

TRICICLO ELÉCTRICO ESTILO CHOPPER

**ELKIN FABIAN RIVERA LASSO
MARIA ALEJANDRA GONZÁLEZ MURCIA**

UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE MÁQUINAS

BOGOTÁ, D.C.

2016

TRICICLO ELÉCTRICO ESTILO CHOPPER

ELKIN FABIAN RIVERA LASSO

MARIA ALEJANDRA GONZÁLEZ MURCIA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Mecánico**

TUTOR

JOSE NESTOR BOLIVAR

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE MÁQUINAS

BOGOTÁ, D.C.

2016

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 8 de septiembre de 2016

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a Dios por darnos la fortaleza, la vida y la salud para culminar con este primer escalón de muchos que tenemos proyectados.

A nuestras familias Gonzalez Murcia y Rivera Lasso las cuales fueron el motor principal en el apoyo, comprensión, amor y ayuda en los momentos que pensamos que era imposible continuar. Aparte de estas fortalezas subjetivas contamos con ayudas económicas y recursos para poder estudiar. Adicional ellos al igual que nosotros tuvimos que hacer sacrificios para culminar con éxito y en el tiempo proyectado esta carrera.

AGRADECIMIENTOS

Para poder llegar a este punto de nuestra carrera tuvimos que pasar diferentes escenarios de conocimiento que fueron adornados con alegrías, tristezas, incertidumbres etc., acompañados de familiares, amigos y docentes, los cuales fueron apoyo para estar en este último paso de una de las metas propuestas por nosotros.

Agradecemos a nuestros padres, hermanos e hijos por su apoyo motivación y ayuda incondicional.

Agradecemos a todos nuestros docentes por compartir parte de su conocimiento y por ser la guía para este trabajo.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
OBJETIVOS.....	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
1. REGLAMENTACION GENERAL PARA BICICLETAS Y TRICICLOS	15
1.1. ASPECTOS LEGALES.....	15
1.1.1. Dimensiones.	16
1.1.2. Velocidad.	16
2. ASPECTOS TÉCNICOS DE DISEÑO	18
2.1. CONFIGURACIÓN GENERAL.	18
2.2. PESO.....	18
2.3. SENSIBILIDAD A LAS PENDIENTES.	18
2.4. MOTOR Y TREN DE POTENCIA.	18
2.4.1. Acelerador.....	19
2.4.2. Barra antivuelco	19
3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE MECÁNISMOS Y SISTEMAS DEL TRICICLO ESTILO CHOPPER	20
3.1. DISEÑO DOCUMENTAL.....	20
3.1.1. Depuración de los objetivos del diseño	20
3.1.2.1. Estructura.....	21
3.1.2.2. Ruedas.....	24
3.1.2.3. Frenos.....	26
3.1.2.4. Sistema de transmisión y potencia	26
3.1.2.5. Baterías.....	28
3.1.2.6. Marchas en la bicicleta.....	28
3.1.3. Evaluación de las alternativas.....	30
3.2. DISEÑO PRELIMINAR	33

3.2.1.	Reconocimiento de la necesidad	33
3.2.2.	Definición del problema:	33
3.2.3.	Síntesis	35
3.2.4.	Análisis y Optimización	37
3.2.5.	Evaluación.....	37
4.	CÁLCULOS ESTRUCTURALES Y DINÁMICOS DEL TRICICLO	38
4.1.	CÁLCULOS ESTÁTICOS	38
4.1.2.	Cálculos en el eje trasero	43
4.1.3.	Selección Rodamientos.....	54
4.2.	CÁLCULOS DINÁMICOS	55
4.2.1.	Fuerzas que interactúan en el triciclo.....	55
4.2.1.1.	Resistencia a la rodadura.	55
4.2.1.2.	Resistencia a la pendiente	56
4.2.1.3.	Resistencia aerodinámica	57
4.2.1.4.	Fuerza de tracción	57
4.2.1.5.	Calculo para superar las fuerzas de resistencia	58
4.2.2.	Cálculos de transmisión por pedaleo	58
4.3.	POTENCIA MOTOR	61
4.4.	FUERZA DE FRENADO	64
4.4.1.	Peso transferido	65
4.4.2.	Calculo dinámico sobre cada rueda	65
4.4.3.	Fuerza de frenado en cada rueda	66
4.4.4.	Distancia de parada	67
4.4.5.	Velocidad del triciclo eléctrico	67
4.4.6.	Aceleración del triciclo.....	68
5.	MODELAMIENTO TRICICLO ELÉCTRICO.....	70
5.1.	DIBUJO DEL TRICICLO ELECTRICO.....	70
5.2.	ANALISIS.....	72
5.2.1.	Cálculo del eje llantas traseras	72
5.2.2.	Cálculo de chasis	75
6.	CONSTRUCCIÓN DE TRICICLO ESTILO CHOPPER Y PRUEBAS	77
6.1.	FABRICACIÓN	78
6.1.1.	Corte de los tubos y preparación de los Extremos.....	82

6.1.2. Soldadura.....	83
6.2. PRUEBAS.....	83
6.2.1. Pruebas del sistema de transmisión de potencia	83
6.2.2. Pruebas del sistema de dirección.....	85
6.2.3. Pruebas del sistema de frenos.....	87
7. DESCRIPCIÓN Y PRECIO DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO.....	88
7.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS USADOS EN EL PROYECTO ...	88
7.2. PRECIOS DE LAS PARTES DEL TRICICLO	91
7.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRICICLO ELÉCTRICO ESTILO CHOPPER.....	93
8. CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	97

INTRODUCCIÓN

La movilidad en la ciudad de Bogotá es una problemática que afecta a todos los capitalinos. El trasladarse de un lugar a otro sea convertido en un desafío, un recorrido que suponiendo por su distancia no debería demorar más de treinta minutos termina convirtiéndose en un trayecto de una a dos horas, a esta problemática se puede agregar diferentes causas entre ellas se tiene el crecimiento de vehículos, atraso en la infraestructura vial, mal estado de la malla vial, semáforos mal programados y la venta publicitaria de que un automóvil privado es sinónimo de estatus, en esta sociedad de desarrollo tecnológico, la mayoría de los Bogotanos desearían tener un vehículo para poder movilizarse pensando que facilitarían la movilidad hacia un lugar, sin pensar en los gastos adicionales que este acarrea. No se puede dejar a un lado la problemática ambiental de la contaminación a la atmósfera por las emisiones de fuentes móviles.

El enfoque de este proyecto se rigió hacia el diseño y construcción de un vehículo de propulsión humana con un motor que ayude al desplazamiento del mismo, con el fin de incentivar el uso de otras vías como las ciclorutas. Se pensó en un diseño de un triciclo con la capacidad de transportar un adulto y un niño (máximo 110kg entre los dos pasajeros), con una autonomía de batería de dos horas en condiciones ideales.

La metodología usada es la propuesta realizada por Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, expuesta en el libro de Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel, donde simplifica el diseño en cinco pasos: reconocimiento de la necesidad, la definición del problema, la síntesis (estudios de espacios del triciclo, dimensiones del piloto etc.), análisis y optimización del triciclo, evaluación del prototipo y su presentación.

Para este proyecto se buscó un diseño novedoso económico ideal para salir en compañía, porque no pensar en llevar el niño al colegio, aportando a la movilidad de Bogotá y disminuyendo el impacto ambiental por emisiones atmosféricas móviles. Se plantearon 3 bocetos de los cuales se escogió el boceto que le proporcionó un plus a las ciclas convencionales.

Para el dibujo y el análisis del diseño se usó dos softwares, para el dibujo y planos de fabricación se usó el programa Solid Edge, programa fácil de manejar y completo para este modelamiento. El segundo software usado fue el Inventor, en este programa se usó para la simulación y el análisis de métodos finitos del triciclo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este problema se respalda teniendo en cuenta la proyección de estadísticas del índice de movilidad en la ciudad de Bogotá en el boletín No. 55¹ dando como auge o prioridad el uso de la bicicleta, teniendo en cuenta que la movilidad ha sido una de las problemáticas más importantes que se tienen en cuenta hoy en día, esto por los índices de crecimiento vehicular y de motociclistas en la ciudad. Generando grandes colapsos en temas de desplazamiento que no se han logrado superar. Por esta razón el uso de la bicicleta o vehículos eléctricos son una fuente importante de movilidad en la actualidad, siendo esta una solución para que los Bogotanos puedan desplazarse, aun teniendo en cuenta que también hay un índice importante de mujeres cabezas de hogar que requieren desplazarse distancias cortas para dejar sus hijos en los lugares de estudio o cuidado.

En los últimos año Bogotá ha incentivado el uso de las bicicletas mediante diferentes mecanismos como entre ellos, capacitaciones frente las conductas de movilidad, ciclo rutas, bici carriles, ciclo parqueaderos y sistemas de bicicletas públicas y puentes asociados a este medio de transporte permitiendo facilitar la movilidad y desplazamiento en la ciudad contando que en Bogotá cuenta con más de 400 km de ciclo rutas en las cercanías de el origen de cada usuario [1].

Mediante fuentes de información de la secretaria de Movilidad de la ciudad de Bogotá indica que anteriormente se mantenía un índice del 1 al 2% del uso de bicicletas en Bogotá y en los últimos 15 años la ciudad ha tenido un crecimiento del 5% en el uso de estas a pesar del aumento de otros medios de transporte [1].

Según la proyección del parque automotor Colombia para el 2015 tendría 3,7 millones de carros y 4,0 millones de motos y para el año 2020 Colombia tendrá 4.6 millones de carros y 5.9 millones de motos. En este contexto es en el que está inscrita Bogotá. La ciudad, caracterizada por un desarrollo de baja altura en zonas periféricas y la insuficiencia de infraestructura para el transporte público que aumenta los costos logísticos y la mala movilidad¹. En este orden de ideas cada día la movilidad va estar más afectada razón por la cual es necesario realizar el uso de otras vías alternas como lo son en este caso las ciclorutas es por esta razón que se propone realizar el diseño y la fabricación de un triciclo para ser conducido tanto mecánica como eléctricamente con la capacidad de desplazarse bajo la infraestructura de las ciclorutas de la ciudad de Bogotá.

¹ <http://www.sdp.gov.co/>

JUSTIFICACIÓN

El evaluar la viabilidad de este proyecto nos traslada al sistema de movilidad que está teniendo en cuenta muchos factores en la ciudad de Bogotá (Colombia) y en diferentes lugares a nivel nacional, ya que se ha vuelto un tema tan controversial cuando de trasladarse se trata. Así mismo, en la última década las tecnologías de información han crecido de manera considerable y en el campo internacional se han generado nuevas oportunidades para hacer una mejor gestión y operación de los modos de transporte público, para controlar las infracciones de tráfico, para promover el uso compartido de modos sostenibles como la bicicleta, para tener mayores elementos de toma de decisión de los usuarios al emprender sus desplazamientos, entre otros [2].

Bogotá actualmente tiene una densidad urbana de 59.870 personas/Km², cifra comparable con ciudades como Lima 31.342 personas/Km² y Nueva York 53.000 personas/Km². Por otra parte, la capital del país ha tenido un crecimiento en su población urbana; hace 50 años tenía un 75% de población rural y un 25% de población urbana, hoy en día la población rural bogotana no alcanza el 1% (11.828 habitantes²).

El desarrollo urbano se ha dado de forma desordenada, si bien se han caracterizado por contar con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), “la estructuración y adopción de las operaciones estratégicas ordenadas en el Decreto 190 de 2004, como instrumentos de planeación y gestión vinculantes a las decisiones que sobre sus territorios se tomen y estrategias para contribuir en la consolidación de la estructura funcional socioeconómica de la ciudad”³. Por su parte, los Desarrollos Orientados por el Transporte (DOTs) buscan hacer una ciudad mixta, compacta, densa, diversa, promoviendo que la primera opción de movilización sea el modo a pie, así como el uso de la bicicleta y el transporte público.

Por otra parte, la construcción de más y mejores áreas de espacio público y el uso que se le dé incide en la movilidad. Bogotá cuenta con espacio público efectivo urbano por habitante de 3,93 m², un espacio público verde urbano de 6,3 m² por habitante y un árbol para cada 6,4 habitantes. A su vez se tienen 392 Km de ciclorutas. Sin embargo, el espacio público ha sufrido un deterioro por el desarrollo inadecuado, la generación de “culatas” en las troncales de TransMilenio Fases 1 y 2, así como la apropiación del mismo por los vendedores ambulantes y de habitantes de calle, sin un adecuado control y gestión, produce una sensación de inseguridad y promueven que los ciudadanos prefieran moverse en vehículo particular, en lugar de moverse a pie y en bicicleta. El diseño, la construcción y

² <http://www.observatorioruralbogota.gov.co/>

³ CCB. Observatorio de la gestión urbana en Bogotá

la adecuada gestión del espacio público debe ser una prioridad para la ciudad. Para ello se deben generar dinámicas sanas, controlando las actividades delincuenciales y a la informalidad laboral [2].

Por esta razón se diseñó y fabricó un vehículo de tres ruedas que capaz de trasladarse de un lugar a otro con la seguridad correspondiente. Se fabricó con el fin de poder contribuir a la movilidad de la ciudad de Bogotá y a contribuir el medio ambiente ya que este es propulsado por un motor eléctrico y/o por unos pedales (movimiento ejercido por el conductor), permitiendo adicional ejercitar a la persona que lo pilotea esto contribuyó a que fuera un proyecto real, aun así teniendo en cuenta que en la actualidad se están fabricando este tipo de vehículos pero no bajo los contextos físicos que aporta el diseño fabricado. Con este tipo de proyectos se busca dar un respiro a la movilidad de personas que requieran trasladarse con sus hijos a lugares cercanos si así se requiere, o el poder llevar completamente este tipo de vehículo a la adaptación para personas que tengan algún tipo de discapacidad física.

“En el mundo, son los movimientos de ciudadanos los que están fomentando el uso de la bicicleta e impidiendo la construcción de vías vehiculares donde se crea congestión, no los gobiernos.” Ricardo Montezuma director fundación Ciudad Humana

“Al ciudadano no hay que convencerlo; tiene que vivir la experiencia. La gente cambia de cultura cuando descubre que es más conveniente y cómodo usar la bicicleta y no usar el carro particular.” Pedro Bravo Periodista y autor experto en movilidad (España)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y fabricar un triciclo para ser conducido tanto mecánica como eléctricamente con la capacidad de desplazarse bajo la infraestructura de las ciclo vías de la ciudad de Bogotá. Logrando movilizar dos personas (un adulto y un niño) con un peso no superior a 110 Kg y con una autonomía de dos horas y un motor-reductor de 450W.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el estudio teórico sobre el funcionamiento de un triciclo tanto eléctrico como mecánico para detallar las características técnicas de operación, transporte y diseño con el fin de proponer el prototipo que se construirá.
- Validar cálculos de las fuerzas de resistencia del triciclo para la utilización del motor-reductor de 450W.
- Construir prototipo diseñado previamente.
- Realizar pruebas de funcionamiento en el sistema de transmisión, dirección y frenado del triciclo eléctrico y corregir posibles deficiencias en el transcurso de la fabricación e implementación.
- Elaborar ficha técnica de funcionamiento, mantenimiento y operación del prototipo.
- Realizar cálculos estructurales y dinámicos del eje que el utilizará el prototipo para así obtener los factores de seguridad.

1. REGLAMENTACION GENERAL PARA BICICLETAS Y TRICICLOS

1.1. ASPECTOS LEGALES

Para los requisitos generales de diseño se tuvo en cuenta los requisitos legales expuestos en el artículo 95 del código Nacional de Tránsito y Transporte así “Artículo 95. Normas específicas para bicicletas y triciclos. Las bicicletas y triciclos se sujetarán a las siguientes normas específicas:

No podrán llevar acompañante excepto mediante el uso de dispositivos diseñados especialmente para ello, ni transportar objetos que disminuyan la visibilidad o que los incomoden en la conducción.

Cuando circulen en horas nocturnas, deben llevar dispositivos en la parte delantera que proyecten luz blanca, y en la parte trasera que reflecte luz roja.

Parágrafo. Los Alcaldes Municipales podrán restringir temporalmente los días domingos y festivos, el tránsito de todo tipo de vehículos por las vías nacionales o departamentales que pasen por su jurisdicción, a efectos de promover la práctica de actividades deportivas tales como el ciclismo, el atletismo, el patinaje, las caminatas y similares, así como, la recreación y el esparcimiento de los habitantes de su jurisdicción, siempre y cuando haya una vía alterna por donde dichos vehículos puedan hacer su tránsito normal” [3].

La idea planteada es poder realizar el transporte en el triciclo por pedal asistido por tal razón se tendrá en cuenta lo expuesto en el artículo 1, artículo 2 y artículo 3 de la resolución 009 de 2002 sobre el tránsito de vehículos no automotores así: “Artículo primero- Los usuarios de bicicleta y triciclo deberán transitar obligatoriamente establecidas para las ciclo vías.

Artículo Segundo Las normas de seguridad para usuarios de bicicletas y triciclos, establecen para el nivel óptimo de protección los siguientes elementos, cuyo uso se recomienda:

Triciclos

- a. Sistemas de frenos para las tres ruedas
- b. Timbre o corneta con la intensidad necesaria para advertir a otros su tránsito.
- c. Espejo retrovisor

Artículo Tercero: Los usuarios de las bicicletas o triciclos deberán transitar a velocidad que les permita garantizar su capacidad de reacción ante cualquier imprevisto” [4]

Aparte de poderse movilizar en triciclo estilo chopper por pedalazo asistido se puede ayudar en el avance de la misma por medio de un motor eléctrico, volviéndose un triciclo dual para su desplazamiento. Realizando consultas normativas en cuanto la normalización de bicicletas y triciclos eléctricos se pudo apreciar que es un poco incipiente, aun viendo en nuestra cotidianidad el uso de bicicletas eléctricas como un sistema de transporte diario. En diferentes consultas se puede localizar el proyecto de acuerdo 188 de 2011 “Por medio del cual se insta a la administración distrital a reglamentar el uso de las bicicletas eléctricas en la red de ciclo rutas de la ciudad de Bogotá” [5].

1.1.1. Dimensiones.

Para las dimensiones generales del triciclo se tendrá como referencia la reglamentación estipulada del ancho de las ciclorutas de la ciudad de Bogotá, como se puede evidenciar ilustración No.1 Plano de dimensiones de ciclorutas en Bogotá.

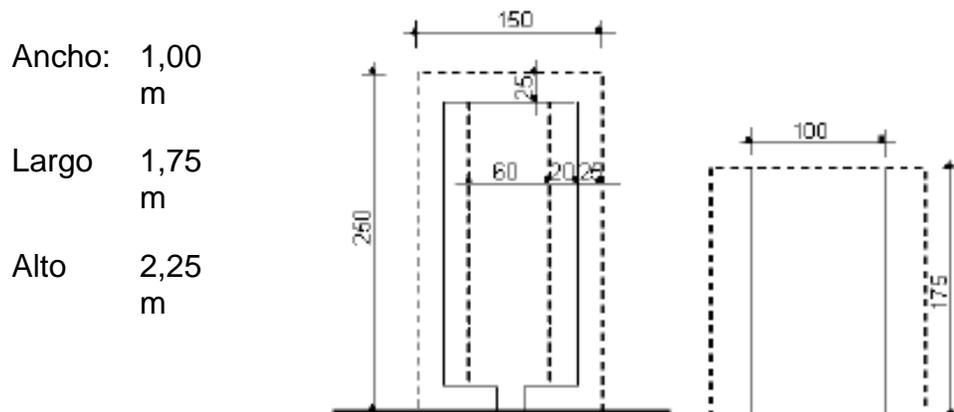


Ilustración 1 Plano de dimensiones de ciclorutas en Bogotá. Tomada del plan maestro de ciclorutas de Bogotá.

1.1.2. Velocidad.

La resolución plantea que las bicicletas que en su estructura incorporen un motor de combustión de hasta 50cc, los cuales desarrollan velocidades superiores a 45km/h, y bicicletas eléctricas que se asemejan más a una motocicletas tipo scooter, con velocidades que superan los 25Km/h; no deben ser considerados bicicletas, por lo tanto no pueden usar los andenes, ciclo-vías y/o ciclo-rutas,

debido a que se aumenta vulnerabilidad a choques y accidentes, de este modo circularán en la vía a la par de las motos y los carros.

2. ASPECTOS TÉCNICOS DE DISEÑO

2.1. CONFIGURACIÓN GENERAL.

El vehículo al denominarse triciclo debe de tener mínimo tres ruedas en contacto todo el tiempo sobre el pavimento o asfalto. La longitud, el ancho y la altura del vehículo no están expresamente regulados. El conductor y su pasajero deben de estar protegidos bajo una barra antivuelco que permita que no tengan contacto con el pavimento.

2.2. PESO.

Dentro de la realización del proyecto se plantea la condición de que el triciclo soporte una carga no mayor a 110 Kg, permitiendo con esto transportar un adulto y un niño bajo las condiciones específicas anteriormente mencionadas y radicadas en el Artículo 95 en el código Nacional de tránsito y transporte.

2.3. SENSIBILIDAD A LAS PENDIENTES.

Los ciclistas son muy sensibles a las pendientes lo que comúnmente pueden encontrarse una pendiente normal de 2,5% pero también con una máxima admisible de 4%, lo que exigirá al vehículo un mayor esfuerzo cada vez que se encuentra con estas pendientes, pero al tener una asistencia eléctrica le permitirá una mayor eficiencia en el tiempo y en el desplazamiento sin sufrir alteraciones de algún tipo.

2.4. MOTOR Y TREN DE POTENCIA.

Las bicicletas actualmente constan de una versatilidad en cuanto a la instalación de motores, ya que dentro del mercado Colombiano podemos ver diferentes gamas que se consiguen tanto comercialmente como elaborados de forma convencional. Por lo tanto de esta manera podemos encontrar la instalación de estos que funcionan con fuel oil los más utilizados actualmente por su acogida ecológica los eléctricos. De esta misma forma su instalación varía según los requerimientos de los clientes ya que pueden ser instalados en la rueda delantera en el eje trasero o tomadas directamente hacia el plato motriz del vehículo. Estos motores así como su diseño varían su precio ya que se encuentran unos más económicos que otros. Lo importante de la selección del motor, según la

normatividad y legislación Colombiana es que estos vehículos no deben superar los 25Km/h ya que algunos otros se ha comprobado pueden llegar a superar los 40Km/h. [6]

2.4.1. Acelerador.

Según las condiciones que se disponen en diferentes países y las diferencias enmarcadas por el gobierno Colombiano en cuanto a los vehículos asistidos, se contempla que para que siga manteniendo el nombre de bicicleta eléctrica nos referimos a aquella que es necesario pedalear para que entre en funcionamiento el motor, pero aquellas que consten de un motor y el mismo funcione sin asistencia de pedaleo se le considerara ciclo motores eléctricos, razón por la cual este vehículo tendrá el mismo tratamiento legal que cualquier otro y seria de obligatorio cumplimiento la obtención de una licencia de conducción y su correspondiente seguro. Aunque como ya se planteó anteriormente esta regulación aún no ha sido aprobada. De esta manera el uso del acelerador es opcional dentro del sistema del motor ya que se deben de tener en cuenta las regulaciones anteriormente mencionadas, aunque el acelerador puede ser para mucho un método más sencillo está ligado a su utilización según sea un motor eléctrico o de fuel oil.

2.4.2. Barra antivuelco

Es como su nombre lo dice una barra instalada en el espaldar del conductor o pasajero brindando una moderada protección ante los vuelcos. Generalmente se utilizan para los vehículos de competición con diferentes diseños en los mismos dependiendo el tipo de vehículo, pero se ha adoptado este uso comercialmente a fin de brindar protección a los ocupantes de triciclos o coches de bebe principalmente.

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE MECÁNISMOS Y SISTEMAS DEL TRICICLO ESTILO CHOPPER

3.1. DISEÑO DOCUMENTAL

La obtención de datos registrada de los catálogos de bicicletas (catálogos de gw, shimano etc) es importante para seleccionar las características técnicas para la fabricación del triciclo eléctrico estilo chopper.

