de diseño, los cuales, son las condiciones mínimas necesarias que no pueden ser cambiadas en el momento de hacer una mejora al diseño.

Se establece que todos los vehículos deben tener un Sistema de Protección Antivuelco (RPS por sus siglas en inglés) que proteja al conductor en caso de accidente. Un RPS funcional debe:

- Absorber suficiente energía en un accidente severo para minimizar el riesgo de heridas.
- Prevenir contacto físico significativo con el suelo en caso de caída (de lado) o vuelco (invertido).
- Proveer resistencia abrasiva adecuada para proteger en caso de deslizamiento en el suelo.

En el diseño de un VTH se debe tener en cuenta la comodidad del piloto y su ergonomía, donde se tiene en cuenta el espacio que debe tener para sus extremidades, ya que estos aspectos pueden afectar en gran medida el funcionamiento del vehículo. La comodidad del piloto ayuda a disminuir su agotamiento, lo cual se quiere evitar para que no afecte la entrada de potencia en el vehículo. Sin duda un mejor VTH es aquel en que el piloto se siente más cómodo, por lo que, en la realización del presente proyecto, se tuvo en cuenta el ángulo de inclinación de la silla del conductor, para que tuviese la mejor comodidad y poco agotamiento en su espalda, el ángulo de inclinación por recomendaciones médicas es de  $60^\circ$  con respecto a su horizontal. (Ospina Fabra & Hernández Zapata, 2019)



Figura 10. Referencia de la posición del piloto en un VTH y su inclinación con respecto a la horizontal.

Tomado de (Tello Ortiz , 2014)

## 6.2. Condiciones de la Competencia

No	Categoría	Requisito
1	Cada vehículo debe demostrar que puede detenerse de una velocidad de 25 km/h en 6m.	REGAS COMPETENCIA NACIONAL DE VEHICULOS DE TRACCIÓN HUMANA COLOMBIA 2018.
2	Puede girar en un radio de 8 metros.	
3	Demostrar estabilidad al moverse 30 metros en línea recta a una velocidad de 5 - 8 km/h.	
4	El RPS debe garantizar que ninguna parte cuerpo del conductor toque el suelo en una condición de vuelco o caída.	
5	El RPS debe soportar una carga de 200 kg que se ubicará en la parte superior del vehículo, sin embargo, se debe realizar una simulación de diseño para una carga de 2760 Newton (N).	
6	El RPS debe soportar una carga de 1330 N, la cual debe aplicarse de manera horizontal al nivel del hombro.	
7	Arnés de seguridad.	
8	Acabado exterior e interior sin bordes afilados.	

Tabla 1. Categorías de las reglas de la competencia Nacional de VTH en Colombia

### 6.3. Marco de Diseño

El marco del diseño es de un VTH tipo renacuajo (ver Figura 11). Para la elección de este diseño, se tuvo en cuenta primeramente la ergonomía para el conductor, dándole un ángulo de  $50^\circ$  con respecto a la horizontal, teniendo a lo ancho una gran envergadura para la espalda, dándole una mejor comodidad a este. Además de esto, se tuvo en cuenta la seguridad del piloto debido a la estabilidad generada por el diseño que se plantea.

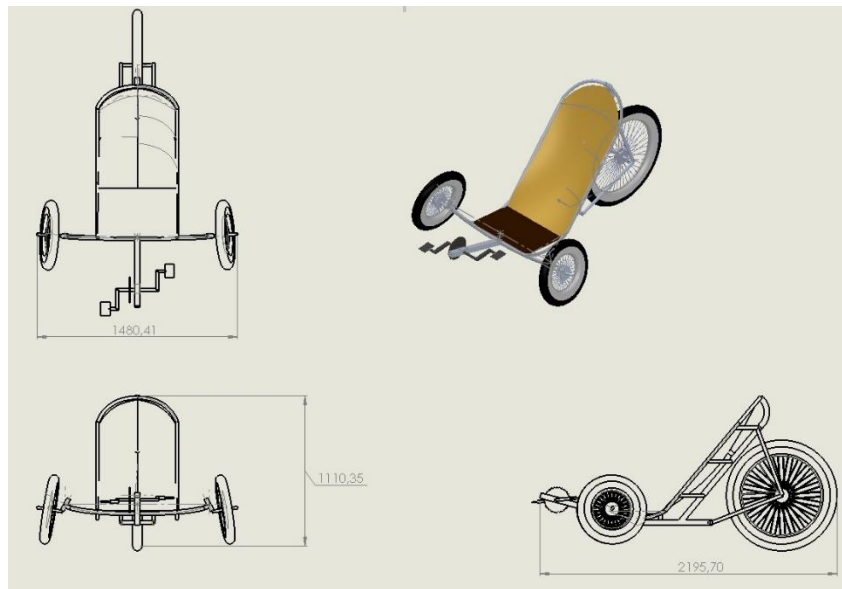


Figura 11. Diseño del marco del VTH.

En la Tabla 2 se muestran las alternativas principales para el diseño del VTH, se escogieron de acuerdo con los parámetros de diseño descritos en la Tabla Reglas VTH. Cada una de estas alternativas se evaluó con una puntuación de 0 a 5 para cada criterio, de acuerdo con su nivel de cumplimiento, 0 si no cumple el criterio seleccionado y 5 si cumple satisfactoriamente

<b>Criterios</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Valoración</b>	<b>Descripción</b>
Ergonomía	20,00%	5	Se tuvieron en cuenta cada una de las características de los pilotos y la posición a la hora de manejar el VTH de tal forma de potencializar su desempeño en el mismo
Material	15,00%	4	A partir de la relación peso-resistencia se escogió el material
Peso	10,00%	3,5	
Economía	20,00%	5	Se tuvo en cuenta para el fácil acceso (compra) del VTH
Seguridad	20,00%	5	Punto muy importante para la competencia y para la creación del diseño
Arrastre Aerodinámico	15,00%	3	Característica que se tuvo en cuenta para quitarle resistencia al momento de estar el VTH en movimiento
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>4,4</b>	

Tabla 2. Criterios de diseño del VTH.

El primer criterio consiste en que el piloto pueda estar en una posición en la cual esté cómodo y pueda potencializar la fuerza ejercida en el pedal, teniendo como objetivo, conseguir una mayor velocidad en el vehículo. Además, se debe utilizar materiales que estén equilibrados en la relación peso/costo, esto para una mayor economía al momento de diseñar el VTH y hacer que el proyecto sea viable. Se estableció que el vehículo debe tener la mayor seguridad posible que se le pueda brindar al piloto, por último, se desea obtener un buen arrastre aerodinámico.

#### **6.4. Diseño Conceptual**

La metodología utilizada para realizar el diseño conceptual es de Blanco *et al.* (2014). En primer lugar, se investigaron las diferentes características que presentan los VTH existentes, para poder identificar los que cumplen con los criterios establecidos anteriormente.

El autor determina la mejor estabilidad en curva, en frenado, ergonomía, seguridad y economía de cada uno de los prototipos. Por medio de la ponderación de matriz, el autor concluye que el modelo ideal es el Tadpole acostado, ya que, posee la relación idónea entre

costo, desempeño y facilidad de manufactura, considerando usar una aleación 6061 de aluminio, la cual tuvimos en cuenta para la realización del VTH.

El diseño del vehículo de este trabajo se dividió de acuerdo con las necesidades asociadas para completar el vehículo de competencia, se realizó un énfasis en el diseño del bastidor, la transmisión y posición del sillín. Siendo así, se le asignó un diseño y ejecución particular a cada una de estas áreas.

### **6.5. Descripción del diseño**

Se presenta para el diseño de este VTH un marco tipo renacuajo como se muestra Figura 11, el diseño de este marco fue realizado en el programa SolidWorks, teniendo en cuenta los componentes que conforman a este (medidas del piloto, ergonomía, pedaleo, entre otras) debido a la importancia que generan en el diseño de los VTH.

Para el material del marco se eligió un aluminio 6061-T6, después de haber comparado con diferentes materiales y revisar su comportamiento al momento de realizarle ciertos esfuerzos con una carga determinada en puntos determinados.

### **Estados básicos de tratamiento del aluminio**

#### **T6: Tratamiento térmico de solución (1), temple (1) y maduración artificial**

Aplicado a los semiproductos que después de un tratamiento de solución temple brusco y maduración artificial mejoran sus propiedades mecánicas. Se incluyen en este estado los productos que después del temple son sometidos a un aplanado o enderezado por tracción sin efecto sobre las propiedades mecánicas.

Material	Fuerza de tensión	Límite Elástico	Elongación
Al 6061	120 MPa	55 MPa	25 – 30 %
Al 6061-T6	290 MPa	310 MPa	8 %
Al 6063	130 MPa	144,78 MPa	18 %
AISI 4130	670 MPa	435 MPa	25,5 %
Al 1060	68,9 MPa	27,6 MPa	33,7 %

Tabla 3. Especificaciones de materiales. Tomado de (ResearchGate, 2020)

El vehículo tiene una configuración de un triciclo tipo renacuajo, con el sistema RPS requerido por las normas de la competencia nacional de VTH, dando seguridad al piloto en caso de ser volcado. (ver Figura 12).

