



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Propuesta de diseño para la  
conversión de un triciclo de  
carga tradicional a eléctrico**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

José Eduardo Cortés Godínez

**DIRECTOR DE TESIS**

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



## Agradecimientos

Culmina una etapa importante de mi vida y quiero aprovechar este espacio para agradecer a todas las personas que estuvieron en el camino para alcanzar este objetivo.

Primeramente, **a mi madre**, quien me dio la vida, me formó y educó para ser la persona que soy ahora, por estar siempre para mí hasta en los momentos más difíciles y por motivarme siempre a seguir adelante, este trabajo escrito está dedicado a ella.

A mi director de tesis, el **M.A. Yair Bautista**, quien me apoyo durante todo el proceso para la elaboración del presente trabajo, por su excelente manera de enseñar en las 2 asignaturas que tuve el placer de cursar con él, por estar siempre pendiente, incluso en horarios fuera de oficina, tanto como para asuntos académicos como para cuestiones personales.

A mis compañeros **Andrés Pérez y Grecia Cervantes**, quienes me ayudaron mucho durante los momentos más difíciles de la carrera, brindándome su apoyo en las asignaturas más complicadas, momentos inolvidables y lo más importante, su amistad.

A **Lucie, Alki, Claudia, Dénes, Giorgia, Klára, Maxime, Pascual, Pauline, Pierre, Pierre-Yves, Yagmur, Nicolas, Laura, Fabian, Clémence, Krisztián, Camilla, Ombeline, Onurcan, Ece y Dev**, por hacer mi experiencia de movilidad académica increíble y probablemente la mejor etapa de mi carrera universitaria.

A **Ajla Keško**, por haber sido una parte fundamental en la elaboración del trabajo escrito, motivándome y alentándome durante todo el proceso.

**A todos mis amigos y compañeros de Jiu-jitsu brasileño**, por ayudarme a despejar mi mente en los momentos más difíciles del proceso, por brindarme momentos muy especiales y por ayudarme a crecer tanto en el deporte como personalmente.

**A todos los profesores destacados que tuve en la facultad**, por ir más allá de lo académico y darme lecciones de vida muy importantes, por hacer de mi estancia en la facultad de Ingeniería una experiencia extraordinaria y por brindarme todo su apoyo cuando lo necesitaba.

**A Sinaí, Ricardo, Johan, Kifara, Ángel, Steve, Juan, Vianney, Raúl y Gloria**, por darme una de las experiencias más enriquecedoras de mi carrera universitaria cuando más lo necesitaba en el equipo Velomóvil RS, por apoyarme hasta en los momentos más difíciles y por darme su amistad.

**A Estefanía Santana**, por todo su apoyo durante la elaboración del trabajo escrito, por sus consejos, por escucharme, por motivarme y por brindarme momentos inolvidables durante el proceso.

**A la Dra. María Cristina León González, al M.A. Luis Yair Bautista Blanco, al Dr. Álvaro Ayala Ruiz, al M.I. Ulises Martín Peñuelas Rivas y a la M.ED. Veduar Allie Sarmiento Torres** por tomarse el tiempo de formar parte del comité evaluador del trabajo escrito y del examen profesional.

Y, por último, a todas las personas que conocí durante mi carrera universitaria, a los que me motivaron a seguir adelante, a todos los compañeros con los que realicé trabajos y proyectos en equipo, a los que me sacaron una sonrisa, a los que hacían las clases más amenas, a los que me prestaron desde una pluma hasta un sensor LM35 cuando lo necesitaba, a los que me ayudaron a prepararme para algún examen, a los que me regalaron experiencias y momentos inolvidables tanto en las aulas como en la vida personal, a todos ellos muchas gracias, sin duda hicieron de mi etapa universitaria una de las mejores de mi vida.

# Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Antecedentes .....</b>	<b>9</b>
1.1.1 Transporte impulsado por fuerza humana .....	9
1.1.2 Vehículo eléctrico .....	12
1.1.3 Tendencia de la conversión de vehículos a eléctricos .....	13
<b>1.2 El triciclo eléctrico como una alternativa de transporte .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Posibles usos del triciclo eléctrico en México .....</b>	<b>17</b>
1.3.1 Comercio ambulante .....	17
1.3.2 Uso privado .....	19
1.3.3 Mensajería y paquetería.....	20
1.3.4 Servicio de publicidad móvil .....	21
1.3.5 Servicio de transporte de personas .....	23
1.3.6 Turismo y recreación .....	24
<b>1.4 Ventajas de un triciclo eléctrico sobre uno tradicional.....</b>	<b>26</b>
1.4.1 Asistencia en el pedaleo en calles empinadas .....	26
1.4.2 Reducción de desgaste fisiológico por sobreesfuerzo al pedalear .....	27
1.4.3 Autonomía completa en caso de fatiga o lesión.....	28
<b>1.5 Objetivo.....</b>	<b>29</b>
<b>2.- IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Identificación de requerimientos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Definición de las especificaciones del vehículo .....</b>	<b>34</b>
<b>3.- DISEÑO CONCEPTUAL DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Definición de los subsistemas del vehículo .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Propuesta, análisis y comparación de soluciones por subsistema .....</b>	<b>39</b>
3.2.1 Propulsión .....	39
3.2.2 Energía .....	42
3.2.3 Estructural .....	43

3.2.4 Electrónica.....	44
3.2.5 Interfaz .....	46
3.2.6 Transmisión y frenos .....	50
3.2.7 Dirección .....	54
<b>3.3 Diseño de la configuración de la solución .....</b>	<b>55</b>
3.3.1 Selección final de las soluciones por subsistema y justificación .....	55
3.3.2 Distribución de los componentes en el vehículo .....	58
<b>4.- DISEÑO A DETALLE DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Subsistema de propulsión.....</b>	<b>61</b>
4.1.1 Motor eléctrico Cargo-Power RN 111.....	61
<b>4.2 Subsistema de energía.....</b>	<b>63</b>
4.2.1 Batería de iones de litio Hailong 048130 HL1-2.....	63
<b>4.3 Subsistema estructural .....</b>	<b>64</b>
4.3.1 Acero ASTM A36.....	64
<b>4.4 Subsistema de electrónica .....</b>	<b>65</b>
4.4.1 Sensor PAS.....	65
4.4.2 Controlador KT 48V/500W .....	66
<b>4.5 Subsistema de interfaz .....</b>	<b>68</b>
4.5.1 Acelerador Wuxing 300X .....	68
4.5.2 Luces .....	70
4.5.3 Campana WHKI .....	71
4.5.4 Dispositivo indicador KT LED-900S .....	72
<b>4.6 Subsistema de transmisión y frenos.....</b>	<b>73</b>
4.6.1 Transmisión de una sola velocidad.....	73
4.6.2 Freno de disco LOOK y freno electrónico WUXING 115PDD.....	75
4.6.3 Ruedas rodada 26 con neumático tipo Clincher y llanta tipo montaña .....	78
<b>4.7 Subsistema de dirección .....</b>	<b>79</b>
4.7.1 Dirección roscada (Threaded) .....	79
<b>5.- GENERACIÓN DEL MODELO VIRTUAL DEL VEHÍCULO .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 Primer modelo virtual generado .....</b>	<b>81</b>
5.1.1 Generación y lista de los componentes.....	81
5.1.2 Ensamble y modelo virtual generado .....	86

<b>5.2 Modelo final generado .....</b>	<b>88</b>
5.2.1 Cambio de chasis y justificación .....	88
5.2.2 Ensamble y posición de los componentes en el chasis .....	92
5.2.4 Detalles finales .....	96
<b>5.3 Tabla de características.....</b>	<b>102</b>
<b>6.- RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
<b>6.1 Ensamble y modificaciones al chasis .....</b>	<b>103</b>
6.1.1 Perforación del chasis.....	103
6.1.2 Colocación de los componentes sobre el chasis .....	107
6.1.3 Conexiones .....	109
<b>6.2 Análisis de elemento finito .....</b>	<b>111</b>
<b>6.3 Versión final .....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>120</b>
<b>TRABAJO A FUTURO .....</b>	<b>121</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>123</b>

## Resumen

En el siguiente trabajo escrito se presenta el proceso de diseño para la conversión de un vehículo particularmente famoso en México: el triciclo de carga, en un vehículo eléctrico. Primero se define el contexto, definiendo qué es un HPV, qué es un vehículo eléctrico y la tendencia de conversión de vehículos a eléctricos. Posteriormente se demuestra que el triciclo de carga puede utilizarse como una alternativa de transporte además de mencionarse diferentes ejemplos de los usos que puede tener tanto comerciales como de uso privado, para finalizar el contexto se mencionan las ventajas que proporcionaría la transformación de este vehículo a eléctrico. Una vez definido el tipo de vehículo a diseñar, el primer paso es la definición de sus requerimientos y posteriormente de sus especificaciones como parámetros de diseño para los pasos siguientes. Una vez definidos los requerimientos y especificaciones el siguiente paso es definir los subsistemas que conformarían al vehículo, para posteriormente desglosar estos en componentes y finalmente proponer, analizar y comparar diferentes soluciones a cada uno de estos seleccionando justificadamente la mejor de cada componente. Una vez seleccionados los componentes que conformarán el vehículo, se procede a detallar cada uno de estos incluyendo marca, características técnicas, dimensiones, peso e imágenes. El siguiente paso es el modelado del vehículo en un software de CAD, modelando el chasis, modificando y adaptando componentes obtenidos de una biblioteca de modelos 3D, ensamblando los componentes sobre el chasis y realizando el modelado del cableado al interior de los tubos del chasis. Una vez finalizado el modelado 3D del vehículo se procede a explicar el proceso de conversión del triciclo tradicional a eléctrico, indicando el proceso de barrenado y roscado para montar la batería, el controlador y para poder realizar el cableado interno, indicando la colocación de los componentes sobre el chasis y explicando cómo realizar el cableado interno. Posteriormente, para justificar que el chasis aún será funcional después de realizar los barrenos, se muestra el proceso y resultado de un análisis de elemento finito que lo confirma. Finalmente se muestra el modelo virtual final renderizado como evidencia del diseño del vehículo.

# 1.- Planteamiento del problema

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Transporte impulsado por fuerza humana

El transporte impulsado por fuerza humana es el transporte de personas y/o mercancías utilizando la fuerza de los músculos humanos. Al igual que el transporte impulsado por animales, el transporte impulsado por humanos ha existido desde el inicio de los tiempos en las formas de caminar, correr y nadar. La tecnología moderna ha permitido que las máquinas mejoren el poder humano y este pueda ser utilizado de manera más eficiente. Aunque la motorización ha aumentado la velocidad y la capacidad de carga, muchas formas de transporte impulsado por humanos siguen siendo populares por razones de costo, conveniencia, ocio, ejercicio físico y ambientalismo, e incluso es a veces el único tipo disponible, especialmente en regiones subdesarrolladas o inaccesibles. [1]

El transporte impulsado por fuerza humana se divide en dos categorías: los no vehiculares y los vehiculares. Para la categoría de no vehiculares se tienen las siguientes maneras de transporte:

- Gatear
- Caminar
- Correr
- Sprint
- Nadar
- Escalar y montañismo
- Patinaje sobre hielo, patinaje sobre ruedas y patinaje en línea
- Esquiar

La segunda categoría, la categoría vehicular, también es denominada HPV. Un HPV (*Human powered vehicle*, por sus siglas en inglés) es un vehículo propulsado por fuerza humana, es decir, un medio de transporte que depende meramente de la fuerza muscular que el usuario ejerza sobre este. Existen diferentes tipos de HPVs dependiendo del medio por el cual se transporten (tierra, agua o aire) los cuales se mostrarán a continuación: [2]

Vehículos terrestres propulsado por fuerza humana: Los más populares de esta categoría son las patinetas y las bicicletas, pero también incluyen los triciclos de carga, los velomóviles, los monociclos y las bicicletas reclinadas.

Otro ejemplo menos común de HPV terrestre es el “Shweeb”, una red de tránsito rápido personal basada en vagones de monorraíl impulsados por humanos. El prototipo del proyecto se diseñó e implementó originalmente en Rotorua, Nueva Zelanda, como una atracción de ocio.



*Figura 1. Shweeb con usuario, figura obtenida de shweep.com*

Aviones de propulsión humana: El primer despegue y aterrizaje oficialmente autenticado de un avión de propulsión humana (uno capaz de despegues propulsados, a diferencia de un planeador) fue realizado el 9 de noviembre de 1961 por Derek Piggott en el Man Powered Aircraft (SUMPAC) de la Universidad de Southampton. El récord actual de



*Figura 2. MIT Daedalus en el aire, figura obtenida de NASA.gov*

distancia y duración reconocido por la FAI (Federación Aeronáutica Internacional por sus siglas en francés), fue una distancia recta de 115,11 km en 3 horas y 54 minutos se logró el 23 de abril de 1988 desde Heraklion en Creta hasta Santorini en un “MIT Daedalus 88” pilotado por el ciclista griego Kanellos Kanellopoulos.

Helicópteros de propulsión humana: El primer helicóptero propulsado por humanos que despegó oficialmente fue el Da Vinci III en 1989. Fue diseñado y construido por estudiantes de Cal Poly San Luis Obispo en California, EE. UU. Voló durante 7,1 segundos y alcanzó una altura de 8 pulgadas (20 centímetros). El segundo fue el Yuri I en 1994, diseñado y

construido por estudiantes de la Universidad de Nihon en Japón. Voló durante 19,46 segundos y alcanzó una altitud de 20 centímetros (8 pulgadas). El 13 de junio de 2013, el AeroVelo Atlas fue el primero en completar un vuelo que duró 64 segundos y alcanzó una altura de 3,3 metros, ganando así el Premio Sikorsky.



Figura 3. AeroVelo Atlas, imagen obtenida de [aerovelo.com](http://aerovelo.com)



Figura 4. Embarcación con hidropedales en forma de cisne, imagen obtenida de [hidropedales.com](http://hidropedales.com)

Barcos de propulsión humana: Los barcos de propulsión humana incluyen embarcaciones tradicionales y deportivas, como canoas, botes de remos y galeras. El término barco de propulsión humana se utiliza a menudo para las embarcaciones más modernas que utilizan hélices y ruedas hidráulicas para la propulsión. Estos pueden ser más eficientes que las palas o los remos y permiten especialmente el uso de los músculos de las piernas, que por lo general son más fuertes que los músculos de los brazos. Los botes de

remos competitivos usan asientos deslizantes para enganchar las piernas para la propulsión con un remo por este motivo, pero se requiere una habilidad considerable para usarlos de manera eficiente. Las embarcaciones con hidropedales son las más populares en los centros turísticos.

Submarinos de propulsión humana: En 1989, la primera carrera internacional de submarinos propulsada por humanos se llevó a cabo en Florida. Desde entonces se han celebrado nueve carreras más. En la novena carrera de 2007 (en la que participaron 23 submarinos) se establecieron varios récords nuevos: una embarcación para una sola persona, Omer5 logró una velocidad récord de 8,035 nudos, rompiendo el récord anterior

del equipo Omer de 7,19 nudos establecido por Omer 4 en 2004. Omer 6 arrebató un récord para embarcaciones sin hélice con una velocidad de 4.642 nudos.

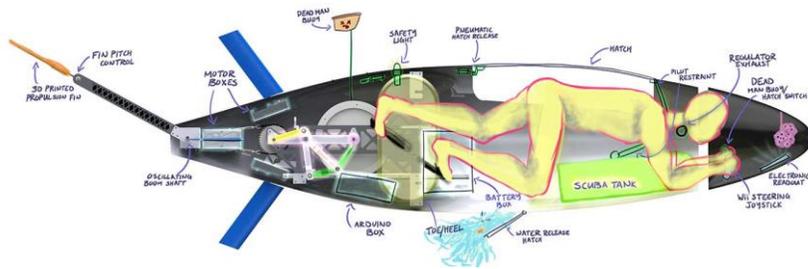


Figura 5. Boceto de un Submarino impulsado por fuerza humana de la UC de San Diego, imagen obtenida de Wikipedia.com

### 1.1.2 Vehículo eléctrico

Un vehículo eléctrico es un vehículo que utiliza uno o más motores eléctricos para su propulsión. Puede ser alimentado por un sistema colector eléctrico, con electricidad de fuentes extra vehiculares, o puede ser alimentado de forma autónoma por una batería (a veces cargada por paneles solares, o convirtiendo el combustible en electricidad usando celdas de combustible o un generador). Los vehículos eléctricos incluyen, pero no sin limitarse a, vehículos de carretera y ferroviarios, embarcaciones de superficie y submarinas, aeronaves eléctricas y naves espaciales eléctricas.

Los vehículos eléctricos existieron por primera vez a mediados del siglo XIX, época en la cual la electricidad era uno de los métodos preferidos para la propulsión de vehículos motorizados, proporcionando un nivel de facilidad y comodidad de operación que no podían lograr los automóviles de gasolina de la época. Los motores de combustión interna fueron el método de propulsión dominante para camiones y automóviles durante aproximadamente 100 años, pero la energía eléctrica siguió siendo común en otros tipos de vehículos, como trenes y vehículos más pequeños de todo tipo.

En el siglo XXI, los vehículos eléctricos han experimentado un resurgimiento debido a los avances tecnológicos y a un mayor enfoque en la energía renovable y la posible reducción del impacto del transporte en el cambio climático, la contaminación del aire y otros problemas ambientales. [3]

La potencia del motor eléctrico de un vehículo, como en otras máquinas, se mide en kilovatios (kW). Los motores eléctricos pueden entregar su par máximo en un amplio rango de RPM. Esto significa que el rendimiento de un vehículo con motor eléctrico de 100 kW supera al de un vehículo con motor de combustión interna de 100 kW, que solo puede entregar su par máximo dentro de un rango limitado de velocidad del motor. [4]

La mayoría de los vehículos eléctricos utilizan baterías de iones de litio (Li-Ions o LIB). Las baterías de iones de litio tienen una mayor densidad de energía, una mayor vida útil y una mayor densidad de potencia que la mayoría de las otras baterías prácticas. Las baterías de iones de litio deben usarse dentro de rangos seguros de temperatura y voltaje para que funcionen de manera segura y eficiente. En el pasado, las baterías de hidruro metálico de níquel se usaban en algunos automóviles eléctricos, como los fabricados por General Motors. Estos tipos de baterías se consideran obsoletos debido a su tendencia a auto-descargarse con el calor. Además, Chevron tenía una patente para este tipo de batería, lo que creaba un problema para su desarrollo generalizado. Estos factores, junto con su alto costo, han llevado a las baterías de iones de litio a liderar como la batería predominante para vehículos eléctricos. Los precios de las baterías de iones de litio disminuyen constantemente, lo que contribuye a la reducción del precio de los vehículos eléctricos. [5]

### **1.1.3 Tendencia de la conversión de vehículos a eléctricos**

De 2019 a 2021 se triplicaron las ventas de vehículos eléctricos en el mundo, al pasar de 2.2 millones a 6.6 millones, equivalentes a nueve por ciento del total del mercado automotor mundial, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).

A partir de esto último el investigador del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, Jesús Antonio del Río Portilla, afirmó: “México requiere avanzar hacia la electromovilidad, ya que a nivel global existe la tendencia a usar más los eléctricos, y también para cumplir con la meta que el país suscribió en la pasada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26), de eliminar los autos a combustión para 2035.”

En México el transporte es responsable de 25.1 % de las emanaciones de gases de efecto invernadero, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2015. Jesús Antonio del Río también afirma que además de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, cada kilómetro recorrido en un automóvil eléctrico es 30 o 40 por ciento más barato en comparación con un vehículo a combustión; se calientan menos y son más silenciosos.

Además, el Doctor Río Portilla ha propuesto impulsar el uso de vehículos eléctricos para las flotas del transporte público, a partir de otorgar créditos a los dueños de estos vehículos, los cuales podrían pagar a plazos, por ejemplo, de cinco años: “Hicimos estudios para las ciudades de Cuernavaca y Morelia y es redituable, desde el punto de vista económico, comprándole la electricidad a la Comisión Federal de Electricidad. Además, si en sus terminales se ponen paneles fotovoltaicos disminuye un 30 % más el costo y se reducen en más del 70 % las emisiones de gases de efecto invernadero”, afirma el Doctor. También ha dirigido tesis de estudiantes en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM con propuestas, a fin de que en pueblos mágicos del país los mototaxis utilicen unidades eléctricas que podrían pagarse en tres años. [6]

La Asociación de Marcas y Bicicletas de España (AMBE) ha publicado los datos de ventas de bicicletas eléctricas en España en 2021: del total de bicicletas vendidas en el mercado español el año pasado, 1,571,368, las bicicletas eléctricas suponen un 14 % del total, con **223,561 unidades**. Respecto al 2020, la cuota de mercado se mantiene, pero el volumen de ventas crece en un 5.3 % batiendo los récords de los años anteriores. [7]

## E-bike sales in Spain

BIKE europe

	Volume	Value	Average retail price
2015	25,000	€36,000,000	€1,461
2016	40,000	€70,000,000	€1,710
2017	72,000	€152,000,000	€2,107
2018	111,000	€240,000,000	€2,165
2019	140,000	€336,000,000	€2,400
2020	213,000	€562,000,000	€2,648
2021	223561	€639,000,000	€2,861

Figura 6. Ventas de 2015 a 2021 de E-bikes en España, imagen obtenida de Bike europe

The New York Times publicó un reportaje en el que citaba un informe de la empresa NPD Group, una compañía de estudios de mercado creada en 1966, cuyas cifras no dejan lugar a dudas: “la venta de bicicletas eléctricas en EE UU se incrementó notablemente en 2020, con un crecimiento de aproximadamente el 150 % respecto al año anterior. Es decir: por cada bicicleta eléctrica vendida en 2019 se vendieron dos y media en 2020.” [8]

## 1.2 El triciclo eléctrico como una alternativa de transporte

El triciclo de carga es un instrumento de transporte y trabajo que utilizan muchos vendedores ambulantes en todo México, particularmente en la CDMX. Es considerado actualmente como un símbolo cultural mexicano y es un generador de empleos que impulsa la economía y brinda la venta de alimentos a precios muy accesibles. El triciclo de carga puede cargar una capacidad de hasta 150 kg sin contar el peso del conductor, por lo cual su uso no se limita a transportar alimento sino que también puede transportar cualquier tipo de carga mientras las dimensiones lo permitan; mercancía, objetos personales, materiales de construcción e incluso personas son algunos de los ejemplos de la carga que podría transportarse con estos vehículos, desafortunadamente las condiciones en México, tales como baches, caminos irregulares y pendientes inclinadas, limitan y complican el uso de estos vehículos, pero por medio de la adición de un sistema de propulsión eléctrico que

apoye al usuario en estas condiciones complicadas podría convertirse en un método de transporte de carga viable.

