

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) CON ENFOQUE A
LA UTILIZACIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL TREN INFERIOR.

JONATHAN LEON RHENALS

CRISTIAN PINZÓN ESPINEL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL – MONTERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA
2023

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) CON ENFOQUE A LA
UTILIZACIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL TREN INFERIOR.

JONATHAN LEON RHENALS

CRISTIAN PINZÓN ESPINEL

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Asesores:

LUIS GUILLERMO RIVEROS ALMANZA
Ingeniero mecánico

CLAUDIA MARCELA PEREZ MADRID
Ingeniera mecánica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL – MONTERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA
2023

DEDICATORIAS

El presente proyecto lo ofrecemos primeramente a Dios, por ser nuestro padre celestial y atribuirnos el valor y fuerza para proseguir en este proceso, el cual un día fue un sueño y hoy en día se hace realidad.

A nuestros padres, por el amor, sacrificio, valentía que nos han demostrado durante todos estos años, así mismo, gracias a ellos hemos logrado convertirnos en lo que somos hoy en día.

A nuestros asesores que nos han apoyado desde el inicio y se han esmerado para que este trabajo sea un éxito.

A todas las personas que aportaron su apoyo y a todos aquellos que compartieron sus conocimientos para nuestro trabajo de grado.

Jonathan León Rhenals

Cristian Pinzón Espinel

CONTENIDO

RESUMEN:	7
ABSTRACT:	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
3. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE	13
3.1. HISTORIA.....	13
3.2. DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA.	13
3.3. CONFIGURACIÓN	13
3.4. SISTEMA DE DIRECCIÓN	15
3.5. SISTEMA DE FRENOS.....	18
3.6. TAMAÑO DE RUEDAS.....	20
3.7. SISTEMA DE SUSPENSIÓN	22
3.8. ERGONOMÍA	23
3.9. DISTANCIA ENTRE EJES	25
3.10. ESTADO DEL ARTE	26
4. METODOLOGÍA	28
4.1. PLANIFICACION Y ESPECIFICACIONES DEL VTH.....	30
4.2. DISEÑO CONCEPTUAL	31
4.3. DISEÑO DE DETALLE	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN O DESARROLLO	33
5.1. ELECCION PROTOTIPO FINAL.....	36
5.2. DISEÑO DEL CHASIS.....	38
5.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS	38
5.2.2. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA MODELACIÓN	38
5.2.3. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS DEL CHASIS.....	39
5.3. SELECCIÓN DE MATERIAL BASADO EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA SIMULACION DE ESTATICA SOLIDWORKS	41
5.4. SELECCIÓN DE MATERIAL.....	48
5.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CARGA APLICADA AXIALMENTE.....	49
6. DISEÑO DE DETALLE	53
6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES	53
6.2. ENSAMBLE.....	56
7. ESTIMACIÓN DE COSTOS	59
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
9. BIBLIOGRAFÍA	61
10. ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice global de ciudades de bicicleta 2019 Latinoamérica.	8
Figura 2. Índice global de ciudades de bicicleta 2019 Colombia.	9
Figura 3. Estadísticas de personas discapacitadas según el DANE.	10
Figura 4. Estructura tipo Tadpole.	14
Figura 5. Estructura tipo delta.	14
Figura 6. Dirección tipo horquilla.	15
Figura 7. Dirección tipo cruceta.	16
Figura 8. Dirección tipo cremallera.	16
Figura 9. Dirección mecánica tipo sin fin.	17
Figura 10. Sistema de dirección por debajo del asiento.	17
Figura 11. Sistema de dirección por encima del asiento.	18
Figura 12. Suspensión de muelle.	22
Figura 13. Suspensión de aire.	23
Figura 14. Diagrama con las principales extensiones para el diseño de un VTH.	24
Figura 15. Mapa mental de metodología.	29
Figura 16. Cargas del análisis de simulación estática estructural.	39
Figura 17. Factor de seguridad aluminio 6061 con diámetro de 0.75 pulgadas.	42
Figura 18. Factor de seguridad Aluminio 6061 con diámetro de 1" pulgada.	43
Figura 19. Factor de seguridad del aluminio 7075 con diámetro de 0.75 pulgada.	44
Figura 20. Factor de seguridad del Aluminio 7075 con diámetro de 1 pulgada.	45
Figura 21. Factor de seguridad del Aluminio 7005 con diámetro de 0.75 pulgadas.	46
Figura 22. Factor de seguridad del Aluminio 7005 con diámetro de 1 pulgada.	47
Figura 23. deformación unitaria.	49
Figura 24. Desplazamiento.	50
Figura 25. Tensión.	51
Figura 26. Factor de seguridad bajo el criterio de Von Mises.	52
Figura 27. Ensamble final vista 1 hecho en SolidWorks.	56
Figura 28. Ensamble final vista 2 hecho en SolidWorks.	57
Figura 29. Ensamble final vista 3 hecho en SolidWorks.	58
Figura 30. Plano chasis.	67
Figura 31. Plano eje trasero.	68
Figura 32. Plano eje dirección.	69
Figura 33. Plano eje dirección.	70
Figura 34. Plano soporte de pie.	71
Figura 35. Plano soporte de pie.	72
Figura 36. Plano soporte dirección.	73
Figura 37. Plano soporte eje dirección.	74
Figura 38. Plano de manubrio.	75
Figura 39. Plano horquilla.	76
Figura 40. Plano silla.	77
Figura 41. Plano isométrico silla.	78
Figura 42. Plano soporte para plato.	79
Figura 43. Plano soporte de pies en chasis.	80
Figura 44. Plano soporte giratorio para pies.	80
Figura 45. Plano soporte eje dirección.	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. sistemas de frenos caliper	19
Tabla 2. sistema de freno cantilever	19
Tabla 3. Sistema de freno de discos.	20
Tabla 4. Características de rines	21
Tabla 5. Relación para la figura 14 diagrama con las principales extensiones para el diseño de un VTH.....	24
Tabla 6. Distancia entre ejes.....	25
Tabla 7. Fases de metodología.....	28
Tabla 8. Criterios de diseño.....	30
Tabla 9. Funciones y Opciones para el prototipo.	34
Tabla 10. Combinaciones de prototipos	35
Tabla 11. calificación y puntuación de los prototipos.	36
Tabla 12. Multiplicación de los porcentajes del criterio por la puntuación del prototipo.	37
Tabla 13. sumatoria y puntuación final de los prototipos.	37
Tabla 14. Propiedades aluminio 6061	40
Tabla 15. Propiedades aluminio 7075	40
Tabla 16. Propiedades aluminio 7005	40
Tabla 17. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.	42
Tabla 18. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.	43
Tabla 19. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.	44
Tabla 20. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.	45
Tabla 21. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.	46
Tabla 22. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.	47
Tabla 23. Conjunto de llantas.....	53
Tabla 24. Material para construcción de chasis.....	54
Tabla 25. Juego de frenos.	54
Tabla 26. Asiento para VTH.	55
Tabla 27. Transmisión de potencia.....	55
Tabla 28. Presupuesto oficial.	59
Tabla 29. Presupuesto oficial especificación en letras y representantes.	66

RESUMEN:

El presente trabajo de investigación pretende diseñar un vehículo de tracción humana (VTH) para personas con discapacidad en la parte inferior de sus cuerpos, favoreciendo a una población con problemas de movilidad, en este caso se presenta un diseño conceptual que cuenta con cuatro criterios principales: precio accesible para la población, vehículo ergonómico de fácil montaje y mantenimiento, y sostenibilidad ambiental.

Ahora bien, Teniendo en cuenta los criterios escogidos, se tiene la base para comenzar el diseño de un vehículo de tracción humana con enfoque a personas con discapacidad en el tren inferior, supliendo sus necesidades para movilizarse por sí mismas a cualquier lugar que deseen, además de darles movilidad propia, este vehículo contribuye a la disminución de emisiones de gases contaminantes; como el dióxido de carbono, compuestos de plomo , monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados , óxidos de nitrógeno, anhídrido sulfuroso y las partículas sólidas, ayudando así a reducir la huella de carbono.

Palabras Claves: Vehículo de tracción humana; VTH; vehículo ergonómico; montaje; diseño; discapacidad; tren inferior; movilidad.

ABSTRACT:

The present research work aims to design a human-powered vehicle (VTH) for people with disabilities in the lower part of their bodies, favoring a population with mobility problems. In this case, a conceptual design is presented that has four main criteria: accessible price for the population, ergonomic vehicle that is easy to assemble and maintain, and environmental sustainability.

Now, taking into account the chosen criteria, we have the basis to begin the design of a human-powered vehicle with a focus on people with disabilities in the lower body, meeting their needs to move themselves to any place they want, in addition By giving them their own mobility, this vehicle contributes to the reduction of polluting gas emissions; such as carbon dioxide, lead compounds, carbon monoxide, unburned hydrocarbons, nitrogen oxides, sulfur dioxide and solid particles, thus helping to reduce the carbon footprint.

Keywords: Human-powered vehicle; VTH; ergonomic vehicle; mounting; design; disability; lower body; mobility.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la creación de la bicicleta hasta la actualidad, los vehículos de tracción humana han sido uno de los medios de transporte de mayor practicidad y versatilidad, siendo preferidos por personas de todas las clases sociales y un gran promotor de la salud física y mental. Este medio de transporte evita el sedentarismo, disminuye los problemas relacionados con la obesidad, enfermedades cardiovasculares, entre otras como la diabetes, además cumple diferentes roles tales como: vehículos recreativos, deportivos o de movilidad. El éxito de los vehículos de tracción humana se ve reflejado en países como Holanda, donde hay 17 millones de personas y 23 millones de bicicletas, evidenciando que tiene más bicicletas que habitantes. (Neira Marciales, 2019).

ÍNDICE GLOBAL DE CIUDADES DE BICICLETAS 2019

TOP 10 DE LAS CIUDADES LATINOAMERICANAS AMIGABLES PARA LA BICI

Ranking general	Ciudad	País	Puntaje total	% de uso de bici	Muertes por cada 100.000 ciclistas	Infraestructura Puntaje sobre 100
58	Santiago	Chile	30,35	3,3	2,51	34,34
76	Sao Paulo	Brasil	24,81	5,1	1,71	12,04
80	Cdmx	México	23,83	0,08	0,65	23,45
81	Bogotá	Colombia	23,62	4	3,21	17,3
82	Cali	Colombia	23,24	4,5	3,69	13,07
83	Buenos Aires	Argentina	22,47	1,2	0,83	16,94
89	Medellín	Colombia	18,85	0,5	3,99	9,27

Figura 1. Índice global de ciudades de bicicleta 2019 Latinoamérica.

Fuente: (Marciales, 2019).

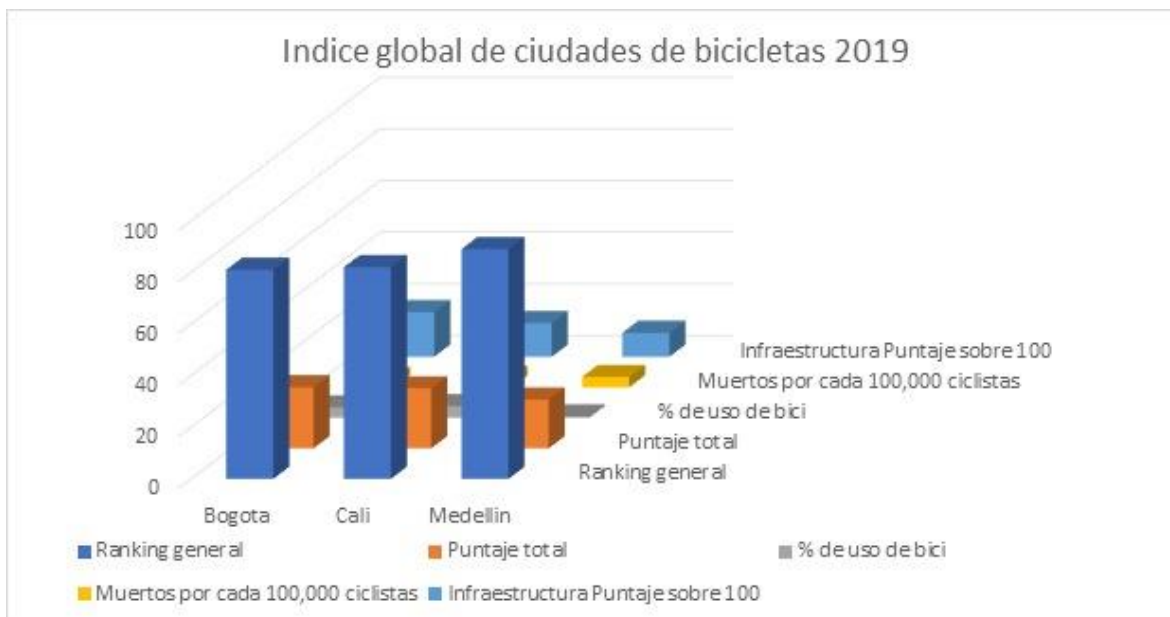


Figura 2. Índice global de ciudades de bicicleta 2019 Colombia.

Fuente: (Marciales, 2019).

A nivel local, como se muestra en la Figura 1, Colombia destaca por el uso de la bicicleta, siendo el único país de la región con tres ciudades en el índice Global de Ciudades Ciclistas, primero se encuentra la ciudad de Bogotá con un 4%, le sigue Cali con un 4.5% y por último Medellín con un 0,5% de uso de las bicicletas. (Neira Marciales, 2019)

En estas ciudades se evidencia el uso de las bicicletas debido al aumento acelerado de la población y problemas como alto tráfico de automóviles y alta accidentalidad. Ante esta problemática, los vehículos de tracción humana se presentan como una solución accesible y que ofrece una movilidad segura y amigable con el medio ambiente. Por otra parte, la inversión en su infraestructura es mucho menor y ofrece grandes beneficios a la salud de la población.

Una dificultad importante para las personas discapacitadas a la hora de escoger este tipo de vehículos es el costo asociado a los prototipos comerciales que pueden ascender hasta \$6'000.000, haciendo difícil el acceso a las personas de menores recursos. Entonces, ¿Cómo se puede diseñar un VTH que sea económico, ergonómico y de fácil manufactura para personas con discapacidad en su tren inferior? (ORTOPEDIAMIMAS, 2020).

Los VTH son un sistema mecánico que trabaja a través de la fuerza muscular del tripulante, en su mayoría son utilizados como medio de transporte. Ahora bien, el proyecto de investigación tiene como objetivo principal diseñar un VTH para personas con discapacidad en la parte del tren inferior aplicando conceptos básicos de diseño, así mismo, esta alternativa de movilidad representa una oportunidad para el deporte, la salud y para el medio ambiente.

Para alcanzar este objetivo, se requiere de actividades detalladas y puntuales, las cuales que son: identificar las condiciones y variables esenciales para el diseño de un prototipo VTH para personas discapacitadas en el tren inferior, generar alternativas y seleccionar el prototipo más adecuado de acuerdo con los criterios establecidos, realizar estudios de esfuerzo, deformación del prototipo con el software SOLIDWORKS y diseñar a detalle el prototipo VTH y estimar costos.

Las personas discapacitadas podrían beneficiarse de este tipo de vehículos, si cuentan con los requisitos necesarios para garantizar su seguridad. De acuerdo con la Figura 3 presentada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la segunda limitación más frecuente registrada es moverse o caminar con un 29,3% de la población total. En las limitaciones por sexo se tiene que las mujeres son las mayores afectadas con un 30.0% superando a los hombres con un 28,7% (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018).

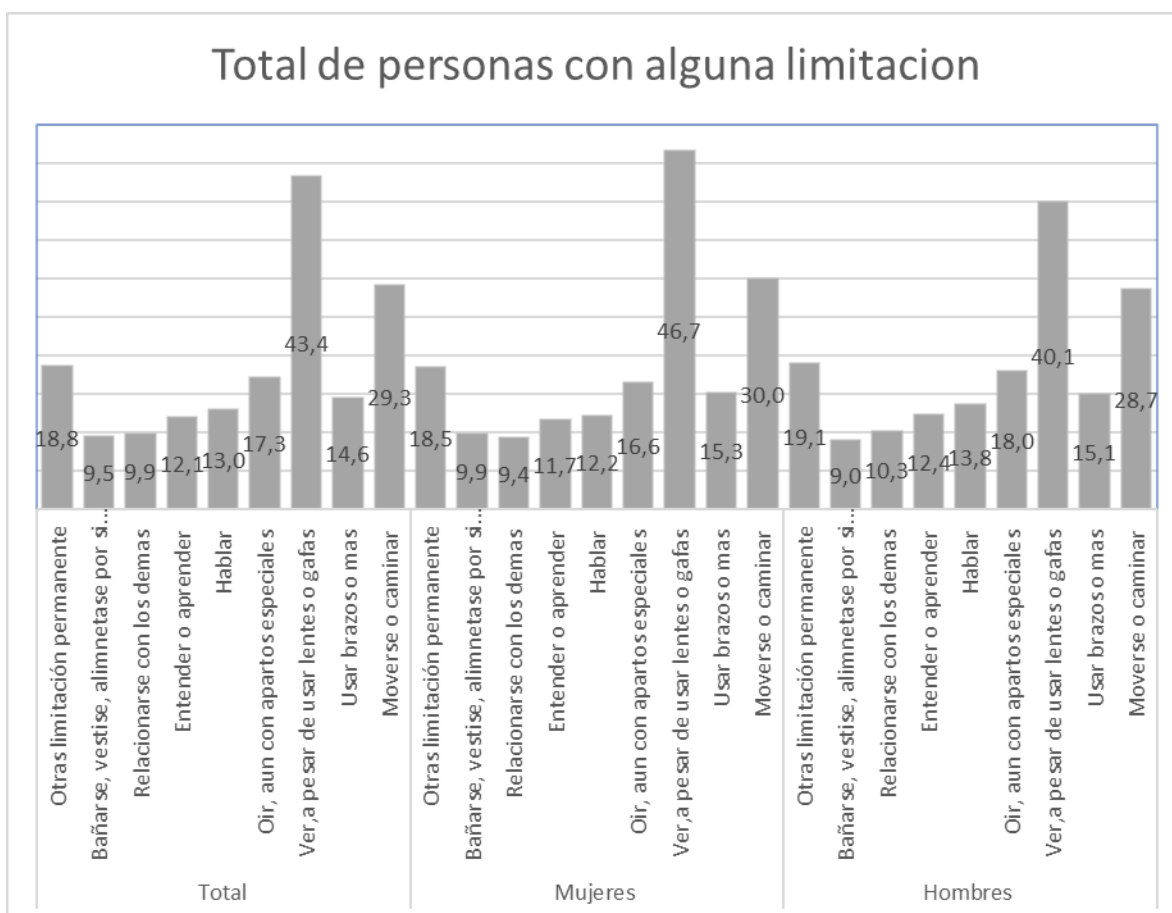


Figura 3. Estadísticas de personas discapacitadas según el DANE.

Fuente: (Social, s.f.).

El VTH no requiere combustible, lo que permite la disminución en el uso de fuentes de energía que generan altos niveles de emisión de gases contaminantes como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, compuestos de plomo, dióxido de azufre y partículas sólidas.

El diseño de este vehículo cuenta con investigaciones previas realizadas en semilleros de investigación, trabajos de grado y concursos en los que la Universidad Pontificia Bolivariana – sección Montería ha participado. Estos trabajos son fundamentales para el diseño del vehículo y a partir de los cuales se espera llegar a un nuevo diseño de VTH que tenga en cuenta los desafíos al considerar como usuarios, personas discapacitadas y los demás. Este proyecto le da a la Universidad Pontificia Bolivariana es una oportunidad invaluable para crear nuevas opciones de movilidad para personas con discapacidad en la parte inferior del cuerpo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un VTH para personas con discapacidad en la parte del tren inferior aplicando conceptos básicos de diseño.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las condiciones y variables esenciales para el diseño de un prototipo VTH para personas discapacitadas en el tren inferior.
- Generar alternativas y seleccionar el prototipo más adecuado de acuerdo con los criterios establecidos.
- Realizar estudios de esfuerzo, deformación del prototipo con el software SOLIDWORKS.
- Diseñar a detalle el prototipo VTH y estimar costos.

3. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE

3.1. HISTORIA

El vehículo de tracción humana, en su forma más básica, se remonta a la antigüedad, cuando se usaron bicicletas sin pedales y triciclos para el transporte de personas y mercancías. A lo largo de los siglos, el diseño y la tecnología de estos vehículos han evolucionado para mejorar su eficiencia y comodidad. A finales del siglo XVIII, el francés Karl von Drais creó una "máquina de correr" sin pedales, que se considera la precursora de la bicicleta moderna. En el siglo XIX, la invención de los pedales permitió una mayor eficiencia y velocidad en la bicicleta. Además, el uso de materiales más ligeros y la mejora de la suspensión y los frenos permitieron una mayor comodidad y seguridad en el uso de las bicicletas. En el siglo XX, la popularidad de la bicicleta como medio de transporte aumentó significativamente, especialmente durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la escasez de combustible y la necesidad de conservar recursos para la guerra impulsaron un aumento en el uso de la bicicleta. Desde entonces, la bicicleta ha sido una opción popular de transporte en todo el mundo, y ha sido utilizada para fines recreativos y deportivos (BKFIT, 2015).