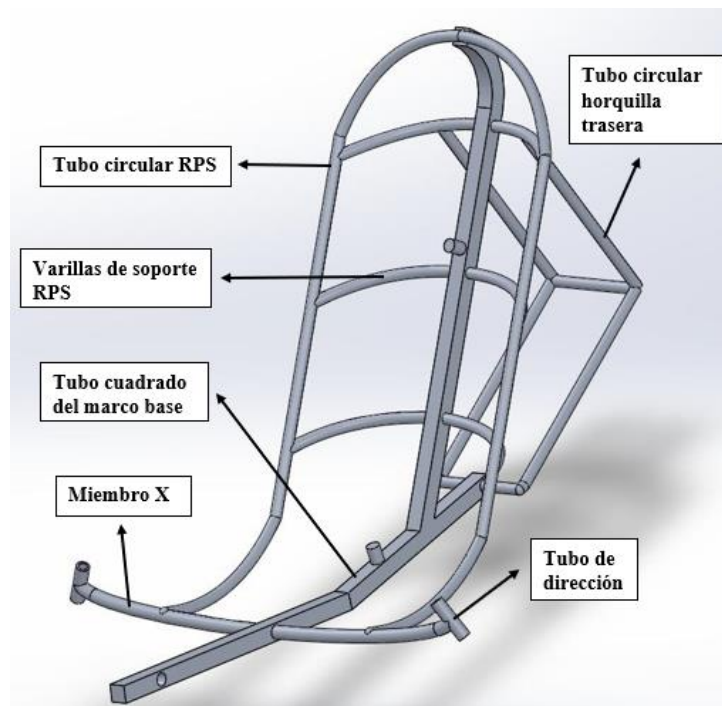


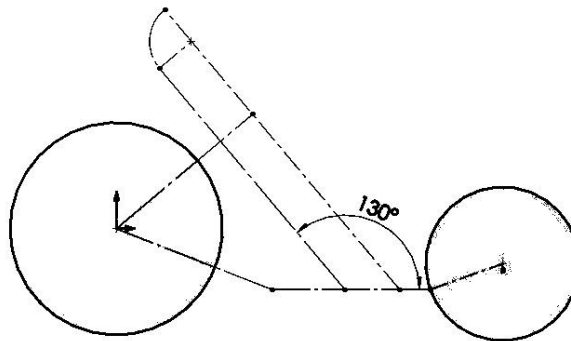
Figura 12. Partes del marco del VTH.



En el diseño del marco se añadieron secciones rectangulares para así obtener un mayor momento de inercia y polar, teniendo como resultado, una mejor resistencia a la flexión y la torsión.

A partir de la investigación realizada en ergonomía, se encuentran los siguientes puntos:

El ángulo de la espalda del muslo modifica el esfuerzo realizado por los discos intervertebrales. Se consideran  $90^\circ$  para trabajar de  $95$  a  $100^\circ$  para una postura normal y de  $110$  a  $130^\circ$  para descansar. El ángulo de decúbito de nuestro VTH es de  $130^\circ$  (Figura 13).



*Figura 13.* Ángulo de inclinación de la silla del VTH.

Según un estudio realizado por Nemecek y Grandjean (Grandjean, 1973), la espalda representa el 57% del rendimiento del trabajo a realizar. La forma debe adaptarse anatómicamente a las diferentes curvas de la columna y las diferentes antropometrías, además también debe ser muy envolvente. Por eso se adapta a un asiento que cumpla con estas especificaciones.

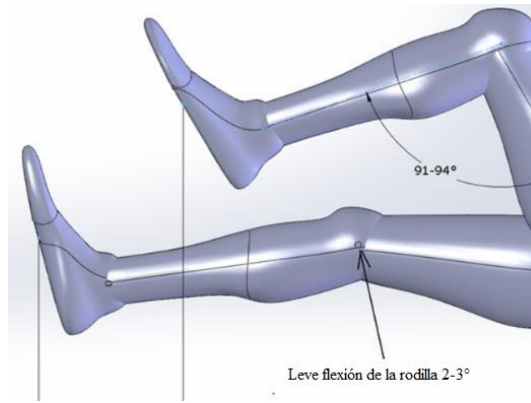


Figura 14 Ángulos y posición de pedaleo.

La distancia entre ejes del diseño del donante es de 1275mm; la rueda trasera es de 700 mm, la rueda delantera es de 514,0mm; el centro de gravedad sin el ciclista se encuentra a 106 mm de la parte delantera. La distribución del peso es del 66% en las ruedas delanteras y del 33% en la trasera. Todas estas características contribuyen a un diseño ergonómico orientado al rendimiento con un factor de seguridad óptimo.

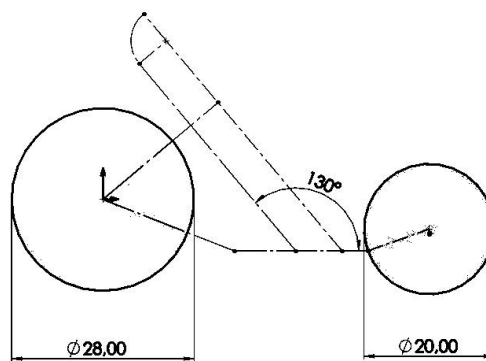


Figura 15. Dimensiones de las ruedas e inclinación de la silla del VTH.

Para el diseño de la dirección se tuvieron en cuenta el ángulo de la dirección, la inclinación, la condición de Ackerman. Además de eso, el tipo de dirección elegida es de U con nudillos, debido ser un tipo de dirección de que se acopla a las necesidades del conductor y es fácil de ensamblar al momento que se deseen construir este diseño.

En la condición de Ackerman los ángulos de las ruedas están planteado de la siguiente forma:

$$\delta_o = \tan^{-1}\left(\frac{2L}{4L + t}\right) \quad (1)$$

$$\delta_i = \tan^{-1}\left(\frac{2L}{4L - t}\right) \quad (2)$$

El ángulo medio de las ruedas delanteras se define como ángulo de Ackerman:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{L}{R}\right) \quad (3)$$

Los términos Dirección de Ackerman o Geometría de Ackerman son frecuentemente usados para denotar la geometría de las ruedas delanteras según la Figura 16.

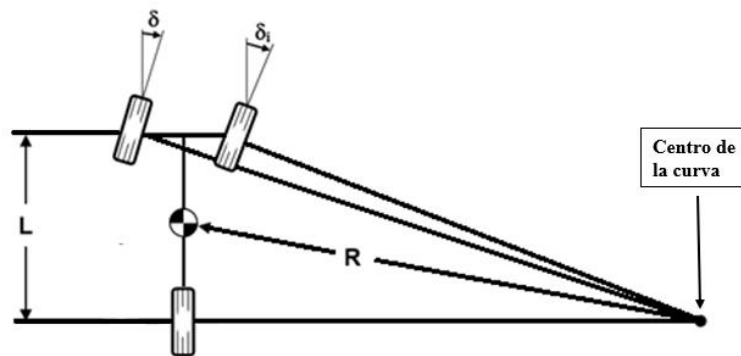


Figura 16. Geometría de giro de un vehículo

## 6.6. Radio de giro máximo (R)

Este radio viene dado de forma tal que el vehículo pueda girar describiendo un círculo de diámetro  $n$  veces mayor al de la distancia entre ejes. La distancia ( $t$ ) entre pivotes recibe el nombre de vía, la distancia ( $L$ ) entre ejes es llamada a su vez batalla (Mateus & Pérez, 2009).

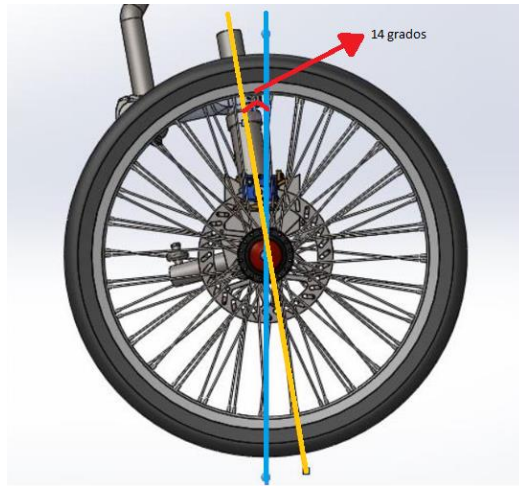


Figura 17. Ángulo de caster.

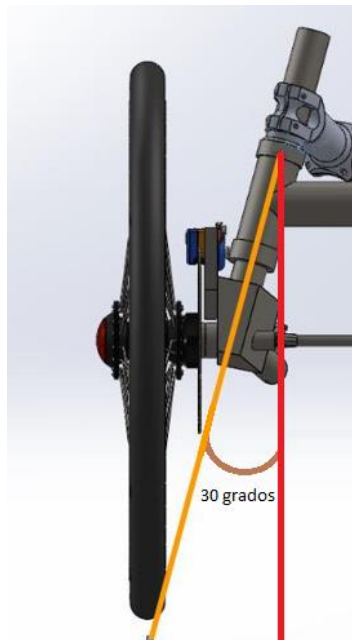


Figura 18. Ángulo de kingpin.

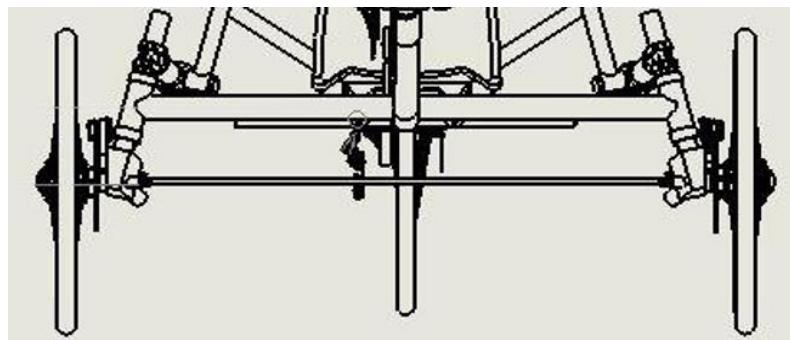


Figura 19. Convergencia y divergencia (Toe in and Toe out).

## 6.7. Frenos

Se eligieron frenos de disco para el VTH diseñado, los cuales se ubicarán en todas las ruedas de este. La elección de este tipo de frenos es debido a que presentan una mayor fuerza mecánica que otros tipos de freno, dando una mayor duración debido a que se desgastan lentamente



*Figura 20.* Freno de disco.

## 6.8. Ruedas

Se tuvo en cuenta el tamaño de la rueda, ya que son importantes para la distribución de carga superior y las velocidades que se dan en el VTH. Se escogió una rueda trasera de 700 mm y una rueda delantera de 514 mm, se tomó la decisión de una rueda trasera grande debido a que disminuyen la resistencia a la rotación y la traslación, en cuanto a la elección de una rueda delantera más pequeña se debe a que tienen menor resistencia a altas velocidades. El cassette de engranajes está montado en la rueda trasera.