Para definir la alternativa de a que transporte y a que situaciones sería buena opción considerar el triciclo de carga eléctrico se debe pensar en sus cualidades: el volumen y la carga que puede transportar comparado con el peso del vehículo, el tamaño del vehículo y el hecho de que no depende del combustible para funcionar. Un triciclo eléctrico no puede ir más rápido que una motocicleta o un automóvil ya que, tampoco puede recorrer distancias demasiado largas o conducirse por carretera, pero cuando se necesita transportar una cantidad considerable de carga dentro de una misma ciudad la mejor opción se inclina por el vehículo de tres ruedas.

A partir de lo anteriormente dicho se supondrá el ejemplo de una persona que quiere realizar las compras del supermercado de toda la familia de un mes, suponiendo que será una carga de alrededor de 70 kilogramos con un volumen de 300 metros cúbicos. La cajuela de un Jetta VII 2019 tiene una capacidad de 399 litros [9], es decir 0.399 metros cúbicos, un triciclo de carga estándar de la marca Benotto tiene una capacidad de carga de 0.360 metros cúbicos en su canasta [10]. Por lo tanto, con un triciclo se puede transportar casi la misma cantidad de carga que la carga que puede transportar la cajuela de uno de los autos más utilizados en México. Además, el peso del triciclo de carga Benotto es de 40.18 kilogramos mientras que el peso del Jetta es de 1309 kilogramos. Enfocándose en el aspecto ambiental, un auto que lleva únicamente el conductor genera en promedio 310 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro por pasajero, mientras que una bicicleta eléctrica con un motor de 350 W genera 15 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro por pasajero. Es decir, utilizar un HPV eléctrico genera aproximadamente 21 veces menos CO<sub>2</sub> que un automóvil, además, esto tomando en cuenta que el motor eléctrico es utilizado durante todo el trayecto, si se utiliza únicamente como asistencia cuando las condiciones del camino lo requieran la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida disminuiría incluso hasta cero si no se utiliza el motor durante el trayecto. Lo anterior dicho es un factor importante que tomar en cuenta para pensar en alternativas de transporte que reduzcan la contaminación en ciudades con esta problemática. Considerando el vehículo hipotéticamente como un cubo para fines de entender el espacio que ocupa, un Jetta VII

2019 tiene un volumen de 12.34 metros cúbicos (4,697 mm L x 1,799 mm A x 1,459 mm A) [11] mientras que un triciclo de carga eléctrico tiene un volumen de 2.54 metros cúbicos ( 2,220 mm L x 1,100 mm A x 1,040 mm A) , es decir casi 5 veces menos volumen que el automóvil y enfocándonos en el largo de los vehículos por cada automóvil en un carril caben 2 triciclos de carga. Por lo tanto, en esta situación específica el triciclo de carga sería una muy buena alternativa al automóvil.

Potencial de calentamiento de efecto invernadero en gramos de CO2-equivalentes por pasajero-kilómetro

	Urbano	Rural	Carretera
Automóvil- solo con conductor	310	180	220
Motocicletas y Scooters	260	190	330
Automóvil- Conductor y un pasajero	155	90	110
Automóvil- Conductor y tres pasajeros	78	45	55

*Figura 7. Gramos de CO2 por pasajero por kilómetro de cada vehículo, traducida de winacc.org.uk*

Lo anterior fue sólo el análisis una situación específica, en el siguiente subtema se hablará más a detalle de los diferentes usos que puede tener el triciclo de carga eléctrico, recordando que solo son algunos ejemplos más y que los usos que puede tener este vehículo son muy versátiles.

### **1.3 Posibles usos del triciclo eléctrico en México**

#### **1.3.1 Comercio ambulante**

Sin duda el uso más común de este medio de transporte, de acuerdo con datamexico.org La fuerza laboral de Vendedores Ambulantes durante el cuarto trimestre de 2021 fue de 1.57 millones personas. Tan solo en la Ciudad de México el Sistema de Comercio en Vía Pública registró en 2018, que hay más de 100,000 comerciantes ambulantes que utilizan el triciclo de carga en las 16 alcaldías [12]. En México estos vehículos son utilizados por los vendedores informales principalmente para la venta de pan, café, tamales, chilaquiles,

esquites, raspados e incluso crepas o la preparación de bebidas alcohólicas como micheladas, pero en realidad las posibilidades son mucho más amplias y es posible vender prácticamente cualquier tipo de alimento, mercancía e incluso prestar servicios. De acuerdo con el INEGI en 2019, por cada 100 pesos generados del PIB en México, 23.0 pesos provinieron de la economía informal (23.0 %), que fue creado por el 56.5 % de la población ocupada [13], la cual se encontró en condiciones de informalidad. Esta es una cifra importante para entender el potencial que tiene este tipo de negocio en México.

Al igual que con los vendedores ambulantes del comercio informal, el comercio ambulante formal es sumamente versátil e incluye prácticamente las mismas actividades comerciales que el comercio informal. Pero cabe resaltar que es importante separarlas ya que componen mercados distintos, con cifras distintas y claramente normativas distintas. La gran diferencia entre un vendedor ambulante informal y uno formal es que el formal cuenta con permiso para realizar la actividad económica, además de que realiza declaraciones de impuestos ante el SAT. Por lo general estos vendedores ambulantes formales forman parte de una empresa mediana o grande ya sea siendo sucursales directas o franquicias. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales un permiso transitorio para comercio ambulante tiene un costo de 1,493 pesos mexicanos por un período de hasta 3 meses y debe solicitarse 1 mes antes de empezar actividades comerciales, además de que debe llenarse un formato de 50 páginas con información muy detallada acerca del negocio [14]. Lo anteriormente mencionado junto con la obligación de pagar impuestos claramente representa una desventaja para los pequeños comerciantes que generan entre 150 y 200 pesos mexicanos al día, por lo tanto, la mayoría optan por ejercer el comercio informal. Aunque representa un número menor igual existen varias empresas que se dedican al comercio ambulante formal en México. Tal como la empresa “La Chilakleta” que se dedica a la venta de chilaquiles y bebidas utilizando triciclos de carga decorados con los colores, utilería y logos distintivos de la marca, la empresa cuenta con 6 sucursales distribuidas en León Guanajuato y facturó 3.5 millones de pesos mexicanos en el 2019.



Figura 8. Triciclo de carga utilizado para comercio formal de la empresa “Chilaketa”

### 1.3.2 Uso privado

Tal y como se explicó con el ejemplo del subcapítulo 1.2, el triciclo eléctrico puede ser una buena alternativa para realizar las compras de supermercado de una manera más eficiente y emitiendo mucho menos CO2 que un automóvil convencional. Pero por su puesto su uso personal no termina ahí. Pensar al triciclo eléctrico como un vehículo personal es pensar en un sinnúmero de usos para personas con distintas ocupaciones y hobbies. Además de realizar las compras de supermercado se pueden realizar compras de materiales para construcción o para el hogar, compra de electrodomésticos como lavadoras o frigobares, compra de equipos electrónicos grandes como televisores o bocinas, compra de muebles pequeños o desarmados, etc. Planteemos el caso de un herrero o carpintero que necesita transportar materiales o incluso productos terminados a sus clientes, el triciclo eléctrico haría posible esto sin necesidad de contar con un vehículo que gasta gasolina, que se deben pagar impuestos o que por ejemplo en la ciudad de México no es permitido circular ciertos días. Supongamos el caso de un estudiante de arquitectura que vive no muy lejos de su Universidad, pero debe transportar sus maquetas de manera segura, tarea que sería muy complicada y riesgosa en transporte público o con una bicicleta convencional. Pensemos en el caso particular de un DJ de eventos privados que debe transportar bocinas, cables, luces su controladora de DJ y su computadora, y que no cuenta con un automóvil propio y debe contratar un servicio de taxi en cada evento, lo cual le genera menor ganancia por cada evento en el que toca. Estos últimos son sólo algunos ejemplos del uso particular que se le

podría dar a este tipo de vehículo, pero en realidad no hay un límite en las tareas que puede resolver.

### **1.3.3 Mensajería y paquetería**

De acuerdo con la página web oficial de Correos de México se tienen registrados 7 mil 805 carteros. El Organismo tiene 8,458 vehículos que apoyan los procesos operativos de reparto, integrados de la siguiente manera [15]:

- 5,585 motocicletas
- 2,110 bicicletas
- 763 autos y camionetas

El 91% de los vehículos utilizados por correos de México están conformados por Motocicletas y bicicletas, mismos que no están diseñados para transportar cargas adicionales a las de los pasajeros. Las motocicletas y las bicicletas al ser vehículos de 2 ruedas requieren de mayor equilibrio y estabilidad que los vehículos de 3 y 4 ruedas, por lo tanto, si se tiene mal distribuido el peso de la carga que transporta puede representar un peligro para el conductor de dicho vehículo. En correos de México las motocicletas y las bicicletas son adaptados de manera empírica para funcionar como vehículos que transportar carga, por lo tanto, su seguridad no está garantizada. Además de que ambos vehículos pueden transportar aproximadamente únicamente 0.105 metros cúbicos (bicicleta) y 0.120 metros cúbicos (motocicleta) como máximo, a diferencia del triciclo tradicional que tiene un volumen de carga de 0.360 metros cúbicos.



Figura 9. Bicicleta y motocicleta utilizadas por Correos de México

Utilizando nuevamente la figura 7 utilizada en el subcapítulo 1.2, pero ahora con el dato de los gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por kilómetro por pasajero, se puede observar que una motocicleta emite 17 veces más CO<sub>2</sub>. Y no sólo eso, de acuerdo con Susan Carpenter en un artículo de Los Angeles Times, la motocicleta promedio es 10 veces más contaminante por milla que un automóvil de pasajeros, camioneta liviana o SUV, de acuerdo con Susan: *“aunque las motocicletas y los scooters comprenden solo el 3.6 por ciento de los vehículos registrados en California y el 1 por ciento de las millas recorridas por los vehículos, representan el 10 por ciento de las emisiones de contaminación de los vehículos de pasajeros. Los motores de las motocicletas son dos veces más eficientes que los motores de los automóviles, por lo que generalmente emiten menos dióxido de carbono. Pero emiten grandes cantidades de óxidos de nitrógeno, que junto con los hidrocarburos y el monóxido de carbono son medidos por los reguladores de calidad del aire estatales y federales para determinar si los vehículos cumplen con las normas de emisiones.”* [16]

#### 1.3.4 Servicio de publicidad móvil

De acuerdo con el economista la publicidad alcanzó un valor de 110,000 millones de pesos en el 2021, habiendo tenido este un incremento del 10% con respecto al 2020 [17]. Con el dato anterior se puede observar que la publicidad tiene un valor económico muy importante y aunque la creencia popular supone que la mayoría del valor se invierte en publicidad digital, la publicidad tradicional aún supone el 45.7% del valor, según un estudio

realizado en junio de 2021 por Statista [18]. Dicho esto, la publicidad tradicional aún representa un valor importante y el triciclo de carga es el vehículo HPV ideal para realizar esta tarea. Gracias a sus grandes dimensiones, su forma y a que no es un vehículo muy común para esta tarea, llama mucho la atención ante los demás y lo convierte en una muy buena opción para utilizarse como vehículo móvil publicitario.



Figura 10. Triciclo de carga utilizado para publicidad móvil

Un ejemplo de una empresa mexicana dedicada a la publicidad de vehículos HPV es “Bicible”, fundada en febrero de 2015 por Braulio Rodríguez y Oscar Sanromán, es un nuevo concepto de publicidad en bicicleta que inició con una inversión de 21 mil pesos, y ahora espera cerrar el 2016 con una facturación de 4 millones de pesos. Bicible ofrece sus servicios por día y por número de bicicletas, ya sea con o sin ciclista, y estos van desde los mil 990 pesos, por la Videobike al día [19].



Figura 11. Productos de la compañía “Bicible”

### **1.3.5 Servicio de transporte de personas**

Si bien este uso requiere de un modelo distinto de triciclo de carga (triciclo con carga trasera) vale la pena mencionarlo ya que es un sector económico bastante amplio y con mucha popularidad en México. El Frente de Organizaciones de Transporte Colectivo y Alternativo (FOTCA), quien agrupa diversos sectores de bicitaxis, señala que ya se realizan 300 mil viajes diarios a través de bicitaxis y bicitaxis eléctricos en las alcaldías Tláhuac, Iztapalapa, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero; y en Chimalhuacán y Nezahualcóyotl en el Estado de México. [20]

De acuerdo con la Secretaría de Movilidad (Semovi) estos vehículos deben cumplir requisitos indispensables: como contar con una estructura sólida, tener la capacidad de carga de más de 200 kilogramos, tener cinturones de seguridad, no circular a más de 25 kilómetros por hora y contar con accesibilidad al 100 por ciento para personas en sillas de ruedas (que tengan espacio para transportarla). Además, el artículo 51 del Reglamento de la Ley de Movilidad dice que los operadores deben capacitarse anualmente en distintos rubros para profesionalizarse con respeto al orden vial, sensibilización en perspectiva de género, protección civil y primeros auxilios, así como desarrollar habilidades y pericia de manejo. Giberth Campoy, presidente de FOTCA, dice que el costo por viaje 0 a 500 metros es de 6.50 pesos por persona, haciéndolo un medio de transporte sumamente económico cuando se quieren recorrer distancias cortas o recorrer zonas turísticas donde es más complicado el acceso en automóvil. En México el mercado de los bicitaxis y bicitaxis eléctricos aún no está tan desarrollado como en otros países, pero un ejemplo de un país con una gran popularidad de los bicitaxis es la India, registrando 60 millones de pasajeros al día a través de estos vehículos.



Figura 12. Bicicleta de la Ciudad de México

### 1.3.6 Turismo y recreación

No es un dato desconocido que México es uno de los países más turísticos del mundo, tanto que en 2019 el Producto Interno Bruto Turístico (PIBT) a precios básicos representó el 8.7% del PIB. En 2020, el PIB turístico en el país ascendió a cerca de 1.5 billones de pesos mexicanos [21].



Figura 13. Países con el Producto Interno Bruto Turístico más alto

El turismo en bicicleta es una actividad muy común, atractiva para los turistas y remunerada en México. Empresas como Tripadvisor ofertan decenas y decenas de tours en bicicleta todos los días los cuales pueden ir desde los 800 hasta los 3,000 pesos mexicanos aproximadamente. Las temáticas de los tours son muy versátiles ya que pueden ir desde recorridos de Ciudad de México a Teotihuacán, tours gastronómicos, tours nocturnos, tours de leyendas e historias de terror, tours de museos e incluso recorridos por la playa o por la

selva, por mencionar algunos. El hecho de que el triciclo eléctrico no sea un vehículo muy común o comercial hace que sea una experiencia atractiva para los usuarios ya que se quiere tener la experiencia de conducir uno de estos por lo menos una vez en su vida, dándole un plus contra los tours en bicicleta tradicional. Además, por la naturaleza del vehículo los turistas pueden colocar cómodamente sus objetos personales (mochilas, maletas, etc.) e incluso se pueden adaptar asientos para niños pequeños o bebés para que viajen de manera segura, siendo vigilados por sus padres en todo el momento de la conducción [22].



Figura 14. Tour de bicicleta eléctrica ofertado por Tripadvisor

Como conclusión del subcapítulo se propondrá la descripción del perfil de usuario general del vehículo, mismo que ayudará a definir los requerimientos y necesidades en el siguiente capítulo.

Perfil del usuario general: Hombres y mujeres de 15 a 60 años aproximadamente que deseen utilizar un vehículo eléctrico para realizar sus actividades donde requieran transportarse y además llevar una carga de hasta 150 kilogramos extra con ellos. Que tengan la necesidad o simplemente la elección de desgastarse menos físicamente al utilizarlo, que estén conscientes de que están contaminando menos que un automóvil y una motocicleta y finalmente que quieran tener una experiencia nueva utilizando un vehículo poco convencional.

## **1.4 Ventajas de un triciclo eléctrico sobre uno tradicional**

A grandes rasgos, existen 3 principales ventajas que brinda la adición de un motor eléctrico como asistencia al pedaleo en un triciclo de carga. La posibilidad del usuario de recorrer caminos aun cuando estos tengan una gran inclinación, la posibilidad de recorrer mayores distancias sin el riesgo a sufrir un desgaste físico y una posible lesión muscular o de rodilla y brindarle la posibilidad al usuario desplazarse sin depender de su energía humana, esto en caso de que este fatigado o se haya lesionado. Todo esto tomando en cuenta que el agregarle un motor eléctrico que haga que el vehículo no supere los 25 kilómetros por hora permite utilizar el vehículo sin la necesidad de pagar placas ni impuestos, por lo tanto, esto último no representa una desventaja.

### **1.4.1 Asistencia en el pedaleo en calles empinadas**

No existe un dato exacto del número de calles inclinadas que existen en México, pero basta con observar las imágenes que se encuentran a continuación para darse una idea de los caminos que tienen que evitar los conductores de triciclos de carga , ya que resulta prácticamente imposible realizar estos trayectos utilizando únicamente la energía humana, y cuando se realizan de manera descendente representan un peligro muy grande al conductor ya que la aceleración es demasiada por el peso y el sistema de frenado con el que cuentan estos vehículos no es suficiente para frenar el vehículo en esta situación. Si el vehículo cuenta con un motor eléctrico, realizar este tipo de trayectos es posible sin comprometer la seguridad del conductor ya sea por sobreesfuerzo físico o por el tema del frenado, ya que al adicionar un motor eléctrico también se puede utilizar como sistema de frenado quitándole esa tarea de encima a la energía humana.



*Figura 15. Calles empinadas en la Ciudad de México*

#### **1.4.2 Reducción de desgaste fisiológico por sobre esfuerzo al pedalear**

Cuando se realiza la actividad de pedaleo es común que factores como un mal ajuste del asiento o una postura incorrecta generen malestares o dolor, pero las lesiones más graves se deben a un pedaleo con una técnica incorrecta o un sobre esfuerzo. Cuando se carga mucho peso o cuando se recorren caminos muy inclinados claramente se debe imprimir más fuerza para realizar la acción del pedaleo, pero a medida que se requiere imprimir más fuerza más se descuida la técnica de pedaleo y esto da pie a realizar movimientos peligrosos (abrir o cerrar las rodillas de más, mover de manera brusca las caderas, empezar a pedalear parado, etc.) con el fin de imprimir la mayor fuerza posible. Cuando se tiene un vehículo cuyo peso sin carga es de 40 kilogramos y que además debe cargar al conductor y un peso extra de hasta 150 kilogramos esto es un factor muy importante a tomar en cuenta para la prevención de lesiones en el usuario.

A continuación, se muestran 2 de las lesiones más comunes por sobre esfuerzo y mala técnica de pedaleo a modo de ejemplificar lo anteriormente mencionado [23].

## Tendinitis de Aquiles

Lesión en el talón de Aquiles, que conecta el músculo de la pantorrilla con el hueso del talón, se trata de una lesión causada por el sobreesfuerzo en el pedaleo. Un mal ajuste de la bicicleta, una postura incorrecta y utilizarla de esta manera por largo periodos de tiempo son las causas de esta lesión en el ciclismo.



Figura 16. Representación de Tendinitis de Aquiles

## Tendinitis rotuliana

De características similares a la de Aquiles, esta afecta al tendón rotuliano, situado debajo de la rodilla. Causada por utilizar el vehículo por distancias muy largas conduciéndose con una mala postura y un movimiento incorrecto de las rodillas, específicamente común cuando se realiza la acción de pedaleo parado.



Figura 17. Representación de Tendinitis rotulina

### **1.4.3 Autonomía completa en caso de fatiga o lesión**

Como se comentó en el subcapítulo 1.1 el objetivo de agregar un motor eléctrico a un HPV no es el de hacer competir a la energía humana contra la energía eléctrica, sino disponer de ambas y utilizar la que sea necesaria en el momento necesario. Si se recorre un trayecto con un camino plano y sin mucho peso es probable que la asistencia al pedaleo no tenga caso utilizarse, y el usuario quiera reservar esa energía eléctrica para recorrer caminos más complicados. Pero ¿qué sucede si el usuario está muy fatigado o acaba de sufrir una lesión?, en este caso probablemente el usuario quiera realizar su recorrido de manera completamente autónoma, utilizando únicamente la energía eléctrica, esto también es posible ya que las baterías presentan una autonomía de entre 40 y 60 kilómetros por carga

completa al utilizarse 100 % como fuente motriz, si se utiliza únicamente en situaciones con caminos complicados claramente su autonomía será mucho mayor.

