

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA
PARA LA COMPETENCIA UNIANDES 2011**

FRANKLIN JULIÁN PATIÑO MOLINA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA
PARA LA COMPETENCIA UNIANDES 2011**

FRANKLIN JULIÁN PATIÑO MOLINA

**Trabajo de grado para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR:
ALFONSO SANTOS JAIMES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 28 de marzo de 2012

DEDICATORIA

**A mi Madre, quien con su Inquebrantable
Voluntad, Estricta Rectitud y Cariñosa Paciencia
Ha hecho de mí la persona que soy.**

AGRADECIMIENTOS

**A mi madre por su apoyo incondicional
Para llevar a buen término esta etapa de mi vida.**

**A mis Amigos Jesús, Cesar, Juan Camilo, Jeiser
Adriana, Sebastián, “Chachan” y Antonio por su Apoyo,
Colaboración y Participación desinteresada en el Proyecto**

CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN HUMANA.	5
4.2. REGLAS Y DETALLES DEL CONCURSO VTH UNIANDES 2011.	5
4.2.1. Requisitos generales.....	7
4.2.1.1. Masa mínima soportada:.....	8
4.2.1.2. Líneas de proyección:	8
4.2.2. Carrera de utilidad	9
4.2.3. Carrera contrarreloj	10
4.2.4. Carrera de velocidad	11
4.3. ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN HUMANA.	12
4.3.1. Configuraciones generales de un vehiculó triciclo.	13
4.3.2. Sistema de frenos.	14
4.3.2.1. Frenos de disco.....	15
4.3.2.2. Frenos de zapata corta ó “tacos”	18
4.3.3. Sistema de dirección.....	19
4.3.4. Métodos de accionamiento para la dirección.....	20
4.3.4.1. Dirección sobre el asiento.....	20
4.3.4.2. Dirección bajo el asiento	21

4.3.4.3. Dirección directa sobre el kingpin	23
4.3.4.4. Dirección por inclinación (tilting)	24
4.3.5. Geometría de la dirección	24
4.3.5.1. Ángulo de avance (caster)	24
4.3.5.2. Angulo de inclinación (camber)	25
4.3.5.3. Angulo de convergencia (toe)	27
4.3.5.4. Inclinación del kingpin (pivote central)	28
4.3.5.5. Angulo ó compensación ackerman	29
4.3.6. Sistemas de enlace para la dirección	31
4.3.6.1. Tirante sencillo	31
4.3.6.2. Tirante doble	32
4.3.7. Trasmisión de potencia	32
4.3.8. Suspensión	36
4.3.8.1. Suspensión trasera	36
4.3.8.2. Suspensión delantera	37
4.3.9. Otros aspectos de diseño básico	38
4.3.9.1. Distribución del peso	38
4.3.9.2. Centro de gravedad	39
4.3.9.3. Distancia entre ejes	40
4.3.9.4. Ancho de vía	40
4.3.9.5. Asientos	41
4.3.9.6. Tamaño de la rueda	43
4.4. DISEÑO DEL MARCO	44
4.5. OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE EL RENDIMIENTO	47
4.6. EL FACTOR HUMANO	49
 5. METODOLOGÍA	 50
5.2. DISEÑO CONCEPTUAL	50
5.3. DISEÑO BÁSICO	55
5.4. CONSTRUCCIÓN	67
 6. PRUEBAS	 75
6.1. PRUEBAS OPERATIVAS REALIZADAS PARA EL AJUSTE DEL VEHÍCULO...	75
6.2. DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO EN LA COMPETENCIA	80

6.2.1. Carrera de Utilidad	80
6.2.2. Carrera Contra Reloj.....	81
6.2.3. Carrera de Velocidad	82
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES.....	85
9. BIBLIOGRAFIA.....	86
ANEXO 1	
MAPA SÓTANO 1	89
ANEXO 2	
MAPA PISO 1.....	90
ANEXO 3	
MAPA PISO 2.....	91
ANEXO 4	
PLANO CARRERAS DE VELOCIDAD	92
ANEXO 5	
LISTA OFICIAL DE PARTICIPANTES	93
ANEXO 6	
TABLA DE RESULTADOS.....	94

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 2. Esquema para la realización de la prueba de Volcadura.	8
Figura 3. Esquema para la construcción del soporte de instalación del sensor de velocidad.	11
Figura 4. Representación simplificada de las Configuraciones básicas de un triciclo.	13
Figura 5. Representación esquemática simplificada de un freno de disco.....	15
Figura 6. Sistema de freno de disco accionado por cable metálica.	16
Figura 7. Sistema de freno de disco accionado hidráulicamente.....	17
Figura 7 Sistema de frenos de zapatas Corta ó “V-Brake”.....	19
Figura 8. Esquema manillar sobre el asiento.	21
Figura 9 Disposición de los dos tipos de manillares bajo el asiento.....	22
Figura 10. Manillar directo sobre el Kingpin.	23
Figura 11. Avance ó Caster.	25
Figura 12 Inclinación o Camber..	26
Figura 13 Convergencia o Toe.	27

Figura 14. Líneas de proyección para el ángulo del Kingpin.	29
Figura 15 Angulo ó Compensación Ackerman.	30
Figura 16. Transmisión de potencia en bicicletas.	33
Figura 17. Disposición general de un sistema de guía de la cadena con tubos guía y poleas.	35
Figura 18. Suspensión delantera.	37
Figura 19. Distribución del Peso y Ubicación del Centro de Gravedad.	39
Figura 20. Distancia entre ejes y ancho de vía para un Triciclo, en configuración Tadpole.	41
Figura 21. Cuadro para la selección de componentes.	52
Figura 22. Disposición aproximada de las ruedas, silla y articulaciones para la dirección.	55
Figura 23. Chasis A.	57
Figura 24. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis A.	58
Figura 25. Resultado calculado para el Máximo Esfuerzo Combinado para el Chasis A.	58
Figura 26. Resultado calculado para la Deformación Total para el chasis A. .	59
Figura 27. Chasis B.	60

Figura 28. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis B.	60
Figura 29. Resultado calculado para el Máximo Esfuerzo Combinado para el chasis B.	61
Figura 30. Resultado calculado para la Deformación Total para el chasis B. .	61
Figura 31. Chasis C.....	62
Figura 32. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis C.	63
Figura 33. Resultado calculado para el Máximo Esfuerzo Combinado para el Chasis C.....	63
Figura 34. Resultado calculado para la Deformación Total para el chasis C. .	64
Figura 35. Calculo de la masa de los chasis propuestos.....	64
Figura 36. Imagen de los planos del vehículo.....	67
Figura 37. Construcción del Chasis.	68
Figura 38. Proceso de construcción de la estructura de la silla.	69
Figura 39. Proceso de soldadura del chasis.....	69
Figura 40. Kingpin ó “caña” de dirección.....	70
Figura 41 Montaje de las mordazas de freno.....	71
Figura 42. Terminales esféricos de la dirección.....	71
Figura 43. Disposición final de la cadena.	72

Figura 44. Prueba de carga de la barra antivuelco	73
Figura 45 Prueba de Volcadura del vehículo	73
Figura 46. Vista superior del Vehículo	75
Figura 47. Vistas Frontal y Superior del brazo secundario	76
Figura 48. Vista lateral de la rueda Izquierda	77
Figura 49. Vistas Inferior y Frontal del Chasis	78
Figura 50. Vistas de los refuerzos para mantener la posición de los pedales	79

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA PARA LA COMPETENCIA UNIANDES 2011

AUTOR(ES): Franklin Julián Patiño Molina

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Alfonso Santos Jaimes

RESUMEN

Este trabajo presenta la construcción de un Vehículo de Tracción Humana el cual debe cumplir con las especificaciones y requerimientos de seguridad establecidos por el concurso UNIANDES 2011. Así que, en la etapa de diseño básico se evalúan tres prototipos de vehículos teniendo en cuenta los esfuerzos mecánicos, deformación y peso obtenidos en el software de elementos finitos, Ansys 14.0 y Solid Works, con el fin de seleccionar el mejor prototipo.

Por otra parte, el diseño a través de software tiene limitaciones para obtener resultados eficientes en los estudios realizados a los modelos propuestos, lo cual afecta la dinámica del diseño.

PALABRAS CLAVES: vehículo de tracción humana; Esfuerzos mecánicos; Deformación.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VEHICLE OF HUMAN DRIVE FOR COMPETITION UNIANDES 2011

AUTHOR(S): Franklin Julián Patiño Molina

FACULTY: Faculty of Mechanical Engineering

DIRECTOR: Alfonso Santos Jaimes

ABSTRACT

This paper presents the construction of a human-powered vehicle which must meet the specifications and safety requirements established by the contest UNIANDES 2011. So, the basic design stage are evaluated three prototype vehicles taking into account the mechanical stress, strain and weight obtained in finite element software, Ansys 14.0, Solid Work, in order to select the best prototype.

Moreover, the design through software has limitations for efficient outcomes in studies of the proposed models, which affects the dynamics of design.

KEYWORDS: human-powered vehicle; Mechanical stress, deformation.

1. INTRODUCCIÓN

La bicicleta es el vehículo de tracción humana (VTH) más ampliamente utilizado que existe, desde que se patentó en Inglaterra un rustico aparato con este nombre en 1869, pero fue en el año de 1873 cuando el inventor James Starley quien creó una maquina con casi todas las características reconocibles de una bicicleta, con la aun notable diferencia de contar con una gran rueda delantera lo que la hacía un vehículo inestable y difícil de controlar. En los siguientes años y luego de la implementación de los neumáticos, los cojinetes de bolas, la transmisión por rueda dentada y cadena, y la utilización de acero para la construcción de los marcos, se produjeron las primeras bicicletas modernas [1].

En la actualidad la bicicleta, en sus diferentes formas cumple diversos roles como ser un vehículo recreativo, un artículo deportivo y ser un medio de transporte de corta distancia, con las limitaciones bien conocidas de exigir de sus usuarios un buen estado físico y sentido del equilibrio, así como la evidente exposición a los elementos.

El desarrollo de vehículos estáticamente estables, como los VTH, permite que más personas sean usuarios de un vehículo económico para cubrir cortas distancias rápidamente, lo que los convierte en uno de los principales atractivos para su uso e implementación como alternativa de transporte urbano.

La Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos ASME, ha sido pionera en la creación de espacios como el Concurso “Human Powered Vehicle Challenge (HPVC)” el cual ha sido desde hace años una vitrina para mostrar el talento y conocimiento de los estudiantes a través del diseño y construcción de vehículos de tracción humana [2].

En Colombia la Universidad Industrial de Santander, en el año 2010 organizó un concurso en donde algunas Instituciones educativas del país, presentaron sus vehículos en una prueba que dejó como ganador a la Universidad de los Andes.

En el año 2011, la Universidad de los Andes, organizó una nueva versión de este concurso, en el cual se buscó seguir con más exactitud, los lineamientos del concurso HPVC creado por la ASME [3].

2. JUSTIFICACIÓN

La participación en el concurso de vehículos de tracción humana VHT-UNIANDES 2011[4], es una oportunidad para que la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, dé a conocer y ponga a prueba la destreza y experiencia adquirida en las competencias y eventos realizados al interior de la facultad de ingeniería mecánica, como las versiones del concurso kracing karts, en un evento a nivel nacional, en cual contará con la participación de importantes y reconocidas instituciones educativas. Con esta participación se pretende fortalecer la imagen de prestigio que ha ganado la Universidad Pontificia Bolivariana.

Durante el diseño del vehículo se pondrán en práctica todos los conocimientos y habilidades que posee un estudiante de ingeniería mecánica, adquiridos principalmente durante los cursos de resistencia de materiales, procesos de fabricación y diseño de elementos de maquinas. Además, se espera que el vehículo sirva de equipo de pruebas para el laboratorio de diseño de elementos de máquinas, como una plataforma para la implementación de nuevos conceptos y la realización de prácticas en la cuales se refuercen los conocimientos y destrezas de los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un vehículo de tracción humana, siguiendo los parámetros de diseño impuestos para participar del Concurso de Vehículos de Tracción Humana VTH-UNIANDES 2011. [1]

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar 3 prototipos de chasis que sean de simple estructura así como de bajo peso, siguiendo los parámetros de diseño y los detalles de las pruebas que deben cumplir los participantes del Concurso. **RESULTADO:** 3 prototipos de chasis. **INDICADOR:** Diseños acordes con las especificaciones del Concurso VTH-Uniandes 2011.
- Simular en Ansys 14.0 los prototipos de chasis del vehículo, proponiendo el perfil de aluminio para establecer cual presenta mejor desempeño evaluando de los Esfuerzos Mecánicos sufridos la estructura. **RESULTADO:** Plano con detalles constructivos. **INDICADOR:** Se selecciona el chasis con menores esfuerzos mecánicos y menor peso.
- Fabricar el Prototipo de vehículo siguiendo los planos constructivos resultado de los Análisis ejecutados en Ansys 14.0. **RESULTADO:** Vehículo **INDICADOR:** Construido según planos desarrollados.
- Probar un prototipo completo en condiciones semejantes a las del Concurso de Vehículos de Tracción Humana VTH-UNIANDES 2011, registrando los tiempos y desempeño en las diversas pruebas. **RESULTADO:** Datos tabulados. **INDICADOR:** Pruebas según las especificaciones de la competencia.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN HUMANA.

La IHPVA, por sus siglas en Ingles, es una organización sin ánimo de lucro, encargada de registrar y sancionar los eventos mundiales que empleen vehículos propulsados mediante el esfuerzo humano, ya sea en tierra, agua o aire. El IHPVA también puede actuar como un ente fiscalizador en dichos eventos.

La IHPVA organiza y promueve concursos, como el campeonato de velocidad de propulsión humana, cuyo objetivo principal es combinar lo mejor en tecnología con la mejor capacidad atlética, para obtener los más rápidos y eficientes vehículos.

Por ello, la IHPVA mantiene un registro histórico de los resultados de estas competencias, por tanto es una fuente de información sobre Records y Estadísticas. Además actúa como una fuente de información tecnológica en el transporte impulsado por medios humanos, su sitio Web, sirve de anfitrión para muchos entusiastas, los cuales ponen a disposición del público en general, amplia información sobre el diseño y construcción de este tipo de vehículos. Esta información fue de gran ayuda en la realización del presente Proyecto [5].

4.2. REGLAS Y DETALLES DEL CONCURSO VTH UNIANDES 2011.

Con el fin de encarar el objetivo principal del presente proyecto de grado, se hace indispensable documentar todas las reglas impuestas por la organización del concurso VTH-Uniandes 2011, para construir un vehículo con el mejor desempeño posible.

Principales premisas de los organizadores del concurso:

“En el mundo actual se buscan alternativas para proveer los servicios que requiere la población, reduciendo el efecto negativo sobre el medio ambiente. Los sistemas de transporte propulsados por potencia humana podrían ir en esta dirección y, dependiendo del diseño del vehículo, ser confiables, seguros y una solución real y sostenible de transporte.”

“Siguiendo el precedente del concurso efectuado en el Congreso de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander – 2010, este año la Universidad de los Andes desea plantear el concurso de Vehículos de Tracción Humana VTH – UNIANDES 2011 con base en los lineamientos de los concursos VTH de la ASME.”

“El objetivo de este concurso es dar la oportunidad a los estudiantes de ingeniería de todo el país de proponer alternativas al transporte que sean prácticas y sostenibles en las grandes ciudades. Para esto, uno o varios equipos de estudiantes de cada universidad trabajaran para diseñar y fabricar un vehículo eficiente para el uso diario, que pueda servir para transportarse y/o cargar productos del supermercado.”

“La competencia intenta evidenciar la calidad del diseño y la manufactura del VTH y las características del diseño mecánico, que le otorguen ventajas en cuanto a la maniobrabilidad, velocidad y confiabilidad frente a sus competidores...”

El concurso consistió en tres carreras: una de utilidad, una contrarreloj y otra de velocidad. La carrera de utilidad se realizó en el parqueadero del edificio Julio Mario Santo Domingo de la Universidad de los Andes y las carreras contrarreloj y de velocidad se realizó en las instalaciones de la pista Indoor Kart (Bogotá).

La competencia tuvo una puntuación máxima de 100 puntos los cuales se dividieron así:

Carrera de utilidad, 30 puntos

Carrera contrarreloj, 30 puntos

Carrera de velocidad, 40 puntos

4.2.1. Requisitos generales

Todos los vehículos cumplieron con unos requisitos generales mínimos que serán descritos a continuación. Aquellos que no contaron con estas especificaciones no participaron en la competencia.

- Los vehículos debían tener tres ruedas.
- El vehículo debía ser conducido y propulsado por una sola persona a la vez (monoplaza).
- El ancho total de los vehículos no podía exceder 1100 mm.
- La única fuente de potencia del vehículo debía ser humana.
- Los VTH debían cumplir con las condiciones de seguridad descritas más adelante.
- El vehículo debía contar con una barra antivuelco que asegurara la integridad del piloto en todo momento.

Esta protección debía prevenir el contacto del cuerpo del piloto con el suelo en caso de un vuelco y absorber suficiente energía en caso de una colisión severa. Además, no debía representar peligro para otros pilotos, auxiliares.

Según lo anterior, era necesario que cada equipo se encargara de entregar mediante pruebas gráficas (fotos, videos, etc.) las siguientes verificaciones para el mecanismo antivuelco instalado, a la Organización del Concurso:

4.2.1.1. Masa mínima soportada:

Sobre la parte más alta de la barra antivuelco, colgar una masa de por lo menos 200 kg de tal forma que no se evidencie ningún tipo de deformación o daño en la estructura del vehículo, ver Figura 1.

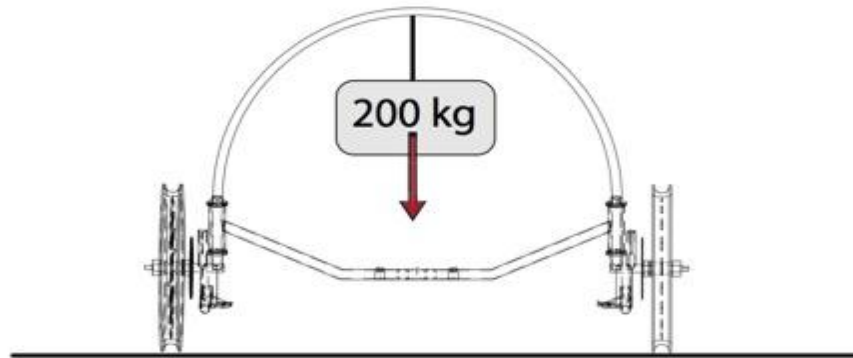


Figura 1. **Esquema para la realización de la prueba de carga, a la barra Antivuelco.** Tomado de <http://vth2011.uniandes.edu.co/carrera.html>

4.2.1.2. Líneas de proyección:

En las diferentes posiciones del volcado del vehículo, mostrar que el piloto dentro del mismo nunca se encuentra en situación comprometedora de su integridad física, ver Figura 2.

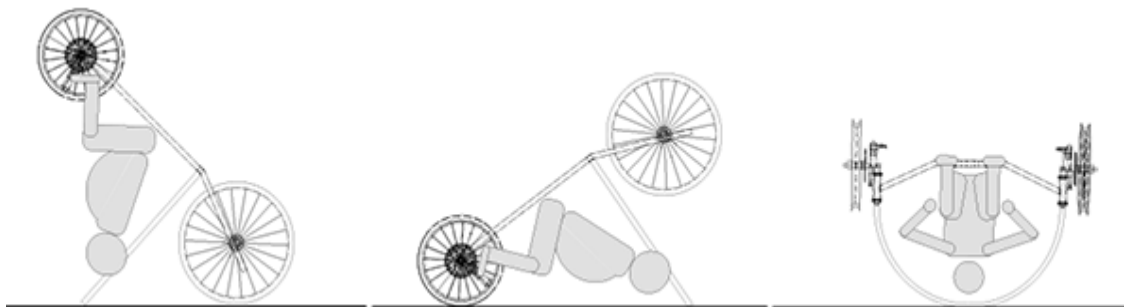


Figura 2. **Esquema para la realización de la prueba de volcadura.** Tomado de <http://vth2011.uniandes.edu.co/carrera.html>

4.2.2. Carrera de utilidad

La carrera de utilidad consistió en una prueba con obstáculos, en la que los VTH demostraron su flexibilidad como vehículo multipropósito urbano. Los obstáculos incluyeron:

- Ascenso y descenso de rampas de 12% de inclinación, con aproximadamente 27 m de longitud.
- Resaltos de máximo 50mm de altura y 400mm de largo.
- Sección de slalom con conos cada 4000mm.
- Recogida y transporte de un paquete de 3kg con un largo de 350mm una altura de 320mm y una profundidad de 270mm.

Cada piloto podía realizar como mínimo un recorrido de 15 +/- 2 minutos, no había un máximo de tiempo lo que significaba que un solo piloto podía realizar toda la prueba. Aun así, en el equipo de pilotos se debía contar como mínimo con una mujer y todos los pilotos debían ser estudiantes de la facultad de ingeniería de la institución.

Durante la prueba de utilidad los VTH recorrieron simultáneamente la pista de obstáculos realizando el mayor número de vueltas posibles en 1 hora. El ganador de la carrera de utilidad fue el equipo que realizó el mayor número de vueltas alrededor de la pista de obstáculos. La puntuación de la carrera de utilidad (30 puntos) fue la siguiente:

Puntuación de la carrera de utilidad (30 puntos)

Número de vueltas Puntuación

Primer puesto N1 30

Segundo puesto $N2 = (N2/N1) * 30$

Tercer puesto $N3 = (N3/N1) * 30$

N-ésimo puesto $Nn = (Nn/N1) * 30$

Era posible realizar modificaciones al vehículo después de esta competencia. Es decir, para la prueba de utilidad el vehículo podía contar con una canasta, la cual podía ser retirada para la prueba de contrarreloj y de velocidad.

La geometría de las curvas y los recorridos de la carrera se pueden observar en el anexo 1, 2, 3.

4.2.3. Carrera contrarreloj

La carrera contrarreloj consistió en realizar el mayor número de vueltas en diez minutos con el propósito de registrar el menor tiempo posible en cada una. Los VTH disponían del espacio necesario para cruzar la línea de partida a velocidad máxima desde la primera vuelta. El tiempo se midió y registró con el cronómetro oficial. El ganador de la carrera contrarreloj fue el equipo que realizó el menor tiempo de vuelta y los demás se organizaron en el orden ascendente de su tiempo de vuelta. La puntuación de la carrera contrarreloj (30 puntos) fue la siguiente:

Puntuación de la carrera contrarreloj (30 puntos)

Tiempo de vuelta Puntos

Primer puesto T_1 30

Segundo puesto $T_2 = (T_1/T_2)*30$

Tercer puesto $T_3 = (T_1/T_3)*30$

N-ésimo puesto $T_n = (T_1/T_n)*30$

Los VTH debían tener un sensor de velocidad bajo el chasis, para ser usado en las carreras contrarreloj y de velocidad. El sensor estuvo ubicado sobre una barra de $\varnothing 3/8"$ y 90mm de largo a una altura de 100mm del suelo, y fue suministrado por la organización el día de la competencia. Por otro lado, la longitud de la barra debía ser paralela al avance del VTH, como muestra la Figura 3.