3.2. DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA.

La delimitación actual del diseño del VTH, es que sea de tipo triciclo, con la finalidad de poder cubrir aquellas poblaciones que no pueden utilizar bicicletas de tipo convencional debido a sus problemas de salud o condición física, siendo necesario que el triciclo ofrezca una alternativa de transporte amigable, estabilidad y comodidad (CRISTHIAN & SEBASTIAN, 2019).

3.3. CONFIGURACIÓN

Para el bosquejo y fabricación de este vehículo de tracción humana (VTH) para personas discapacitadas en su tren inferior, se toma como base una estructura que es la encargada de soportar las fuerzas a la que será sometida y puede ser de dos tipos: tadpole y delta.

La estructura tadpole cuenta con dos ruedas delanteras y una trasera, en donde la fuerza de desaceleración generada por los frenos es apoyada por las dos ruedas delanteras, lo que mejora el frenado general del vehículo. Además, hay un mejor control del vehículo incluso en las curvas, lo que reduce en gran medida el riesgo de vuelco. El sistema de dirección es más complejo y, a menudo, requiere piezas únicas (Ortiz, 2017).



Figura 4. Estructura tipo Tadpole.

Fuente: (DHgate, s.f.)

Por otro lado, la estructura Delta cuenta con una llanta delantera y dos traseras, su diseño es sencillo, ya que su fabricación es muy similar a las bicicletas convencionales, por ende, reduce los costos de producción.

La bicicleta tiene un momento de inercia bastante rápido, lo que provoca un vuelco excesivo y puede hacer que el vehículo vuelque en las curvas, esto se puede evitar mediante la adición de un mecanismo de control de inclinación el frenado de todo el vehículo se refiere principalmente a la rueda delantera única, que debe mantener todas las fuerzas de inercia durante la desaceleración del vehículo (Ortiz, 2017).



Figura 5. Estructura tipo delta.

Fuente: (Bikes, s.f.).

3.4. SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección es un grupo de piezas que actúan de manera coordinada, para que el vehículo siga el rumbo deseado por el piloto, lo cual es fundamental saber la configuración, ubicación y método de accionamiento, de este modo existen varios tipos de direcciones las cuales tenemos: dirección de horquilla, cruceta, mecánica cremallera y mecánica sin fin, también se tienen métodos de accionamiento para el sistema de dirección, los cuales son: dirección ubicada por encima del asiento y dirección ubicada por debajo del asiento.

La dirección tipo horquilla es una pieza importante que conforma el VTH, el cual en un impacto absorbe parte de este, y es parte fundamental en el sistema de dirección, ya que proporciona el equilibrio y soporta el manillar del vehículo; este tipo de dirección puede ser rígida o con suspensión (CASIOPEA, 2017).



Figura 6. Dirección tipo horquilla.

Fuente: (CASIOPEA, 2017).

La dirección tipo cruceta tiene forma de cruz, su función principal es unir la fleca cardan al eje principal, el cual permite la transmisión de movimiento rotativo al eje, permitiendo un movimiento angular, este tipo de dirección es más usada cuando el eje trasero es movable y el delantero es fijo (GMB, 2020).



Figura 7. Dirección tipo cruceta.

Fuente: (GMB, 2020)

El sistema de dirección de cremallera consiste en transmitir un movimiento circular en un movimiento lineal, mediante una serie de piñones que giran y estos se deslizan por la cremallera, este método de dirección es muy poco común en vehículos de tracción humana, ya que su mantenimiento es muy costoso y contiene piezas muy costosas (AUTODOCCLUB, 2021).

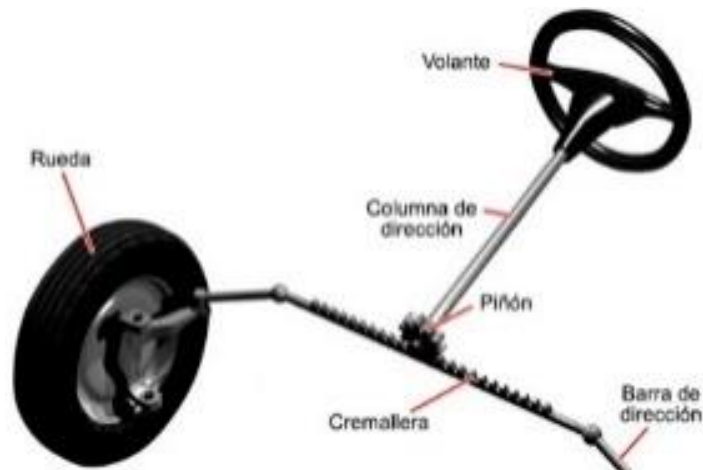


Figura 8. Dirección tipo cremallera.

Fuente: (AUTODOCCLUB, 2021).

El sistema de dirección mecánica sin fin contiene como su nombre lo indica un tornillo sin fin el cual es engranado con un rodillo que le da movimiento a la Biela de dirección para que este los trasmita a las ruedas, este sistema está expuesto a mucho desgaste y no puede ser reajustado (TREJO, 2020).

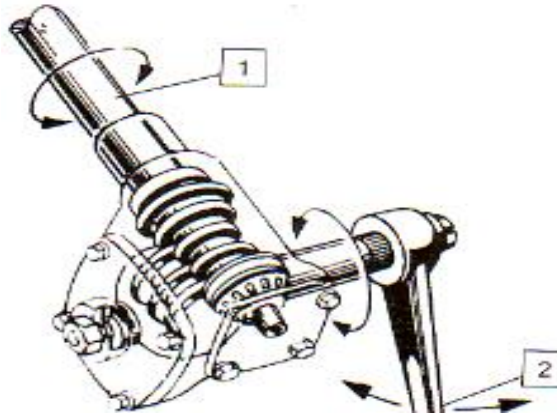


Figura 9. Direccion mecanica tipo sin fin.

Fuente: (trejo, 2020)

El sistema de dirección por debajo del asiento es menos agotadora y más cómoda al momento de la conducción, ya que sus brazos se encuentran colgados y adquiere una posición más relajada, pero este método de accionamiento no es muy aerodinámico al andar y su manufactura es muy costosa, ya que no cuenta con piezas de bicicletas estándares (MARCA, 2022).



Figura 10. Sistema de direccion por debajo del asiento.

Fuente: (MARCA, 2022)

El sistema de dirección por encima del asiento, este método es más aerodinámico. Mantiene sus brazos cerca de su pecho y al momento de sujetar el manillar del vehículo mantienen las muñecas del tripulante, mantienen una posición neutral, pero los brazos y hombros se verán comprometidos, por lo cual después de un tiempo se cansará.



Figura 11. Sistema de dirección por encima del asiento.

Fuente: (marca, 2022)

3.5. SISTEMA DE FRENO

Para detener la marcha de un vehículo en movimiento, se requiere de un componente de seguridad llamado freno, mecanismo mediante el cual hace que el coche disminuya su velocidad o se detenga por completo, existen distintos tipos de frenos, los cuales son: freno de clíper, freno cantilever freno v-brake y freno de disco o masa. (DIRA, 2019)

El freno caliper es ajustable con pernos y tiene dos zapatas que ejercen presión sobre la rueda al frenar. Tienen un solo pivote y actúan como una pinza, este mecanismo tiene distintos tipos: como lo es el de tiro lateral de pivote sencillo, de tiro lateral de pivote dual y de tiro central. Este tipo de frenos son usados en bicicletas de ruta o carretera (RAMIREZ MEZA, 2021).

CALIPER DE TIRO LATERAL DE PIVOTE SENCILLO	CALIPER DE TIRO LATERAL DE PIVOTE DUAL	CALIPER DE TIRO CENTRAL
		

Tabla 1. sistemas de frenos caliper.

Fuente: Elaboración propia.

El freno cantilever Los modelos de freno cantilever tienen dos pivotes, uno para cada zapata en cada lado de la rueda, estos frenos permiten un ancho de llanta más amplia, razón por la cual son tan populares en las bicicletas de montaña, este sistema de freno contiene distintos tipos, los cuales son: cantilever de tipo central, y de tiro directo (RAMIREZ MEZA, 2021).

CANTILEVER DE TIPO CENTRAL	CANTILEVER DE TIRO DIRECTO
	

Tabla 2. sistema de freno cantilever.

Fuente. Elaboración propia.

Los frenos de disco Este sistema consta de un disco que normalmente está atornillado al eje y una pinza de dos pastillas que se aplica a ambos lados del disco cuando se acciona el freno. Su accionamiento puede ser mecánico o hidráulico (RAMIREZ MEZA, 2021).



FRENO DE DISCO HIDRAULICO	FRENO DE DISCO MECANICO
	

Tabla 3. Sistema de freno de discos.

Fuente. Elaboración propia.

3.6. TAMAÑO DE RUEDAS.

Para la selección del tamaño de la ruda, primeramente, se debe tener en cuenta para que modalidad se va a desempeñar el VTH, si en montaña, ruta o carretera, para eso el mercado nos ofrece una variedad de referencias que van desde 16 hasta 29 pulgadas y donde las más comunes son la de 26 y 29 pulgadas, evidenciadas en la **Tabla 4** (ADMINEN, 2020).

Se representan un análisis de las diferentes características de estas dos ruedas:

CARACTERISTICAS	DETALLES RIN 29	DETALLES RIN 26
VELOCIDAD	Por la velocidad que puede potenciar su mayor tamaño, se han convertido en la rueda favorita de los ciclistas de carretera.	Debido a su tamaño, estas ruedas permiten que la bicicleta alcance velocidades más altas.
ESTABILIDAD	A medida que el tamaño más grande aumenta el área de contacto, las ruedas de 29 pulgadas tienen la mejor estabilidad y equilibrio en movimiento continuo.	Son estables, pero mantener esa estabilidad es un problema porque el área de contacto es más pequeña.
AGARRE	estas ruedas sacrifican la maniobrabilidad para proporcionar una tracción mucho mejor.	Al ir a terreno rocoso, la bicicleta con ruedas de 26 pulgadas puede moverse sin ningún problema. Nuevamente, este tamaño es estándar, por lo que la especificación de estas ruedas es simple pero efectiva.
SUBIDAS	El esfuerzo para escalar es casi nulo, ya que unas cuantas pisadas del pedal hacen que la distancia se acelere, lo que le facilita llegar a su destino.	La fuerza para ejercer sobre estas ruedas es moderada, aunque la tracción es bastante buena. Los toboganes deslizantes rompen fácilmente la tracción.
BAJADAS	El esfuerzo de escalada apenas se nota, ya que unos pocos pasos aceleran la distancia, lo que facilita llegar a su destino.	En las bicicletas con ruedas de 26 pulgadas conviene utilizar un amortiguador en la horquilla (y si es de doble suspensión mejor) para que la rueda no afecte al cuadro.

Tabla 4. Características de rines

fuentes: (adminen, 2020).

3.7. SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión es una parte importante del vehículo que afecta su desempeño, seguridad y comodidad, así mismo la función principal de la suspensión es soportar el peso, permitir un movimiento flexible y controlado en los ejes, protegerlo de vibraciones extremas, absorber las irregularidades del terreno evitando su transmisión al resto del vehículo y mantener las ruedas en contacto con la carretera (DOMÍNGUEZ, 2017).

A la hora de realizar una búsqueda sobre los sistemas de suspensión para un VTH se demuestra que los más comunes para este tipo de vehículos son: los sistemas de suspensión de aire y los sistemas de suspensión de muelle helicoidal.

El sistema de suspensión de muelle contiene un determinado número de espiras las cuales determinan su flexibilidad, estas no pueden estar en contacto porque de lo contrario el chasis recibe directamente todos los movimientos y cabe resaltar que este es un sistema muy pesado y no necesita mantenimiento muy frecuentemente (ANA & ISRAEL, 2021).



Figura 12. Suspencion de muelle.

Fuente: (ana & israel, 2021).

El sistema de suspensión tipo aire comprime o expande él según el movimiento del amortiguador en el terreno, este tipo de suspensión son los más utilizados en la actualidad porque son livianos, modificables y, en muchos sentidos, más eficientes que los resortes. Para este modo de suspensión se requiere un mantenimiento más frecuente (ANA & ISRAEL, 2021).



Figura 13. Suspensión de aire.

Fuente. (ana & israel, 2021).

3.8. ERGONOMÍA

La ergonomía estudia la interacción entre las personas y su entorno, el objetivo de la ergonomía es diseñar y adaptar productos, sistemas y procesos para cumplir con las capacidades y limitaciones humanas, aumentando así la eficiencia, la comodidad y la seguridad. Ahora bien, la posición del cuerpo en un VTH es fundamental, ya que influye en la comodidad del piloto, la visibilidad, la entrega de potencia y la aerodinámica. Al encontrar un equilibrio entre estos factores, se puede lograr un diseño adecuado que permita una buena maniobrabilidad, sin descuidar las necesidades del tripulante (BOLAÑOS, 2019).

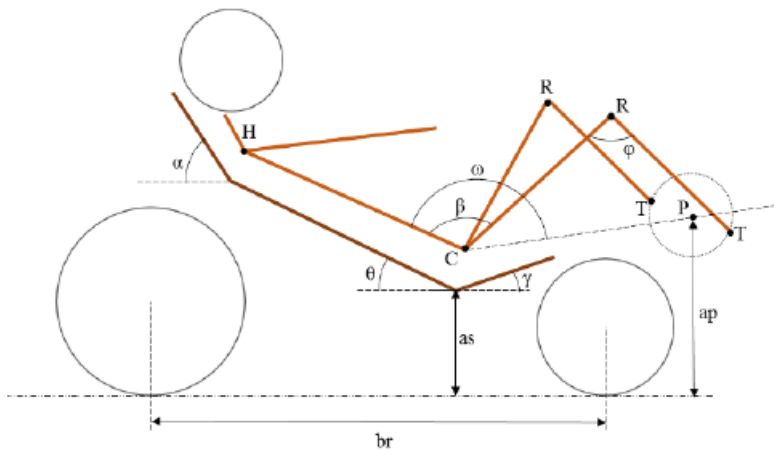


Figura 14. diagrama con las principales extensiones para el diseño de un VTH.

Fuente. (BOLAÑOS, 2019).

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
α	Ángulo entre la cabecera y la horizontal
β	Ángulo entre el torso y el muslo (formado por HCR)
γ	Ángulo entre el asiento y la horizontal
θ	Ángulo entre el espaldar y la horizontal
φ	Ángulo entre el muslo y la antepierna (formado por CRT)
ω	Ángulo formado por HCP
C	Punto en la cadera
H	Punto en el hombro
P	Punto en el pedalier
R	Punto en las rodillas
T	Punto en los tobillos
br	Distancia entre los ejes de las ruedas
as	Altura entre el piso a la silla
ap	Altura entre el piso y el pedalier

Tabla 5. Relación para la figura 14 diagrama con las principales extensiones para el diseño de un VTH.

Fuente. (BOLAÑOS, 2019).

3.9. DISTANCIA ENTRE EJES

Este capítulo trata sobre el diseño del triciclo de tracción humana y el papel que juega la distancia entre ejes en el desempeño y la conducción del vehículo, de acuerdo con los estudios revisados, se observó que la distancia entre ejes cambia según el modelo y la clase de triciclo, y que se puede modificar según las condiciones del suelo o los gustos del usuario, así mismo se determinó que las distancias entre ejes más habituales están entre 1 y 2 metros, según el tamaño y la disposición del triciclo; por ejemplo, un triciclo delta suele tener una distancia entre ejes más corta que un triciclo tadpole, y un triciclo reclinado suele tener una distancia entre ejes más larga que un triciclo normal, a continuación, se muestra una tabla con algunos casos de distancias entre ejes para distintos tipos de triciclos:

TIPO DE TRICICLO	DISTANCIA ENTRE EJES (m)
Delta	1.2 - 1.5
Tadpole	1.5 - 1.8
Reclinado	1.8 - 2.0
Eléctrico	1.5 - 1.7
Adaptado	1.2 - 1.6

Tabla 6. Distancia entre ejes.

Fuente. Elaboración propia.

3.10. ESTADO DEL ARTE

- En el año 2019, el departamento de ingeniería mecánica de la universidad de los Andes desarrollo un vehículo de tracción humana para personas con limitaciones físicas, dicho diseño tiene como objetivo incentivar a las personas con sus condiciones físicas a la movilidad diaria, ya sea rural o urbano, así mismo se realizó con el fin de disminuir el tiempo que demora en llegar cada persona a su destino deseado, por otra parte como resultado obtuvieron el cumplimiento estructuralmente con todas las restricciones propuestas en el proyecto (Andes, 2019).
- En el año 2019, en la Universidad de los Andes, Daniel Felipe Bolaños, del departamento de Ingeniería Mecánica, diseñó un vehículo de tracción humana, donde realizo el proyecto utilizando la fibra de carbono, la cual empleo la técnica de laminado manual, obteniendo como resultado el diseño y manufactura del VTH, adaptado al diseño ya existente en la universidad y realizando simulaciones al comportamiento del vehículo bajo condiciones de competencia (BOLAÑOS, 2019).
- En la ciudad de Bogotá, Cristian Fajardo y Sebastián Veira de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, teniendo la problemática de contaminación y congestión vehicular en Bogotá, realizaron una solución alternativa con el diseño y la construcción de un vehículo de tracción humana (VTH) tipo triciclo, donde utilizaron una metodología enfocada en ejecutar un conjunto de operaciones con el fin de llevar el modelo digital a la realidad con la mayor exactitud posible, del mismo modo finalizaron la tesis cumpliendo los objetivos planteados como transportar una persona de 70 kg en un recorrido o trayecto de 18 km (CRISTHIAN & SEBASTIAN, 2019).
- En el año 2017, en la Universidad de Córdoba, Colombia. Los estudiantes Harold Aguirre y Sebastián Pinedo, realizaron un diseño y construcción de un vehículo de tracción humana (VTH), enfocado en el desplazamiento sobre el río Sinú y rutas pavimentadas de la ciudad de Montería, obteniendo como resultado la realización y cumplimiento de las restricciones del proyecto, así mismo una buena construcción del vehículo adaptado para los requerimientos requeridos (AGUIRRE & SEBASTIAN, 2017).

- En el año 2021, los estudiantes Álvaro Romero y César Pinto, de la universidad Autónoma de Bucaramanga, desarrollaron un Handbike electromecánico acoplable para silla de ruedas convencionales, donde utilizaron una metodología en V, ya que conto con diferentes niveles (funcional, sistema, subsistema y componentes), por ultimo obtuvieron como resultado el desarrollo de un dispositivo handbike con sistema de amortiguamiento tipo monoshock con capacidad de 80 Kg, igual al mecanismo de acople rápido tipo garra, la cual se utiliza en sillas de ruedas convencionales (Romero & Pinto, 2021).
- En el año 2012, el estudiante Franklin Julián Patiño Molina, de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, desarrollo un vehículo de tracción humana para la competencia unidades 2011, donde tuvo como metodología propuesta el diseño y manufactura del modelo, así mismo como resultados la realización del diseño cumpliendo los objetivos, pero con limitaciones del software (PATIÑO MOLINA, 2012).
- En el año 2014, los estudiantes Marcos Andrés Violet Lozano, Harold David Agudelo Mármol y Yahir Enrique González Doria, de la Universidad Libre de Barranquilla, desarrollaron un vehículo de tracción humana de tres ruedas como alternativa de transporte en la ciudad de Montería, implementando la metodología de diseño para manufactura y ensamble DFMA para la construcción del VTH, por otra parte obtuvieron como resultado el diseño de un vehículo ergonómico, así mismo el análisis del chasis, el cual resiste los esfuerzos de Von Mises y se determinaron una vida útil de $1,597 \times 10^4$ ciclos (VIOLET, AGUDELO, & GONZALEZ, 2014).

4. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto se toma como base la metodología de diseño que maneja el libro PAHL, BEITZ, FELDHUSEN, & GROTE, (2006). *Engineering desingn*. Springer. El cual, se realiza de una manera mas simplificada y versatil, teniendo como base la metodologia de diseño de la casa de la calidad, permitiendo el desarrollo de productos enfocados en un proceso organizado que surge a partir de unas fases. Este método lo han implementado en proyectos de grado previamente realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana como lo es el *Diseño y construcción de una tamizadora eléctrica* realizado por (TRUJILLO & RUÍZ, 2019).

FASES	
Planificación del producto	Primero, se necesita entender qué es lo que los usuarios quieren en un vehículo de tracción humana adaptado a sus necesidades. ¿facilidad de uso, un diseño más ligero?
Especificaciones	Características necesarias del producto que el usuario o cliente se propone identificar y evaluar para la viabilidad y funcionamiento del producto, en este caso un VTH.
Aclaración de la tarea:	En esta etapa, se define claramente el problema que se está resolviendo: Diseñar un vehículo de tracción humana que sea fácil de usar para personas con discapacidades en la parte inferior del cuerpo y que sea ergonómico, económico y fácil mantenimiento.
Diseño conceptual	Se generan un análisis funcional, diagrama morfológico, generación de prototipos posibles, escogencia de alternativas de acuerdo con los criterios establecidos y por último selección de la opción final.
Diseño de detalle	Se realiza el diseño estructural del chasis dimensionándolo y aplicando unas cargas, además, condiciones de frontera, selección de material y análisis estructural del chasis.

Tabla 7. Fases de metodología.

Fuente. Elaboración propia.