## **1.5 Objetivo**

El objetivo principal de un HPV es el de contar con un vehículo que no dependa de una fuente de energía o combustible para que este pueda desplazarse, lo cual puede traducirse a contar con un vehículo que permita desplazarnos sin limitantes en cuanto a la disponibilidad de estos. Pero cuando se utiliza un HPV en condiciones que exigen un sobreesfuerzo que atenta a la integridad física del usuario, o caminos que son imposibles de recorrer únicamente con energía humana, es importante contar con sistema de propulsión adicional que apoye al usuario. El objetivo de este proyecto es el de ofrecer una solución a la problemática mencionada anteriormente, aterrizándola en un HPV particularmente famoso en México: el triciclo de carga, haciendo referencia a condiciones reales del país que limitan a este medio de transporte a circular por diferentes zonas de las ciudades donde son utilizados, brindando así las ventajas de asistencia al pedaleo, reducción de desgaste fisiológico y la opción de autonomía completa al usuario.

## 2.- Identificación de requerimientos y especificaciones

### 2.1 Identificación de requerimientos

A partir de la conclusión del subcapítulo 1.3, se proponen los siguientes requerimientos que debe satisfacer el vehículo, respondiendo 3 preguntas: ¿Qué?, ¿Cuánto? Y ¿Por qué? Esto con la finalidad de que se definan, se cuantifiquen y se justifiquen:

Tabla 1 Requerimientos del vehículo			
#	¿Qué?	¿Cuánto?	¿Por qué?
R1	Transportar al usuario a la velocidad máxima permitida para los vehículos que no deben ser emplacados	Hasta 25 km/h	Porque el reglamento de tránsito en la página 7 lo indica (vehículo no motorizado)
R2	Capacidad de transportar, objetos personales, paquetería, mercancía o personas	De entre 160 [kg] y 240 [kg] de peso en la canasta y un volumen promedio de 0.345 m <sup>3</sup>	Es el rango de peso y volumen que pueden cargar los modelos de triciclo de carga más populares en México.
R3	Brindar un apoyo al usuario para transitar por algunas calles empinadas con la carga máxima	El apoyo puede ser regulado. Puede ser desde 0 hasta 100% siendo este último completamente impulsado por el motor.	Para evitar el desgaste físico excesivo producido por subir pendientes elevadas con una carga elevada
R4	Autonomía	Al menos 30 km de autonomía	Los casos de uso que fueron estudiados no superan esta distancia recorrida por día
R5	Cumplir con los estándares de seguridad y tránsito	-Llantas con suficiente aire (depende de la marca y modelo)	Es necesario por la seguridad del usuario y que a este se le permita circular

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Frenos funcionales (distancia de frenado de 2 a 4 m)</li> <li>-Luces delanteras y traseras(min 20 y 100 lúmenes) [24]</li> <li>-Casco</li> <li>-Campana/Claxon</li> <li>-Sistema de transmisión en buen estado</li> <li>-Chasis que soporte la carga y el peso del usuario.</li> </ul>	
R6	Sistema de seguridad del vehículo	Sistema de seguridad que impida el robo del vehículo	Al día se roban 5 bicicletas en la ciudad de México, a pesar de no ser un vehículo tan común sigue siendo uno de los más robados.
R7	Componentes electrónicos a prueba de agua	Al menos resistencia IPX4	Para evitar el daño de los componentes electrónicos del vehículo cuando se utilice mientras llueve
R8	Dirección del vehículo	Suficiente capacidad de giro del vehículo para dar vueltas en calles de 90° y glorietas	Para realizar vueltas y circular en glorietas

**R1:** De acuerdo con el reglamento de tránsito un vehículo será considerado no motorizado, aunque cuente con un sistema de propulsión adicional si este no supera los 25 km/h. La ventaja de que el vehículo no sea catalogado como motorizado es que este no debe ser emplacado y no deberá pagar impuestos por su uso, es por esto que el primer requerimiento es que el vehículo cuente con un “tope” que no permita acelerar más si se han alcanzado los 25 km/h. [25]

**R2:** De acuerdo con las características de los triciclos de carga más populares de México (que se presentarán más adelante) las capacidades máximas de carga de estos van desde los 160 hasta los 240 kilogramos y el promedio del volumen de la canasta de carga es de

0.345 metros cúbicos, por lo tanto, se define como segundo requerimiento que el vehículo pueda soportar estos valores de carga además del peso del usuario.

**R3:** Este requerimiento surge a partir del objetivo principal, el cual es brindar un apoyo a los usuarios para que puedan transportar los valores de carga anteriormente mencionados en situaciones que exijan un sobreesfuerzo y que así no se atente a la integridad física de estos. Como todos los usuarios tienen capacidades diferentes de fuerza muscular, se propone también como requerimiento que el nivel de asistencia sea regulado desde 0 hasta completamente impulsado por el motor eléctrico.

**R4:** Un estudio de SinTráfico, plataforma líder de movilidad inteligente en México, estima que, en promedio, un auto en la capital del país puede alcanzar una velocidad de 13.42 kilómetros por hora en horas pico, trasladándose un promedio de **23.1 kilómetros al día**; esto se trata de un vehículo que tiene un uso regular. [26]

De acuerdo con un tweet de la página oficial de Twitter de Correos de México del 12 de noviembre del 2017, existen aproximadamente 7 mil carteras y carteros activos que recorren **30 km diarios en zonas urbanas**. Si se supone que el vehículo será utilizado por un cartero o cartera que desee utilizar completamente la propulsión del motor para desplazarse este deberá tener una autonomía de por lo menos 30 km por carga para realizar la jornada de un día. [27]

**R5:** Para que una bicicleta o triciclo pueda transitar de manera segura deberá contar con llantas dependiendo del tipo de terreno que recorrerá, neumáticos inflados conforme a lo especifique el fabricante, frenos funcionales, luces delanteras y traseras, utilizar casco, contar con una campana o claxon, revisar que el sistema de transmisión (cadena) esté funcionando correctamente y este en óptimas condiciones y que el chasis pueda soportar la carga especificada, no cuente con piezas oxidadas que puedan debilitar la estructura y que no cuente con abolladuras en ninguno de sus tubos.

**R6:** De acuerdo con el Heraldo de México tan solo en la ciudad de México se roban 5 bicicletas al día (contando únicamente las que se reportan). Por lo tanto, que el vehículo cuente con un sistema de seguridad es un requerimiento importante. [28]

**R7:** De acuerdo con CONAGUA, la temporada de lluvias en México va desde mayo a noviembre (2021). México es un país donde llueve durante la mayoría del año y es por ello que un requerimiento importante para el vehículo es que este cuente con componentes electrónicos a prueba de agua o en su defecto de algún contenedor externo que los proteja de la misma. [29]

**R8:** Por su puesto el vehículo deberá contar con un sistema de dirección que le permita dar vueltas a calles perpendiculares a 90 grados, recorrer glorietas e incluso dar vueltas en “U”. De acuerdo con el Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo, el radio de giro sugerido para un triciclo de carga con 2.14 m de largo y 1 metro de ancho es de 9.39m. [30]

Vehículo	Dimensiones	Largo	Ancho	Radio de giro
<b>Ciclo taxi</b> En el modelo sencillo, carga hasta dos personas en remolque.		2.92	1.28	10.11
<b>Ciclo taxi eléctrico</b> Está diseñado para transportar a más de dos personas cuyo motor asiste en mayores distancias		2.93	1.05	15.00
<b>Triciclo</b> Son diseñados específicamente para transportar bienes.		2.14	1.00	9.39
<b>Bicicleta de carga de plataforma central</b> Diseñada para la carga de mercancías adaptable para llevar niños y animales de compañía con los debidos elementos de seguridad.		2.43	0.57	11.70

Fuente: (ITDP, 2011; CROW, 2011)

Figura 18. Radio de giro sugerido para diferentes HPVs, imagen obtenida del ITDP

## 2.2 Definición de las especificaciones del vehículo

Una vez que se han definido los requerimientos que debe satisfacer el vehículo, se procederá a definir las especificaciones que resuelven estos requerimientos. Se identificaron 15 especificaciones que permitirán al vehículo satisfacer los 8 requerimientos definidos en el subcapítulo anterior. Las especificaciones son las siguientes:

Tabla 2 Especificaciones del vehículo		
#	¿Qué?	¿Qué requerimiento resuelve?
E1	Motor eléctrico	R1 Y R3
E2	Batería con suficientes características para alimentar el motor	R1,R3 Y R4
E3	Capacidad máxima de carga de entre 160 y 240 [kg] , sin contar el conductor	R2
E4	Llanta y rodada apta para circular en las calles	R5
E5	Autonomía de al menos 30 km	R4
E6	Asiento ajustable	R5
E7	Frenos funcionales capaces de frenar por completo el vehículo cuando se descienda por calles empinadas	R5
E8	Dispositivo que indique la velocidad, la batería restante y el modo de asistido	R5
E9	Controlador de velocidades	R1 Y R3
E10	Acelerador	R1 y R5
E11	Encendido del triciclo por llave	R6
E12	Luces de mínimo 20 lúmenes en la parte trasera y 100 en la delantera	R5
E13	Claxon	R5

<b>E14</b>	Sensor de revoluciones o torque	R5
<b>E15</b>	Sistema de dirección	R8

**E1:** El vehículo contará con un motor eléctrico como fuente de propulsión adicional a la energía humana para asistirle al usuario en situaciones complicadas.

**E2:** El vehículo contará con una batería con las características suficientes para alimentar el motor, las luces y los dispositivos electrónicos adicionales.

**E3:** La capacidad de carga definida en el subcapítulo 2.1.

**E4:** El vehículo contará con el tipo de llanta y con la rodada más adecuada, las cuales se definirán en el próximo capítulo.

**E5:** El vehículo deberá ser capaz de desplazarse de manera autónoma (impulsado 100% por la fuerza del motor) por lo menos hasta 30 kilómetros con la carga completa de la batería.

**E6:** El vehículo deberá contar con un asiento ajustable para que usuarios de diferentes alturas puedan utilizarlo de manera correcta y cómoda.

**E7:** El vehículo deberá contar con un sistema de frenado que permita al vehículo ser frenado por completo tanto en calles planas como en calles empinadas para asegurar la integridad del usuario y de las personas a su alrededor.

**E8:** El vehículo deberá contar con un dispositivo colocado en una parte visible para el usuario donde este pueda observar la velocidad a la que se encuentra el vehículo, el nivel de batería restante y el nivel de asistencia que está entregando el motor.

**E9:** El vehículo deberá contar con un regulador de velocidades que permita al vehículo no rebasar el límite de 25 km/h que marca el reglamento de tránsito además de controlar el nivel de asistencia del motor.

**E10:** El vehículo deberá contar con un acelerador que el usuario pueda accionar de manera gradual para que el vehículo acelere de acuerdo con el nivel de accionamiento.

**E11:** El vehículo deberá contar con un encendido por llave para evitar que este sea robado, el cual cuando el switch no este activado el vehículo bloqueará las llantas para que este no pueda desplazarse. Adicionalmente la estructura del vehículo deberá permitir que se le pueda agregar una cadena o candado como seguridad extra.

**E12:** El vehículo deberá contar con luces tanto en la parte delantera como en la parte trasera. Siendo estas luces de al menos 100 y 20 lúmenes respectivamente. Además, deberá contar con un sistema intermitente de estas para que funja como sistema de direccionales e intermitentes.

**E13:** El vehículo deberá contar con un sistema sonoro que el usuario pueda accionar a modo de advertencia y alerta para los vehículos y personas que se encuentren a su alrededor.

**E14:** El vehículo deberá contar con un sensor capaz de medir las revoluciones o el torque del pedaleo para que la velocidad pueda ser determinada.

**E15:** El vehículo deberá contar con un sistema de dirección que permita al vehículo dar vuelta en calles a 90 grados, dar vueltas en “U” y circular por glorietas.

### **3.- Diseño conceptual de la solución**

Para encontrar una solución a la problemática planteada es necesario abordar el problema de manera ordenada y segmentada, un vehículo está compuesto de diversas piezas que pueden guardar o no una relación directa con otras, definiremos un subsistema como un conjunto de piezas que cumplen una función específica o que simplemente guardan características muy similares con otras.

Una vez definidos los requerimientos y especificaciones del vehículo, se procede a dividirlo en subsistemas. Se identificaron y se definieron 7 subsistemas: Propulsión, Energía, Estructural, Interfaz, Electrónica, Transmisión y frenos y Dirección. Mismos que serán descritos en el capítulo 3.1.

Una vez definidos los subsistemas, se propondrán y analizarán diferentes soluciones por cada uno con el fin de compararlas entre sí y posteriormente determinar y justificar cuál es la mejor para conformar el vehículo final. Al final del capítulo también se incluirá una tabla con la distribución de los componentes en el vehículo, así como su método de sujeción a este.

### 3.1 Definición de los subsistemas del vehículo



Figura 19 Esquema de los subsistemas del vehículo

**Propulsión:** Sistema encargado de proporcionar la fuerza motriz al vehículo. Incluye al motor eléctrico y a la potencia producida por el pedaleo del usuario.

**Energía:** Sistema encargado de administrar y suplir la alimentación a los demás sistemas que lo necesiten. Se encarga de alimentar el motor, las luces, el claxon, el controlador y el dispositivo que indica la batería restante, velocidad y nivel de asistencia.

**Estructural:** Sistema que le da forma al vehículo, sostiene tanto al usuario como a los demás sistemas y brinda protección a estos. Será compuesto por un chasis basado en el diseño de un triciclo de carga tradicional adaptado para los componentes que se le añadirán.

**Electrónica:** Sistema que engloba los componentes de control, sensores y distribución de la alimentación

**Interfaz:** Sistema que engloba todos los componentes con los que interactuará el usuario de manera directa. Estos son: las luces (frontal, trasera y direccionales), el claxon, el

acelerador y el dispositivo indicador de velocidad, nivel de asistencia y nivel de batería (autonomía).

**Transmisión y frenos:** Sistema encargado de la conversión de la energía humana y eléctrica en el desplazamiento del vehículo. El sistema también engloba el sistema que permite al vehículo disminuir su velocidad y detenerse, así como las llantas del vehículo.

**Dirección:** Sistema encargado de darle una trayectoria específica al vehículo, esto realizado con un conjunto de piezas que le otorga un movimiento de giro simultáneo a las ruedas delanteras suficiente para dar vueltas en calles a 90° y circular en glorietas.

## **3.2 Propuesta, análisis y comparación de soluciones por subsistema**

A continuación, se mostrarán diferentes propuestas para la solución de cada subsistema del vehículo, se mostrarán las características de cada uno, así como sus ventajas y desventajas con respecto a las demás. Esto con el fin de dar un panorama de las diferentes soluciones que se tienen y finalmente escoger la solución más adecuada para los requerimientos y especificaciones establecidos anteriormente.

### **3.2.1 Propulsión**

En este subsistema se tienen 2 tablas, la primera compara las 3 posiciones en las que puede estar ubicado el motor eléctrico en el vehículo: llanta delantera, llanta trasera y en el centro del vehículo. La segunda tabla compara 4 valores diferentes para la potencia con la que debería contar el motor eléctrico.

**Tabla 3 Propuesta de soluciones del tipo de motor [31]**

Solución (Posición)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Motor eléctrico delantero</b></p> 	<p>Motor posicionado en el eje de la rueda delantera</p>	<p>-Mayor equilibrio</p>	<p>-No es adecuado para subir pendientes inclinadas</p>
<p><b>Motor trasero</b></p> 	<p>Motor posicionado en el eje de la rueda trasera</p>	<p>-Ayuda al conductor en terrenos complicados y pendientes inclinadas</p>	<p>-Desequilibra el reparto del peso, eso le quita estabilidad</p>
<p><b>Motor central</b></p> 	<p>Los motores ubicados en la zona central de las bicicletas se integran en el chasis junto a la batería. De esta forma, la potencia del motor se distribuye hacia la rueda trasera a través de una correa.</p>	<p>-Mayor torque(par) -Mayor estabilidad ya que desciende el centro de gravedad</p>	<p>-Más pesados (hasta 2 kilogramos más pesados) -Con mucho menos eficiencia -Cada vez menos usados</p>

Tabla 4 Propuesta de soluciones de la potencia del motor [32]			
Solución (Potencia)	Características	Ventajas	Desventajas
<b>250 watts</b>	-0.34 Caballos de fuerza -0.88 Nm de torque a 2700 Rpm	-Es la limitación que impone el reglamento de tránsito para no requerir ni homologación, ni matriculación, ni seguro para su circulación.	La velocidad que pueden alcanzar estas bicicletas suele estar limitada a <b>25 km/h</b>
<b>500 watts</b>	-0.68 Caballos de fuerza -1.77 Nm de torque a 2700 Rpm	-Potencia suficiente para superar los <b>32 km/h</b> de velocidad	Mayor gasto de energía lo que requiere una batería de mayor capacidad
<b>750 watts</b>	-1.02 Caballos de fuerza -2.65 Nm de torque a 2700 Rpm	-La velocidad que se puede alcanzar con ellas supera los <b>40 km/h</b>	Mayor gasto de energía lo que requiere una batería de mayor capacidad
<b>1000 watts</b>	-1.36 Caballos de fuerza -3.54 Nm de torque a 2700 Rpm	La velocidad que se puede alcanzar con ellas supera los <b>45 km/h</b>	Mayor gasto de energía lo que requiere una batería de mayor capacidad

### 3.2.2 Energía

En este subsistema se tiene una tabla que compara las 3 tecnologías de baterías más comunes en los vehículos eléctricos: Baterías de plomo, de níquel e hidruro metálico y de iones de Litio, analizando principalmente su eficiencia y su peso.

Tabla 5 Propuesta de soluciones para la batería del vehículo [33]			
Solución (Batería)	Características	Ventajas	Desventajas
<b>Batería de Plomo</b> 	25 watt/hora por kilogramo	-\$380 MXN por 54W de potencia ( <b>\$7 MXN por W</b> )	-Muy malas para el medio ambiente al ser desechadas -Son demasiado pesadas -Tardan hasta <b>9 horas en cargarse</b>
<b>Baterías de Níquel e hidruro metálico</b> 	55-70 watt/hora por kilogramo	-Más ligera que las baterías de plomo -Al menos <b>2.2</b> veces más eficientes que las baterías de plomo	-Se descargan sin moverse -3.6 watt por \$90 MXN ( <b>\$25 MXN por watt</b> ) -Entre <b>1.6 y 3.45</b> veces menos eficientes que las baterías de Litio
<b>Baterías de iones de litio</b> 	90-190 watt/hora por kilogramo	- <b>7.6</b> veces más eficiente que la batería de plomo y entre <b>1.6 y 3.45</b> más eficiente que la batería de Níquel e hidruro metálico. -La más utilizada actualmente	-\$80 MXN por 1.65 watt ( <b>48.5 MXN por watt</b> ) Si se opta por esta opción sería el componente más costoso en las bicicletas eléctricas (aproximadamente un 30% del costo total)

### 3.2.3 Estructural

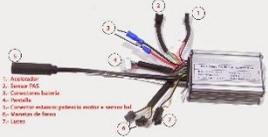
En este subsistema se comparan los materiales más utilizados para la realización de chasis tubulares. Se analizan principalmente sus propiedades mecánicas, peso, mantenimiento y precio.

Tabla 6 Propuesta de soluciones para la parte estructural del vehículo [34]			
Solución (Materiales para los aditamentos/modificaciones al chasis)	Características g/cc = gramos/ centímetro cúbico	Ventajas	Desventajas
<b>Acero 1018</b> 	Densidad: 7.87 g/cc Tensión de rotura: 420 MPa	-Más barato -Resistente	-Pesado -Sensible a la oxidación
<b>Aluminio 7075</b> 	Densidad: 2.81 g/cc Tensión de rotura: 228 MPa	-Más ligero que el acero -Fácil de trabajar (excepto soldadura)	-Más difícil de reparar -Más propenso a sufrir de fatiga (menos durabilidad) -De 2 a 2.5 veces más costoso que el acero
<b>Fibra de carbono 3K</b> 	Densidad: 1.78 g/cc Tensión de rotura: 4654 MPa	-Extremadamente ligero -Se puede realizar prácticamente cualquier geometría -Durable -No existe problema de corrosión	-Muy costoso -Si se rompe una parte hay que reemplazar todo el chasis De 10 a 12 veces más costoso que el acero

<p><b>Titanio</b></p> 	<p>Densidad: 4.50 g/cc Tensión de rotura: 420 MPa</p>	<p>-Muy duradero -Ligero -El problema de corrosión es mínimo -Es un metal que amortigua muy bien impactos (posee propiedades flexoras)</p>	<p>-Demasiado costoso -Difícil producción -20 veces más costoso que el acero</p>
---	---	--	--

### 3.2.4 Electrónica

En este subsistema se tienen 2 tablas. En la primera tabla se compara la solución al controlador del vehículo que puede ser una solución integrada o realizar cada solución de manera individual. En la segunda tabla se compara el sensor de pedaleo (PAS) y el sensor de torque.