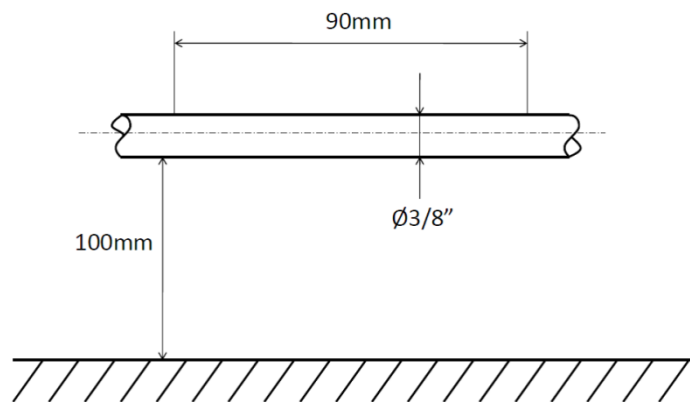


Figura 3. **Esquema para la construcción del soporte de instalación del sensor de velocidad.** Tomado de <http://vth2011.uniandes.edu.co/carrera.html>

4.2.4. Carrera de velocidad

La carrera de velocidad consistió en una corrida simultánea de grupos de VTH's a lo largo de 40 vueltas en la pista del kartódromo. La partida se realizó desde el reposo, en la grilla de partida. La carrera contrarreloj sirvió también para organizar la grilla de partida de la carrera de velocidad. Es decir, la posición en la grilla de partida de la carrera de velocidad se hizo en el orden resultante de la carrera contrarreloj. Se tomaron los tiempos de llegada de cada uno de los VTH para calcular la puntuación.

El comité organizador, contó las vueltas que realizó cada VTH. La puntuación de la carrera de velocidad (40 puntos) tuvo dos componentes: el componente grupal de velocidad (20 puntos), que premió la rapidez del VTH de un equipo con respecto a los demás, y el componente individual de confiabilidad (20 puntos), que premió la confiabilidad del VTH del equipo, para dar las 40 vueltas completas.

Cada piloto debió cumplir como mínimo 10 vueltas y como máximo 15, estas vueltas debían ser consecutivas y el número mínimo de vueltas podía ser modificado en caso de lesión. En el equipo de pilotos se debía contar como

mínimo con una mujer. Todos los pilotos debían ser estudiantes de la facultad de ingeniería de la institución.

La puntuación del componente grupal (20 puntos) fue la siguiente:

Puntuación grupal de la carrera de velocidad (20 puntos)

Tiempo de carrera Puntuación

Primer puesto $T1 = 20$

Segundo puesto $T2 = (T1/T2)*20$

Tercer puesto $T3 = (T1/T3)*20$

N-ésimo puesto $Tn = (T1/Tn)*20$

La puntuación del componente individual (20 puntos) fue la siguiente:

Puntuación individual de la carrera de velocidad (20 puntos).

Número de vueltas Puntuación.

Equipo 1 $N1 = (N1/40)*20$

Equipo 2 $N2 = (N2/40)*20$

Equipo 3 $N3 = (N3/40)*20$

Equipo n $Nn = (Nn/40)*20$

En el anexo 4, se muestra un plano con las dimensiones principales de la pista para dichas competencias.

4.3. ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN HUMANA.

Como se estableció por las reglas del concurso, una de las características más sobresalientes de los vehículos participantes, era que debían ser construidos en una configuración de triciclo, lo cual creó limitaciones y exigió orientar el diseño estrictamente en esta dirección.

4.3.1. Configuraciones generales de un vehículo triciclo.

Los diseños de triciclos presentan dos configuraciones básicas, El **Tadpole**, nombre tomado del inglés, cuya traducción directa es *Renacuajo*, el término se aplica por su similitud estética con este animal, presenta dos ruedas adelante y una atrás. Por otra parte, la configuración **Delta** apoya el frente del vehículo sobre una sola rueda y presenta dos ruedas en la parte posterior, ver figura 4.

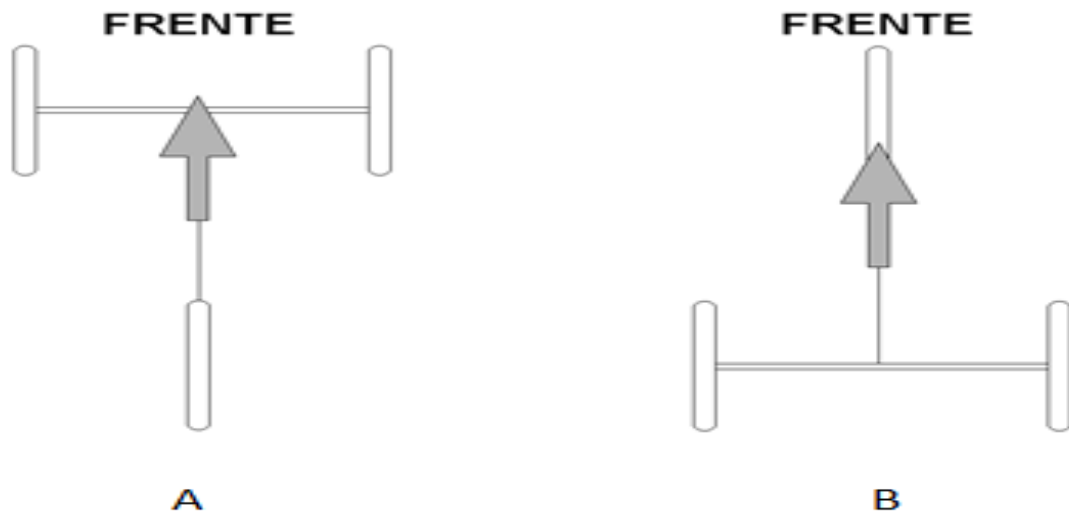


Figura 4. Representación simplificada de las Configuraciones básicas de un triciclo. (A) configuración tadpole. (B) Configuración Delta.

La configuración de la Figura 4. A utiliza un sistema de dirección muy similar, geométricamente hablando, a la de un automóvil, por lo cual se deben tener consideraciones geométricas como los Ángulos de Avance, Inclinación y Convergencia, conocidos por su nombre en Inglés como: Caster, Camber y Toe.

Por el contrario, la Figura 4. B utiliza una dirección similar a la de una bicicleta, lo que naturalmente la hace simple de construir y operar. Cada una de estas

configuraciones tiene sus ventajas y desventajas, la cuales iremos presentando a lo largo de este capítulo [6].

La configuración Delta es de fácil diseño, ya que los conceptos empleados y la configuración básica se asemejan al diseño de una bicicleta convencional, además de los bajos costos de fabricación, ya que se utilizan componentes estándar de las bicicletas. Por otra parte, las falencias más comunes que presenta, son la inestabilidad en las curvas y que el frenado está comprometido, al poner en la rueda delantera, la mayor parte de capacidad de frenado del vehículo.

Entre las principales Ventajas de la configuración Tadpole, se encuentra; una mejor maniobrabilidad y distribución del frenado en dos ruedas, lo cual a su vez exige de sistemas de dirección más complejos y la construcción de componentes especializados.

4.3.2. Sistema de frenos.

Durante el frenado, se presenta una variación de las reacciones normales en las ruedas, causada por el aumento de peso en las llantas delanteras, lo cual incrementa la fuerza de fricción y detiene el vehículo. Esta es la razón por la cual todos los vehículos tienen su mayor capacidad de frenado en las ruedas delanteras [7] [8].

En la configuración Delta existe una sola rueda, la cual debe contar con una banda de rodamiento mayor y de un freno de gran capacidad, para lograr una capacidad equivalente a un sistema con dos ruedas. Luego de revisar algunos de los diseños comerciales existentes de vehículos de éste tipo, se puede notar que resulta común sólo empleo de frenos delanteros, un freno trasero se utiliza muy poco [9] [10] [11].

Básicamente, existen tres tipos de sistemas de frenado empleados: Disco, Zapatas Cortas ó “V-Brake” y de tambor o también denominado freno de rodillo por algunos fabricantes [12], este último sistema no se no es comercial, para vehículos de tan bajo peso.

4.3.2.1. Frenos de disco.

En el freno de disco se presionan unas almohadillas planas, generalmente de asbesto u otro material sintético, en los lados opuestos de un disco rotor construido en acero (Figura 5). La principal ventaja de un freno de disco es que proporciona una excelente y confiable capacidad de frenado, con una acción proporcional y un frenado suave [6].

En cuanto a las desventajas, la mayoría de los frenos de disco son costosos y el desempeño y la confiabilidad va de la mano con su valor comercial, algo menos relevante es su preferencia al rozamiento entre el disco rotor y las partes metálicas de las mordazas, lo cual causa ruidos molestos y deterioro de las piezas, debido principalmente a sus bajas tolerancias de construcción.

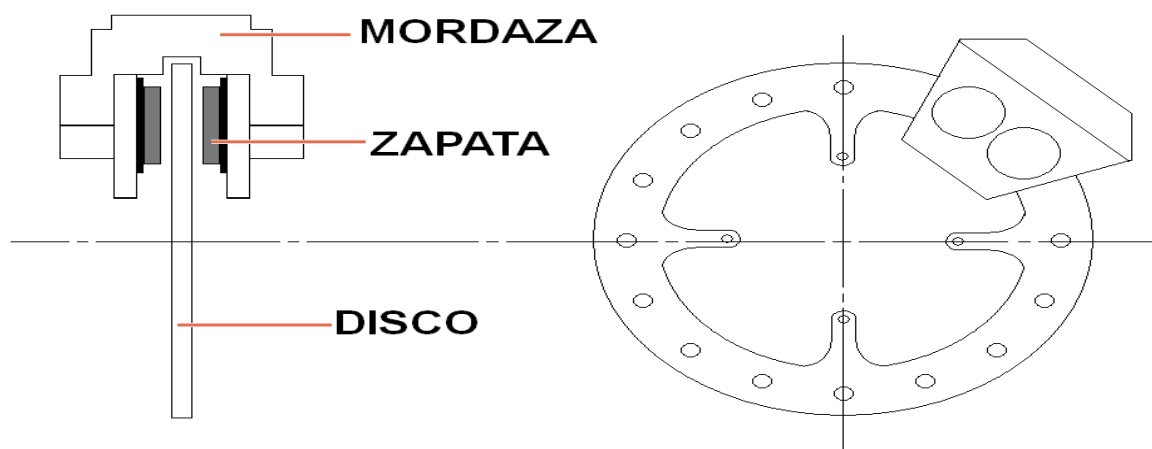


Figura 5. Representación esquemática simplificada de un freno de disco. Fuente: Franklin Patiño.

Los avances realizados en nuevos materiales, y el fácil acceso al mecanizado de grandes cantidades de piezas con buena precisión, han permitido su uso en bicicletas, hoy en día los frenos de disco son ahora pequeños, fuertes y silenciosos [12].

4.3.2.1.1. Sistemas mecánicos por cable

Estos sistemas utilizan la mayor parte del mismo equipo que conforma la pinza de freno de las bicicletas convencionales (Figura 6). El freno se acciona mediante una palanca o manecilla, la cual hala un cable metálico alojado al interior de una funda, dicha acción, comprime dos pastillas de freno contra el rotor con el fin de frenar.

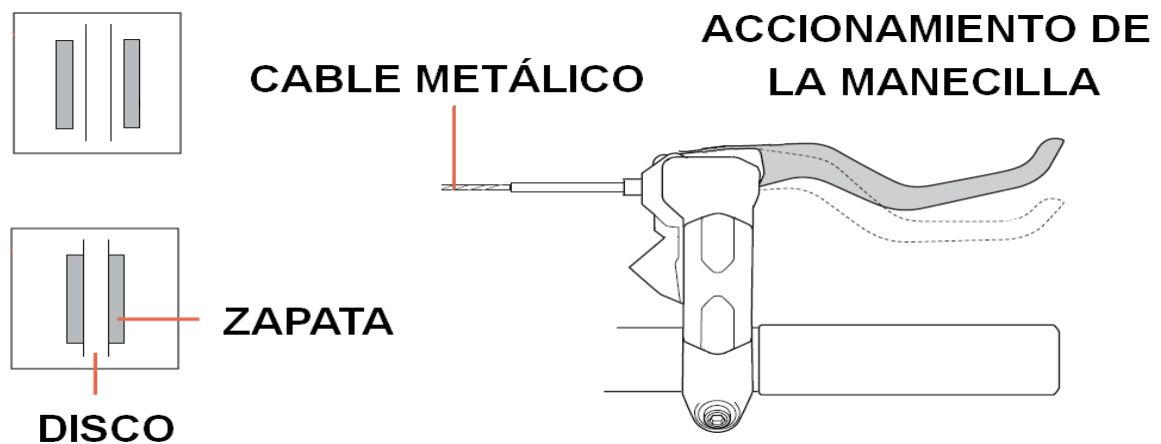


Figura 6. **Sistema de freno de disco accionado por cable metálica.** Adaptado de manual de componentes SHIMANO 2010.

La ventaja de un freno mecánico es que el cableado es simple y las partes siempre están disponibles en el mercado. La principal desventaja es que la fricción existente entre el cable y la funda reduce la fuerza efectiva que se puede aplicar al mecanismo de freno.

4.3.2.1.2. Sistemas hidráulicos

Se basan en un sistema de tuberías y Cilindros Hidráulicos para proporcionar la actuación, ver Figura 7. Como con todos los sistemas hidráulicos, el medio para transmisión de potencia es un Aceite ligero que se mueve a través de una línea semi-rígida, desde la bomba ó Cilindro Maestro, a la mordaza, la cual puede tener desde Uno hasta Cuatro pistones.

La cantidad de fuerza desarrollada por el sistema depende de la relación de áreas entre el cilindro maestro y el ó los pistones en la mordaza. La fuerza directa que puede ser aplicada por un sistema hidráulico es superior comparado a un sistema mecánico por cable [12] [13].

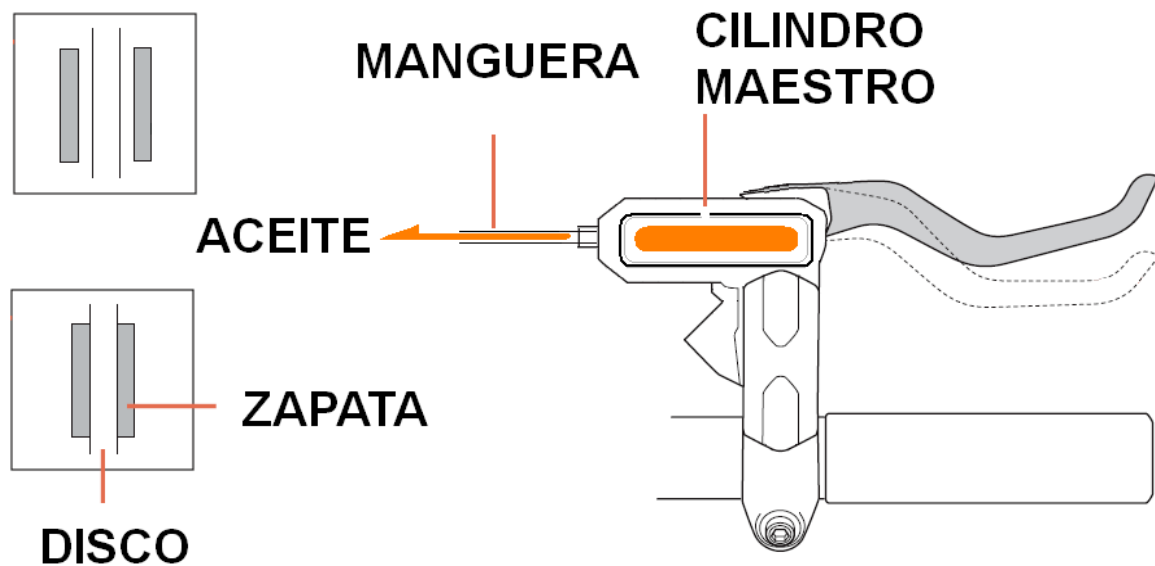


Figura 7. **Sistema de freno de disco accionado hidráulicamente.** Adaptado de manual de componentes SHIMANO 2010.

Sin embargo, la implementación de estos sistemas requiere de mayores destrezas técnicas y conocimientos específicos para evitar inconvenientes o daños ya que las piezas de repuesto son costosas, y no siempre de fácil adquisición.

4.3.2.2. Frenos de zapata corta ó “tacos”

Este es un sistema empleado por largo tiempo, en el ámbito ciclista y ha demostrado ofrecer suficiente rendimiento y confiabilidad.

El sistema de freno de tacos ó “V-Brake”, ha presentado notables mejoras en su efectividad gracias a la implementación de nuevos materiales para las zapatas y mejores configuraciones mecánicas que ofrecen una mayor ventaja mecánica y capacidad de frenado, de hecho este sistema presenta una gran ventaja mecánica ya que al aplicar las zapatas de freno en un radio casi igual al de la rueda, la fuerza requerida es mucho menor que en cualquier otro sistema, ver Figura 8.

Debido a que la instalación requiere de un punto de apoyo a cada lado de la rueda, sólo se puede utilizar con el estribo de dirección o “tenedor” propio de una bicicleta convencional, esto puede agregar peso y complicar innecesariamente los sistemas de dirección del vehículo. Sin embargo, el “V-Brake” es de fácil adquisición y de bajo precio [12] [13].

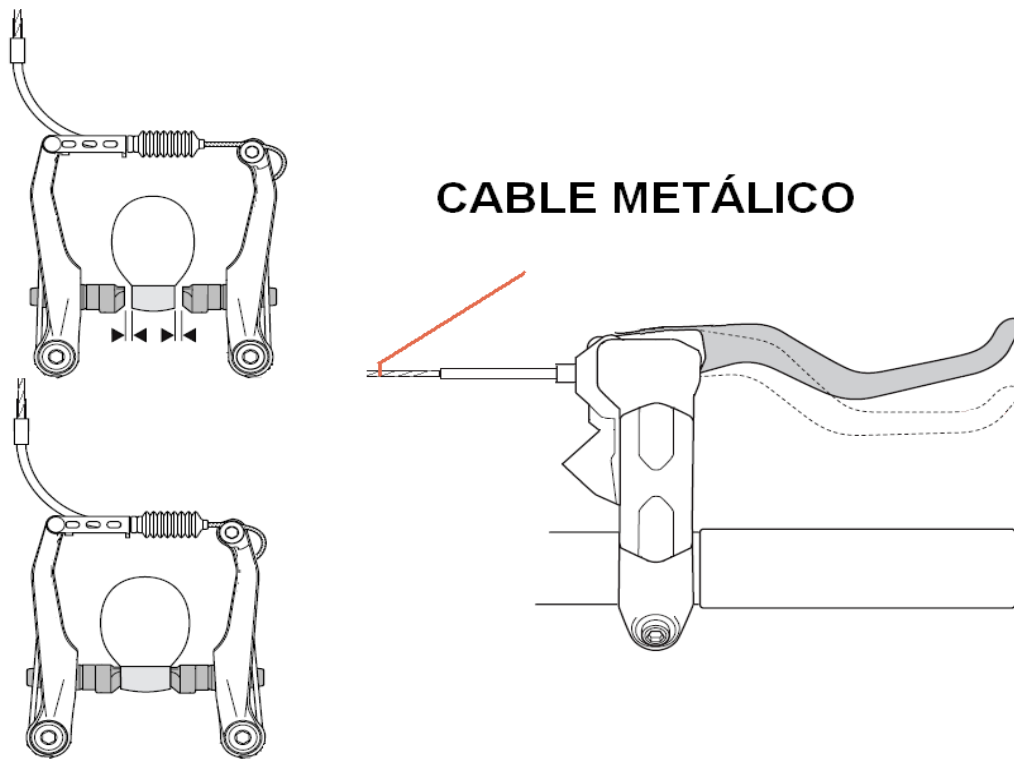


Figura 8 **Sistema de frenos de zapatas Corta ó “V-Brake”**, Adaptado de Technical Service Manual SI-(DVOB-001 Shimano

4.3.3. Sistema de dirección.

El sistema de dirección de un vehículo consiste de variadas partes, las cuales actuando en conjunto hacen que el vehículo siga el rumbo deseado por el piloto. El análisis de este complejo sistema depende de sus posibles configuraciones, ubicación general en el vehículo y métodos de accionamiento.

La primera discusión que se debe abordar es la ubicación general dentro del vehículo, es decir, si la ubicación de la dirección esta en la parte delantera ó trasera, esta última aparece periódicamente al realizar búsquedas sobre el tema.

El concepto de dirección trasera puede ser aplicado tanto al diseño Tadpole como al Delta. A pesar de las ventajas que la dirección trasera puede brindar a una

configuración Tadpole, como lo son; un diseño simple, bajo peso, radio de giro muy pequeño, experiencia de conducción emocionante y divertida, se debe tener en cuenta que este diseño presenta una mayor tendencia a volcar durante maniobras rápidas, cuando se emplea en triciclos con una distancia corta entre ejes.

Con base en lo anterior, optar por una dirección delantera será el camino más cómodo, sin mayores contratiempos, además se debe incorporar un sistema en el cual los pilotos se adapten con mayor facilidad, que resulte intuitivo y análogo al sistema empleado por los automóviles de uso cotidiano [6] [9] [10] [11].

4.3.4. Métodos de accionamiento para la dirección

Los métodos de accionamiento más comúnmente empleados para el diseño de triciclos pueden ser identificados según la posición del manillar; dirección sobre el asiento, dirección bajo el asiento y la dirección directa sobre la caña ó kingpin. Cada uno de estos sistemas de dirección tiene varias configuraciones y tiene sus ventajas y desventajas.

4.3.4.1. Dirección sobre el asiento

El sistema se suele configurar como un manillar único en forma de “T” o “Y” muy similar a un bicicleta convencional, la decisión entre estos dos tipos de manillar depende de la comodidad del piloto, y de que tan ventajosa sea la postura general de los brazos (Figura 9). Cualquiera que sea la preferencia, el diseño de este mecanismo debe garantizar un ángulo de giro necesario en las ruedas, sin poner al piloto en una posición incómoda en donde el manillar llegue hasta su vientre.

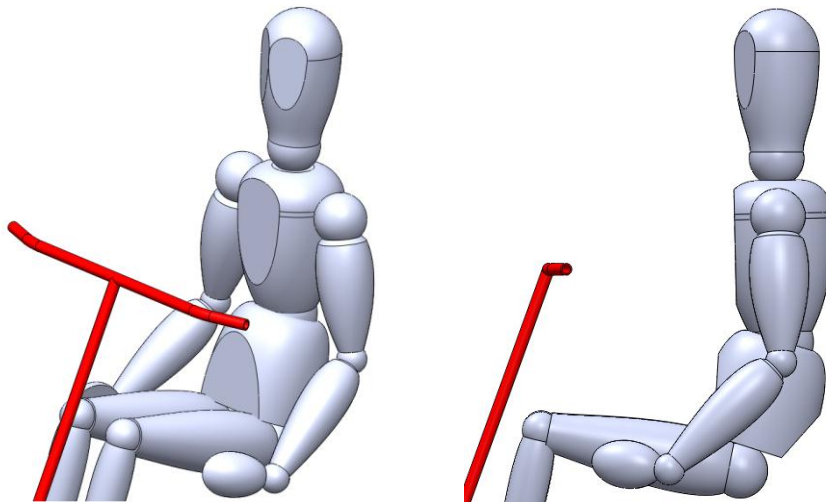


Figura 9. **Esquema manillar sobre el asiento.** Fuente: Franklin Patiño.

Entre las principales ventajas de este sistema tenemos el bajo peso, baja complejidad en su construcción, permite un seguimiento preciso de la posición de las ruedas durante las curvas y permite la instalación de los sistemas convencionales para cambios de marchas y de accionamiento de frenos.