El desarrollo de este numeral es necesario contar con una metodología de diseño, para ello se tomó como guía lo expuesto por Nigel Cross [7], la información expuesta en este libro ayuda en la búsqueda de soluciones, decisiones pertinentes y claras. Se presentará una síntesis de la metodología mencionada:

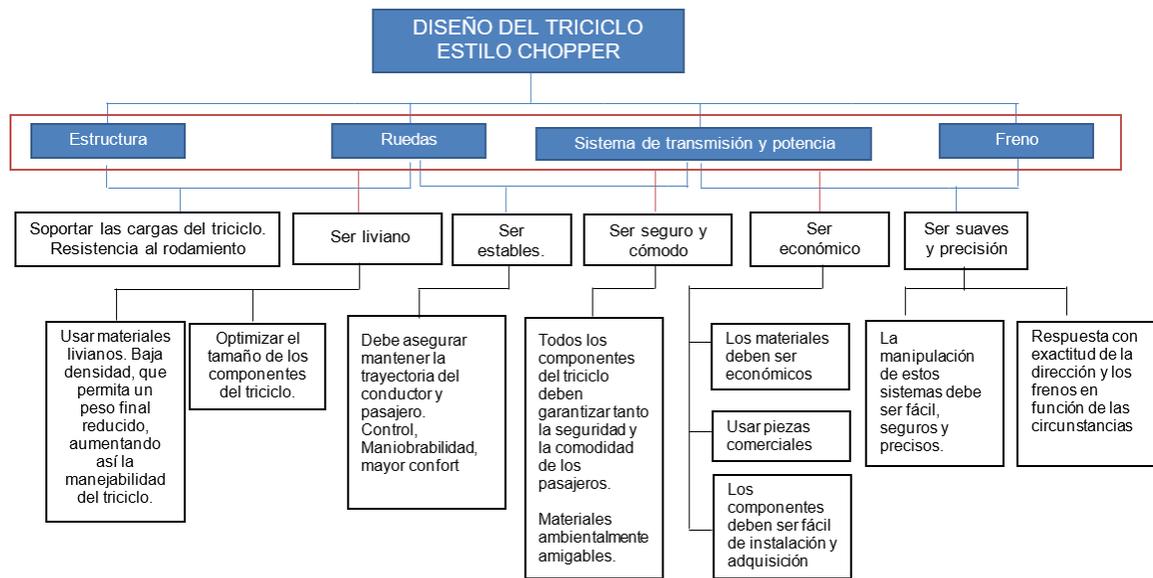


3.1.1. Depuración de los objetivos del diseño

Los objetivos en un trabajo son la pauta inicial para analizar el problema sistemáticamente. La propuesta del diseño establece un árbol de objetivos (ver esquema 1. Árbol de objetivos), esta representación gráfica ayuda a describir la estructura y la interconexión jerárquica del triciclo y los subsistemas particulares.

Para dar claridad en la interpretación del árbol (esquema 1) de objetivos se agruparan las partes y o sistemas del triciclo estilo chopper:

- Estructura
- Ruedas
- Frenos
- Sistema de transmisión y potencia.



Esquema 1. Árbol de objetivos. Autores

3.1.2. Generación y estudio de las alternativas

Se procedió a buscar diferentes alternativas de las partes del triciclo estilo chopper. Para ello se realizó la búsqueda de mecanismos convencionales y ya establecidos por medio de catálogos.

En continuidad con la agrupación de las partes y/o mecanismos del triciclo se presentaron algunas de las alternativas para luego realizar un análisis comparativo de cada elemento vs los requerimientos puntuales

3.1.2.1. Estructura

La estructura es la pieza que va a soportar cada elemento que integral el triciclo y las tensiones sometidas durante su conducción es por tal razón que está junto con la barra antivuelco debe garantizar la seguridad y la tranquilidad del conductor y su acompañante.

Durante la búsqueda del diseño de la estructura se realizaron diferentes consultas teóricas de cuál será el mejor diseño enfocado a que sea seguro, fácil de manejar y estéticamente agradable, para ello se presentaron a continuación las propuestas de las estructuras.

Se puede clasificar en dos tipos de configuraciones del chasis del triciclo:

- Diseño tipo delta: La dirección la proporciona la rueda delantera y dos ruedas en la parte posterior como se puede evidenciar en la ilustración 2. Diseño de estructura tipo delta. Este tipo de diseño utiliza una dirección similar a la de una bicicleta, lo cual hace simple de construir y operar. Ya

que este diseño se asimila a la de una bicicleta convencional resulta fácil conseguir los componentes y con ello disminuye el precio de fabricación ya que se utilizarían piezas estándares de una bicicleta. Dentro de las desventajas se tiene que es menos estable que el tipo Tadpole en las curvas y en el frenado, al poner en la rueda delantera, la mayor parte de capacidad de frenado del vehículo. [8]

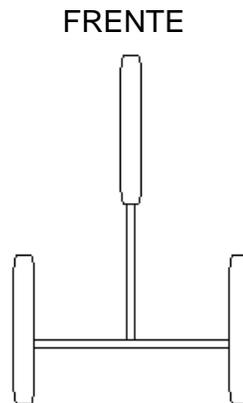


Ilustración 2. Diseño estructura tipo delta. Autores

Diseño tipo Tadpole: Dos ruedas frontales y una posterior como se puede observar en la ilustración 3. Diseño estructura tipo Tadpole. Este tipo de diseño se debe tener consideraciones geométricas como los ángulos de Inclinación (Camber), convergencia (Toe) y avance (Caster), cada una de estas, volviendo un poco más complejo la conducción y la construcción comparado con el tipo delta. Dentro de las ventajas se tiene una mejor maniobrabilidad y distribución del frenado en dos ruedas, volviéndolo más complejo en la construcción debido a que hay que realizar y diseñar componentes más especializados. [8]

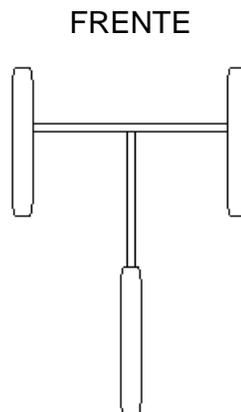


Ilustración 3. Diseño estructura tipo Tadpole. Autores

En la selección del diseño de la estructura se tuvo en cuenta la distribución de las cargas de los componentes del tricíclico como por ejemplo las baterías el motor el peso de los pasajeros etc., criterio base para poder realizar los bocetos a mano alzada del diseño más enfocado a los requerimientos de los autores (ver anexo 1. Bocetos triciclo).

La siguiente parte de la estructura está asociada con la selección de los materiales de fabricación. Para esta selección se tuvo en cuenta los materiales con que se fabrican las bicicletas en la actualidad, se consideran algunos criterios de selección como:

- Baja densidad, que permita un peso final reducido, aumentando así la manejabilidad del triciclo.
- Propiedades mecánicas adecuadas a su aplicación, que podría estar expuesto como límite elástico, como tenacidad y resistencia a fatiga.
- Facilidad de obtener y conformar el material, para facilitar la fabricación del chasis del triciclo. [9]

Acero: El acero es muy rígido pero pesado. Los mejores aceros son aquellos endurecidos al aire (por ejemplo Reynolds 853), que son los más resistentes y permiten formar tubos con paredes delgadas. La rigidez es similar entre todos los tipos de acero. [10]

Acero al carbón: Al acero al carbón es el material más común entre los usados para la construcción de cuadros de bicicletas de bajo costo. Barato, resistente y durable, el acero al carbón tiene la desventaja de ser muy pesado. [10]

Acero cromo molibdeno: Al igual que el acero al carbón, el acero con aleación de cromo y molibdeno es resistente y durable, pero mucho más liviano que el primero si los tubos están bien diseñados. [10]

Aluminio: El aluminio es ligero pero tiene un 75% de la resistencia del acero o del titanio. Para compensar, las bicicletas necesitan de tubos sobredimensionados para reducir el riesgo de la fatiga de metal. Las principales ventajas del aluminio son la rigidez, la ligereza y sobretodo el bajo precio, lo que hace de las bicicletas de aluminio las más populares por la relación peso/costo. Una bicicleta bien diseñada puede ser muy buena para subidas, con buena maniobrabilidad. El aluminio no se oxida pero se corroe en ambientes salinos. Las aleaciones de aluminio para bicicletas son el 6061 (aluminio y magnesio) y el 7005(aluminio y zinc, más resistente). En general el 6061 es más costoso y preferido en la fabricación de bicicletas de gama alta (por ejemplo es la aleación de la CAAD 10 de Cannondale). [10]

Titanio: El titanio tiene un excelente balance entre las distintas propiedades necesarias para construir una bicicleta, obteniéndose un balance perfecto entre peso y durabilidad. Las aleaciones de titanio son un 50% menos rígida que el acero, pero también son un 50% más liviana y son tan resistentes como las mejores aleaciones de acero. Los tubos de titanio necesitan tener más diámetro que los de acero, pero no tanto como los de aluminio. Titanio es un metal muy resistente a la corrosión y no necesita ni de pintura ni de mantenimiento. La mayoría de los cuadros de titanio son una aleación con un 3% de aluminio y 2,5% de vanadio (3Al/2,5V). Las aleaciones más duras, con un 6% de aluminio y un 4% de vanadio (6Al/4V) son más costosas pero cada vez más populares. [10]

Fibra de carbono: Las fibras de carbono son extremadamente fuertes. Con las fibras se fabrica una tela, la cual forma una lámina cuando se le añade resina epóxica. Bien moldeadas estas láminas pueden ser muy ligeras y resistentes. No hay material que sea tan resistente con tan bajo peso y que permita transmitir de manera tan eficiente la energía del pedaleo. La desventaja del carbono es que puede quebrarse sin una deformación previa con resultados catastróficos (para compensar este riesgo los fabricantes de bicicletas se aseguran de incrementar la cantidad de material para aumentar la resistencia). La fibra de carbono es también costosa en especial cuando se la compara con el aluminio. [10]

3.1.2.2. Ruedas

El terreno de circulación del triciclo puede ser un terreno plano, con desniveles, posibles huecos y bordes altos (características de las ciclorutas actuales en Bogotá), Las ruedas son el componente que tendrá contacto directo con el suelo

Las ruedas más pequeñas ofrecen menos resistencia al rodamiento y por lo tanto, una mayor economía del combustible. Por otro lado, al tener una llanta de mayor tamaño, puede actuar como una relación de transmisión más grande. El motor podrá operar a un régimen de revoluciones más bajo, es decir que menos combustible será consumido. [11]

Características que tienen que ver con las dimensiones de la llanta: Entre más ancha sea la llanta esta generara más fricción y además tendrá un volumen mayor de aire, lo que le dará más control, más tracción y mayor confort. Sin embargo, ésta será una llanta más lenta en el pavimento. [11]

Por otro lado, una llanta más delgada, con un volumen menor de aire y menos superficie de contacto es más eficiente en el pavimento. A diferencia de una llanta más ancha, ofrece menos confort al requerir presiones más elevadas de aire. Una llanta delgada no tiene un buen nivel de tracción ni de control en terrenos sueltos.

El Dibujo: Un factor determinante para el desempeño de las llantas es el dibujo. Claro, siempre y cuando se usen para el tipo de terreno que fueron diseñadas. Las llantas con tacos, típicas de las bicicletas de montaña están diseñadas para

un desempeño óptimo en terrenos sueltos. En este tipo de terreno, los tacos se entierran para generar la tracción necesaria además de ayudar a mantener un buen control. Las llantas lisas están diseñadas para rodar en terrenos pavimentados. Al tener una menor área de contacto, generan menor resistencia al rodamiento lo que las hace ideales para la velocidad. [11]

Superficie de Rodamiento: Dos aspectos importantes de la superficie de rodamiento son su espesor y su dureza. Ambos afectaran el desempeño de nuestras llantas. Por ejemplo, entre mayor sea el espesor de la superficie su durabilidad será mayor. Sin embargo, esto implica más material y por lo tanto la llanta será más pesada. Los compuestos duros son más durables, mientras que los compuestos blandos ofrecen un mejor agarre en las curvas. Existen llantas que cuentan con un compuesto duro en la parte central del área de contacto lo que ofrece mayor rapidez y durabilidad, mientras que en los extremos cuentan con un material más suave para un mejor agarre en las curvas. [11]

Tipos de aros:

En la tabla1. Tipos de aros se presentaran las opciones de los aros que se podrán una usar en el triciclo.

TIPOS DE AROS	IMAGEN
<ul style="list-style-type: none"> Llanta tipo Sprint para neumáticos tubulares, generalmente usados en bicicletas de pista. 	
<ul style="list-style-type: none"> Llanta tipo Endrick, como instaladas en las bicicletas deportivas de los años 1930-40-50, precursor de las modernas llantas con borde para freno de hoy en día. 	
<ul style="list-style-type: none"> Llanta tipo Westwood que incorporan las clásicas bicicletas con frenos de varilla, hoy en día se utilizan en bicicletas contemporáneas tradicionales con freno de tambor y contrapedal. 	

Tabla 1 Tipos de aros. Tomada de <http://todobici.com.es/18-llanta/>

3.1.2.3. Frenos

Se presentara en la tabla 2. Tipos de frenos, los cuales son los más usados en las bicicletas convencionales:

TIPOS DE FRENO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Frenos de disco</p> 	<p>Alta potencia de frenado, larga vida útil, poco mantenimiento, poca probabilidad de falla, funciona bien en cualquier condición climática.</p>	<p>Son muy pesados en comparación con los frenos de tambor, alto valor económico, los radios son sometidos a mayores esfuerzos debido a la mayor capacidad de frenado que estos poseen.</p>
<p>V-breakes</p> 	<p>Son muy económicos y accesibles, buen rendimiento y fiabilidad aunque no son tan precisos como los de disco, son los más potentes frenos de llantas, fácil mantenimiento.</p>	<p>Ejercen menos fuerza que los de buje, no son confiables en condiciones lluviosas, pueden llegar a ser peligrosos por la fricción generada sobre el rin en una bajada muy inclinada, uso de cables.</p>
<p>Contra pedal</p> 	<p>No les afecta la lluvia, ausencia de cables, manos libres, poco mantenimiento, fiables.</p>	<p>No se posee freno en la parte donde no está la tracción por lo que hay cierta inestabilidad, necesidad de adaptación al sistema, no se puede arrancar echando los pedales hacia atrás.</p>

Tabla 2. Tipos de frenos. Tomada de <http://labicikleta.com/11-tipos-de-freno-para-bicicleta/>

3.1.2.4. Sistema de transmisión y potencia

Según lo expuesto en el libro Diseño de accionamientos y transmisiones de máquinas del autor Ocampo gil, lo modela de la siguiente forma:



Dentro de los motores se tiene: motores eléctricos, máquinas de combustión interna, motor hidráulico, turbinas y máquina de vapor. De estas propuestas se tomaran de estudio los motores eléctricos dando el enfoque y los objetivos del presente trabajo, los cuales se presentaran en la Ilustración 4. Motores usados en las bicicletas eléctricas.

En la clasificación de las transmisiones mecánicas se tiene: por fricción, por correas, por ruedas dentadas, por cadena o por correas dentadas.

A continuación se mostraran los motores eléctricos más comunes usados en las bicicletas.

Motores

TIPOS	DESCRIPCIÓN	VENTAJA Y DESVENTAJA
<p data-bbox="337 842 623 905">Motor eléctrico en la rueda delantera</p> 	<p data-bbox="688 842 1052 1087">Motor eléctrico Instalado en la rueda delantera se pueden encontrar con potencia que varía de 180W a 250 W. alimentados por baterías desde los 24V hasta 36V</p>	<p data-bbox="1078 806 1476 947">Poseen un sensor de regulación de voltaje lo que permite no incrementar las velocidades.</p> <p data-bbox="1078 982 1476 1052">Ecológicos. Eliminación de cualquier tipo de gases</p> <p data-bbox="1078 1087 1476 1157">Eliminación de ruidos excesivos</p>
<p data-bbox="305 1167 656 1230">Motor eléctrico Instalado en el eje trasero</p> 	<p data-bbox="688 1255 1052 1396">Motor eléctrico Instalado en el eje trasero con potencias similares o mayores a 250W</p>	<p data-bbox="1078 1182 1476 1465">Con las mismas ventajas del anterior, aun facilitando las reparaciones por estar separados cada sistema, estos motores son un poco más grandes lo que genera mayor espacio dentro del vehículo.</p>
<p data-bbox="305 1503 656 1566">Motor eléctrico Instalado en el eje del pedaleo</p> 	<p data-bbox="688 1591 1052 1661">Motor eléctrico Instalado en el eje del pedaleo</p>	<p data-bbox="1078 1518 1476 1738">Pueden llevar consigo caja de velocidades pero sus reparaciones son más costosas, aun conservando de igual manera sus ventajas</p>

Ilustración 5. Motores usados en las bicicletas eléctricas. Imagen tomada de <http://vehiculoselectricos.nichese.com/motorbicicleta.html>

3.1.2.5. Baterías

El tipo de baterías instalado dentro de las bicicletas actuales varía dependiendo la zona en donde nos encontramos de esta manera el uso puede cambiar, aunque de esta forma se encuentran diferentes tipos en el mercado como lo son:

- **Batería de plomo con ácido:** son las baterías más usadas comúnmente por lo vehículos. Su depósito está lleno de ácido sulfúrico que bañan una serie de placas, sus placas unas positivas están recubiertas por dióxido de plomo y las placas negativas están recubiertas de plomo. Son las baterías más económicas pero de igual manera son de las más contaminantes.
- **Baterías de níquel e hidruro metálico:** este tipo de baterías han desbancado a las baterías de níquel cadmio, estas son las más utilizadas en los pocos vehículos eléctricos que circulan por los diferentes países como Honda, Toyota, incluso scooter eléctricas. El ánodo de la batería está compuesto por hidróxido de níquel y el cátodo por hidruro metálico. Esto genera que al trabajar con temperaturas bajas las temperaturas de deterioran.
- **Batería de Ion de litio:** actualmente son las más utilizadas y han desplazado en gran parte el otro tipo de baterías, son prácticamente las más avanzadas aunque hoy en día se sigue desarrollando tecnología a fin de aplicarla dentro de otros vehículos. Son de las más pequeñas y su peso es menor a las ya mencionadas. No tienen efecto memoria la descarga es lineal lo que permite conocer el voltaje real de la batería.

3.1.2.6. Marchas en la bicicleta

- **Piñones:** son las ruedas dentadas que están unidas a la rueda trasera y a través de las cuales se transmite la fuerza de la misma. Estas permiten dar mayor o menor tracción a la rueda trasera según el piñón seleccionado.
- **Platos:** estas son las ruedas dentadas únicas a los pedales y su utilidad va ligada a la de los piñones. El uso adecuado de estos puede generar vaya más o menos deprisa y que este desplazamiento se consiga con mayor o menor esfuerzo. Estos al igual que los piñones se están elaborando de uno a tres platos.
- **Cadena:** esta es la pieza que permite transmitir la fuerza que ejercemos al momento de pedalear, desde los platos hasta los piñones. Al enlazar esta entre los dientes del plato y los piñones permite generar el desplazamiento.
- **Velocidades:** son cada uno de las combinaciones entre los platos y los piñones. Esto nos traduce que el tener un solo plato y tres piñones estaríamos diciendo que es de tres velocidades, pero en cambio sí tenemos una de tres platos y seis piñones esta sería de dieciocho velocidades, etc.
- **Transmisión:** La similitud que tiene el presente trabajo con la bicicleta favorece en la selección de los mecanismos de transmisión de potencia. Se encuentra conformada por la entrada de la energía transmitida por el conductor a través de los pedales la biela y un plato, esta potencia se

transmite por medio de una cadena hacia un piñón trasero anclado al eje de la rueda motriz.

Transmisiones por correas. Este método de transmisión se utiliza cuando es necesario conectar árboles alineados y separados a cierta distancia. El mecanismo consiste en una correa sin fin de material flexible acoplada a dos o más poleas. El principio de transmisión se desata al friccionar las correas flexibles contra la superficie lisa de las poleas, estas superficies se deslizan una sobre la otra provocando un patinamiento (excepto en las correas de sincronización), por lo tanto las velocidades entre las poleas no se respeta con exactitud, por lo que no es un mecanismo de precisión en la transmisión. [12]

Ventajas: Transmiten potencia a distancias grandes, amortiguan impactos, versatilidad: posiciones de los ejes y sentidos de giro, elementos comercializados, simplifican la transmisión, trabajo silencioso, no requieren lubricación ni fundas especiales, pueden transmitir potencia a varios árboles [13]

Desventajas: Relación de transmisión no constante (deslizamiento), grandes fuerzas en apoyos y árboles (tensado inicial), alargamiento de las correas, a veces se requieren dispositivos tensores, Duración de la correa afectadas por temperatura y humedad, aceite, polvo y humedad reducen el coeficiente de fricción [13]

Las transmisiones por cadenas: pueden convertir un movimiento circular en otro rectilíneo (en el caso que sean utilizadas para transporte) o en otro movimiento circular (cuando son utilizadas para la transmisión de potencia). Las transmisiones a cadenas son seleccionadas cuando se desea transmitir grandes magnitudes de potencia a bajas velocidades sin variar la relación de transmisión. Las mismas necesitan estar alineadas para no salirse de su lugar. El caso más simple de dicha transmisión consiste en una cadena motriz y dos estrellas, una conductora y otra conducida. [12]

Ventajas: Transmiten potencia a distancias grandes, relación de transmisión prácticamente constante, sometidas a menores cargas que las transmisiones por correas (no requieren tensado inicial), mejor resistencia a las condiciones ambientales que las transmisiones por correas, elementos comercializados, simplifican la transmisión, pueden transmitir potencia a varios árboles [13].

Desventajas, se encuentra cierta irregularidad durante su funcionamiento y necesidad de un montaje y mantenimiento minucioso [13].

3.1.3. Evaluación de las alternativas.

Después de haber expuesto las diferentes alternativas de los principales mecanismos se procede a realizar una evaluación, con esta evaluación se pretende seleccionar la mejor alternativa para la fabricación del triciclo estilo chopper. La selección se realizará por el método de objetivos propuesto por el Nigel Cross.

El método por objetivos consiste en evaluar las alternativas Vs los objetivos propuestos en el árbol de objetivos (Esquema 2. Árbol de objetivos. Autores) planteado anteriormente. Aquella alternativa que tenga la mayor calificación será el elemento por el cual se optará para la construcción del triciclo

El procedimiento:

- Asignar en número el impacto relativo a cada objetivo de 0,0 (no es importante) a 1,0 (muy importante). La suma de todos los pesos asignados a los factores deberá ser equivalente a 1,0.
- Darle una calificación de 1 a 5 a cada propuesta, siendo 1 malo y 5 excelente y 0 no aplica.
- Multiplicar el peso de cada objetivo por su calificación en cada propuesta para obtener un resultado ponderado.
- Sumar las calificaciones ponderadas de cada una de las alternativas para determinar la mejor puntuación, la cual equivale a la mejor opción.