Tabla 7 Propuesta de soluciones para el controlador del vehículo [35]			
Solución (Controlador)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Brushless DC Motor controller</b></p> 	<p>-Funcionan ya sea a 36V o 48V -Reparten la energía de la batería a cada componente electrónico que lo necesite -Salidas a los sensores, al motor, a la batería, al freno eléctrico, al acelerador, a las luces y a pantalla LCD</p>	<p>-Fácil de instalar, solo hay que conectar -Universales -Tiene salidas específicas para todo lo necesario en la bicicleta eléctrica</p>	<p>-No manipulable para realizar modificaciones</p>

<p><b>Soluciones por separado:</b>  <b>-Controlador de velocidad</b>  <b>-Microcontrolador</b></p> 	<p>Utilizar un microcontrolador como la unidad de procesamiento para los sensores y un módulo regulador de velocidad para el motor.</p>	<p>-Total control sobre qué dispositivos seleccionar y las funciones que tendrá.          -Se puede manipular el funcionamiento y agregarle funciones como la capacidad de almacenar datos o cambiar el rango del porcentaje de asistencia al pedaleo.</p>	<p>-Hay que programarlo y por lo tanto generar el código necesario          -En general requiere mucho más trabajo ya que hay que programar, realizar conexiones entre dispositivos y realizar pruebas para que funcione correctamente.</p>
--	---	--	---

<b>Tabla 8 Propuesta de soluciones para el sensor de velocidad del vehículo [36]</b>			
<b>Solución (Sensores)</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p><b>Sensor PAS</b></p> 	<p>Se trata del sistema de detección más sencillo y el más común en las bicicletas eléctricas más económicas.          Generalmente consiste en un disco de imanes situado en el eje que detecta cuando se produce un movimiento de los pedales y entonces activa la asistencia del motor.</p>	<p>-Económico          -Fácil mantenimiento</p>	<p>-La ayuda no es inmediata, sino que tarda una fracción de segundo a reaccionar, porque la señal no llega al motor hasta que la bicicleta no está en movimiento.          -La asistencia no varía según el esfuerzo realizado por el ciclista sino únicamente según el nivel de ayuda definido manualmente por el usuario.</p>

<p><b>Sensor de par o torque</b></p> 	<p>Se trata del sistema más avanzado en el mundo de las bicicletas eléctricas. El sensor detecta la fuerza que el ciclista ejerce sobre los pedales de forma que puede ofrecer una asistencia eléctrica proporcionada a esta fuerza.</p>	<p>-La ayuda es inmediata y permite arrancar en subida -Es más seguro ya que reacciona de manera inmediata se tiene más control -Es más eficiente dado que el motor únicamente trabaja cuando hace falta.</p>	<p>-De 4 a 5 veces más costoso</p>
--	--	---	------------------------------------

### 3.2.5 Interfaz

En este subsistema se comparan distintas soluciones para 4 componentes diferentes: el acelerador, las luces, el claxon y el dispositivo indicador. Para el acelerador se comparan 3 opciones: el acelerador de puño, de gatillo y de botón. Para las luces: leds anclados al chasis, las luces dinamo y las luces en los cascos. Para el claxon: Campana, claxon electrónico y claxon clásico. Y por último para el dispositivo indicador: pantalla LCD, pantalla con leds, pantalla con leds en forma de tacómetro.

Tabla 9 Propuesta se soluciones para el acelerador del vehículo [37]			
Solución (Acelerador)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Acelerador de puño</b></p> 	<p>El acelerador se acciona girando; similar al funcionamiento de una motocicleta o scooter. Este es el tipo más común de acelerador de bicicleta eléctrica.</p>	<p>-Mayor confort y mayor precisión de la regulación</p>	<p>-Requiere una modificación al chasis para acoplarlo al modelo de triciclo tradicional</p>

<p><b>Acelerador de gatillo</b></p> 	<p>El acelerador funciona presionando la palanca del acelerador hacia adelante con el pulgar.</p>	<p>-Queda bien con el modelo de chasis del triciclo de carga -Es pequeño y cómodo de usar</p>	<p>-Menor precisión de la regulación de la velocidad</p>
<p><b>Acelerador de botón</b></p> 	<p>-En particular funciona como un interruptor de encendido/apagado; no hay forma de ajustar entre una potencia mayor y menor.</p>	<p>-Ligero y ocupa poco espacio</p>	<p>-No es regulable</p>

Tabla 10 Propuesta de soluciones para las luces del vehículo			
Solución (Luces)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Luces de pilas &amp; recargables por USB</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-LED</li> <li>-Hasta 1000 lúmenes</li> <li>-Recargable mediante USB/baterías</li> <li>-Resistentes al agua (IPX5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rotación de 360 grados</li> <li>-Regulación del modo de intensidad</li> <li>-La tecnología LED es 6 veces más eficiente que el foco regular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Si se quedan sin batería se queda el usuario sin luz, lo cual puede ser peligroso</li> <li>-Hay que cargarlas o alimentarlas directamente con la batería del vehículo</li> </ul>
<p><b>Luces de dinamo</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Foco incandescente</li> <li>-Hasta 90 lúmenes</li> <li>-Energía generada por el mismo pedaleo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se necesita una fuente de energía externa para alimentarlo</li> <li>-Tiene un aspecto más clásico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Genera un ruido extra al pedalear</li> <li>-Genera fricción lo que le quita eficiencia al vehículo</li> </ul>

<p><b>Luces para cascos</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hasta 1000 Lúmenes</li> <li>-Recargable mediante USB/baterías</li> <li>-Resistentes al agua (IPX5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Obliga al conductor a utilizar siempre el casco</li> <li>-La luz sigue la dirección de la cabeza del usuario</li> <li>-Tecnología LED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El más costoso de los 3</li> <li>-Debe cargarse con una fuente externa de energía</li> <li>-Si se queda sin batería se queda el usuario sin luz, lo cual puede ser peligroso</li> </ul>
---	---	--	---

Tabla 11 Propuesta de soluciones para el Claxon			
Solución (Claxon)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Campana</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Acero</li> <li>-Frecuencia de 430 Hz</li> <li>-Produce sonido por medio de vibración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Económica</li> <li>-Ligera</li> <li>-Sonido característico que no perturba a los demás</li> <li>-No requiere alimentación eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No tan ruidosa (96 dBA)</li> <li>-Susceptible a oxidarse si se utiliza constantemente en lluvia</li> </ul>
<p><b>Electrónico</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hasta 120 dB</li> <li>-Batería de litio de 280 mAh incorporada tarda sólo 1,2 horas para cargar completamente y funciona hasta 20-30 días alrededor de 2 000 ciclos.</li> <li>-Resistente al agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más ruidoso, por lo tanto, más notable que la campana</li> <li>-Resistencia al agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hay que cargarlo, es decir se necesita una fuente externa de energía</li> <li>-11 veces más costoso que la campana</li> <li>-Sonido inquietante que puede perturbar/asustar a los demás</li> </ul>

<p><b>Claxon</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Acero y goma</li> <li>-Frecuencia de 670 Hz</li> <li>-Produce sonido por medio de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sonido notable pero no fuerte</li> <li>-Le da un aspecto divertido y "vintage" al vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Es peligroso ya que para accionarlo hay que quitar la mano completamente del volante</li> <li>-No tan ruidoso como el eléctrico</li> </ul>
--	---	--	--

Tabla 12 Propuesta de soluciones para el dispositivo indicador			
Solución (Dispositivo indicador)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Pantalla LCD</b></p> 	<p>-Esta pantalla permite al ciclista elegir el nivel de asistencia que desea si está instalado. Muestra la batería restante, la velocidad actual, la velocidad media, la velocidad máxima, el reloj, las distancias totales y de viaje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite ver numéricamente los valores de los datos</li> <li>-Permite cambiar el brillo de la luz</li> <li>-Permite observar el estado de la batería (batería restante)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más costoso</li> </ul>
<p><b>Pantalla con LEDs</b></p> 	<p>-Permite echar un vistazo fácilmente a datos básicos del vehículo como: modo de asistencia, encendido apagado luces, velocidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más económico que la pantalla LCD</li> <li>-100gr menos pesada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muestra la información únicamente en "niveles" (leds) por lo tanto no muestra valores numéricos</li> <li>-Sólo nos permite visualizar 3 datos: velocidad (4 niveles), luz (encendida o apagada) y modo de asistencia (3 niveles)</li> </ul>

<p><b>Pantalla con LEDs en forma de tacómetro</b></p> 	<p>-Permite echar un vistazo fácilmente a datos básicos del vehículo como: modo de asistencia, encendido apagado luces, velocidad</p>	<p>-Más económico que la pantalla LCD -90gr menos pesada -Se agrega un tacómetro digital (a diferencia del anterior)</p>	<p>-Nos da la información únicamente en “niveles” (LEDs) por lo tanto no muestra valores numéricos -Sólo nos permite visualizar 3 datos: velocidad (20 niveles), luz (encendida o apagada) y modo de asistencia (5 niveles)</p>
---	---	--	---

### 3.2.6 Transmisión y frenos

En este sistema se tiene 3 tablas, una para las soluciones de la transmisión, otra para las del sistema de frenado y la última para los neumáticos. En la transmisión se comparan: la transmisión de una velocidad, la de cambios externos y la de cambios internos. En los frenos se comparan: los frenos de llanta, el freno de contra pedal, los frenos de tambor y los frenos de disco. En el tipo de neumáticos se comparan: los neumáticos clincher, tubulares y tubeless.

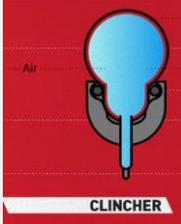
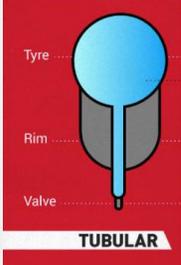
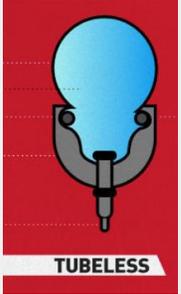
<b>Tabla 13 Propuesta de soluciones para la transmisión del vehículo [38]</b>			
<b>Solución (Transmisión)</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p><b>Una sola velocidad</b></p> 	<p>-Consta de cadena, plato, piñón, biela y pedal.</p>	<p>-Más económica. -Mucho menos mantenimiento. -Menos pesada.</p>	<p>-Se debe realizar un mayor esfuerzo en las subidas. -Se tiene una sensación incómoda en las bajadas.</p>

<p><b>Cambio externo de marchas tipo desviador</b></p> 	<p>-Consta de cadena, plato, piñones (cassette), desviador, biela y pedal.</p>	<p>-Se adaptan a prácticamente cualquier situación. -Se pueden realizar las subidas sin mucho esfuerzo. -Se alcanzan velocidades mayores.</p>	<p>-Más costosas que la de una velocidad (entre \$1000 y \$2000 MXN extra) -Mayor mantenimiento. -Mayor peso (alrededor de 800 gr más).</p>
<p><b>Cambio interno de marchas</b></p> 	<p>-Consta de cadena, plato, caja de velocidades interna, biela y pedal.</p>	<p>-Permite cambiar sin pedalear, hecho interesante para el ciclismo urbano, con múltiples paradas en los semáforos. -Como el sistema está sellado no se contamina por polvo o suciedad -La cadena dura más ya que su trayectoria es recta.</p>	<p>-Muy difíciles de reparar. -Más costoso que las opciones anteriores (\$2000 a \$3000 MXN más que la de una velocidad). -Desplaza el centro de gravedad a la rueda de atrás. -Un poco más pesado que la opción anterior (200gr más).</p>

<p><b>Tabla 14 Propuesta de soluciones para el sistema de frenado del vehículo [39]</b></p>			
<p><b>Solución (Frenos)</b></p>	<p><b>Características</b></p>	<p><b>Ventajas</b></p>	<p><b>Desventajas</b></p>
<p><b>Frenos de llanta</b></p> 	<p>La fuerza de frenado se aplica por la fricción de las almohadillas (pastillas) en la llanta de la rueda giratoria, frenando así la bicicleta.</p>	<p>-Fáciles de reparar. -Es la opción más económica.</p>	<p>-Producen sonidos irritantes cuando están desgastados. -En caso de lluvia pierden fricción y por lo tanto son más inseguros.</p>

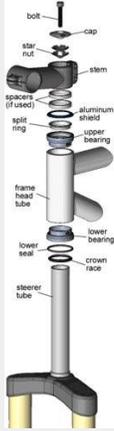
<p><b>Frenos de contra pedal</b></p> 	<p>Frenan la rueda trasera al pedalear hacia atrás, común en bicicletas antiguas y bicicletas playeras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se ven afectados por la lluvia o condiciones climatológicas.</li> <li>-Proporcionan un frenado uniforme aun en condiciones de humedad o suciedad.</li> <li>-Silenciosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son más pesados y complicados de instalar.</li> <li>-Desgastan las ruedas de manera más significativa.</li> <li>-Se requiere una cierta habilidad por parte del usuario.</li> </ul>
<p><b>Frenos de tambor</b></p> 	<p>Sistema de frenos en el que dos zapatas opuestas entre sí por un movimiento de expansión rozan con el interior de un cilindro, llamado tambor, que gira entre la rueda y el buje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se ven afectados por la lluvia o condiciones climatológicas.</li> <li>-Proporcionan un frenado uniforme aun en condiciones de humedad o suciedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más pesados y complicados de reparar que los de llanta.</li> <li>-No se adaptan bien al cierre de rápida fijación, de ahí que retirar una rueda con freno de tambor requiere que el operador desconecte el cable de freno y el eje.</li> </ul>
<p><b>Frenos de disco</b></p> 	<p>El freno de disco es un sistema de frenado en el cual una parte móvil (el disco) solidario con la rueda que gira es sometido al rozamiento de unas superficies de alto coeficiente de fricción (las pastillas) que ejercen sobre ellos una fuerza suficiente como para transformar toda o parte de la energía cinética del vehículo en movimiento, en calor, hasta detenerlo o reducir su velocidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mucha mayor disipación de calor que los de tambor.</li> <li>-Menor peso que uno de tambor.</li> <li>-Más potencia de frenado</li> <li>-Pueden estar mucho tiempo sin mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más costoso.</li> <li>-Pueden ser peligrosos al momento de una caída causando cortes en la piel.</li> <li>-Mayor dificultad de reparar e intercambiar que los de llanta.</li> </ul>

**Tabla 15 Propuesta de soluciones para el neumático del vehículo [40]**

Solución (Neumático)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Clincher</b></p> 	<p>Este es el tipo más común de llantas para ruta. A menos que lo especifiquen, puedes asumir tranquilamente que tu bicicleta nueva usará llantas Clincher.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más comunes de conseguir.</li> <li>-Cuesta la mitad que una tubular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Menos comodidad.</li> <li>-Si se pincha hay que reemplazarla inmediatamente.</li> </ul>
<p><b>Tubulares</b></p> 	<p>Las llantas tubulares también usan neumáticos, pero de manera muy distinta. El neumático de una tubular está fijo en la llanta, la cual después se pega directamente al rin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ofrecen menor peso.</li> <li>-Mejor resistencia al rodar</li> <li>-Una sensación superior</li> <li>-En el caso de un pinchazo, también tienen el extra de poderse usar prácticamente sin riesgo con solo la llanta en el rin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Lo complicado que es pegarlas al rin en primer lugar.</li> <li>-Visita obligatoria al taller para reemplazarlas.</li> <li>-Pueden llegar a costar el doble que una Clincher.</li> <li>-Más difíciles de encontrar.</li> </ul>
<p><b>Tubeless</b></p> 	<p>Las Tubeless no necesitan neumáticos, en cambio se adhieren a rines diseñados específicamente para sellar el aire en su interior. Es una tecnología muy similar a la que verías en una motocicleta o automóvil moderno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Generan menos fricción, lo que las hace rodar mejor con menores presiones.</li> <li>-Son más resistentes a los pinchazos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Configuración costosa.</li> <li>-Más complejo de instalar.</li> <li>-Requiere más servicio.</li> <li>-Pérdida de aire entre rodadas.</li> </ul>

### 3.2.7 Dirección

En la dirección se tiene una tabla comparando los dos tipos de direcciones más comunes en las bicicletas: la dirección roscada o *threaded* y la dirección estándar o *threadless*.

Tabla 16 Propuesta de soluciones para la dirección del vehículo [41]			
Solución (Tipo de dirección)	Características	Ventajas	Desventajas
<p><b>Dirección roscada (Threaded)</b></p> 	<p>En este sistema el conjunto de cazoleta-rodamientos para la parte superior del juego de dirección se rosca al tubo de la horquilla mediante un sistema de tuerca / contratuerca que consolida el conjunto horquilla / tubo de dirección.</p>	<p>-Permite una regulación de la altura del manillar muy rápida y con un buen margen de variación.</p>	<p>-El inconveniente es que es menos rígido que el sistema estándar. -Se ha visto desplazado totalmente en el mundo BTT (bicicleta todo terreno) y bicis de carretera hace años.</p>
<p><b>Dirección estándar (Threadless)</b></p> 	<p>El tubo de la horquilla no tiene rosca y se alarga para que la potencia le abrace directamente quedando unida a él mediante tornillos Allen.</p>	<p>-Aporta mayor solidez al conjunto de dirección.</p>	<p>-No permite variar la altura del manillar.</p>

### 3.3 Diseño de la configuración de la solución

#### 3.3.1 Selección final de las soluciones por subsistema y justificación

A continuación, se muestran las soluciones seleccionadas para conformar el vehículo, se muestran nuevamente sus características y la justificación de por qué se seleccionaron. Cabe resaltar que esta no es la única configuración para conformar el vehículo, pero si la que se considera más adecuada para el objetivo del proyecto, el cual es el de realizar la conversión de un triciclo de carga tradicional ya existente a eléctrico realizando el menor número de modificaciones posibles, se consideraron las soluciones que satisfagan los requerimientos previamente establecidos sin que estas representen una capacidad sobrada que represente un costo innecesario para el vehículo. Por su puesto que otra configuración puede utilizarse para otros objetivos, por ejemplo, la configuración con los componentes más costosos si así se requiere.

Tabla 17 Propuesta final de las soluciones del vehículo		
Solución	Características	Justificación
<b>Motor trasero de 500 Watts</b>	-Motor en la parte trasera -Motor de 500 Watts	El motor en la parte trasera del vehículo apoya a que el vehículo se desplace con mayor facilidad por pendientes inclinadas además de darle mayor tracción en la parte trasera. Se propone un motor de <b>500 Watts</b> ya que es la potencia del motor que utilizan los siguientes triciclos de carga: - <i>“The original”</i> de la marca Bunch [42] - <i>“Ferla Cargo Bike” – Inspire</i> de la marca Ferla. Ambos, cuentan con un motor trasero de 500W y son capaces de soportar hasta 160 kilogramos de carga (350 libras).
<b>Batería de iones de litio</b>	-Batería de iones de litio de 48V a 10 Ah -90-190 watt/hora por kilogramo	-La tecnología de litio es la tecnología más eficiente (Wh/Peso) hasta el momento. Proporciona potencias de energía altas con baterías de bajo peso. El cuál es un factor muy importante a tomar en cuenta en el diseño de vehículos. Se propone una batería con una potencia aproximada de 500 W que daría una autonomía de 40 a 65 km por carga.

<p><b>Controlador</b></p>	<p>-Funcionan ya sea a 36V o 48V -Reparten la energía de la batería a cada componente electrónico que lo necesite -Salidas a los sensores, al motor, a la batería, al freno eléctrico, al acelerador, a las luces y al dispositivo indicador.</p>	<p>-El controlador actúa como la herramienta de procesamiento de todos los componentes eléctricos del vehículo. Se encarga de alimentar y regular la velocidad del motor eléctrico, recibir las señales de los sensores, distribuir la energía necesaria a cada componente y procesar y analizar la información que se le desplegará al usuario en la pantalla de información. Se optó por utilizar un controlador previamente diseñado para esta función que se encuentra fácilmente en las tiendas en línea.</p>
<p><b>Sensor PAS</b></p>	<p>Se trata del sistema de detección más sencillo y el más común en las bicicletas eléctricas más económicas. Generalmente consiste en un disco de imanes situado en el eje que detecta cuando se produce un movimiento de los pedales y entonces activa la asistencia del motor.</p>	<p>Se optó por utilizar este sensor debido a que es 4 veces más económico que el sensor de torque. Al usuario le dará una experiencia menos “natural” y con una respuesta más lenta, pero no es factor que sea relevante para el tipo de usuario al que está destinado el vehículo.</p>
<p><b>Acelerador de gatillo</b></p>	<p>-El acelerador funciona presionando la palanca del acelerador hacia adelante con el pulgar.</p>	<p>Este tipo de acelerador permite al usuario regular la velocidad del motor únicamente utilizando su dedo pulgar. A diferencia del acelerador de puño. Este puede agregarse al chasis convencional de triciclos de carga sin la necesidad de hacer modificaciones al chasis y a diferencia del acelerador por botón con esta solución se le permite al usuario regular la intensidad de la aceleración.</p>

<p><b>Luces LED</b></p>	<p>-LED. -Hasta 1000 lúmenes. -Recargable mediante USB/baterías. -Resistentes al agua (IPX5).</p>	<p>La luz LED es la tecnología luminosa más eficiente ya que requiere menos potencia y genera más luminosidad. La tecnología LED es 6 veces más eficiente que el foco regular. Además, esta solución cuenta con protección IPX5 que protege al dispositivo contra la lluvia. Debido a que la mayoría de los usuarios que tendrá el vehículo optan por no utilizar casco, las luces LED en el casco fueron descartadas.</p>
<p><b>Campana</b></p>	<p>-Acero. -Frecuencia de 430 Hz. -Produce sonido por medio de vibración.</p>	<p>La campana de bicicleta produce la intensidad auditiva necesaria para superar los 80 dB que se tienen aproximadamente como intensidad auditiva de fondo en la ciudad y no supera la intensidad de 120 decibeles que pueden provocar daños al oído humano. A diferencia del claxon clásico, el usuario no debe despegar la mano del volante para accionarlo.</p>
<p><b>Pantalla con LEDs en forma de tacómetro</b></p>	<p>-Permite echar un vistazo fácilmente a datos básicos del vehículo como: modo de asistencia, encendido apagado luces, velocidad.</p>	<p>Esta solución le permite ver los datos básicos necesarios al usuario a la mitad del costo de la pantalla LCD, además de que esta solución es 100 gramos menos pesada.</p>
<p><b>Una sola velocidad</b></p>	<p>-Consta de cadena, plato, piñón, biela y pedal.</p>	<p>Se optó por esta solución ya que es la más simple, económica y la requiere menor mantenimiento. Además de que es el sistema de transmisión con el que cuenta la mayoría de los triciclos de carga tradicionales. El único inconveniente es la dificultad para conducir en calles con un alto grado de inclinación, pero este problema será resuelto gracias a la potencia asistida que entrega el motor.</p>
<p><b>Freno de contrapedal</b></p>	<p>Frenan la rueda trasera al pedalear hacia atrás, común en bicicletas antiguas y bicicletas playeras.</p>	<p>Son los frenos con los que cuentan la mayoría de los modelos de triciclos tradicionales en México, mismos que no están diseñados para que se le adapten los otros sistemas de frenado. [43] Aunque se esté limitado a esta opción si no se desea modificar el chasis de manera considerable, este</p>

	<b>Precio promedio: \$500 MXN</b>	tipo de frenos representan grandes ventajas como la supresión de ruido, funcionamiento correcto del frenado aún en condiciones de lluvia y polvo y un frenado uniforme.
<b>Rueda rodada 26 con neumático tipo Clincher</b>	-Rodada de 26'' -Neumático Clincher -Llanta tipo montaña	Se optó por un neumático tipo Clincher ya que es el más común, económico y el que requiere menor mantenimiento. Se sugiere una rodada de 26 pulgadas ya que es la rodada mínima para personas a partir de 1.55 metros que serán la mayoría de los usuarios del vehículo, además una rodada menor requiere menor potencia de arranque para llegar al punto de inercia lo que facilita su aceleración en pendientes inclinadas y terrenos complicados, la llanta tipo montaña se sugiere ya que tiene mayor tracción y funciona mejor en terrenos irregulares que se tienen en muchas de las calles del país.
<b>Dirección roscada (Threaded)</b>	En este sistema el conjunto de cazoleta-rodamientos para la parte superior del juego de dirección se rosca al tubo de la horquilla mediante un sistema de tuerca / contratuerca que consolida el conjunto horquilla / tubo de dirección.	Se optó por esta solución ya que es la más usada en los modelos de triciclos de carga tradicionales que existen en mercado mexicano.