Como advertencia, se debe informar al piloto que no puede utilizar la Barra ó “Caña” de la dirección para apoyarse o sostenerse sin influenciar directamente la dirección del vehículo, por lo tanto se requiere que el asiento brinde soporte lateral para mantener al ciclista seguro durante las curvas. Por otra parte, los diseños con manillares estrechos causan excesiva fatiga del brazo y antebrazo, al limitar la acción de los músculos pectorales. No es tan popular como la dirección bajo el asiento [6] [7] [8] [9] [14].

4.3.4.2. Dirección bajo el asiento

Este mecanismo de dirección presenta dos configuraciones básicas: El Manillar en “U” y la dirección de doble palanca. Así que, la elección depende en mayor parte del “gusto” del piloto, en cuanto a la configuración que se adapta mejor y en menor medida del peso general del sistema así como de su complejidad.

El diseño de El Manillar en “U”, presenta un manillar único, pivotado bajo el asiento, el cual obliga a realizar un movimiento semi-circular con los brazos en una posición baja, este sistema tiende a ser más simple y más económico, ya que requiere menos piezas para su funcionamiento, ver Figura 10.

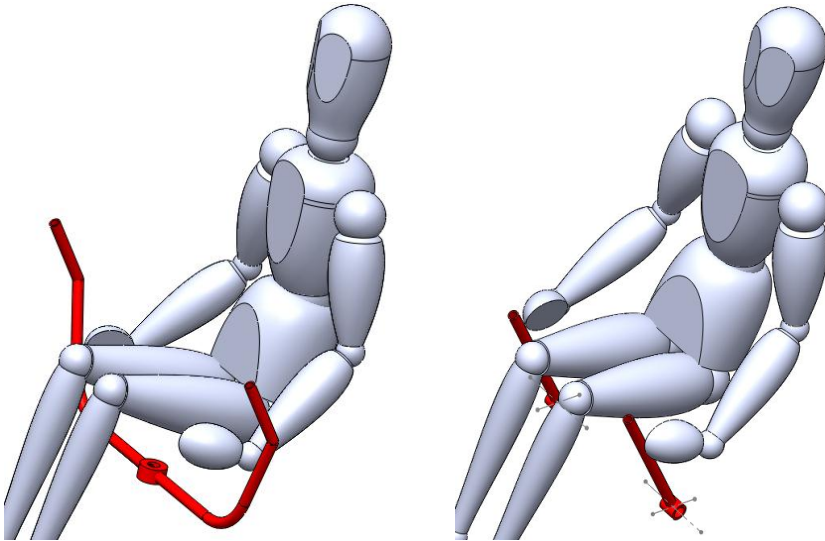


Figura 10. **Disposición de los dos tipos de manillares bajo el asiento.** Fuente: Franklin Patiño.

Entre sus limitaciones se tiene que este sistema requiere poner la manos del piloto cerca de las ruedas lo cual pudiera resultar peligroso durante una carrera, y se hace necesario contar con el suficiente espacio (vehículo ancho) para evitar limitarse en el recorrido de la dirección, con el cuerpo del piloto, ó con la silla.

El diseño de doble palanca es el más adecuado para lograr máxima comodidad, y la utilización de los músculos pectorales y dorsales mientras que brinda soporte al piloto para tomar curvas, esto evita la necesidad de contar con soporte lateral en el asiento. Como contraparte presenta mayor peso en comparación con un sistema sobre el asiento. Este sistema también coloca las manos del piloto peligrosamente cerca de las ruedas o el suelo [6] [7] [8] [9] [14]

4.3.4.3. Dirección directa sobre el kingpin

Este es un sistema rudimentario, pero muy efectivo. Este tipo de accionamiento de la dirección requiere de un movimiento de lado a lado, contrario a la dirección del vehículo, para orientar la dirección hacia la derecha, se requiere mover los brazos hacia la izquierda, y viceversa. Por lo tanto, no es intuitivo como otros mecanismos de accionamiento, y al igual que el mecanismo de dirección bajo el asiento, requiere de significativo espacio entre las ruedas y el cuerpo del piloto para no limitar su rango de acción, ver Figura 11.

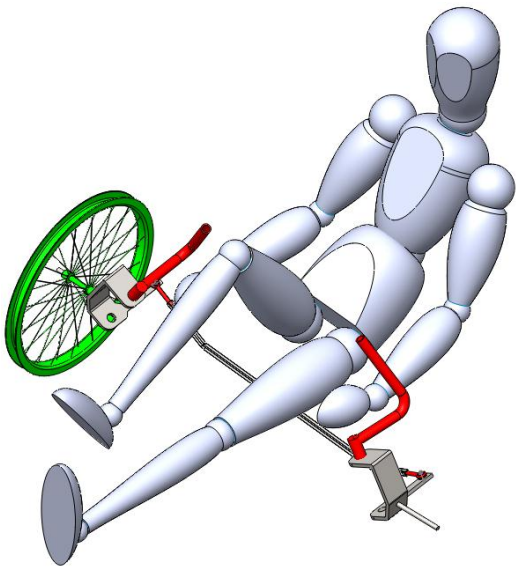


Figura 11. **Manillar directo sobre el Kingpin.** Fuente: Franklin Patiño.

Entre sus ventajas se tiene que es un sistema de Implementación sencilla y de bajo costo, además que proporciona un soporte cómodo para los brazos y da al piloto apoyo durante los giros. Se trata del mecanismo más ligero de todos los presentados [6] [7] [8] [9] [14].

4.3.4.4. Dirección por inclinación (tilting)

Se trata de un mecanismo de dirección más complejo el cual requiere de la inclinación del cuerpo del piloto en la dirección deseada de la vuelta. Aunque existen variaciones, el más notable es donde el asiento se mueve en relación con el marco, y esto causa que las ruedas del vehículo modifiquen su geometría respecto del suelo.

Dado que el piloto se inclina en la dirección de la curva, el centro de gravedad se ve mejorado, lo cual le confiere buenas características de manejo a alta velocidad, además el cambio en el ángulo de las ruedas reduce las cargas laterales y evita el deslizamiento. Resulta obvio que la complejidad del sistema hace que este sea un sistema pesado y costoso, el cual no logra compensar con la maniobrabilidad para su implementación.

4.3.5. Geometría de la dirección

Un vehículo es sólo tan bueno como lo pueda ser su sistema de dirección, el sistema de dirección es intrínsecamente complicado, ya que se requieren definir y establecer varias características geométricas. En esta sección, se hablara sobre los ángulos más relevantes de la geometría de la dirección.

4.3.5.1. Ángulo de avance (caster)

Este es el ángulo que existe entre una línea normal al punto de contacto de la rueda con la carretera y el eje de giro del KingPin, es decir el eje sobre el cual rota la mangueta (Figura 12). El eje del KingPin apunta en el frente del área de contacto del neumático. Debido a este ángulo se generan fuerzas en la ruedas, al momento de presentarse la marcha de vehículo.

El efecto resultante de dichas fuerzas, obliga volver al sistema de dirección a una posición neutral (o recta). Como referencia, un automóvil estándar utiliza ángulos de Avance entre 2° y 6° , y un auto de carreras o Go-Kart requiere ángulos más pronunciados [15] [16] [20].

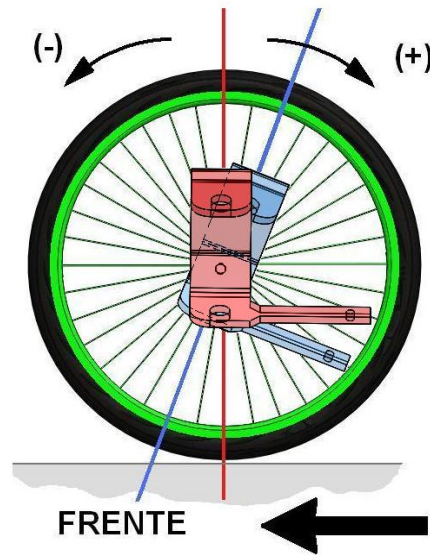


Figura 12. **Avance ó Caster**. La línea azul representa el eje del Kingpin, en una posición de avance positivo. Fuente: Franklin Patiño.

4.3.5.2. Ángulo de inclinación (camber)

Este es el ángulo entre la rueda y la superficie de apoyo, visto desde el frente del vehículo. Si las ruedas están en ángulo recto con el suelo (90°), es decir, la distancia entre la parte superior de las dos ruedas es igual a la distancia entre la parte inferior, la inclinación se dice que es Neutral.

Si la distancia entre la parte superior de las dos ruedas es menor que la parte inferior, se dice que es Negativo. Este ajuste evita el deslizamiento durante las curvas, incrementando la efectividad de la dirección manteniendo un trazado más

preciso de la curva, como contra parte, vemos que a mayores ángulos se presenta mayor desgaste en las llantas.

Por otra parte, si la distancia entre la parte superior de las dos ruedas es mayor que la inferior, se dice que es positivo (Figura 13). Una dirección así ajustada afecta el retorno de la dirección luego de un giro, y la estabilidad en línea recta del vehículo, además del desgaste de las ruedas.

Normalmente, se desea tener un Camber Negativo o Neutral [15] [16] [19].

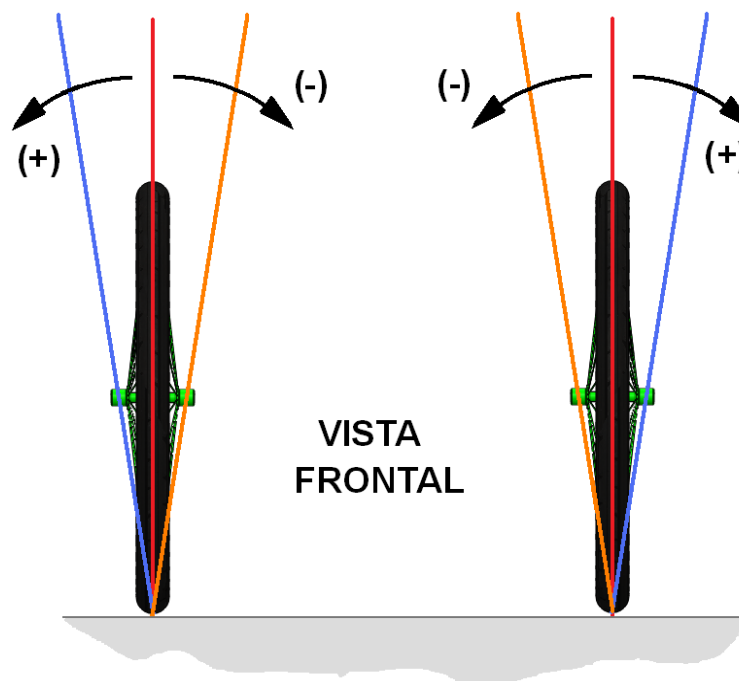


Figura 13 **Inclinación o Camber**. Las líneas azules y naranjas representan las posibles desviaciones que puede tomar las ruedas del vehículo, con respecto de la vertical. Fuente: Franklin Patiño.

4.3.5.3. Ángulo de convergencia (toe)

La Convergencia es similar a la Inclinación (Camber), pero desde una vista superior del vehículo. Toe-in significa que las ruedas están apuntando hacia adentro, es decir que son “convergentes” este ángulo hacia el interior debe ser muy pequeño, y puede ser medido en grados ó en milímetros teniendo en cuenta el eje longitudinal del vehículo como referencia (Figura 14). Con la mayoría de los vehículos, es deseable tener una convergencia cero, es decir que la ruedas sean completamente paralelas al sentido de avance del vehículo.

En la practica un "Toe-in" es deseable ya que debido a la flexión de los elementos de la dirección, así como a las holguras presentes en todas las rotulas y puntos de articulación que conforman el sistema, es normal que las ruedas se presenten una tendencia a tomar una orientación Divergente debido a las fuerzas generadas por el avance del vehículo [15] [16] [19].

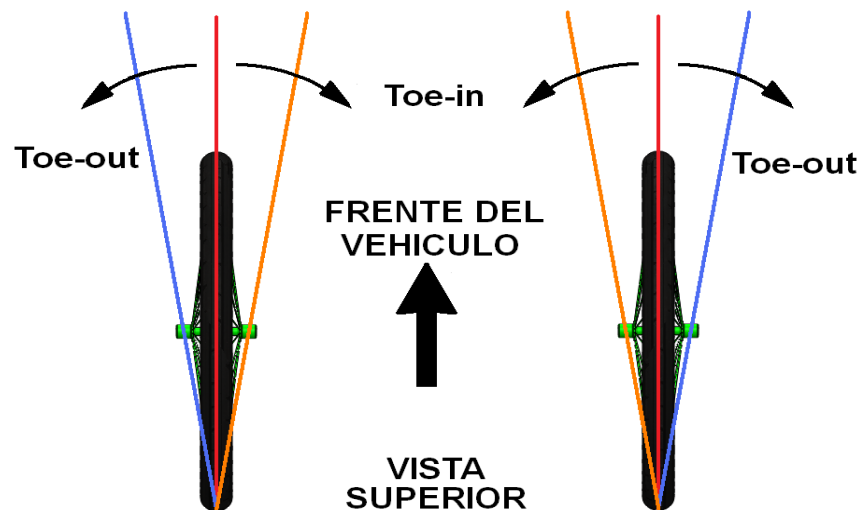


Figura 14 **Convergencia o Toe**. Las líneas azules y naranjas representan las posibles desviaciones que pueden tomar las ruedas del vehículo, con respecto del eje longitudinal del vehículo. Fuente: Franklin Patiño.

4.3.5.4. Inclínación del kingpin (pivote central)

La inclinación del pivote central permite, que el eje de la dirección pase precisamente por el centro del punto de contacto de la llanta con el pavimento. Esto hace que la dirección se vea menos afectada por los defectos en la carretera, por lo tanto, reduce el “golpe de la dirección” y permite que los ángulos anteriormente descritos, presenten el comportamiento y los efectos previstos.

Otro efecto de la inclinación del Kingpin, actuando simultáneamente con el Caster, es que permite cambiar el Camber, en relación con el ángulo del manillar ó volante (Figura 15). Esta compensación permite que las ruedas se inclinen hacia la esquina en la que están dando vuelta. Este efecto sobre el Camber mejora la conducción del vehículo. La inclinación del Kingpin se encuentra en un plano a 90° en relación con el ángulo de avance ó Caster.

La mayoría de diseños de direcciones para automóviles presentan un ángulo de inclinación del Kingpin que se queda corto, y no alcanza la zona de contacto de las llantas. Esto se hace para dar a la dirección una mejor “sensación” del camino. Por otro lado, algunos diseñadores de triciclos aumentan el ángulo para que la línea proyectada quede fuera del centro de la zona de contacto. Esta compensación excesiva reduce las fuerzas causadas por el Freno sobre la dirección, pero también puede causar sobre viraje [17].

Un enfoque válido, para evitarse los inconvenientes constructivos relacionados con este tema, es ubicar el eje de Kingpin tan cerca de la rueda, de manera que la línea central del Kingpin pase muy cerca de la zona de contacto de las llantas y por lo tanto, no sea necesaria la inclinación [15] [16] [19].

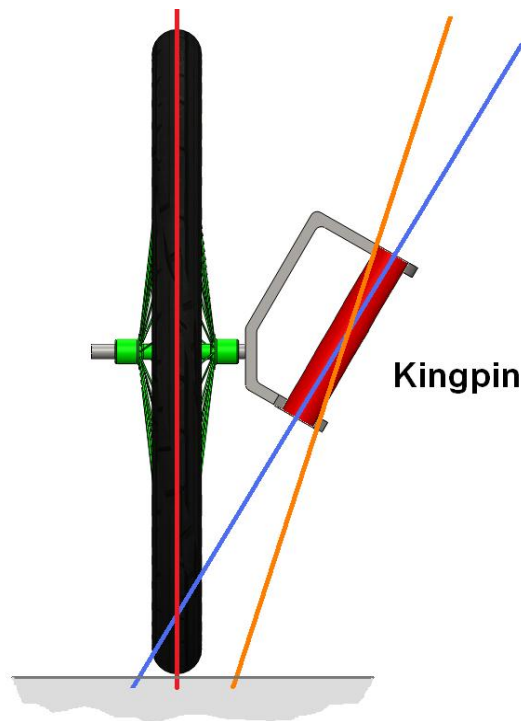


Figura 15. **Líneas de proyección para el ángulo del Kingpin.** La línea azul muestra una trayectoria que excede la zona de contacto, y la línea naranja muestra una trayectoria que se “queda corta”. Nótese que esta Geometría es independiente de la Inclinação de la rueda (Camber).

4.3.5.5. **Angulo ó compensación ackerman**

La compensación Ackerman es la variación del ángulo en las ruedas direccionales de un vehículo para que estas giren en una curva sin deslizamiento.

Realizando un análisis geométrico de la posición de las ruedas durante un giro, se puede observar que la rueda interior a la curva, siempre girará en un ángulo más agudo que la rueda exterior. Obviamente, si las dos ruedas girasen en el mismo ángulo, es decir si permanecieran paralelas durante la curva, se presentaría arrastre en por lo menos una de ellas provocando un rápido desgaste e imprecisión en la trayectoria. Esto no sólo desgasta los neumáticos, sino que también podría causar que el vehículo desacelere drásticamente en las curvas.

Teniendo en cuenta que la Compensación Ackerman, es un concepto puramente geométrico, y que no tiene en cuenta la dinámica del vehículo, debemos mantener presente que lograr un sistema direccional que realice un ángulo Ackerman perfecto (Figura 16). No significa que obtendremos el mejor rendimiento posible del vehículo, además, que la precisión de la compensación Ackerman depende del tipo de sistema de dirección utilizado y del cuidado puesto en su construcción.

Una posible solución práctica, con claras ventajas, es reducir la compensación Ackerman durante las curvas de gran radio, lo que hace que la dirección sea menos sensible y menos propensa al Sobre-viraje, esto permitiría una pequeña cantidad de “arrastre”, cuando el radio de giro sea grande, pero manteniendo una compensación más precisa en los giros de radio pequeño [15] [16] [20].

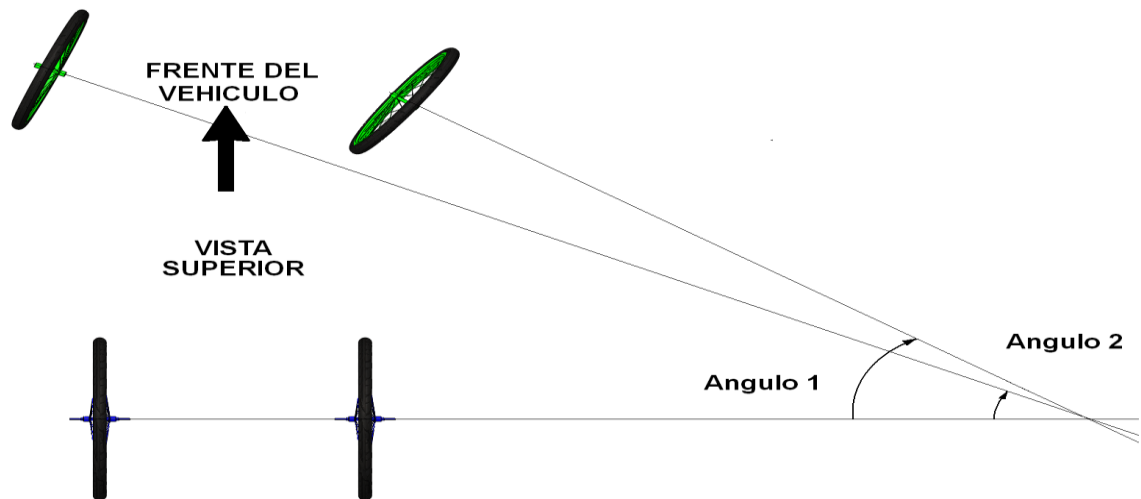


Figura 16. **Ángulo ó compensación Ackerman.** Las ruedas de un vehículo siguen trayectorias diferentes al realizar un giro, por lo cual no deben permanecer paralelas. Fuente: Franklin Patiño.

Peter Eland creó hojas de cálculo, que sirven para diseñar los elementos de una dirección, con compensación Ackerman, según el tipo de varillaje de la dirección,

distancia entre ejes y ancho de vía. Las cuales están disponibles en la página web de La Asociación Internacional De Vehículos De Propulsión Humana. <http://www.ihpva.org/projects/tools/steernew.zip>

4.3.6. Sistemas de enlace para la dirección

Existen variados sistemas de enlace ó el denominado “varillaje” de la dirección, a continuación se menciona solo dos. Los cuales son ampliamente utilizados en los diseños comerciales de baja complejidad y no emplean mecanismos de asistencia mecánica al piloto, como el caso de cremalleras ó “botellas” de dirección, necesarios en vehículos de gran peso.

4.3.6.1. Tirante sencillo

Este tipo de sistema de dirección es común en los automóviles antiguos y en los camiones actuales. Posee una barra de enlace ó “*tirante*”, entre las Maniguetas y el accionamiento se realiza sobre uno de los brazos secundarios. La principal ventaja, es su reducido número de uniones ó articulaciones, esto permite que la dirección se mantenga ajustada.

Este sistema puede proporcionar una adecuada compensación Ackerman, la cual queda definida al momento de la construcción de los brazos secundarios en la maniguetas, este sistema también permite fácilmente el ajuste de la convergencia de la dirección (Toe).

Este tipo de enlace se adapta fácilmente a cualquiera de los métodos de accionamiento, de los direccionamientos antes descritos, pero utilizado en conjunto con el método de dirección directa sobre el Kingpin, resulta ser en conjunto un sistema de muy bajo peso y complejidad.

4.3.6.2. Tirante doble

La principal ventaja de este sistema es que ofrece una casi perfecta compensación Ackerman. Se adapta perfectamente el accionamiento sobre el asiento, gracias al uso del brazo central, su uso con un sistema de dirección bajo el asiento requiere de un sistema de mayor complejidad, con más articulaciones, cada una de la cuales incrementa la tendencia a la deriva en la dirección, y la hace imprecisa. Este sistema también puede ser fácilmente adaptado a la dirección directa sobre el Kingpin.

4.3.7. Trasmisión de potencia

Gracias a la naturaleza similar de este proyecto, con la bicicleta se hace obvia la selección de los mismos componentes de trasmisión de potencia empleados por estas últimas, teniendo definida la posición del sistema de dirección, la ubicación de la trasmisión de potencia se hace por descarte.

La trasmisión de potencia en una bicicleta hace uso de un mecanismo de entrada, conformado por los pedales, biela y plato, el cual es el encargado de convertir las fuerzas generadas por las piernas del piloto, en torque y velocidad angular, (Figura 17). Esta potencia se trasmite es transmitida por una cadena de rodillos, hacia un piñón adosado al eje de la rueda motriz.