En las siguientes tablas se indica la evaluación de cada alternativa propuesta en el numeral anterior.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			DISEÑO				MATERIAL							
			Tipo delta		Tipo tadpole		Acero al carbón		Aluminio		Titanio		Fibra de carbono	
SISTEMAS	OBJETIVOS	IMPACTO	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
CHASIS	Soportar las cargas del triciclo.	0,2	5	1,00	5	1,00	5	1,00	3	0,60	4	0,80	5	1,00
	Baja densidad, que permita un peso final reducido, aumentando así la manejabilidad del triciclo.	0,1	3	0,30	5	0,50	2	0,20	5	0,50	4	0,40	5	0,50
	Garantizar tanto la seguridad y la comodidad de los pasajeros.	0,2	4	0,80	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60
	Los materiales deben ser económicos.	0,08	5	0,40	5	0,40	5	0,40	3	0,24	1	0,08	1	0,08
	Usar piezas comerciales.	0,05	5	0,25	2	0,10	5	0,25	5	0,25	2	0,10	2	0,10
	Los componentes deben ser de fácil instalación y adquisición.	0,07	4	0,28	2	0,14	5	0,35	5	0,35	3	0,21	3	0,21
	Los materiales deben ser duraderos.	0,1	0	0,00	0	0,00	4	0,40	5	0,50	5	0,50	5	0,50
Debe asegurar mantener la trayectoria del conductor y pasajero. control y maniobrabilidad	0,2	5	1,00	4	0,80	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60	
CALIFICACIÓN		1	4		3,5		3,8		3,6		3,3		3,59	

Tabla 3. Criterios de evaluación del chasis. Autores

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			ESPESOR				TAMAÑO				DIBUJO DE LA CORAZA			
			Delgada		Gruesa		27"		20"		Llantas con tacos		Llantas lisas	
SISTEMAS	OBJETIVOS	IMPACTO	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
RUEDAS	Soportar las cargas del triciclo.	0,2	5	1,00	5	1,00	5	1,00	5	1,00	4	0,80	5	1,00
	Baja densidad, que permita un peso final reducido, aumentando así la manejabilidad del triciclo.	0,1	4	0,40	3	0,30	4	0,40	4	0,40	4	0,40	5	0,50
	Garantizar tanto la seguridad y la comodidad de los pasajeros.	0,2	3	0,60	5	1,00	4	0,80	4	0,80	3	0,60	3	0,60
	Los materiales deben ser económicos.	0,08	5	0,40	5	0,40	4	0,32	5	0,40	5	0,40	4	0,32
	Usar piezas comerciales.	0,05	5	0,25	2	0,10	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
	Los componentes deben ser de fácil instalación y adquisición.	0,07	4	0,28	2	0,14	5	0,35	5	0,35	5	0,35	5	0,35
	Los materiales deben ser duraderos.	0,1	4	0,40	4	0,40	3	0,30	3	0,30	5	0,50	4	0,40
	Resistencia al rodamiento	0,05	4	0,20	3	0,15	3	0,15	5	0,25	4	0,20	5	0,25
Debe asegurar mantener la trayectoria del conductor y pasajero. control y maniobrabilidad	0,15	4	0,60	5	0,75	3	0,45	3	0,45	5	0,75	4	0,60	
CALIFICACIÓN		1	4,1		4,2		4		4,2		4,3		4,27	

Tabla 4. Criterios de evaluación de las ruedas. Autores

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			FRENOS					
			Disco		V-Breakes		Contra pedal	
SISTEMAS	OBJETIVOS	IMPACTO	A	P	A	P	A	P
FRENOS	Respuesta con exactitud de la dirección y los frenos en función de las circunstancias.	0,23	5	1,15	3	0,69	3	0,69
	Garantizar tanto la seguridad y la comodidad de los pasajeros.	0,2	5	1,00	4	0,80	4	0,80
	Los materiales deben ser económicos.	0,1	3	0,30	5	0,50	3	0,30
	Usar piezas comerciales.	0,07	5	0,35	5	0,35	3	0,21
	Los componentes deben ser de fácil instalación y adquisición.	0,15	5	0,75	5	0,75	2	0,30
	Los materiales deben ser duraderos.	0,1	4	0,40	3	0,30	4	0,40
Debe asegurar mantener la trayectoria del conductor y pasajero. control y maniobrabilidad	0,15	4	0,60	5	0,75	3	0,45	
CALIFICACIÓN		1	4,6		4,1		3,2	

Tabla 5. Criterios de evaluación de los frenos. Autores

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS			MOTOR ELÉCTRICO						BATEARIAS						TRANSMISIÓN			
			Instalado en la rueda delantera		Instalado en el eje trasero		Instalado en el eje del pedaleo		Plomo con ácido		Níquel e hidruro metálico		León de Litio		Correas		Cadenas	
SISTEMAS	OBJETIVOS	IMPACTO	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y POTENCIA	Baja densidad, que permita un peso final reducido, aumentando así la manejabilidad del triciclo.	0,15	3	0,45	4	0,60	4	0,60	2	0,30	3	0,45	5	0,75	5	0,75	4	0,60
	Material ambientalmente amigable	0,13	4	0,52	4	0,52	4	0,52	1	0,13	2	0,26	3	0,39	4	0,52	4	0,52
	Garantizar tanto la seguridad y la comodidad de los pasajeros.	0,2	3	0,60	4	0,80	4	0,80	2	0,40	3	0,60	4	0,80	3	0,60	4	0,80
	Los materiales deben ser económicos.	0,15	3	0,45	5	0,75	3	0,45	4	0,60	4	0,60	5	0,75	4	0,60	5	0,75
	Usar piezas comerciales.	0,05	4	0,20	5	0,25	4	0,20	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,20	5	0,25
	Los componentes deben ser de fácil instalación y adquisición.	0,07	4	0,28	5	0,35	4	0,28	5	0,35	5	0,35	5	0,35	4	0,28	5	0,35
	Los materiales deben ser duraderos.	0,1	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40
Debe asegurar mantener la trayectoria del conductor y pasajero. control y maniobrabilidad	0,15	4	0,60	4	0,60	4	0,60	3	a	3	0,45	3	0,45	4	0,60	4	0,60	
CALIFICACIÓN		1		3,5		4,3		3,9		2,4		3,4		4,14		3,95		4,27

Tabla 6. Criterios de evaluación sistema de transmisión y potencia. Autores

Según los resultados de las evaluaciones de alternativas se tiene el siguiente resumen:

ESTRUCTURA	<ul style="list-style-type: none"> •Tipo: delta •Material: acero al carbon
RUEDAS	<ul style="list-style-type: none"> •Espesor: gruesas •Tamaño: 20" •Dibujo de la coraza: llantas con tacos
FRENOS	<ul style="list-style-type: none"> •Freno de disco
SISTEMA DE TRANSMISION Y POTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> •Motor electrico: instalado en el eje trasero •Baterias: Neon de litio •Transmision: cadena

3.2. DISEÑO PRELIMINAR

Para el desarrollo del diseño se tomó como guía la metodología expuesta por Richard G. y J. Keith del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shingley ⁴

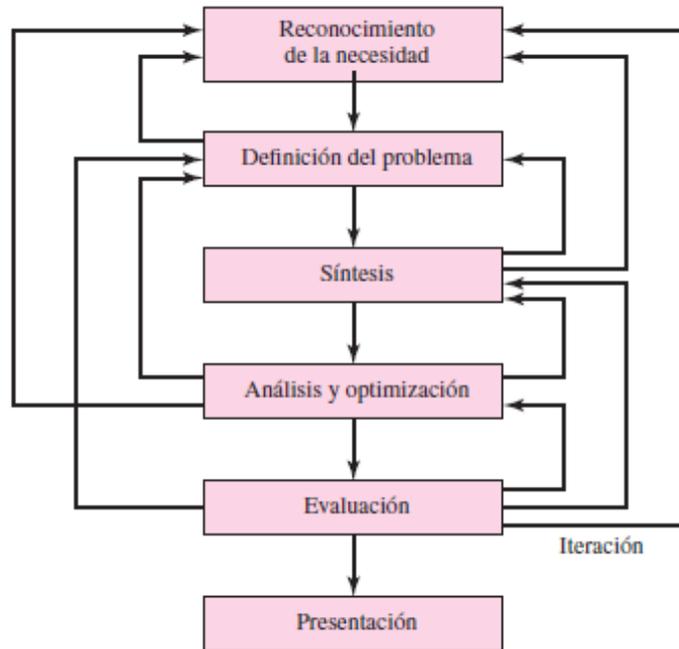


Ilustración 6. Fases e interacciones del proceso de diseño. Tomada de Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel.

3.2.1. Reconocimiento de la necesidad

La movilidad en la ciudad de Bogotá se ha convertido en una problemática. El poder diseñar y fabricar una máquina que facilite el traslado de dos personas que sea económica, segura, confiable, que contribuya al cuidado ambiental de la ciudad y que vaya a fin con el plan de movilidad de la ciudad de Bogotá, se propone una maquina por pedaleo asistido con apoyo de un motor eléctrico capaz de movilizar a dos personas con un peso máximo de (110kg). Para tener una idea más precisa de esta necesidad ver la página 11 justificación.

3.2.2. Definición del problema:

El libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shingel expone este numeral como las especificaciones del objeto que se va a diseñar. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En

⁴ Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett. Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel. 8 ed. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. 2008

este caso deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar. Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, el intervalo máximo, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso. [14]

Entradas y salidas: las entradas en este proyecto se tiene las normas y reglamentos existentes en la ciudad de Bogotá o en su defecto las normas de Colombia, manuales y catálogos de piezas estándar de las bicicletas actuales. Las salidas es la transformación de esas entradas en el producto final en este caso el triciclo eléctrico estilo chopper.

Costo: El costo es un factor importante para poder comercializar el triciclo se proyectó un valor básico de \$ 2.300.000, el cual puede variar ya que se trata del primer prototipo al final del documento se presentará el valor final del triciclo.

Cantidad a manufacturar: Este es un proyecto se pensó como un proyecto de grado con el fin de poner a prueba los conocimientos de diseño adquiridos en el transcurso de la carrera de ingeniería mecánica, por tal motivo y como prueba se realizó solo un prototipo funcional.

Velocidad: para este ítem se tomó lo establecido en el proyecto de acuerdo 188 de 2011 no superior a 25 km/h.

Limitaciones dimensionales: El triciclo se diseñó con el objetivo de poder circular por las ciclorutas de la ciudad de Bogotá por ello para las dimensiones se tomaron no superar las siguientes medidas: alto: 2250 mm, largo 1750mm y ancho 1000mm. Tomado del plan maestro de ciclorutas de Bogotá.

Limitaciones de la temperatura: La temperatura para este proyecto no está considerado como un factor crítico que afecte el funcionamiento principal adicional la ciudad de Bogotá no tiene cambios de temperaturas extremas. Se tendrá en cuenta el factor de temperatura para las baterías el cual su almacenamiento no debe ser menor a cero grados centígrados.

Peso: Se plantea la condición de que el triciclo soporte una carga de 110 Kg, permitiendo con esto transportar un adulto y un niño.

Espacio del piloto y el pasajero: La comodidad del pasajero y el piloto es un factor importante. Por tal razón se realizó un esquema del triciclo y la ubicación de las personas ver ilustración 6. Esquema de la posición del piloto y el pasajero (medidas aproximadas).

Para continuar con este esquema fue necesario realizar consultas de la estatura promedio una persona adulta y de un niño en Colombia, y según la investigación, desarrollada por la Fundación Cardioinfantil y la Asociación Colombiana de

Endocrinología Pediátrica con el apoyo del Instituto Karolinska (Suecia) y financiada por Colciencias, evaluó a 27.210 niños, adolescentes y jóvenes sanos, de 0 a 20 años, en cuatro ciudades (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla). Dentro de los principales hallazgos se encontró que la talla promedio del hombre colombiano adulto es de 172 cm, y se encuentra en un nivel de normalidad entre los 159 y 186 cm. Mientras, la mujer colombiana promedio debe medir 160, y se considera normal en un rango entre los 148,5 y 171 cm [15].

Un niño tiene más variaciones debido a su desarrollo de crecimiento continuo, pero según la vigilancia de crecimiento de la Unicef la talla aproximada de un niño entre 4 años a 9 años es de 1,07m a 1,22m y un peso de 16 kg a 28 kg.

Teniendo estas tallas del promedio de las personas se podrá conocer la longitud de la ubicación del plato para el pedaleo del piloto y la ubicación de los reposapiés del pasajero.

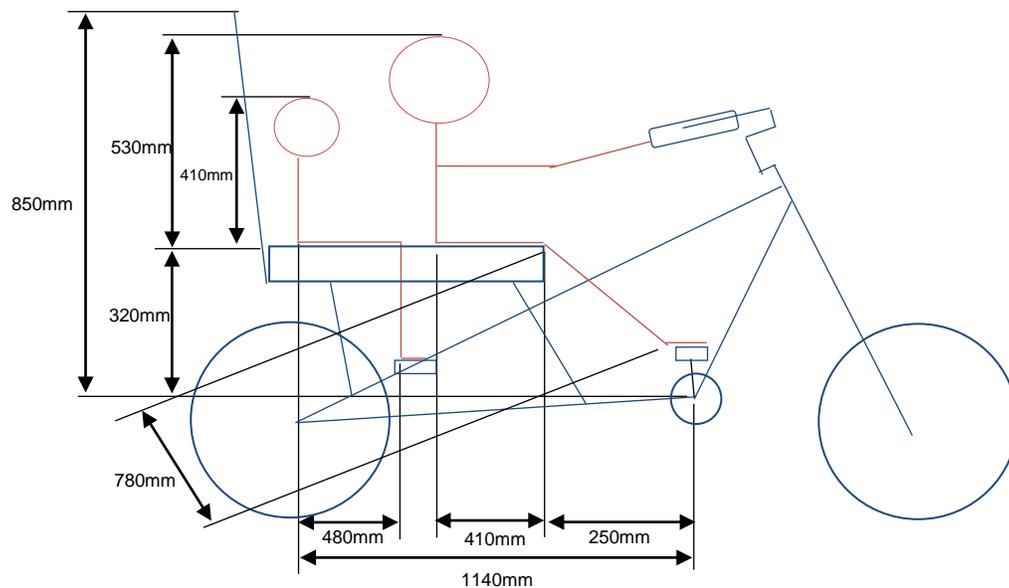


Ilustración 7. Esquema de la posición del piloto y el pasajero (medidas aproximadas). Autores

Para el diseño del triciclo eléctrico se tendrá en cuenta una altura debe ser igual o superior a 850mm desde el pedal y el chasis podrá tener 1140mm.

3.2.3. Síntesis

El libro expresa la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama invención del concepto o diseño del concepto. Teniendo como referencia el espacio del piloto y el pasajero para las dimensiones generales del triciclo se plasmó el diseño preliminar del triciclo eléctrico para realizar la ubicación de los componentes escogidos en el presente proyecto.

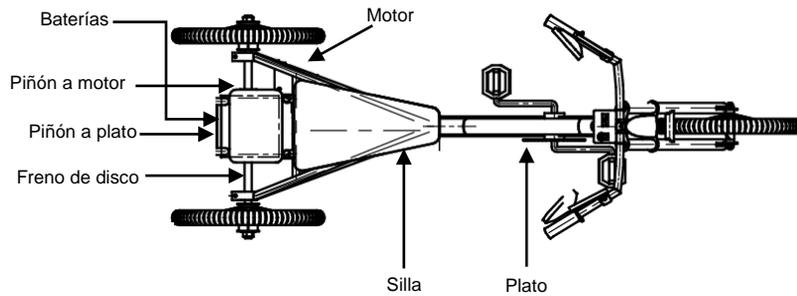


Ilustración 8. Esquema inicial de la ubicación de los componentes del triciclo. Autores.

A continuación, se presenta las dimensiones generales del triciclo.

DESCRIPCIÓN	MEDIDAS (mm)
Longitud total	1500
Ancho total	673
Altura total con ruedas	1080

Tabla 7. Dimensiones generales del triciclo. Autores

Distribución general de los pesos: Se indicará la masa de las partes principales de del triciclo para determinar de una forma aproximada la ubicación del centro de masas del triciclo.

DESCRIPCIÓN	MASA (kg)
Masa total chasis	33,385
Masa total transmisión	10,403
Masa total dirección	8,498
MASA TOTAL DE CONJUNTO DEL TRICICLO EN VACIO	52,286

Tabla 8. Masa del triciclo eléctrico sin pasajeros. Autores

DESCRIPCIÓN	MASA (kg)
Masa total del conjunto del triciclo en vacío	52,286
Masa del piloto	30
Masa del pasajero	80
MASA TOTAL DE CONJUNTO DEL TRICICLO CON CARGA	162,286

Tabla 9. Masa del triciclo eléctrico con carga. Autores.

Distribución del centro de gravedad

El centro de gravedad juega un papel importante en el comportamiento del triciclo, debido a que es el punto resultante donde se aplican todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre el mismo, de la misma manera me permite conocer las distancias en el para nuestro caso ubicaremos el peso de la estructura del triciclo y con este se podrá realizar los cálculos estáticos. El tamaño del triciclo es limitado teniendo en cuenta que se optó por que el triciclo se trasladara por las ciclorutas de la ciudad.

Con ayuda del software de diseño CAD y teniendo en cuenta la masa del triciclo en vacío como con carga, se obtuvo el centro de gravedad del triciclo eléctrico. Esta forma de hallar el centro de gravedad es comúnmente usada hoy en día en las industrias.

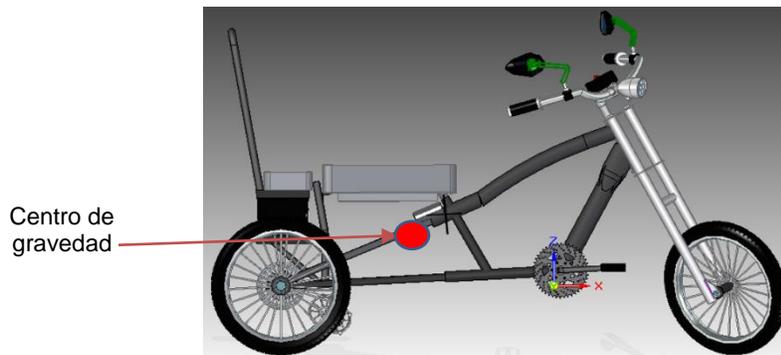


Ilustración 9. Ubicación del centro de gravedad triciclo. Autores

3.2.4. Análisis y Optimización

El modelo de diseño tomado menciona que el análisis como la optimización es un modelo matemático. Para ello se analizará el centro de gravedad del triciclo. Para las cargas estáticas, los cálculos dinámicos se estudiarán en el capítulo 4.

3.2.5. Evaluación

Este punto se evalúa el funcionamiento del triciclo, estas pruebas se evidencian en el numeral 6.2. Pruebas

4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES Y DINÁMICOS DEL TRICICLO

4.1. CÁLCULOS ESTÁTICOS

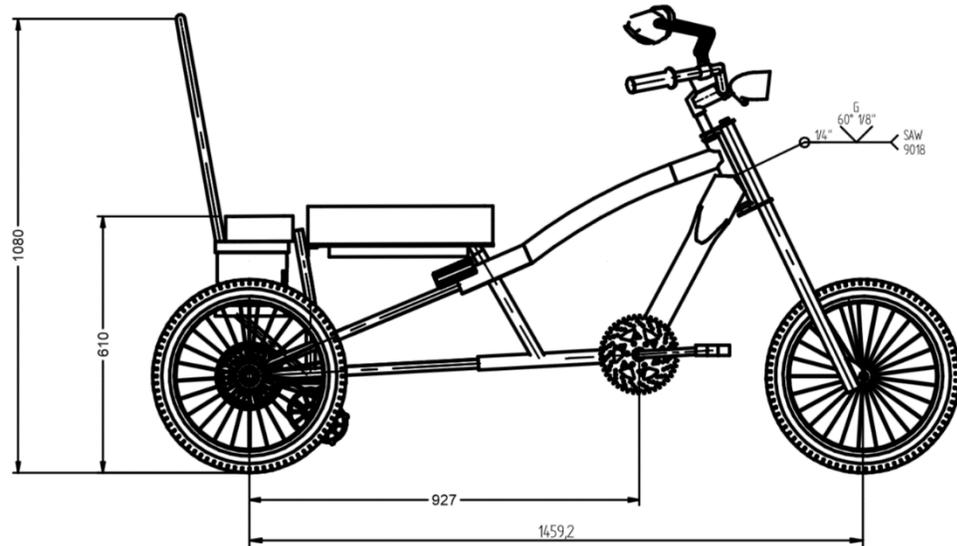


Ilustración 10. Plano triciclo eléctrico completo. Autores

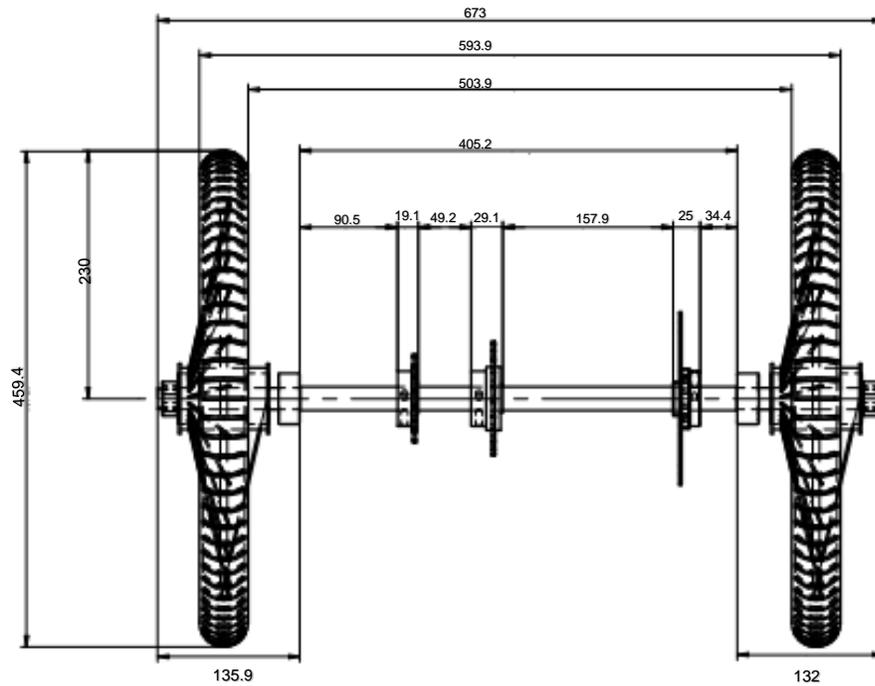


Ilustración 11. Chasis triciclo eléctrico. Autores

Teniendo como referencia los planos de la ilustración 6 y la ilustración 7 se realizaron los cálculos estáticos de la estructura.

4.1.1. Cálculos a la estructura

A continuación se analizará las cargas contempladas en la estructura del vehículo a fin de poder tener conocimiento de los esfuerzos a los que este será sometido en cada una de sus partes. Cabe tener en cuenta como se mencionó en el capítulo anterior que para la realización de dichos cálculos se tiene un valor de 330mm con respecto al eje trasero para la ubicación de centro de gravedad y será tomado como el punto de concentración generado por el peso de la estructura.