### 3.3.2 Distribución de los componentes en el vehículo

A continuación, se muestran los componentes principales del vehículo, la cantidad de estos, el método de unión para ser fijados al chasis, su posición en el vehículo y por último la justificación de su posición.

<b>Tabla 18 Distribución de los componentes en el vehículo</b>				
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unión</b>	<b>Posición</b>	<b>Justificación</b>
<b>Llanta delantera</b>	2	Tornillo, tuercas y rondanas	Laterales de la parte delantera del triciclo	Diseño original del triciclo
<b>Llanta trasera con motor eléctrico</b>	1	Tornillo, tuercas y rondanas	En la parte trasera del triciclo, a la mitad de ambas ruedas delanteras	Diseño original del triciclo y elección de utilizar un motor trasero
<b>Luces delanteras y traseras</b>	4	Soporte de antorcha de 1.25 pulgadas	Extremos laterales de la caja del triciclo, en la parte trasera y delantera	Punto visible para los demás vehículos/personas sin que el usuario lo tape
<b>Gatillos de los frenos</b>	2	Soporte de antorcha de 1 pulgada	Extremos del manubrio, donde el usuario coloca sus manos para manipularlo	Los frenos deben encontrarse en un lugar de acceso inmediato para el usuario
<b>Campana</b>	1	Soporte de Antorcha de 1 pulgada	A un lado del gatillo de freno izquierdo, de forma que el usuario pueda accionarlo con su pulgar sin quitar su mano del manubrio	Al igual que el freno es un componente que debe colocarse en un lugar de acceso inmediato y en esta posición le permite al usuario accionar ambos sin despegar su mano del manubrio
<b>Acelerador</b>	1	Soporte de antorcha de 1 pulgada	A un lado del gatillo de freno derecho, de forma que el usuario pueda accionarlo con su pulgar sin quitar su mano del manubrio	Al igual que el freno es un componente que debe colocarse en un lugar de acceso inmediato y en esta posición le permite al usuario accionar ambos sin despegar su mano del manubrio

<b>Pedales y bielas</b>	2	Tornillos, tuercas y rondanas	Laterales, en el mismo eje que el tubo del asiento	Es la posición donde se encuentran las piernas del usuario y puede realizar el movimiento de pedaleo
<b>Cadena, plato y piñón</b>	1	Tornillos, tuercas y rondana	Conectados al eje de los pedales y al de la llanta trasera	Para transmitir el torque del pedaleo al movimiento de la llanta trasera
<b>Batería</b>	1	Placa porta baterías atornillada al chasis	Sobre el tubo inferior del cuadro del chasis	Punto central que se encuentra cerca del controlador y brinda mayor estabilidad al vehículo
<b>Controlador</b>	1	Atornillado al chasis	Sobre el tubo medio del cuadro del chasis	Al posicionarse en la parte central del chasis tiene acceso equitativo a todos los componentes. Encontrándose así el componente más alejado a 1.2 metros equivalente a una pérdida de sólo el 1.3 %

## **4.- Diseño a detalle de la solución**

Una vez definido el conjunto de soluciones que se utilizarán para conformar el vehículo se procederá a definir a detalle, es decir, incluyendo las especificaciones técnicas e imágenes de cada una de estas por subsistema, proponiendo elementos existentes disponibles en el mercado que satisfacen las características definidas en el capítulo 3. Como el objetivo principal del proyecto es la transformación de los triciclos de carga existentes en México, se utilizará como referencia el triciclo de carga estándar R-26 de la marca Trejo, el cual es una de las marcas y modelos más comunes de vehículos de este tipo en el país, utilizando así sus componentes como soluciones de algunos subsistemas, los cuales tienen características similares de los demás modelos de triciclos de carga utilizados en el país.

### **4.1 Subsistema de propulsión**

#### **4.1.1 Motor eléctrico Cargo-Power RN 111**

Para el sistema de propulsión se propone el motor Cargo-Power RN 111 de la empresa alemana Heinzmann, el cual es un motor que cuenta con un sistema motorreductor que le permite al motor alcanzar un par máximo de 113 Nm el cual permite al vehículo cargar 300 kilogramos totales (incluyendo el peso del vehículo) por pendientes de hasta 13.1 % de inclinación, puede instalarse tanto en la rueda delantera como trasera en rodadas desde 20 hasta 29 pulgadas. Su potencia nominal puede ir desde los 125 hasta los 600 watts cuando se alimenta con una batería de 36 voltios y de 250 a 600 watts cuando se alimenta con una de 42 voltios dependiendo del modelo de controlador que se utilice. Los datos técnicos del controlador se muestran en la tabla 19 y la imagen del motor se muestra en la figura 20:

Tabla 19 Datos técnicos del motor Cargo-Power RN 111 traducidos de la página oficial de Heinzmann [44]							
Voltaje de alimentación	36 V				48 V		
Salida nominal (dependiendo del controlador del motor)	125 W	250 W	500 W	600 W	250 W	500 W	600 W
Velocidad nominal	200 1/min						
Torque nominal	5.95 Nm	11.9 Nm	23.8 Nm	31.0 Nm	11.9 Nm	23.8 Nm	31.0 Nm
Torque máximo	Max. 113 Nm						
Pico temporal de potencia**	Hasta 950 W				Hasta 1350 W		
Grado de protección	IP65						
Peso	5.1 kg						
Carga máxima del eje	150 kg en la rueda delantera/ 125 kg en la rueda trasera/ 100 kg de un solo lado						



Figura 20 Motor Cargo-Power RN 111 de HEINZMANN, imagen obtenida de la página oficial de HEINZMANN

## 4.2 Subsistema de energía

### 4.2.1 Batería de iones de litio Hailong 048130 HL1-2

Para la batería se propone la batería de iones de litio Hailong 048130 HL1-2 del fabricante LiRongPing. La cuál tiene una capacidad eléctrica de 48 voltios y una corriente de 13 amperios hora, valores que al ser multiplicados dan como resultado la potencia por hora de la batería la cual es de 624 watts por hora. Dicha potencia brinda una autonomía mínima de 35 km, esto en el caso de utilizar el motor como única fuente de propulsión. Esta batería es un modelo "Downtube", es decir un modelo que va atornillado al tubo medio del cuadro del vehículo. La batería junto con la base que va atornillada al tubo tienen un peso total de 4 kilogramos. Los datos técnicos de la batería se muestran en la tabla 20 y la imagen en la figura 21:

<b>Tipo de Batería</b>	Downtube Hailong	<b>Tensión de descarga</b>	36.4 V
<b>Voltaje y Capacidad</b>	48 V / 13Ah	<b>Dimensiones</b>	365x90x110 mm
<b>Potencia por hora</b>	624 Wh	<b>Peso</b>	4 kg
<b>Celdas de la batería</b>	18650 2500 mAh	<b>Puerto USB</b>	Si
<b>Tipo de Arreglo</b>	13S5P 65 Piezas	<b>Características del cargador</b>	54.6V / 2A
<b>Max constante descarga de corriente</b>	30A	<b>Ciclo de vida</b>	1000 ciclos
<b>Corriente pico</b>	60A	<b>Temperatura de carga</b>	0-45 °C
<b>Tensión de carga</b>	54.6 V	<b>Temperatura de descarga</b>	-15-65 °C



Figura 21 Batería Hailong 048130 HL1-2 con sus accesorios, imagen obtenida de Ali Express

### 4.3 Subsistema estructural

#### 4.3.1 Acero ASTM A36

El material con el que están hechas las estructuras de la mayoría de los triciclos de carga en México es el acero A36. El tipo de chasis en los triciclos de carga es tubular, es decir que está conformado por una estructura de tubos soldados entre sí para darle forma. Se compone de tijeras (tubos que conectan el cuadro con la llanta trasera), el cuadro central y la parrilla de carga. Los diámetros de los tubos en un chasis de un triciclo de carga van desde la media pulgada hasta la pulgada y media con calibres desde 14 hasta 18. Las propiedades mecánicas del acero A36 se muestran en la tabla 21 y su imagen en la figura 22.

<b>Tabla 21 Propiedades mecánicas del acero A36 obtenidas de MatWeb [45]</b>	
<b>Resistencia a la tracción en MPa</b>	400-550
<b>Límite elástico (Esfuerzo de fluencia) en MPa</b>	250
<b>Elongación % mayor o igual a</b>	20
<b>Dureza Brinell, HBW</b>	119-162
<b>Módulo de elasticidad en GPa</b>	200
<b>Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J, mayor o igual a</b>	27
<b>Módulo de corte en GPa</b>	79.3



Figura 22 Tubos de acero A36 de la empresa TuboRey, imagen obtenida de la pagina oficial de TuboRey

## 4.4 Subsistema de electrónica

### 4.4.1 Sensor PAS

Como solución para el sensor de velocidad se propone un sensor PAS (sensor de asistencia al pedaleo por sus siglas en inglés). Se trata de un sensor de efecto Hall en forma circular que se agrega al eje de la biela del pedal, puede contar con 5, 8 o 12 imanes distribuidos a lo largo de la rueda dependiendo del modelo que se compre, de esta manera el sensor detecta a cuantas revoluciones está girando la biela por minuto y envía esta señal al controlador para ser procesada y determinar cuanta potencia entregará el motor para asistir al usuario o bien para desplegar la velocidad a la que va el vehículo en el dispositivo indicador. Entre más imanes tenga el sensor mayor será la resolución de la señal. Existen diferentes fabricantes de sensor PAS, pero el diseño es prácticamente el mismo en todos ya que es genérico. Se propone como ejemplo el sensor de pedaleo vendido por la empresa “*Trip Together*” en el sitio web Ali Express [46] cuyas características se muestran en la tabla 22 y su imagen en la figura 23.

Tabla 22 Características del sensor PAS	
Material	Plástico ABS Y acero
Longitud del cable	100 cm
Color	Negro
Tipo de conector	SM-3A (1 cable de señal, otro cable de alimentación +5V y otro cable para la tierra)
Número de imanes	5,8 o 12



Figura 23 Sensor PAS de 8 imanes, imagen obtenida de Ali Express

#### 4.4.2 Controlador KT 48V/500 W

El controlador es el dispositivo encargado de suministrar la alimentación requerida a los demás componentes electrónicos, hacer el procesamiento de las señales y la tarea más importante: limitar la potencia eléctrica que se le administra al motor para evitar que este se queme. Las características más importantes a tener en cuenta para elegir un controlador es que este trabaje al mismo voltaje que el motor, que la potencia máxima que suministra no sea mayor a la del motor y que se indique que está diseñado para el mismo tipo de motor que se utilizará, en este caso un motor sin escobillas. Existen diversas marcas y modelos de controladores para bicicletas eléctricas, mientras cumpla con los requisitos anteriormente mencionados se puede escoger cualquiera de ellos. Para esta configuración se propone el controlador KT 48V/500W que entrega la tensión, el amperaje y la potencia necesaria para

alimentar el motor sin dañarlo. Los datos técnicos del controlador se muestran en la tabla 23.

<b>Tabla 23 Datos técnicos del controlador KT 48V/500W [47]</b>	
<b>Tipo de señal</b>	Onda senoidal
<b>MOSFETs</b>	9
<b>Corriente máxima</b>	22 A
<b>Conexiones</b>	1. Motor 2. Hall del Motor 3. Batería 4. Pantalla 5. PAS 6. Acelerador 7. Palancas de freno 8. Luz delantera
<b>Protección contra agua</b>	IP64
<b>Calibre de los cables</b>	14,16,18 AWG
<b>Dimensiones</b>	125x65x40 mm



Figura 24 Controlador KT 48V/500W, imagen obtenida de Ali Express



Figura 25 Referencia de conexiones del controlador KT 48V/500W. 1.- Sensor PAS, 2.-Luz delantera, 3.-Motor, 4.-Acelerador, 5.- Batería, 6.- Hall del motor, 7.- Función cruceo, 8.-Display, 9. Frenos. Imagen obtenida de Ali Express

## 4.5 Subsistema de interfaz

### 4.5.1 Acelerador Wuxing 300X

El acelerador es el dispositivo electromecánico que le permite al usuario regular la potencia que entrega el motor cuando el usuario desea que el vehículo se desplace de manera autónoma, es decir, utilizando únicamente la fuerza motriz del motor eléctrico. Como se mencionó en el capítulo 3 existen tres tipos de aceleradores para bicicletas eléctricas: el acelerador de puño, el de pulgar y el de botón. Se optó por el de pulgar ya que este puede ser adaptado fácilmente al chasis del triciclo de carga tradicional que en su manubrio tiene un tubo continuo que conecta con la canasta del vehículo, razón por la cual el de puño sería imposible de adaptar sin realizar modificaciones extra al chasis, y además porque le permite al usuario regular el nivel de aceleración a diferencia del acelerador de botón que únicamente tiene la función de prendido y apagado. El acelerador propuesto para este vehículo es el acelerador de pulgar 300X de la marca Wuxing, el cual cuenta con una abrazadera de antorcha que permitirá ser colocado con facilidad en el manubrio del

vehículo además de que cuenta con la conexión compatible con el controlador previamente seleccionado. Las características del acelerador se muestran en la tabla 24:

<b>Tabla 24 Características del acelerador 300X de la marca Wuxing [48]</b>	
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	5V
<b>Voltaje de salida</b>	0.8-4.2 V
<b>Angulo de giro</b>	0-70°
<b>Tipo de conector</b>	3 SM
<b>Resistencia al agua</b>	IPX5
<b>Material</b>	PC +ABS
<b>Largo del cable</b>	1800 mm



*Figura 26 Acelerador Wuxing 300X, imagen obtenida de Ali Express*



Figura 27 Medidas del acelerador Wuxing 300X, imagen obtenida de Ali Express

#### 4.5.2 Luces

Como el triciclo tradicional no es un vehículo tan comercial como las bicicletas y como no tienen la misma forma estructural, no existe una solución comercial directamente adaptable, por lo tanto, se propone utilizar 4 arreglos de luces LED (5 leds cada uno) de la marca Sport Light modelo BYLED006, siendo estos alimentados por la salida número 2 del controlador que entrega 48 volts y 0.300 amperios. Si se conectan las cuatro luces en serie cada una recibiría 12 volts que al ser multiplicados por los 0.200 amperios que entrega la corriente de la salida 2 esto se traduce a una potencia disponible de 2.6 watts por arreglo LED, suficiente potencia eléctrica para energizar el modelo comercial propuesto que cuenta con 5 leds y demanda una potencia de alrededor de 2 watts. Para encender y apagar las luces el usuario puede controlar la salida número 2 del controlador por medio del botón de apagado y encendido que se encuentra en el dispositivo indicador (display). Además, cada una de estas luces cuenta con abrazadera de antorcha que les permiten ser fijadas a la canasta de carga del chasis.



*Figura 28 Luces Spotlight con 5 LEDs y abrazadera de antorcha, imagen obtenida de Mercado Libre*

### **4.5.3 Campana WHKI**

El claxon es el dispositivo encargado de emitir un sonido de atención para las personas que están alrededor del usuario, accionado por el mismo en una situación de riesgo o advertencia. Se optó por una campana ya que emite la magnitud auditiva suficiente (88-96 decibeles) para sobresalir ante el ruido ambiental que existe en el tráfico (80 decibeles) [49] pero al mismo tiempo no está cerca del límite de 120 decibeles que es el inicio del umbral auditivo donde la magnitud ya es irritable y molesta para los seres humanos. Existen diversas marcas y modelos de campanas para vehículos, para este vehículo se propone la campana de la marca WHKI que emite los 96 decibeles requeridos para superar el ruido ambiental, cuenta con una abrazadera de antorcha que se sujeta al chasis del vehículo, se acciona con el pulgar, está hecho de acero inoxidable por lo cual puede ser utilizado en lluvias sin riesgo a que se oxide y tiene dimensiones muy pequeñas (3.5 centímetros de diámetro) mismas que apoyan a la correcta distribución de los componentes teniendo espacio suficiente entre ellas y así evitar la invasión de espacio entre componentes.



*Figura 29 Par de campanas WHKI, imagen obtenida de Amazon*

#### **4.5.4 Dispositivo indicador KT LED-900S**

El dispositivo indicador tiene la función de desplegarle al usuario la velocidad a la que va el vehículo, el nivel de la batería y el nivel de asistencia al pedaleo. Se propone el modelo KT LED-900S que es un indicador con tecnología LED que muestra los parámetros necesarios previamente mencionados. Este dispositivo es del mismo fabricante del controlador, así que no es necesario realizar alguna configuración adicional para que sean compatibles, el dispositivo muestra la velocidad del vehículo en un rango de 0 a 40 kilómetros por hora desplegados en 19 LEDs en forma de tacómetro, muestra el nivel de batería dividido en 4 LEDs en la parte central (cada LED representa aproximadamente 25% de batería) y por último muestra el nivel de asistencia que puede ser manipulado por el usuario por medio de 2 botones: flecha hacia arriba y flecha hacia abajo. El dispositivo tiene dimensiones pequeñas por lo cual cabe perfectamente con los demás componentes en el manubrio, mide 8 centímetros de largo y pesa tan solo 82 gramos. Además, cuenta con una abrazadera de antorcha lo que hace posible su instalación en el manubrio de tubo continuo. La longitud del cable es de 1800 milímetros y cuenta con un conector SM que le permite compatibilidad con el controlador KT 48V/500W. [49]



Figura 30 KT LED-900S, imagen obtenida de Ali Express

## LED900S DISPLAY

LED900S Display Dimensions



Figura 31 Dimensiones del KT LED-900S, imagen obtenida de Ali Express

### 4.6 Subsistema de transmisión y frenos

#### 4.6.1 Transmisión de una sola velocidad

La transmisión es el mecanismo encargado de transformar la fuerza que el usuario ejerce, en el desplazamiento del vehículo. Se optó por mantener el sistema de transmisión que tienen la mayoría de los triciclos de carga en México, el cual es la transmisión de una sola

velocidad, para así facilitar el proceso de transformación sin tener que modificar el chasis del vehículo original para poder instalar un cassette de velocidades o una caja de velocidades internas. La desventaja de no tener un juego de engranes en la transmisión (cassette o caja de velocidades) es que el usuario cuenta con un solo tamaño de engrane y no puede cambiar otros que le facilitarían el pedaleo tanto en subidas como bajadas de calles empinadas. Pero gracias al motorreductor con el que cuenta el motor eléctrico esta problemática queda resuelta, brindándole apoyo al usuario en estas situaciones donde una caja de velocidades facilitaría el pedaleo.

Una transmisión de una sola velocidad cuenta con los siguientes elementos: cadena, plato, piñón, biela y pedal. Los pedales son las piezas que tienen contacto directo con los pies del usuario, mismos que van conectados a las bielas que le permiten al usuario hacer el movimiento rotacional del pedaleo, las bielas están conectadas al plato el cual es un engrane conectado al piñón por medio de una cadena, cuando el usuario realiza la acción del pedaleo el plato gira mientras que la cadena transmite este movimiento rotacional al piñón, mismo que está conectado a la rueda trasera y por lo tanto ese mismo movimiento rotacional es transmitido a esta haciendo que el vehículo se desplace. En el caso del vehículo Trejo Estándar R-26 el plato consta de 36 dientes y el piñón de 9 haciendo que la relación de estos sea de 4:1.



*Figura 32 Sistema de transmisión del Trejo Estándar R-26, imagen obtenida de la pagina oficial de Triciclos Trejo*

#### **4.6.2 Freno de disco LOOK y freno electrónico WUXING 115PDD**

El sistema de frenado es el encargado de detener el vehículo ya sea de manera gradual o repentina según la fuerza que el usuario ejerza sobre el mecanismo de frenado. Los triciclos tradicionales están diseñados únicamente para funcionar con su freno de fabrica que es el freno de contra pedal, mecanismo que se encuentra en la llanta trasera del vehículo. Como anteriormente se propuso un motor trasero este mecanismo queda descartado y es necesario colocar un nuevo sistema de frenado. Como se mencionó anteriormente los triciclos tradicionales no cuentan con el diseño adecuado en su chasis para agregar frenos de llanta o frenos de disco, ya que deben agregarse piezas adicionales que deben ir atornilladas a este. Por lo tanto, para resolver esta problemática se propone un adaptador trasero para caliper con abrazadera que permite ser fijado a la tijera del chasis y de esta manera instalar correctamente el caliper para colocar un sistema de frenado por disco.