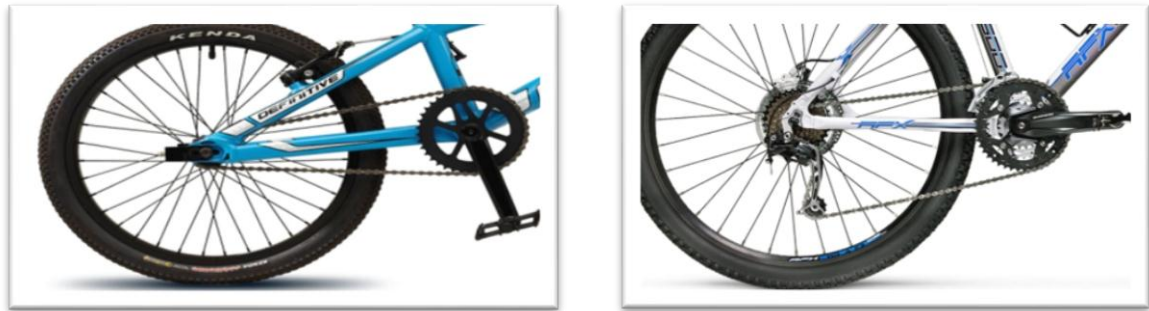


Figura 17. **Transmisión de potencia en bicicletas.** A la izquierda se observa un sistema de transmisión de potencia para una bicicleta tipo BMX, con un solo plato y un solo piñón. A la derecha se observa el sistema de transmisión de potencia para una bicicleta “*Todo Terreno*” con un triplato y múltiples piñones en la rueda trasera. Adaptado de: <http://www.abantbikes.com/b2c/>

La tracción trasera es lo convencional, para ajustar su uso a un vehículo tipo triciclo, es común hacer uso de una cadena extensa, que requiere una serie de ruedas libres o tubos para dirigirla desde el plato (los pedales) hacia el piñón de la rueda trasera. Normalmente se requiere de una cadena que es hasta 3 veces más larga que la de una bicicleta convencional, lo cual es origen de problemas de correcta tensión e incrementa la tendencia a descarrilarse.

En el caso de bicicletas con sistema de cambios, el plato de entrada normalmente presenta 3 diámetros diferentes, lo cual, junto con un juego de piñones (entre 5 a 9) en la rueda trasera permiten configurar el sistema de cambios de manera adecuada para las diversos terrenos existentes [13].

Si bien es posible hacer que sobre un mismo eje, se realice la transmisión de potencia y la dirección del vehículo, esto demandaría la creación de soluciones muy creativas y especiales, las cuales requerirían de mayor tiempo de investigación así como la de una inversión mayor a la presupuestada y las ventajas competitivas resultado de ello no son fácilmente evaluables.

Un sistema eficaz de guía y soporte de la cadena debe generar la menor cantidad de fricción e impedir el descarrilamiento. Esto se puede lograr minimizando el número de puntos de contacto con la cadena así como en la selección de los materiales [9].

Tubos guía

Se trata de tubería plástica en materiales como polietileno o teflón, los cuales son ligeros y ofrecen baja fricción. Otra importante característica es que protege la cadena de la suciedad incrementando su vida útil. Sin embargo, la eficacia depende del correcto uso y tipo del lubricante utilizado. Lo mejor es utilizar aceite muy fino cuando se utiliza este tubo, ya que ofrece la menor cantidad de fricción entre la cadena y las superficies de polietileno.

La razón por la que una cadena se puede pasar a través de este tipo de tubos con poca fricción, se debe a que sólo los bordes exteriores de la cadena entran en contacto con el tubo. Lo importante es encontrar el diámetro correcto de la tubería a utilizar.

La aplicación de estos tubos guía debe ser restringido tramos rectos de cadena, y como medio de protección para el piloto, no como método para cambiar de dirección la cadena, ya que la excesiva fricción causada será una pérdida de potencia considerable.

Poleas de cadena

Se usan cuando el recorrido de la cadena debe ser alterado. Existen dos tipos básicos que pueden ser utilizados; la poleas dentadas, las cuales son generalmente piñones del mismo paso, montados sobre rodamientos, para hacer muy fácil su desplazamiento, esta se apoyan en los rodillos de la cadena y evitan

El descarrilamiento con la inserción de los dientes entre los eslabones de la cadena, ver Figura 18. El segundo tipo se denomina poleas lisas con “cantos” o laterales, lo suficientemente altos para evitar el descarrilamiento, estas son generalmente construidas de materiales plásticos, para evitar daños en las cadenas.

Si bien existen poleas especialmente diseñadas para ayudar al dirigir la trayectoria de la cadena en el mercado, estas no están diseñadas especialmente para las cargas impuestas al cambiar de rumbo la cadena, y se limitan a evitar el contacto con el marco de la bicicleta. Por lo general, este es uno de los elementos que deben ser adaptados de al algún otro dispositivo conocido, por lo que resulta muy común el empleo de ruedas de patín.

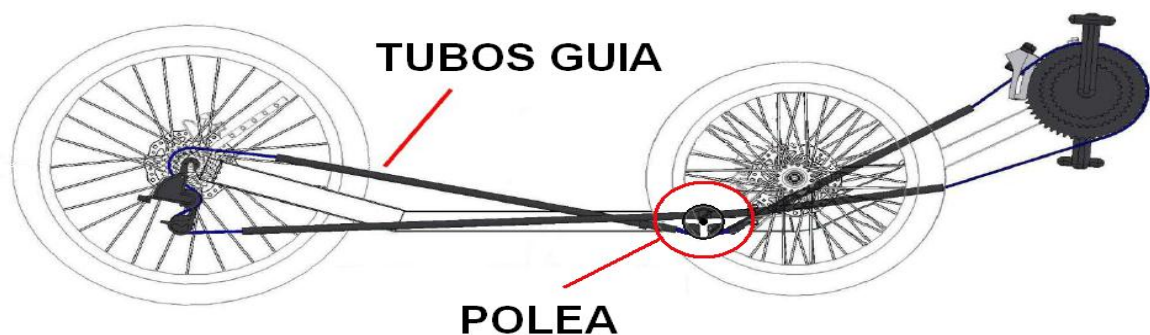


Figura 18. **Disposición general de un sistema de guía de la cadena con tubos guía y poleas.** Adaptado de Performance & Sports Trike Assembly Instructions,

<http://www.kmxkarts.co.uk/getfile/267c1585-a02f-46a6-8232-e5ec3bdf7491/.aspx>

La principal recomendación es sobre la dureza del compuesto de la polea, para evitar el rápido deterioro, las poleas se utilizan casi exclusivamente en el lado de accionamiento de la cadena (lado a tensión), para cambiar el ángulo de la cadena.

Otra solución al inconveniente de tener que instalar una cadena muy larga, es la inclusión de un eje intermedio, el cual permita hacer la transmisión de potencia con dos tramos de cadena en lugar de un solo tramo largo, lo cual sin duda

minimizaría la tendencia a descarrilar de la cadena, pero agregaría peso al vehículo, y requeriría de disponer del arreglo adecuado para dar lugar al montaje de los apoyos necesarios con rodamientos.

4.3.8. suspensión

Un triciclo utiliza ruedas más pequeñas que una bicicleta normal. El problema con las ruedas más pequeñas es que proporcionan una marcha más “*dura*” que las ruedas de mayor diámetro por resultar más sensibles a las irregularidades del terreno.

Sin ánimo de entrar profundamente en el fenómeno físico involucrado en la operación de una suspensión, debemos recordar que el objetivo último de esta es la absorción y disipación de la energía cinética proveniente de las aceleraciones sufridas por el vehículo al transitar sobre las irregularidades del camino, y con esto disminuir los esfuerzos mecánicos sobre la estructura del vehículo y reducir el estrés físico sobre los pilotos.

La aplicación del sistema de suspensión requiere un importante nivel de ingeniería, destreza y sofisticación, así como el uso y la fabricación de numerosos componentes. A continuación se describen los efectos que tiene la instalación de suspensiones en un triciclo [21].

4.3.8.1. Suspensión trasera

Es de fácil implementación para la configuración Tadpole, como para la Delta, y no tiene mayores complicaciones técnicas, con la excepción del manejo de las cargas laterales en la configuración Tadpole, en la cual el punto de pivote con la estructura debe ser lo suficientemente rígido para soportar dichas cargas. Es

común el uso de amortiguadores con muelle incorporado, como los usados típicamente en las bicicletas todo terreno.

Sin embargo, las ventajas de una suspensión trasera son reducidas, ya que la rueda trasera ofrece menos absorción de golpes que las ruedas delanteras. En segundo lugar, el diseño del brazo oscilante, y de su articulación en estos triciclos demanda el uso de materiales resistentes y geométricamente muy rígidos, lo cual anticipa que resultarían más pesados que un chasis sin articulación.

4.3.8.2. Suspensión delantera

Aunque se pueden incorporar sistemas de suspensión operativos en las dos configuraciones generales, resulta ser muy simple para la Configuración Delta, ya que solo se hace necesaria la implementación de un “Tenedor” con suspensión fácilmente hallado en el mercado, ver Figura 19.

Por otro lado la suspensión delantera, en un Tadpole resulta ser un reto mayor para el diseñador, ya que su diseño y configuración debe ir de la mano con la dirección del vehículo.



Figura 19. **Suspensión delantera.** A la izquierda, compleja suspensión delantera para una configuración Tadpole, Tomada de: <http://www.recumbent-gallery.eu/wp-content/uploads/toxy-pirol-trike-pj049257.jpg>. A la derecha, suspensión delantera típica para una configuración Delta. Tomada de: [http://www.bikedock.com/custom/08mission/BMX trike16.jpg](http://www.bikedock.com/custom/08mission/BMX%20trike16.jpg)

Los diseños más sofisticados utilizan una configuración de tijeras independientes apoyadas en el chasis del vehículo, lo cual permite un amplio desplazamiento de las ruedas. Estos sistemas requieren del uso de barras estabilizadoras para limitar los efectos de las fuerzas generadas al dar un giro, y así evitar la inclinación excesiva del vehículo y la tendencia a volcar.

4.3.9. Otros aspectos de diseño básico

En esta sección, se analizan los elementos más generales del diseño de un triciclo, esto con el objetivo de recordar y mantener presente que el diseño de cualquier maquina debe armonizar muchos aspectos diferentes, lo cual necesita del estudio y revisión de conceptos.

4.3.9.1. Distribución del peso

Es el porcentaje del peso correspondiente para cada uno de los ejes, que permite predecir el comportamiento y la estabilidad del vehículo. Se puede definir que cuanto más peso se soporte en las ruedas delanteras, mejor tomará las curvas y presentará menos sobre-viraje. Sin embargo, esto dejaría a las ruedas traseras con poca carga, lo cual provocará que el vehículo deslice su parte posterior en las curvas difíciles. Por otro lado, el sobrepeso en la parte trasera del vehículo hace que se presente alta tendencia a volcar, aún durante las maniobras menos agresivas.

Otro aspecto importante es que la distribución de peso influye en la transmisión de potencia. Si el eje propulsor no recibe carga suficiente, el vehículo se hace propenso a presentar deslizamiento de la rueda, con la subsecuente pérdida de potencia. Si bien autores como **Rickey M. Horwitz**, considera optima una

distribución de peso de 70% adelante y 30% atrás, esto resulta ser solo una recomendación, ya que el peso del vehículo resulta ser solo una fracción del peso del piloto, lo cual indica que si el piloto cambia su posición dentro del vehículo durante cualquier maniobra, la distribución del peso cambiará drásticamente.

4.3.9.2. Centro de gravedad

El centro de gravedad ubica el peso del vehículo, en relación a la superficie en la cual está apoyado. Si todo el peso es colocado por debajo de los ejes de las ruedas, el vehículo tendrá una excelente maniobrabilidad, haciendo menos evidente la influencia de la distribución del peso, ver Figura 20.

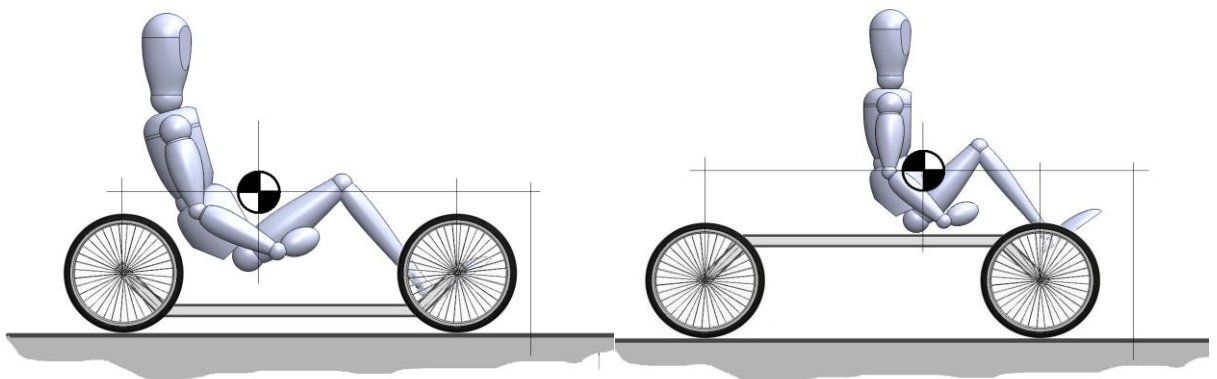


Figura 20. **Distribución del peso y ubicación del centro de gravedad.** A la izquierda se observa una configuración con bajo centro de gravedad y soportando la mayor parte de peso sobre el eje trasero. A la derecha una configuración con alto centro de gravedad y soportando mayor peso sobre el eje delantero. Fuente: Franklin Patiño.

Las desventajas de tener un centro de gravedad muy bajo son la visibilidad, el confort y practicidad, ya que esto limitaría su uso a superficies sin irregularidades

ni cambios de nivel pronunciados. Por razones prácticas la mayoría de vehículos, se diseña con una distancia libre al suelo o despeje lo suficientemente alto para superar los obstáculos ó irregularidades del terreno sobre el cual debe circular.

4.3.9.3. Distancia entre ejes

Es la distancia entre el eje trasero y el eje delantero del vehículo. Esta longitud influye en la dirección, la estabilidad, la distribución del peso y establece el espacio disponible para el piloto.

Es fácil visualizar que un vehículo con una distancia entre ejes corta, puede describir un radio de giro más cerrado, lo que lo hace Más rápido y de manejo más deportivo, en zonas sinuosas. Así mismo resulta ser más pequeño, y su marco más rígido y ligero. En su contra se puede decir que la posición del piloto tiene más efecto sobre la distribución del peso total y que la posibilidad de construir un asiento reclinable es limitada.

Por otra parte con una distancia entre ejes larga, superamos las limitaciones anteriormente expuestas, pero se requiere de mayor cantidad de material para su construcción y para lograr una rigidez equivalente a la de un marco más pequeño, se requeriría además de una mayor sección en el perfil [18].

Por tanto, si esta dimensión no es una limitante del diseño, se aconseja construir el vehículo más compacto posible, ya que el peso reducido es una ventaja muy competitiva para cualquier vehículo.

4.3.9.4. Ancho de vía

Esta es la distancia entre la huellas de las ruedas más exteriores. Entre más amplio sea el ancho de vía del vehículo, es menos susceptible a la volcadura en

las curvas. Sin embargo, si es demasiado amplia, el vehículo se vuelve impráctico, para el tránsito en condiciones cotidianas.

En la configuración Tadpole, el Ancho de Vía influye seriamente en el desempeño general de la dirección y la comodidad del vehículo, debido a que el radio de giro es dependiente del punto de bloqueo que tenga el sistema de dirección, ver Figura 21.

En lo que se refiere a un triciclo Delta, El ancho de vía influye en la dirección del vehículo de manera indirecta, obligando al piloto a realizar giros lo suficientemente amplios para evitar el contacto de sus ruedas traseras con los vértices de las curvas [18].

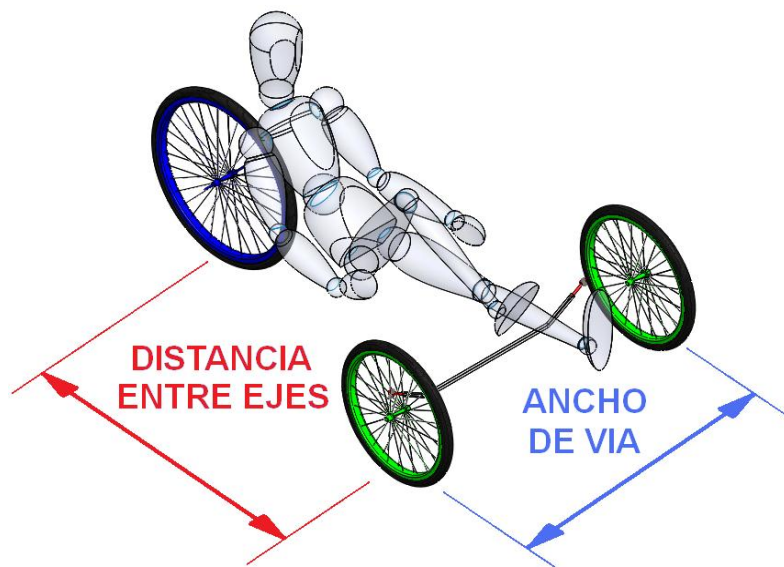


Figura 21 **Distancia entre ejes y ancho de vía para un triciclo, en configuración Tadpole.** Fuente: Franklin Patiño.

4.3.9.5. Asientos

La ciencia de la Ergonomía, tan de moda en estos tiempos, requiere de ubicar el cuerpo humano, en una determinada posición en la cual se pueda ejercer la mayor

cantidad de potencia y evitar la fatiga excesiva y las posibles lesiones producto del esfuerzo físico.

No es fácil obtener datos cuantitativos sobre este tema, sin embargo, no es difícil ni errado basar la selección de materiales y configuración del asiento, en el conocimiento básico e intuitivo sobre el tema, por ello se puede iniciar clasificando los tipos de sillas en 2 formas constructivas básicas; las flexibles, construidas en mallas ó lonas, y las rígidas las cuales cuentan con un “*Alma*” ó estructura que permite conservar su forma básica, y un material de relleno como la espuma que lo hace suave y adaptable al cuerpo del piloto.

Determinar si el asiento es o no cómodo, depende de que este cuente con algunas características mínimas. Un asiento colgante de malla, con un tejido cerrado, en materiales sintéticos, es transpirable y fresco. Además, dependiendo de su estructura de soporte puede ser ajustable, permitiendo que se acomode a diversos pilotos.

El asiento rígido puede proporcionar firmeza, para toda la espalda, la cual debe estar correctamente apoyada para lograr el mejor desempeño posible, por otra parte la principal desventaja se tiene la falta de transpiración de la silla, ya que retienen el calor y la humedad, y muchos no son ajustables.

Otro tema importante es el peso del asiento. Debe lograrse el mejor balance entre comodidad, desempeño y peso a la hora de diseñar el asiento, un asiento muy blando y mullido no brinda una base muy rígida sobre la cual apoyarse para pedalear, además de ser “caluroso”, por su parte, un pequeño asiento, plástico, sin ningún tipo de flexibilidad o absorción de impactos, cansará rápidamente al piloto y puede llegar a causar incomodidad muy rápidamente. Sea cual fuere la decisión, el asiento escogido debe brindar además, soporte lateral y cierta fricción para ayudar a mantener el piloto en su sitio, durante los giros.

La revisión de vehículos similares, da como resultado un hecho sobresaliente, a pesar de estar en posición sentada, son muy pocos los fabricantes que emplean en sus diseños, reposacabezas, estos se debe a que la dinámica involucrada a la hora de montar esta clase de vehículos. Llevar la cabeza apoyada, implica pérdida de visión lateral, por otro lado, los cascos normalmente utilizados, están diseñados para bicicletas en posición vertical.

4.3.9.6. Tamaño de la rueda

Los diseños de triciclos vienen en una amplia variedad de tamaño de ruedas, y al igual que en las bicicletas el tamaño afecta la eficiencia, el peso, la ergonomía y la calidad de paseo. Como es de esperarse, no existe el tamaño de rueda perfecto, solo aquel que se adapta mejor a las condiciones del terreno, esto aplica también para el labrado y tipo de compuestos utilizados.

En general, las llantas de diámetro pequeño, resultan más fuertes y manejan mejor las cargas laterales, permiten radios de giro más compactos cuando se usan en la dirección.

La principal ventaja de las ruedas más grandes es que proporcionan una mejor resistencia al vuelco, ofrecen un paseo, más cómodo a la vez que generan una mejor resistencia a la rodadura, lo cual es de gran ventaja en un vehículo de tracción humana.

Las llantas diseñadas para BMX están entre la más fuertes y durables, ya que son sometidas a fuertes impactos y severas condiciones de uso. Estas resultan una buena opción, para las ruedas delanteras, donde el espacio es limitado, se requieren radios de giro cerrados, además este tipo de ruedas se fabrican en variados labrados y tipos de compuestos para afrontar diversas condiciones.

En la rueda trasera, el tamaño puede ser restringido para mantener la rigidez del marco, pero tiene que ser lo suficientemente grande para funcionar en conjunto con el sistema de cambios escogido, ya que estos están diseñados para ser usados con ruedas de entre 26 y 27 pulgadas de diámetro, de lo contrario el desempeño del sistema de transmisión de potencia puede no ser el óptimo.

Debido a que el neumático trasero se encuentra bajo menor carga lateral, que en las ruedas delanteras, es posible utilizar ruedas de gran diámetro, lo que ofrece excelente resistencia a la rodadura y hace el viaje mucho más suave que una rueda de por ejemplo 20 pulgadas.

La virtud del bajo peso es evidente, para toda rueda, pero aparte del diámetro, también puede lograrse con el uso de materiales como aluminio en los rines y las manzanas, y el uso de radios ligeros [22]

4.4. DISEÑO DEL MARCO

Es aquí donde se pone a prueba la capacidad del diseñador para lograr una solución que satisfaga adecuadamente todos los requisitos de diseño, que brinde las mejores ventajas competitivas y permita sacar provecho de los elementos como la transmisión de potencia ó la maniobrabilidad de la dirección.

Las características más importantes del marco, son el peso y rigidez. Un triciclo ligero permite una aceleración más rápida y la capacidad de subir colinas mucho más fácil que un triciclo más pesado. La rigidez influye directamente sobre la estabilidad, la flexión es indeseable especialmente a alta velocidad y durante las curvas, donde puede hacer que un vehículo sea inmanejable. Más allá de estos requisitos básicos, se debe tener en cuenta otros requisitos como la confiabilidad, el costo, la ergonomía, la comodidad, la construcción y la comodidad.

La gran complejidad de la tarea no permite establecer una “norma” ideal para el diseño de este elemento del vehículo, así que solo queda dictar algunas recomendaciones generales:

- Realizar una búsqueda amplia, sobre los vehículos existentes, en la cual se haga un análisis a profundidad de los principales aspectos, como la maniobrabilidad, comodidad, viabilidad de su construcción teniendo en cuenta los recursos disponibles y nunca quedarse con solo el aspecto físico del vehículo.
- Plantearse estructuras simples, en las cuales se utilicen pocos elementos estructurales y preferir una construcción basada en dobleces evitando en lo posible la realización de soldaduras.
- Integrar funciones al chasis, diferente al solo soporte, ejemplo, diseños de marcos en los cuales el asiento es parte estructural del chasis. Esto permite disminuir el peso total del vehículo.

Resulta muy recurrente encontrarse con diseños “*cruciformes*” para el marco que no incluyen un asiento integrado. Estos tipos de vehículos son los de más fácil diseño y construcción, por ser la solución más directa al vehículo de 3 ruedas.

El éxito es una mezcla cuidadosa de la distribución del peso, bajo centro de gravedad, distancia entre ejes, ruedas de pista, la geometría de dirección y diseño del chasis. En la mayoría de los casos, el diseño será un compromiso de todos estos atributos.