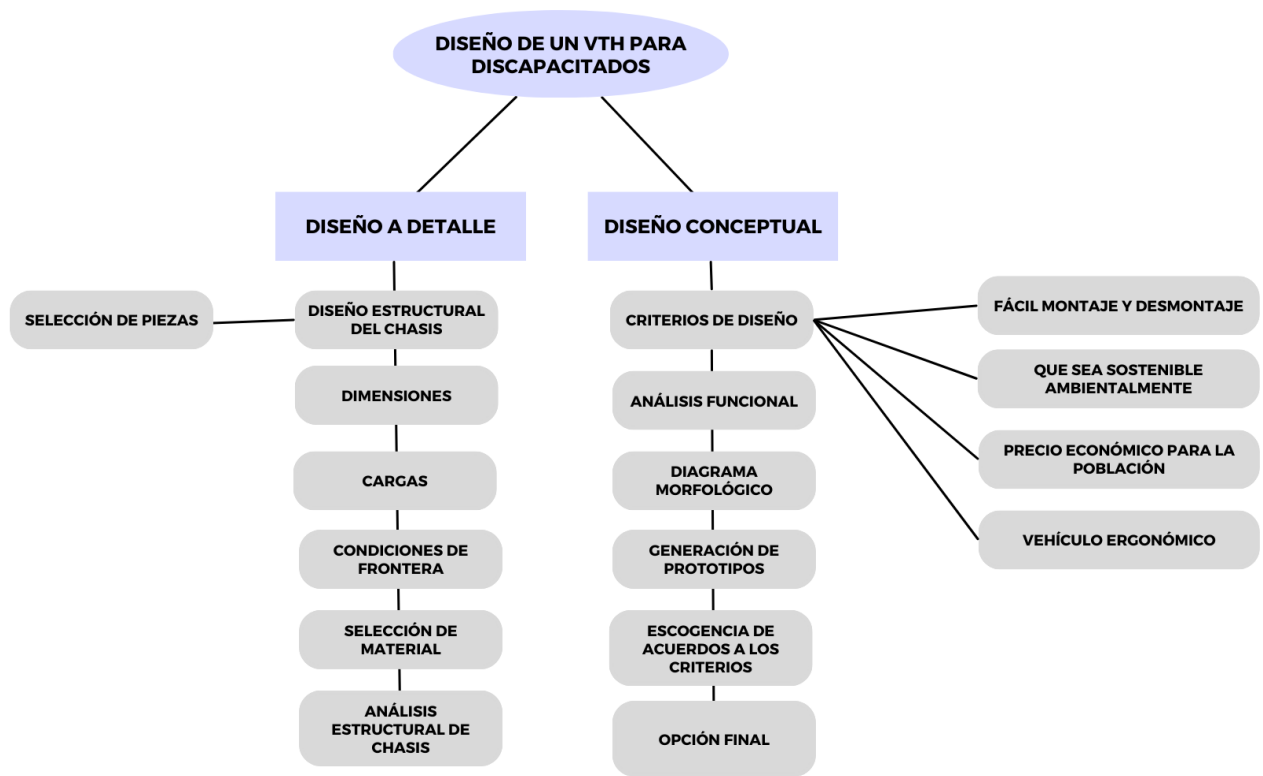


Figura 15. Mapa mental de metodología.

Fuente. Elaboración propia.

4.1. PLANIFICACION Y ESPECIFICACIONES DEL VTH

- **Determinación de los criterios importantes para el diseño**

Para la determinación de los criterios se debe tener en cuenta el método de la casa de la calidad, la cual se fundamenta en asegurar calidad en cuanto a la creación para así analizar y visualizar las necesidades del usuario y sus características, así mismo, una de las consideraciones más importantes para el trabajo desarrollado es considerar que el usuario del VTH posee una discapacidad de miembro inferior, por lo que sus necesidades son especiales y completamente diferentes a los prototipos encontrados fácilmente en el mercado. Adicionalmente, es deseable mantener un bajo costo para el prototipo, de manera que pueda ser accesible a comunidades que no tienen el poder adquisitivo debido a los altos costos asociados a los vehículos de tracción humana.

De acuerdo con estas dos características se escogen los siguientes 4 criterios:

CRITERIO	PORCENTAJE %
Precio económico para la población	40
Vehículo ergonómico	30
Fácil montaje y mantenimiento	20
Que sea sostenible ambientalmente	10

Tabla 8. *Criterios de diseño.*

Fuente. *Elaboración propia.*

- **Precio económico para la población:**

Este criterio fue considerado más importante para el diseño del VTH con un peso de 40%, de acuerdo con la información recopilada anteriormente se evidenció que un 29.3% de la población colombiana tiene discapacidad para moverse o caminar, dicha población se vería beneficiada por este tipo de propuestas. Es importante mencionar que los costos de un vehículo de tracción humana (VTH) comercialmente asciende entre 1.300.000-4.000.000 y los costos aumentan aún más si el vehículo está acondicionado para personas con discapacidad, llegando hasta 5.000.000. De acuerdo con esta perspectiva, este proyecto busca generar alternativas más accesibles y sostenibles para las personas de más bajos recursos de la región (ORTOPEDIAMIMAS, 2020).

- **Vehículo ergonómico:**

Debido a que considera que el usuario con discapacidad tiene diferentes necesidades, la ergonomía es un factor de vital importancia para el diseño del VTH. En este caso se le atribuye un peso del 30% y se tendrá en cuenta que el usuario con discapacidad pueda entrar y salir del VTH con facilidad, además de maniobrar el vehículo con los brazos sin mucho esfuerzo durante todo el trayecto.

- **Fácil montaje y mantenimiento:**

Otra de las consideraciones para el diseño del VTH es que los componentes de este vehículo sean de un fácil montaje y mantenimiento, a este criterio se le dio una importancia del 20%. Dado que el VTH está dirigido a personas discapacitadas, en el momento en que el vehículo sufra alguna avería simple, es deseable que el mismo usuario pueda realizar la reparación sin problemas. Igualmente, si el prototipo requiere de mantenimiento o el reemplazo de algún componente, es necesario que puedan encontrarse fácilmente en el mercado y a un valor accesible.

- **Que sea sostenible ambientalmente:**

La comunidad científica y el sector industrial en general están preocupados por el calentamiento global debido a que las emisiones crecen rápidamente. Por eso, para disminuir la huella de carbón, se elige que los materiales que forman el prototipo de VTH sean reutilizables si es posible. Además, los materiales y componentes deben ser producidos en Colombia para apoyar la industria nacional y la creación de empleo, a este criterio se le da un 10% de importancia (NACIONES UNIDAS, 2021).

4.2. DISEÑO CONCEPTUAL

En el diseño conceptual se definieron las distintas funciones del prototipo, el cual debe contar con un arranque, dirección, frenado, suspensión y configuración. Con respecto a estas funciones se genera un diagrama morfológico el cual permite visualizar unas posibles alternativas del prototipo, evaluando y realizando la escogencia de la opción final que más se acoja a los criterios establecidos.

4.3. DISEÑO DE DETALLE

Según la opción elegida de acuerdo con las fases anteriores, a partir del programa de diseño solidwork, se realiza el estudio de elementos finitos del prototipo seleccionado, en el cual pide condiciones para llevarse a cabo.

En el capítulo de resultados se encontrará más a detalle los resultados obtenidos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN O DESARROLLO

Para cada una de las funciones encontradas anteriormente se realizó una búsqueda bibliográfica, se miraron prototipos comerciales y otros proyectos relacionados, en los cuales se encontraron varias opciones con respecto a cada función. Dicho lo anterior en la Tabla 9. Funciones y Opciones para el prototipo. se ilustran las alternativas de cada función, otorgándole un número y un nombre en cada imagen por la cual se identificará la opción para cada función, para así luego realizar las combinaciones para la escogencia del prototipo final.

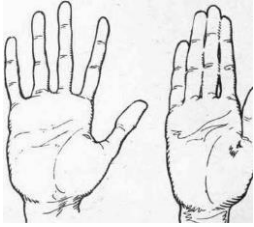






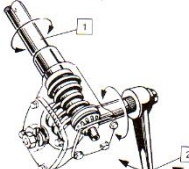








FUNCIONES				
ARRANQUE	Manual (1) 	Batería (2) 	Motor (3) 	Manual y motor (4) 
DIRECCION	Horquilla (5) 	Biela manivela (6) 	Mecánica Cremallera (7) 	Mecánica sin Fin (8) 
FRENADO	Caliper sencillo (9) CALIPER PIVOTE SENCILLO 	Caliper dual (10) CALIPER PIVOTE DUAL 	V-Brake (11) V BRAKES 	Disco Mecánico (12) DISCO MECÁNICO 
SUSPENSIÓN	Muelle (13) 	Aire (14) 		
CONFIGURACION	Delta (15) 	Tadpole (16) 		

Tabla 9. Funciones y Opciones para el prototipo.

Fuente. Elaboración propia.

Para la obtención de los prototipos se evaluaron las diferentes combinaciones utilizando como herramienta la Tabla 9. Funciones y Opciones para el prototipo. se escogieron las mejores 4 combinaciones, dando como resultado 4 prototipos diferentes a ser evaluados de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 10. Combinaciones de prototipos

COMBINACIONES	PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2	PROTOTIPO 3	PROTOTIPO 4
ARRANQUE	1	3	3	1-3
DIRECCION	6	7	5	5-6
FRENADO	11	11	10	12
SUSPENSION	13	14	14	13
CONFIGURACION	15	16	16	15

Tabla 10. Combinaciones de prototipos

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se explicará con mayor detalle cada uno de los prototipos escogidos:

- **Prototipo 1**

El primer diseño por evaluar está conformado por un arranque manual, dirección de biela manivela, frenos V-brake, suspensión de muelle y con un tipo de chasis delta. Este diseño es versátil, pero su punto débil es la dirección debido a que tiene una respuesta lenta y con poca precisión. El frenado tiene un mayor tiempo de respuesta, lo que repercute negativamente en el tiempo y distancia de frenado.

- **Prototipo 2**

El segundo diseño está conformado por un arranque de motor eléctrico, dirección de cremallera, frenos V-brake, suspensión neumática y con un tipo de chasis tadpole. Este diseño tiene una menor confiabilidad debido al tipo de dirección, la dirección de cremallera tiene una respuesta muy precisa, lo que conlleva volcaduras en los momentos de reacción rápida, creando situaciones desfavorables para las personas con poca movilidad en su parte inferior.

- **Prototipo 3**

El tercer diseño por evaluar está conformado por un arranque de un motor eléctrico, dirección de horquilla, frenos de Caliper dual, suspensión neumática y con un tipo de chasis tadpole. Este diseño tiene una ergonomía desfavorable para las personas con poca movilidad en su parte inferior debido a la configuración del chasis. Adicionalmente, los frenos Caliper-dual presentan el mismo problema observado en el prototipo número 1, debido a que no presentan una respuesta rápida.

- **Prototipo 4**

El cuarto diseño está conformado por un arranque de un motor eléctrico, dirección combinada de horquilla y biela manivela, frenos de disco, suspensión de muelle y con un tipo de chasis delta. Este diseño tiene una ergonomía favorable a la hora de entrar al vehículo de tracción humana gracias al tipo de chasis Delta, Adicionalmente la dirección es sencilla y eficaz y el sistema de frenado es de reacción rápida, con una menor distancia y tiempo de frenado en una posible emergencia.

5.1. ELECCION PROTOTIPO FINAL

Para la selección del prototipo más adecuado, se tuvo en cuenta los criterios seleccionados en la Tabla 8, bajo dichos criterios se va a manejar una escala de puntuación de cero a cinco, siendo cero la puntuación más baja y cinco la más alta, en la Tabla 11 se demuestra la puntuación dada a cada prototipo con referencia a los criterios y función de cada uno. Luego se realizará un procedimiento mostrado en Tabla 11, donde se multiplicará el valor en porcentaje del criterio por la puntuación dada a la función de cada modelo mostrada en Tabla 12. Multiplicación de los porcentajes del criterio por la puntuación del prototipo. Para luego realizar la sumatoria total de cada prototipo y obtener la calificación final, todo este procedimiento se encuentra realizado en la Tabla 13. sumatoria y puntuación final de los prototipos.

PROTOTIPOS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
1	3.5	3	3	3.5
2	3	2.5	2	3
3	3	2	2	3
4	3	4	3	3

Tabla 11. calificación y puntuación de los prototipos.

Fuente. Elaboración propia.

PROTOTOPOS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
1	$3.4 \times 0.4 = 1.4$	$3 \times 0.3 = 0.9$	$3 \times 0.2 = 0.6$	$3.5 \times 0.1 = 0.35$
2	$3 \times 0.4 = 1.2$	$2 \times 0.3 = 0.6$	$3 \times 0.2 = 0.3$	$3 \times 0.1 = 0.3$
3	$3 \times 0.4 = 1.2$	$2.5 \times 0.3 = 0.75$	$3 \times 0.2 = 0.3$	$3 \times 0.1 = 0.3$
4	$3 \times 0.4 = 1.2$	$4 \times 0.3 = 1.2$	$3 \times 0.2 = 0.3$	$3 \times 0.1 = 0.3$

Tabla 12. Multiplicación de los porcentajes del criterio por la puntuación del prototipo.

Fuente. Elaboración propia.

PROTOTOPOS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	SUMATORIA DE CALIFICACIÓN
1	1.4	0.9	0.6	0.35	3.25
2	1.2	0.6	0.4	0.3	2.5
3	1.2	0.75	0.4	0.3	2.65
4	1.2	1.2	0.6	0.3	3.3

Tabla 13. sumatoria y puntuación final de los prototipos.

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 13, se evidencia las calificaciones finales de cada prototipo, donde los menos calificados se encuentra el diseño dos, ya que no resalta en el precio final de venta por lo cual decae en el apartado de precios para la población por sus diferentes mecanismos entre ellos la dirección de cremalleras teniendo así un mantenimiento más constante debido a sus mecanismos por eso en este criterio tiene la puntuación más baja con diferencia en los demás prototipos propuestos y el tercer diseño por lo que en su mayoría de componentes está equilibrado, ya que tiene una suspensión de aire, puesto que hace más cómodo su andar en diferentes trayectos que ara el conductor, en el caso desfavorable es su configuración de su estructura de chasis por el hecho de que este diseño tiene un gran porcentaje de volcaduras debido a este apartado en su apartado de ergonomía e igualmente en la parte de mantenimiento debido a sus altos costos de mantenimiento en los amortiguadores que conforman este diseño.

Las opciones de mejor calificación se encuentra el prototipo tres y cuatro, donde el tercer diseño en su mayoría de componentes está equilibrado ya que tiene una suspensión de aire y hace más cómodo su andar en los diferentes trayectos que hará el conductor, en el

caso desfavorable es su configuración de su estructura de chasis, pues este diseño tiene un gran porcentaje de volcaduras y altos costos de mantenimiento.

Como elección final para el VTH, se seleccionó el prototipo cuatro, porque sobresale en el apartado de ergonomía debido a sus componentes como los amortiguadores, frenado y su diseño estructural favoreciendo así su estabilidad a la hora de volcamientos, y así manteniendo un promedio general en los demás criterios evaluados.

5.2. DISEÑO DEL CHASIS

Para el diseño del chasis, a partir de una revisión bibliográfica de trabajos adyacentes o relacionados, se realizaron estudios estáticos al chasis, evaluando distintos materiales como:

- **Aluminio 6061:** Este material presenta unas características favorables, ya que cuenta con una alta resistencia, conformidad, corrosión, soldabilidad, comercial y de fácil acceso.
- **Aluminio 7075:** Esta aleación cuenta con unas características que, en comparación con otras aleaciones, este presenta una alta resistencia, durabilidad y fácil mecanizado, además hay que aclarar que es un material que necesita una protección adicional cuando entra en contacto con ambientes húmedos, por último, comercialmente tiene un precio elevado.
- **Aluminio 7005:** Este material es característicamente parecido a la aleación 6061, ya que cuenta con una alta resistencia, soldabilidad, corrosión y es comercialmente de fácil acceso, pero a su vez tiene un alto precio en el mercado.

5.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS

Para la fabricación y dimensionamiento del chasis se realizaron estudios bibliográficos de trabajos relacionados descritos anteriormente en los proyectos de grado (AGUIRRE & SEBASTIAN, 2017) y (CRISTHIAN & SEBASTIAN, 2019). también se tuvo en cuenta la distancia entre ejes descritas en la Tabla 6, así mismo, se hizo una búsqueda de diferentes VTH que se encuentran en el mercado, para así acoplarlo a las necesidades del proyecto, Por último, se tomó en cuenta el promedio de estatura (1,71m) y peso (76Kg) de una persona colombiana, por lo tanto, se aclara que el peso para efectos de los estudios a realizar se sobredimensionara.

5.2.2. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA MODELACIÓN

Para efectuar esta simulación y ver el comportamiento de la estructura que se está realizando para obtener los resultados más reales posibles, es indispensable ingresar las restricciones a la estructura según lo que requiera el análisis, ahora bien, en el software se deben introducir las sujeciones, que sería la parte de los ejes, las llantas traseras y la parte delantera donde se encuentra la horquilla. Así mismo, insertan las cargas externas, que en este caso sería una fuerza aplicada axialmente, ya que esta genera un

aplastamiento garantizando así la estabilidad de la estructura, esta carga es de 120 kilogramo-Fuerza, que equivalen a 1176 Newton correspondiente al peso promedio de un conductor.

Por otra parte, para el análisis de esta simulación, respecto al valor de la fuerza aplicada, se tomó en cuenta por criterio personal, considerando las condiciones del usuario, ya que las personas discapacitadas tienen la tendencia de aumentar de peso porque no realizan actividades físicas.

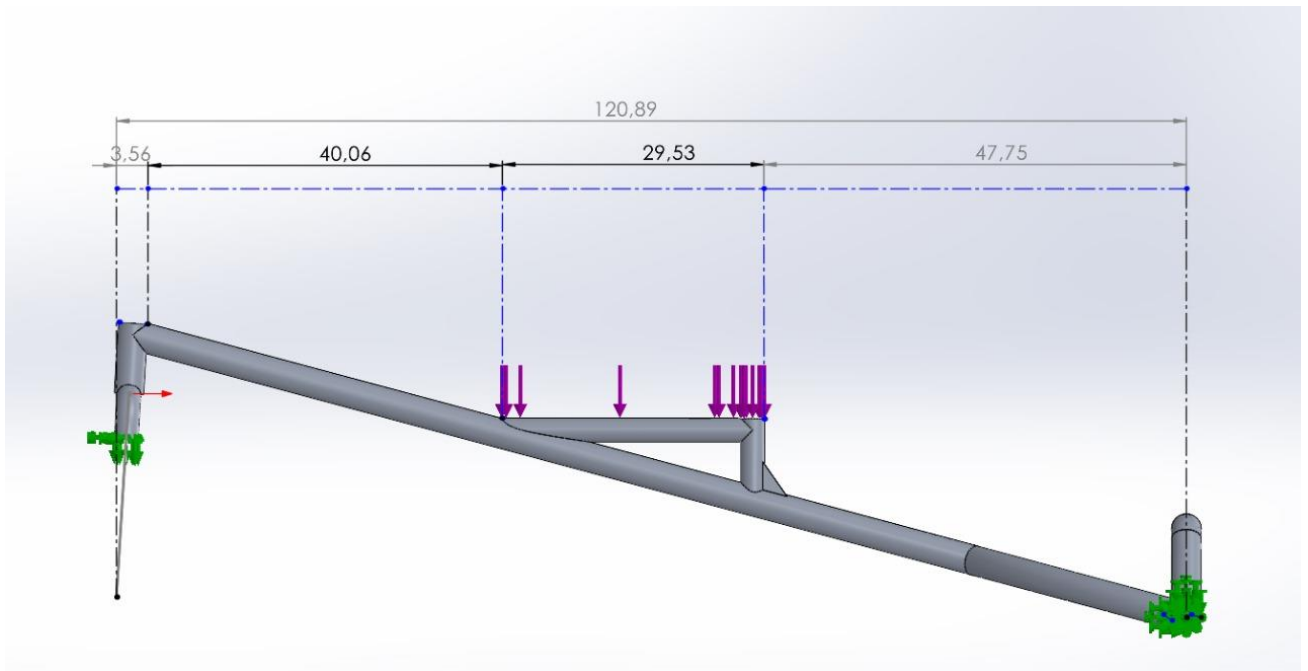


Figura 16. Cargas del análisis de simulación estática estructural.

Fuente: Solidwork ® 2020.

5.2.3. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS DEL CHASIS

El chasis es el componente principal del VTH, es el encargado de sostener cada una de las piezas de este vehículo, como lo son las ruedas, la transmisión, la dirección, entre otros. Como este medio estará diseñado de manera muy específica, ya que las personas a la cual va dirigida no cuentan con movilidad en sus extremidades inferiores y este estará limitada al diseño y a sus elementos complementarios. Para la aplicación del material en el estudio del chasis se realizó una revisión bibliográfica de trabajos relacionados y se realizaron estudio estático al chasis con distintos materiales como los es la aleación de aluminio 6061, aluminio 7075 y 7005. En las Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 podemos observar las propiedades de los materiales antes mencionados.

NOMBRE:	ALEACIÓN 6061
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	5.51485e+07 N/m ²
Límite de tracción:	1.24084e+08 N/m ²
Módulo elástico:	6.9e+10 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.33
Densidad:	2,700 kg/m ³
Módulo cortante:	2.6e+10 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	2.4e-05 /Kelvin

Tabla 14. Propiedades aluminio 6061

Fuente: (SolidWorks ® 2020).