### 6.8.1. *Cassette:*

Este es la unión de una cantidad específica de piñones según el fabricante, que tienen como función cambiar las variar las velocidades manualmente mediante un desviador. El

cassette propuesto para este VTH es de 7 piñones, utilizando un sistema de desviador que proporcione el cambio de marchas en el triciclo de manera más eficiente.

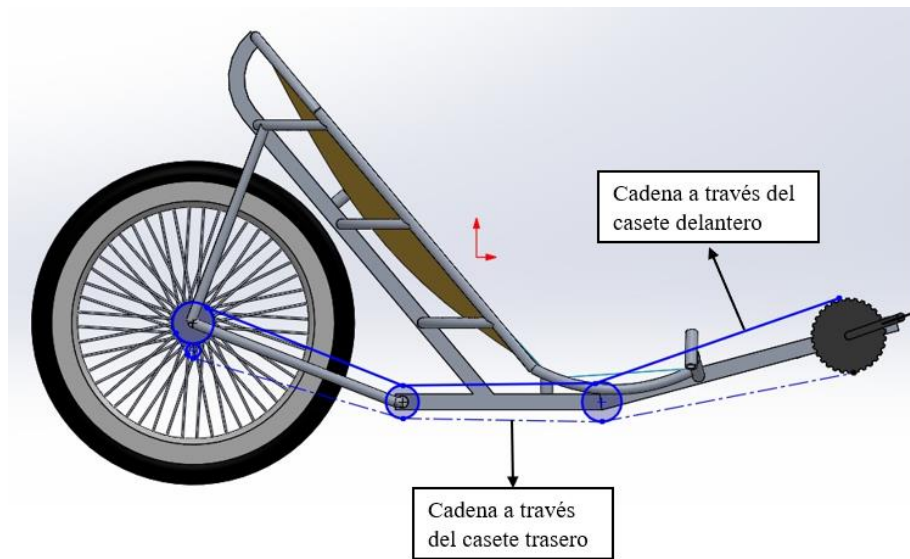


Figura 21. Diseño del sistema de cassette del VTH.

## **7. Simulación**

### **7.1. Análisis antivuelco**

#### **7.1.1. Análisis de carga**

En la parte superior de la barra antivuelco, se aplicará una carga de 2670N dirigida hacia abajo y hacia la parte trasera del vehículo con un ángulo de 12° respecto a la vertical. No debe deformarse de manera que produzca el contacto con el casco, la cabeza o cualquier parte del cuerpo del piloto. No se deberá presenciar ninguna deformación plástica.

#### **7.1.2. Métodos y suposición**

Se aplicó una fuerza en la parte superior del antivuelco y se aplicaron algunas restricciones requeridas del bastidor principal junto con la horquilla trasera. Se sabe que esta fuerza realiza un efecto en la rueda trasera, pero es suficiente para soportarla. El análisis fue realizado en SolidWorks.

La distribución de tensión máxima resultante de Von Mises se muestra a continuación en la Figura 22. La tensión máxima se encuentra en la superficie de carga simulada y la parte superior del antivuelco. Con respecto a la geometría de modelado, la tensión en esta ubicación no será tan alta como predice el software de SolidWorks, ya que la función actúa como un concentrador de tensión. Se puede concluir que el marco resistirá las pruebas dada la carga superior aplicada al antivuelco.

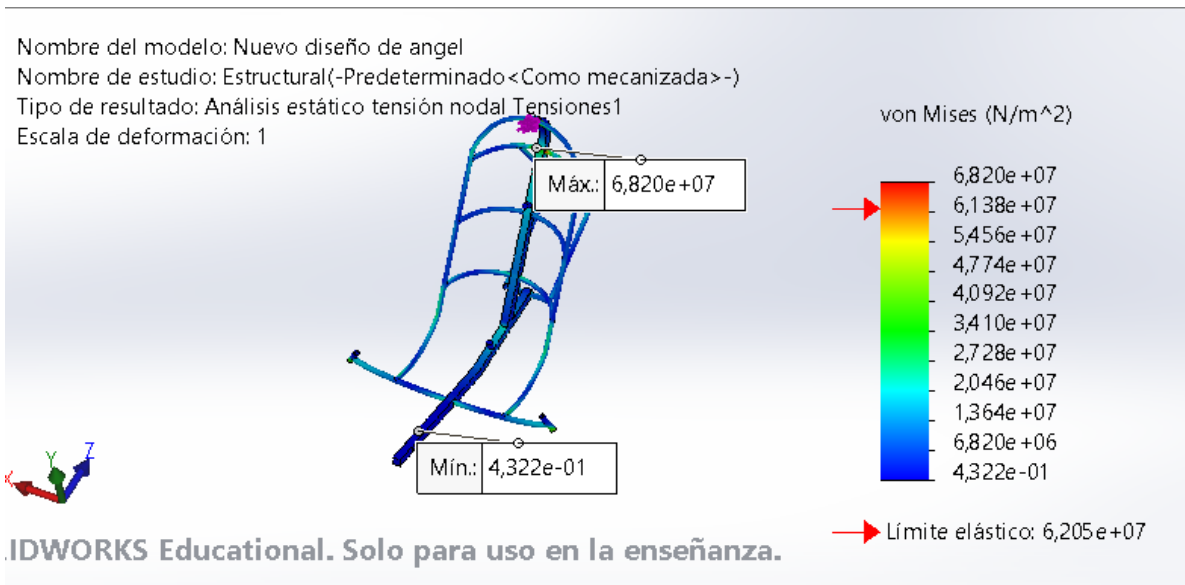


Figura 22. Simulación de Von Mises de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH.

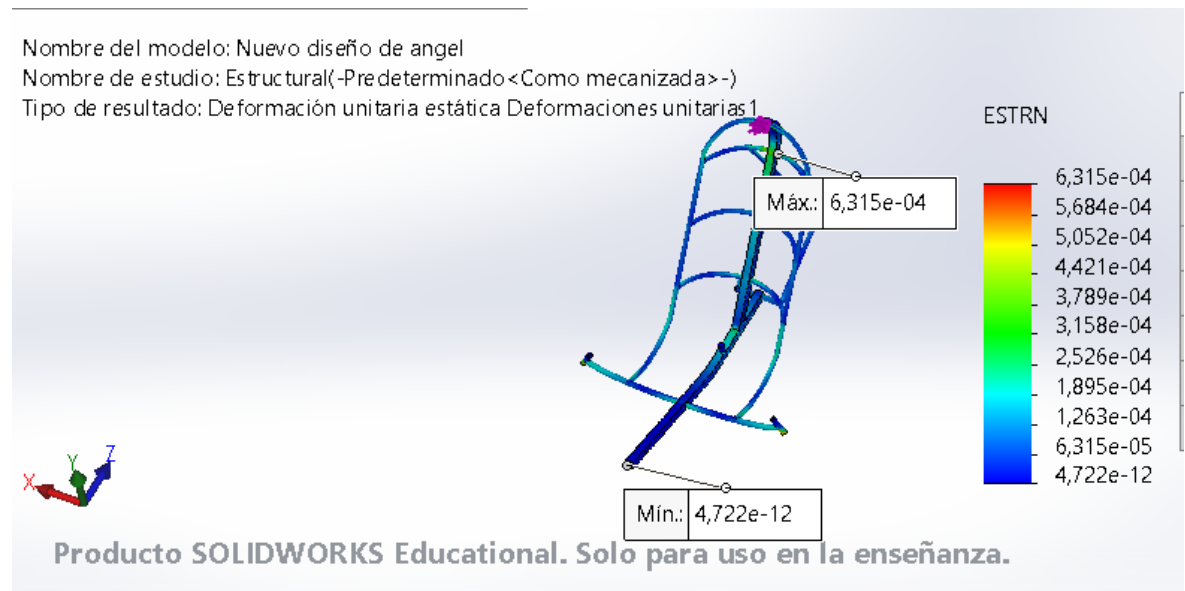


Figura 23. Simulación ESTRN de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH.



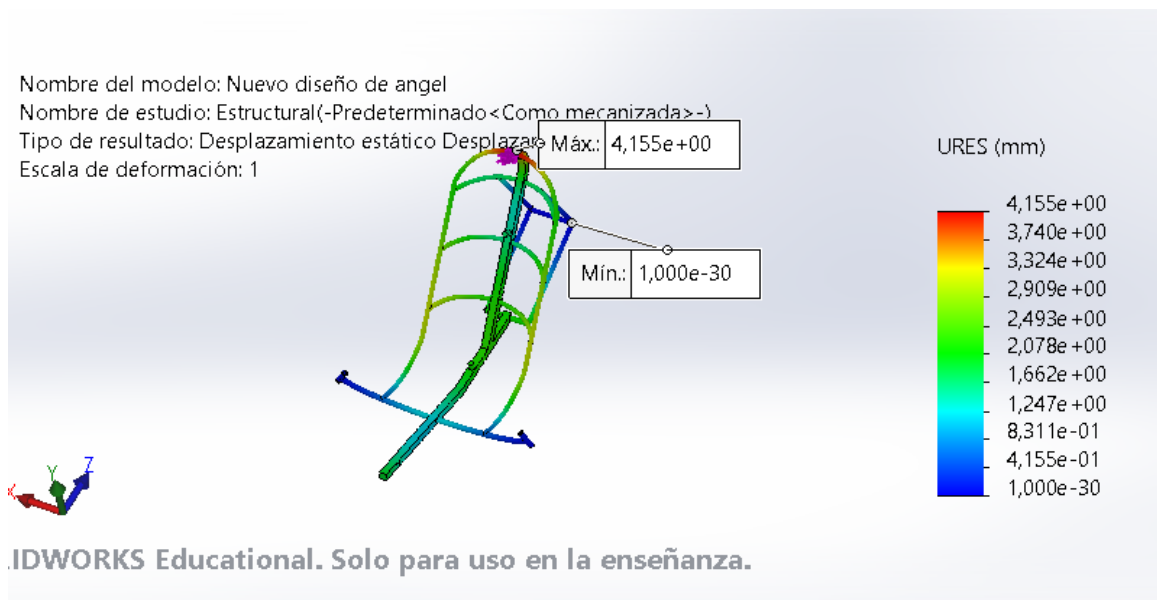


Figura 24. Simulación de URES de carga aplicada en la parte superior del marco del VTH.