El diseño de la parte trasera de un triciclo, requiere de una estructura con una combinación equilibrada de los refuerzos para superar la carga directa del peso, la carga impuesta por la cadena y las cargas laterales. Cada una de estas fuerzas es dinámica y algunas interactúan. Como se ha mencionado, sólo entre el 25 y el

35% del peso total del vehículo se colocará en la rueda trasera, por lo tanto, la carga vertical debida al peso no es una preocupación principal.

Para el caso del Diseño Tadpole, utilizar una configuración completamente triangular la cual se ha venido utilizando durante más de un siglo, resuelve los problemas de carga, así como el manejo de la cadena y carga vertical. Los inconvenientes de una la parte trasera completamente triangulada son que complica el diseño, aumenta los costos y añade peso.

El diseño de un triciclo Delta, con tracción trasera requiere tomar decisiones importantes, la principal de ellas, es dónde aplicar la potencia, en una o en las dos ruedas traseras. Un vehículo de eje rígido, hará deslizar sus ruedas en las curvas, y presentará una fuerte tendencia a no virar suavemente prefiriendo la marcha en línea recta, sin la implementación de un mecanismo diferencial, la única opción es transmitir la potencia a un sola rueda, lo cual debido a las bajas potencias implicadas no resulta en una sobrecarga de la rueda propulsora.

El marco debe disponer de los componentes necesarios para soportar el eje trasero, y permitir el paso de la cadena, así como brindar puntos de sujeción a los elementos de freno y de manejo de los cambios.

El diseño, de los elementos del chasis, destinados al montaje de la dirección para cualquiera de los dos diseños, consta de bujes, para dar soporte a los rodamientos y permitir el montaje del tenedor en el caso del diseño Delta, ó de las maniguetas del diseño Tadpole, en ambos casos, los elementos básicos son los mismos, rodamiento de bolas de contacto angular, ya sea sellados o desarmables.

Todos los demás detalles constructivos del marco dependen de los requisitos de Diseño, condiciones de Carrera ó características especiales que el diseñador

pretenda incorporar en el vehículo como elementos de protección ó características estéticas.

4.5. OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE EL RENDIMIENTO

4.5.1. Peso dinámico

El máximo logro en la construcción de cualquier vehículo de tracción humana es alcanzar un bajo peso, sin embargo, el peso o masa que reside en las partes móviles, como por ejemplo, ruedas, bielas, cadenas juega un papel muy importante en el desempeño del vehículo. Porque, entre más masa se tenga, más energía se necesita para cambiar el movimiento y además se almacena una gran cantidad de energía en dichas partes en movimiento. Además que una vez la masa posea una determinada velocidad, se requiere de muy poca energía para mantener su movimiento.

Como se sabe, se necesita más energía para alcanzar una determinada velocidad, partiendo de cero o desde una velocidad inferior, que para mantenerla constante. Esto es particularmente importante en las ruedas del vehículo, las cuales actúan como “*Volantes*”, almacenando energía y liberándola durante los cambios de velocidad, lo cual exige mayor esfuerzo por parte del piloto y mayor capacidad de freno. Es por esta razón que el peso dinámico del vehículo debe ser lo más ligero posible.

El peso que reside en partes no móviles como el chasis y accesorios, juega un factor importante en la aceleración, al momento de subir por la cuesta, esto hace que se incremente la resistencia a la rodadura.

En resumen, si las ruedas y sistemas de transmisión son más ligeros, permiten alcanzar un rendimiento óptimo del vehículo de tracción humana.

4.5.2. Resistencia a la rodadura

Es una fuerza que se opone al movimiento de los vehículos por efecto de la plasticidad de los neumáticos. Las deformaciones sufridas por la llanta, en contacto con el suelo consumen cierto trabajo por histéresis, una vez superada la zona de contacto con el suelo, las partes deformadas retoman su forma, pero no pueden restituir todo el trabajo de deformación, una parte del cual se pierde en forma de calor.

Cuando el vehículo circula sobre un terreno blando, también éste se deforma sin embargo, el terreno no devuelve al neumático el trabajo de deformación absorbido anteriormente. Por este motivo, la presión en la huella no es constante, sino que resulta mayor en su parte delantera. La resultante vertical de las reacciones del terreno al peso se encuentra, por tanto, desplazada hacia delante respecto al eje de la rueda (cuando la rueda gira). Sólo coincide con el eje cuando la rueda está en reposo.

La resistencia a la rodadura es proporcional al peso del vehículo y depende de las dimensiones y la estructura de los neumáticos, de su presión de inflado, del tipo de superficie y de la velocidad.

Los neumáticos de mayor diámetro, reducen la resistencia a la rodadura. Se obtiene un efecto análogo aumentando la presión de inflado, lo cual evita la deformación excesiva del neumático.

4.6. EL FACTOR HUMANO

Este es quizás el factor más relevante en el desempeño de un vehículo de tracción humana. Por lo tanto, se debe prestar mucha atención para proporcionar un vehículo ergonómico y cómodo, aspectos como el asiento deberían ser ajustables para modificar la orientación y adaptarse al piloto, así como las manecillas de accionamiento deberían ser anatómicas y requerir poca fuerza de accionamiento.

En el caso de un vehículo Recumbente, la altura de los pedales requiere una deliberación especial, y ya que es un tema importante y subjetivo, es imprescindible que sea diseñado de común acuerdo con el piloto.

Lo mejor es utilizar un enfoque conservador, utilizar la ergonomía y la comodidad como líneas de base para el diseño. Después de la experimentación, el diseño se puede cambiar para adaptarse a las necesidades especiales de la competencia o del ambiente.

Por otra parte, es importante limitar la influencia del peso del piloto en el desempeño del vehículo. La principal ventaja de un vehículo, en el cual el piloto esta reclinado, es que ésta posición limita su influencia en las características de manejo, y características como la distribución del peso y el centro de gravedad se pueden establecer con buena aproximación en la etapa de diseño.

5. METODOLOGÍA

5.1. DISEÑO CONCEPTUAL

Para el diseño conceptual, a continuación se listaran los requisitos generales del concurso, a los cuales se debió ceñir la construcción del vehículo, fue incluido además algunas de las particularidades más relevantes de los sitios donde se ejecutaron las competencias, las cuales fueron relevantes en el diseño.

- El vehículo debía ser un Triciclo, Propulsado por una solo persona.
- El ancho total no debía exceder los 1100mm.
- Se debía contar con una barra antivuelco, capaz de soportar una carga estática de 200 Kg, ubicada en su parte más alta.
- La estructura del vehículo y el cinturón de seguridad debían impedir, que en el caso de una Volcadura el piloto se vea *“en situación comprometedora de su integridad física”*.
- El vehículo debía circular por rampas de 12% de inclinación, con aproximadamente 27 m de longitud.
- Se debía superar resaltos de 50 mm de altura y 400 mm de largo.
- Se debía realizar un Slalom con obstáculos cada 4 m.
- Se debía trasportar un paquete de 3kg, con unas dimensiones de 350 x 320 x 270 mm. Si el vehículo contaba con un medio especial para el transporte del paquete, este podía ser retirado para la ejecución de las demás competencias.
- El vehículo debía contar con un perfil de 3/8” de diámetro, ubicado a 100 mm del suelo, una longitud mínima de 90mm y orientado paralelo al sentido de avance del vehículo, destinado al montaje del sensor que mediría la velocidad y con el cual se contaron el numero de vueltas en las carreras de velocidad y contra reloj.

Gracias a la semejanza existente entre un VTH y una bicicleta, fue obvia la selección de componentes y partes propias de estas últimas, así como la selección de un fabricante con reconocida trayectoria, para reducir la incertidumbre a la hora de realizar la selección de piezas.

Luego de realizar consultas con proveedores de partes para bicicletas, en las cuales fue obvia la gran oferta de diversas marcas, materiales y calidades existentes en los componentes de bicicletas, están divididos principalmente en líneas económicas, de media y alta gama, se optó por seleccionar un grupo de piezas, de una sola casa matriz, con el ánimo de hacer más racional la selección, debido a que todos los componentes (pedales, platos, piñones, cadenas, manzanas, frenos, manecillas) son diseñados para la misma aplicación

La selección de dicho grupo se realizó con base al manual de componentes SHIMANO 2010, este fabricante como muchos otros, ha diseñado diversas líneas de productos orientados a diversos usos, y gracias a la experiencia adquirida, puede proveer una serie de componentes adaptados para trabajar en conjunto con los mejores resultados.

MTB Freeride	Estilo de ciclismo	Extreme, North Shore, dirt jump, descensos, calle.			
	Pista	Descensos, saltos y bajadas moderados o más grandes, descensos técnicos.			
	Estilo de bicicleta	Doble suspensión de largo recorrido (*recorrido superior a 150 mm, cuadro y piezas fuertes).			
MTB Trekking	Estilo de ciclismo	Trekking, ciclismo			
	Pista	En carretera			
	Estilo de bicicleta	Bicicleta de trekking, ligera			
MTB ocasional	Estilo de ciclismo	Ciclismo ocasional, deportivo			
	Pista	Montaña suave			
	Estilo de bicicleta	Suspensión de recorrido corto, sin suspensión			
Bicicleta de ciudad	Estilo de ciclismo	Ciclismo ocasional, urbano			
	Pista	Carretera asfaltada en ciudad			
	Estilo de bicicleta	Aspecto MTB			

Figura 22. **Cuadro para la selección de componentes.** Adaptado del manual de componentes SHIMANO 2010.

Como se puede observar en la figura 22, muestra una parte de los componentes disponibles para el segmento de bicicletas “*todoterreno*”, estas piezas se seleccionan basadas en el uso que se va a dar, el tipo de pista o superficie y la implementación ó no de suspensiones, teniendo en cuenta las condiciones de la competencia y la seguridad, se seleccionó un grupo hidráulico Shimano, de 9 velocidades, modelo *acera*, empleado normalmente en bicicletas tipo todo terreno de uso ocasional, el cual se adapta a trabajar en un vehículo sin suspensiones y por ser este un grupo hidráulico, cuenta con gran capacidad de frenado, además de la posibilidad de 27 diferentes relaciones de transmisión para adaptarse a las condiciones de carrera.

Ahora, teniendo en cuenta los aspectos generales para el diseño de un vehículo de tracción humana, descritos en el capítulo anterior, y teniendo presente los requisitos generales del concurso anteriormente listados, se definieron los rasgos generales del vehículo.

- El diseño del vehículo seleccionado fue un Triciclo, en configuración Tadpole, la cual presenta el mejor comportamiento en cuanto a maniobrabilidad y capacidad de frenado, el cual estuvo limitado a 1100mm de ancho.
- Las medidas de seguridad impuestas por la organización, principalmente la barra antivuelco, limitaron las posibles posiciones de accionamiento, por esto se propuso una posición recostada ó recumbente para el piloto, con lo cual también se pudo lograr un bajo centro de gravedad, que resultaba beneficioso para el desempeño en las carrera de velocidad y en la prueba contra reloj.
- En cuanto al sistema de dirección del vehículo, se propuso que estuviera ubicado al frente, ya que la configuración resulta la más común para los pilotos y el accionamiento es directo sobre los ejes de la dirección (Kingpin's), articulando las dos llantas con una barra de enlace sencilla, con el propósito de lograr un bajo peso del sistema. Para los ángulos de la dirección, se propuso un ángulo de Camber positivo de 5° y un ángulo de Caster de 0° .
- Una vez se definió la ubicación de la dirección en la parte delantera, se propuso que la tracción fuera trasera, y se trabajaran con las cadenas típicas de las bicicletas, a fin de minimizar la complejidad del vehículo.
- Se obvió el uso de suspensión en el vehículo, debido a que la competencia se realizaría sobre superficies lisas y con pocas irregularidades, además el tiempo que iba a ser usado el vehículo por cada piloto era muy corto y por esta razón el estrés disminuiría. Por otro lado, resultaba difícil estimar, cuanta de la energía invertida en el accionamiento del vehículo, puede

perderse a través de las suspensiones, además se incrementaba el peso del vehículo.

- Se mantuvo una distancia entre ejes lo más corta posible, ya que esto le permitió al vehículo ser maniobrable y ligero al requerir menor cantidad de material.
- Se seleccionaron ruedas de 20" de diámetro, para el frente del vehículo, con el fin de lograr un ángulo de giro cerrado, aros en aluminio de doble pared por su bajo peso y resistencia, basado en el tipo de superficie donde se desarrollaría la competencia se seleccionaron llantas Slips, de gran perfil y con capacidad de soportar alta presión de inflado a fin de reducir la resistencia a la rodadura. Para la rueda trasera se decidió montar una rueda de 24" de diámetro, que permitiría mantener bajo centro de gravedad del vehículo y mejoraría la relación de transmisión propia de los sistemas de Cambios de velocidades, que están diseñados para ser montados en ruedas de un diámetro de 26" ó más, esto anticipando la exigencia sobre los pilotos que tendrán las Rampas de 12% de inclinación, existentes en la prueba de Utilidad.
- El material seleccionado para la construcción del vehículo fue el aluminio, debido a su bajo peso resulta ser un factor muy relevante en el desempeño general del vehículo, por tratarse de un concurso de tracción humana, además es un material empleado comúnmente en bicicletas con amplio éxito.
- Para el asiento se escogió un material sintético, tejido entre la estructura del vehículo, lo cual brindaría un cómodo soporte pero limitando el rango de altura para los pilotos, a una diferencia de unos pocos centímetros.
- Se utilizaron frenos de disco hidráulicos, por su capacidad de ejercer mayor potencia de frenado comparado con los mecánicos, este sistema fue aplicado sobre las ruedas delanteras, ya que la distribución de peso que presenta la configuración Tadpole hace ineficaz el freno en la llanta trasera.

- La Configuración Tadpole Recumbente, ubica los pies del piloto en la sección delantera del vehículo, lo cual hace necesario el uso de una cadena que recorrerá todo el vehículo a lo largo, el direccionamiento de esta cadena se planeó con el uso de poleas, evitando los cambios bruscos de dirección en el recorrido, para minimizar los esfuerzos generados en la cadena. Se descartó el uso de tubos por tratarse de una competencia en un ambiente muy limpio que no presenta un impacto severo al desempeño de las cadenas.

5.2. DISEÑO BÁSICO

Para el diseño del chasis del vehículo, se realizó una distribución espacial aproximada de algunos elementos principales como las ruedas y la silla, como se ve en la figura 23, lo cual facilitó realizar la geometría requerida para el chasis.

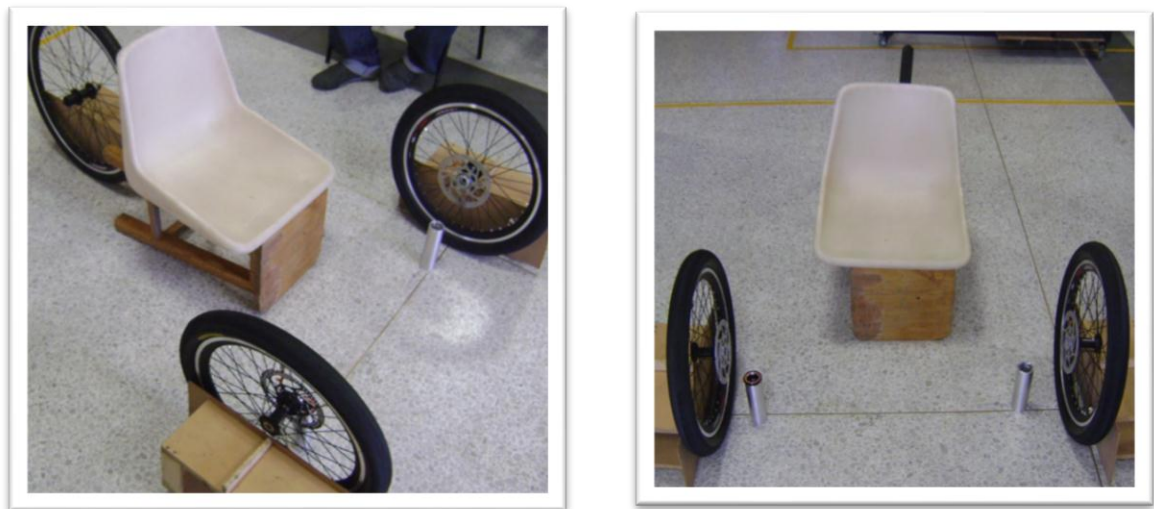


Figura 23. Disposición aproximada de las ruedas, silla y articulaciones para la dirección. Fuente: Franklin Patiño.

Basados en esta disposición, se permite tener un bajo centro de gravedad y se acorta la distancia entre ejes. Además, estando limitados al ancho de vía

establecido, así como al uso de una barra antivuelco, se procedió a proponer un primer chasis que reuniera las características necesarias.

El procedimiento utilizado para realizar los análisis requiere que los modelos creados en Solid Works sean importados a Ansys, como “*Cuerpos de Líneas*”, lo cual permite disminuir el número de nodos y por lo tanto el tiempo de procesamiento, ver Figura 24.

Este procedimiento puede disminuir la exactitud de los resultados, en comparación con un análisis de modelo completo en un software de modelamiento, pero se hace necesario ya que el poder de procesamiento necesario sobrepasa las características de los equipos de cómputo disponibles normalmente, además se generan gran número de nodos que supera las limitaciones para una licencia académica.

Es importante señalar que, se modeló un maniquí, con las proporciones de una persona de 1.80 m, este maniquí se utilizó como una herramienta de verificación de dimensiones y para facilitar el dimensionamiento, esto sirvió para evaluar más rápidamente las geometrías propuestas para los chasis modelados con Solid Works.

El primer chasis propuesto, chasis A, está formado por dos perfiles (tubo de Aluminio de 1 1/4” y espesor de 2mm), los cuales permiten desarrollar una estructura continua a través de dobleces y evitando las posibles uniones soldadas. Esta estructura aloja en su interior al piloto, este sistema dispone de espacio suficiente entre la cabeza del piloto y la barra antivuelco.

Una vez realizado el modelo del chasis, se procedió a realizar el análisis estructural al chasis, empleando Ansys 14.0 con licencia académica, evaluando el esfuerzo máximo combinado y la deformación máxima sufrida por la estructura

debidos a la carga que debe ser aplicada a la barra antivuelco 200Kg, lo cual se considera que es el peor escenario al que puede someterse el chasis del vehículo, ver Figura 25.

Este mismo procedimiento se siguió para los otros dos chasis, y se calcularon los mismos parámetros, los cuales se muestran a continuación, y al final del proceso de diseño, se presentó en una tabla la cual sirvió para la toma de decisiones y conclusiones, ver Figuras 26 y 27.

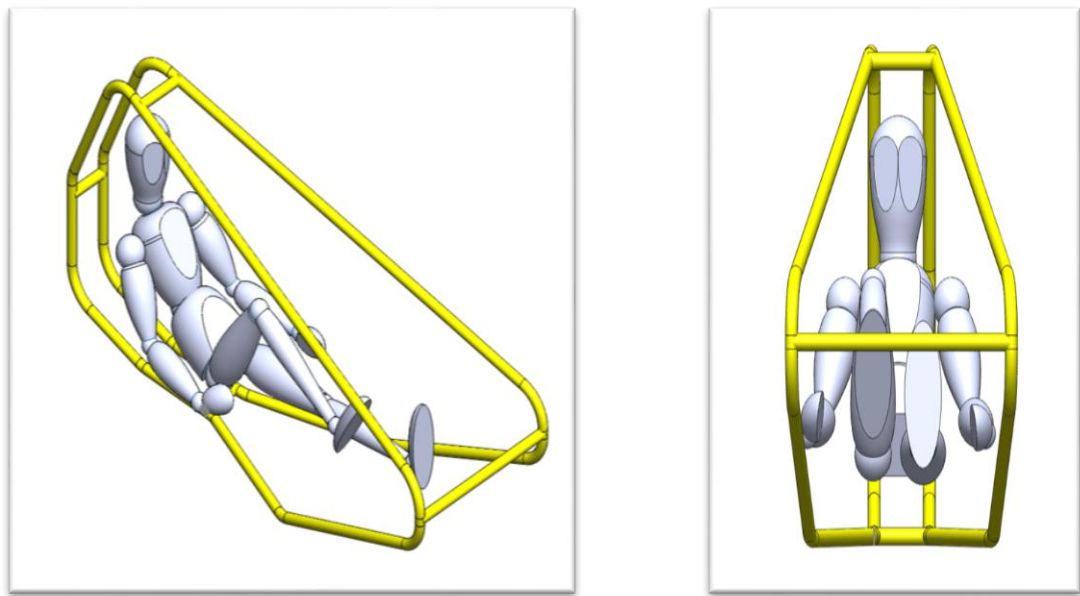


Figura 24. **Chasis A.** Fuente: Franklin Patiño.

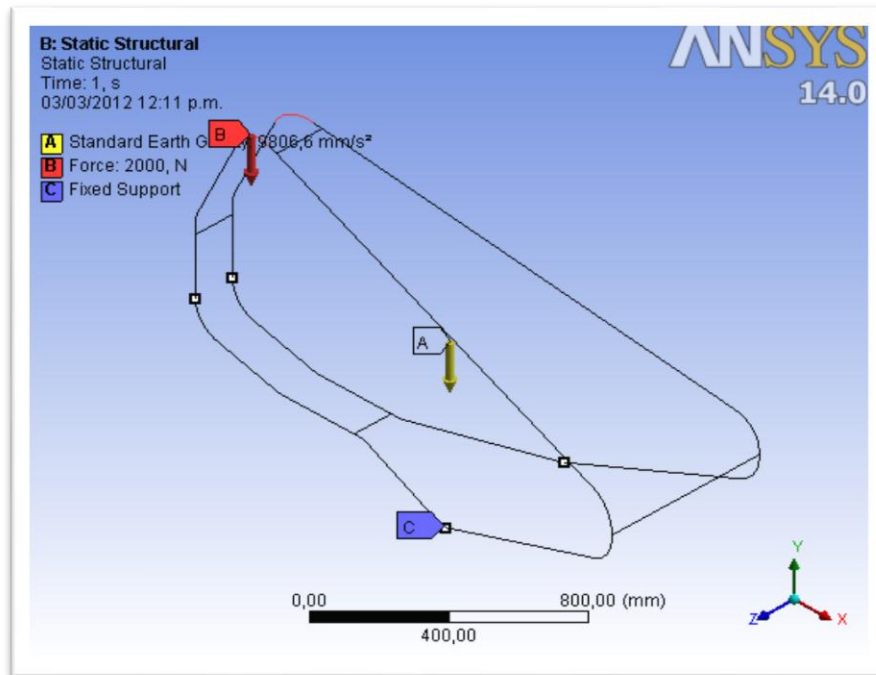


Figura 25. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis A.
 Fuente: Franklin Patino.