NOMBRE:	7075
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Límite elástico:	9,5e+07 N/m ²
Límite de tracción:	2,2e+08 N/m ²
Módulo elástico:	7,2e+10 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0,33
Densidad:	2.810 kg/m ³
Módulo cortante:	2,69e+10 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	2,4e-05 /Kelvin

Tabla 15. Propiedades aluminio 7075.

Fuente: (SolidWorks ® 2020).

NOMBRE:	7005
Módulo elástico	7.29999992e+10
Coefficiente de Poisson	0.33
Límite de tracción	359999997.9
Límite elástico	28999999.42
Módulo tangente	
Coefficiente de expansión térmica	2.2e-06
Densidad de masa	2780.000061

Tabla 16. Propiedades aluminio 7005

Fuente: (SolidWorks ® 2020).

5.3. SELECCIÓN DE MATERIAL BASADO EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA SIMULACION DE ESTATICA SOLIDWORKS

A lo largo de un proceso reiterado de diseño y desarrollo, se ha pensado en un vehículo de tracción humana dirigido específicamente a personas con discapacidades. Continuamente, se procedió a modificar el área transversal y a seleccionar materiales con mayor rigidez y resistencia, considerando cuidadosamente el factor de seguridad de 1.2. Ahora bien, el factor de seguridad fue seleccionado de acuerdo con los trabajos anteriores; (AGUIRRE & SEBASTIAN, 2017), (BOLAÑOS, 2019), (CRISTHIAN & SEBASTIAN, 2019), (PATIÑO MOLINA, 2012), (VIOLET, AGUDELO, & GONZALEZ, 2014) y (Romero & Pinto, 2021) que estipularon este factor de seguridad como esencial, ya que implica trabajar con personas. Estos proyectos han dejado en claro que la implementación de este factor proporciona un nivel adicional de protección esencial para salvaguardar la seguridad y el bienestar de las personas, además que se basa en una firme prioridad de garantizar la seguridad.

Por otra parte, se inició con un análisis de la geometría del área transversal, evaluando sus efectos en la resistencia del material. A la vez, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas de diversos materiales metálicos, esto se realizó con el fin de determinar cuál podría proporcionar la combinación ideal de resistencia y peso ligero.

Los resultados de las simulaciones de esfuerzo estático revelaron variaciones notables en la resistencia y el comportamiento de deformación de los materiales bajo diferentes configuraciones de diámetro. Además, el aluminio 6061, ampliamente reconocido por su versatilidad y equilibrio entre peso y resistencia, mostró una variabilidad de resultados, el cual se evidencian en las siguientes figuras:

- **ALUMINIO 6061 CON DIÁMETRO DE 0.75 PULGADAS.**

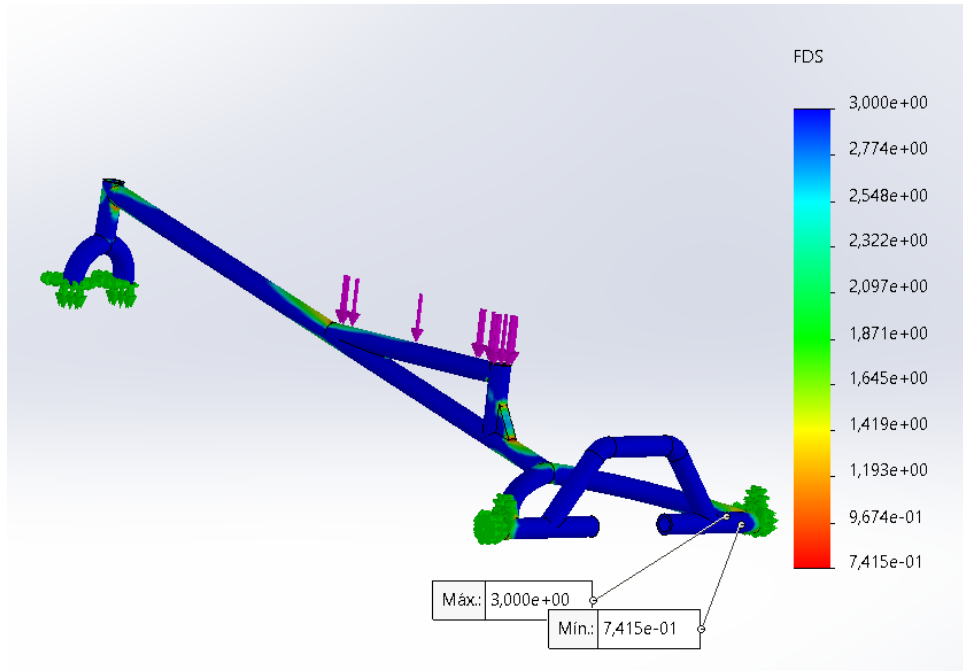


Figura 17. Factor de seguridad aluminio 6061 con diámetro de 0.75 pulgadas.

Fuente: Solidwork ® 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 6061 CON DIÁMETRO DE 0.75 PULGADAS.	
MAXIMO	MINIMO
3	0.74

Tabla 17. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 puede verse la distribución del factor de seguridad en la estructura del chasis utilizando aluminio 6061 y el cual se pueden encontrar sus propiedades en la Tabla 14. Ahora bien, se observa un valor mínimo de 0.74 menor al objetivo propuesto de 1.2, por lo tanto, se evidencia que no cumple con los parámetros establecidos para garantizar la seguridad del proyecto, cabe aclarar que los lugares donde se encuentra un factor de seguridad bajo, es debido a que son zonas que se generan altas concentraciones de esfuerzo.

Por otra parte, al notarse que el diámetro establecido de 0.75" pulgadas no cumple las expectativas, se decide realizar una evaluación utilizando un diámetro de 1" pulgada, lo cual, se espera que, al aumentar el área transversal, se pueda predecir un aumento del factor de seguridad.

- ALUMINIO 6061 CON DIÁMETRO DE 1 PULGADA.

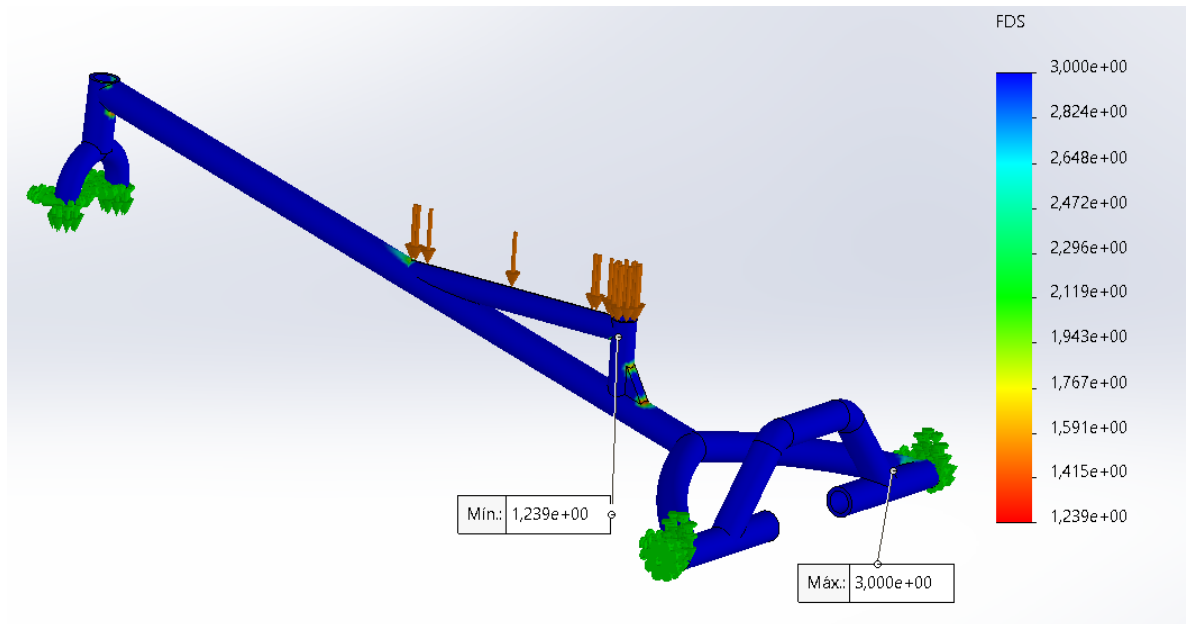


Figura 18. Factor de seguridad Aluminio 6061 con diámetro de 1" pulgada.

Fuente: Solidwork © 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 6061 CON DIÁMETRO DE 1 PULGADA.	
MAXIMO	MINIMO
3	1.3

Tabla 18. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.

Fuente: Elaboración propia.

En Figura 18, se puede evidenciar, que al utilizar un diámetro de 1" pulgada el factor de seguridad aumenta, lo que muestra un cumplimiento de los requerimientos previamente establecidos en cuanto al factor de seguridad, el cual dio como resultado un factor mínimo de 1.2 utilizando aluminio 6061 especificados en la Tabla 14.

- **ALUMINIO 7075 CON DIAMETRO DE 0.75 PULGADAS.**

El Aluminio 7075 reconocido por su alta resistencia y durabilidad, exhibió un rendimiento excepcional en términos de capacidad de carga, un diámetro determinado, como se demuestra a continuación y especificado en la Tabla 15:

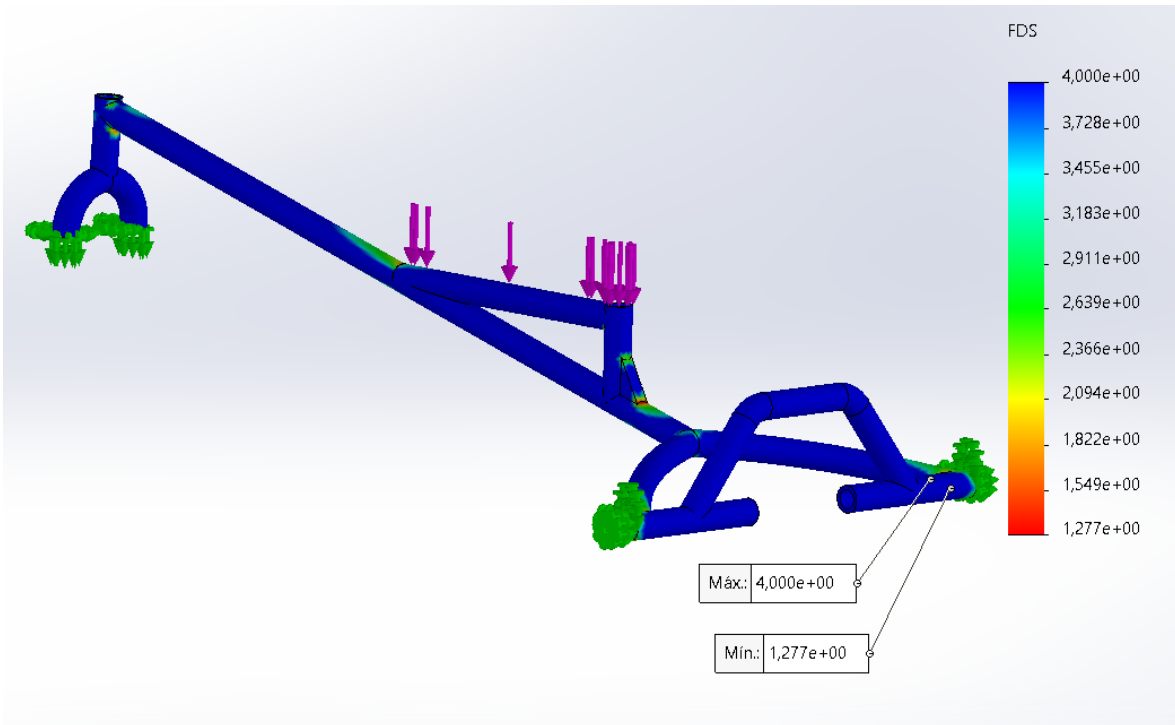


Figura 19. Factor de seguridad del aluminio 7075 con diámetro de 0.75 pulgada.

Fuente: Solidwork ® 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 7075 CON DIÁMETRO DE 0.75 PULGADAS.	
MAXIMO	MINIMO
4	1.2

Tabla 19. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 19, es evidente que el material utilizado cumple con los requisitos mínimos de factor de seguridad, alcanzando un valor de 1.2, incluso con el diámetro más pequeño de 0.75 pulgadas entre todas las opciones evaluadas, esta observación destaca la calidad y la resistencia inherente del material seleccionado.

- ALUMINIO 7075 CON DIÁMETRO DE 1 PULGADA.

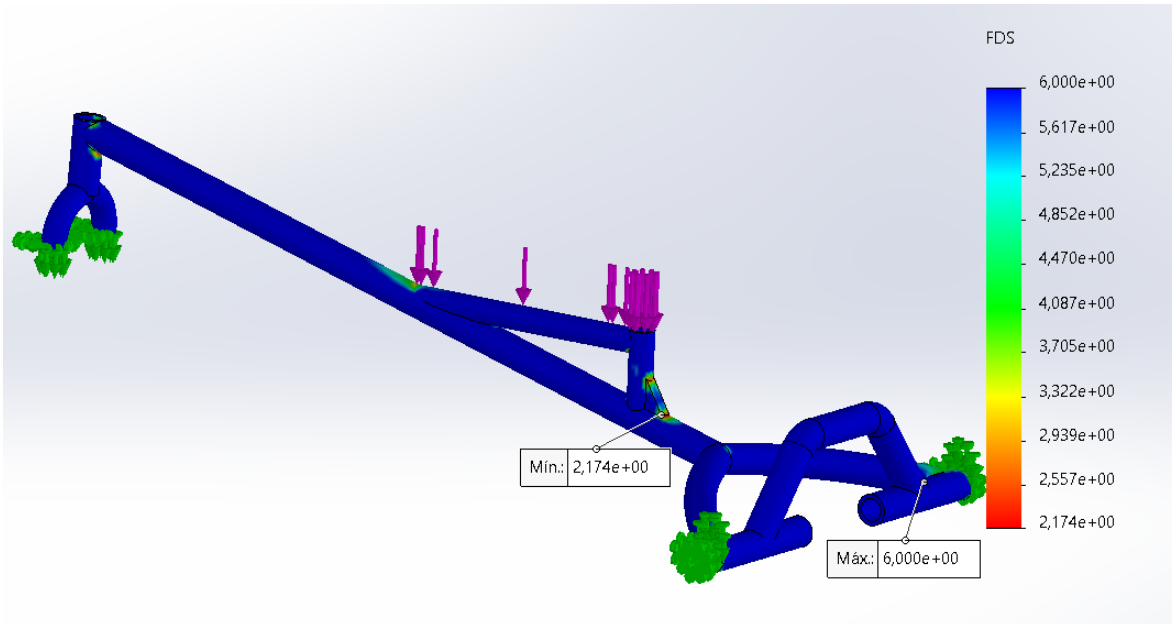


Figura 20. Factor de seguridad del Aluminio 7075 con diámetro de 1 pulgada.

Fuente: Solidwork ® 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 7075 CON DIÁMETRO DE 1 PULGADA.	
MAXIMO	MINIMO
6	2.1

Tabla 20. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 20, el material utilizado satisface los requerimientos mínimos de factor de seguridad, alcanzando un valor muy por encima del objetivo, siendo 2.1, el factor cuenta con un diámetro de 1 pulgada, se define que, este resultado supera ampliamente los estándares de seguridad preestablecidos.

- **ALUMINIO 7005 CON DIÁMETRO DE 0.75 PULGADAS.**

El aluminio 7005 que posee propiedades intermedias demostradas en la Tabla 16 en comparación con los otros dos materiales, demostrando a continuación un resultado casi igualitario con el aluminio 6061:

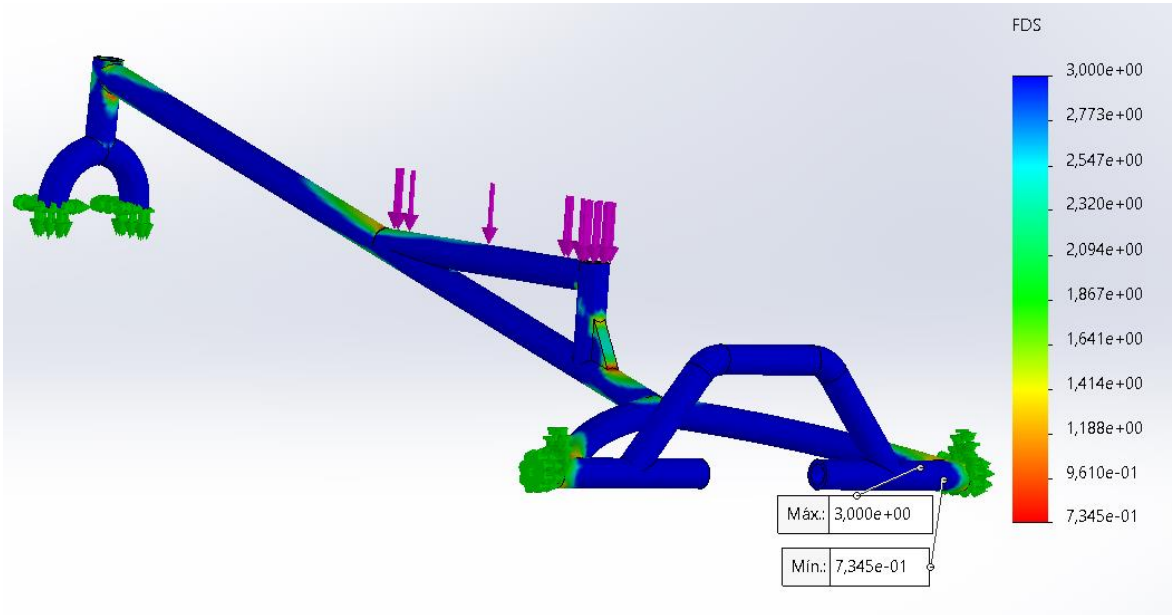


Figura 21. Factor de seguridad del Aluminio 7005 con diámetro de 0.75 pulgadas.

Fuente: Solidwork ® 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 7005 CON DIÁMETRO DE 0.75 PULGADAS.	
MAXIMO	MINIMO
3	0.73

Tabla 21. Factor de seguridad con diámetro de 0.75 pulgadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21, se evidencia un resultado obtenido en la simulación con un diámetro de 0.75 pulgadas, el cual, presenta un factor de seguridad mínimo de 1.1, donde se representa una diferencia de una décima con respecto al mínimo requerido de 1.2 para su aprobación.

- ALUMINIO 7005 CON DIAMETRO DE 1 PULGADA.

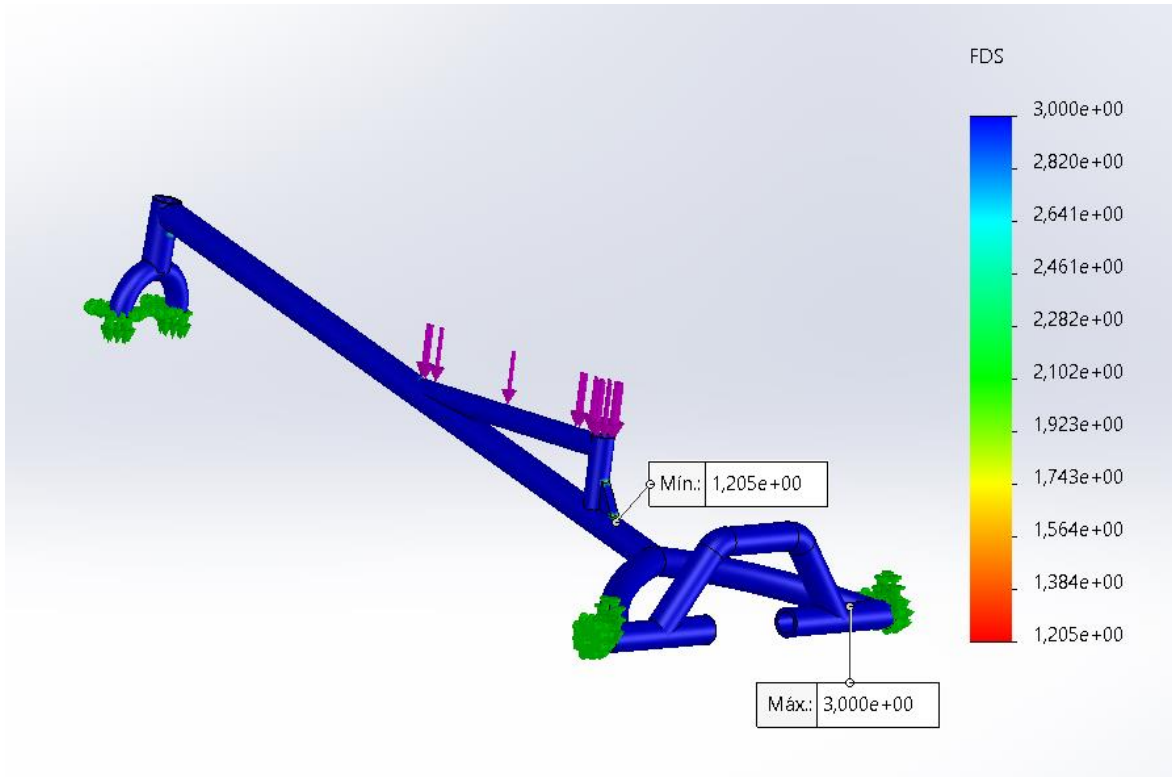


Figura 22. Factor de seguridad del Aluminio 7005 con diámetro de 1 pulgada.