*Figura 33 Adaptador trasero para caliper con abrazadera, imagen obtenida de Mercado Libre*

Para el disco de freno y el caliper se proponen los de la marca LOOK, los cuales son compatibles tanto con el motor trasero propuesto (freno de disco) como con el adaptador trasero para caliper (caliper). El disco de freno de 160 milímetros va atornillado a la maza del motor trasero, por lo tanto está fijo a la rueda, mientras que el caliper va atornillado al tubo de la tijera y se coloca de manera que el disco de freno se encuentre rozando entre las dos balatas del caliper, este tiene un mecanismo que se acciona por medio de un cable de acero que se tensa cuando el usuario aprieta el gatillo y esto provoca que las balatas del mecanismo se junten entre ellas, bloqueando el movimiento rotacional del disco de freno que está fijo a la rueda, frenando la rueda y por lo tanto al vehículo.



*Figura 34 Caliper y freno de disco de la marca LOOK [50], imagen obtenida de Mercado Libre*

Adicionalmente al freno de disco trasero se incluye un sistema de frenado electrónico, este funciona de igual manera por medio de gatillos que al ser presionados, envían una señal al controlador para cortar la alimentación al motor de forma inmediata, lo que ocasiona que la fricción del juego de engranes del motorreductor asista al frenado de este. La función del frenado electrónico tiene prioridad, es decir, aunque se esté accionando el acelerador, si el gatillo es accionado el motor no recibirá alimentación. Se proponen los frenos electrónicos WUXING 115PDD pueden ser fácilmente instalados al manubrio ya que cuentan con abrazadera de antorcha, cuentan con la conexión SM para ser conectados fácilmente al controlador propuesto y además se le pueden instalar adicionalmente el cable de acero del freno de disco lo que significa que el usuario al accionar el gatillo activa tanto el freno electrónico como el de disco. El cable de cada gatillo tiene una longitud de 1.8 metros, están hechos de aluminio y tienen una textura antiderrapante para los dedos.



*Figura 35 Frenos electrónicos WUXING 115PDD, imagen obtenida de Walmart*

#### **4.6.3 Ruedas rodada 26 con neumático tipo Clincher y llanta tipo montaña**

Como se mencionó en el capítulo 3 se seleccionó como solución de este subsistema una rueda de rodada 26, un neumático tipo Clincher y una llanta con superficie tipo montaña. La rodada 26, que se refiere a la medida en pulgadas del radio de esta, es la rodada más común en triciclos de carga tradicionales, ya que abarca un rango de usuarios dese 1.55 metros de altura hasta 1.70 metros, siendo la estatura promedio de un mexicano 1.64 metros [51]. El neumático tipo clincher es de igual forma el más utilizado ya que es económico y su mantenimiento es fácil, además de que se encuentran refacciones más fácilmente. El neumático clincher se caracteriza por tener una llanta hueca dentro de la cual se coloca una cámara de aire que después es inflada. El neumático debe coincidir con la medida de la rodada y el ancho. En el caso del triciclo Trejo Estándar R-26 la medida de las ruedas es de 26 por 2 pulgadas de ancho, el neumático y la llanta son de la marca Ontrack cuyas características se muestran en la tabla 25.

<b>Tabla 25 Características de Llanta para bicicleta MTB [52]</b>	
<b>Peso</b>	1.2 kg
<b>Dimensiones</b>	68x5x68 cm
<b>Tipo</b>	Clincher
<b>Terreno</b>	Montaña
<b>Rodada</b>	Rodada 26
<b>Material</b>	Nailon
<b>Presión</b>	60 psi



*Figura 36 Rueda y llanta de la marca Ontrack, imagen obtenida de la pagina oficial de Triciclos Trejo*

## **4.7 Subsistema de dirección**

### **4.7.1 Dirección roscada (Threaded)**

La dirección es el sistema mecánico con rodamientos que le brinda al vehículo la capacidad de girar sus ruedas delanteras para permitirle al usuario darle una dirección de trayectoria al vehículo. En el triciclo de carga tradicional la dirección se encuentra en el tubo que conecta a la canasta con el cuadro del chasis, ya que en la canasta se encuentran las dos ruedas delanteras el usuario puede guiar la trayectoria de estas con ayuda del manubrio y la dirección, que en el caso del triciclo Trejo Estándar R-26 se trata de una dirección roscada.

Este tipo de dirección, como su nombre lo indica se caracteriza por ser sujetado al tubo de dirección por medio de una tuerca roscada, a diferencia del estándar que va sujetado a presión, ya que en este tipo de vehículos no se cuenta con una potencia como tal, como las de las bicicletas, sino un par de placas rectangulares soldadas a la canasta, se utiliza este tipo de dirección para que estas placas queden bien unidas al tubo de dirección y este pueda tener el movimiento correcto. Para que el tubo de dirección pueda girar se tiene un juego de baleros engrasados que permiten el movimiento de rotación.

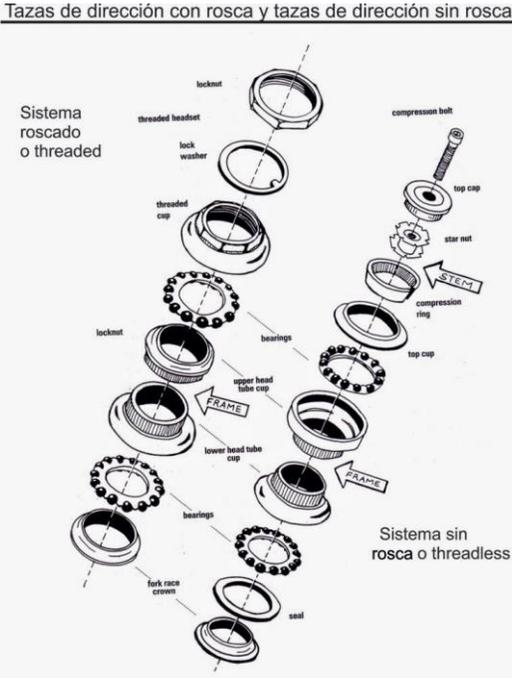


Figura 37 Comparación de una dirección roscada y una estándar, imagen obtenida de [mimundoenbici.com](http://mimundoenbici.com)



Figura 38 Juego de dirección roscado de la marca Trejo, imagen obtenida de la página oficial de Triciclos Trejo

## **5.- Generación del modelo virtual del vehículo**

Como evidencia del diseño del vehículo se realizó un modelo virtual detallado del mismo. El modelado del vehículo se realizó utilizando el software Inventor de la compañía AutoDesk con la licencia que se les provee a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. En este capítulo se mostrará el proceso para la obtención del modelo virtual final, mostrando el modelado y la obtención de los componentes, un primer modelo virtual generado, los cambios realizados para el modelo final y su justificación, el proceso de ensamble, detalles finales y finalmente se muestra la tabla de características del modelo final.

### **5.1 Primer modelo virtual generado**

#### **5.1.1 Generación y lista de los componentes**

El primer componente generado en el primer modelo virtual fue el chasis, mismo que fue diseñado a partir de la imagen muestra de un modelo virtual llamado “Triciclo Titan Cargo Bike” realizado por TurboSquid, un usuario de 3D mbd, página web que vende modelos 3D realizados por usuarios de la misma comunidad. Se realizó el modelado del chasis utilizando medidas aproximadas ya que este primer modelo se trataría de una primera versión para analizar donde irían acomodados los componentes en el vehículo.

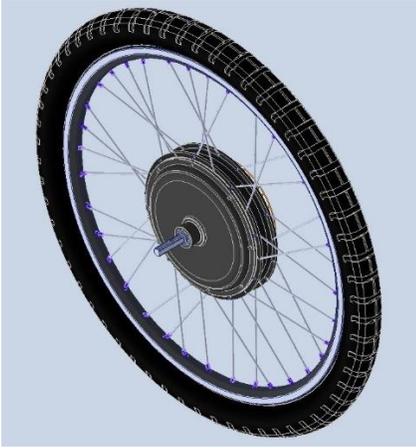
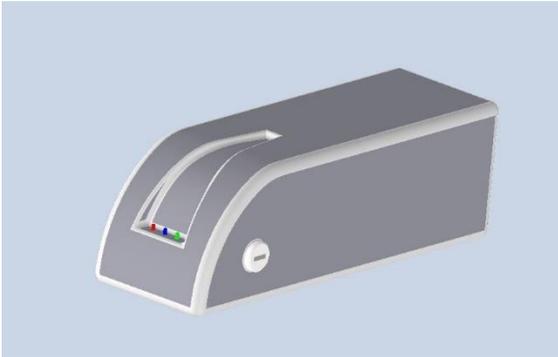
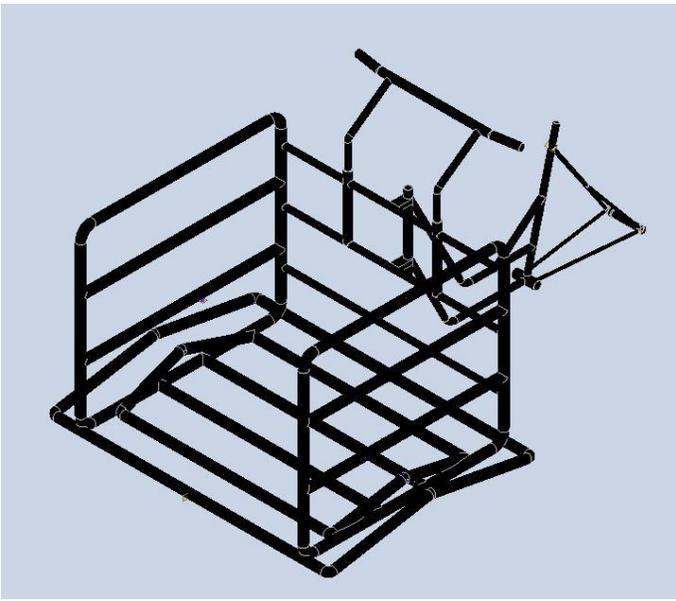
Para realizar el modelado se realizó un plano para realizar el boceto del chasis en vista lateral. Se realizaron las líneas del cuadro central que posteriormente se convertirían en los tubos utilizando la operación de barrido del software. Una vez que se modeló el cuadro central, se procedió a realizar la tijera, utilizando la opción de boceto 3D para realizar las líneas de la parte izquierda y posteriormente utilizando la operación de simetría para que automáticamente se replicaran las líneas para la parte derecha ya que se trata de una estructura simétrica, de igual forma se utilizó la operación de barrido para convertir las líneas en tubos. Posteriormente se realizaron las líneas de la canasta de carga del lado

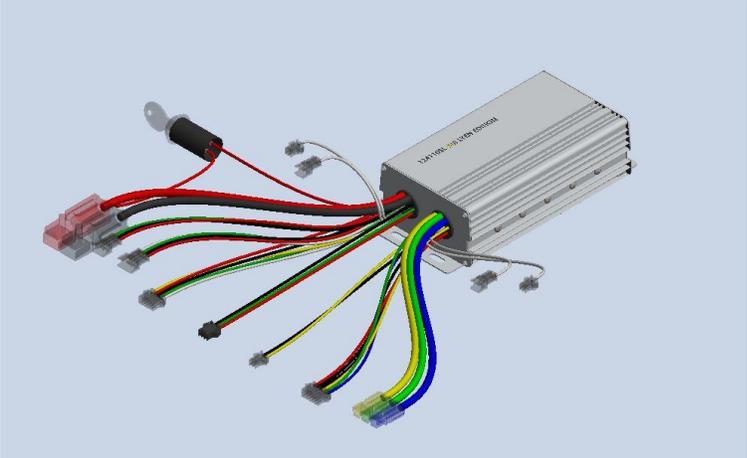
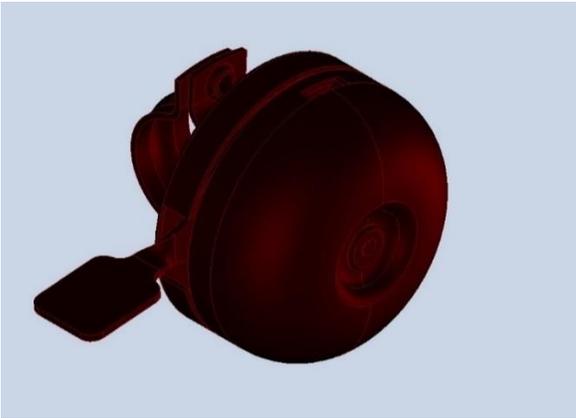
izquierdo utilizando un boceto 3D y la operación de empalme para realizar la curva de los tubos con doblez, de igual manera que con la tijera se utilizó la operación de simetría para replicar las líneas del lado izquierdo en el derecho, posteriormente se utilizaron varias operaciones de barrido para la conversión de las líneas en tubos. Finalmente se realizaron los detalles como la placa que conecta el tubo de dirección con la canasta de carga utilizando la operación de extrusión de un rectángulo y los barrenos donde van las llantas delanteras y la trasera utilizando la operación de agujero. El modelo virtual del chasis se encuentra dentro de la Tabla 26.

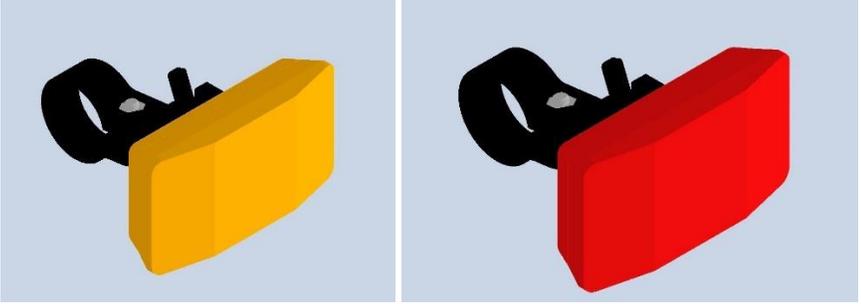
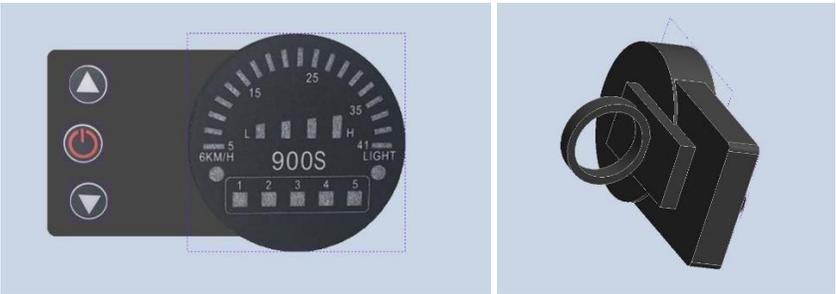
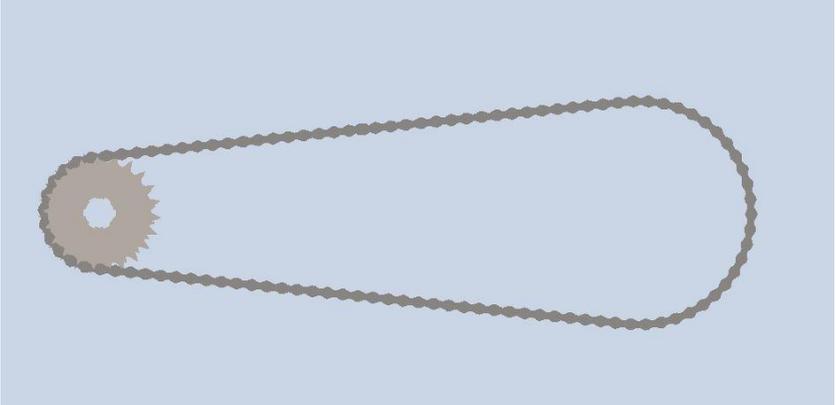
Una vez que el chasis fue modelado se procedió a la obtención del modelo virtual de los componentes. La mayoría de los modelos virtuales de los componentes fueron obtenidos de Grab CAD Community, sitio web dedicado al apoyo entre usuarios en materia de diseño 3D, esta página web cuenta con una biblioteca donde los usuarios pueden subir modelos virtuales creados por ellos y estos pueden ser descargados y utilizados por la comunidad bajo la licencia de *“Creative Commons”*, la cual permite la copia, distribución y exhibición del contenido siempre y cuando se cite al autor, los autores de cada modelo se encuentran en la sección de bibliografía. Algunos modelos posteriormente debieron ser redimensionados, extraído piezas y asignados colores y materiales para que pudieran ser adaptados al chasis previamente modelado. El dispositivo indicador (display) no se encontraba en dicha biblioteca por lo que fue elaborado de manera propia, realizando la extrusión de un rectángulo, al cual se le agregó la extrusión de un círculo que sería la pantalla del dispositivo, posteriormente se modelaron los botones igualmente con 3 extrusiones de círculos pequeños sobre el rectángulo, después se realizó la extrusión de un rectángulo más pequeño en la parte trasera del primer rectángulo extruido para la base de la abrazadera de antorcha, después para modelar la abrazadera de antorcha se extruyó un círculo perpendicular a la base y se le realizó una operación de agujero, finalmente se agregaron imágenes de la pantalla y los botones para darle una apariencia más real.

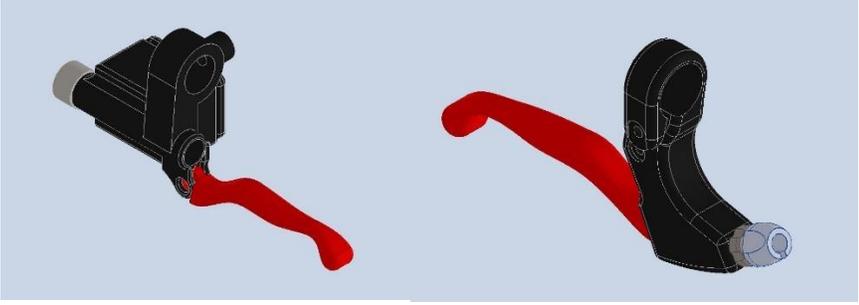
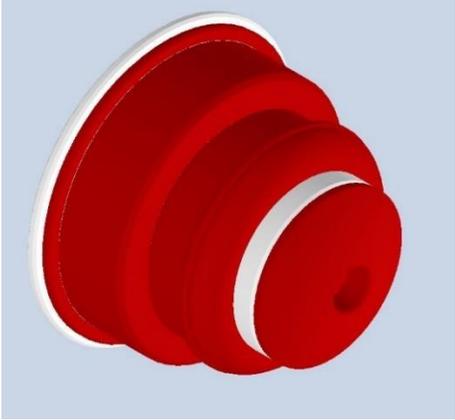
En la tabla 26 se encuentra el listado de los componentes, así como las imágenes de los modelos virtuales visualizados en el software de Inventor.

Tabla 26 Lista de componentes con su modelo virtual

Componente	Modelo Virtual
<b>Rueda y llanta con motor eléctrico [53]</b>	 A 3D CAD model of a bicycle wheel. It features a black tire with a tread pattern, silver spokes, and a central hub with a blue axle. The hub is designed to accommodate an electric motor, with a blue cylindrical component visible at the center.
<b>Batería [54]</b>	 A 3D CAD model of a battery pack. It is a rectangular, grey-colored unit with a curved front edge. On the front face, there are three colored terminals (red, green, blue) and a circular port.
<b>Chasis</b>	 A 3D CAD model of a bicycle frame, shown in a black wireframe style. It includes the main frame, a seat post, handlebars, and a front fork.