Se puede ver que el antivuelco no sufre deformación permanente o plástica, teniendo en cuenta las dimensiones del RPS y de acuerdo con el límite elástico del material. Se somete a un criterio de falla por Von Mises que compara los esfuerzos normales y cortantes.

## 7.2. Análisis de carga lateral

### 7.2.1. Análisis de carga

Se aplicará una carga de forma horizontal de 1330 N, al costado de la barra antivuelco, a la altura del hombro; la fuerza reactiva se aplica al asiento o punto de sujeción de la misma barra. No se realizará al otro lado de la barra antivuelco. No hay indicios de deformación permanente, fractura o delaminación ni en la barra antivuelco, ni en el bastidor del vehículo. No debe deformarse de forma que se produzca el contacto con el casco del conductor o la cabeza.

### 7.2.2. Métodos y Suposición.

La carga aplicada al antivuelco fue de manera lateral, como se muestra en la figura; las restricciones se aplicaron en las partes principales del bastidor junto con la horquilla trasera.

Se presumió que el arco principal estaría afectado por cierta deformación. Sin embargo, el marco era resistente y pudo soportar la fuerza.

Para realizar el análisis de carga lateral, se aplicó una carga de 1330 N al costado del antivuelco, representado por flechas magentas en la Figura 25. Se realizó nuevamente para realizar la prueba de carga lateral en el vehículo.

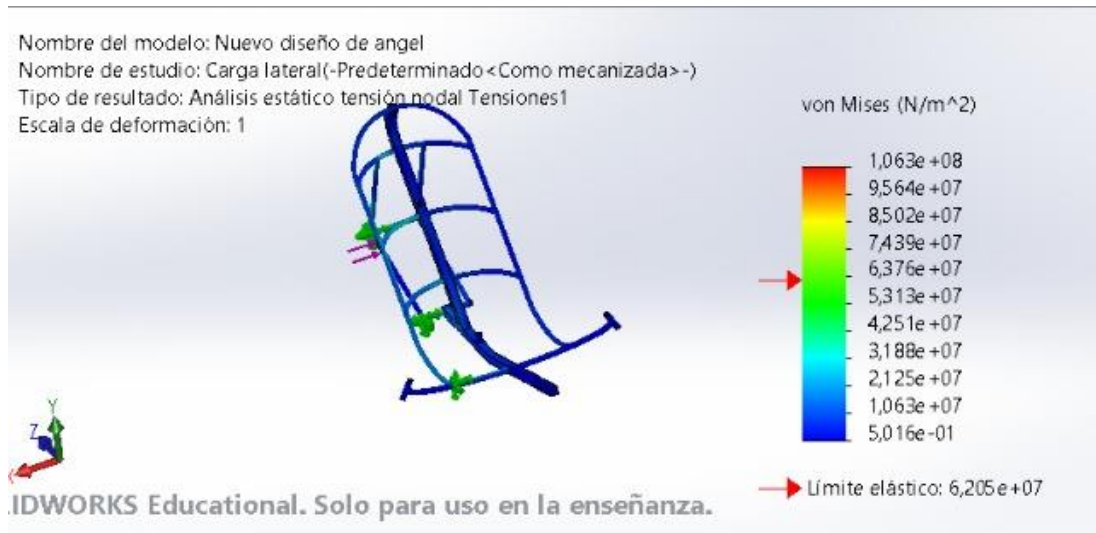


Figura 25. Simulación de Von Mises de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH

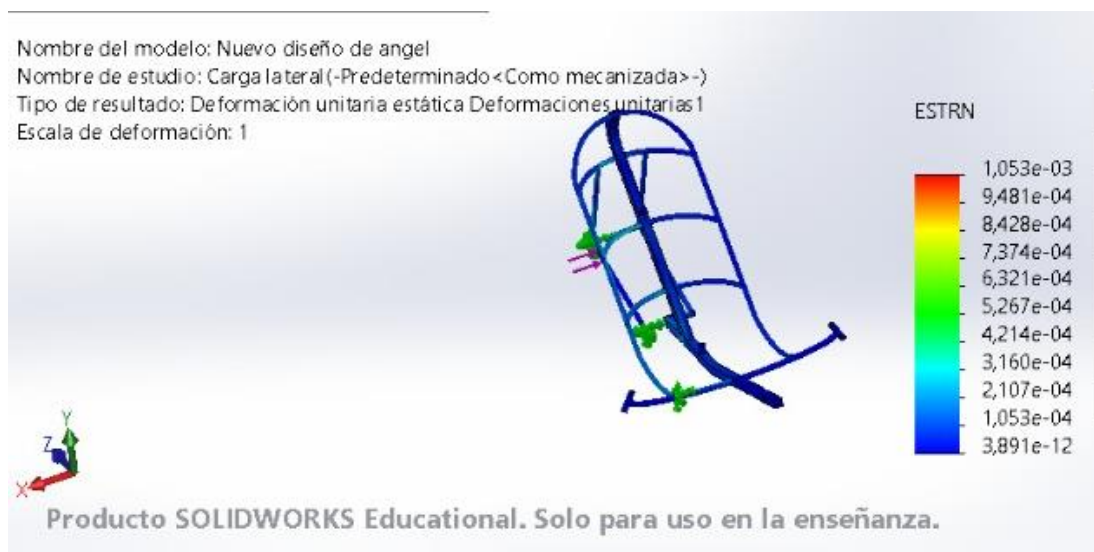


Figura 26. Simulación de ESTRN de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH.

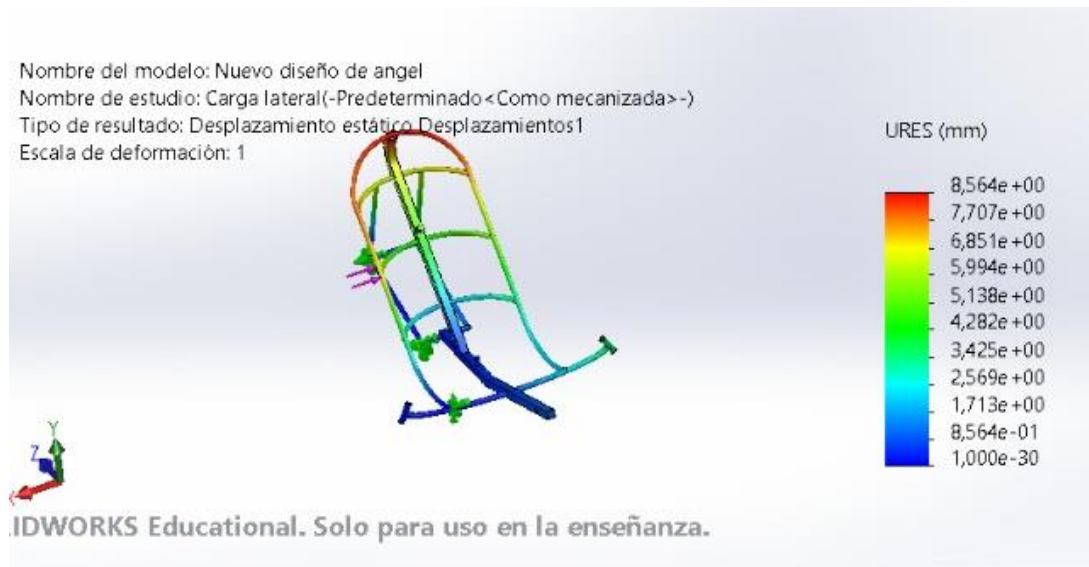


Figura 27. Simulación de URES de carga aplicada en la parte lateral del marco del VTH.

La gráfica de desplazamiento máximo resultante se muestra en la Figura 27. Se encontró que el desplazamiento máximo, 8.56 mm, ocurre en la esquina superior del antivuelco en el tubo circular, en el lado más cercano a la carga aplicada. Dado que el desplazamiento máximo es significativamente menor a la distancia que se encuentra el piloto, se espera que el marco supere los estándares de prueba para la competencia.

Al someter el material a una carga lateral en los tubos de RPS, se observa que es resistente y no afecta la seguridad del piloto, por ende, consideramos en seguir haciendo otros análisis al vehículo. Cumple con el reglamento.

### 7.3. Análisis Estructural

#### 7.3.1. Carga en el Pedal

El objetivo que tiene este análisis es evaluar el resultado de la carga que se da en el pedal del VTH, así mismo comprende la deformación y tensión máxima que experimenta por la pieza que se dará con una determinada carga. Para este análisis se aplica una carga de 400N en la región del pedal verticalmente.

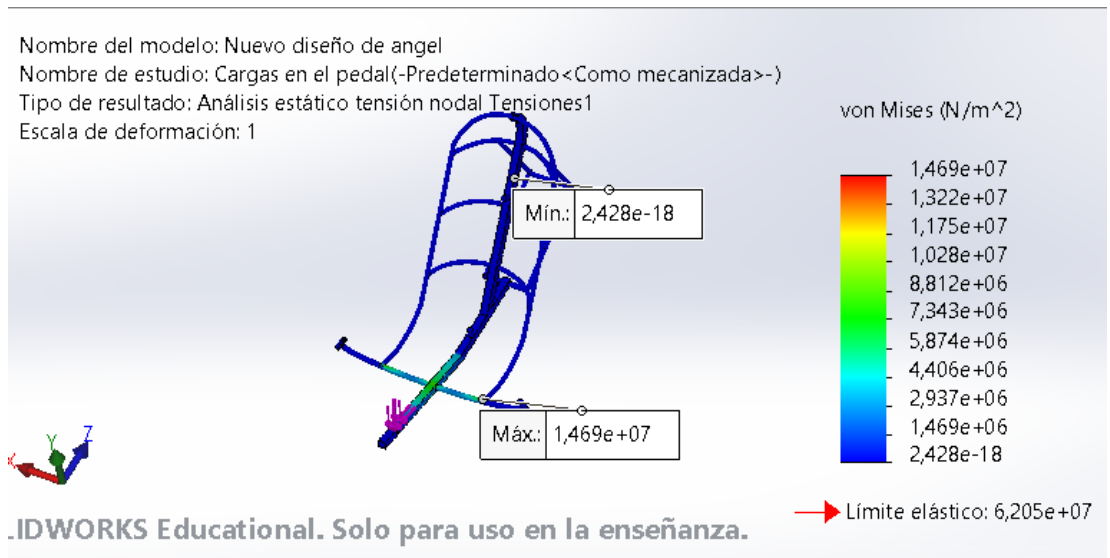


Figura 28. Simulación de deformación y tensión en carga en el pedal.