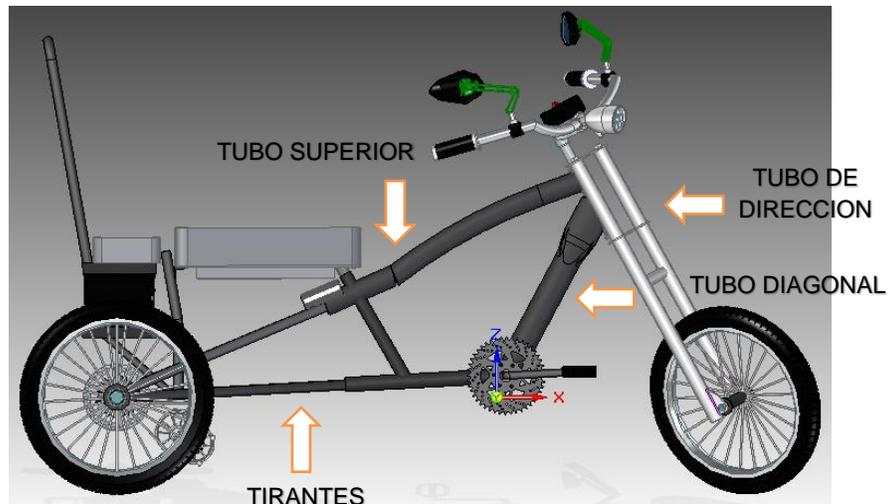
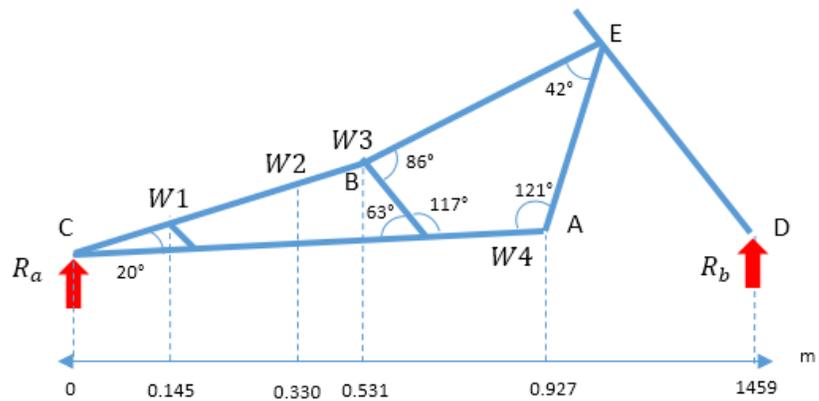


Ilustración 12. Triciclo. Autores

Esquema de cuerpo libre

Datos:

$W_1 =$	Peso Copiloto	= 30 Kg	=294N
$W_2 =$	Peso de la estructura	= 42.286 K	= 414.40N
$W_3 =$	Peso del piloto	= 80 Kg	= 784 N
$W_4 =$	Peso del sistema de pedaleo	= 10 Kg	= 98N



$$M_x = 0$$

$$= 294N \cdot 0.145m + 414.40 \cdot 0.330m + 784N \cdot 0.531m + (98N \cdot 0.927 - R_b \cdot 1.45) = 0$$

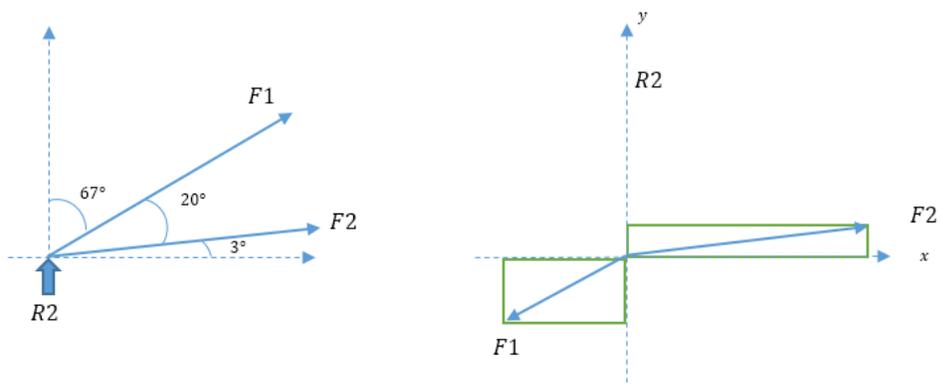
$$R_b = 444.07Nm$$

$$F_y = 294N + 414.40N + 784N + 98 - 444.07Nm - R_a = 0$$

$$R_a = 1172 Nm$$

- Analizamos cada parte de la estructura

Punto C



- Balance con la horizontal

$$F_2 \cos 3^\circ = F_1 \cos (20^\circ) \quad \Rightarrow \quad F_1 = 1.062 * F_2$$

- Balance con la vertical

$$F_2 \sin 3^\circ + F_1 \sin 20^\circ = 1172 \text{ N}$$

- Sustituimos F1 en F2

$$F_2 \sin 3^\circ + F_2 1.062 \sin 20^\circ = 1172 \text{ N}$$

$$F_2 = 2820 \text{ Nm}$$

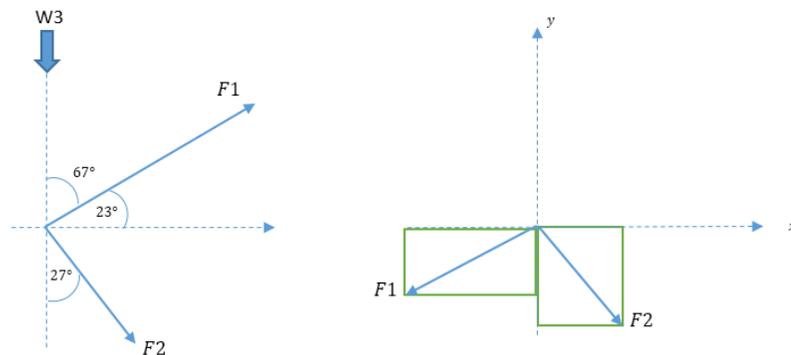
- Reemplazamos con la ecuación horizontal.

$$F_1 = 1.062 (2758 \text{ Nm})$$

$$F_1 = 2928 \text{ Nm}$$

Conclusión: la dirección de estas fuerzas muestran que la barra F2 se encuentra a tensión y F1 a compresión.

Punto B



- Balance con la horizontal

$$F_2 \cos 63^\circ = F_1 \cos 23^\circ \quad \Rightarrow \quad F_1 = 0.4931 F_2$$

- Balance con la vertical

$$F_2 \sin 63^\circ + F_1 \sin 23^\circ = 784 \text{ N}$$

- Sustituimos F1 en F2

$$F_2 \text{ Sen } 63^\circ + F_2 0.4931 \text{ Sen } 23^\circ = 784N$$

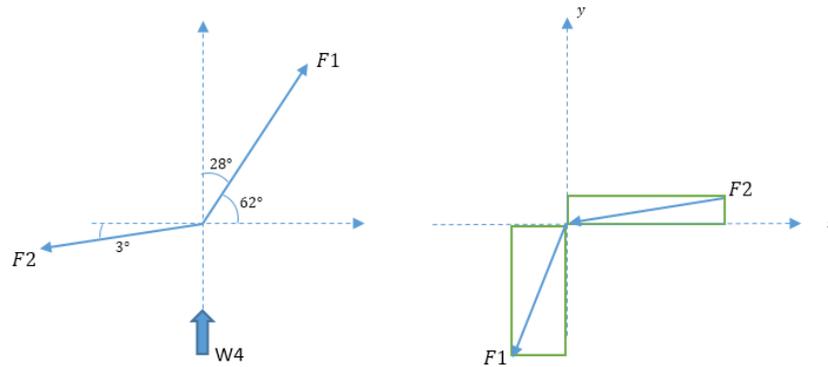
$$F_2 = 723.46 N$$

- Remplazamos con la ecuación horizontal.

$$F_1 = 0.4981 (723.46)$$

$$F_1 = 360.36N$$

Punto A



- Balance con la horizontal

$$F_2 \text{ Cos } 3^\circ = F_1 \text{ Cos } 62^\circ \quad \Rightarrow \quad F_1 = 2.12 F_2$$

- Balance con la vertical

$$F_2 \text{ Cos } 3^\circ + F_1 \text{ Sen } 62^\circ = 98N$$

- Sustituimos F1 en F2

$$F_2 \text{ Sen } 3^\circ + F_2 2.12 \text{ Sen } 62^\circ = 98N$$

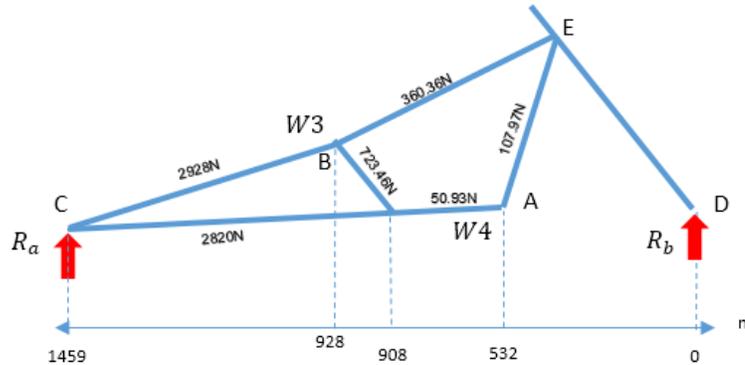
$$F_2 = 50.93N$$

- Reemplazamos con la ecuación horizontal.

$$F_1 = 2.12 (50.93N)$$

$$F_1 = 107.97N$$

Conclusión: la dirección de estas fuerzas muestra que la barra F2 se encuentra a tensión y F1 a compresión



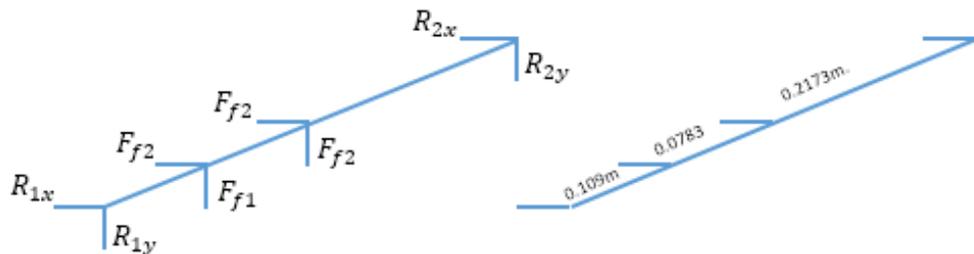
4.1.2. Cálculos en el eje trasero

Para estos cálculos tendremos en cuenta la R_a la cual es la que nos arroja la carga generada en la rueda trasera del vehículo, teniendo en cuenta que este valor se dividirá entre 2 ya que son dos las llantas que resistirán este valor. De los cálculos anteriormente realizados se obtuvo

$$R_a = 1172Nm$$

$$= \frac{1172Nm}{2} = 586 Nm \text{ (para cada llanta)}$$

- Calculo de transmisión en el eje trasero



- Relación de velocidad

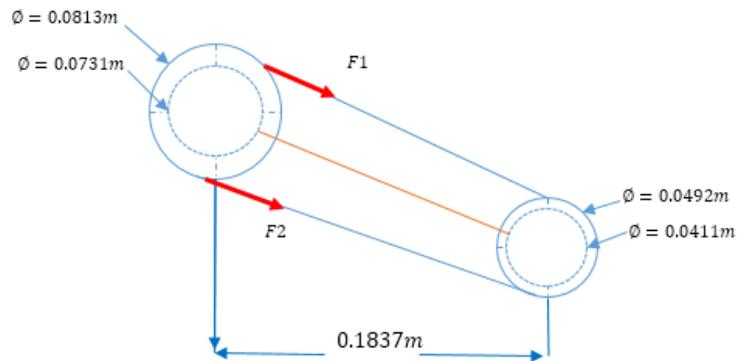
$$R = \frac{N1}{N2} = \frac{450 \text{ rpm}}{250 \text{ rpm}} = 1,8$$

- N° de dientes requerido para el piñón conducido

Relación de velocidad * # de dientes del piñón conductor

$$1.8 * 10 \text{ dientes} = 18 \text{ dientes}$$

- Relación Motor –Rueda conducida
Piñón conductor (motor) = Z 10
Piñón conducido = Z18



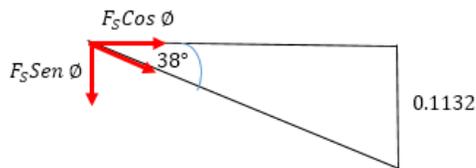
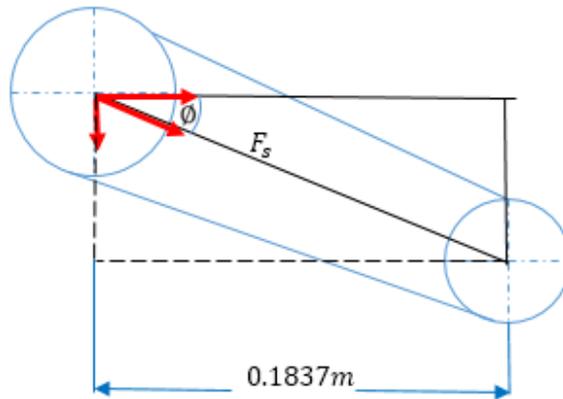
$$T = \frac{P}{(2\pi n)}$$

MOTOR = 450 W
= 450 rpm

$$T = \frac{60(450w)}{2\pi(450rpm)} = \frac{27000}{2827} = 9.549 \text{ Nm}$$

$$Fn = \frac{T}{r \text{ piñon}} = \frac{9.549 \text{ Nm}}{0.03655m} = 261,25N$$

$$Fs = Fn 1,5 = 261.25N \cdot 1.5 = 391.875N$$



$$\text{Sen } \phi = \frac{0.1132\text{m}}{0.1837\text{m}} = 38^\circ$$

$$F_s \text{Cos } 38^\circ = 391.875\text{N} \text{Cos}38^\circ = 308.80\text{N}$$

$$F_s \text{Sen } 38^\circ = 391.875\text{N} \text{Sen}38^\circ = 241.27\text{N}$$

- Relación Plato – Engrane

Fuerza de 500N =(51Kg)

Longitud de la biela =175mm

$$T = F * r$$

$$T = (51\text{Kg})(0,175\text{m})$$

$$T = 8.925 \text{ Kg}f = 87.46\text{Nm}$$

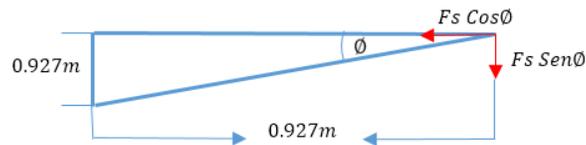
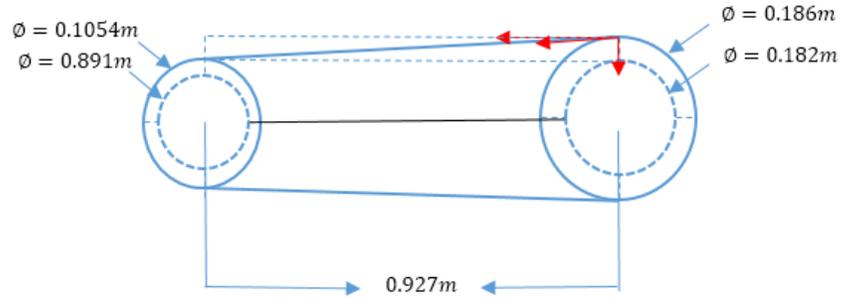
$$F \text{ Neta} = \frac{T}{r \text{ Polea}}$$

$$F \text{ Neta} = \frac{87.46 \text{ Nm}}{0.927 \text{ m}}$$

$$F \text{ Neta} = 94,34\text{N}$$

$$F_s = 1.5 F \text{ Neta}$$

$$F_s = 1.5 \cdot 94.34 \text{ N} = 141.51 \text{ N}$$



$$\text{Sen}\theta = \frac{0.0806\text{m}}{0.927\text{m}}$$

$$\text{Sen}\theta = 4.98^\circ$$

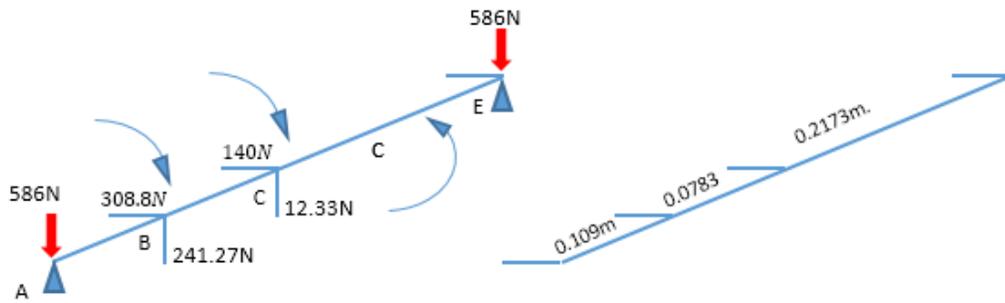
$$F_s \text{ Cos } 5^\circ = 141.51 \text{ N Cos } 5^\circ$$

$$F_s \text{ Cos } 5^\circ = 140.97 \text{ N}$$

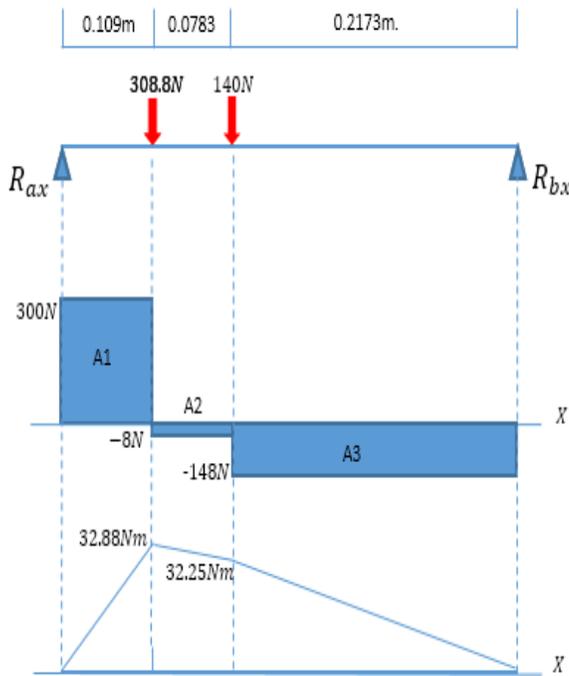
$$F_s \text{ Sen } 5^\circ = 141.51 \text{ N Sen } 5^\circ$$

$$F_s \text{ Sen } 5^\circ = 12.33 \text{ N}$$

Fuerzas resultantes en el eje



• Momentos en X



$$\sum M_x = 0$$

$$308 \text{ N} \cdot 0.1096 \text{ m} + 140 \text{ N} \cdot 0.187 \text{ m} - R_b \cdot 0.405 \text{ m} = 0$$

$$R_{bx} = 148.31 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-308 \text{ N} - 140 \text{ N} + 148.31 + R_a = 0$$

$$R_{ax} = 300 \text{ N}$$

AREAS

$$A_1 = 300 \text{ N} \cdot 0.1096 \text{ m} = 32.88$$

$$A_2 = 8 \text{ N} \cdot 0.0783 \text{ m} = -0.6264 \text{ Nm}$$

$$A_3 = 148 \text{ N} \cdot 0.2173 \text{ m} = 32.25 \text{ Nm}$$

• Momentos en Y

$$\sum M_x = 0$$

$$-241 \text{ N} \cdot 0.1096 \text{ m} - 12.33 \text{ N} \cdot 0.187 \text{ m} - 586 \text{ N} \cdot 0.405 \text{ m} + R_{by} \cdot (0.405 \text{ m}) = 0$$

$$R_{by} = 656.9 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$586 \text{ N} + 241 \text{ N} + 12.33 \text{ N} + 586 \text{ N} - 656.9 \text{ N} - R_{ay} = 0$$

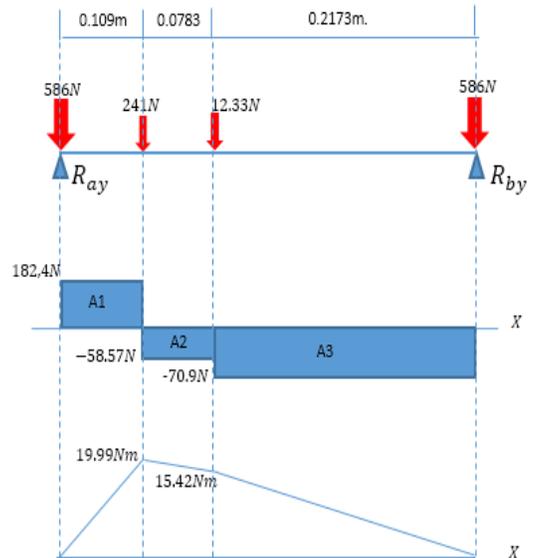
$$R_{ay} = 768.43 \text{ N}$$

AREAS

$$A_1 = 182.4 \text{ N} \cdot 0.1096 = 19.99 \text{ Nm}$$

$$A_1 = 58.57 \text{ N} \cdot 0.783 = 19.99 \text{ Nm}$$

$$A_3 = 70.9N \cdot 0.2173 = 15.40 Nm$$



- El momento resultante (Mt) o Momento flexionante Máximo

Corresponde a la suma vectorial de los momentos en cada plano.

$$Mt = \sqrt{(Mx - y)^2 + (Mx - Z)^2}$$

PUNTO 1

$$Mt = \sqrt{(32.88Nm)^2 + (19.99Nm)^2}$$

$$Mt = 34.47 Nm$$

PUNTO 2

$$Mt = \sqrt{(32.25Nm)^2 + (15.42Nm)^2}$$

$$Mt = 35.74 Nm$$

- Calculo de resistencia a la fatiga

Los diferentes aspectos de reducción del esfuerzo por fatiga se utilizan para obtener una ecuación modificada (es decir, de trabajo) del esfuerzo de la fatiga.

Según las condiciones de trabajo

$$S_n = C_b * C_s * C_r * C_o * S'_n$$

En donde:

S'_n = Limite de la fatiga del material (fórmula para materiales ductiles)

$$S'_n = 0.5 \cdot 1020,4 \text{ Mpa} = 510 \text{ Mpa}$$

C_b = Factor de temperatura

- $C_b = 1 \rightarrow$ Para temp. Ambiente.
- $C_b = 0.8 \rightarrow$ Para temp. Entre 100 °C y 200 °C
- $C_b = 0.6 \rightarrow$ Para temp. > 200 °C.

Ilustración 13. Factor de corrección por temperatura. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman

$C_b = 1$ (por mantenerse al ambiente)

C_s = Factor de corrección por superficie

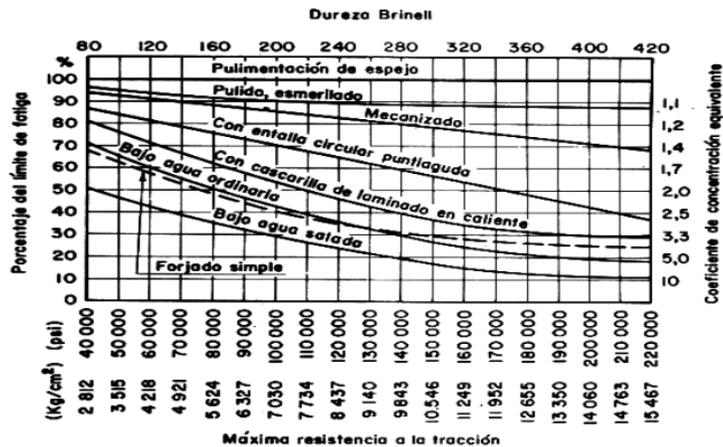


Ilustración 14. Factor de corrección por superficie. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman

$C_s = 0.77$ (maquinado según tabla)

C_r = Factor de confiabilidad Funcional

50%	B = 0	95%	B = 1.6
67%	B = 0.44	99%	B = 2.3
84%	B = 1.0	99.99%	B = 3.7
90%	B = 1.3		

Ilustración 15. Confiabilidad funcional. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman

$$C_r = 1 - AB$$

$$C_r = 1 - 0.76 * 1.3 \quad 1.3 = 90\%$$

$$Cr = 0.9012$$

Co= Factor de corrección para esfuerzos residuales

Co = 1.3 (Material laminado o estirado en frío).

Co = 1 (Materiales con tratamientos térmicos de Normalizado o Recocido)

$$Co = 1 \text{ (para materiales normalizados)}$$

Kf= Para chaflán con bordes redondeados

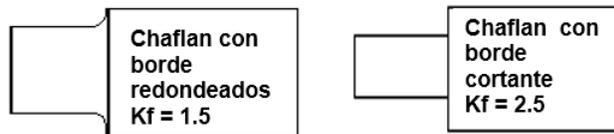


Ilustración 16. Kf para chaflanes de hombros. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman

$$Kf = 1.5$$

Obtenemos los valores relacionados a la resistencia a la fatiga agrupando cada uno de los términos analizados:

$$Sn = 1 * 0.77 * 0.9012 * 1 * 510 \text{ Mpa}$$

$$Sn = 353.90 \text{ Mpa}$$

- Cálculos de diámetros para el eje.