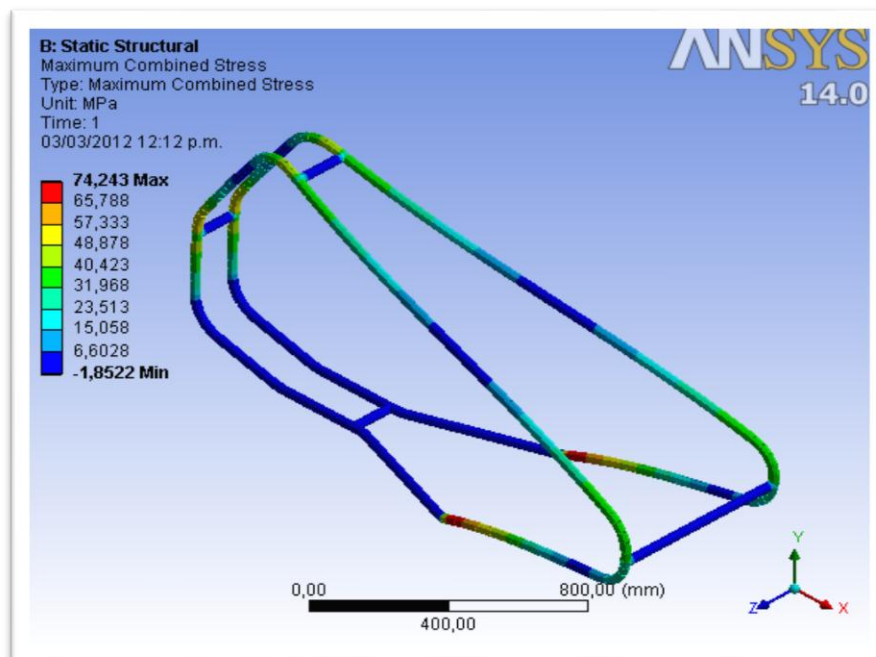


Figura 26. Resultado calculado para el máximo esfuerzo Combinado para el Chasis A. Fuente: Franklin Patino.

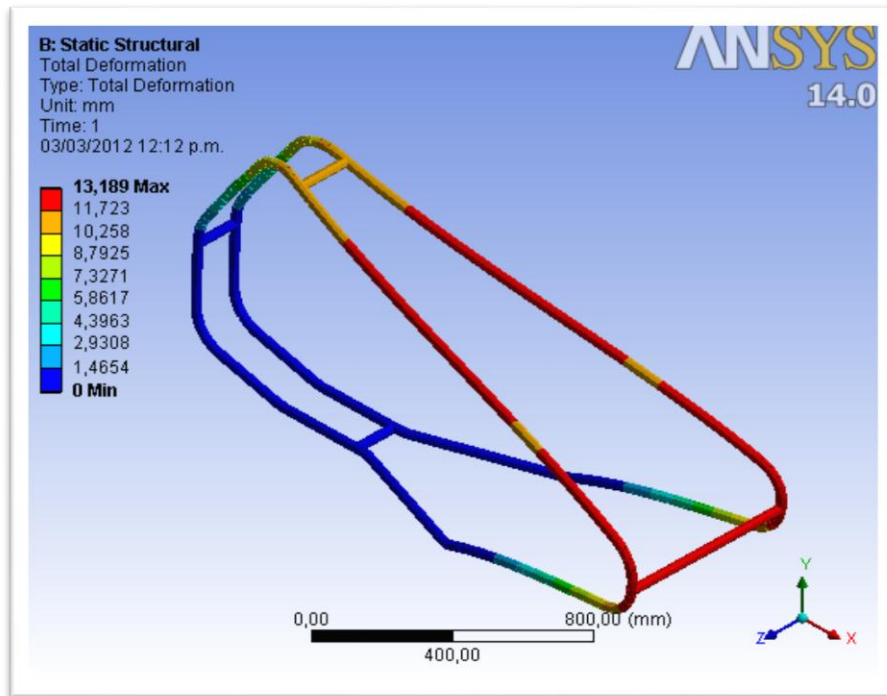


Figura 27. Resultado calculado para la deformación total para el chasis A. Fuente: Franklin Patino

El segundo Chasis propuesto se denominó Chasis B (Figura 28), este también está formado por dos secciones tubulares, de igual dimension que el primero, pero presenta una figura más estilizada la cual disminuye el uso de materiales y resulta más liviana conservando la integridad del piloto. Los análisis realizados se ven reflejados en las Figuras 29, 30 y 31,

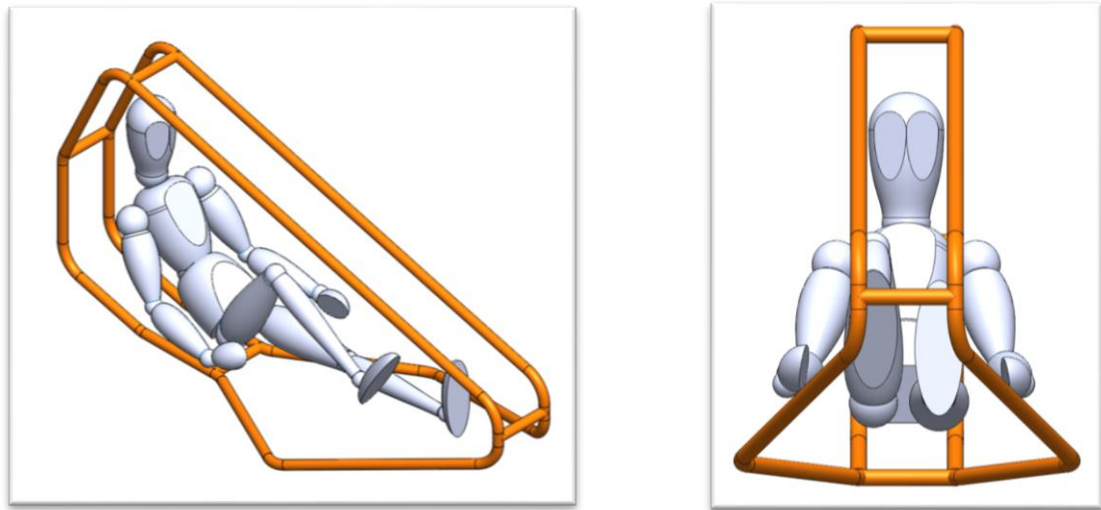


Figura 28. **Chasis B.** Fuente Franklin Patiño.

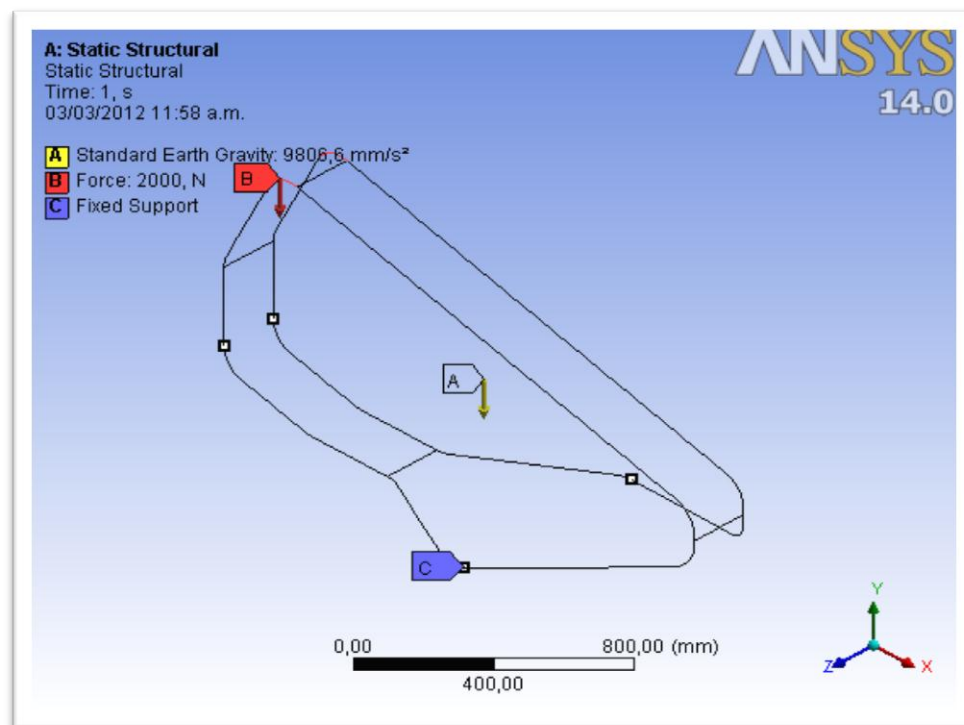


Figura 29. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis B.
Fuente: Franklin Patiño.

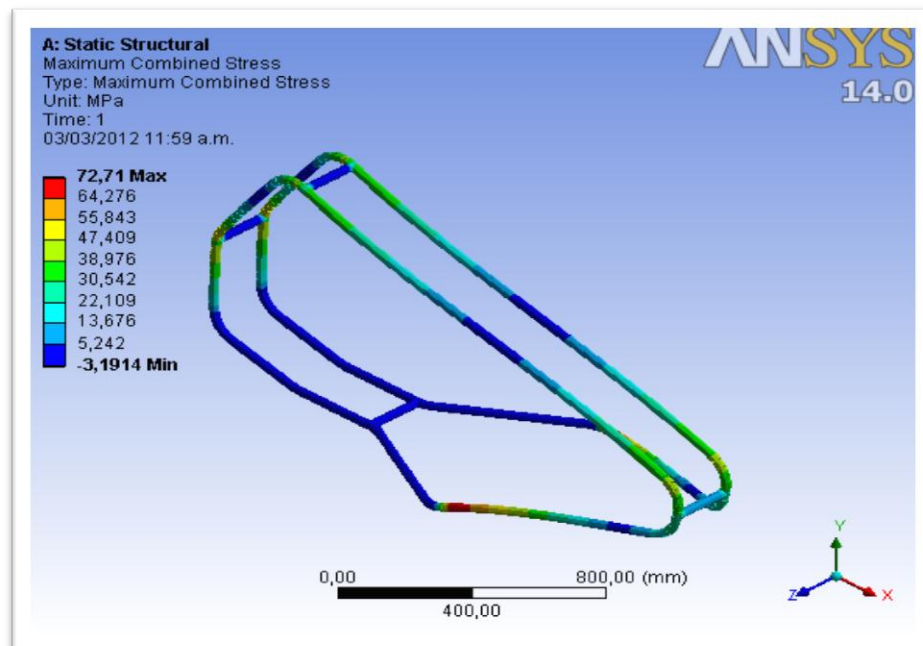


Figura 30. Resultado calculado para el máximo esfuerzo combinado para el chasis B. Fuente: Franklin Patiño

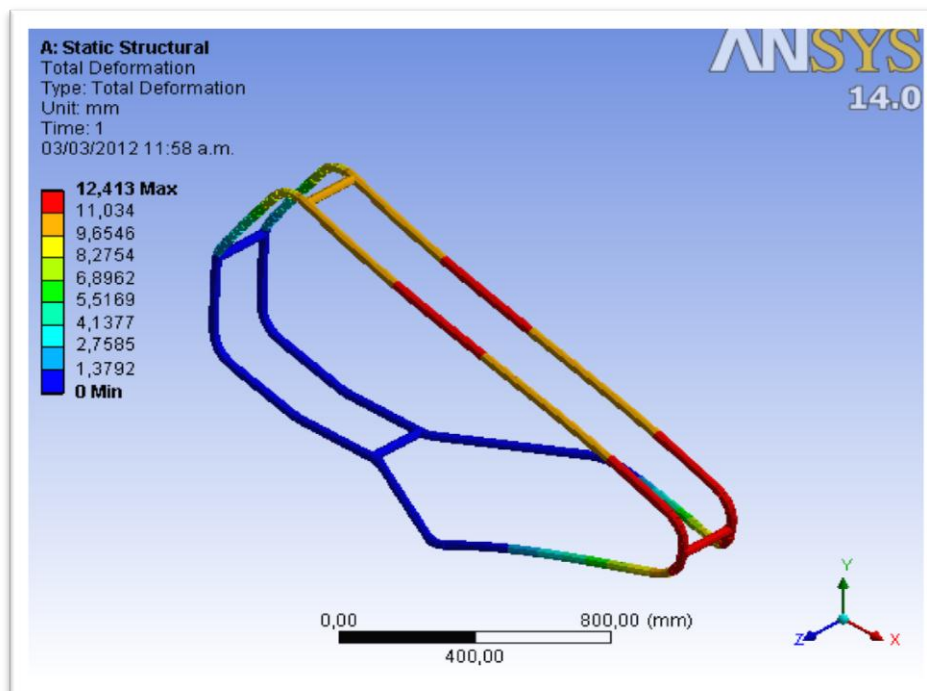


Figura 31. Resultado calculado para la Deformación Total para el chasis B. Fuente: Franklin Patiño.

El tercer chasis propuesto, presenta una característica de diseño que permite bajar el peso final del vehículo, al incorporar en su estructura la silla como un componente que soporta carga y aporta rigidez, no únicamente soporte al piloto, ver Figura 32, 33, 34 y 35.

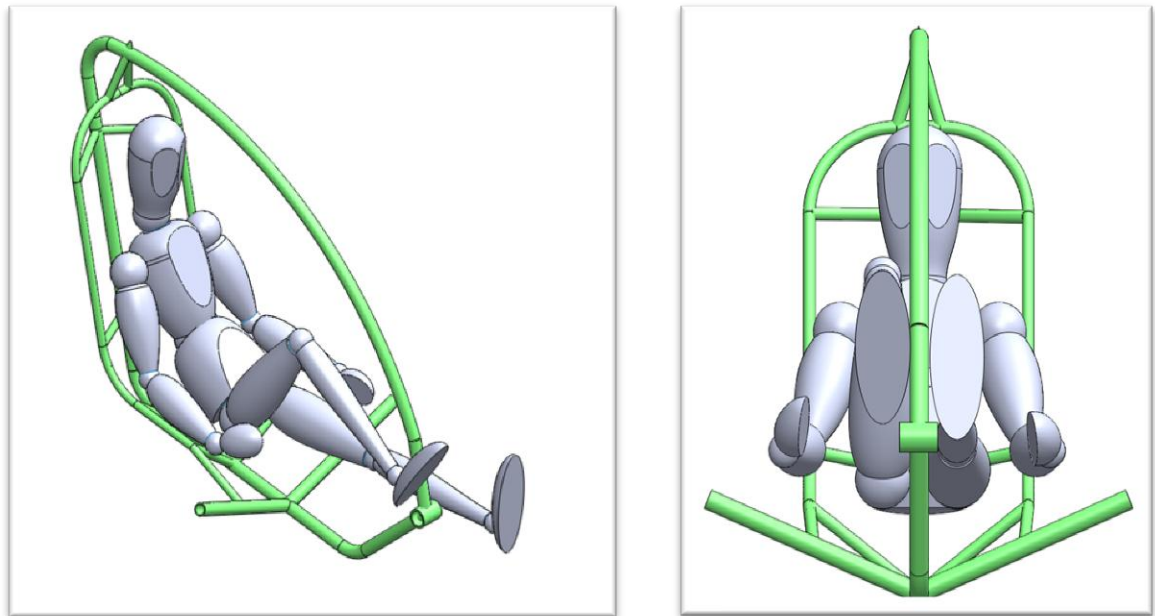


Figura 32 **Chasis C** Fuente: Franklin Patiño.

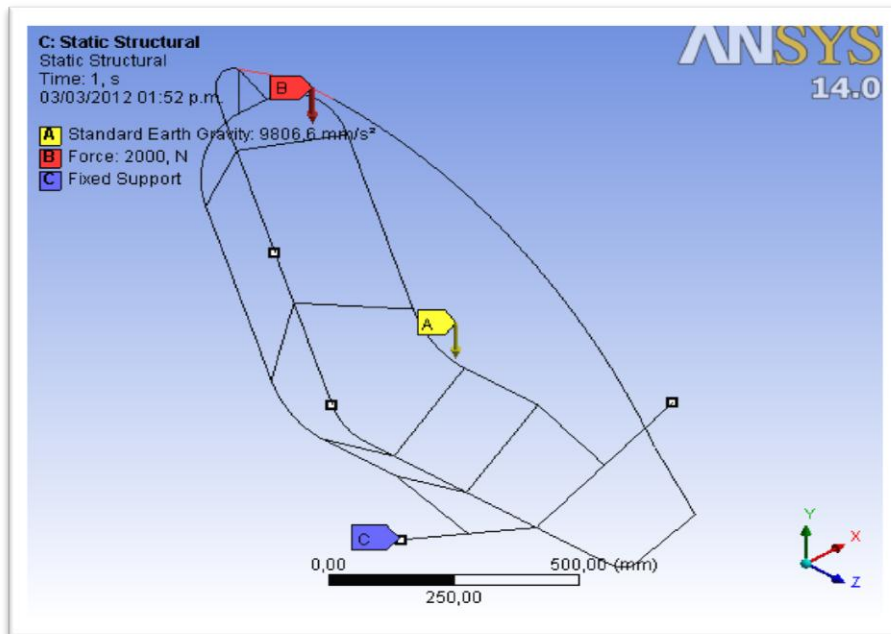


Figura 33. Ubicación de la carga, los apoyos y el centro de masa del chasis C.
 Fuente: Franklin Patiño.

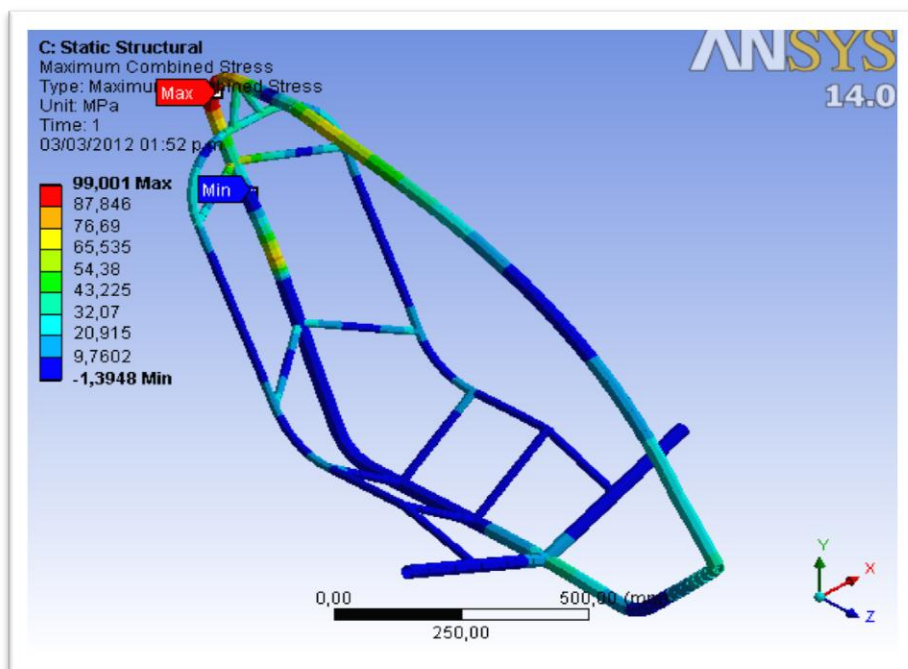


Figura 34. Resultado calculado para el máximo esfuerzo combinado para el chasis C. Fuente: Franklin Patiño.

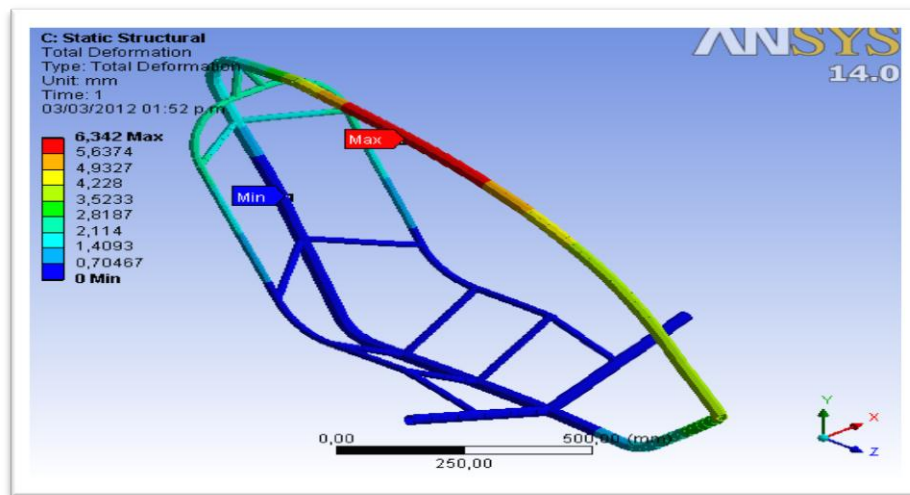


Figura 35. Resultado calculado para la deformación total para el chasis C. Fuente: Franklin Patiño.

La Figura 36 presenta el cálculo realizado de la masa de la estructura de los 3 chasis, a través del software SolidWork, con licencia académica.

Masa Chasis A	Masa Chasis B	Masa Chasis C
Propiedades físicas Sistema de coordenadas de: -- predeterminado -- Elementos seleccionados: Chasis A.SLDPRT ☒ Incluir sólidos/componentes ocultos ☒ Mostrar sistema de coordenadas de salida en la esquina superior izquierda ☐ Propiedades físicas asignadas Propiedades físicas de Chasis A (Part Configuration - Predeterminado) Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 9128.68 gramos	Propiedades físicas Sistema de coordenadas de: -- predeterminado -- Elementos seleccionados: Chasis B.SLDPRT ☒ Incluir sólidos/componentes ocultos ☒ Mostrar sistema de coordenadas de salida en la esquina superior izquierda ☐ Propiedades físicas asignadas Propiedades físicas de Chasis B (Part Configuration - Predeterminado) Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado -- Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 8920.99 gramos	Propiedades físicas Sistema de coordenadas de: -- predeterminado -- Elementos seleccionados: Chasis C.SLDPRT ☒ Incluir sólidos/componentes ocultos ☒ Mostrar sistema de coordenadas de salida en la esquina superior izquierda ☐ Propiedades físicas asignadas Propiedades físicas de Chasis C (Part Configuration - Predeterminado) Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado -- * Incluye las propiedades físicas de uno o más componentes Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico Masa = 7862.68 gramos

Figura 36. **Calculo de la masa de los chasis propuestos**, los diseños se realizaron en Solid Work, con licencia Académica. Fuente: Franklin Patiño.

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de esfuerzos, deformaciones y peso del chasis A, B y C, realizado con Ansys 14.0.

	Esfuerzos Combinados (Mpa)	Deformación (mm)	Peso (gr)
Chasis A	74.243	13.189	9128.68
Chasis B	72.710	13.413	8920.99
Chasis C	99.001	6.342	7862.68

Se seleccionó el chasis C, por ser el que presenta mejor peso y mejor respuesta ante la deformación, además el valor del máximo esfuerzo calculado permite tener un buen grado de seguridad ya que el valor S_y para el aluminio es de 280 MPa.

5.3. DISEÑO DE LA DIRECCIÓN

El diseño de la dirección inició con la determinación del ángulo máximo de giro, este ángulo está limitado por el espacio ocupado por el piloto en el vehículo, ya que al momento de dar el ángulo máximo de giro la rueda puede tocar las piernas del piloto.

Se propuso que el sistema de dirección esté basado en un montaje de ruedas en voladizo, a diferencia del sistema tradicional empleado en una bicicleta, el cual brinda soporte a ambos extremos del eje de la rueda, este diseño permite ubicar el centro de gravedad del vehículo muy próximo al suelo, pero requiere modificar los cubos (manzanas) de las ruedas normalmente utilizados.

Adicionalmente, para brindar un ángulo King Pin adecuado, se calculó con las dimensiones de la rueda delantera, la distancia entre el plano medio y el eje de la caña de dirección, como resultado se obtuvo que el eje de la rueda se debe orientar con un ángulo de 68° , respecto al eje de la caña de la dirección.

Los rodamientos empleados para las cañas de la dirección fueron de 1 1/8" de diámetro (OverSize), estos son utilizados para sostener el "tenedor" de la dirección en bicicletas tipo BMX de gran desempeño. Se considera que al estar distribuido el peso frontal del vehículo en dos cañas de dirección estos rodamientos se someterán a un nivel de esfuerzo menor, para el cual están diseñados. No se cuenta con información técnica detallada de dichos rodamientos y en especial de las cargas soportadas.