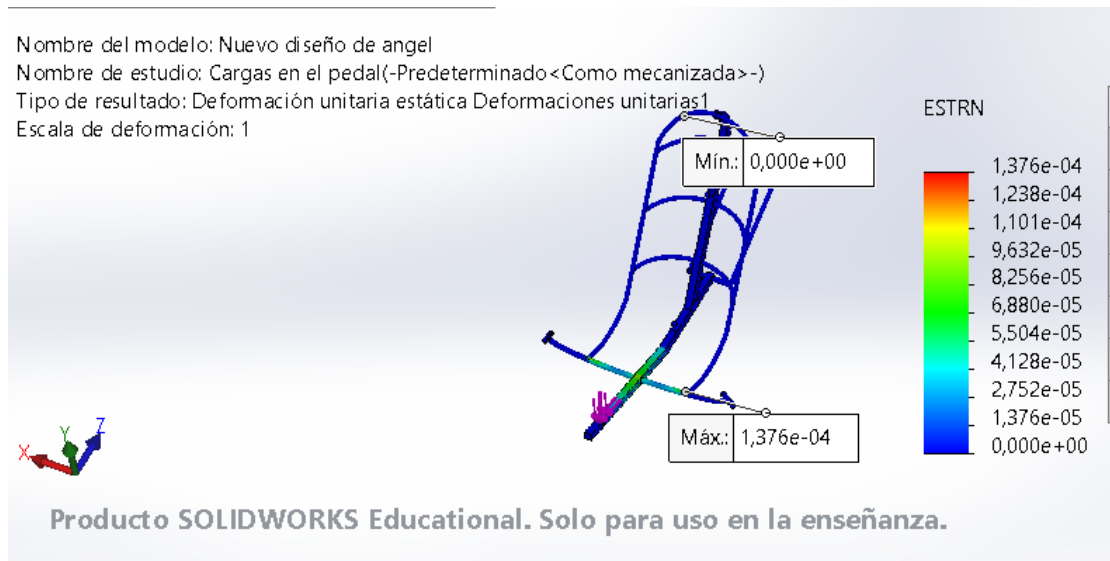


Figura 29. Simulación de deformación unitaria en carga en el pedal.

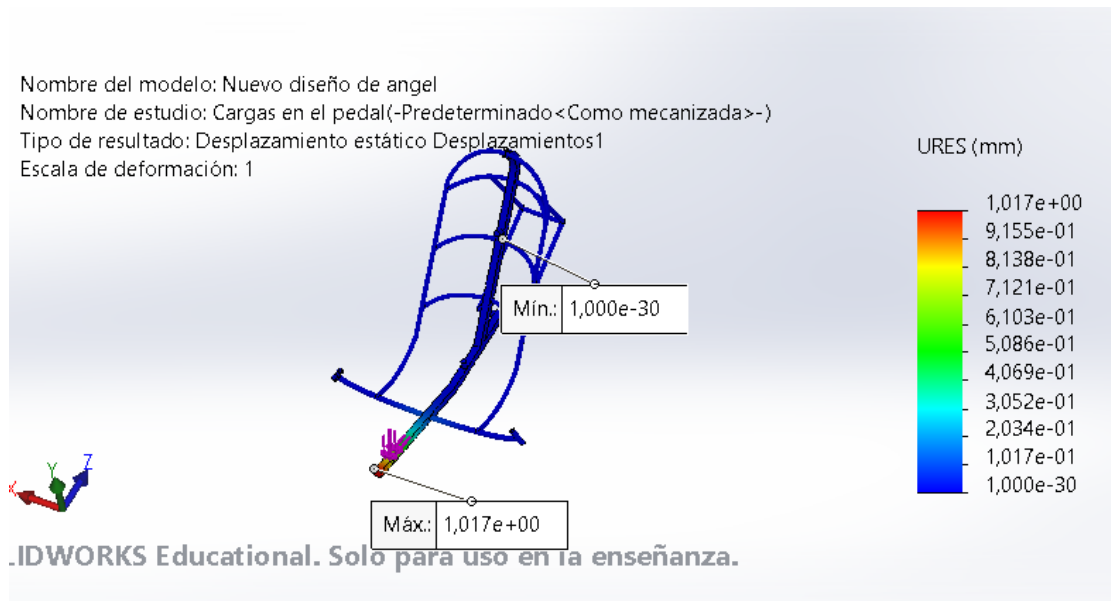


Figura 30. Resultado de desplazamiento estático en carga en el pedal.

El Antivuelco se examinó bajo el criterio de Von Mises que experimenta un criterio de falla en función del esfuerzo, en la deformación unitaria, tenemos que las dimensiones por deflexión son mínimas. El material es resistente y soporta la carga ejercida.

#### 7.4. Análisis de carga en el pivote

Se busca evaluar el efecto de la carga sobre el pivote maestro y el área de la rueda trasera del VTH, para así comprender la deformación y tensión máxima que experimenta la pieza con una determinada carga.

Se realiza una simulación en el software SolidWorks donde se hace un análisis de carga para el pivote maestro y el área de la rueda trasera que tiene un 66% del peso en el eje delantero y un 33% en la parte trasera. Se distribuye y se aplica una carga de 900N.

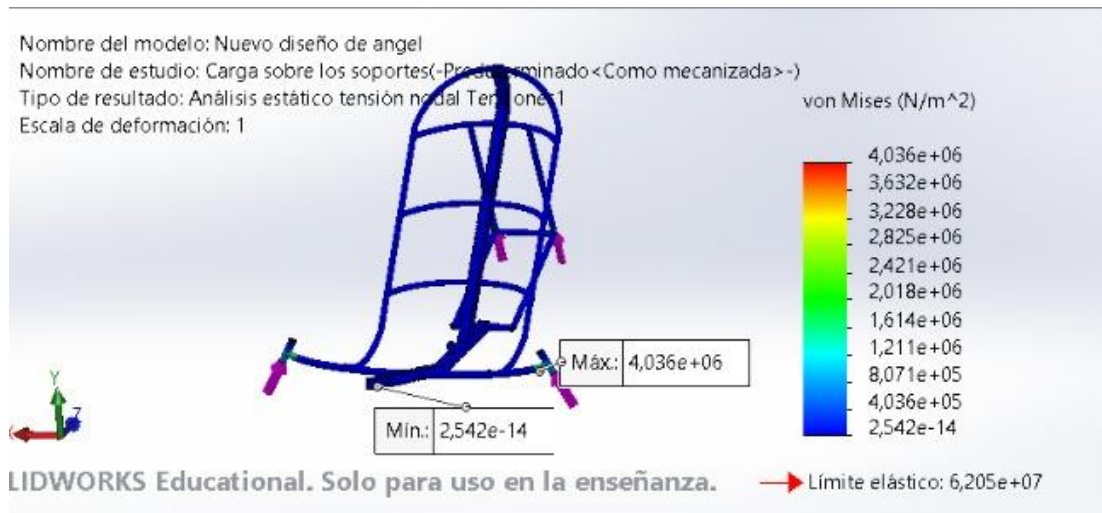


Figura 31. Simulación de deformación y tensión en carga en el pivote.

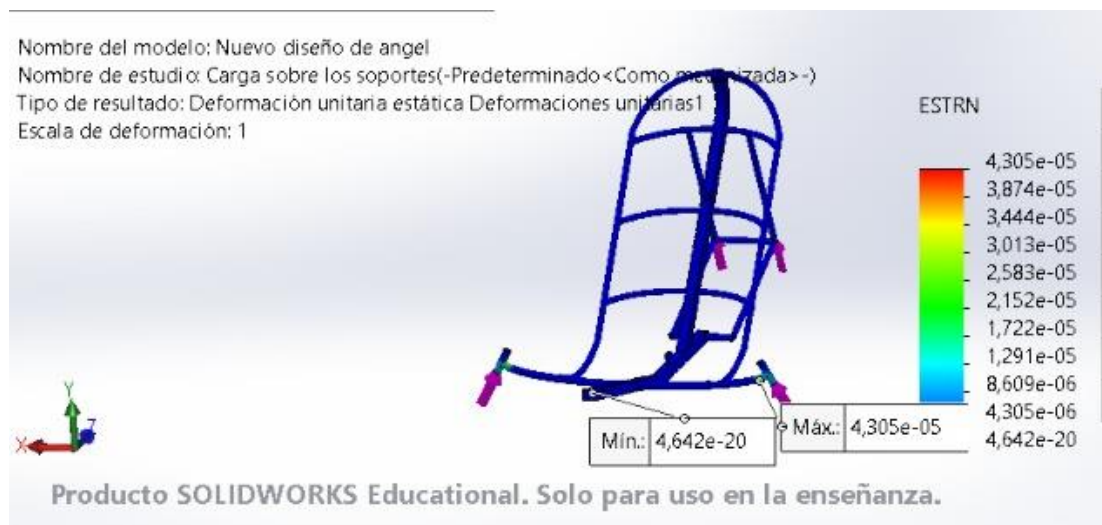


Figura 32. Simulación de deformación unitaria estática en carga en el pivote.