Fuente: Solidwork ® 2020.

FACTOR DE SEGURIDAD ALUMINIO 7005 CON DIÁMETRO DE 1 PULGADA.	
MAXIMO	MINIMO
3	1.2

Tabla 22. Factor de seguridad con diámetro de 1 pulgada.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados reflejados en la Figura 22 se evidencian que el material, en este caso, el aluminio 7005, cumple con los requisitos mínimos del factor de seguridad establecido en 1.2, aunque sea por un margen mínimo. Por consecuencia, la selección del material y el diámetro se basó en un análisis de distintos puntos de vista que priorizó tanto la integridad estructural como la eficiencia del diseño.

5.4. SELECCIÓN DE MATERIAL

Según el estudio realizado con los materiales 6061, 7075 y 7005, el aluminio elegido para la estructura principal como lo es el chasis, se seleccionó la aleación 6061, debido a su sólido rendimiento y capacidad para cumplir con el criterio de factor de seguridad de 1.2 en todas las configuraciones evaluadas, así mismo, se evaluó analizando las características del aluminio, garantizando la implementación de un vehículo de tracción humana que combine seguridad y rendimiento en su aplicación final.

Por otra parte, dentro de la gama de materiales y para el objetivo propuesto en este proyecto, es uno de los aluminios más utilizados para fabricación de bicicletas y VTH, también es potencialmente comercial, al igual que es capaz de soportar las cargas y condiciones a las que será sometida.

5.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CARGA APLICADA AXIALMENTE

- **Deformación unitaria**

Como se muestra en la Figura 23. los esfuerzos colocados axialmente en puntos principales de la estructura demuestran que ocurre una deformación unitaria equivalente de 4.229×10^{-4} , así mismo, esta se define como la longitud de desplazamiento que tiene con respecto a la longitud original.

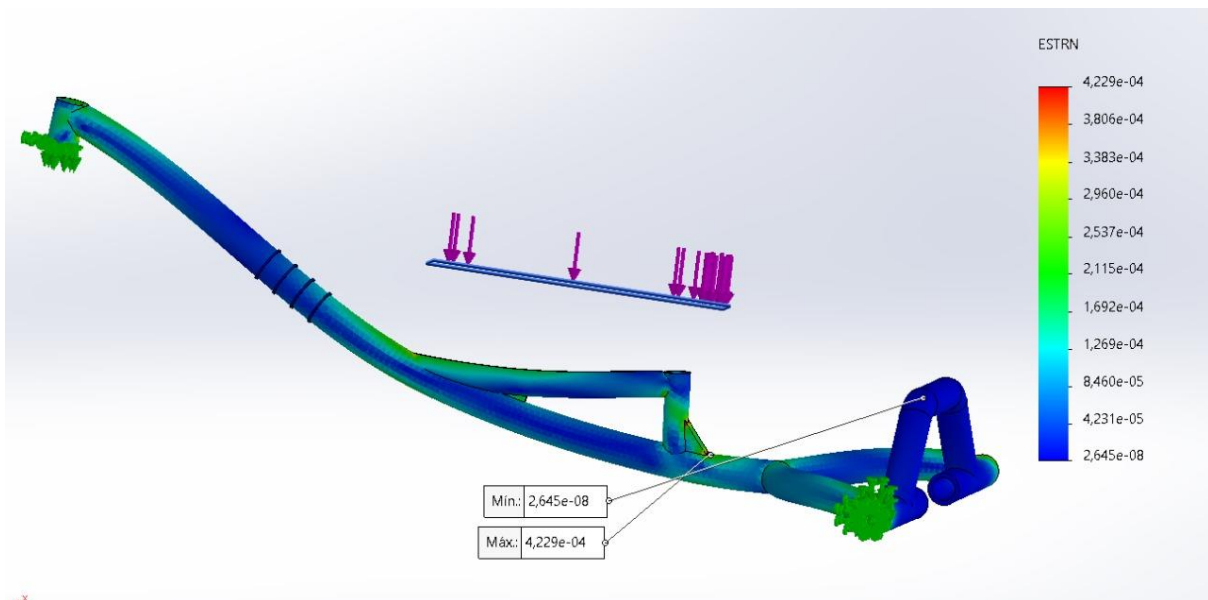


Figura 23. deformación unitaria.

Fuente: Solidwork © 2020.

- **Análisis de desplazamiento**

En la Figura 24. se aplicó una carga axial con un valor de 1176 N que corresponde al peso del tripulante, así mismo, se dispuso una sujeción en la parte donde van las llantas, de este modo, el ensayo nos muestra que la estructura seleccionada cumple con lo establecido, soportando el peso del ciclista, con un desplazamiento de 8.443×10^{-1} mm.

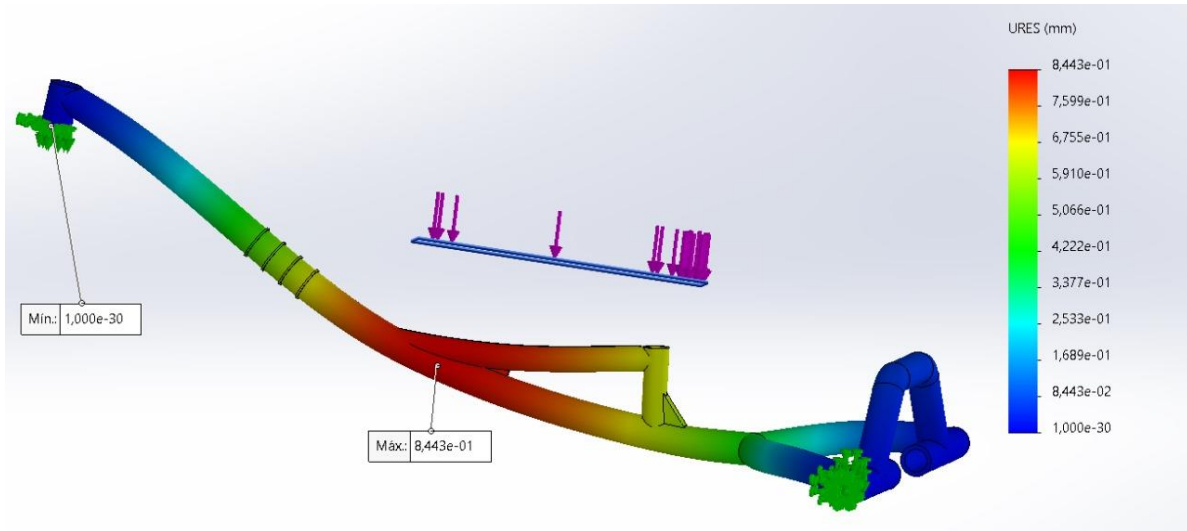


Figura 24. Desplazamiento

Fuente: Solidwork® 2020.

- **Análisis de tensión de Von mises**

En la Figura 25. se aplica una carga axial con un valor de 1176 N, la cual es el peso de 120 Kilogramos-fuerza del tripulante, así mismo, se colocan unas sujeciones fijas que van ubicadas en las llantas del vehículo de tracción humana, dando un resultado de tensión de Von Mises máximo de 4.241×10^7 N/m² no superando el límite elástico de 5.515×10^7 N/m².

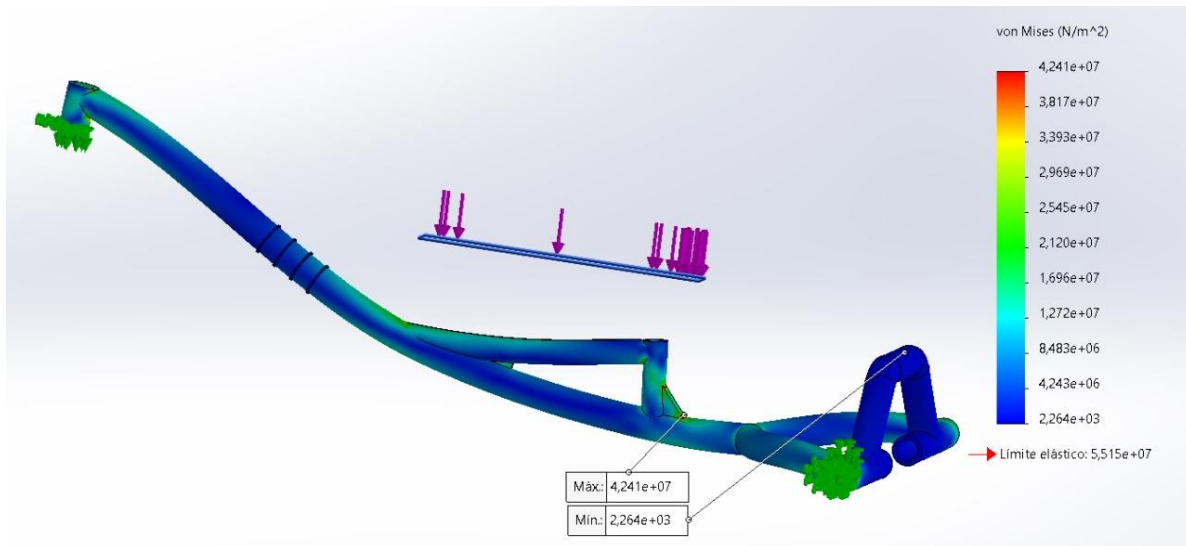


Figura 25. Tensión

Fuente: Solidwork ® 2020.

- **Factor de seguridad bajo el criterio de von mises**

El criterio de factor de seguridad de von mises nos dice que si el valor es inferior a uno esta estructura no soporta la carga a la que fue sometida, y esta sufra una deformación plástica, esto quiere decir, que si en el chasis se genera una deformación y este no torna a su estado original este material falla.

En la Figura 26. a través del criterio de Von mises se identifica un factor de seguridad mínimo de 1,3 y máximo de 3, esto quiere decir, que el material y el diseño del chasis serán capaces de soportar la carga a la que será sometida y no llegará a tener una deformación plástica.

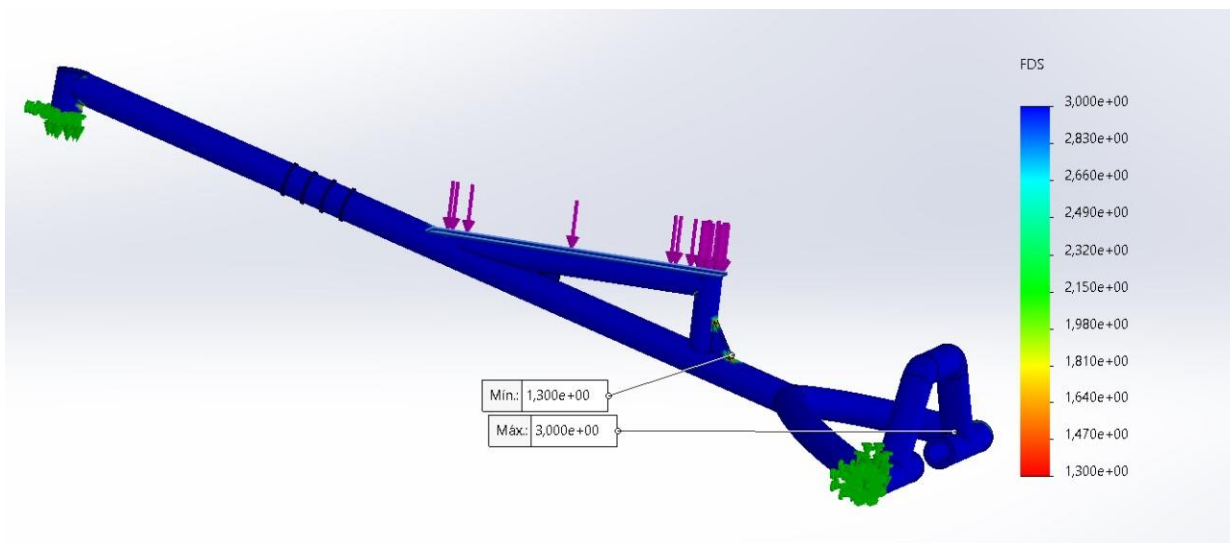


Figura 26. Factor de seguridad bajo el criterio de Von Mises.

Fuente: SolidWorks ® 2020.

6. DISEÑO DE DETALLE

6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

Para efectuar una construcción del vehículo de tracción humana y realizar un presupuesto adecuado, es indispensable determinar los componentes idóneos de la estructura. Ahora bien, complementando lo anterior, se realiza una descripción de las piezas, con el fin de identificar los elementos adecuados al modelo, además el rol que juega cada uno de ellos en la estructura, así mismo, ejecutar una estimación de costos e iniciar con la construcción del modelo en función a los materiales complementarios de alta y mediana gama, y a su vez a la ergonomía.

A continuación, en la **Tabla 23**, **Tabla 24**, **Tabla 25**, **Tabla 26** y **Tabla 27**, se encuentran los componentes seleccionados para el desarrollo del proyecto:

CONJUNTO DE LLANTAS		
RIN ENRADIADO NEUMÁTICO Y LLANTAS DE 26 PULGADAS		Este conjunto de llantas se eligió, ya que cuenta con una conveniente capacidad de aceleración, agilidad, mayor adsorción en la rugosidad del terreno, más estabilidad en la dirección y también son maniobrables en caminos malos. Ahora bien, el rin 26" tiene un mayor uso comercial, por lo que también cuenta con un precio más accesible.
		
		

Tabla 23. Conjunto de llantas.

Fuente: Elaboración propia.

MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN DE CHASIS		
<p>TUBO REDONDO DE 1 PULGADA, PARA CHASIS (ALUMINIO 6061)</p>		<p>Se eligió el aluminio 6061, porque cumple con los requerimientos del proyecto, respecto a los estudios realizados, además se puede aclarar que es una aleación de una resistencia entre media y alta, también resiste bien en la corrosión y cuenta con un precio accesible para los usuarios que deseen adquirirlo.</p>

Tabla 24. Material para construcción de chasis.

Fuente: Elaboración propia.

JUEGO DE FRENOS		
<p>FRENOS DELANTEROS Y TRASERPS, ROTORES (6 TORNILLOS)</p>		<p>Se eligió este juego de frenos, ya que se encontraron piezas económicas y de buena calidad, la cual le brindará al usuario seguridad y permitirá aumentar la superficie de frenado y maximizarla.</p>
		

Tabla 25. Juego de frenos.

Fuente: Elaboración propia.

ASIENTO PARA VTH		
ASIENTO PARA VTH		<p>Se eligió un asiento hecho en tela e impermeable, ya que este permite al usuario una comodidad y calidad, también los costos para la realización de la silla son económicos y van incluidos en la mano de obra.</p>

Tabla 26. Asiento para VTH.

Fuente: Elaboración propia.

TRANSMISIÓN DE POTENCIA		
VOLANTE TIPO CASSETTE, JUEGO DE MANIVELAS, CADENA, PALANCA DE CAMBIOS, DESVIADOR TRASERO, MANZANAS		<p>Este conjunto se eligió, ya que sé que encontró una línea económica, que brinda buena calidad de piezas para la transmisión de potencia y también estas en general son las que permiten mover el vehículo, por último, se especifica que se tomó una palanca de cambios de 9 velocidades, ya que genera una mejor marcha para el usuario.</p>
		
		
		
		
		

Tabla 27. Transmisión de potencia.

Fuente: Elaboración propia.

6.2. ENSAMBLE

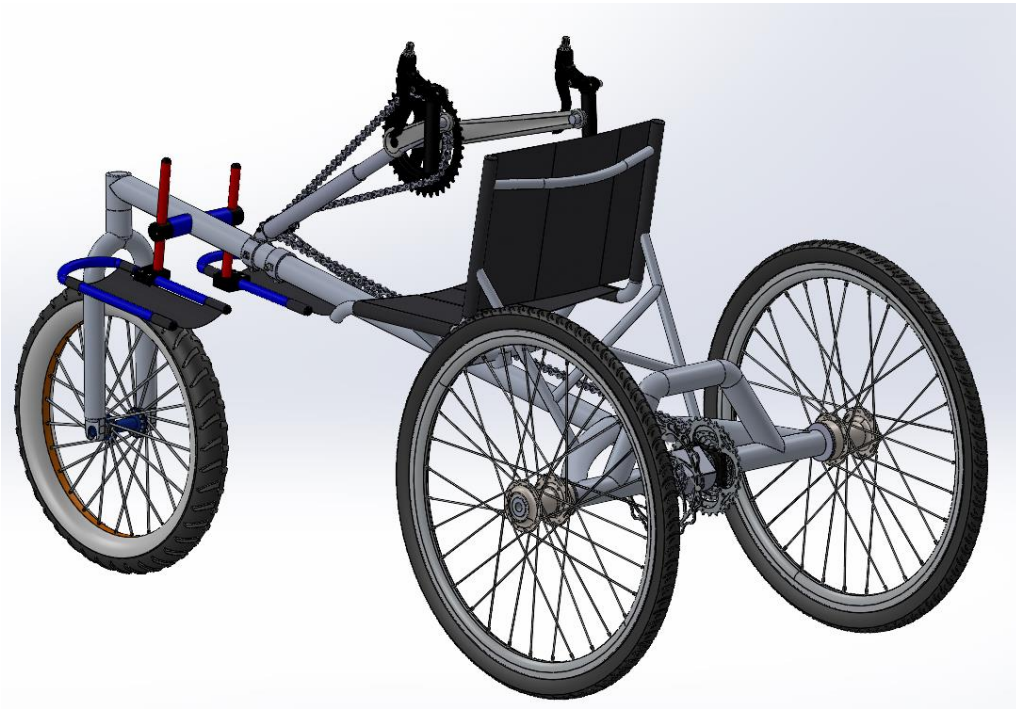


Figura 27. Ensamble final vista 1 hecho en SolidWorks.

Fuente: SolidWorks © 2020.

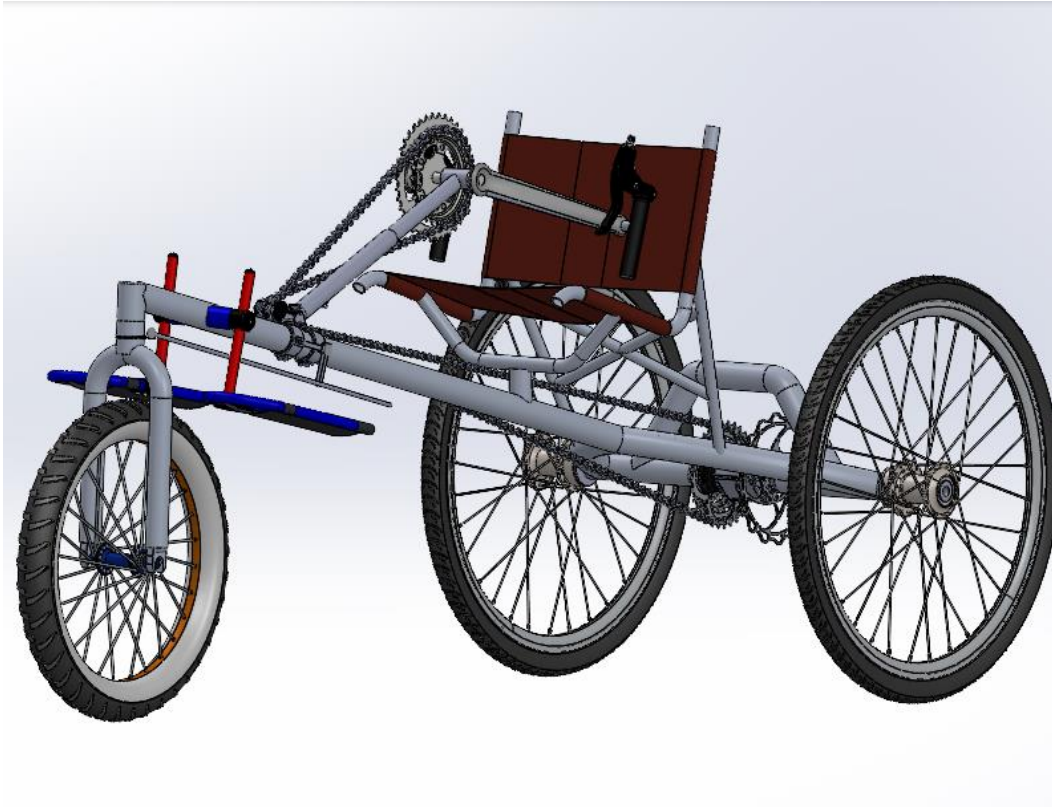


Figura 28. *Ensamble final vista 2 hecho en SolidWorks.*

Fuente: SolidWorks © 2020.