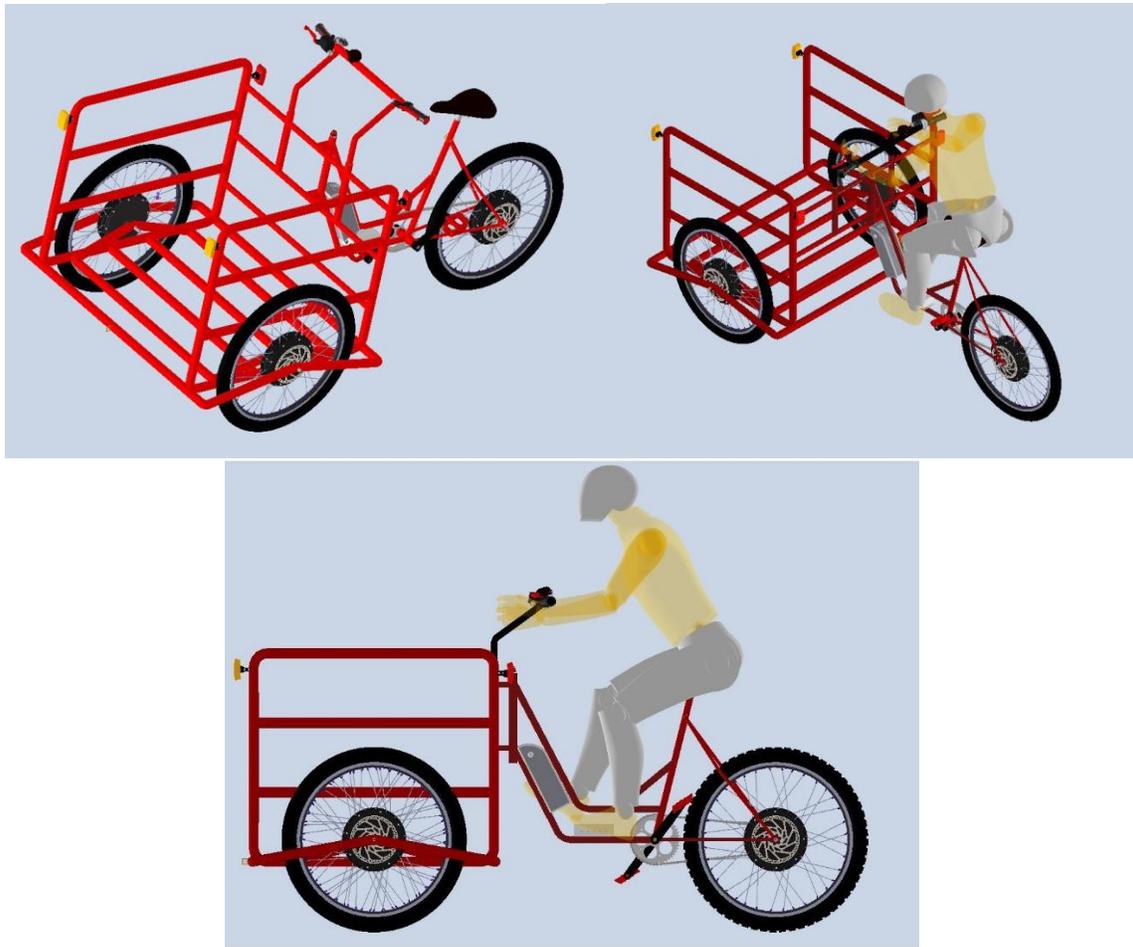
<p><b>Controlador [55]</b></p>	
<p><b>Acelerador [56]</b></p>	
<p><b>Campana [57]</b></p>	

<p><b>Luces delanteras y traseras [58]</b></p>		
<p><b>Dispositivo indicador</b></p>		
<p><b>Pedales, bielas y plato [59]</b></p>		
<p><b>Cadena y piñón [59]</b></p>		

<p><b>Frenos eléctricos [60]</b></p>	
<p><b>Headset [61]</b></p>	

### 5.1.2 Ensamble y modelo virtual generado

Una vez que se tienen los componentes necesarios para conformar el vehículo el siguiente paso es ensamblarlos utilizando el módulo de ensamble del software Inventor. Para el acomodo de los componentes en el chasis se utilizó como referencia la tabla 18, donde se muestra la distribución de los componentes en el vehículo. Para colocar los componentes en su lugar se utilizan restricciones de coincidencia de ejes y distancias. Además, se colocó un modelo virtual de un humano, igualmente obtenido de Grab CAD Community, en posición de pedaleo para comprobar que las dimensiones del chasis y de los objetos fueran coherentes, dicho modelo virtual se trata de un humano de 1.70 metros de altura. Un proceso de ensamble más detallado será descrito en el apartado 5.2.2 utilizando el modelo final como referencia. El resultado de ensamblar los componentes en el chasis y comenzar a tener una visualización de la distribución de los componentes se muestra en la figura 39.



*Figura 39 Vistas isométricas y lateral del primer modelo ensamblado*

Como se mencionó anteriormente este sólo es un primer modelo generado para revisar que los componentes y su acomodo en el triciclo sean los correctos. Este modelo de chasis no es común en los triciclos de carga vendidos en México, existen modelos de triciclos de carga con este modelo de chasis, pero son de producción extranjera y se utilizan en modelos premium que circulan con poca frecuencia. Por lo tanto, en el apartado 5.2 se abordará el modelo final generado, teniendo este, modificaciones en el chasis principalmente.

## 5.2 Modelo final generado

### 5.2.1 Cambio de chasis y justificación

Como se mencionó en el apartado 5.1 el chasis generado en el primer modelo virtual no es el indicado si se quiere realizar una generalización de los vehículos de carga más utilizados en México. Por lo tanto, se procede a realizar un análisis de los modelos más comunes, sus medidas y un promedio de estas para que partir de los valores obtenidos se genere el nuevo modelo virtual de chasis.

<b>Tabla 27 Modelos de triciclo de carga más comunes en México y sus medidas</b>			
<b>Marca</b>	<b>Medidas de la canasta (Largo Ancho Alto)</b>	<b>Volumen de carga en la canasta</b>	<b>Medidas totales del vehículo (Largo Ancho Alto)</b>
<p><b>Benotto Triciclo de Carga Estándar</b></p> 	73 X 82 X 60 cm	0.360 m <sup>3</sup>	2.22 X 1.04 X 1.10 m
<p><b>Triciclo de Carga Estándar R-26 Trejo</b></p> 	72 X 81 X 58 cm	0.338 m <sup>3</sup>	2.21 X 1.05 X 1.05 m

<p><b>Triciclo de Carga Charger Reforzado R300</b></p> 	<p>75 X 75 X 61 cm</p>	<p>0.343 m<sup>3</sup></p>	<p>2.16 X 1.03 X 1.01 m</p>
<p><b>Triciclo De Carga R26 Premium Bikebug Tamalero Ambulante</b></p> 	<p>75 X 75 X 61 cm</p>	<p>0.343 m<sup>3</sup></p>	<p>2.16 X 1.03 X 1.01 m</p>
<p><b>Bicicleta Triciclo Carga Reforzado R26 Titán Mercurio</b></p> 	<p>73 X 82 X 60 cm</p>	<p>0.360 m<sup>3</sup></p>	<p>2.16 X 1.03 X 1.01 m</p>

<p><b>Tricargas Monk Triciclo De Carga Estándar</b></p> 	<p>72 X 80 X 57 cm</p>	<p>0.328 m<sup>3</sup></p>	<p>2.17 X 1.02 X 1.00 m</p>
<p><b>Medidas Promedio de la canasta</b></p>	<p><b>73.33 X 79.16 X 59.1 cm</b></p>		
<p><b>Volumen Promedio de la canasta</b></p>	<p><b>0.345 m<sup>3</sup></b></p>		
<p><b>Medidas promedio totales del vehículo</b></p>	<p><b>2.18 X 1.033 X 1.03 m</b></p>		

Como se puede apreciar en las imágenes de los modelos de la tabla 27, estos modelos comparten un chasis muy similar en el cual se caracteriza que el cuadro central está compuesto de tres tubos en diagonal y el manubrio de este es un tubo continuo que conecta con la canasta del vehículo. A partir de esta configuración de chasis y las medidas promedio que se muestran en la misma tabla se modeló el chasis, el cual puede visualizarse en la figura 40.

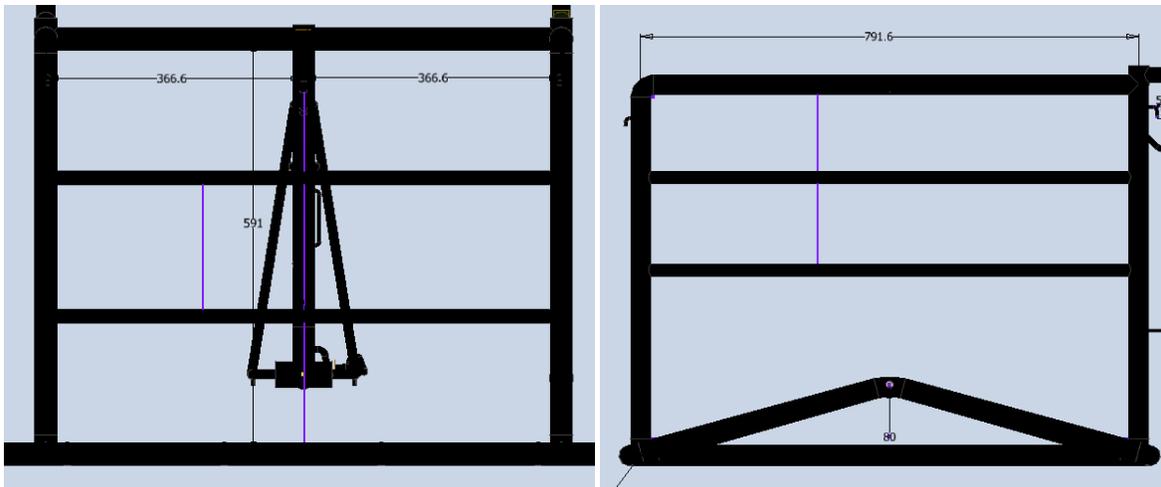
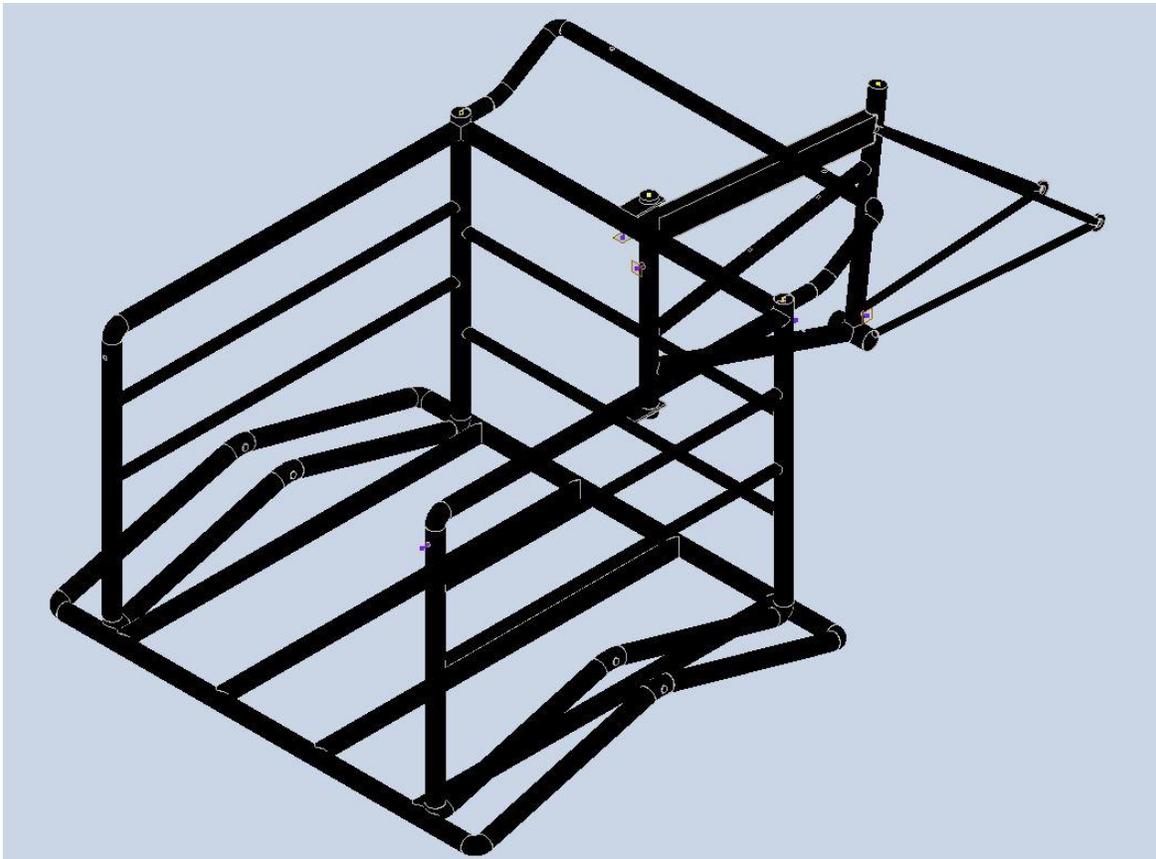


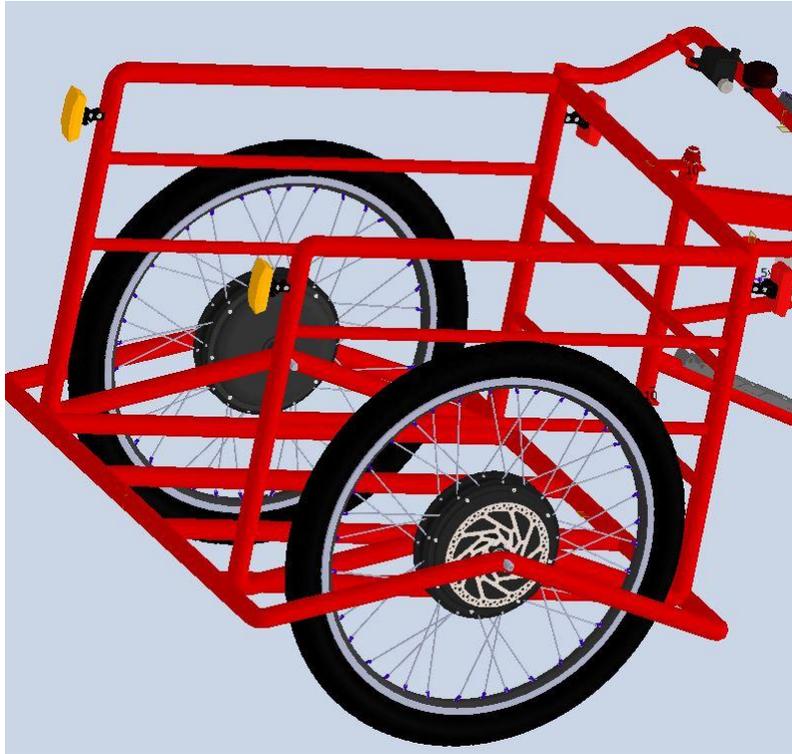
Figura 40 Chasis del modelo virtual final

### 5.2.2 Ensamble y posición de los componentes en el chasis

El ensamble de los componentes de este modelo final es muy parecido al del primer modelo virtual. Como se mencionó en el apartado 5.1.2 en este capítulo se hablará más a fondo del ensamble y la posición de los componentes distribuidos sobre el chasis. Para realizar lo anteriormente dicho se dividirá el vehículo en 4 segmentos:

- El primero será el ensamble de la canasta de carga que contiene a las ruedas delanteras y las luces traseras y delanteras.
- El segundo segmento será el ensamble de los componentes de la interfaz: gatillos de frenado electrónico, campana, dispositivo indicador y acelerador, mismos que se encuentran distribuidos a lo largo del tubo continuo del manubrio.
- El tercer segmento será el ensamble de la batería y el controlador, los cuales se encuentran en el cuadro central del chasis.
- El último segmento será el ensamble de la transmisión y la rueda trasera con el motor.

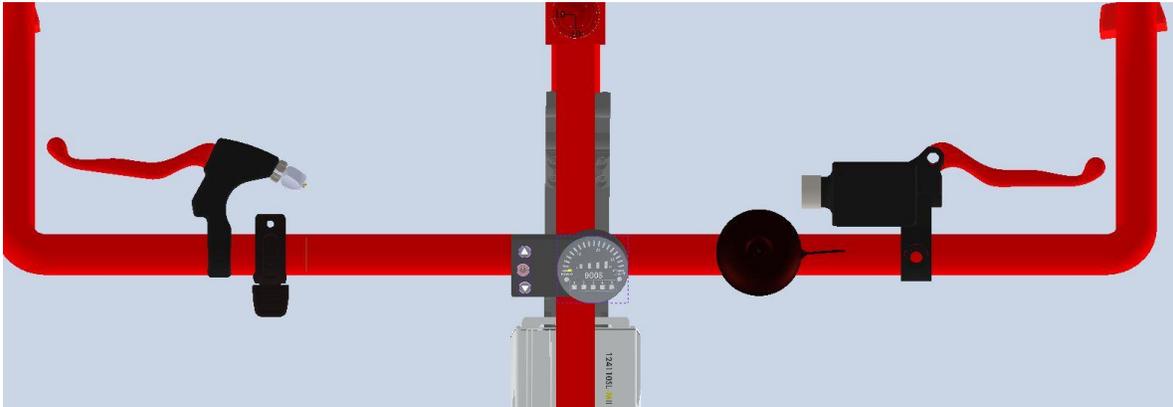
Como se puede observar en la figura 41 este primer segmento del vehículo contiene a las ruedas delanteras las cuales se encuentran en los laterales de la canasta de carga. Estas son fijadas al chasis por medio de un eje roscado de media pulgada el cual atraviesa el tubo en forma de “V” invertida, la maza de las ruedas y finalmente el tubo del otro extremo que abraza a la rueda. Para fijar el eje a los tubos del chasis se utilizan una tuerca y una rondana de media pulgada en cada extremo. Las luces delanteras y traseras van sujetas al chasis por medio de las abrazaderas de antorcha que ajustan al tamaño del tubo del chasis por medio del tornillo de la abrazadera.



*Figura 41 Ensamble de la canasta de carga*

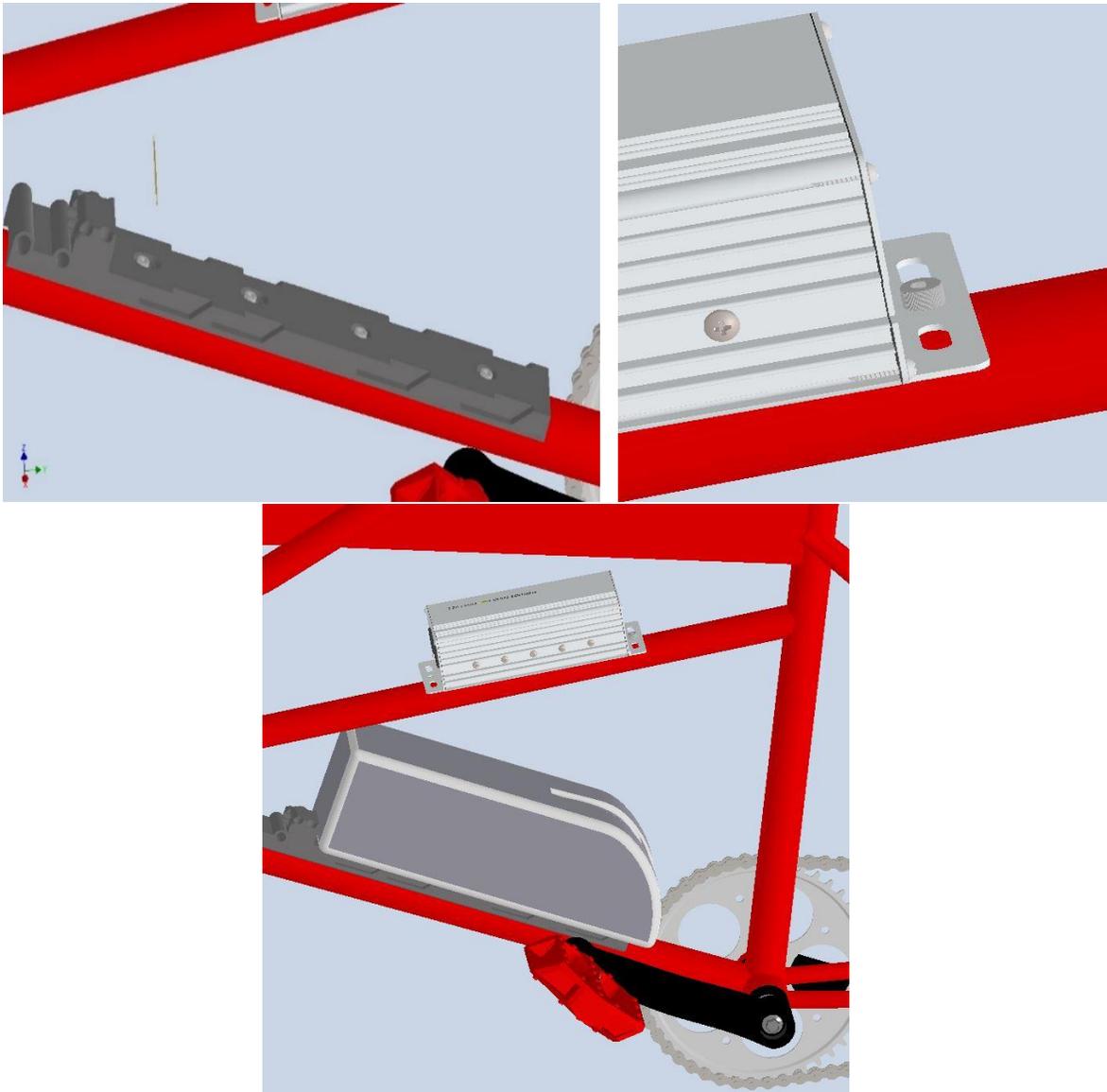
Como se puede observar en la figura 42 este segundo segmento del vehículo contiene a los componentes con los que el usuario interactúa durante la conducción del mismo. Los gatillos de frenado electrónico van posicionados a los extremos del tubo continuo del manubrio ya que estos son los puntos donde el usuario colocará sus manos para tener un mayor par al momento de girar el vehículo. A la derecha del gatillo izquierdo se coloca el acelerador ya que en esa posición se encontrará el pulgar del usuario para que este pueda accionarlo sin necesidad de quitar la mano del manubrio. A la izquierda del gatillo derecho se encuentra la campana, que al igual que el acelerador se acciona con el pulgar y se encuentra justo del lado del pulgar. El dispositivo indicador se encuentra justo en medio del manubrio ya que este no es un componente con el que el usuario deba interactuar de manera inmediata durante la conducción. Cabe resaltar que como todos estos componentes están unidos al chasis por medio de abrazaderas de antorcha, pueden ser posicionados a gusto del usuario, es decir, el claxon y el acelerador pueden invertir

posiciones además de ajustarse al tamaño de la mano de cada usuario y el dispositivo indicador puede tener la inclinación y la posición que al usuario más le parezca cómoda.