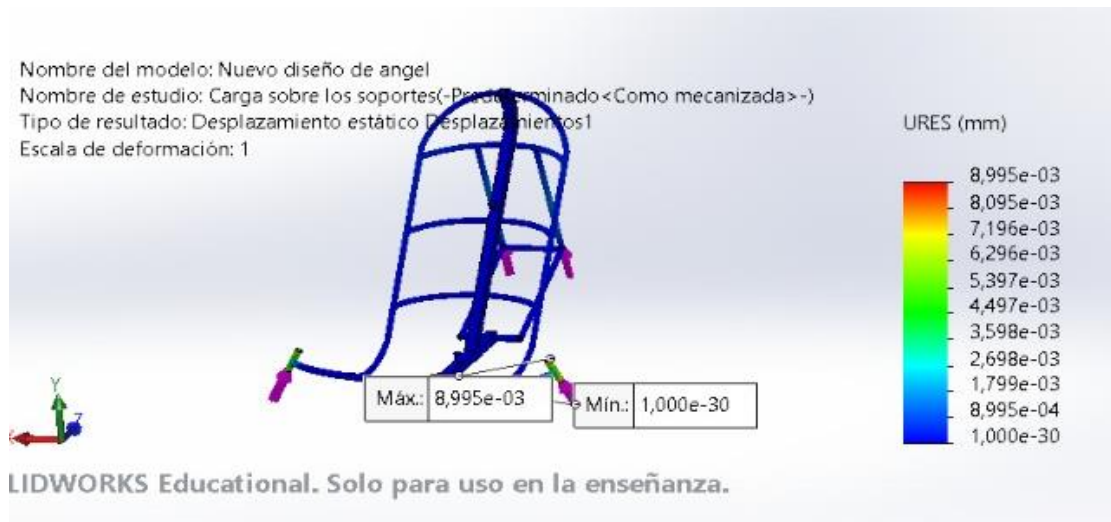


Figura 33. Simulación de desplazamiento estático en carga en el pivote.

Al poner el Antivuelco en estudio, el desplazamiento es mínimo al momento de comparar cuanto se deforma en el pivote con las tensiones implícitas. Siendo con este el ultima puesta en prueba de esfuerzos; el material escogido y la forma del vehículo demuestra que se encuentra en condiciones para la competencia.

## 7.5. Análisis adicionales

### 7.5.1. Centro de gravedad

Una vez que se obtuvo las coordenadas (x,y,z), se pueden tomar las propiedades del centro de gravedad de un vehículo sin el conductor. Las cuales tienen un fuerte efecto sobre la estabilidad en las curvas.

Propiedades de masa de ensamble	
Configuración	Predeterminado
Sistema de coordenadas	predeterminado

Tabla 4. Propiedades de centro de gravedad de un vehículo.

Datos del VTH.

$$\text{Masa} = 87807,65 \text{ gramos}$$

*Volumen = 41231696,8 milímetros cúbicos*

*Área de superficie = 3646943,49 milímetros cuadrados*

Centro de masa: (milímetros)

$$X = -72,16$$

$$Y = -198,48$$

$$Z = -180,05$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$$tx = (-0,01 ; 0,17 ; 0,99) \quad Px = 23907343157,85$$

$$lx = (1,00 ; 0,00 ; 0,01) \quad Py = 31889239525,40$$

$$lz = (0,00 ; 0,99 ; -0,17) \quad Pz = 48888317583,25$$

Momentos de inercia: (gramos \* milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$Lxx = 31888633171,82 \quad Lxy = -2596839,84 \quad Lxz = -70426206,09$$

$$Lyx = -2596839,84 \quad Lyy = 48179841479,35 \quad Lyz = 4146797360,05$$

$$Lzx = -70426206,09 \quad Lzy = 4146797360,05 \quad Lzz = 24616425615,32$$

Momentos de inercia: (gramos \* milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$Lxx = 38194557564,63 \quad Lxy = 1255017541,28 \quad Lxz = 1070411552,20$$

$$Lyx = 1255017541,28 \quad Lyy = 51483710585,68 \quad Lyz = 7284846379,57$$

$$Lzx = 1070411552,20 \quad Lzy = 7284846379,57 \quad Lzz = 28532892348,15$$



## Métodos y Suposición.

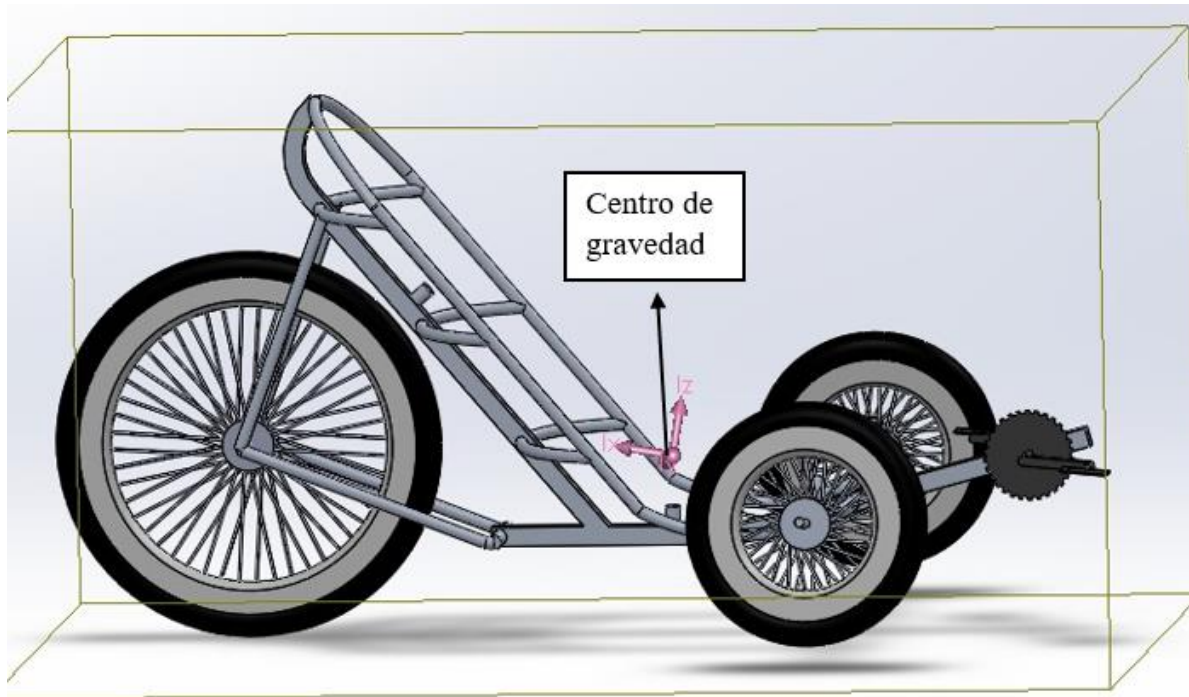


Figura 34. Entro de gravedad el VTH en un plano 3D

## Resultados

Entradas de peso	Variable
30	$W_v$ , Peso del vehículo (kg)
80	$W_p$ , Peso de la persona (kg)
<b>Entrada centro de gravedad</b>	
729,7	CGx, centro de gravedad del vehículo desde la rueda delantera (mm)
380,115	CGz, centro de gravedad del vehículo desde el suelo (mm)
700	D1, CGx, distancia de la rueda delantera al ciclista (mm)

480	D2, CGz, distancia al ciclista desde el suelo (mm)		
1120,51	I , distancia de la rueda delantera a la trasera (mm)		
<b>Salida centro de gravedad</b>			
$Wt = Wv + Wp$	Peso total, Wt	110	kg
$W\% = \left(\frac{CGx}{I}\right) * 100$	Distribución del peso en la rueda delantera, W%	65,122	%
$CGxvp = \left(\frac{Wv * CGx + Wp * D1}{Wv + Wp}\right)$	Centro de gravedad del vehículo y de la persona, CGxvp	708,1	mm
$CGzvp = \left(\frac{Wv * CGx + Wp * D2}{Wv + Wp}\right)$	Centro de gravedad del vehículo y de la persona, CGzvp	548,1	mm
$Wf = Wt * \left(\frac{I - CGxvp}{I}\right)$	Peso en las ruedas delanteras	61,52	kg
$Wr = Wt * \left(\frac{I - (I - CGxvp)}{I}\right)$	Peso en la rueda trasera	39,48	kg

Tabla 5. Valores y variables para la obtención del centro de gravedad del VTH.

Una vez realizado los cálculos encontramos que el centro de gravedad del vehículo se encuentra en la región del abdomen.

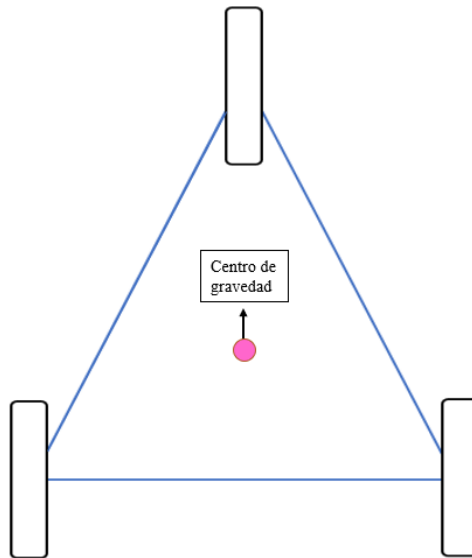


Figura 35. Centro de gravedad del VTH en un plano 2D

### 7.5.2. Análisis aerodinámico

En el análisis aerodinámico, se quiere asegurar de que exista una disminución en la fuerza de arrastre, minimizando las diferencias de presión.

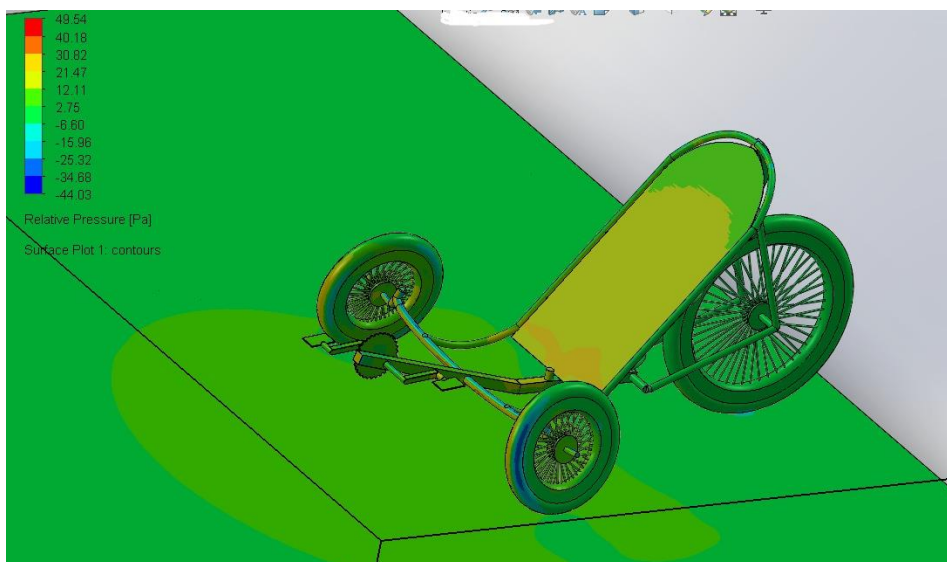


Figura 36. Simulación de análisis de aerodinámico del VTH (vista frontal).