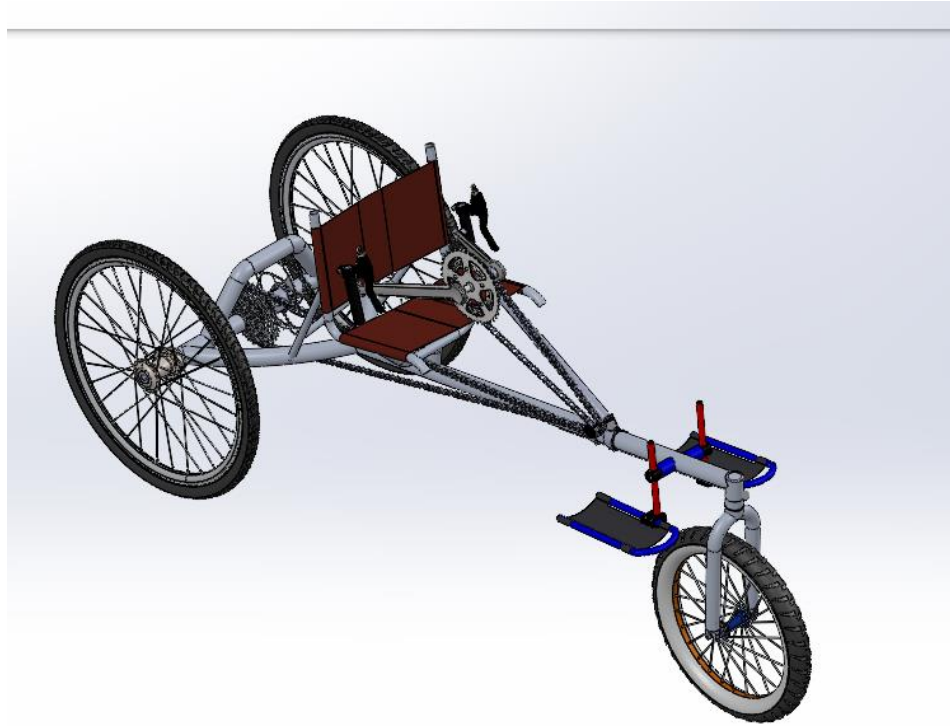


Figura 29. *Ensamble final vista 3 hecho en SolidWorks.*

Fuente: *SolidWorks © 2020.*

En la imagen que se muestra anteriormente, se representa el resultado final de un minucioso proceso de diseño y ensamblaje de un vehículo de tracción humana especialmente concebido para atender las necesidades de personas con discapacidades en la parte inferior del cuerpo. La visión detrás de este vehículo es proporcionar a las personas con discapacidades la capacidad de moverse de manera autónoma y segura, brindando una experiencia de viaje cómodo para el tripulante. Además, se ha tenido en cuenta la ergonomía, la economía y la accesibilidad en cada aspecto del diseño, asegurando que el tripulante tenga un viaje cómodo y sin complicaciones.

7. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Para la realización de la estimación de costos, primeramente, se realizó el modelo en el software con las características correspondientes, así mismo, se efectuó un diseño a detalle, donde se evidenció las características esenciales de cada pieza de alta y mediana gama, tomando componentes de buena calidad para la realización de un buen VTH, de igual modo, se llevó a cabo un presupuesto oficial donde se calculó el valor total del proyecto, el cual se dividió en materiales preliminares, otras actividades y mano de obra de fabricación, donde dio un costo total de 2.693. 606 pesos.

A continuación, en la Tabla 28, se evidencian los costos del proyecto:

FORMULARIO 1								
PRESUPUESTO OFICIAL								
DISEÑO REALIZADO POR JONATHAN LEÓN Y CRISTIAN PINZÓN								
DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) CON ENFOQUE A LA UTILIZACIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL TREN INFERIOR .								
Nº	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
1.00 PRELIMINARES								
1,01			ADULTOS TALLAS 72-92 cm	RIN ENRADIADO 26	UND.	3,00	\$36.000,00	\$108.000,00
1,02			26 PULGADAS (559 mm - 622 mm)	LLANTA	UND.	3,00	\$19.000,00	\$57.000,00
1,03			26 PULGADAS	NEUMATICO 26	UND.	3,00	\$9.000,00	\$27.000,00
1,04			TUBO REDONDO DE 1 PULGADA	TUBERIA PARA CHASIS	UND.	4,00	\$255.614,00	\$1.022.456,00
1,05			VOLANTE TIPO CASSETTE, 1 JUEGO DE MANIVELAS, 1 CADENA, 1 PALANCA DE CAMBIOS, 1 DESVIADOR TRASERO, 1 EJE CENTRAL, 1 EXTENSOR DE SUSPENSIÓN.	JUEGO DE CAMBIO	UND.	1,00	\$80.000,00	\$80.000,00
1,06				CADENA DE POTENCIA Y CARGA	UND.	1,00	\$13.000,00	\$13.000,00
1,07			FRENOS DELANTERO Y TRASERO, DISCOS MANZANAS, PURGADOS, MANGUERA DELANTERA 90 CMS Y TRASERA 160 CMS, MANZANAS CASSETTE DE 8 Y 9 V CON ROTORES DE 6, ROTORES 160 MM DE 6 TORNILLOS	JUEGO DE FRENOS	UND.	1,00	\$186.150,00	\$186.150,00
Subtotal								\$1.493.606,00
2.00 OTRAS ACTIVIDADES								
2,01								\$0,00
Subtotal								\$0,00
3.00 MANO DE OBRA DE FABRICACION								
3,01			ROLLO DE ALAMBRE PARA SOLDAR, CO2, DISCO PARA ALUMINIO EN SIERRA, ASIENTO.	MANO DE OBRA	UND.	1,00	\$1.100.000,00	\$1.100.000,00
Subtotal								\$1.100.000,00
							SUBTOTAL OBRAS	\$2.593.606,00
TOTAL OBRAS								\$2.593.606,00

Tabla 28. Presupuesto oficial.

Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir se analizaron las condiciones necesarias para desarrollar el VTH, ya que a quien va dirigido el proyecto es para personas discapacitadas en su tren inferior, por consecuencia el prototipo fue diseñado distinto a los que encontramos en el mercado. Además, el vehículo de tracción humana se planteó enfocado en la economía del usuario, la ergonomía, de fácil montaje, mantenimiento y sostenible ambientalmente.

A partir de las condiciones necesarias para el diseño del vehículo de tracción humana, se generaron 4 alternativas posibles, de las cuales se seleccionó la opción 4, ya que tuvo un mayor puntaje y se acogía a las condiciones del usuario y cumplía con los criterios de diseño establecidos.

Dicho esto, el diseño de un VTH para personas discapacitadas del tren inferior se tuvo en cuenta dos tipos de chasis, en el cual se escogió el tipo de diseño delta, conforme a su fácil construcción y conducción por el tripulante, las piezas son accesibles y comerciales, debido a que se utilizan piezas de bicicletas estándar y esto hace disminuir el costo de producción.

Luego de tener claro la configuración del chasis para el prototipo de VTH, se realizó un estudio de elementos finitos, del cual se arrojó un análisis de esfuerzo, tensión, desplazamiento y factor de seguridad, dicho estudio requirió de unos parámetros, los cuales son: material, restricciones y cargas a la que se sometió el chasis. Estos estudios de elementos finitos generan valores cercanos a lo que vamos a encontrar en la vida real, ya que pueden existir factores humanos que cambien considerablemente estos resultados.

Siendo así, se tomó el factor de seguridad como el punto más importante para la fabricación del prototipo, se realizó el estudio de elementos finitos al chasis con el material seleccionado que fue el aluminio 6061 dando un valor mínimo de 1.3 mayor al valor mínimo establecido (1.2). por ende, se aclara que el aluminio 7075, presenta unos valores más altos, pero no se optó por este material debido a su alto costo.

Como recomendación, si se desea aumentar la sección transversal con el aluminio 6061 se debe tener en cuenta que si este incrementa el factor de seguridad mejorara, pero el precio del material y la mano de obra obtendrán un incremento considerable respecto al presupuesto establecido en este proyecto. Adicionalmente, el VTH no está diseñado para sobrepasar velocidades no mayores a 30 km/h, ya que al superarla es propenso a volcamiento, por otra parte, para optar por usarlo en competencia o superar estos límites de velocidad se debe tener en cuenta los conceptos de ángulos de la geometría direccional como son: ángulo Cáster (ángulo de avance), Cámbor (ángulo de caída), Kingpin (inclinación del eje de dirección) y el ángulo de convergencia.

Por último, el proyecto se puede llevar a la realidad, para así generar una opción de movilidad ambientalmente sostenible, teniendo como objetivo aquellas personas con discapacidad en el tren inferior y a partir de eso generar nuevas ideas con el propósito de mejorar el prototipo de vehículo de tracción humana propuesto.

9. **BIBLIOGRAFÍA**

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019 de Diciembre de 2018). *Discapacidad Colombia*. Obtenido de Discapacidad Colombia:
<https://www.discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas/185-estadisticas-2015>

“RIOJA”, I. D. (2022). *academico*. Obtenido de academico:
<https://www.academico.cecyt7.ipn.mx/ttm/SISTEMAS-AUTOMOTRICES/3/SISTEMAS-DEL-AUTOMOVIL/3IMH/3IMH%20Sistema%20de%20Direccion%20I.pdf>

ABECÉ. (10 de Marzo de 2020). *minsalud*. Obtenido de minsalud:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ET/abece-coronavirus.pdf>

ADMINEN. (30 de 01 de 2020). *ENBICI*. Obtenido de ENBICI:
<https://www.enbici.biz/tamano-ruedas-elegir-bici/>

AGUIRRE, H., & SEBASTIAN, P. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) PARA DESPLAZAMIENTO SOBRE EL RIO SINÚ Y RUTAS PAVIMENTADAS DE LA CIUDAD DE MONTERÍA. (*Trabajo de Grado*). UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, COLOMBIA., Montería.

ANA, D. D., & ISRAEL, M. (5 de MARZO de 2021). *PEDALIA*. Obtenido de PEDALIA:
<https://pedalia.cc/suspension-trasera-mtb-amortiguador-aire-vs-muelle/>

autodesk . (15 de octubre de 2021). Obtenido de
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Inventor-Help/files/GUID-61F01A5D-7E54-45A1-9698-7BB11F0AEE94-htm.html#:~:text=Un%20an%C3%A1lisis%20de%20tensi%C3%B3n%20puede,que%20se%20rompa%20o%20deforme>

AUTODOCCLUB. (23 de MARZO de 2021). *AUTODOCCLUB*. Obtenido de AUTODOCCLUB: <https://club.autodoc.es/magazin/cremallera-de-direccion-tipos-funciones-averias>

Ayuda de SOLIDWORKS. (2022). Obtenido de Ayuda de SOLIDWORKS:
https://help.solidworks.com/2018/spanish/solidworks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm

BICICLASICA. (15 de 05 de 2017). *BICICLASICA*. Obtenido de BICICLASICA:
<https://www.biciclasica.com/blog/2017/05/escoger-las-cubiertas-correctas-bicicleta/>

BKFIT. (7 de JULIO de 2015). *BKFIT*. Obtenido de BKFIT:
<https://bkfit.com/blog/ciclismo/historia-de-la-bicicleta/>

BOLAÑOS, D. (2019). DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA EN FIBRA DE CARBONO. (*Tesis Proyecto de Grado*). UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

BUSTAMANTE, S. (2018). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN VEHICULO DE TRACCIÓN HUAMANA PARA LA COMPETENCIA LOCAL DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN HUMANA ANTIOQUIA 2018*. MEDELLÍN: INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO.

CASIOPEA. (6 de OCTUBRE de 2017). *CASIOPEA*. Obtenido de CASIOPEA:
https://wiki.ead.pucv.cl/Sistema_Direccion-Estrutural

Céspedes, J. (05 de 08 de 2016). *SLIDESSHARE*. Obtenido de
<https://es.slideshare.net/jaimecespedes315/camber-y-caster>

cofidislikesciclismo. (s.f.). *cofidislikesciclismo*. Obtenido de
<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fcofidislikesciclismo.com%2Fmedios%2F2014%2F11%2Fplato.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fcofidislikesciclismo.com%2Fconsejos%2Fentrenamiento%2Fun-plato-dos-platos-tres-platos%2F&tbid=5EF-cDBGt9zkqM&vet=12ahUKEw>

CRISTHIAN, F. C., & SEBASTIAN, V. A. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) TIPO TRICICLO, COMO ALTERNATIVA AL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. *CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) TIPO TRICICLO, COMO ALTERNATIVA AL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTÁ.

- CRISTHIAN, F., & SEBASTIAN, V. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) TIPO TRICICLO, COMO ALTERNATIVA AL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. (*Monografía*). UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTÁ.
- DIRA. (2019). *dirasrl*. Obtenido de dirasrl: <https://dirasrl.com.ar/wp-content/uploads/2019/07/01-Como-funciona-un-sistema-de-frenos.pdf>
- DOMÍNGUEZ, R. (2017). *ingemecanica*. Obtenido de ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut73/anx1tut73.pdf>
- GMB. (5 de octubre de 2020). *GMB*. Obtenido de GMB: <https://alianzaautomotriz.com/crucetas-fallas-frecuentes-y-pruebas/>
- INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PÚBLICO . (29 de 01 de 2018). *NANOPDF*. Obtenido de https://nanopdf.com/download/instituto-superior-tecnologico-publico-manuel_pdf
- MARCA. (23 de ENERO de 2022). *THE LAID BACK CYCLIST*. Obtenido de THE LAID BACK CYCLIST: <https://thelaidbackcyclist.com/2022/01/23/recumbent-types-steering/>
- Michael. (6 de agosto de 2021). *Vida de Dos Ruedas*. Obtenido de Vida de Dos Ruedas: <https://gijonmotoweekend.com/moto/cuales-son-las-tres-ciudades-mas-ciclistas.html>
- NACIONES UNIDAS. (8 de DICIEMBRE de 2021). *NACIONES, UNIDAS*. Obtenido de NACIONES, UNIDAS: <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>
- Neira Marciales, L. (31 de Agosto de 2019). *larepublica*. Obtenido de larepublica: <https://www.larepublica.co/globoeconomia/brasil-y-colombia-son-los-paises-de-la-region-donde-mas-se-usa-la-bicicleta-2903082>
- Ortiz, S. (2017). Diseño del marco estructural de un trike recumbente por medio de la técnica de optimización topológica. (*TRABAJO FINAL DE MÁSTER*). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Valencia.

ORTOPEDIAMIMAS. (27 de ABRIL de 2020). *ORTOPEDIAMIMAS*. Obtenido de ORTOPEDIAMIMAS: <https://www.ortopediamimas.com/movilidad/sillas-de-ruedas-manuales/handbikes-y-bicicletas.html>

PABLO. (s.f.). *CONALFORJAS*. Obtenido de CONALFORJAS: <https://conalforjas.com/transmision-cicloturismo/#comment-16596>

PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., & GROTE, K. H. (2006). *ENGINEERING DESIGN*. SPRINGER.

PATIÑO MOLINA, F. J. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA PARA LA COMPETENCIA UNIDADES 2011*. BUCARAMANGA: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

Romero, Á., & Pinto, C. (2021). Desarrollo de un prototipo Handbike electromecánico acoplable para silla de ruedas convencionales. (*Trabajo de Grado*). Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB, Bucaramanga (Santander, Colombia).

shopstore. (s.f.). *shopstore*. Obtenido de <https://ebuy3a.tk/products.aspx?cname=plato+bicicleta+3+velocidades&cid=115>

systemes, d. (2022). *dassault systemes*. Obtenido de https://help.solidworks.com/2022/spanish/SolidWorks/cosmosxpresshelp/c_Strain.htm?verRedirect=1

systemes, d. (2022). *dassault systemes*. Obtenido de https://help.solidworks.com/2022/spanish/SolidWorks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm?verRedirect=1

TREJO, G. (13 de AGOSTO de 2020). *PREZI*. Obtenido de PREZI: <https://prezi.com/p/kmrhf6zcm0r0/sistema-de-direccion-mecanica-por-tornillo-sinfin/>

TRUJILLO, C., & RUÍZ, O. (2019). *Diseño y construcción de una tamizadora eléctrica*. MONTERIA: UPB.

tuvalum. (s.f.). *tuvalum.com*. Obtenido de

https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Ftuvalum.com%2Fblog%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2FTuvalum-Photo-Blog_-1-900x484.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Ftuvalum.com%2Fblog%2Fbicicletas-monoplato%2F&tbnid=dGZarpXFqskQxM&vet=12ahUKEwjU_232OT3Ah

URREGO, D. F. (2019). *DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA EN FIBRA DE CARBONO*. BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

VIOLET, M., AGUDELO, H., & GONZALEZ, Y. (2014). *APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE A UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUAMAN DE TRES RUEDAS COMO ALTERNATIVA DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MONTERÍA*. BARRANQUILLA: UNIVERSIDAD LIBRE DE BARRANQUILLA.

10. ANEXOS

FORMULARIO 1								
PRESUPUESTO OFICIAL								
DISEÑO REALIZADO POR JONATHAN LEÓN Y CRISTIAN PINZÓN								
DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA (VTH) CON ENFOQUE A LA UTILIZACIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL TREN INFERIOR.								
Nº	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
VALOR TOTAL EN LETRAS:		DOS MILLONES QUINIENTOS NOVENTA Y TRES MIL SEISCIENTOS SEIS PESOS						
JONATHAN LEÓN Y CRISTIAN PINZON REPRESENTANTES LEGALES DEL PROYECTO								

Tabla 29. Presupuesto oficial especificación en letras y representantes.

Fuente: Elaboración propia.

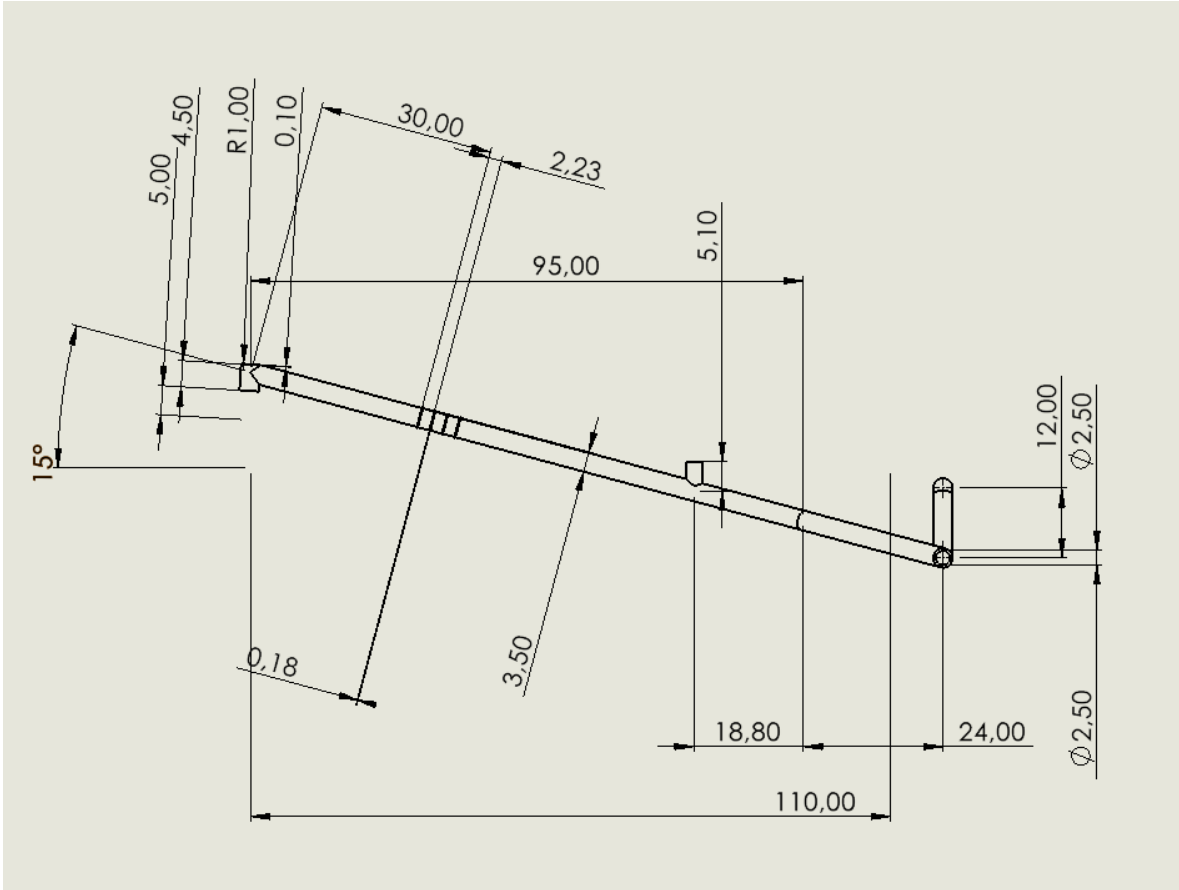


Figura 30. Plano chasis.

Fuente: SolidWorks © 2020.