La modificación de las manzanas se realizó, remplazando los cojinetes de bolas originales por 2 rodamientos 6000 en cada cubo, los cuales se ajustaron al interior del cubo mediante el cilindrado interior del mismo de 26 mm a 28 mm, este rodamiento posee un diámetro interior de 12mm, y esta fue la dimensión del eje de la rueda, el cual es proveído por un tornillo M12x140 grado 12.9.

Debido a la limitación de espacio y para evitar mayores inconvenientes se unieron los brazos secundarios de la dirección con una barra frontal, en contraposición a los montajes tradicionales, los cuales ubican estos brazos en la parte trasera.

En cuanto al montaje de las pinzas ó mordazas de freno se realizó en una proyección de la caña de la dirección, fabricada a la medida de las mordazas del freno.

En la orientación de la mordaza, se aprecia una particularidad, debido que es un componente propio de una bicicleta, en esta la orientación de las mordazas es igual para ambos lados, por otro lado, al momento de adaptar las mordazas al vehículo, una de ellas debió ser instalada en una posición que impide su correcto purgado, (drenaje del aire del sistema Hidráulico).

5.4. CONSTRUCCIÓN

El proceso de construcción se inició con el corte y doblado de los perfiles de aluminio, para esto se contó con los planos del chasis seleccionado, ver Figura 37.

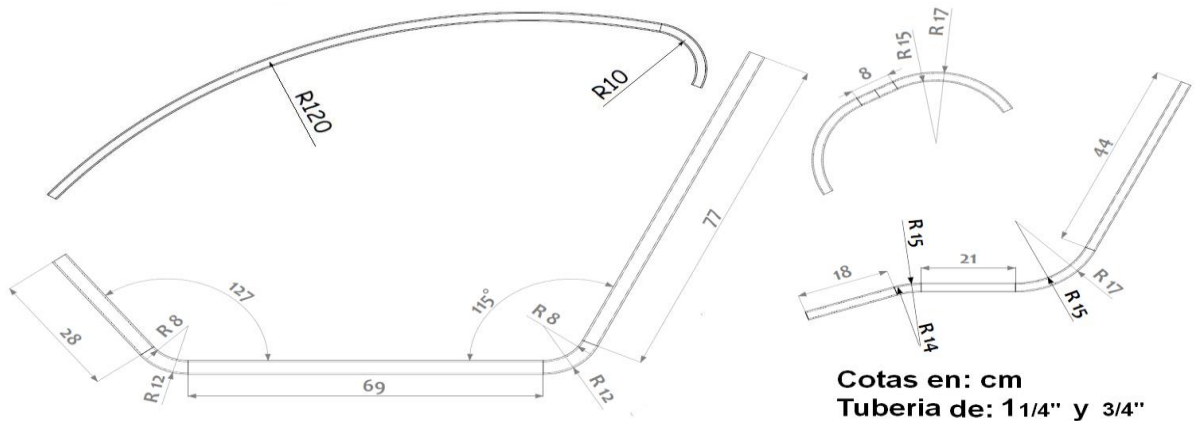


Figura 37. **Imagen de los planos del vehículo.** La sección principal del chasis es de 1 1/4", los perfiles de la silla y la barra antivuelco son en tubería de 3/4". Fuente: Franklin Patiño.

Se imprimió un versión a escala 1:1 del plano, porque es necesario para que las empresas proveedoras del servicio de doblado puedan realizar su labor adecuadamente. Debido a limitaciones mecánicas se requirió cortar los tubos entre 15 a 20 centímetros más largos de lo necesario.

Continuando con el proceso, se cortaron los tubos a la medida justa, según los planos, para iniciar el proceso de soldadura, a través del método Tig con aporte de material. Se implementó la construcción del vehículo, sobre una mesa la cual fue previamente nivelada tanto longitudinal como transversalmente y acondicionada con soportes soldados a ella. Con el fin de garantizar los ángulos de la dirección y la perpendicularidad de los diversos planos del vehículo.

La estructura de la rueda trasera se obtuvo de un marco de aluminio de bicicleta, donado por Rock Bike Bucaramanga. En principio, se planeo usar los accesorios de los cuales dispone el marco, para el montaje de los frenos, sistema de cambios y el cubo de montaje de los pedales, a fin de facilitar el montaje de estos dispositivos, pero se optó por utilizar la parte estructural que soporta la rueda, ya que ésta era perfectamente dimensionada para el soporte de cargas y acondicionada para la instalación del sistema de cambios, lo que facilitó la construcción, ver Figura 38.



Figura 38. **Construcción del Chasis.** Superior Izquierda: se aprecian los soportes soldados a la mesa de trabajo en una vista lateral. Superior Derecha: medición del ángulo del Kingpin. Inferior Izquierda: posición de los brazos de soporte para la dirección. Inferior Derecha: vista frontal, se observan los ángulos de Kingpin y la perpendicularidad del chasis respecto a la superficie de trabajo. Fuente: Franklin Patiño.

La construcción de la estructura que forma la silla, se realizó en una superficie plana con un croquis guía, con líneas constructivas para garantizar el correcto dimensionamiento de la pieza antes de ser soldada, Ver Figuras 39 y 40.



Figura 39. **Proceso de construcción de la estructura de la silla.** Se pueden apreciar las líneas constructivas sobre la superficie de trabajo para garantizar la correcta forma, además de la sujeción e inmovilización necesaria durante el proceso de soldadura. Fuente: Franklin Patiño.



Figura 40. **Proceso de soldadura del chasis.** Se observa el uso de estructuras de soporte y de alicates de presión para inmovilizar las piezas, además de la posición de trabajo ergonómica lo cual ayudó en la excelente presentación de las soldaduras aplicadas.

Finalizado el proceso de soldadura se construyeron los ejes de la dirección, los cuales fueron adaptados de una “caña” de dirección convencional, para bicicletas BMX Over Size, fue necesaria la perforación de agujeros para los ejes que darán soporte a la rueda, a un ángulo de 22° respecto a la horizontal, para cumplir con el ángulo de King Pin optimo según el tamaño de la rueda seleccionada (Figura 40), Esto se realizó en una fresadora, para garantizar el ángulo indicado.



Figura 41. **Kingpin ó “caña” de dirección.** A la izquierda: se aprecia el ángulo entre el eje del Kingpin y el tornillo que soportará la rueda. A la Derecha se muestra la posición aproximada que tendrán los rodamientos sobre el Kingpin. Fuente. Franklin Patiño.

Luego de esto se procedió a la fabricación e instalación de piezas de soporte para las mordazas, teniendo en cuenta la condición particular que presentan, y que se estableció en la etapa de Diseño Básico, ver Figura 42.



Figura 42 **Montaje de las mordazas de freno.** Se puede observar las diferentes posiciones de instalación de las mordazas. Fuente: Franklin Patiño.

Se prosigue a la fabricación de la barra de enlace que une los brazos secundarios de la dirección, la cual consiste de un tubo de aluminio, con dos articulaciones de rotulas de 6mm en sus extremos, ver Figura 43.



Figura 43. **Terminales esféricos de la dirección,** estas terminales son roscadas en los extremos de la barra de enlace, en la imagen se observan las tuercas utilizadas para alinear las ruedas y establecer la convergencia (Toe) deseada en el vehículo. Fuente: Franklin Patiño.

Ya ensamblados la mayoría de elementos se procedió a realizar una primera aproximación a la instalación de la cadena, la cual está compuesta de 3 tramos unidos por juntas de fácil separación, la baja altura del centro de gravedad limita los posibles recorridos de la cadena, por lo cual se optó por direccionar un tramo entre la silla y la estructura, el otro por debajo de la estructura del vehículo.

El tramo de la cadena ubicada entre la silla y la estructura, soporta solo la carga generada por la acción del pedaleo (tensión), por lo tanto debe estar apoyada firmemente en poleas, las cuales no deben obligar a realizar cambios bruscos de dirección. Por otra parte, el tramo de cadena bajo la estructura del vehículo, no estará sometido a tensiones, más que las generadas por su propio peso y por el tensor del sistema de cambios, por tanto se colocó una polea con el objetivo de guiar su recorrido desde el triplato hasta el tensor trasero, ver figura 44.

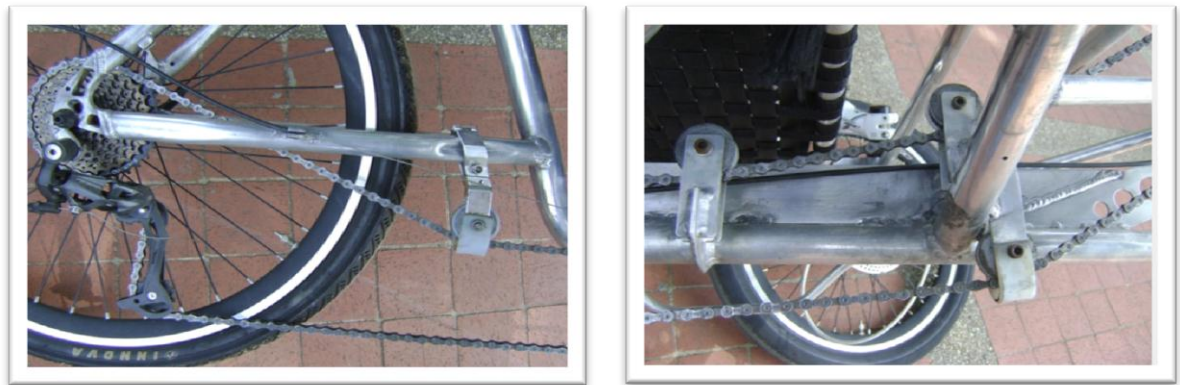


Figura 44. **Disposición final de la cadena.** A la izquierda se muestra una polea colocada para evitar el contacto de la cadena con el chasis. A la Derecha se muestran las poleas instaladas bajo el asiento, se puede observar en ambas imágenes las guías instaladas sobre las poleas para evitar el descarrilamiento. Fuente: Franklin Patiño.

Se realizó la prueba de carga a la barra antivuelco, según las especificaciones del concurso, el vehículo debía soportar 200 Kg sobre el punto más alto de la barra antivuelco. Para ello fue necesario 8 bolsas de arena, cada una con un peso de 25 Kg. Como se observa en la figura 45, el pesaje se realizó con la ayuda de una balanza electrónica en las instalaciones del laboratorio A-102 de la UPB.



Figura 45. **Prueba de carga de la barra antivuelco.** A la Izquierda se muestra el vehículo soportando la carga de 200 Kg. A la Derecha se muestra el pesaje de las bolsas de arena empleadas en la prueba. Fuente: Franklin Patiño.



Figura 46 **Prueba de Volcadura del vehículo.** Se muestran las posibles posiciones que tomaría el vehículo, al momento de una volcadura. Fuente: Franklin Patiño.

Se aprecia que la estructura del vehículo aloja al piloto en su interior, esto se logró gracias al cinturón de seguridad de 4 puntos y a la implementación de “*Cala-Pies*”, los cuales sostienen en posición los pies del piloto. Estas medidas de seguridad actuando en conjunto impiden que el piloto se salga del vehículo en una eventual volcadura, ver Figura 46.

6. PRUEBAS

6.1. PRUEBAS OPERATIVAS REALIZADAS PARA EL AJUSTE DEL VEHÍCULO

Las pruebas operativas del vehículo iniciaron con la comprobación del radio de giro del vehículo y la respuesta de la dirección, ver Figura 47.

Al momento de iniciar las pruebas se ajustó la convergencia de las ruedas (Toe) a cero, con lo cual el vehículo presentó un radio de giro muy amplio, y un comportamiento errático, tendencia a la deriva y alta sensibilidad en la dirección, con tendencia a bloquear la dirección luego de aproximadamente 30 grados de desviación de la rueda interna a la curva, lo cual provocaba un ángulo de 55° en la rueda externa, trabando esta rueda y ocasionando el derrape de la misma.

Se procedió a modificar la convergencia, a 1 cm negativo, es decir divergente hacia adelante, lo que mejoró ligeramente el comportamiento.

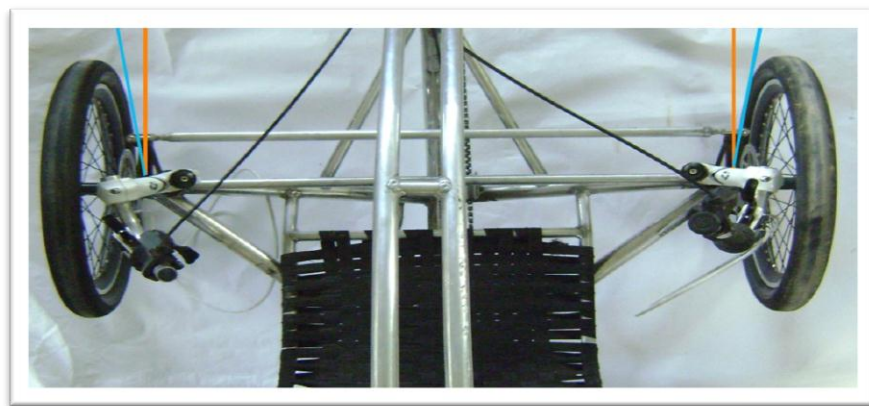


Figura 47. **Vista superior del Vehículo.** Las líneas azules muestran la orientación dada a las ruedas, durante las pruebas. Fuente: Franklin Patiño.

Fue necesario modificar la geometría de los brazos secundarios, cambiando el ángulo con el eje del Kingpin, para esto se trasladó el punto de unión entre los terminales de la barra de enlace y el brazo secundario en 2.5 cm hacia el exterior. Se procedió nuevamente a ajustar la convergencia a cero logrando con esto, corregir la tendencia al sobre viraje de la rueda externa a la curva y retrasando su bloqueo a un ángulo de giro mayor, más allá de lo utilizable en la conducción normal, ver Figura 48.

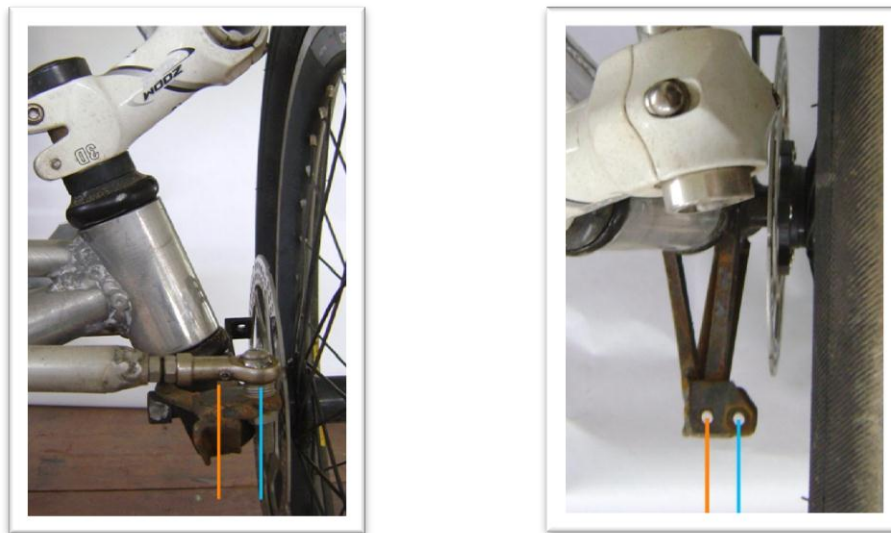


Figura 48. **Vistas frontal y superior del brazo secundario.** A la izquierda se observa las líneas naranjas que muestran la posición previa del punto de sujeción de la terminal y las líneas azules la posición definitiva. Fuente: Franklin Patiño.

Sin embargo, el vehículo siguió presentando alta sensibilidad en la dirección y tendencia a la deriva, fue necesario cambiar el ángulo de avance (Caster) de cero a 10° positivo, lo cual mejora la tendencia a la deriva, haciendo que la dirección sea “*Auto-alineante*” al momento de soltar los manillares, ver Figura 49.



Figura 49. **Vista lateral de la rueda izquierda.** La línea azul muestra la orientación dada al caster del vehículo en las dos ruedas. Fuente Franklin Patiño.

La alta sensibilidad es consecuencia de la distribución de peso del vehículo, y del accionamiento directo de los ejes de la dirección por los manillares, esto es una particularidad del sistema de dirección seleccionado, en el cual no hay gran ventaja mecánica ni una relación de transmisión entre el manillar y los brazos secundarios.

Realizadas las pruebas piloto se comprobó el accionamiento de los frenos y la dirección, donde se evidencio problemas de rigidez en el vehículo:

- Se apreció perdida del ángulo de avance establecido anteriormente, porque se presentaron nuevamente los inconvenientes en la dirección del vehículo.
- Se presentó una deflexión de los dos brazos que sostienen los bujes de la dirección, lo cual a su vez hizo aumentar el ángulo de Inclinação (Camber) a más de 20° lo que resultaba inaceptable.

La solución, fue implementar un perfil entre el chasis y cada uno de los bujes que soportan los Kingpins de la dirección. El perfil fue soldado en su sitio una vez se reacondicionó el ángulo de avance de la dirección, ver figura 50 Izquierda.

Una vez tomada la posición normal de los brazos de la dirección, fue necesaria la instalación de un perfil entre los bujes de la dirección. Con dicho perfil se conforma una estructura triangular la cual permite una mayor rigidez y conservándose los ángulos de la dirección, ver figura 50 Derecha.

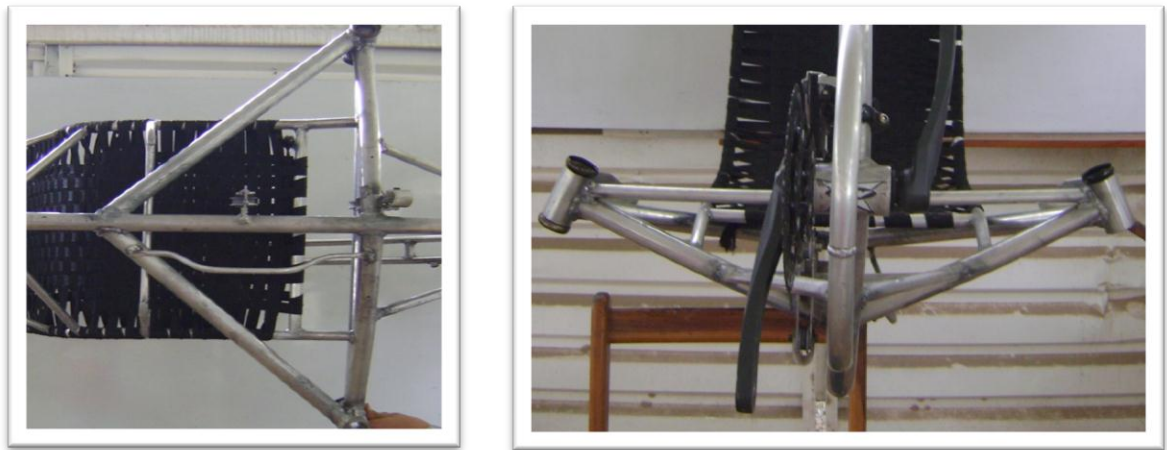


Figura 50. **Vistas Inferior y Frontal del Chasis**, A la Izquierda se observan los 2 perfiles entre el elemento principal del chasis y los bujes de la dirección. A la Derecha se observa el perfil de refuerzo que une los dos bujes de la dirección. Fuente: Franklin Patiño.

Una vez más, luego de tener el vehículo operativo y realizado las pruebas de conducción, frenado, comportamiento general de la dirección y del sistema de transmisión, se evidenciaron dos problemas en el sistema de transmisión.

Primero, un tramo de cadena que llegaba al Triplato, se descarrilaba inesperadamente durante la operación del vehículo. Realizada la prueba de práctica se evidenció una deformación torsional del tubo que soportaba el buje de

los pedales, la cual se hacía más severa durante el pedaleo. Dicha deformación obligaba a la cadena a incidir sobre el Triplato, en un ángulo inadecuado provocando el descarrilamiento.

Este problema se corrigió reubicando el buje de los pedales, a su posición geométrica adecuada y soldado 2 refuerzos entre el tubo que soporta el buje de los pedales y los bujes de la dirección, ver Figura 51.



Figura 51. **Vistas de los refuerzos para mantener la posición de los pedales.**
Fuente: Franklin Patiño.

El segundo problema consistió en el rápido deterioro de las poleas instaladas para guiar el tramo de la cadena sometida a tensión. Por esta razón, fue necesaria la instalación de poleas fabricadas a la medida, dimensionadas de manera tal que se ajustaran a los soportes previamente instalados, así como la instalación de bandas del mismo material en la polea guía de la cadena, bajo el chasis y la polea instalada en la estructura trasera, con el fin de evitar el descarrilamiento, que se presentaba al momento de un salto del vehículo debido a alguna irregularidad en el recorrido.

Por último, cabe señalar que durante el trascurso de las pruebas, únicamente los 3 hombre del equipo destinado a participar en la competencia, hicieron parte de las pruebas, no fue posible que la piloto integrante del equipo coincidiera en momento y lugar cuando el vehículo estuvo en condiciones operativas, solo fue posible que realizara una breve prueba donde se determinaron las dimensiones de un cojín que posteriormente fue confeccionado para mejorar el Confort de ella en el vehículo.

6.2. DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO EN LA COMPETENCIA

6.2.1. Carrera de utilidad

El rendimiento durante la competencia fue influenciado por el estado físico de los pilotos y su falta de adaptación a la altura del sitio donde se desarrolló la competencia. También resultó determinante, en el bajo desempeño, la estrategia adoptada para el transporte de los paquetes, ya que era necesario que el piloto soltara el cinturón de seguridad de 4 puntos, bajara del vehículo, tarea nada sencilla debido a la posición de los manubrios, las líneas del sistema de cambios y la barra antivuelco. Además, debía tomar el paquete y ubicarlo en el soporte previsto para su transporte, sujetarlo con un elástico en 2 puntos, retornar al interior del vehículo y sujetar nuevamente el cinturón antes de proseguir con la carrera.

El procedimiento anteriormente descrito se reflejó en pérdida de tiempo en comparación con los demás vehículos, en los cuales se contó con una bolsa o cesta acondicionada para el transporte, asimismo, solo era necesario que el vehículo se acercara al sitio donde se encontraban ubicados los paquetes, y sin necesidad de bajarse los tomaran para ubicarlos en su bolsa.

Aparte, como un hecho ajeno a la competencia, se permitió a los participantes trasportar el paquete en las piernas, lo cual estaba prohibido por el reglamento. Otras de las faltas que se permitió realizar, y que se consideró actos no competitivos, fue; arrojar los paquetes desde el vehículo para evitar perder tiempo en su entrega, empujar el vehículo por la pista cuando resultó averiado e incapaz de ser operado normalmente.

Algunas de las anteriores conductas se penalizaron por la organización, pero esto demuestra que cualquier brecha en las reglas será aprovechada siempre para el abuso.

Durante la sección destinada a la práctica y reconocimiento de la pista, los pilotos manifestaron, que únicamente se utilizara el triplato en su diámetro menor, ya que las pendientes resultan insuperables con otro cambio, además para lograr subir, se hacía indispensable, emplear el mayor de los piñones de la rueda trasera, lo cual representa la mayor ventaja mecánica posible del sistema de cambios seleccionado.