Según las diferentes teorías de análisis de falla tomaremos en cuenta los análisis realizados por la (*teoría von Mises*) que nos permite asociar los diferentes conceptos ya analizados para tener un valor coherente en los diámetros del eje. Según la ecuación que plantea Mises

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{S_{ea}}{S_{na}} + \frac{S_{ef}}{S_{nf}} \right)^2 + \left(\frac{S_{es}}{S_{ns}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

S_{ef}: Esfuerzo Equivalente a Flexión.
 S_{ea}: Esfuerzo Equivalente a Tracción
 S_{es}: Esfuerzo equivalente a Torsión

$$S_{ef} = \frac{S_{nf}}{S_y} S_{mf} + K_f \cdot S_{af}$$

$$S_{ea} = \frac{S_{na}}{S_y} S_{ma} + K_f \cdot S_{aa}$$

$$S_{es} = \frac{S_{ns}}{S_{ys}} S_{ms} + K_{fs} \cdot S_{as}$$

Ilustración 17. Diseño de elementos de maquinas. Aaron D. Deutschman

Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones evaluaremos la ecuación de tal manera que:

- El torque es constante, por lo tanto el esfuerzo a torsión es = 0
- No existe fuerza axial
- El esfuerzo a flexión es variable e invertido, por lo tanto el esfuerzo media flexión es =0

$$\text{Esfuerzo alterno a flexion: } S_{af} = \frac{M_{max}}{Z}$$

$$M_{max} = (\text{Momento Flector Maximo})$$

$$Z \text{ Modulo de la Seccion} = \text{para una seccion circular } Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

Sustituimos Z en la ecuación de Esfuerzo Alterno de Flexión (S_{af})

$$S_{af} = \frac{32 M_{max}}{\pi d^3}$$

Esfuerzo constante de Tensión

$$S_s = \frac{T}{Z}$$

T es el torque en el punto máximo a analizar

Z es el modulo polar de la sección circular

$$Z = \frac{\pi d^3}{16} \quad Z' = 2Z$$

Remplazamos la ecuación para obtener:

$$S_s = \frac{32T}{32\pi d^3}$$

Sustituimos los valores en la ecuación

$$\frac{1}{N} = \frac{K_f 32 M_{max}^2}{S_n \pi d^3} + \frac{32 T^2}{0.6 S_y 2 \pi d^3}^{1/2}$$

Factorizamos y despejando d^3

$$\frac{1}{N} = \frac{32^2}{\pi d^3} \frac{K_f M_{max}^2}{S_n} + \frac{T^2}{1.2 S_y}^{1/2}$$

$$d^3 = 10.19 N \frac{K_f M_{max}^2}{S_n} + \frac{T^2}{1.2 S_y}^{1/2}$$

Obtenemos la ecuación final:

$$d = 10.19 N \frac{K_f M_{max}^2}{S_n} + 0.694 \frac{T^2}{S_y}^{1/2}^{1/3}$$

Utilizamos un factor de seguridad $N=3$ y remplazamos los valores con los *Momentos resultante (Mt)*, ya que son los puntos mas críticos en nuestro eje.

Punto 1

$$Mt = 34.47 Nm$$

Para el acero 4140

$$S_u = 1020 * 10^6 Nm$$

$$S_{yp} = 654 * 10^6 Nm$$

$$K_f = 1.5$$

$$T = 9.549Nm$$

$$S_n = 354 * 10^6Nm$$

$$d = 10.19 N \frac{Kf Mmax}{S_n}^2 + 0.694 \frac{T}{S_y}^2 \quad 1/2 \quad 1/3$$

Remplazamos

$$d = 10.19 (3) \frac{1.5 (38.47Nm)^2}{354 * 10^6Nm} + 0.694 \frac{9.549Nm}{654 * 10^6Nm}^2 \quad 1/2 \quad 1/3$$

$$d = 0.017m = 17mm$$

Punto 2

$$Mt = 35.74 Nm$$

Para el acero 4140

$$Su = 1020 * 10^6Nm$$

$$S_{yp} = 654 * 10^6Nm$$

$$Kf = 1.5$$

$$T = 9.549Nm$$

$$S_n = 354 * 10^6Nm$$

$$d = 10.19 N \frac{Kf Mmax}{S_n}^2 + 0.694 \frac{T}{S_y}^2 \quad 1/2 \quad 1/3$$

$$d = 10.19 (3) \frac{1.5 (35.74Nm)^2}{354 * 10^6Nm} + 0.694 \frac{9.549Nm}{654 * 10^6Nm}^2 \quad 1/2 \quad 1/3$$

$$d = 0.016m = 16mm$$

Diámetros calculados	Diámetro estándar
Punto 1= 17mm	20mm
Punto 2 =17 mm	20mm

Con esto concluimos que para nuestro eje la mejor alternativa es manejar una sola dimensión en esta dos posiciones brindado la mejor garantía para nuestro eje siendo de 20mm como calculo brindado.

4.1.3. Selección Rodamientos

Peculiaridades a la que estarán sometidos los rodamientos

Condiciones de trabajo: los rodamientos se encontraran expuestos a sol, agua y tierra

Tipos de cargas: combinadas.

Carga que soportara el rodamiento: cargas sobre bastidor principal

Según el diagrama de cuerpo libre de las llantas traseras la carga máxima a seleccionar a trabajar es de 0.784Kn lo que soporta cada rueda

Selección rodamiento:

Se escoge un rodamiento 6204

- $C_r = 13600 \text{ N}$
- $C_{or} = 6600 \text{ N}$
- $V_{limite} = 18700 \text{ rpm}$

Carga=692.8 N $C_{or} = 6600 \text{ N}$

Calculo vida

$$L = \left(\frac{13600}{692.8}\right)^3$$

$L = 7564.16 \text{ millones de ciclos}$

$$w = \left(1600 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ dia}}\right) \left(\frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}}\right)$$

$$w = 840960000 \frac{rev}{año}$$

Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designaciones		
	dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite				
d	D	B	C	C_0					
20	42	12	9,36	5	0,212	41 000	21 000	0,069	E2.6004-2Z
	42	12	9,36	5	0,212	-	12 000	0,067	E2.6004-2RSH
	47	14	12,7	6,55	0,28	35 000	19 000	0,11	E2.6204-2Z
	47	14	12,7	6,55	0,28	-	11 000	0,10	E2.6204-2RSH
	52	15	16,3	7,8	0,34	34 000	18 000	0,15	E2.6304-2Z
	52	15	16,3	7,8	0,34	-	11 000	0,143	E2.6304-2RSH

4.2. CÁLCULOS DINÁMICOS

4.2.1. Fuerzas que interactúan en el triciclo

Para eficiencia del triciclo es importante conocer las fuerzas o las resistencias que actúan sobre el triciclo ya sea para beneficiar u oponerse a él, adicional son la partida inicial para obtener la potencia máxima del motor que se requiere para mover el triciclo. El triciclo debe vencer las siguientes fuerzas:

- Resistencia a la rodadura.
- Resistencia de pendiente.
- Resistencia aerodinámica.

4.2.1.1. Resistencia a la rodadura.

El concepto de resistencia a de rodadura es la representación de lo que cuesta a una rueda rodar sobre a superficie. Esta resistencia depende del peso del triciclo, el aire del neumático y el coeficiente de resistencia de la rodadura, valor que depende del material de la llanta y los factores ambientales por el que rueda el triciclo.

Fórmula:

$$R_r = f \cdot P$$

Donde:

R_r = Resistencia a la rodadura

f = Coeficiente de rodadura

P = Peso del triciclo con carga

Para el coeficiente de rodadura se toma 0,0055 [16]

$P = (\text{masa del triciclo con carga})(\text{gravedad})$

$$P = 162,286 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 1592,025 \text{ N}$$

$$R_r = 0,0055 \cdot 1592,025 \text{ N} = 8,756 \text{ N}$$

4.2.1.2. Resistencia a la pendiente

En el momento en el que el triciclo eléctrico se encuentre en un plano inclinado como se muestra la ilustración 17 Diagrama de resistencia a la pendiente del triciclo eléctrico. Una parte del peso ejerce una fuerza en contra del sentido de avance del triciclo, causando una resistencia ($R_{pendiente}$) debida a la pendiente, que se opone a la fuerza de tracción. En conclusión, hay que aumentar la fuerza de tracción para poder desplazar el triciclo. Esta resistencia a la pendiente depende del peso del vehículo y el ángulo de la pendiente en el que se puede encontrar el vehículo. [17]. Normalmente se expresa en porcentaje, pero también se puede designar en grados entonces, la pendiente se calcula mediante la siguiente fórmula: $P (\%) = (h/d) \times 100$. Donde "P" es la pendiente (en porcentaje), "h" es el desnivel a superar (en metros) y "d" es la distancia horizontal (en metros). Al multiplicar estas magnitudes por cien, obtenemos el porcentaje de la pendiente. Se dice que un desnivel del 4% significa que en un tramo de 100 metros se incrementa la altura en 4 metros

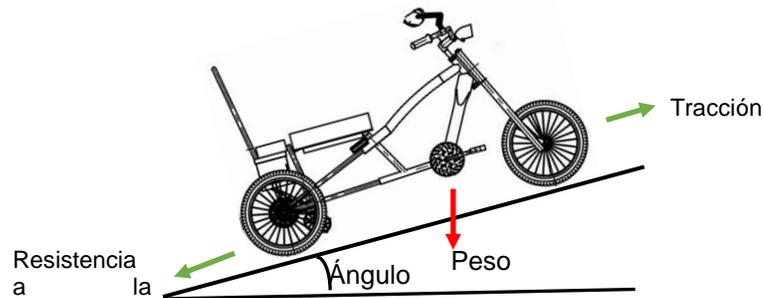


Ilustración 18. Diagrama de resistencia a la pendiente del triciclo eléctrico. Autores

Fórmula:

$$R_{pendiente} = m \cdot g \cdot \text{sen}\theta$$

Donde:

$R_{pendiente}$ = Resistencia pendiente

m = masa del triciclo con carga

g = gravedad

$$R_{pendiente} = (162,286 \text{ kg}) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \text{sen}\theta$$

En la tabla 10. Fuerza de resistencia a la pendiente se calculan las posibles pendientes en la cual estará expuesto el triciclo de las ciclorutas

POSIBLES ÁNGULOS	RESISTENCIA AL ROZAMIENTO
2 %	31,840 N

3 %	47,760 N
4 %	63,681 N

Tabla 10. Fuerza de resistencia a la pendiente. Autores

Cuando la pendiente es cuesta abajo esta resistencia de pendiente cambia de signo dejando de ser una fuerza de oposición al movimiento del triciclo para convertirse en un apoyo al esfuerzo motor del triciclo.

4.2.1.3. Resistencia aerodinámica

El aire se opone a que el vehículo pase a través suyo en función de su forma exterior. La fuerza de la resistencia del aire depende del tamaño y forma del vehículo, de la velocidad de marcha, de la densidad del aire y de la dirección y la fuerza del vehículo [17]. Es decir, que la resistencia aerodinámica respecto a la velocidad tiene una relación exponencial. La densidad del aire disminuye con la altitud.

Dicha fuerza se puede determinar por la siguiente fórmula según Gregor & Ryan [18]:

Fórmula:

$$F = (0,5)(Cd)(Ap)(s)(v^2)$$

Donde:

F = Resistencia aerodinámica

Cd = Coeficiente de resistencia aerodinámica

Ap = Densidad del aire

s = Área frontal del conjunto

v = Velocidad

Para el coeficiente aerodinámico se toma 1.0 según Wilson, David Gordon [19]. Este coeficiente es una cantidad adimensional que se usa para cuantificar el arrastre o la resistencia de un objeto al aire.

$$\text{Densidad del aire en Bogotá} = 0.9355 \text{ kg/m}^3 \text{ [20]}$$

$$\text{Velocidad máxima triciclo} = 24 \text{ km} \approx 6,666 \text{ m/s}$$

$$F = (0,5)(1)(0.935 \text{ kg/m}^3)(0.673 \text{ m})(6.666 \text{ m/s}^2) = 2,097 \text{ N}$$

$$R_a = 2,097 \text{ N}$$

4.2.1.4. Fuerza de tracción

Es la fuerza transmitida del motor por medio de la transmisión mecánica (engranajes a la rueda), esta fuerza debe ser mayor a las fuerzas de resistencia al movimiento para que el triciclo pueda desplazarse, esta se da por la siguiente ecuación

Fórmula:

$$F_t = \frac{T_r}{r_r}$$

Donde:

F_t = Fuerza de tracción

T_r = Torque de la rueda

r_r = Radio de la rueda trasera

Para hallar el torque de la rueda es necesario usar la siguiente formula

$$T_r = (T_m)(r_t)(\eta_{tr})$$

T_r = Tuerque de la rueda

T_m = Torque motor

r_t = Relacion de transmisión

η_{tr} = Eficiencia de la transmisión

$$T_r = 8,59 Nm \cdot 2 \cdot 0,90 = 15,462 Nm$$

$$F_t = \frac{15,462 Nm}{0,230 m} = 67,22 N$$

4.2.1.5. Calculo para superar las fuerzas de resistencia

Esta es la potencia mínima necesaria que necesita el motor para vencer las fuerzas de resistencia y poder realizar el desplazamiento del triciclo. Para ello es necesario sumar las fuerzas de resistencias ya calculadas.

Fórmula:

$$P_{total} = (R_r + R_p + R_a) \cdot (v)$$

Donde:

P_{total} = Potencia total

R_r = Resistencia a la rodadura

R_p = Resistencia a la pendiente

R_a = Resistencia aerodinamica

v = Velocidad

$$P_{total} = (8,756 N + 63,681 N + 2,097 N) \left(6,666 \frac{m}{s} \right) = \left(496,843 \frac{Nm}{s} \right)$$

$$1 \frac{Nm}{s} \text{ equivale a } 0,00134 \text{ hp}$$

$$496,843 \frac{Nm}{s} = 0,666 \text{ hp}$$

4.2.2. Cálculos de transmisión por pedaleo

Para la relación del triciclo se cuenta con un piñón de 24 y un plato de 44.

Datos para el cálculo de la relación:

Ø Rueda completa =	459,2 mm 0,4592 m
Perímetro de la rueda =	1,4426 m
Radio de la rueda =	0,230 m
No. De dientes del plato =	44
No. De dientes del piñón =	24

- Relación entre el plato y el piñón

Formula:

$$\text{No. de vueltas del piñón} = \frac{\text{No. de dientes del plato}}{\text{No. de dientes del piñón}}$$

$$\text{No. de vueltas del piñón} = \frac{44}{24} = 1,83 \approx 2$$

Según la ecuación se tiene una relación de 2. Es decir, que por una vuelta que da el plato el piñón gira 2 veces.

- Distancia recorrida por cada pedalazo

La distancia recorrida es el avance en metros que recorre la rueda trasera del triciclo por cada vuelta completa del pedal. Este avance varía según la circunferencia y/o perímetro de la rueda y el número de dientes que se estén engranando en el plato y el piñón a través de la cadena.

La distancia recorrida (D) de un pedalazo se da mediante la siguiente formula.

Fórmula:

$$D = p \cdot r$$

Donde:

$D =$ Distancia recorrida

$p =$ perímetro

$r =$ No. de vueltas de la rueda trasera

$$D = 1,83 * 1,44 = 2,635 \text{ (m/pedalada)}$$

Por cada vuelta del plato la rueda trasera realizara un recorrido de 2,63 metros.

- Torque ejercido en el pedal

Este valor puede variar dependiendo la persona que vaya a manejar el triciclo, para este cálculo se tomó un dato retórico de 500N según la revista ingeniería biomédica [21].

Se simulara que el conductor ejercerá una fuerza constante y tangencial al extremo de la biela. El pedal, el pie y por tanto la fuerza, se mueven describiendo una circunferencia cuyo radio es la biela del pedal. Esta distancia es constante, el conductor está aplicando una fuerza giratoria a una distancia del eje de giro. Está aplicando un PAR sobre el eje de la corona que es el producto de la fuerza giratoria que aplica el pie, por la distancia al centro, o sea por el radio de giro (por la longitud de la biela).

Datos:

$$Fuerza = 500N \text{ (51kg)}$$

$$Longitud \text{ de la biela} = 175 \text{ mm (0,175m)}$$

Ecuación:

$$T = F \cdot r$$

Donde:

$T = Torque$

$F = Fuerza$

$r = \text{radio o longitud de la biela}$

$$N/m = \text{kilogramo metro} \cdot 9.80665$$

$$Torque = 51 \text{ kg} \cdot 0,175\text{m} = 8,925\text{kg} \cdot \text{m} = 87.46\text{N} \cdot \text{m}$$

$$Torque = 87,46\text{N} \cdot \text{m}$$

- Calculo de las fuerzas sobre el piñón del pedal

Datos:

$$Radio \text{ de piñón} = 52,7 \text{ mm} = 0,0527 \text{ m}$$

$$Torque \text{ pedal} = 87,46\text{N} \cdot \text{m}$$

Fórmula:

$$F_{(neta)} = \frac{\text{Troque que genera el pedal}}{\text{radio de la polea}}$$

$$F_{(neta)} = \frac{87,46 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,0527 \text{ m}} = 1659,58 \text{ N}$$

$$F_{(s)} = 1,5 \cdot (F_{neta})$$

$$F_{(s)} = 1,5 \cdot 1659,58 \text{ N} = 2489,37 \text{ N}$$

4.3. POTENCIA MOTOR

Antes de haber seleccionado el motor se tuvo en cuenta las fuerzas de resistencia que el triciclo tenía que vencer. Al validar estas resistencias se pudo observar que un motor existente con el cual contaban los autores del presente trabajo podría servir para vencer estas fuerzas por tal razón se optó por no comprar un motor-reductor y hacer la prueba instalando el motor que se tenía.

$$\text{Fuerza necesaria del motor: } 496,843 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 0,666 \text{ hp}$$

(ver numeral 4.2.1.5 calculo para superar las fuerzas de resistencia)

$$1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W}$$

$$0,666 \text{ hp} \cdot 745,7 \text{ W} = 496,17 \text{ W}$$

Características del motor-reductor

$$\text{rpm Salida del motor } (n) = 450$$

$$\text{Potencia} = 450 \text{ W}$$

$$\text{Rendimiento } (\eta) = 90\%$$

Es evidente que según los cálculos la fuerza del motor debía ser de 496,17 W teóricos que debe tener el motor, pero también es claro que los cálculos realizados son sobredimensionados y la diferencia entre la potencia necesaria del motor y la potencia del motor existente es de 46, 17 por tal razón los autores de este trabajo se deciden realizar pruebas y validar la capacidad del motor.

- Potencia útil

Fórmula:

Donde:

$$\eta = \text{Rendimiento del motor}$$

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{absorbida}}$$

$P = \text{Potencia util}$
 $P = \text{Potencia absorbida}$

Despejando se obtiene:

$$P_{util} = (P_{absorbida}) \cdot \eta$$

$$P_{util} = 450W \cdot 0,9 = 405W$$

$$P_{util} = 405 W$$

- Calculo de las fuerzas sobre el piñón

Datos:

$$\text{Radio de piñón} = 40,6 \text{ mm} = 0,0406 \text{ m}$$

$$\text{Torque de motor} = 8,59 \text{ N.m}$$

Fórmula:

$$F_{(neta)} = \frac{\text{Troque que genera el motor}}{\text{radio de la polea}}$$

$$F_{(neta)} = \frac{8,59 \text{ N.m}}{0,0406 \text{ m}} = 211,57 \text{ N}$$

$$F_{(s)} = 1,5 \cdot (F_{neta})$$

$$F_{(s)} = 1,5 \cdot 211,57 \text{ N} = 317,36 \text{ N}$$

4.3.1. Inversor de voltaje.

Para poder energizar el sistema eléctrico del cual consta el vehículo, se utiliza un sistema básico de conexión teniendo en cuenta que para poder energizar el mismo se utilizan los siguientes elementos:

- Inversor de voltaje: El inversor de voltaje tiene como función cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con una frecuencia y magnitud deseada, debido a que los aparatos electrónicos trabajan a una determinada frecuencia predeterminada de acuerdo a cada país. Un inversor consta de un oscilador

que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente de entrada y generar una onda cuadrada. Esta onda cuadrada alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario.

- Cargador de baterías: el cual se conecta de la toma domestica el cual arroja un voltaje AC de 110v a el inversor de voltaje para poder realizar una carga DC a 24 V.
- Encendido eléctrico: Que consta de una llave de encendido para completar el ciclo de conexión y de esta forma poder obtener el inicio del vehículo.

En la ilustración 19. Sistema eléctrico vehículo se indicarán las conexiones eléctricas con el convertidor o inversor de voltaje

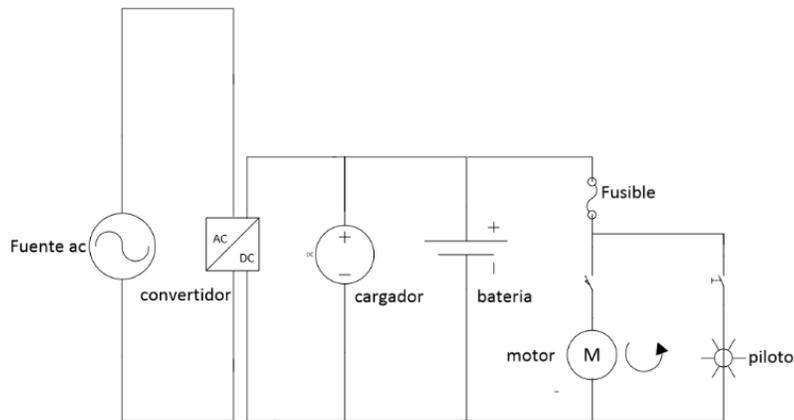


Ilustración 20. Sistema eléctrico vehículo. Autores

En la ilustración 21. Sistema eléctrico, desglose inversor, se puede observar las conexión eléctrica con el desglose del funcionamiento del inversor de voltaje.

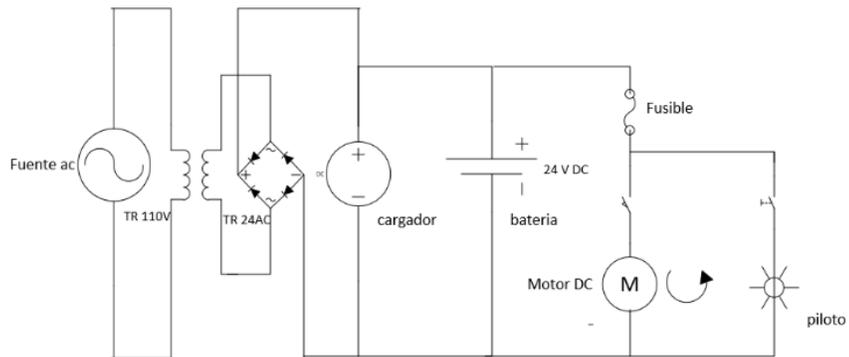


Ilustración 22. Sistema eléctrico, desglose inversor. Autores

Control de Velocidad: Lo habitual para controlar la velocidad es un cambio en el puño de la bicicleta con 4 o 6 posiciones diferentes que se podría implementar como un potenciómetro.