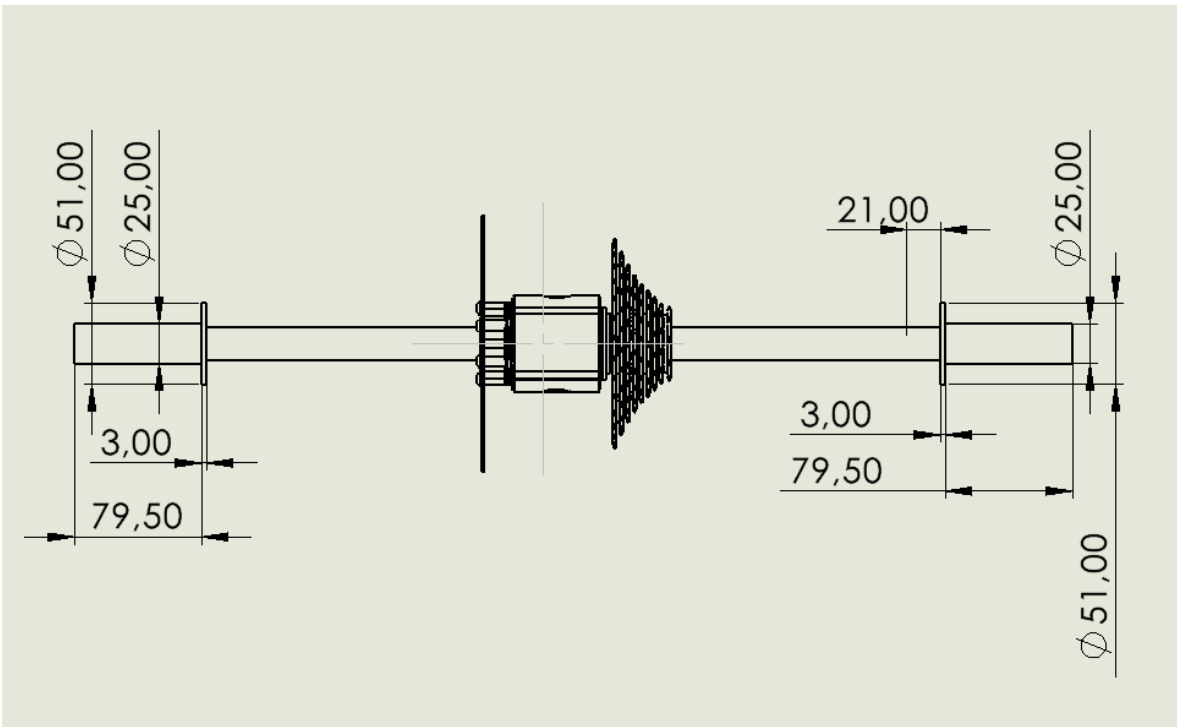


Figura 31. Plano eje trasero.

Fuente: SolidWorks © 2020.

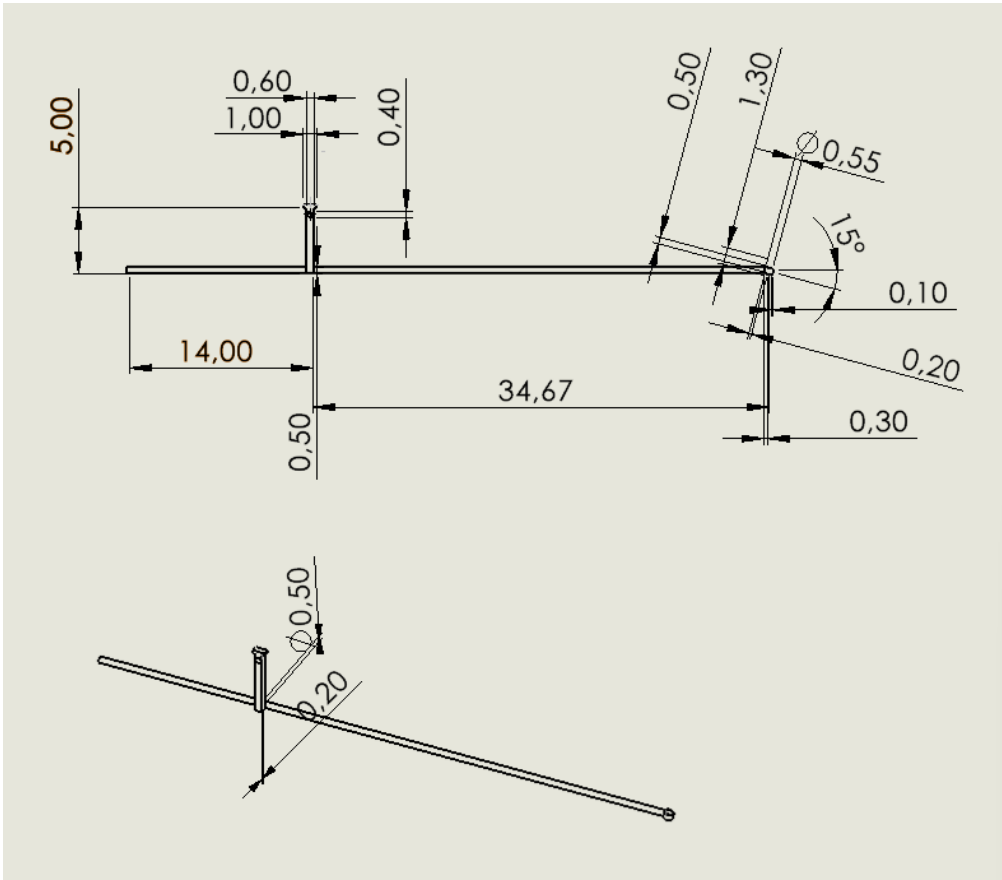


Figura 32. Plano eje dirección.

Fuente: SolidWorks © 2020.

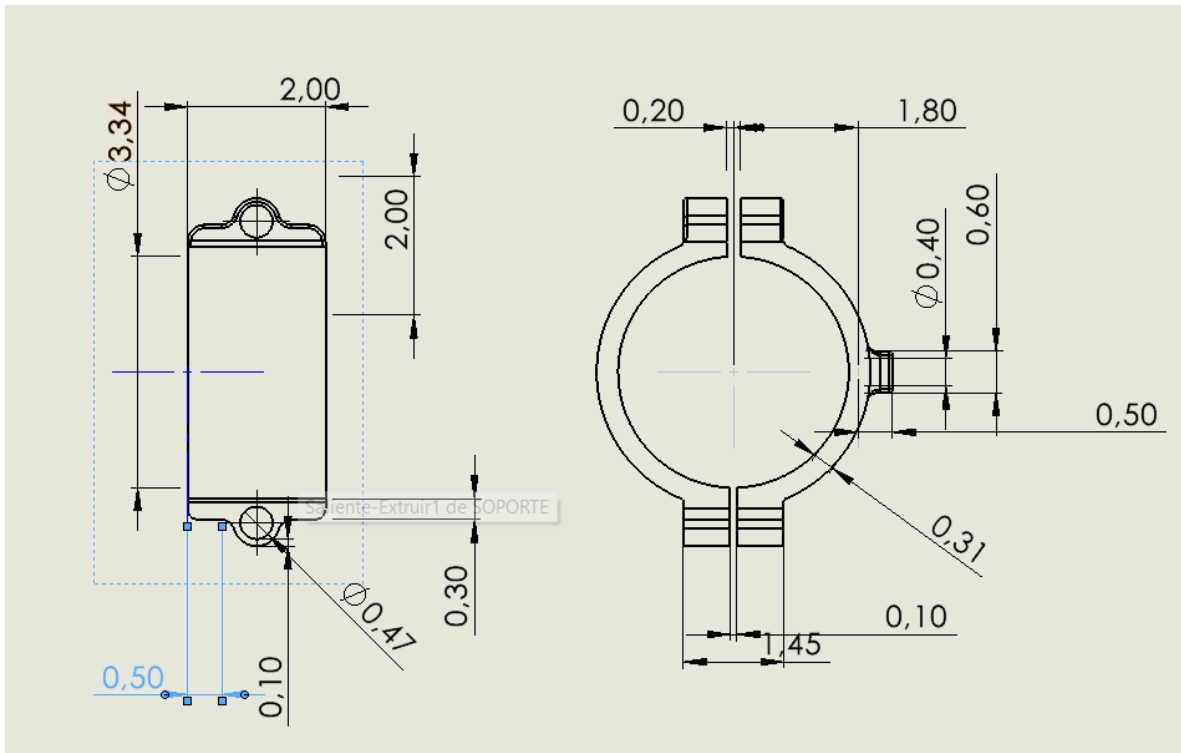


Figura 33. Plano eje dirección.

Fuente: SolidWorks © 2020.

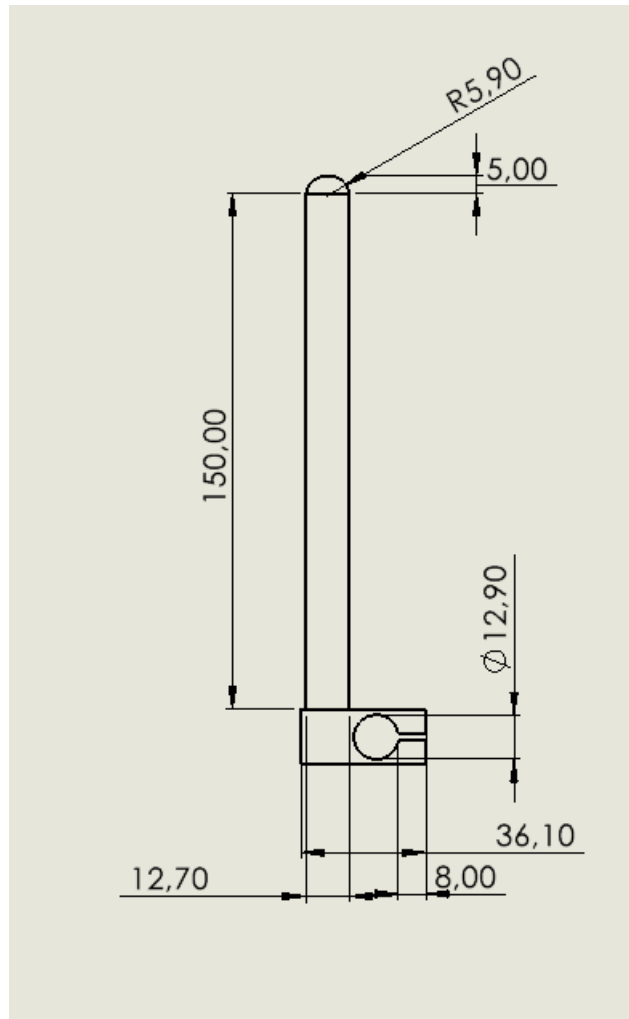


Figura 34. Plano soporte de pie.

Fuente: SolidWorks © 2020.

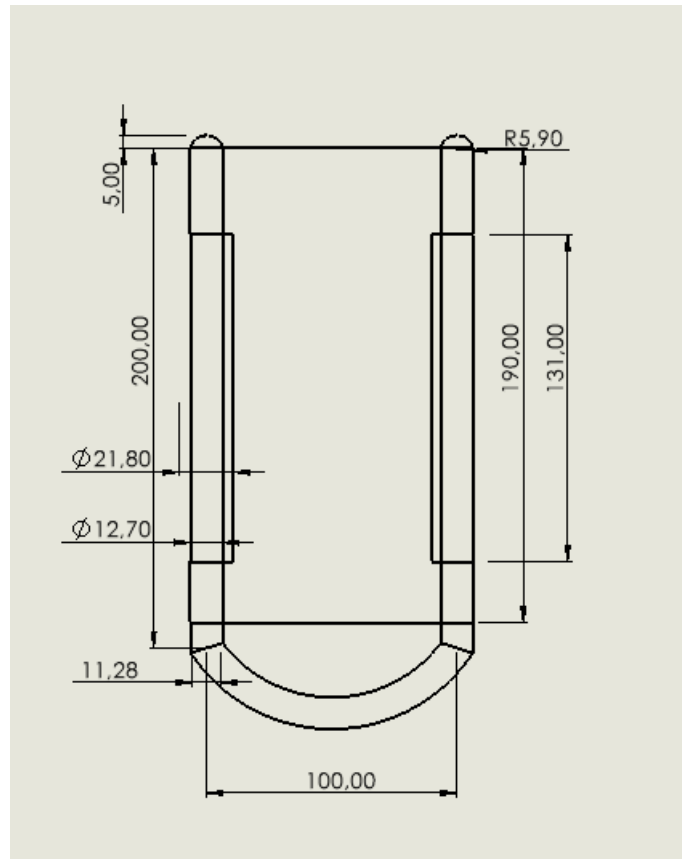


Figura 35. Plano soporte de pie.

Fuente: SolidWorks © 2020.

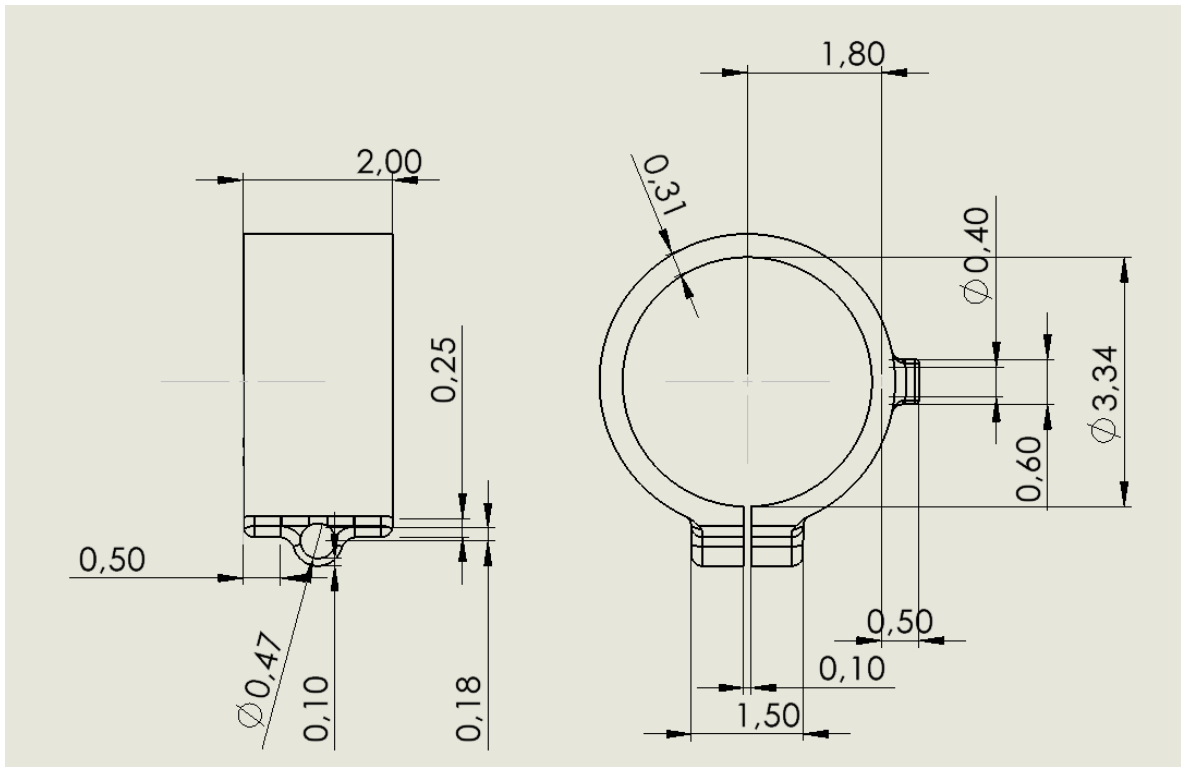


Figura 36. Plano soporte dirección.

Fuente: SolidWorks © 2020.

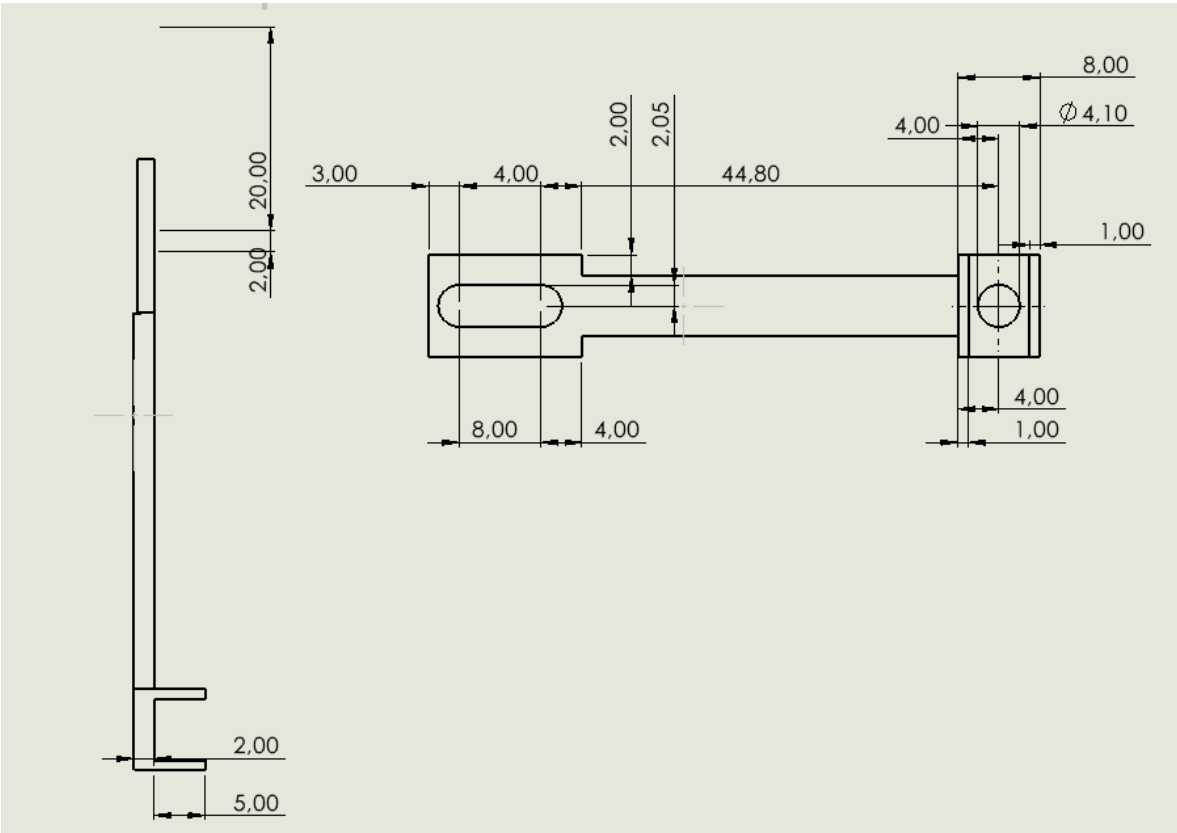


Figura 37. Plano soporte eje dirección.

Fuente: SolidWorks © 2020

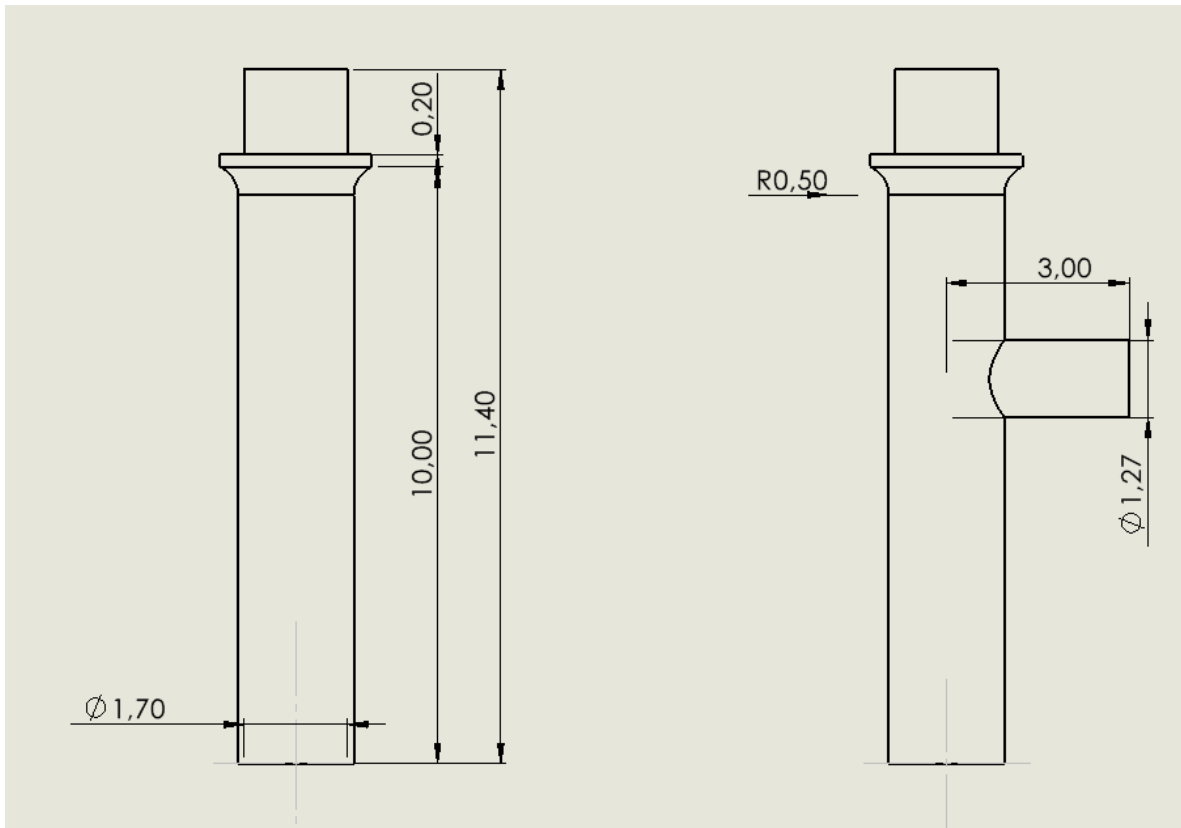


Figura 38. Plano de manubrio.