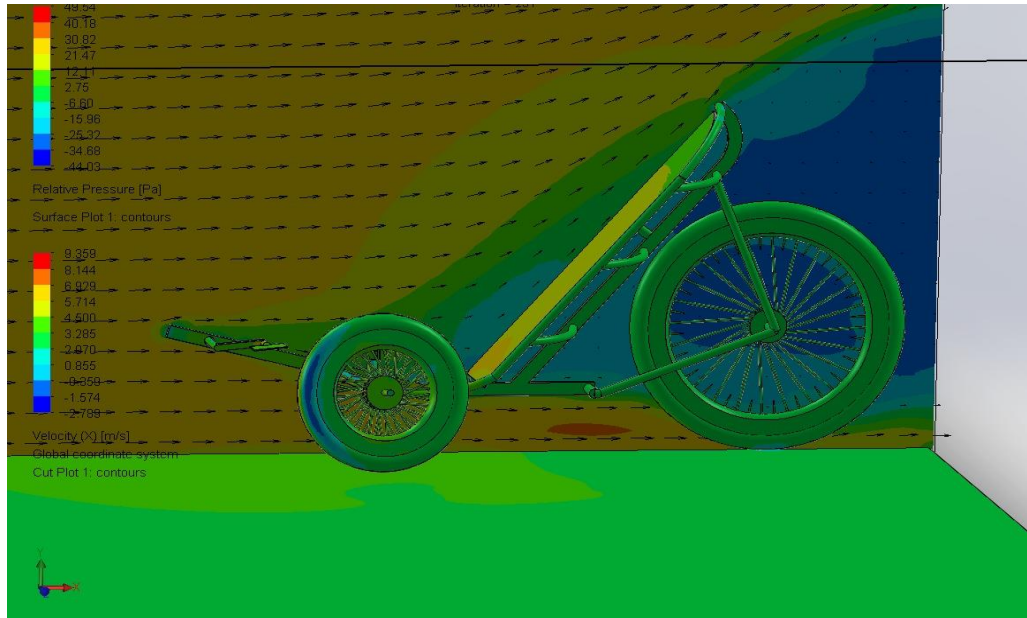


Figura 37. Simulación de análisis de aerodinámico del VTH (vista lateral).

Al realizar varios diseños de conducción y realizar un análisis aerodinámico, se llegó a la conclusión de que el mejor diseño, tiene menor resistencia y coeficiente de resistencia.

### 7.5.3. Análisis de dirección

Una vez realizado el análisis de centro de gravedad, se llegó a la conclusión de disminuir el radio de giro, por lo cual el centro de gravedad se ubicaba mas al frente. Usamos el sistema de dirección Ackerman para nuestra dirección.

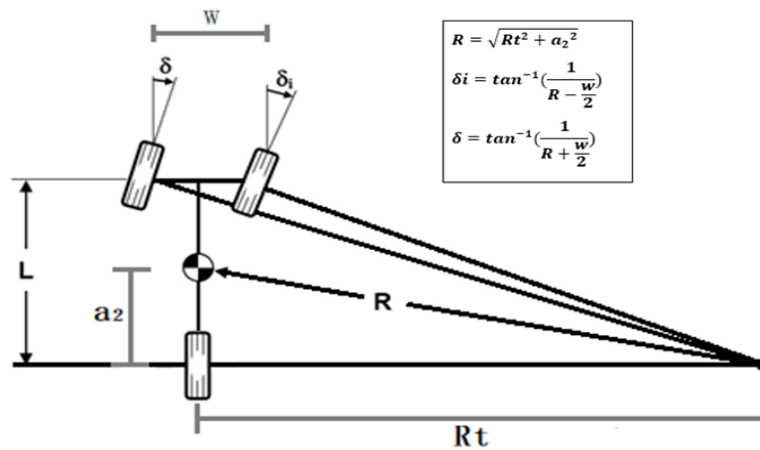


Figura 38. Análisis de dirección del VTH.

## Valores de entrada

$$L \text{ (rueda de base)} = 700 \text{ mm}$$

$$R_1 = 1997,3 \text{ mm}$$

$$W = 850 \text{ mm}$$

$$A_2 = 688,7 \text{ mm}$$

$$\theta_i = 33,26 \text{ grados}$$

$$\theta_0 = 23,57 \text{ grados}$$

$$R \text{ (radio de giro)} = 2112,76 \text{ mm}$$

Cálculo:

$$\text{Radio} = 2 \text{ m} \Rightarrow \theta = 24$$

$$\text{Radio} = 4 \text{ m} \Rightarrow \theta = 14$$

$$\text{Radio} = 6 \text{ m} \Rightarrow \theta = 9,73$$

$$\text{Radio} = 8 \text{ m} \Rightarrow \theta = 7,54$$

### 7.5.4. Análisis de frenado:

El objetivo principal de este análisis es detener el vehículo en la distancia mínima posible haciendo cumplir El Reglamento VTH 2018, lo cual cada vehículo debe demostrar que puede detenerse a una velocidad de 25km/h en 6m. Se decidió utilizar frenos de disco para detener el VTH y así cumplir con el objetivo del análisis.

## Cálculo de Frenado.

Se tuvieron en cuenta los siguientes datos y procedimientos

$$u = 25 \text{ km/h} = \text{velocidad inicial}$$

$$v = 0 \text{ km/h}$$

$\mu = 0,7$  = coeficiente de fricción entre el neumático y la superficie de la carretera

Distancia de frenado (asumido)

$$\frac{1}{2} * m * u^2 = \mu * m * g * 1$$

$$\frac{1}{2} u^2 = 0,7 * 9,81 * 1$$

$$1 = \frac{1}{2} * \frac{(25 * \frac{5}{18})^2}{0,7 * 9,81}$$

$$1 = 3,52m \text{ (Distancia de frenado)}$$

Desaceleración (asumido)

$$v^2 - u^2 = 2as$$

$$a = \frac{-u^2}{s \frac{m}{s^2}} = -4,8 \frac{m}{s^2}$$

Tiempo tomado (asumido)

$$v = u + at$$

$$t = 5,2s$$

Fuerza de frenado requerida (asumiendo la masa del vehículo + conductor = 110 kg)

$$F = masa * aceleracion = 528N$$

Por lo tanto, se requiere una fuerza de frenado de 528 N

El vehículo se detiene dentro de los 6 m a 25 km / h cuando se aplica una fuerza de frenado de 528N.

## **8. Conclusión**

El antivuelco resiste con éxito una carga superior de 2760 N y una carga lateral de 1330 N a la altura del hombro sin formar ninguna deformación permanente que atente contra el piloto. El pedal y pivote maestro manejan con éxito la carga sin deformaciones ni roturas. Se encuentra que el centro de gravedad fue modificado y se encuentra exactamente en la ubicación deseada. Se encuentra que el radio de giro es de alrededor de 2 m, que está cerca del radio analítico. El vehículo se detiene en un radio de 6 m 25 km/h, cumpliendo con el Reglamento VTH 2018.

### **8.1. Recomendación**

Al terminar el trabajo de grado, quisimos demostrar que no solo podemos diseñar un vehículo de tracción humana; también podemos realizarle mejoras e innovar. El objetivo de esta recomendación es hacer que nuestro VTH sea mucho más eficiente y fácil a la hora de usar.

#### **8.1.1. Frenos ABS**

Aunque sabemos que no son económicos, la utilización de estos en este vehículo haría un papel muy importante, ya que su función principal es evitar que las ruedas se bloqueen durante el frenado, manteniendo así el contacto de tracción con la superficie de la carretera.

#### **8.1.2. Material**

Se considera que un punto importante es el material por utilizar en la construcción de un VTH, para este caso, se recomienda aumentar el presupuesto para contar con un mejor material que el ya propuesto y utilizado en las simulaciones de carga, debido a que le aumentará la resistencia y confiabilidad al momento de realizar nuevos análisis. Además de tener un mejor material al momento de hacer la construcción del diseño propuesto.



## 9. Bibliografía

Alex, R. (2018). *Ruedas en acero catalogo*. Barcelona, España .

Banco Mundial. (22 de Septiembre de 2017). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial Web site: <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#1>

Beitz, G. P. (2004). *Engineering Design* (tercera edición ed., Vol. 3). London: Springer .

Bicycle Man. (20 de Febrero de 2017). *Bicycle Man* . Obtenido de Bicycle Man Web site: <https://bicycleman.com/about-recumbent-trikes/>

Bustamante Ospina, S. (22 de Enero de 2015). Análisis estructural de un vehículo de tracción humana para la competencia local de vehículos de tracción humana Antioquia 2018. Medellín, Antioquía, Colombia. Obtenido de Institucion Universitaria Reacreditada en alta Calidad Web Site: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1502>

Caraguay Correa, C. A., & Caraguay Correa, S. J. (Febrero de 2015). Diseño y Construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplace para la competencia fórmula student. Cuenca, Ecuador.

Carmichael, C., & Burke, E. R. (2004). *BICICLETA. Salud y ejercicio*. (3 ed.). Barcelona: Paidotribo.