4.4. FUERZA DE FRENADO

Debido al movimiento (velocidad) de los vehículos, estos adquieren una energía - Energía Cinética, para reducir la velocidad o detener el triciclo, esta energía debe ser disipada -transformada en calor- mediante el sistema de frenado. El sistema de frenado genera fuerzas de fricción en cada rueda, se generan al poner en contacto dos superficies a distinta velocidad. En un vehículo, las fuerzas de frenado se distribuyen por igual entre la rueda delantera y las traseras, y respectivamente, en función del peso que soportan, porque se considera que tienen el mismo índice de adherencia. La fuerza de rozamiento entre el neumático y el asfalto está dada por la siguiente ecuación [22]:

Fórmula:

$$F_f = \mu \cdot P$$

Donde:

F_f = Fuerza de frenado

μ = Coeficiente de adherencia

P = Peso del triciclo

Coeficiente de adherencia (μ) = 0,6 en pavimento seco [23]

$$P = 162,286 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1592,02 \text{ N}$$

$$F_f = 1592,02 \text{ N} \cdot 0,6 = 955,212 \text{ N}$$

El bloqueo de las ruedas provoca un efecto de frenado desequilibrado. El frenado desequilibrado trae consigo una pérdida de control del vehículo. Si el bloqueo de las ruedas se produce en uno solo de los ejes se origina la pérdida de control del vehículo, de forma que, si el bloqueo se produce sobre las ruedas traseras, el arrastre producido en ellas tiende a ponerlas por delante de las delanteras, ya que estas están frenadas. Si el bloqueo se produce sobre las ruedas delanteras, el arrastre en ellas, al no avanzar (por estar detenidas las traseras), se traduce en una desviación lateral del vehículo con la correspondiente pérdida del control de la dirección. Se deduce que la fuerza de frenado debe ser tal, que detenga rápidamente la rueda pero sin llegar a bloquearla. Como la fuerza de frenado (F_f) también está en función del peso del vehículo (P) y del coeficiente de adherencia en los neumáticos, se pone de relieve la importancia que tiene el estado de los mismos, así como las condiciones del terreno en el momento de frenado. [23]

4.4.1. Peso transferido

Al realizar el frenado nace una fuerza que se aplica al centro de gravedad que causa un desplazamiento de elementos del triciclo hacia la parte delantera del mismo, de igual forma una carga dinámica que se llama peso transferido la cual actúa en función de la fuerza, la cual depende del centro de gravedad del triciclo, y de la distancia entre ejes [23].

Fórmula:

$$P_{tr} = \frac{P \mu h_v}{L}$$

Donde:

P_{tr} = Peso transferido

P = Peso del triciclo

μ = Coeficiente de adherencia

h_v = Altura del centro de gravedad

L = Distancia entre ejes

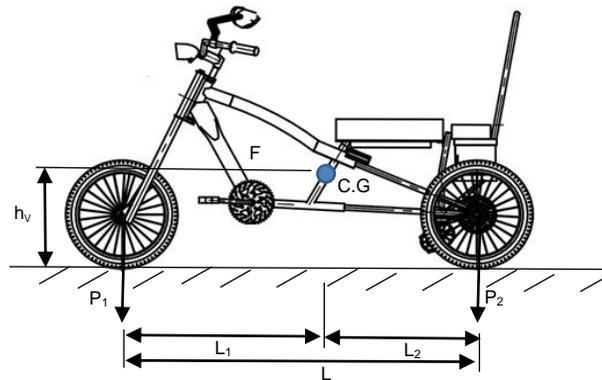


Ilustración 23. Reparto de fuerzas de frenado. Autores

$$\mu = 0,6$$

$$P = 1592,02 \text{ N}$$

$$h_v = 456,4 \text{ mm} = 0,456 \text{ m}$$

$$L = 1459 \text{ mm} = 1,459 \text{ m}$$

$$P_{tr} = \frac{1592,02 \text{ N} \cdot 0,6 \cdot (0,456 \text{ m})}{1,459 \text{ m}} = 298,54 \text{ N}$$

La carga dinámica que soportara la rueda delantera es de 298,54 N

4.4.2. Calculo dinámico sobre cada rueda

Existe un reparto de fuerzas de freno sobre las tres ruedas por lo tanto se plantea la carga dinámica que actúa sobre ellas.

Fórmula:

$$P_{d\text{ Din}} = P_d + P_{tr}$$

$$P_{t\text{ Din}} = P_t - P_{tr}$$

Donde:

$P_{d\text{ Din}}$ = Carga dinamica delantero

P_d = Peso que carga sobre la rueda delantera

P_{tr} = Peso transferido

$P_{t\text{ Din}}$ = Carga dinamica trasero

P_t = Peso que carga sobre la rueda trasera

P_{tr} = Peso transferido

Reacción de la rueda delantera= 42,66 N

Reacción de la rueda derecha trasera= 59,81N

Reacción de la rueda izquierda trasera= 59,81N

- Carga dinámica en la rueda delantera

$$P_{d\text{ Din}} = 42,66\text{ N} + 298,54\text{ N} = 341,2\text{ N}$$

- Carga dinámica en la rueda derecha trasera

$$P_{t\text{ Din}} = 298,54\text{ N} - 59,81\text{ N} = 238,73\text{ N}$$

- Carga dinámica en la rueda izquierda trasera

$$P_{t\text{ Din}} = 298,54\text{ N} - 59,81\text{ N} = 238,73\text{ N}$$

4.4.3. Fuerza de frenado en cada rueda

La capacidad de frenado que tiene el triciclo eléctrico estilo chopper depende del factor de adherencia y el peso que afecta sobre cada rueda

Fórmula:

$$F_{fd} = P_d \cdot \mu$$

$$F_{ft} = P_t \cdot \mu$$

Donde:

F_{fd} = Fuerza de frenado delantera

μ = Coeficiente de adherencia

P_d = Peso que carga sobre la rueda delantera

F_{ft} = Fuerza de frenado trasero

P_t = Peso que carga sobre la rueda trasera

μ = Coeficiente de adherencia

- Fuerza de frenado en la rueda delantera

$$F_{fd} = 341,2\text{ N} \cdot 0,6 = 204,72\text{ N}$$

- Fuerza de frenado en la rueda derecha trasera

$$F_{ft} = 238,73 \cdot 0,6 = 143,23 \text{ N}$$

- Fuerza de frenado en la rueda izquierda trasera

$$F_{ft} = 238,73 \cdot 0,6 = 142,23 \text{ N}$$

4.4.4. Distancia de parada

Se llama distancia de parada, al espacio recorrido por el vehículo desde que se accionan los frenos hasta que se detiene por completo. Esta distancia depende de la fuerza de frenado, grado de adherencia al suelo en ese momento, velocidad del vehículo, fuerza y dirección del viento, etc., factores todos ellos variables y muy difíciles de determinar que no permitirán calcular con exactitud el valor de la distancia de parada. La distancia de parada de los vehículos suele calcularse por medio de una fórmula simplificada; en esta fórmula no se tiene en cuenta la resistencia del viento, se considera que los neumáticos están en buen estado y se aplica la máxima fuerza de frenado [23].

Fórmula:

$$D = \frac{v^2}{(e)(245)}$$

Donde:

D = Distancia de parada en metros

v² = Velocidad en Km/h

e = Porcentaje de eficiencia de los frenos

254 = Constante para que las distancias se puedan expresar en metros

El coeficiente de adherencia determina la eficiencia de frenado.

$$D = \frac{24 \text{ km/h}^2}{(0,6)(245)} = 3,77 \text{ m}$$

4.4.5. Velocidad del triciclo eléctrico

El cálculo de la velocidad máxima a alcanzar el triciclo se realizó de forma empírica realizando la siguiente prueba.



Consistió en definir un punto de partida y realizar la salida en conjunto con una

motocicleta y validar la velocidad que adquirió la motocicleta.

Imagen 1. Punto de partida triciclo y motocicleta. Autores



Se realiza la prueba en una trayectoria recta de 46 metros.

Imagen 2. Trayectoria de la motocicleta y el triciclo. Autores



La velocidad adquirida en los 46 metros fue de 24 Km/h, esta distancia y velocidad se adquirió en 14 segundos contando con un peso en el triciclo de 61 kg.

Imagen 3. Evidencia de la velocidad máxima adquirida en la prueba. Autores

4.4.6. Aceleración del triciclo

Ecuación:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Donde:

a = aceleración

Δv = diferencial de velocidad

Δt = diferencia de tiempo

$$\Delta v = v_f - v_i$$

$$\Delta t = t_f - t_i$$

Datos:

$$v_i = 0 \text{ km} \longrightarrow v_f = 0 \text{ m/s}$$

$$t_i = 0 \text{ s}$$

$$v_f = 24 \text{ km} \longrightarrow v_f = 6,66 \text{ m/s}$$

$$t_f = 14 \text{ s}$$

$$a = \frac{6,66 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{14 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 0,476 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a = 0,476 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

5. MODELAMIENTO TRICICLO ELÉCTRICO

El uso de software de diseño hoy en día es una herramienta esencial para el diseño en cualquier ámbito de aplicación ya que permite modelar las piezas, conjuntos, extraer planos, calcular desplazamientos, deformaciones tensiones de los componentes o cualquier otro tipo de información para su fabricación. A este tipo de software enfocado al diseño de ingeniería también se conoce como diseño asistido por computadora (CAD). Dentro de esta familia se pueden mencionar algunos otros programas de análisis (CAE) que me permiten analizar por medio de métodos de elementos finitos el proceso de cálculo de los elementos mecánicos.

Para el modelamiento del triciclo eléctrico se utilizó dos softwares de diseño uno de ellos para el dibujo y planos de fabricación del triciclo y otro para el diseño de análisis.

5.1. DIBUJO DEL TRICICLO ELECTRICO

Para realizar las piezas y elementos del triciclo eléctrico estilo chopper se usó el software (CAD) Solid Edge, este programa de diseño asistido por computadora permite realizar el dibujo de piezas tridimensionales en distintos materiales, para el doblado de chapas, ensamble de conjuntos de soldadura etc. Este programa permite realizar el guardado de las piezas y el ensamble en una la extensión parasolid con el objetivo de poder abrir dichos documentos en el software Inventor, el cual nos servirá para realizar el análisis por métodos finitos (CAE).

Para el modelado del triciclo se dibujaron las piezas de una bicicleta con el objetivo de tener las medidas correctas en cada uno de los componentes y se realizó bosquejos a manos del diseño del marco del triciclo para posteriormente trazarlos en el programa teniendo esto como base se realizó el ensamble de todas las piezas con el marco del triciclo.

Se usó el siguiente proceso para el dibujo:

1. Selección del tipo de diseño del triciclo.
2. Dibujar el croquis
3. Se plasmó las dimensiones deseadas
4. Asignación de propiedades físicas.

Para el ensamble de las piezas se procedió a seleccionar el tipo de diseño, así como realizar la inserción de los componentes e indicaciones de las relaciones de la posición de los componentes. A continuación podremos observar dentro de las

ilustraciones 21,22,23,24,25, algunas de las piezas realizadas y de igual manera los montajes realizados dentro de Solid Edge.

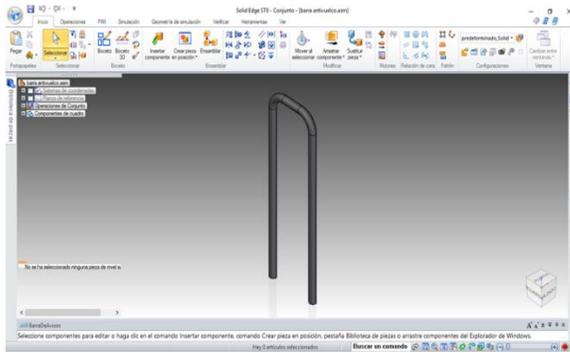


Ilustración 24. Dibujo de la barra antivuelco en programa Solid Edge. Autores

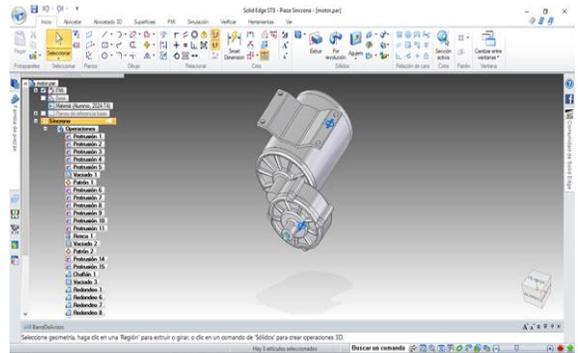


Ilustración 25. Dibujo de motor-reductor en programa Solid Edge. Autores.

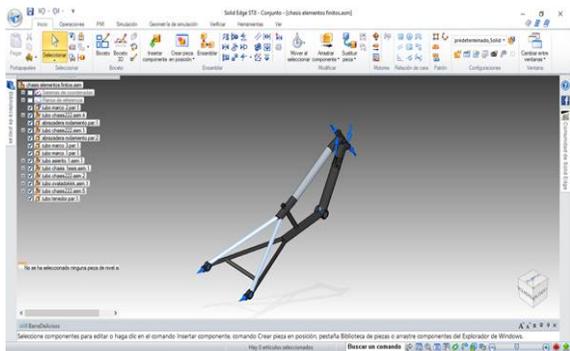


Ilustración 26. Dibujo de marco en programa Solid Edge. Autores.

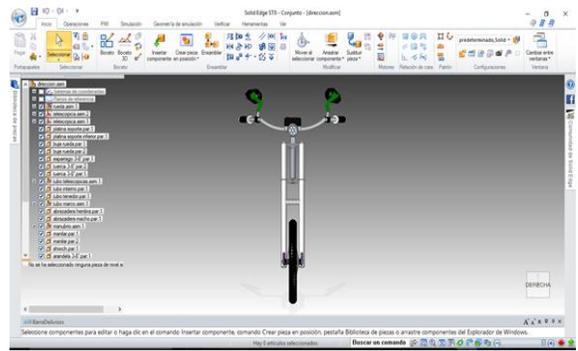


Ilustración 27. Dibujo de dirección en programa Solid Edge. Autores.

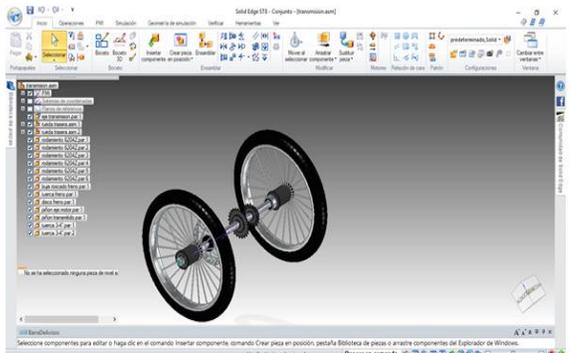


Ilustración 28. Dibujo de transmisión en programa Solid Edge. Autores.

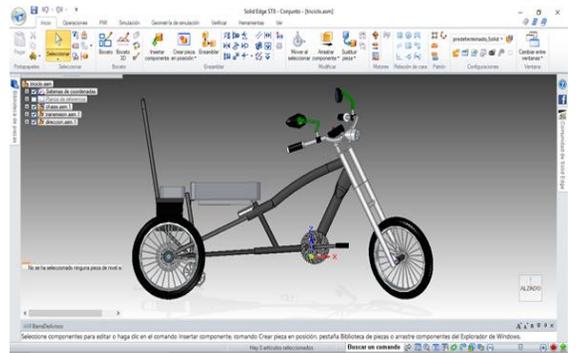


Ilustración 29. Dibujo de triciclo eléctrico estilo chopper en programa Solid Edge. Autores.

5.2. ANALISIS

Al tener el dibujo en Solid Edge, se procedió a realizar el guardado de las piezas en la extensión parasolid con el objetivo de abrir las piezas en el software Inventor. Este permite evolucionar los diseños 2D a un ambiente 3D y facilita la conexión de equipos de diseño con partes de fabricación, adicional este software cuenta con un módulo de estudio de esfuerzos integrado por ANSYS que me permite predecir como funcionara y reaccionara un determinado producto bajo un entorno real. ANSYS está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras.FEA

Este análisis consiste en un sistema de puntos llamados nodos los cuales constituyen la forma del diseño. Conectados a estos nodos están los mismos elementos finitos que forman la malla y contienen el material y las propiedades estructurales del modelo, la definición de cómo va a reaccionar a ciertas condiciones. La densidad de la malla de los elementos finitos puede variar a través del material, en función del cambio esperado en los niveles de estrés de un área en particular.

La ventaja de utilizar este software de simulación es que permite realizar el análisis matemático, calcula desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes dando las fuerzas máximas y mínimas del sistema a analizar.

Los resultados presentados a continuación se realizara por el método de teorías de fallas que indica el buen diseño de los materiales, este programa lo relaciona con una escala de colores dando valores en máximos y mínimos. Esto es llamado esfuerzo Von Mises.

El cálculo se realizó al eje llantas traseras y al chasis del triciclo.

5.2.1. Cálculo del eje llantas traseras

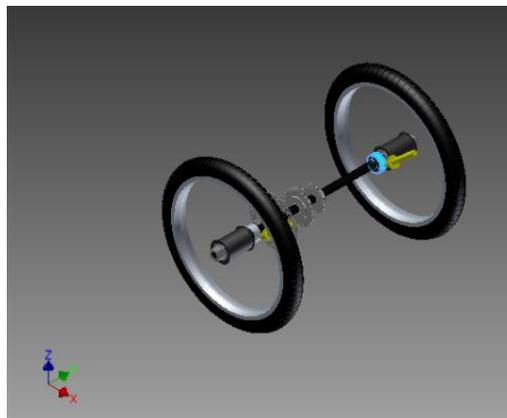


Ilustración 30. Fuerzas en el eje llantas traseras, cargas estáticas en Inventor. Autores

- Esfuerzos de Von Mises
- Los valores fueron:
- Esfuerzos mínimos: 0 MPa
 - Esfuerzos máximos: 220,077 MPa

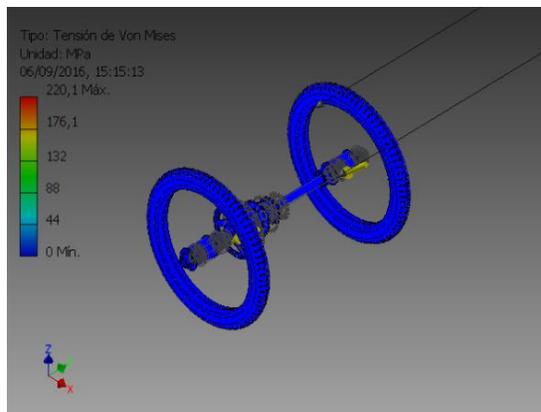


Ilustración 31. Resultado de los esfuerzos de Von Mises eje llantas traseras en Inventor primer plano. Autores

Este valor al compararlo con el límite elástico de nuestro material a utilizar que para este caso como ya se ha mencionado anteriormente (acero 4140) es quien me permite analizar si dentro de nuestro análisis existe la posibilidad de que se genere fractura para lo cual no es nuestro caso al comparar los resultados. Obteniendo un valor máximo de 220 MPa y para nuestro material de 392 MPa

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE				
Resistencia a la Tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox.
588 - 690	392	22	50	210 - 240

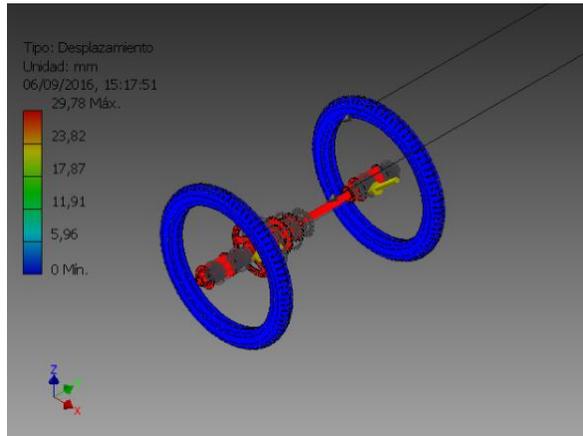
Ilustración 32. Propiedades acero 4140. Compañía general de aceros.

Desplazamiento

Los valores fueron:

Desplazamiento mínimo: 0 mm

Desplazamiento máximo: 26,686 mm

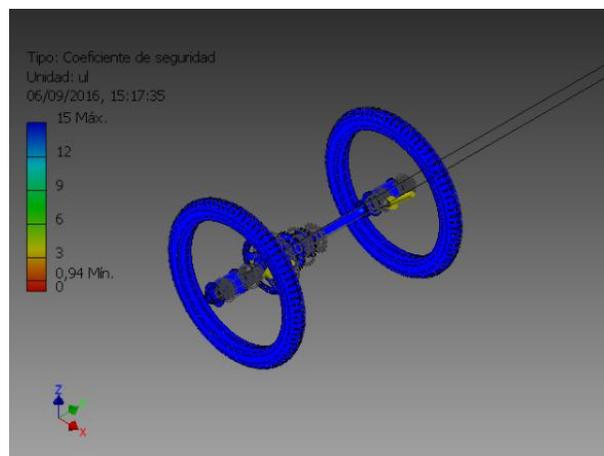


Ilustración 33. Resultado de desplazamiento eje llantas traseras en Inventor. Autores

- Coeficiente de seguridad

Los valores fueron:

- Coeficiente de seguridad mínimo: 0,940
- Coeficiente de seguridad máximo: 15



Ilustración 34. Resultado coeficiente de seguridad eje llantas traseras en Inventor. Autores

Un coeficiente de seguridad que podemos evaluar según la ilustración anterior con un mínimo de 0.94 el cual está muy cercano a 1 como valor mínimo a establecer dentro de los parámetros de seguridad.

5.2.2. Cálculo de chasis

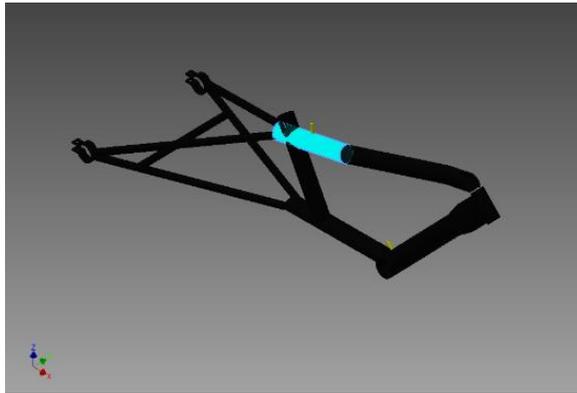


Ilustración 35. Fuerzas en el chasis, cargas estáticas en Inventor, primer plano. Autores

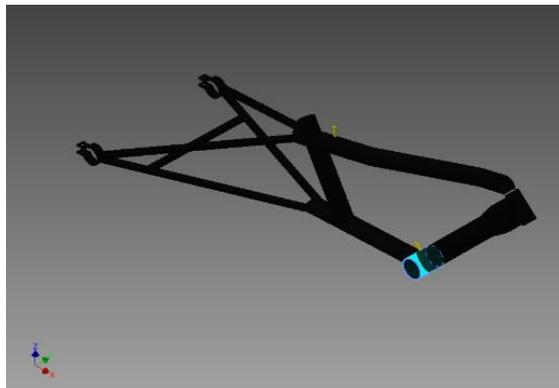


Ilustración 36. Fuerzas en el chasis, cargas estáticas en Inventor, segundo plano. Autores

- Esfuerzos de Von Mises

Los valores fueron:

- Esfuerzos mínimos: 0 MPa
- Esfuerzos máximos: 504,104 MPa

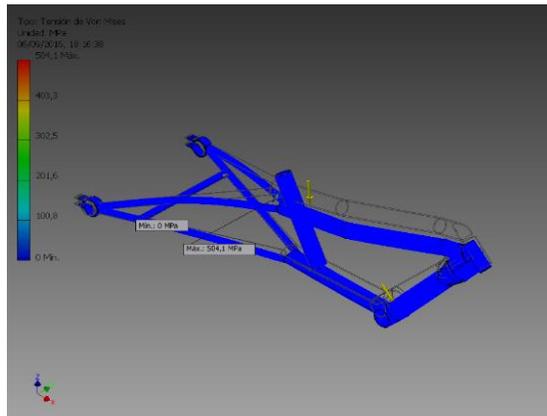


Ilustración 37. Resultado de los esfuerzos de Von Mises chasis en Inventor primer plano. Autores

Correspondiente a este análisis tomamos como en el caso anterior el valor arrojado como límite elástico de nuestro material y lo comparamos en fin de evaluar el valor arrojado por el programa INVENTOR, el cual observando no sobre pasa el mismo y es un valor favorable para nuestro ejercicio.