Fuente: SolidWorks © 2020

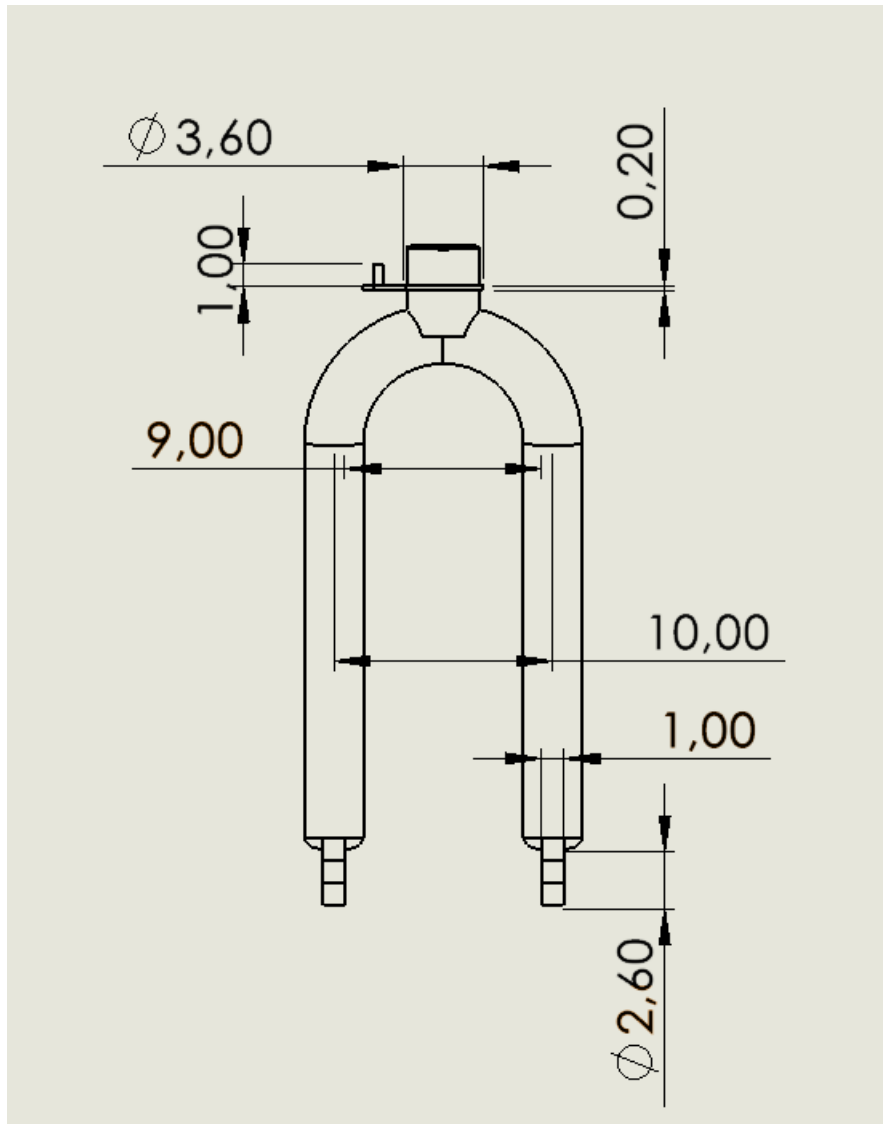


Figura 39. Plano horquilla.

Fuente: SolidWorks © 2020

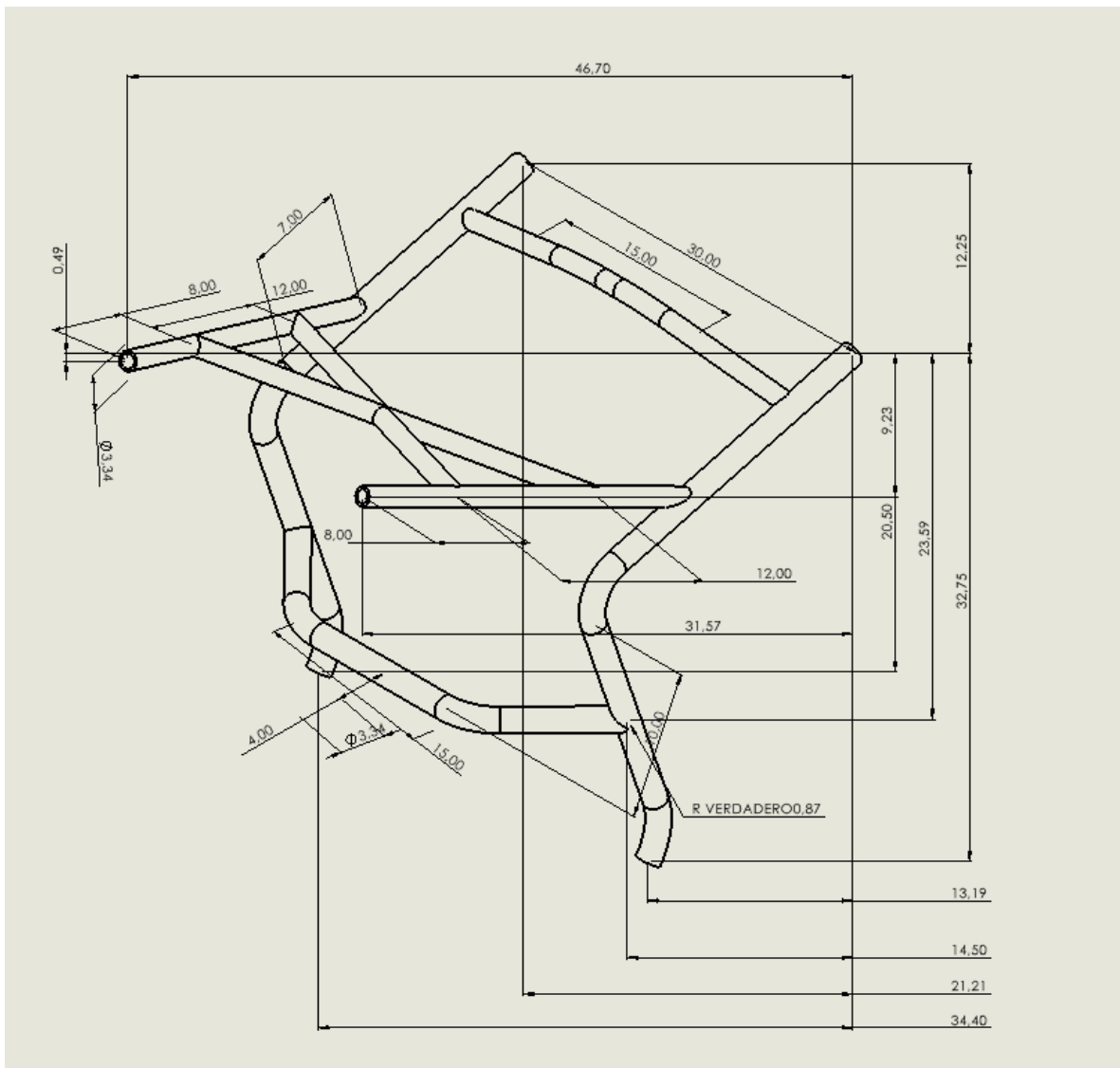


Figura 40. Plano silla.

Fuente: SolidWorks © 2020

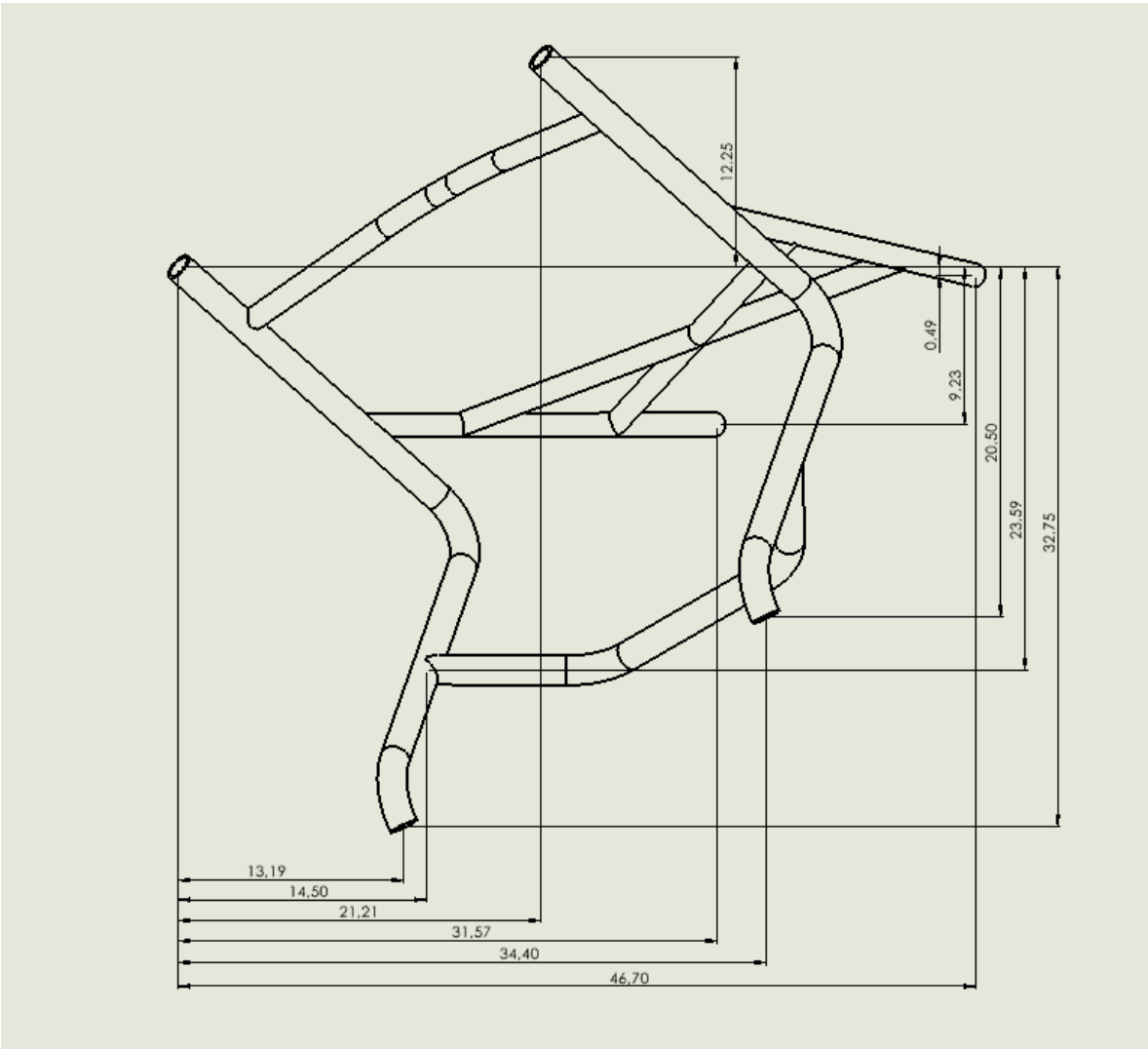


Figura 41. Plano isométrico silla.

Fuente: SolidWorks ® 2020

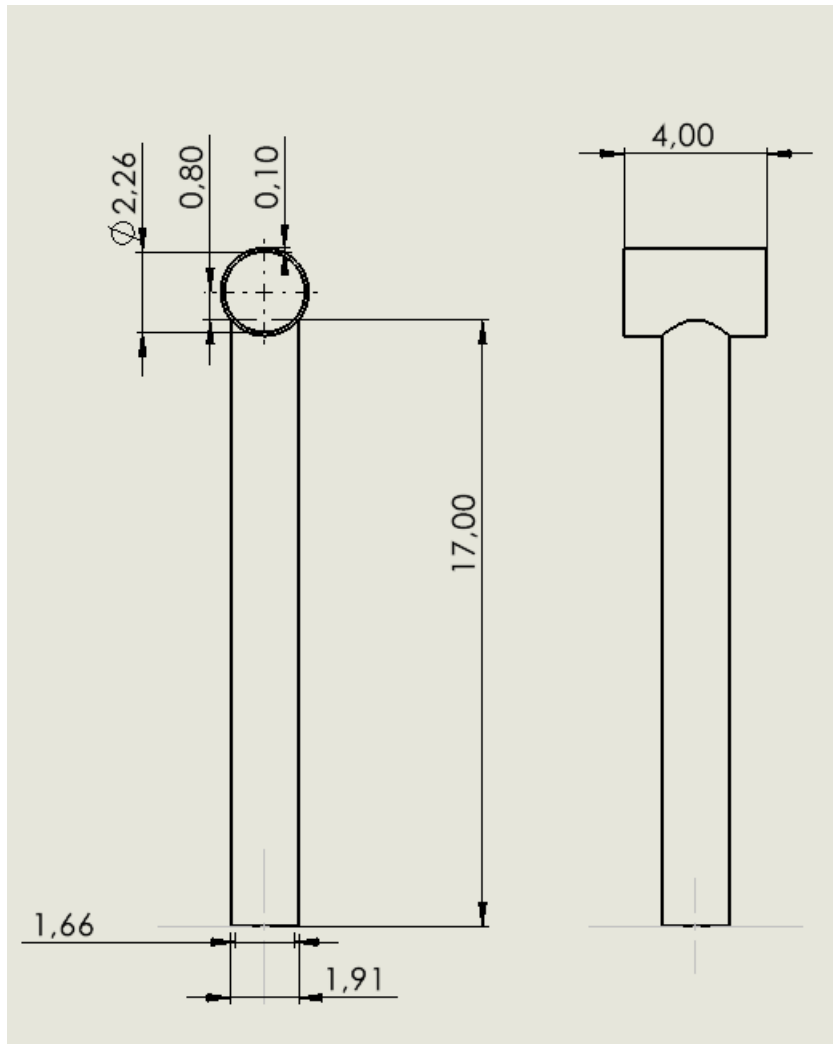


Figura 42. Plano soporte para plato.

Fuente: SolidWorks © 2020

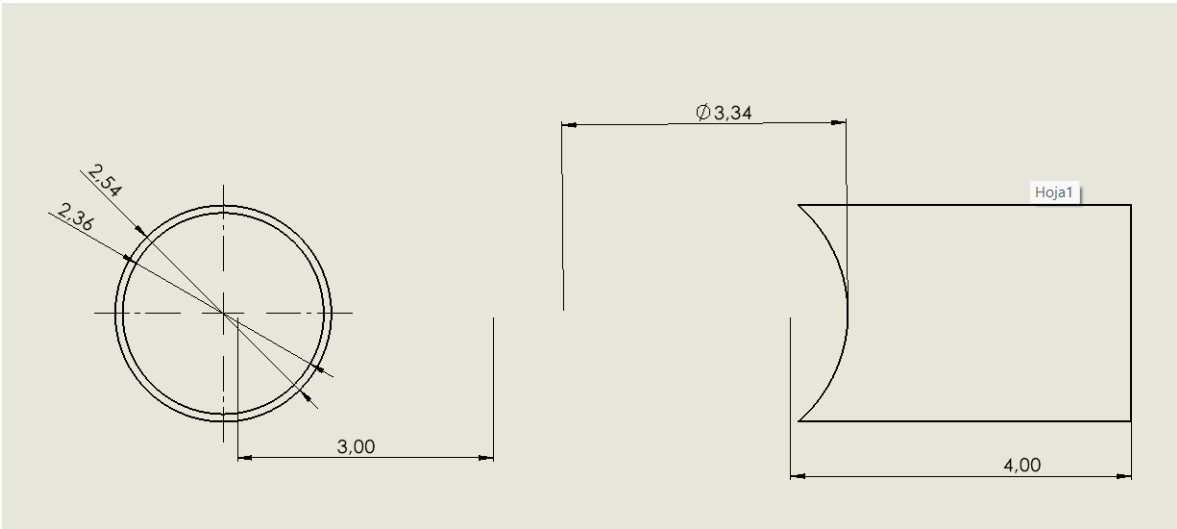


Figura 43. Plano soporte de pies en chasis.

Fuente: SolidWorks © 2020

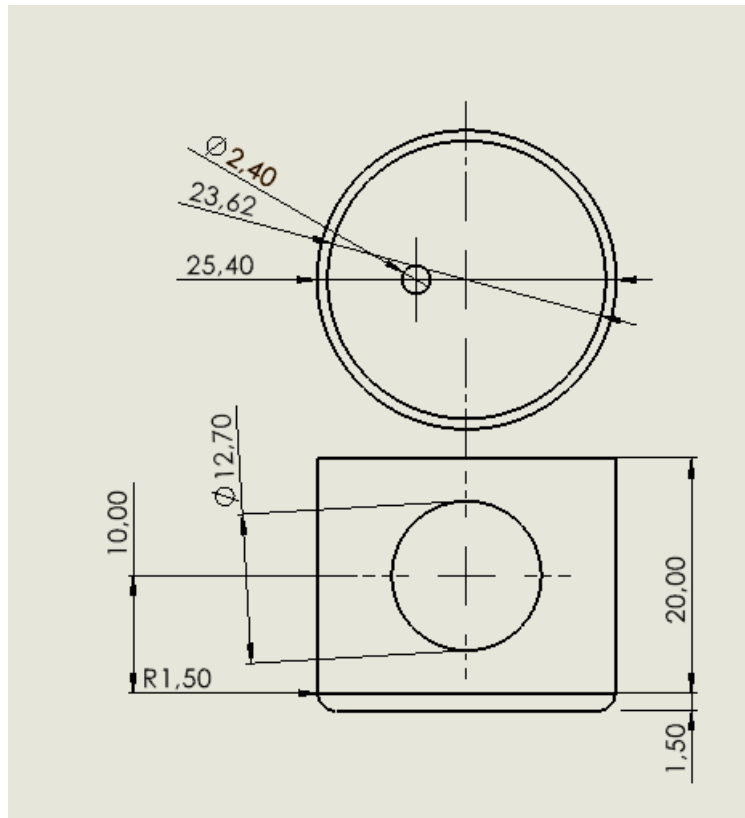


Figura 44. Plano soporte giratorio para pies.

Fuente: SolidWorks © 2020

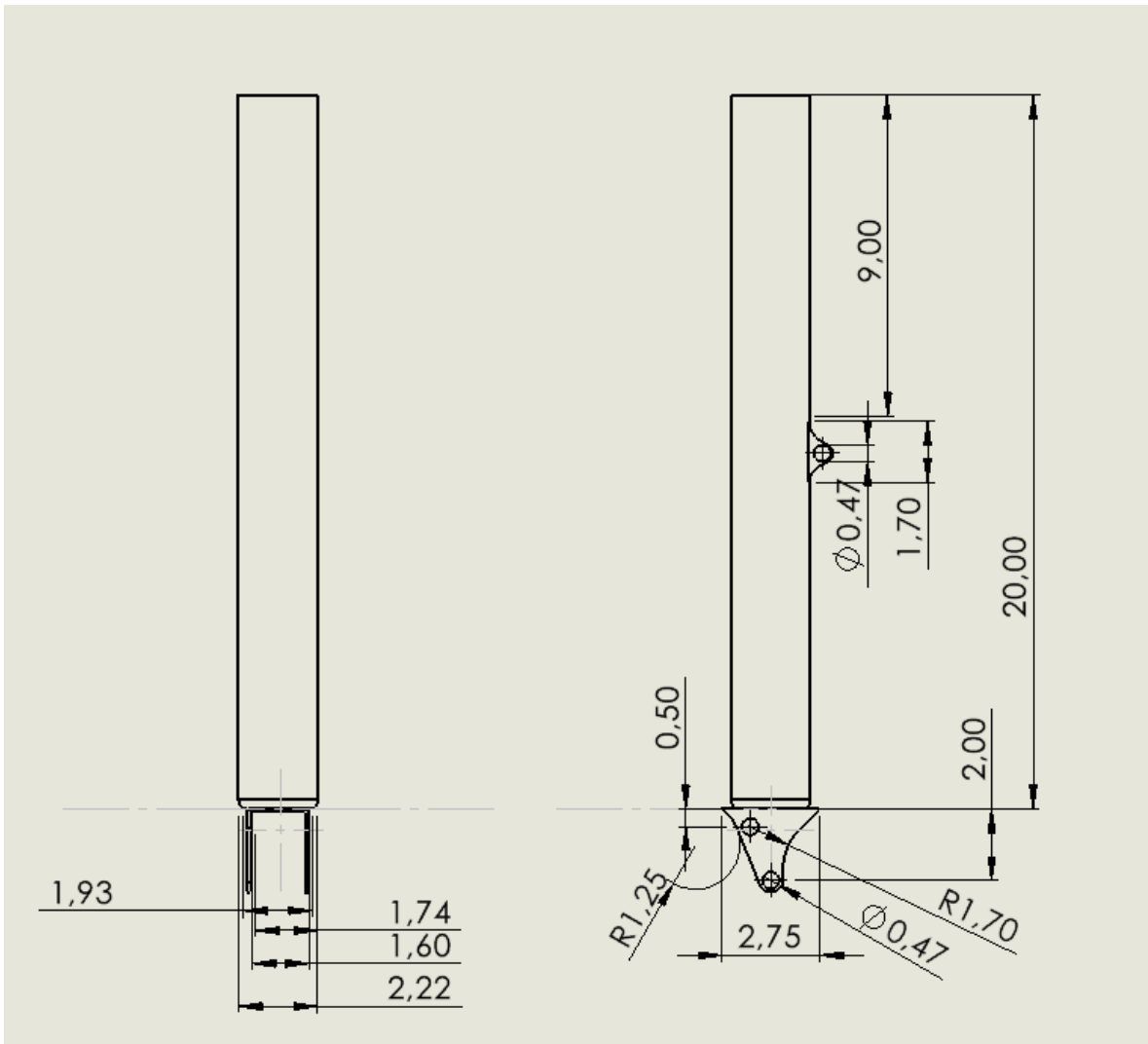


Figura 45. Plano soporte eje dirección.

Fuente: SolidWorks © 2020