El sistema de dirección resultó ser muy sensible al paso por los resaltos, evidenciado esto por la atención que los pilotos debían mostrar al momento de acometer dichos obstáculos.

6.2.2. Carrera contra reloj

En esta carrera el vehículo demostró su capacidad de generar altas velocidades, debido su bajo peso y al sistema de cambios, sin embargo esto se vio opacado por la alta sensibilidad en el sistema de dirección, y a una tendencia mostrada durante la pruebas a sobre girar y trabar la dirección después de aproximadamente 35°.

Durante esta prueba se presentaron incidentes de pérdida de estabilidad, en los cuales el vehículo se desplazaba en dos ruedas luego de tomar una curva, y la pericia del piloto fue lo único que evitó incidentes mayores.

Se demostró que resulta de gran importancia simular el trazado previamente y hacer prácticas para tener buen proceso de adaptación al vehículo, así como la generación de estrategias de conducción para mejorar el desempeño. Lo anterior fue evidente con el incidente presentado cuando se dobló la barra de enlace de la dirección. No obstante se obtuvo el cuarto mejor tiempo de la competencia.

6.2.3. Carrera de velocidad

Debido al número de participantes, la organización decidió cambiar la forma de ejecutar la carrera de velocidad, basándose en los tiempos de la carrera contrarreloj. Dispusieron realizar entonces dos mangas, organizadas con los vehículos que terminaron en posición impar (1^{RO} , 3^{RO} , 5^{TO} ...) y otra con los vehículos de posiciones par (2^{DO} , 4^{TO} , 6^{TO} ...) dentro de la tabla de posiciones de la prueba contra reloj.

Por tal motivo, se partió en el puesto secundario, en la prueba de velocidad de la segunda manga. En ésta prueba se obtuvo el primer lugar. Además, durante el desarrollo de la competencia de velocidad también fue evidente la pérdida de tiempo ocasionada por el cambio de pilotos.

7. CONCLUSIONES

- El diseño mecánico de un vehículo de tracción humana requiere de la unión y correcta interacción de un gran número de materias, lo cual a su vez, requiere, que el diseño y construcción sea una tarea de múltiples autores, y no debe ser abordado por una sola persona, a fin de que no resulte ser una empresa de largo aliento.
- Si bien muchos aspectos relacionados con la conducción y posición de manejo deben ser diseñados conjunto al piloto, es importante mantener un esquema o bosquejo del diseño claro, y evitar en lo posible las largas deliberaciones, la opinión de muchas personas, debido a que no resulta provechoso y va en contra de la productividad del diseño.
- Resultaron acertadas las características de diseño básico, como la distribución de peso, distancia entre ejes, bajo centro de gravedad y posición del piloto, bajo peso en general de componentes como aros, manzanas y en general del vehículo.
- Se observó que es indiferente utilizar frenos hidráulicos, debido a que se ofrecen en el mercado frenos mecánicos, accionados por cable, los cuales son muy efectivos y permiten hacer montajes en los cuales una solo manecilla accione dos mordazas, con mayor facilidad y sencillez que en un sistema hidráulico.
- La implementación de un sistema de cambio de marchas, con tantas posibles combinaciones, crea falsas expectativas, ya que no es posible ni beneficioso que los pilotos estén haciendo frecuentes cambios de relación, pues estarían expuestos a un sobre esfuerzo y a una rápida disminución de sus capacidades físicas.

- La posición adoptada para el manillar, la barra antivuelco, el dispositivo para el transporte y sujeción del paquete, aunque cumplían su función a cabalidad crearon pérdidas de tiempo, muy evidentes durante la competencia, en especial cuando se realizó el cambio de pilotos, adquisición y entrega del paquete.
- El diseño a través de software, presenta grandes limitaciones en función de los equipos necesarios para obtener resultados de los estudios realizados, en forma rápida que permita evaluar eficientemente los modelos propuestos y no se vea afectada la dinámica del diseño.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los futuros equipos interesados en participar en las competencias de VTH, que se tome el vehículo producto de este trabajo, como una plataforma de pruebas con el fin de generar un nuevo vehículo con características innovadoras y mejoradas.
- Si bien el vehículo no contaba con la posibilidad de realizar ajustes en la posición de manejo del piloto necesarios para adecuarse a pilotos de diversa contexturas físicas, esto no resultó ser un problema mayor a la hora de conducir el vehículo, por otro lado se recomienda que si se quiere contar con esta facilidad para un vehículo posterior, se evalúen las dos posibilidades existentes de ajuste, construir un silla desplazable, ó construir un soporte telescópico para el triplato con un sistema de tensión adicional para la cadena, y se seleccione aquel que sea más liviano, de menor complejidad y más confiable.
- Sin importar la experiencia o habilidades propias, se recomienda abordar estas tareas de diseño con una mente abierta y con todo el ánimo de investigar y aprender, evitando en lo posible auto limitarse con ideas preconcebidas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. Consulta Historia de la Bicicleta. [En línea]<<http://www.britannica.com/bps/search?query=bicycle>> [citado en 19 de septiembre de 2011]
- [2] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Web Site. [En línea]<[http://www.asme.org/events/competitions/human-powered-vehicle-challenge-\(hpvc\)](http://www.asme.org/events/competitions/human-powered-vehicle-challenge-(hpvc))> [citado en 23 de septiembre de 2011]
- [3] UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Departamento de Ingeniería Mecánica, Sitio Web.<<http://mecanica.uniandes.edu.co/web/?seccion=noticias¬icia=66&lenguaje=es>> [citado en 19 de septiembre de 2011]
- [4] UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Concurso de vehículos de Tracción Humana. [En línea]<<http://vth2011.uniandes.edu.co/>> [citado en 14 octubre de 2011]
- [5] INTERNATIONAL HUMAN POWERED VEHICLE ASSOCIATION. web site. [En línea]<<http://www.ihpva.org/about.htm>> [citado Noviembre de 2011]
- [6] UTAH TRIKE. Web Site. [En línea]<<http://www.utahtrikes.com/Trikes.html>> [citado en septiembre de 2011]
- [7] HAMROCK, Bernard J. Elementos de Maquinas, México: Mc Graw Gill, 2000. Capitulo 17, p 782-783.
- [8] HAMROCK, Bernard J. Elementos de Maquinas, México: Mc Graw Gill, 2000. Capitulo 19, p 881-885.

[9] kmx karts ltd. web Site. [En línea]<<http://www.kmxkarts.co.uk/Recumbent-Trikes.aspx>> [citado en septiembre de 2011]

[10] BIG CAT HPV. Web Site. [En línea] <<http://www.catrike.com/index.html>> [citado en septiembre de 2011]

[11] Inspired cycle engineering design. Web Site. < <http://www.icetrikes.co/home>> [citado en septiembre de 2011]

[12]SHIMANO. Componentes de Bicicleta, 2010. p 12. [En línea] <<http://www.amigosdelciclismo.com/noticia.asp?id=6045>> [citado en octubre de 2011].

[13]SHIMANO. Componentes de Bicicleta, 2010. P. [En línea] <<http://www.amigosdelciclismo.com/noticia.asp?id=6045>> [citado en octubre de 2011].

[14] HORWITZ, Rick. Build Your Own Recumbent Trike, Chapter 7, Part 5.[En línea]. <http://www.ihpva.org/Projects/PracticalInnovations/steering_system.html> [citado en septiembre de 2011].

[15] HORWITZ, Rick. Build Your Own Recumbent Trike, Chapter 3. [En línea]. <http://www.ihpva.org/Projects/PracticalInnovations/weld.html#Chapter_3_design> [citado en septiembre de 2011].

[16] LAYNE, ken. Basic Wheel Alignment. En: MOTOR. (june 2002). [En línea] <http://www.motor.com/article.asp?article_ID=552> [citado octubre de 2011 y noviembre de 2011].

[17] GRUPO CIRCUIT. Curso sobre la Alineación de la Dirección en los vehículos [En línea]. <<http://www.grupocircuit.com/nociones-sobre-alineacion-de-la-direccion-de-un-vehiculo-parte-1/>> [citado en octubre de 2011].

[18] GRUPO CIRCUIT. Curso sobre la Alineación de la Dirección en los vehículos [En línea]. <<http://www.grupocircuit.com/nociones-sobre-alineacion-de-la-direccion-de-un-vehiculo-parte-2/>> [citado en octubre de 2011].

[19] GRUPO CIRCUIT. Curso sobre la Alineación de la Dirección en los vehículos [En línea]. <<http://www.grupocircuit.com/nociones-sobre-alineacion-de-la-direccion-de-un-vehiculo-parte-3/>> [citado en octubre de 2011 y noviembre de 2011].

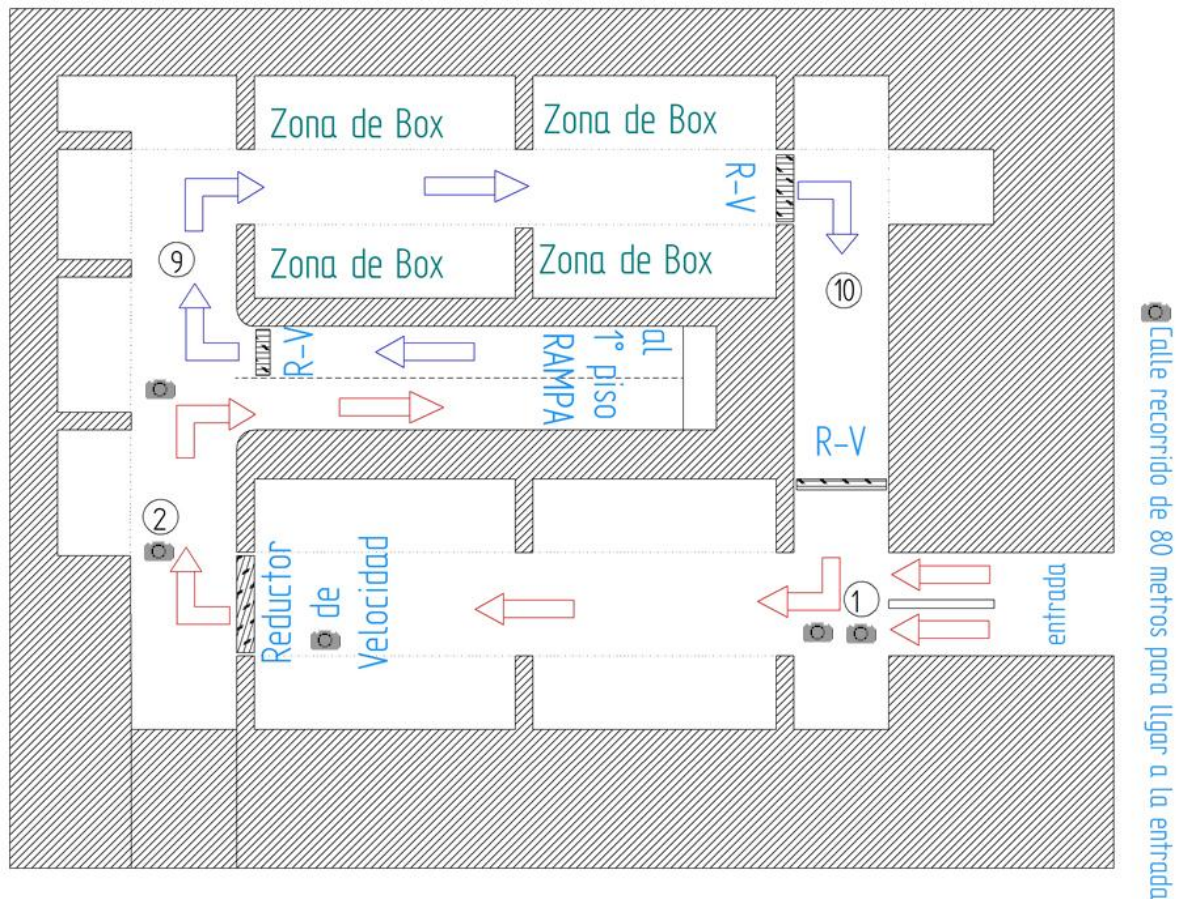
[20] GRUPO CIRCUIT. Curso sobre la Alineación de la Dirección en los vehículos [En línea]. <<http://www.grupocircuit.com/tag/principio-de-ackermann/>> [citado en octubre de 2011 y noviembre de 2011].

[21] HOW STUFF WORKS, Web Site. <<http://auto.howstuffworks.com/car-suspension.htm>>. [citado en noviembre de 2011]

[22] REI, Web Site. <<http://www.rei.com/expertadvice/articles/bike+tires.html>>. [citado en octubre de 2011].

ANEXO 1

Mapa Sótano 1



Curva 1. *Baghdad*, Curva con un giro de 90° después de una recata de 19 metros.

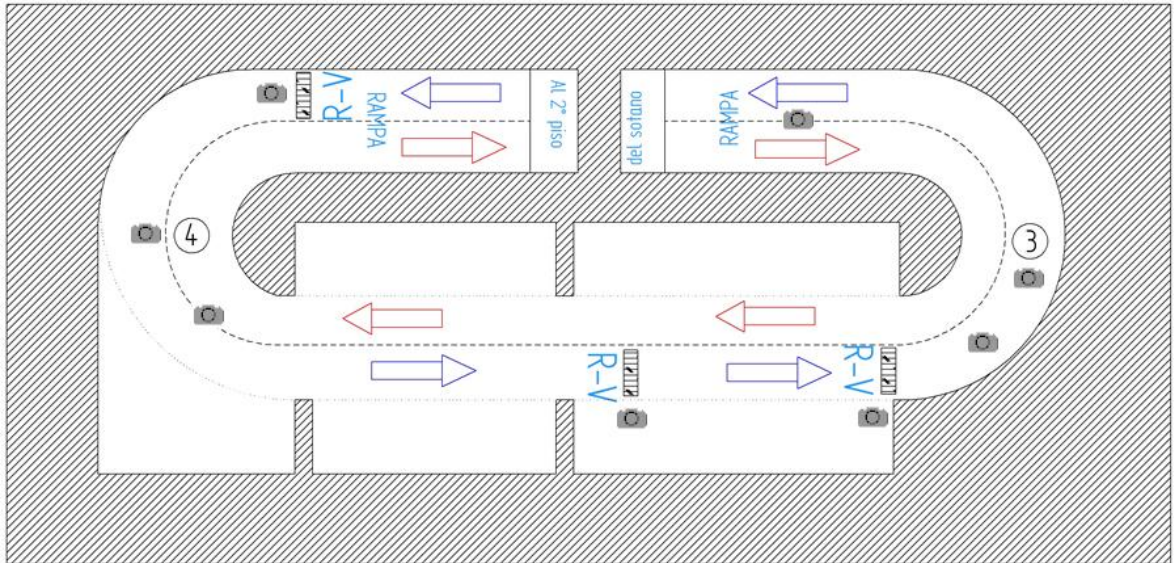
Curva 2. *Caracas*, Curva con un radio de 4,5 metros tras una recta de 32 metros.

Curva 9. *Beirut*, Curva con un radio de 4,5 metros tras una bajada de 27 metros por una rampa de 12% de inclinación.

Curva 10. *Rio de Janeiro*, Curva con un giro de 90° después de una recata de 32 metros. (Zona de Box)

ANEXO 2

Mapa Piso 1

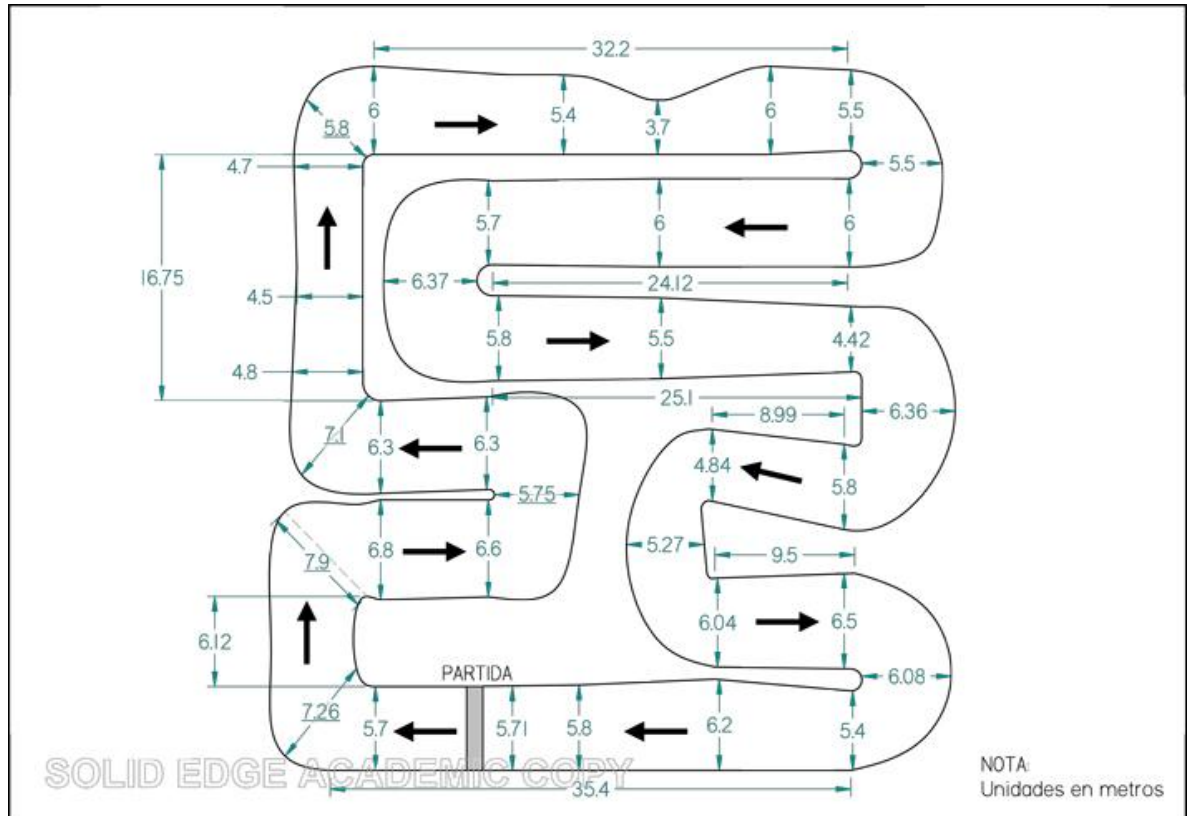


Curva 3. *Detroit*, Curva con un radio de 3,20 metros tras una subida de 27 metros por una rampa de 12% de inclinación.

Curva 4. *Mogadiscio*, Curva con un radio de 3,20 metros tras una recta de 32 metros en el ascenso. En el descenso tras una bajada de 27 metros en una rampa de 12% de inclinación.

ANEXO 4

Plano carreras de Velocidad y Contrarreloj



ANEXO 5

LISTA OFICIAL DE PARTICIPANTES

Lista oficial de Participantes

Nota: Los grupos número 18 y 19 (en la tabla aparecen con un asterisco) participarán en la competencia más no en el concurso oficial por solicitud del profesor tutor de los mismos.

No.	UNIVERSIDAD	CIUDAD	VEHICULO	PROFESOR TUTOR	CORREO CONTACTO	
1	Escuela Militar de Aviación M.F. Suarez	Cali	PIMEC-001	Fernando Delgado	fedelgad73@gmail.com	
2	Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	LIGHTING	Alfonso Santos	alfonso.santos@upb.edu.co	
3	Universidad Antonio Nariño	Tunja	Predator Five	Iván Villamizar	nvillamizar@uan.edu.co	wilmarrodriguez@uan.edu.co
4	Universidad Antonio Nariño	Tunja	Pardus-2	Iván Villamizar	nvillamizar@uan.edu.co	ludpatino@uan.edu.co
5	Universidad Pontificia Bolivariana	Monteria - Cord	El Balay	Robinson Martinez	andresja27@hotmail.com	
6	Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	VTH-UAC-2011	Wilmer Velilla	wvelilla@uac.edu.co	
7	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	ActyUN	Fernando Jose Rodriguez	enbautistar@unal.edu.co	
8	Universidad Distrital	Bogotá		Henry Moreno	hmorenoa@udistrital.edu.co	
9	ECCI	Bogotá	Por definir	Alvaro Lopez	daniel_moreno1212@hotmail.com	
10	ECCI	Bogotá	Por definir	Alvaro Lopez	jonathan0225@hotmail.com	
11	Universidad Tecnológica de Bolivar	Cartagena		Edgardo Arrieta	earrieta@unitecnologica.edu.co	
12	Universidad Tecnológica de Bolivar	Cartagena		Edgardo Arrieta	earrieta@unitecnologica.edu.co	
13	Universidad Tecnológica de Bolivar	Cartagena		Edgardo Arrieta	earrieta@unitecnologica.edu.co	
14	Universidad Fco Paula Santander	Cúcuta	CEIM Bike	Jesus David Martinez	joaoantonio@hotmail.com	
15	EAFIT	Medellín		Jaime Barbosa	jbarbosa@eafit.edu.co	
16	Universidad de los Andes	Bogotá	Cobra	Juan Pablo Casas	jcasas@uniandes.edu.co	
17	Universidad de los Andes	Bogotá		Luis Mario Mateus	lmateus@uniandes.edu.co	
18	ECCI *	Bogotá	G2 Tecnología	Paola González	apaolagv@gmail.com	
19	ECCI *	Bogotá	G3 Tecnología	Paola González	apaolagv@gmail.com	

ANEXO 6

TABLA DE RESULTADOS



VTH-2011 UNIANDES

Concurso de Vehículos de Tracción Humana

VTH-2011 UNIANDES TABLA DE POSICIONES PUNTAJE TOTAL

Pos.	UNIVERSIDAD	VEHICULO	No.	PUNTAJE			
				UTILIDAD	CONTRARRELOJ	VELOCIDAD	TOTAL
1	Universidad de los Andes	Senecar	15	30,00	30,00	40,00	100,00
2	Universidad Pontificia Bolivariana (Bucaramanga)	LIGHTING	2	20,89	27,37	40,00	88,26
3	ECCI	ECCI-2	9	19,87	27,71	32,00	79,58
4	ECCI	ECCI-1	8	10,73	28,17	39,00	77,90
5	Universidad de los Andes	Cobra	14	5,67	27,10	36,00	68,77
6	Universidad Tecnológica de Bolívar	UTB-2	11	10,09	24,96	32,00	67,05
7	EAFIT	CSR Prototype	13	3,99	25,97	33,00	62,96
-	ECCI *	ECCI-3	16	11,82	20,74	30,00	62,56
8	Universidad Autónoma del Caribe	VTH-UAC-2011	6	11,11	21,42	30,00	62,52
9	Universidad Nacional de Colombia	ActyUN	7	5,01	25,60	27,00	57,61
10	Escuela Militar de Aviación M.F. Suárez	PIMEC-001	1	3,35	13,90	27,00	44,25
11	Universidad Pontificia Bolivariana (Montería)	El Balay	5	2,66	18,57	21,00	42,23
12	Universidad Antonio Nariño	Pardus-2	4	3,68	14,71	17,00	35,39
13	Universidad Tecnológica de Bolívar	UTB-1	10	5,72	12,77	8,00	26,49
14	Universidad Tecnológica de Bolívar	UTB-3	12	2,68	0,20	9,00	11,88
15	Universidad Antonio Nariño	Predator Five	3	3,37	0,20	0,00	3,57
-	ECCI *	ECCI-4	17	-1,02	0,20	0,00	-0,83

* Equipo que participa pero no entra en competencia para efectos de puntuación