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE				
Resistencia a la Tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox
690 - 785	589	14	40	240 - 260

Desplazamiento

Los valores fueron:

Desplazamiento mínimo: 0 mm

Desplazamiento máximo: 0,551 mm

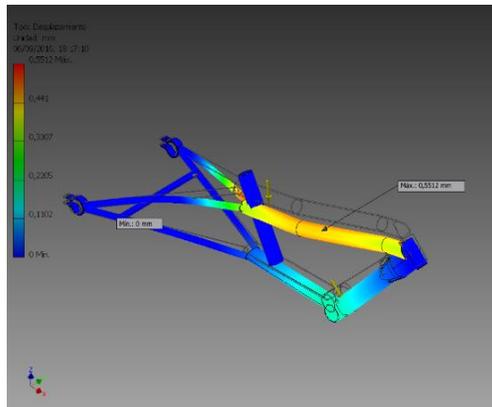


Ilustración 38. Resultado del desplazamiento chasis en Inventor primer plano. Autores

- Coeficiente de seguridad

Los valores fueron:

- Coeficiente de seguridad mínimo: 0,410
- Coeficiente de seguridad máximo: 15

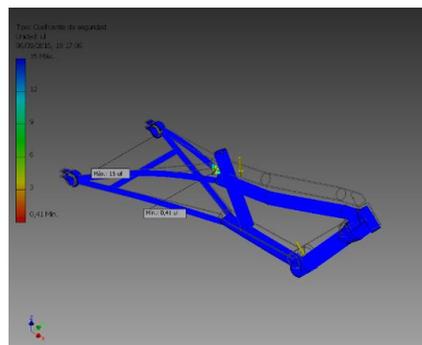


Ilustración 39. Resultado del coeficiente de seguridad chasis en Inventor primer plano. Autores

Evaluando los valores obtenidos procedemos a sintetizar ya que nos arroja un coeficiente de seguridad mínimo de 0,410 aunque debemos de tener en cuenta que este valor arrojado se encuentra evaluado por el software con cargas generadas directamente sobre una sola zona de la estructura lo que permite que evidentemente mi valor sea menor.

CONSTRUCCIÓN DE TRICICLO ESTILO CHOPPER Y PRUEBAS

5.3. FABRICACIÓN

Antes de empezar en este punto se procedió a tener en cuenta paramentos del diseño ejecutado y asignar pasos de fabricación por medio de un diagrama de flujo.

CONVENCIONES						
○	OPERACIÓN	◻	OPERACIÓN COMBINADA			
◻	INSPECCIÓN	⇒	TRANSPORTE			
▽	ALMACENAMIENTO					
DESCRIPCIÓN						
ITEM	ACTIVIDAD	○	◻	▽	◻⇒	⇒
1	COMPRA DE LOS MATERIALES	*				
2	ALISTAMIENTO DE MATERIALES	*				
3	MARCACIÓN DE LOS TUBOS	*				
4	VERIFICACIÓN DEL MARCADO	*	*			
5	CORTE DE LOS TUBOS POR SEGUETA	*				
6	TRANSPORTE AL DOBLADO					*
7	CURVADO DE LOS TUBOS	*				
8	TRANSPORTE AL PROCESO DE SOLDADURA					*
9	PREPARACIÓN DE LOS BORDES PARA SOLDAR	*				
10	APLICAR PORCESO DE SOLDADURA					*
11	LIMPIEZA Y PINTURA DE LA ESTRUCTURA	*				
12	INSTALACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL TRICICLO	*				
13	ISNTALACIÓN DE LOS MECANISMOS	*				
14	INSTALACIÓN DE FRENOS					*
15	FABRICACIÓN DEL CONTROL ELÉCTRICO DEL TRICICLO					*
16	INSTALACIÓN DE CABLEADO ELÉCTRICO	*				
17	INSTALACIÓN DE LAS BATERIAS.	*				
18	REALIZACIÓN DE PRE-PRUEBAS.	*	*			
19	INSTALACIÓN DE LAS SILLAS	*				
20	PRUEBAS FINALES	*				
21	ALMACENAMIENTO DEL TRICICLO			*		

Tabla 11. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores

Para la construcción y fabricación de dicho modelo se utilizó las siguientes maquinas:

- Taladro percutor
- Equipo de soldadura MIG
- Sierra para corte
- Equipos y herramientas manuales

Se adquirió los elementos convencionales de una bicicleta:

- Plato
- Dirección
- Manillares
- Baterías
- Motor reductor
- Piñones
- Rodamientos
- Cadenas
- Espejos
- Llantas
- Kit de acelerador
- Convertidor de voltaje
- Materiales de fabricación

Descripción de la fabricación del triciclo

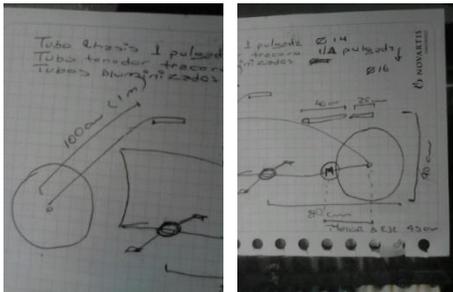


Ilustración 40. Bocetos preliminares. Autores

Boceto: Se construyó un boceto preliminar el cual permitió tener una idea inicial y acoger algunas de las sugerencias emitidas por el tutor.

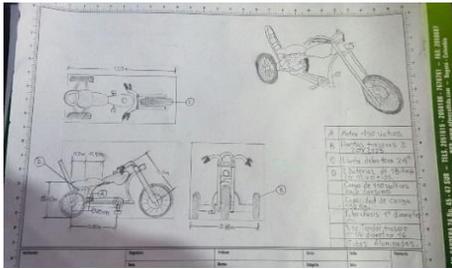


Ilustración 41. Creación de planos. Autores

Planos: Se elabora planos a mano alzada y se continua con la ejecucion en solid edge.



Ilustración 42. Corte y doblado de materiales. Autores

Medición, corte y doblado de materiales: para este paso se seleccionaron los materiales con las especificaciones requeridas para la construcción del chasis del triciclo lo cual se debió a una debida investigación y correcta selección. Continuo a esto se procedió a realizar los cortes pertinentes y un calentamiento de dichas piezas que se requieren doblar obedeciendo el diseño estructural del triciclo.



Ilustración 43. Proceso de soldado. Autores

Soldado: se procede a unir las piezas que se requieren para establecer el chasis o marco del triciclo utilizando soldadura MIG que nos proporciona una soldadura resistente y un acabado de calidad.



Ilustración 44. Mecanizados en ejes. Autores

Mecanizado: se elaboró mecanizados en diferentes puntos o ejes del triciclo con el fin de poner realizar la unión y adaptación de otras partes que involucra esta acción, para ello también se debió contar con la fabricación de partes requeridas.



Partes comerciales: se adquiere diferentes partes de carácter comercial, adaptadas e instaladas según disposición del mercado, teniendo en cuenta que dentro de la fabricación estas medidas se contemplaron a fin de poder realizar una correcta instalación.

Ilustración 45. Partes comerciales. Autores



Pintura: Se realiza el proceso con pintura electroestática garantizando el adecuado cubrimiento de las piezas con sus respectivos acabados.

Ilustración 46. Pintura. Autores



Adecuación y adaptación: adaptación de las piezas complementarias a la estructura del triciclo a fin de dar por culminado el proceso de selección con los materiales comerciales conseguidos en el mercado.

Ilustración 47. Ensamblaje. Autores



Resultado final: después de realizar una correcta disposición de los materiales y finalizar con los acabados teniendo en cuenta las conexiones eléctricas y su proceso de prueba, obtenemos un resultado

5.3.1. Corte de los tubos y preparación de los Extremos.

Para el proceso de la unión de los tubos se optó por soldadura por tal razón fue necesario consultar los procesos de corte de los tubos,

En general, los procedimientos de soldadura se pueden ser utilizar de la misma forma que para los perfiles abiertos de acero. Los perfiles tubulares circulares se pueden unir mediante soldaduras en ángulo, si la relación entre los diámetros de las secciones a unir no excede de 0,33, y si la separación a soldar no es mayor de 3 mm. Para relaciones mayores, la soldadura puede cambiar uniformemente, a lo largo de la curva de unión, desde soldadura en ángulo hasta soldadura a tope, o se puede emplear soldadura a tope en el perímetro completo [24]

En los dos primeros casos sólo se necesita un corte para cada extremo. Para las uniones con solape parcial, hay que darles un corte doble o en inglete. En la medida de lo posible, se deberán utilizar perfiles tubulares cuadrados o rectangulares; de esta forma se pueden conformar los extremos de forma similar a las secciones abiertas (corte plano). [24]

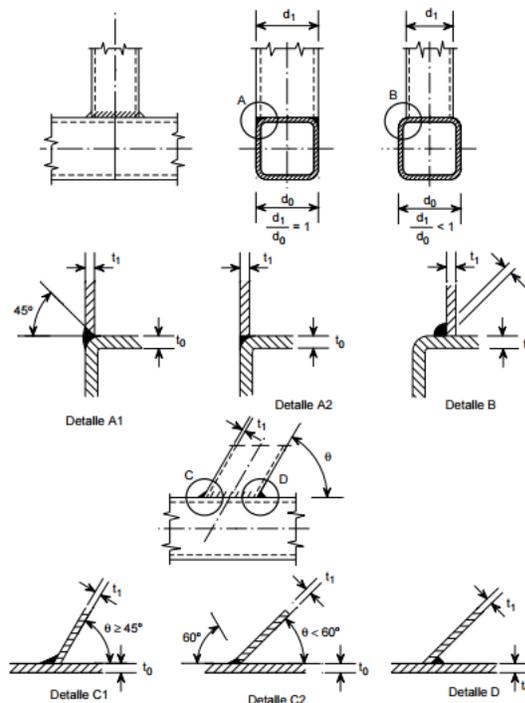


Ilustración 49. Detalles de soldadura en un nudo de perfiles tubulares. Tomada del Instituto de la Estructura en Acero

Pueden seleccionarse los perfiles tubulares circulares, cuando sean especialmente decisivos los criterios de flujo aerodinámico o de flujo de un fluido en el proyecto. Los extremos de tales perfiles se tienen que conformar “en forma de silla de montar” para poder hacer las uniones apropiadas. La conformación del extremo se puede realizar mediante ranurado, limado, corte doble del extremo, corte manual con soplete [24]

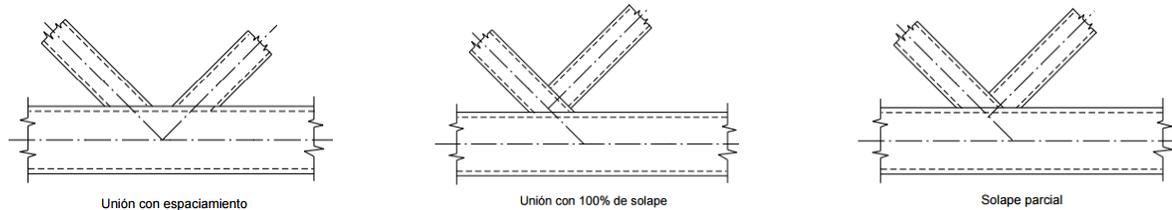


Ilustración 50. Uniones con espaciamento y solape. Tomada del Instituto de la Estructura en

Acero

5.3.2. Soldadura

Soldadura de estado sólido, en la cual se usa calor o presión o ambas para obtener la fusión, pero los metales base no se funden ni se agrega un metal de aporte. Soldadura metálica con arco eléctrico y gas o Soldadura MIG (metal inert gas) es también conocida como Gas Arco Metal o MAG La soldadura metálica con arco eléctrico y gas. SMAEG (en inglés gas metal arc welding, GMAW) es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona inundando el arco eléctrico con un gas. El alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura En la GMAW se usan diámetros de alambre que van desde 0.8 a 6.4 mm, el tamaño depende del grosor de las partes que se van a unir y la velocidad de deposición deseada. [25] La elección de este proceso de soldadura se realizó porque este proceso permite soldar en todas las posiciones, tiene una buena apariencia o acabado, poca formación de gases contaminantes, tóxicos y tiene excelente calidad; en otras palabras, se puede depositar grandes cantidades de metal (tres veces más que con el proceso de electrodo revestido). Para este proceso fue necesario contar con una persona con experiencia y habilidad.

5.4. PRUEBAS

Al finalizar el proceso de ensamble y fabricación del triciclo eléctrico se procede a realizar pruebas de funcionamiento en cuanto el sistema de transmisión, sistema de dirección y sistema de frenado.

5.4.1. Pruebas del sistema de transmisión de potencia

Consistió en comprobar la capacidad de y funcionamiento del motor cuando el triciclo estaba en plena carga y verificar su máxima velocidad.

Se simuló la carga del copiloto (30kg) más el peso del piloto (80kg, el piloto contaba con un peso de 61 kg razón por la cual se agregó un peso muerto adicional de 19kg para la simulación del peso máximo del piloto). Se definió un punto de partida y se realizó la salida en conjunto con una motocicleta en una trayectoria recta de 46 metros, el objetivo de salir con la motocicleta es poder validar la velocidad tomada por la motocicleta y asignarla al triciclo. La velocidad adquirida en los 46 metros fue de 24 Km/h, esta distancia y velocidad se adquirió en 14 segundos.

Para validar la duración de las baterías y la resistencia del motor se realizó una trayectoria en plano y con ascensos desde la Avenida rojas con 26 hasta la Avenida ciudad de Cali con 38 (ver ilustración 47. Distancia recorrida por el triciclo eléctrico estilo chopper).

Durante este trayecto con una duración de 35 minutos se pudo observar en el control análogo que las baterías aún tenían el 70 % de la carga.

Se pudo realizar la prueba de pedaleo para verificar la decadencia de pedaleo y poder verificar el rendimiento del triciclo. Para hallar la decadencia fue necesario realizar una práctica la cuál consistió en contar los pedalazos por un periodo corto de 1 minuto. [26]

Formula

Decadencia = No. de pedalazos . (Distancia recorrida)

$$Decadencia = 102 \frac{\text{pedalazos}}{\text{minuto}} \cdot 2,635 \frac{m}{\text{pedalazos}} = 268,77 \frac{m}{\text{minuto}}$$

$$268,77 \frac{m}{\text{min}} = \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 16,13 \frac{km}{h}$$

En la tabla 12. Datos de prueba para hallar el rendimiento se podrá visualizar los resultados de las 5 pruebas realizadas para calcular el rendimiento del triciclo por pedaleo.

NÚMERO DE PRUEBAS	No. DE PEDALAZOS X 1 MINUTO	VELOSIDAD DEL TRICICLO POR PEDALAZOS (m/min)	VELOSIDAD DEL TRICICLO POR PEDALAZOS (k/h)
1	98	258,23	15,4938
2	105	276,675	16,6005
3	103	271,405	16,2843
4	105	276,675	16,6005
5	99	260,865	15,6519
PROMEDIO	102,00	268,77	16,13

Tabla 12. Datos de prueba para hallar el rendimiento. Autores

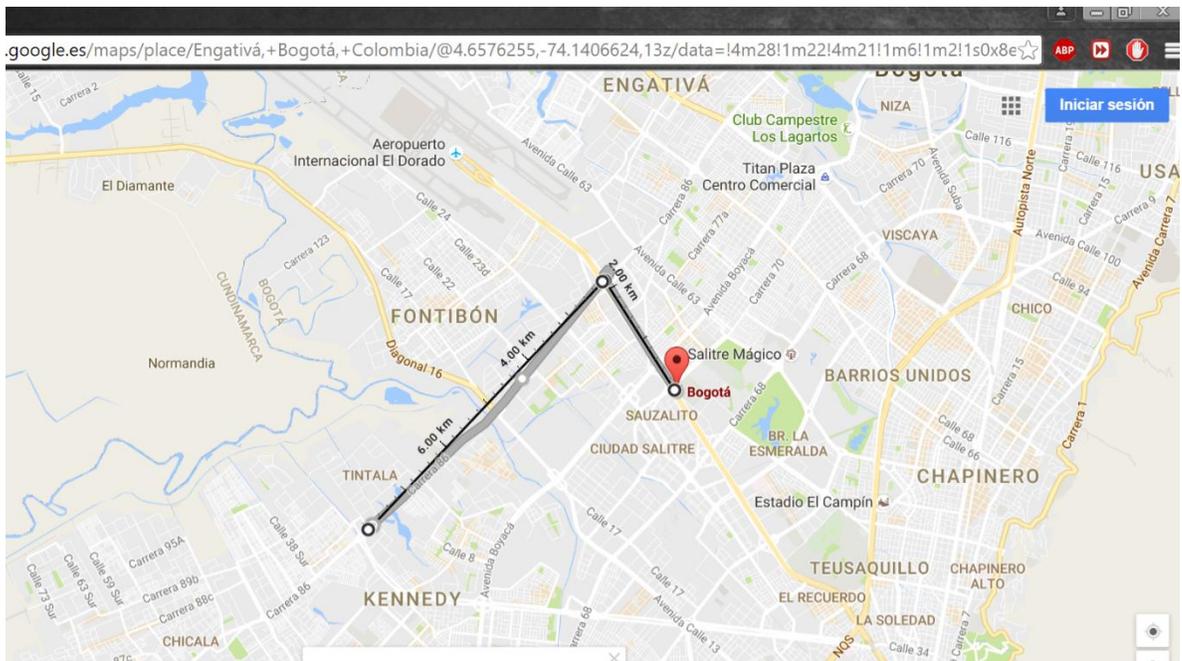


Ilustración 51. Distancia recorrida por el triciclo eléctrico estilo chopper. Ilustración tomada de Google Maps.

5.4.2. Pruebas del sistema de dirección

Se realizaron pruebas de zigzag tomando como guía la norma SAE:

Se ubicaron cuatro puntos de referencia a una distancia de 7,6 metros entre puntos como se puede observar en la ilustración 52. Pruebas de dirección del triciclo eléctrico estilo chopper.

Se contó con una distancia inicial de 46 metros para asegurar que el triciclo adquiriera la velocidad máxima (24 km/h)

Se procedió a tomar el tiempo que tardaba el piloto en pasar los puntos de referencia, teniendo una respuesta positiva sin problemas de volcamiento y teniendo una buena maniobrabilidad entre los puntos de referencia.

Esta prueba se realizó cinco veces para tomar un dato promedio. Ver tabla 13. Tiempo de la prueba del sistema de dirección.

NÚMERO DE PRUEBAS	TIEMPO (s)
1	4,8
2	5,2
3	4,8
4	4,9
5	5,3
PROMEDIO	5

Tabla 13. Tiempo de la prueba del sistema de dirección. Autores.

Analizando los resultados mostrados en la tabla, se puede decir que el vehículo puede recorrer una distancia de 30,4 metros, en la sección del zigzag en un tiempo promedio de 5 segundos.



Ilustración 53. Pruebas de dirección del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores

Convenciones

↓ Puntos de referencia

★ Posición de salida del triciclo.

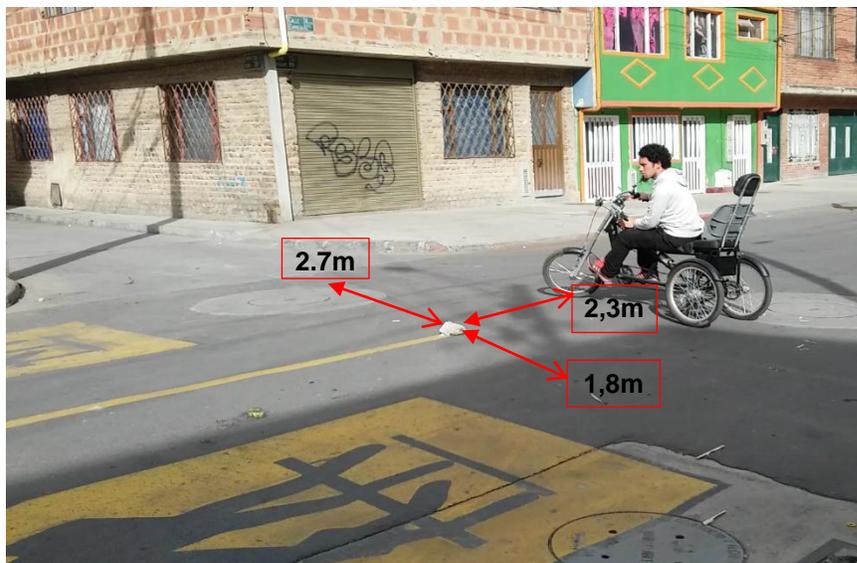


Ilustración 54. Pruebas de radio de la dirección del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores

5.4.3. Pruebas del sistema de frenos

Esta prueba también se tomó como referencia la norma SAE:

Se ubicaron tres puntos de referencia

El primer punto de referencia se llamara zona de aceleración, este se ubica a una distancia de 50 metros desde el punto de partida del triciclo para poder alcanzar la velocidad de los 24 km/h.

El segundo punto de referencia se ubicó a 6,75 metros, distancia que el triciclo debe cruzar en menos de 1.5 segundos.

El tercer punto se ubicó a 4 metros, este es el punto de referencia en el que el triciclo debe de frenar antes de llegar a este punto.

Para esta prueba también se tomaron 5 mediciones como se evidencia en la tabla14:

NÚMERO DE PRUEBAS	TIEMPO (s)	DISTANCIA DE FRENADO (m)
1	1,3	3,5
2	1,4	3,7
3	1,2	3,5
4	1,3	3,6
5	1,2	3,4
PROMEDIO	1,28	3,54

Tabla 14. Tiempo y distancia del frenado del triciclo eléctrico. Autores.

Se realizaron dos pruebas iniciales en las cuales el triciclo realizaba el frenado en los 4 metros, estando en la distancia máxima de frenado, razón por la cual se procede a intervenir los frenos realizando ajustes en las guayas. Para posteriormente realizar nuevamente las pruebas que son las registradas en la tabla 14. Tiempo y distancia del frenado del triciclo eléctrico.

El triciclo cruza los últimos dos puntos de referencia en un tiempo promedio de 1.28 segundos y tiene una distancia de frenado de 3.54 m, estando dentro del límite (4m).

6. DESCRIPCIÓN Y PRECIO DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS USADOS EN EL PROYECTO

- Características de la transmisión del Triciclo

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Motor	Motor reductor que funciona con una alimentación de 24V	 <p><i>Ilustración 55: Motor. Autores</i></p>
Piñón	Piñón fijo de 10 dientes en acero	 <p><i>Ilustración 56: Piñón motor. Autores</i></p>
Engrane	Rueda conducida de 18 dientes en acero tipo spoch	 <p><i>Ilustración 57: Piñón eje motor. Autores</i></p>
Cadena	Fabricada en acero con un paso de 13mm equivalente a la norma DIN8187 a Ref: 08B-1	

Tabla 15: tren de potencia del motor

- Transmisión del eje

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Cadena	Fabricada en acero con un paso de 13mm equivalente a la norma DIN8187 a Ref: 084	

Plato	Disco de 44 dientes en acero cromado utiliza dos bielas fabricadas en acero para su desplazamiento.	 <p><i>Ilustración 58. Piñón trasmisor. Autores</i></p>
Piñón	Rueda conducida de 24 dientes en acero con sistema spoch	 <p><i>Ilustración 59. Piñón transmitido. Autores</i></p>

Tabla 16: transmisión del sistema. Autores

- Sistema Eléctrico

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Baterías	<p>Posee dos baterías TS-ON020A 12V de litio recargable, 20Ah 12V ideal para desplazamiento en la ciudad. Mantiene una autonomía de hasta 40 Km en condiciones normales.</p> <p>Medidas: (largo x ancho x alto): 21cm x 15cm x 10cm</p> <p>Peso: 1,5 Kg por cada una para un total de 3 Kg</p>	 <p><i>Ilustración 60. Batería. Autores</i></p>
Cargador	Sistema inteligente de 1 a 5 horas de carga dependiendo la descarga del mismo, una vez cargadas las baterías pasan a un estado de carga flotante para no sobrecargar el cargador, viene con conexión a 110V que es el que rige una toma corriente doméstica.	
Kit de aceleración	Universal de 24V posee los dos manillares siendo uno de ellos el que genera la aceleración del vehículo.	