Comisariado Europeo del Automóvil (CEA). (s.f.). Obtenido de Comisariado Europeo del Automóvil (CEA) Web site: <https://www.cea-online.es/blog/128-seguridad-activa-y-pasiva-del-vehiculo>

Compara en casa . (s.f.). *Compara en casa* . Obtenido de Compara en casa Web site: <https://www.comparaencasa.com/seguros-de-auto/conducir-seguro/seguridad-pasiva-del-vehiculo/>

De mountain bike. (s.f.). Obtenido de De mountain bike Web site :  
<https://demountainbike.com/piezas-bicicletas/frenos-bicicleta/>

Diseño y construcción de un vehículo de tracción humana (VTH) tipo triciclo, como alternativa al transporte urbano en la ciudad de Bogotá. (2019). Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

equipamentos, l. v. (2007). verde equipamento. *cribadora electrica*. sao paulo, guaratingueta, brasil. Obtenido de <http://verdeequipamentos.com.br/es/our-products/peneira-eletrica/#1469563014040-4fcfb63d-5b3ef10c-6d72>

Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito. (s.f.). LABORATORIO DE CONDICIONES DE TRABAJO. Bogotá, Cundinamarca, Colombia. Obtenido de [https://esc-web-dev.s3.amazonaws.com/staging/documents/LEERGONOMIA\\_practica\\_7\\_guia\\_para\\_la\\_practica\\_de\\_antropometria\\_sentado\\_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFNDEDHBGJ&Signature=qoLXtA9eoual9Bjfmq%2Bz949A61Y%3D&Expires=1605477672](https://esc-web-dev.s3.amazonaws.com/staging/documents/LEERGONOMIA_practica_7_guia_para_la_practica_de_antropometria_sentado_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFNDEDHBGJ&Signature=qoLXtA9eoual9Bjfmq%2Bz949A61Y%3D&Expires=1605477672)

G, M. (Agosto de 2008). *Definición ABC*. Obtenido de Definición ABC Web site: <https://www.definicionabc.com/motor/llantas.php>

Galande, A., Wadhokar, A., Kahar, K., Choudhary, G., Chavan, G., Shilkande, Y., . . . Suryawanshi, P. (16 de Marzo de 2016). *Dropbox*. Obtenido de Dropbox Web site: [https://www.dropbox.com/s/yyxv8e59n5p706w/2016-hpvc-india-design-06-aissms\\_college\\_of\\_engineering.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/yyxv8e59n5p706w/2016-hpvc-india-design-06-aissms_college_of_engineering.pdf?dl=0)

González, L. O. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE UNA TAMIZADORA VIBRATORIA PARA ARENAS DE MOLDEO EN EL TALLER DE FUNDICIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE

CHIMBORAZO. *TESIS DE GRADO* . ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, RIOBAMBA.

HOZ, R. F. (DICIEMBRE de 2015). *REPOSITORIO UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*.  
Obtenido de REPOSITORIO UNIVERSIDAD DE LOS ANDES:  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18297/u721870.pdf?sequence=1>

Inter Cargueros Andinos . (s.f.). *Interandinos*. Obtenido de Interandinos Web site:  
[http://www.interandinos.com/documentos\\_conductores/Politica%20uso%20EPP.pdf](http://www.interandinos.com/documentos_conductores/Politica%20uso%20EPP.pdf)

Intermec, S. (2013). *Productos mecanicos para transmision de potencia*. Bogota, Colombia .

Jaramillo Mora, R. (2004). DISEÑO DE UNA ZARANDA CLASIFICADORA DE MATERIAL PETREO PARA EL MUNICIPIO DE CATAMAYO. Loja, Loja, Ecuador.

Leonel Gonzales, J. R. (2015). MOLDES DE ARENA PARA FUNDICION DE ALEACIONES DE ALUMINIO. *ELABORACION E IMPLEMENTACION DE MANUELES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MOLDES DE ARENA*. SALVADOR.

Lopez E, I. (2018 de Abril de 2018). *DOCPLAYER*. Obtenido de DOCPLAYER Web site:  
<https://docplayer.es/80012923-La-antropometria-es-la-ciencia-de-la-determinacion-y-aplicacion-de-las-medidas-del-cuerpo-humano-mapfre-1992-es-la-ciencia-que-estudia-en-concreto.html>

Machinery, H. H. (1989). HXJQ. *china largest minig machinery manufacturer*. china, tanxiang. Obtenido de [http://www.hxjqmachine.com/pro/trommel\\_screen.html?=-cxf#2](http://www.hxjqmachine.com/pro/trommel_screen.html?=-cxf#2)

Marchas y rutas . (21 de Octubre de 2020). Obtenido de Marchas y rutas Web site:

[https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.marchasyrutas.es%2Fblog%2Ffruidos-en-los-frenos-de-disco%2Famp%2F%3Ffbclid%3DIwAR2G2xKDI9wrbn99lhgCTmhe5g4B2-fb2y9-bCNAqf6ml5w1cQVSLvx8\\_Zo&h=AT3omvKp\\_Uq-tlywETEcnLbT-RgWezE64V2HWp90f2lkFhdnWA9N9c6BfCZqfTzE9N](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.marchasyrutas.es%2Fblog%2Ffruidos-en-los-frenos-de-disco%2Famp%2F%3Ffbclid%3DIwAR2G2xKDI9wrbn99lhgCTmhe5g4B2-fb2y9-bCNAqf6ml5w1cQVSLvx8_Zo&h=AT3omvKp_Uq-tlywETEcnLbT-RgWezE64V2HWp90f2lkFhdnWA9N9c6BfCZqfTzE9N)

Mejía Gonzáles, D. S. (Enero de 2015). Diseño de Manguetas Delanteras y Posteriores de un vehiculo monoplaza para la competición en la formula SAE. Cuenca, Ecuador.

Melo, S. H. (2015). anexo 1 Criba vibratoria.

Mora, I. A. (12 de ABRIL de 2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAMIZADORA DE POLVO METALICO. AMBATO-ECUADOR.

NTN, c. (2015). *Catalogo chumaceras*. japon. Obtenido de [https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-03/ntn\\_bearing\\_units\\_en.pdf](https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-03/ntn_bearing_units_en.pdf)

Ordaz, P. (08 de agosto de 2011). *Maquina Cernidora de Arena*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/91217944/Maquina-Cernidora-de-Arena>

Oropeza Cabrera , L. A., & Prieto Garcia , R. E. (2012). *Diseño conceptual de un vehículo de propulsión humana para usuarios con discapacidad visual*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Ospina Fabra , C. M., & Hernández Zapata, E. S. (2019). *Diseño y construcción de un vehiculo de tracción humana para zonas urbanas en la ciudad de Montería*. Montería: Universidad de Córdoba.

Pereira Moreiro , R. (2002). Transport y Medio ambiente. Políticas para reducir la contaminación del aire. *ResearchGate* , 115-130.

- Ponce, B. (21 de Febrero de 2015). *Behance*. Obtenido de Behance Web site:  
<https://www.behance.net/gallery/23877377/Triciclo-Khepri>
- Quintero Gonzáles, J. R. (2017). Bicicletas compartidas como sistema de transporte público urbano: análisis de políticas públicas en Colombia (1989-2017). *Ciudades, Estados y Política, IV*, 17-35. doi:10.15446/cep
- Quintero Gónzales, J. R. (2019). Desarrollo Orientado al Transporte. *Dossier Central*, 29, 59-68. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/65979>
- Quintero González, J. R. (2017). Bicicletas compartidas como sistema de transporte público urbano: análisis de políticas públicas en Colombia (1989-2017). *Ciudades, Estados y Política, IV*, 17-35. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revcep/article/view/66296/65396>
- ResearchGate. (9 de Noviembre de 2020). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate Web site:  
[https://www.researchgate.net/figure/Characteristics-of-1060-Aluminum-alloy\\_tbl1\\_340098364](https://www.researchgate.net/figure/Characteristics-of-1060-Aluminum-alloy_tbl1_340098364)
- Rivera, N. M. (2008). diseño conceptual de una maquina cribadora de tierra de lombricomposta. *tesis*. Universidad Autonoma ]Aragria Antonio Narro , Buenavista, saltillo , Mexico.
- Salamanca , J., Acosta , L., Higuera , F., & Rojas , B. (2018). Desarrollo de chasis de un vehiculo de tracción humana, a base de guadua polímero. . *Revista Ambiental Agua , Aire y Suelo.*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2018.3215>
- Sandoval Hernández , H. S., & Guevara Rojas , B. (2015). Diseño, implementacion y analisis de sistemas de sistemas de propulsion humana y dirección para un vehiculo solar. Pereira, Colombia. Obtenido de Repositorio Web site:

[https://1.facebook.com/1.php?u=http%3A%2F%2Frepositorio.utp.edu.co%2Fdspace%2Fbitstream%2Fhandle%2F11059%2F6610%2F6292293P153.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy%26fbclid%3DIwAR0QedBk8VCr3IXPGRcQbld6PaSe7Qc\\_kHzcnv3uTvt\\_xt6AmiWiSd-iu2E&h=AT1p\\_WpfBRBquMUhoOJ](https://1.facebook.com/1.php?u=http%3A%2F%2Frepositorio.utp.edu.co%2Fdspace%2Fbitstream%2Fhandle%2F11059%2F6610%2F6292293P153.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy%26fbclid%3DIwAR0QedBk8VCr3IXPGRcQbld6PaSe7Qc_kHzcnv3uTvt_xt6AmiWiSd-iu2E&h=AT1p_WpfBRBquMUhoOJ)

Siemens. (2017). *motor , Productos electricos industriales lista de precios*. Bogota D.C, Colombia.

SKF, G. (2007). *Bujes y poleas QD*. (i. e. hungria, Ed.) Distribucion en todo el mundo , Internacional .

Tello Ortiz , H. A. (2014). *rediseño y construcción de la parte frontal del vehículo de tracción humana de dos ruedas*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Tobón A, A., & Gálvis, D. (Agosto de 2009). Análisis sobre la evolución reciente del sector de transporte en Colombia. *Redalyc*, 147-163. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/861/86112206006.pdf>

UPB. (2018). *UPB*. Obtenido de UPB: <https://www.upb.edu.co/es/eventos/competencia-nacional-de-vehiculos-de-traccion-humana-colombia-2018>

## **10. Anexos**