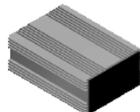
		<i>Ilustración 61. Manillar. Autores</i>
Caja de distribución	Fabricada en PVC negro con distribución para el encendido del vehículo, encendido de la luz led y visor de voltaje análogo para verificar la carga de las baterías.	 <i>Ilustración 62. Caja swich. Autores</i>
Luz led	De 24 volt según requerimiento de la normatividad colombiana	 <i>Ilustración 63. Luz. Autores</i>
Convertidor de voltaje	Sistema que convierte la tensión de la corriente continua (12V) en un voltaje simétrico de corriente alterna para el momento que se requiere realizar la carga de la batería a 110V	 <i>Ilustración 64. Control eléctrico. Autores</i>

Tabla 17: Sistema eléctrico. Autores

- Sistema de Frenos

El sistema de frenos instalado dentro del vehículo debe permitir tener una maniobrabilidad con capacidad de detener el vehículo en no más de 4m en una línea razonablemente recta cuando se viaje a una velocidad de 24 km/h que es lo establecido en condiciones normales en una bicicleta eléctrica. Lo anterior supone una exposición significativa de los usuarios y peatones, la utilización de estas bicicletas exige un sistema de frenos compatible con sus características, debido al alcance de velocidades superiores a las convencionales.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Freno tipo V-brake	Instalado en la rueda delantera con gran potencia de frenado sin ejercer gran fuerza sobre las maniguetas	 <i>Ilustración 65. Freno V-brake. Imagen tomada de http://www.ciclotraveling.com/wp-content/uploads/2013/07/V-brake.jpeg</i>

Freno de disco	Mayor eficiencia en el frenado, permitiéndonos gran capacidad en el frenado y más ligeros que los V-brake	 <p data-bbox="1094 436 1458 491"><i>Ilustración 66. Disco freno. Autores</i></p>
----------------	---	--

Tabla 18: sistema de frenos

- Selección de Ruedas

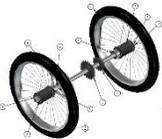
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN				
Llanta	<p>Se utilizan tres llantas de Ref 20 x 2.125 en aluminio con rayos para carga lo que nos permite mayor resistencia en las vías en caso de terrenos difíciles.</p> <table border="1" data-bbox="522 865 1019 989"> <tr> <td data-bbox="522 865 641 932">RU2680</td> <td data-bbox="641 865 1019 932">Rueda delantera MTB 20X2.125 aluminio</td> </tr> <tr> <td data-bbox="522 932 641 989">RU4660</td> <td data-bbox="641 932 1019 989">Rueda trasera MTB 20X2.125 aluminio</td> </tr> </table>	RU2680	Rueda delantera MTB 20X2.125 aluminio	RU4660	Rueda trasera MTB 20X2.125 aluminio	 <p data-bbox="1052 884 1386 911"><i>Ilustración 67. Ruedas. Autores</i></p>
RU2680	Rueda delantera MTB 20X2.125 aluminio					
RU4660	Rueda trasera MTB 20X2.125 aluminio					

Tabla 19: Ruedas

6.2. PRECIOS DE LAS PARTES DEL TRICICLO

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	VALOR
1 Und.	Cargador de batería	110V a 24V – 4A	\$120.000
2 Und.	Ruedas	20 X 2,125 rines en aluminio con radios de carga de doble hombro	\$224.000
1 Und.	Rueda	20 X 2125 rin en acero	\$56.000
1 Und.	Marco	Ovalado de 2" diámetro calibre 16	\$120.000

1 Und.	1 Motor-reductor	450 W – entrada 450rpm a 250 rpm	Los integrantes contaban con el motor
2 Und.	Baterías	12V – 18A	\$177.000
1 Und.	Control eléctrico	(Medidor de amperaje analogo. Interruptor, suiche)	\$25.000
	Cadena	Paso 4:20	\$15.000
	Cadena		\$10.000
1 Und.	Piñón	18 dientes	\$15.000
1 Und.	Piñón	24 dientes	\$20.000
1 Und.	Eje trasero	Acero 4140 de 7/8"	\$500.000
4 Und.	Rodamientos	6204	\$13.000
1 Und.	Silla	Con espuma ortopédica de alta densidad con lona reforzada.	\$70.000
1 Und.	Espejos	Convencional	\$15.000
1 Und.	Farola	Luz led	\$25.000
2,8m	Tubo redondo	½" diámetro material aluminado calibre 16	\$98.000
1 Und.	Manubrio	Convencional	\$24.000
1 Und.	Caña	GW 1600	\$20.000
1 Und.	Freno de disco	DHL	\$90.000
2 Und.	Zapatillas con manillares	Convencional	\$24.000
1 Und.	Guaya	Con funda de 1,8m	\$5.000
1 Und.	Guaya	Con funda de 1,2m	\$3.000
1 Und.	Pedal, centro y palto	Convencional	\$50.000
1 Und.	Tenedor	Harmmer	\$35.000
3 Und.	Guarda barras	Plásticos	\$25.000
2 Und.	Manillares	Convencional	\$60.000
1 Und.	Conector	3 pines de lengua ancha	\$5.500
1 Und.	Conector	3 pines de lengua delgada	\$5.500
TOTAL			\$1.850.000

Tabla 20. Precio de las partes principales del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores

6.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRICICLO ELÉCTRICO ESTILO CHOPPER



Ilustración 68. Prototipo final del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores

COMPONENTES	ESPECIFICACIONES
Modelo	2016
Máxima velocidad	24 Km/h
Potencia del motor-reductor	450 W
Baterías secas	2 Baterías 12V – 18A
Freno delantero	V-brake
Freno trasero	Disco DHL
Voltaje cargador	Conexión a 110 V
Tamaño del cuerpo	1080 mm X 873 mm X1920 mm
Ruedas	20 X 2,125 con radios de carga de doble hombro
Peso del triciclo sin carga	52 kg
Tiempo de carga	6 a 8 horas
Luz	Farola delantera luz led

Tabla 21. Especificaciones técnica comerciales del triciclo eléctrico chopper. Autores

7. CONCLUSIONES

- Se diseñó un el prototipo de triciclo eléctrico estilo chopper mediante una calificación de las diferentes alternativas de los sistemas más relevantes del triciclo, para facilitar el manejo de la información consultada por medio de catálogos y libros se establecieron tablas de evaluación facilitando de forma sistemática la toma de decisión. Como parte de la elaboración del diseño preliminar se tomó como referencia lo expuesto en el libro Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel. 8 ed
- Se pudo construir la estructura del triciclo y el ensamble de sus componentes. Antes de su construcción fue necesario realizar esquemas o bosquejos para dar un acercamiento a la realidad y lo que se tenía en la mente de los autores del presente trabajo. Al realizar esta actividad fue necesario realizar los planos expuestos en el software Solid Edge y realizar el análisis de elementos Finitos (FEA), tanto de la estructura y el eje trasero del triciclo por medio del software Inventor.
- En las pruebas se pudo evidenciar que el triciclo fue capaz de soportar y transportar el peso que se tenía proyectado de 110 kg entre el piloto y el copiloto.
- Se elaboró la ficha técnica final del triciclo eléctrico estilo chopper con su respectivo manual de operación y mantenimiento mínimo requerido para asegurar su funcionamiento en el tiempo.
- Se realizaron cálculos estáticos y dinámicos teóricos y prácticos permitiendo tener en cuenta cada una de las consideraciones obtenidas por medio de estos, ya que es de gran importancia al momento de la ejecución de la fabricación del vehículo. Teniendo en cuenta que para los cálculos estáticos se realizaron análisis por medio de elementos finitos permitiéndonos analizar la estructura por medio del software *INVENTOR* que permitió conocer a cabalidad los esfuerzos a los que iba a ser sometido el mismo y los posibles puntos de fatiga y con esta particularidad realizar las pruebas pertinentes dinámicas que garantizaran un desempeño óptimo en el vehículo.

De esta forma se logró analizar y comparar por medio del CAE de elementos finitos y los cálculos realizados de forma manual teniendo un resultado positivo para el vehículo. Nos permitió llegar a cabalidad a los diámetros de nuestro eje arrojando un diámetro de 16mm y 17mm como requerimiento y llevado a un diámetro comercial instalado de 20 mm el cual

cumple y se encuentra dentro las medidas acordes para soportar las cargas generadas en él, así como su respectiva selección de rodamientos.

En los cálculos de los frenos se obtuvo una distancia de frenado teórico 3,77 m y en los resultados de las pruebas fue de 3,54 m estando dentro de la norma.

En la transmisión por pedaleo se obtuvo una relación de 2 por cada vuelta que da el plato de 44 dientes el piñón de 22 dientes da dos vueltas. Dentro de esta distancia de recorrido se obtuvo que por cada pedalazo del piloto el triciclo avanza 2,63 m y una velocidad de 16,13 km/h.

- Durante los cálculos de fuerza de resistencia que debía vencer el motor se tenía cierta incertidumbre en la capacidad del motor ya que la fórmula teórica arrojaba una potencia de 496,17 W y se contaba con un motor de 450 W. Pero en las pruebas realizadas se pudo observar que el motor funciona perfectamente aun haciendo pruebas en una pendiente (puente de la Avenida Boyacá con avenida 26 en la ciudad de Bogotá). Dentro de esta misma prueba se pudo evidenciar la autonomía de la batería dando un recorrido de 35 minutos el consumo fue de un 30% de lo cual podríamos concluir que la carga de las dos baterías tiene una autonomía de aproximadamente 2 horas.
- Teniendo en cuenta los datos mencionados anteriormente vale la pena resaltar que a pesar de que los resultados obtenidos en cuanto a la autonomía de las baterías es favorable, debemos de plantear cuando se requiera desplazamientos largos ya que se debe de apoyar en la tracción humana y para esto contemplar que dentro de las futuras posibles mejoras al vehículo se debe instalar una relación de piñones en el sistema de transmisión, ya que el actual mono plato acarrea que el desplazamiento en pendientes se dificulte cuando no utilizamos la asistencia del motor, teniendo en cuenta que el peso del vehículo y del pasajero queda en virtud del conductor.
- El realizar la búsqueda la reglamentación existente en Bogotá e incluso a nivel Nacional fue complicado, a pesar de que esta dentro del plan de movilidad de Bogotá la reglamentación es bastante ambigua en bicicletas eléctricas, se tuvo en cuenta el proyecto de acuerdo 188 de 2011 donde solo estipula como restricción que las bicicletas eléctricas no supere los 25 km/h, velocidad que cumple el triciclo eléctrico realizado.
- En búsqueda de realizar las pruebas de funcionamiento del triciclo fue un tema complejo ya que en Colombia no se tiene aún estandarizado el uso de bicicletas eléctricas. Lo que se tiene en normatividad hoy en día es: la resolución número 3158 de 2007 “Por la cual se expide el reglamento

técnico de emergencia para los juguetes, sus componentes y accesorios, que se comercialicen en Colombia”⁵, esta resolución excluye las bicicletas, salvo las que posean un sillín cuya altura máxima regulable sea de 635 mm.

Continuando en la búsqueda se consultó el nuevo proyecto de ley del código Nacional de Tránsito y solo se obtuvo la siguiente definición “bicicleta eléctrica: vehículo de dos (2) ruedas en línea, el cual puede desplazarse por el esfuerzo muscular de la persona que la ocupa por medio de pedales y/o por medio de un motor eléctrico el cual se desconecta a partir de una velocidad de 30 km/h restringida desde fábrica. Estas estarán sujetas a las mismas normas que se expidan para las bicicletas”⁶ En este proyecto de ley se observa que se incrementa la velocidad máxima en 5 km/h, velocidad que cumple el triciclo fabricado. Continuando en las búsquedas las normas de referencia expedidas para las bicicletas hablan sobre el uso del casco de seguridad, la luz delantera (la cual tiene el triciclo), y los elementos reflectivos por parte de ciclista. Esta resolución y ley no reglamenta las características técnicas de la bicicleta, razón por la cual se buscó normas internacionales para validar estas pruebas, en estas investigaciones se tuvo en cuenta la ISO 4210 de 2014 la cual estandariza los requerimientos de seguridad y habla sobre las pruebas al frenado y la dirección, esta norma habla de la bicicleta propulsada por pedales, por consiguiente se usó como referencia de las pruebas la norma SAE Supermileage ya que se instaló un motor eléctrico y es claro que la respuesta de frenado por pedaleo va a ser distinta a la del motor eléctrico.

⁵ Resolución 3158 de 2007

⁶ Proyecto de ley del código Nacional de Tránsito

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dinero, «Bogotá, ejemplo mundial de las dos ruedas,» *DINERO* , 23 Mayo 2015.
- [2] J. P. B. A. M. G. Mónica de Greiff, «¿Como mejorar la movilidad de los Bogotanos?,» Camara de Comercio y Universidad de los Andes, Bogotá, 2015.
- [3] *Ley 769 Código Nacional de Transito Terrestre*, 2002.
- [4] *Resolución 009 Por meio de la cuál se expide normas relacionadas con el transito de vehículos no automotores*, 2002.
- [5] *Proyecto de acuerdo 188 Por medio del cual se insta a la administración distrital a reglamentar el uso de las bicicletas eléctricas en la red de ciclorutas de la ciudad de Bogotá*, 2011.
- [6] PUBLIMOTOS, «PUBLI MOTOS,» FEBRERO 2016. [En línea]. Available: http://www.ambitojuridico.com/BancoConocimiento/N/noti-121218-08_bicicletas_electricas_deben_estar_matriculadas_y_tener_soat_mi/noti-121218-08_bicicletas_electricas_deben_estar_matriculadas_y_tener_soat_mi.asp.
- [7] N. Cross, «Engineering design methods.,» de *Strategies for product design. 4 ed*, Chichester- Inglaterra, John Wiley & Sons Ltda, 2000.
- [8] E. Bricks, «<http://blog.electricbricks.com/2011/03/triciclos/>,» Electric Bricks, 2011.
- [9] E. P. Degarmo, *Materiales y proceso de fabricación Vol. 1*, Barcelona: Reverté S.A., 2002.
- [1 A. Rodriguez, «Latino.bike,» Latino.bike, 2015.
0]
- [1 K. y. José, «LaBicikleta.com (<http://labicikleta.com/acerca-de/>),» la , 2016.
1]
- [1 E. d. t. d. potencia, «Elementos de transmisión de potencia,» Desconocida,

2] Desconocida, 2012.

[1 L. H. O. Gil, «Diseño de accionamientos y transmisiones de máquinas,»
3] Pereira, 1993.

[1 R. G. B. y. J. K. Nisbett., «Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel. 8 ed.,»
4] Mexico, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2008, p. 5 a 7.

[1 «Rango de estaturas promedio de los colombianos,» *El Tiempo*, p. 1, 17
5] Octubre 2013.

[1 E. Piro, «Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura,» Universidad
6] Nacional de La Plata, Argentina, 2012.

[1 J. A. A. Cebrian, Mecánica y entretenimiento simple del automóvil, España:
7] División genral de trafico, 2013.

[1 G. CARBAJAL, «INFLUENCIA DE LA ERODINAMICA EN EL RENDIMIENTO
8] DEL CICLISMO,» 2008.

[1 W. D. Gordon, *Bicycling Science*, 3rd ed. p. 197,, Cambridge: Massachusetts
9] Institute of Technology, 2004 Cambridge.

[2 M. d. produccion, «Instituto Nacional de Tecnologia Industrial,» 2012. [En
0] línea]. Available: <http://www.inti.gov.ar/>. [Último acceso: 10 Agosto 2016].

[2 S. G. S. R. Juan Sebastian Osorio, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN
1] PEDAL DE BICILCETA BASADO EN SENSORES PIEZORRESISTIVOS
PARA DETERMINAR LA FUERZA RESULTANTE,» Escuela de Ingenieria de
Antioquia- Universidad CES, Medellin, 2007.

[2 J. L. S. R. García, «Frenado de vehículos,» 13 Febrero 2013. [En línea].
2] Available: http://apps.sel.inf.uc3m.es/isva/fbrake/wp-content/uploads/2014/03/4-simulacion-fbrake-en-vi-con-sistemas-de-frenado-hidraulico-o-mixto_jose-luis-san-roman.pdf. [Último acceso: 2 Agosto 2016].

[2 D. Megan, «Sistema de frenos,» 2014. [En línea]. Available:
3] <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-1.htm>. [Último acceso: 2 Agosto 2016].

[2 I. T. d. I. E. e. Acero, Marzo 2015. [En línea]. Available:
4] http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documenta

cion/itea/TOMO15.pdf. [Último acceso: Marzo 2015].

- [2 U. -. F. d. C. y. Tecnología., «Facultad de Ciencias y Tecnología.,» Febrero
5] 2013. [En línea]. Available: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/techo-II/PDF/cap-43.pdf>. [Último acceso: Marzo 2015].
- [2 kabish, «Calculando la velocidad de la bicicleta,»
6] <https://kabish.wordpress.com/2007/10/26/calculando-la-velocidad-de-la-bici/>,
No dato, 2007.
- [2 J. A. V. Angulo, Analisis y diselo de piezas de maquinas con CATIA V5
7] (metodo de elementos finitos), Barcelona: MARCOMBO S.A., 2012.
- [2 A. M. C. S. J. M. C. SÁNCHEZ, «Modelado y Simulación Dinámica de
8] Vehiculos de Competición,» Valencia, 2010.
- [2 C. A. R. Piedrahita, Dinamica de tracción del automovil., Pereira: Universidad
9] Tecnológica de Pereira, 1995.

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Tipos de aros. Tomada de http://todobici.com.es/18-llanta/</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2. Tipos de frenos. Tomada de http://labicikleta.com/11-tipos-de-freno-para-bicicleta/</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3. Criterios de evaluación del chasis. Autores</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Criterios de evaluación de las ruedas. Autores</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5. Criterios de evaluación de los frenos. Autores</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6. Criterios de evaluación sistema de transmisión y potencia. Autores</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7. Dimensiones generales del triciclo. Autores</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 8. Masa del triciclo eléctrico sin pasajeros. Autores</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Masa del triciclo eléctrico con carga. Autores</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 10. Fuerza de resistencia a la pendiente. Autores</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 12. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 12. Datos de prueba para hallar el rendimiento. Autores</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 13. Tiempo de la prueba del sistema de dirección. Autores.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 14. Tiempo y distancia del frenado del triciclo eléctrico. Autores.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 14: tren de potencia del motor</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 14: transmisión del sistema. Autores</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 15: Sistema eléctrico. Autores</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 16: sistema de frenos</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 17: Ruedas</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 18. Precio de las partes principales del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 20. Especificaciones técnica comerciales del triciclo eléctrico chopper. Autores</i>	<i>93</i>

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Plano de dimensiones de ciclorutas en Bogotá. Tomada del plan maestro de ciclorutas de Bogotá</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2. Diseño estructura tipo delta. Autores</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 3. Diseño estructura tipo Tadpole. Autores</i>	<i>22</i>
<i>Dentro de los motores se tiene: motores eléctricos, máquinas de combustión interna, motor hidráulico, turbinas y máquina de vapor. De estas propuestas se tomaran de estudio los motores eléctricos dando el enfoque y los objetivos del presente trabajo, los cuales se presentaran en la Ilustración 4. Motores usados en las bicicletas eléctricas.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 5. Motores usados en las bicicletas eléctricas. Imagen tomada de http://vehiculoselectricos.nichese.com/motorbicicleta.html</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 6. Fases e interacciones del proceso de diseño. Tomada de Diseño en Ingeniería mecánica de Shingel</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 7. Esquema de la posición del piloto y el pasajero (medidas aproximadas). Autores</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 8. Esquema inicial de la ubicación de los componentes del triciclo. Autores.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 9. Ubicación del centro de gravedad triciclo. Autores</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 10. Plano triciclo eléctrico completo. Autores</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 11. Chasis triciclo eléctrico. Autores</i>	<i>39</i>

<i>Ilustración 12. Triciclo. Autores</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 13. Factor de corrección por temperatura. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 14. Factor de corrección por superficie. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 15. Confiabilidad funcional. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 16. Kf para chaflanes de hombros. Tomado de diseño de máquinas Aaron D. Deutschman</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 17. Diseño de elementos de maquinas. Aaron D. Deutschman</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 18. Diagrama de resistencia a la pendiente del triciclo eléctrico. Autores</i>	<i>56</i>
<i>En la ilustración 19. Sistema eléctrico vehículo se indicarán las conexiones eléctricas con el convertidor o inductor de voltaje</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 20. Sistema eléctrico vehículo. Autores</i>	<i>63</i>
<i>En la ilustración 21. Sistema eléctrico, desglose inductor, se puede observar las conexión eléctrica con el desglose del funcionamiento del inductor de voltaje.</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 22. Sistema eléctrico, desglose inductor. Autores.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 23. Reparto de fuerzas de frenado. Autores</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 24. Dibujo de la barra antivuelco en programa Solid Edge. Autores.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 25. Dibujo de motor-reductor en programa Solid Edge. Autores.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 26. Dibujo de marco en programa Solid Edge. Autores.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 27. Dibujo de dirección en programa Solid Edge. Autores.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 28. Dibujo de transmisión en programa Solid Edge. Autores.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 29. Dibujo de triciclo eléctrico estilo chopper en programa Solid Edge. Autores.</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 30. Fuerzas en el eje llantas traseras, cargas estáticas en Inventor. Autores</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 31. Resultado de los esfuerzos de Von Mises eje llantas traseras en Inventor primer plano. Autores</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 32. Propiedades acero 4140. Compañía general de aceros.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 33. Resultado de desplazamiento eje llantas traseras en Inventor. Autores.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 34. Resultado coeficiente de seguridad eje llantas traseras en Inventor. Autores</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 35. Fuerzas en el chasis, cargas estáticas en Inventor, primer plano. Autores</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 36. Fuerzas en el chasis, cargas estáticas en Inventor, segundo plano. Autores.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 37. Resultado de los esfuerzos de Von Mises chasis en Inventor primer plano. Autores.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 38. Resultado del desplazamiento chasis en Inventor primer plano. Autores</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 39. Resultado del coeficiente de seguridad chasis en Inventor primer plano. Autores</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 40. Bocetos preliminares. Autores</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 41. Creación de planos. Autores</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 42. Corte y doblado de materiales.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 43. Proceso de soldado. Autores</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 44. Mecanizados en ejes. Autores</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 45. Partes comerciales. Autores</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 46. Pintura. Autores.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 47. Ensamblajes. Autores</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 48. Ensamble final. Autores.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 49. Detalles de soldadura en un nudo de perfiles tubulares. Tomada del Instituto de la Estructura en Acero</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 50. Uniones con espaciamiento y solape. Tomada del Instituto de la Estructura en Acero</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 51. Distancia recorrida por el triciclo eléctrico estilo chopper. Ilustración tomada de Google Maps.</i>	<i>85</i>
<i>Se ubicaron cuatro puntos de referencia a una distancia de 7,6 metros entre puntos como se puede observar en la ilustración 52. Pruebas de dirección del triciclo eléctrico estilo chopper.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 53. Pruebas de dirección del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores</i>	<i>86</i>

<i>Ilustración 54. Pruebas de radio de la dirección del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 55: Motor. Autores</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 56: Piñón motor. Autores.....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 57. Piñón eje motor. Autores.....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 58. Piñón trasmisor. Autores</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 59. Piñón transmitido. Autores.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 60. Batería. Autores.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 61. Manillar. Autores.....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 62. Caja swich. Autores</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 63. Luz. Autores</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 64. Control eléctrico. Autores</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 65. Freno V-brake. Imagen tomada de http://www.ciclotraveling.com/wp-content/uploads/2013/07/V-brake.jpeg.....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 66. Disco freno. Autores</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 67. Ruedas. Autores.....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 68. Prototipo final del triciclo eléctrico estilo chopper. Autores</i>	<i>93</i>