*Figura 42 Ensamble de los componentes de la interfaz*

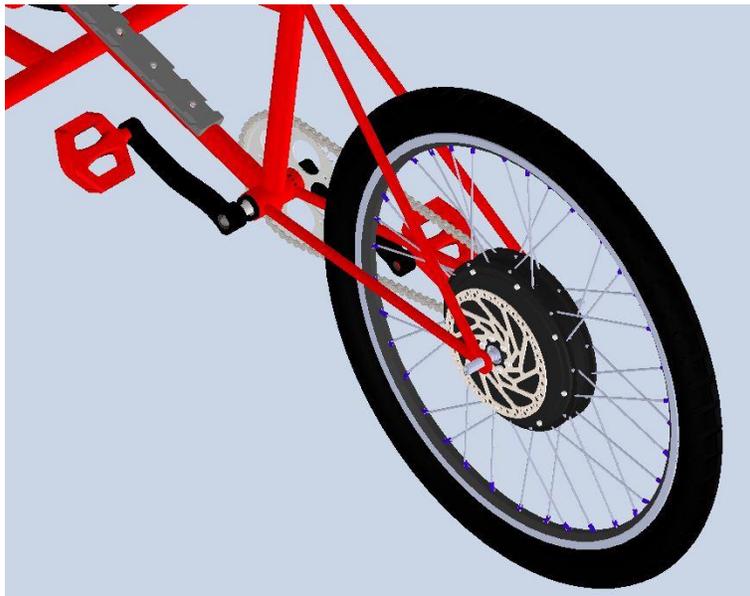
Como se puede observar en la figura 43 este tercer segmento del vehículo contiene al controlador y a la batería del vehículo. Como el modelo de la batería es "Downtube" esta se colocó en el tubo inferior del cuadro central del chasis, mientras que en el tubo medio del cuadro central se colocó el controlador. La batería va conectada a una base por medio de unos ganchos de plástico que embonan con los orificios de la parte inferior de la batería cuando esta se desliza sobre la base hasta que hace un ajuste mecánico, la base a su vez va atornillada al chasis por medio de un agujero con rosca en el mismo. El controlador cuenta con dos pestañas con orificios para ser fijado, mismas que se aprovecharon para fijarse al chasis de la misma manera que la base de la batería.



*Figura 43* Ensamble de la batería y el controlador, fijación de la base de la batería y el controlador al chasis

Por último, como se puede observar en la figura 44 este último segmento del vehículo contiene a los componentes del sistema de transmisión y a la rueda trasera con el motor. La biela izquierda, que no va unida al plato, cuenta con un elemento que atraviesa el hueco del eje central del vehículo, mientras que la biela del lado derecho que está unida al plato se coloca del otro extremo del eje central, esta biela cuenta además con un orificio el cual embona con la punta del eje de la biela izquierda y ambas son apretadas y fijadas al chasis por medio de un tornillo. Los pedales tienen un tornillo adherido en la punta y las bielas

cuentan con orificios roscados en sus extremos por lo que los pedales simplemente se atornillan a los extremos de las bielas. Al igual que con las ruedas delanteras, la rueda trasera con el motor cuenta con un eje roscado, la rueda trasera se coloca entre los tubos de la tijera del chasis metiendo el eje roscado por los orificios de estos, el disco de freno va del lado izquierdo, atornillado a la maza del motor y el piñón del lado derecho. Una vez que se encuentra la rueda, el freno de disco y el piñón en la posición correcta entre los tubos de la tijera, se procede a poner la cadena sobre los dientes del plato y del piñón, finalmente se fija la rueda al tubo de la tijera por medio de una tuerca y rondana de media pulgada en cada extremo del eje roscado.



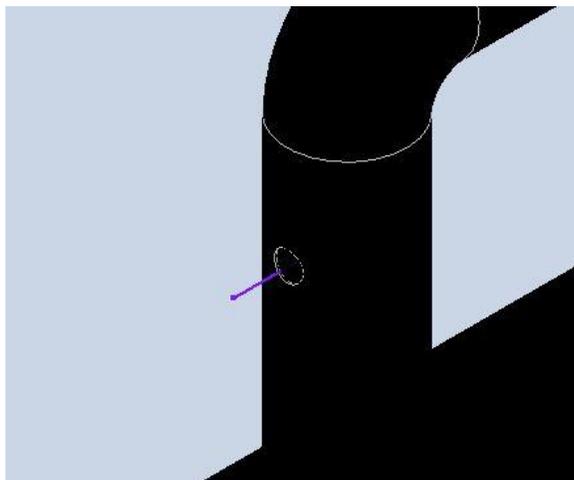
*Figura 44* Ensamble de la transmisión y rueda trasera con motor eléctrico

#### **5.2.4 Detalles finales**

Una vez terminado el modelo virtual del vehículo, conociendo donde están ubicados los componentes y de qué manera van a fijarse finalmente sobre el chasis, se procedió a analizar la parte del cableado de los componentes electrónicos. Como el chasis está compuesto de tubos huecos se decidió que se aprovecharía este espacio al interior para

acomodar los cables con el fin de que estos estén protegidos de factores externos como la lluvia y el polvo, además de proteger su integridad física al momento de un choque o volcadura.

Como el chasis está completamente sellado por la soldadura, es necesario hacer agujeros al mismo para insertar los cables. En la figura 44 se puede observar un ejemplo de agujero realizado para insertar el cable de una luz delantera.

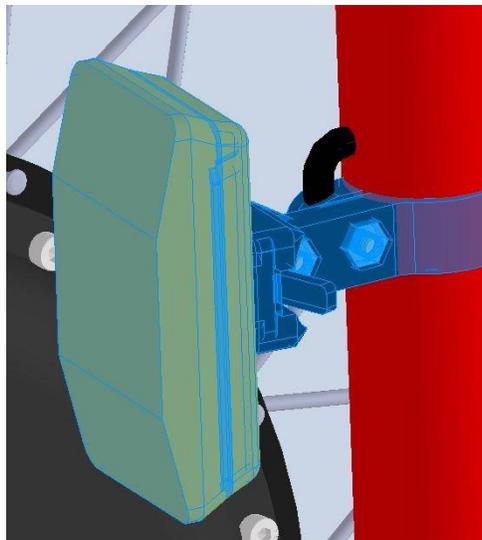


*Figura 45 Agujero en el chasis para la inserción del cable de la luz frontal*

Los calibres de los cables de los componentes de electrónicos van desde el 18 AWG hasta el 14 AWG, es decir desde 1.04 milímetros hasta 1.628 milímetros, sin contar el grosor de la cobertura plástica que es prácticamente despreciable. Es decir, aproximadamente 2 milímetros.

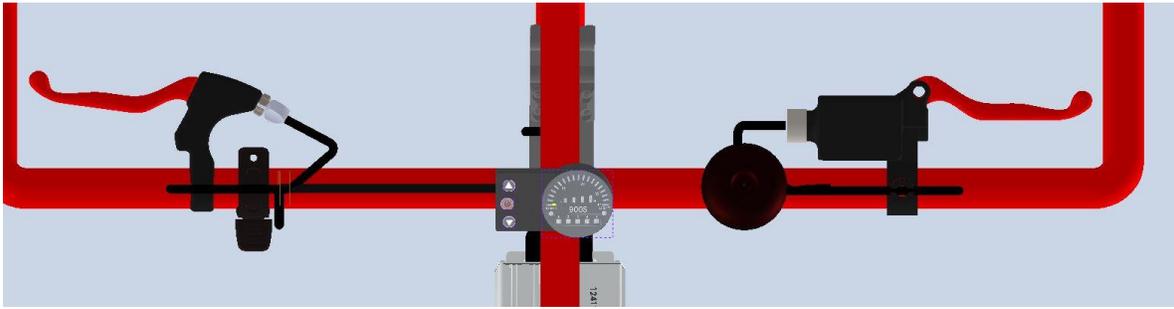
Al igual que con la explicación del ensamble de los componentes se dará la explicación del cableado dividiendo al vehículo en los mismos 4 segmentos del apartado 5.2.3.

En la canasta de carga se tienen 4 componentes electrónicos: las dos luces delanteras y las dos luces traseras. Estos 4 componentes cuentan con su agujero independiente para insertar el cable de la luz LED, estos 4 agujeros son de un octavo de pulgada de diámetro (aproximadamente 3.2 milímetros) ya que pasarán 2 cables de 1.04 milímetros de grosor. La longitud de cable necesaria para que los conectores de las luces frontales lleguen hasta el controlador de acuerdo con el modelo virtual es de 1.6 metros cada una, siendo estos los cables más largos que tendrá el vehículo. Para las luces traseras se necesitan aproximadamente 0.8 metros de cable cada una para sus conectores lleguen al controlador.



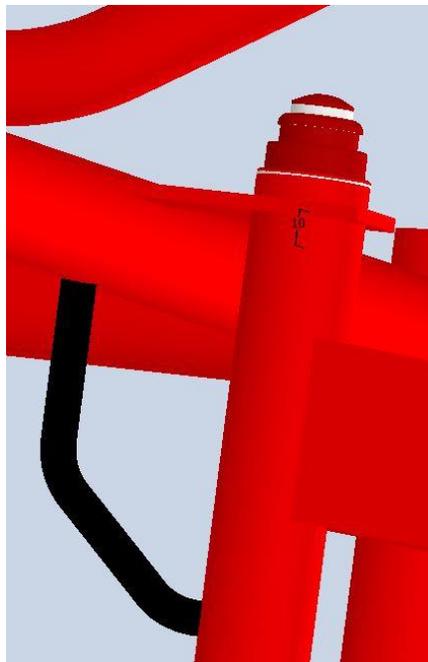
*Figura 46 Cableado de luz frontal*

En el manubrio del vehículo se encuentran 4 componentes electrónicos: los dos gatillos de freno electrónico, el acelerador y el dispositivo indicador. Para el cableado de estos se realizaron dos agujeros de un cuarto de pulgada (aproximadamente 6 milímetros) a un costado de los gatillos de freno, ya que pasarán 2 cables de aproximadamente 3 milímetros cada uno. Del lado izquierdo se insertará el cable del gatillo izquierdo y el del acelerador y en el agujero del lado derecho se insertará el cable del gatillo derecho y el del dispositivo indicador. El recorrido de cableado que debe hacer cada uno de estos para llegar al controlador es de aproximadamente 0.75 metros cada uno.



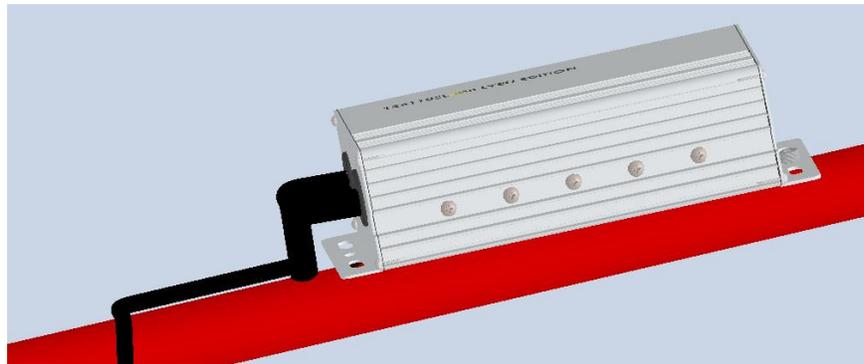
*Figura 47 Cableado de los componentes electrónicos de interfaz*

En este punto se tienen 8 cables en el tubo del manubrio: 4 cables de las luces y 4 cables de los dispositivos electrónicos de interfaz. Estos cables deben alcanzar al controlador que se encuentra en el cuadro central del chasis. Para lograr esto es necesario realizar 2 agujeros de media pulgada: uno en la parte inferior del tubo del manubrio y otro en el tubo más cercano del cuadro central del chasis, tal y como se muestra en la figura 48.



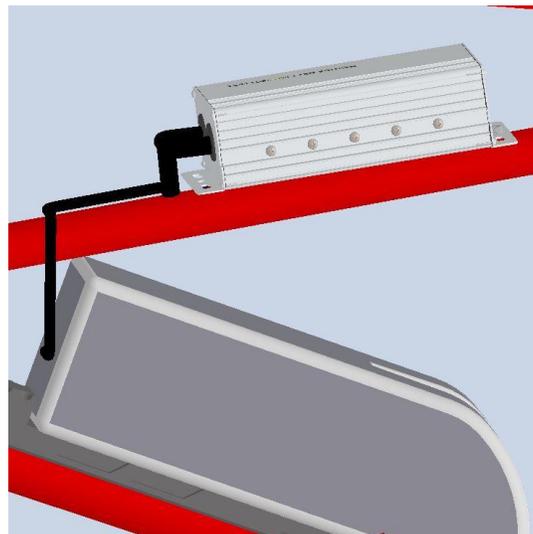
*Figura 48 Cableado de las luces y los dispositivos electrónicos de interfaz para conectar con el cuadro central del chasis*

Una vez que los cables tienen acceso al interior del cuadro central del chasis, solo es cuestión de seguir el recorrido hasta el tubo medio del cuadro central donde se debe realizar otro agujero de media pulgada para que los cables finalmente salgan y se conecten al controlador, tal y como se muestra en la figura 49.



*Figura 49 Cableado de las luces y los dispositivos electrónicos de interfaz al controlador*

Gracias a la posición de la batería en el chasis, el cableado de esta es prácticamente directo, requiriendo únicamente una distancia de cable de aproximadamente 0.15 metros.



*Figura 50 Cableado de la batería*

Finalmente, el cableado del motor recorre el tubo horizontal de la tijera del chasis en el exterior hasta llegar al tubo más cercano del cuadro central donde se debe realizar un

último agujero de media pulgada, ya que la boquilla del conector tiene 11 milímetros de diámetro, para seguir su recorrido hasta el agujero donde se encuentran los demás cables que conectan con el controlador. El recorrido que debe hacer el cable del motor es de aproximadamente 1.10 metros. El motor propuesto cuenta con un cable de fábrica de sólo 0.23 metros de longitud, pero este problema puede ser resuelto con una extensión de 1 metro la cual se encuentra comercialmente disponible, dicha extensión cuenta con un extremo con conexión hembra que se conecta al cable del motor y una conexión macho que se conecta directamente al controlador.



*Figura 51 Cableado del motor*

A lo largo del proceso del cableado interno se definió que deben realizarse un total de 10 agujeros con medidas desde un cuarto de pulgada hasta media pulgada, esto sin contar los agujeros que deben realizarse para colocar el controlador y la batería. Como los agujeros son concentradores de esfuerzo, sería peligroso realizar dichas modificaciones al chasis sin conocer cuál es el riesgo de que este pierda sus propiedades mecánicas al punto de que pueda fallar, es por ello que en capítulo 6 se mostrará un análisis de elemento finito realizado al chasis para demostrar que este puede seguir siendo operado sin riesgo.

### 5.3 Tabla de características

A continuación, se muestra una tabla con las características más importantes del vehículo, esto con el fin de describirlo como un resultado final del proceso de diseño y contar con una tabla que resuma las características que permiten tener un panorama general de todas las características

<b>Tabla 28 Tabla de características del triciclo de carga eléctrico</b>	
<b>Medidas de la canasta de carga</b>	0.73 X 0.79 X 0.59.1 m
<b>Medidas totales del vehículo</b>	2.18 X 1.033 X 1.03 m
<b>Volumen de la canasta de carga</b>	0.345 m <sup>3</sup>
<b>Potencia del motor</b>	500W
<b>Pendiente máxima</b>	13.1% de inclinación
<b>Velocidad máxima</b>	25 km/h
<b>Voltaje y capacidad de la batería</b>	48V/13Ah
<b>Voltaje y potencia del controlador</b>	48V/500W
<b>Autonomía</b>	35km por carga si utiliza el motor como única fuente de propulsión
<b>Peso máximo de carga</b>	160 kg
<b>Sistema de frenado</b>	De disco y electrónico
<b>Presión de las llantas</b>	60 psi
<b>Rodada</b>	26 pulgadas
<b>Tipo de llanta</b>	Montaña
<b>Peso del vehículo (sin carga)</b>	51 kg aproximadamente
<b>Transmisión</b>	Una sola velocidad
<b>Tipo de Headset (dirección)</b>	Dirección roscada (Threaded)

## 6.- Resultados

### 6.1 Ensamble y modificaciones al chasis

En este apartado se describirá el proceso de transformación del triciclo de carga tradicional al modelo de la solución propuesta. Se detallarán los pasos a seguir para el ensamble de los componentes, las herramientas y el procedimiento para realizar las modificaciones al chasis y el cableado interno de los componentes electrónicos.

#### 6.1.1 Perforación del chasis

El primer paso a realizar en el proceso es la perforación de todos los agujeros necesarios para la realización del cableado interno y la fijación de la batería y el controlador. Para esto se necesitarán 3 brocas distintas: una de un octavo de pulgada, otra de un cuarto de pulgada y otra de media pulgada. Para realizar las perforaciones de las luces, no hay problema de espacio ya que no existen otros tubos que interfieran con el proceso, pero en el caso de las perforaciones en el cuadro central estas tienen un espacio tan reducido como 7 cm. Es por ello que para la solución de este problema se requerirá del uso de una herramienta adicional al taladro llamada adaptador angular, esta herramienta permite transformar el movimiento giratorio de la broca de manera perpendicular para que así el cuerpo del taladro no interfiera físicamente con el poco espacio que se tiene. En la figura 51 se muestra un ejemplo de adaptador angular.



*Figura 52 Adaptador angular de la marca OriGlam*

Además del adaptador angular se requieren brocas cortas y con un vástago hexagonal para que embonen con el adaptador. La dureza Brinell del acero A36 va de los 119 a los 162 HB dependiendo del porcentaje de carbono de este, mientras que la dureza Brinell del acero rápido es de 720 HB, es por ello que se proponen brocas de este material ya que cuentan con la dureza suficiente para realizar el proceso de perforación al material del chasis. Comercialmente se pueden encontrar brocas cortas de acero rápido con vástagos hexagonales, un ejemplo de un juego de brocas de la marca NEIKO se muestra en la figura 53. Las medidas de largo de la broca sin contar el vástago, que será cubierto por el porta brocas del adaptador, van de las 0.5 pulgadas hasta las 1.5 pulgadas, que sumando la medida de la broca más grande, más los 3 centímetros de largo que tiene el adaptador angular suman 6.8 centímetros, siendo este valor inferior al espacio más corto de perforación que es de 7 centímetros.



*Figura 53 Juego de brocas con vástago hexagonal de la marca NEIKO*

La fórmula para obtener las revoluciones por minuto a la que se realizar la operación se encuentra a continuación:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

Figura 54 Fórmula para el cálculo de RPM

Siendo n las revoluciones por minuto,  $V_c$  la velocidad de corte en metros sobre minuto y  $D_m$  el diámetro de la broca en milímetros.

La empresa “Irwin tools” cuenta con una tabla de velocidades corte recomendadas para la perforación de diferentes materiales utilizando una broca de acero rápido. La tabla se muestra en la figura 55.

<b>Velocidades de corte (según el material de trabajo)</b>	
<b>Velocidades para brocas de acero de corte rápido (HSS)</b>	<b>SFM*</b>
Aluminio y sus aleaciones	200 - 300
Bronce y aleación de cobre y estaño (ordinario)	150 - 300
Bronce (tensión axial alta)	70 - 150
Fundido de matrices (base de zinc)	300 - 400
Fundido en hierro (blando)	100 - 150
Fundido (medio duro)	70 - 100
Duro refrigerado por aire	30 - 40
Maleable	80 - 90
Magnesio y sus aleaciones	250 - 400
Aleación de níquel y cobre o acero alto en níquel	30 - 50
Plásticos y materiales semejantes (Bakelita)	100 - 300
Acero - Suave (de .2 carbono a .3 carbono)	80 - 110
Acero (de .4 carbono a .5 carbono)	70 - 80
Herramienta (1.2 carbono)	50 - 60
Forjaduras	40 - 50
Aleaciones- 300 a 400 dureza Brinell	20 - 30
Tensión axial alta (Termotratada)	
35 a 40 Rockwell C	30 - 40
40 a 45 Rockwell C	25 - 35
45 a 50 Rockwell C	15 - 25
50 a 55 Rockwell C	7 - 15
Acero inoxidable	
Grados de maquinado libre	30 - 80
Grados de acritud	15 - 50
Madera	300 - 400

Figura 55 Velocidades de corte recomendadas según el material de trabajo [62]

De acuerdo con “Irwin Tools”, la velocidad de corte recomendadas para aceros con 2 a 3 por ciento de carbono son 80-110 ft/min, utilizando el valor medio de 95 pies por minuto y transformando este valor al sistema internacional, se tiene un valor recomendado de aproximadamente 29 metros por minuto.

Sustituyendo ese valor en la fórmula y realizando la operación para las 3 diferentes brocas que se necesitan para el proceso, se tienen los siguientes valores recomendados de RPM:

- Para la broca de un octavo de pulgada: 2900 RPM
- Para la broca de un cuarto de pulgada: 1400 RPM
- Para la broca de media pulgada: 726 RPM

La última herramienta adicional que se necesita para este proceso es un maneral y un machuelo de un cuarto de pulgada para realizar la operación de roscado para fijar el controlador y la base de la batería al chasis por medio de tornillos del mismo diámetro.



*Figura 56 Maneral y machuelo de un cuarto de pulgada, imagen obtenida de la página oficial de SURTEK*

Una vez que se tienen las herramientas y los parámetros de corte, se pueden realizar las operaciones de perforación. Antes de comenzar se recomienda poner peso en la canasta de carga para que el chasis tenga la menor vibración posible y evitar así que esto interfiera y dificulte con las perforaciones. El orden en el que se realicen los barrenos es indiferente, pero se para tener una guía se realizarán en el mismo orden de la división del vehículo del apartado 5.2.2, además se recomienda realizar primero todos los barrenos con la broca de un octavo de pulgada y posteriormente realizar los barrenos con la broca más grande según corresponda, esto con el fin de facilitar la operación ya que entre más grande es el barreno a realizar mayor remoción de material deberá realizarse y el proceso puede llegar a complicarse si se realiza directamente con la broca de mayor tamaño. Siguiendo el orden propuesto, primero se deben realizar las 4 perforaciones con la broca de un octavo de pulgada de la canasta de carga para el cableado de las luces, posteriormente se debe colocar el controlador y la base de la batería en la posición correcta, realizando marcas en donde van las perforaciones para posteriormente realizarlas con la broca de un cuarto de pulgada, se deben realizar dos perforaciones para el controlador y dos para la batería, una vez terminadas estas últimas 4 perforaciones se debe realizar la operación de roscado por medio del maneral y el machuelo de un cuarto de pulgada, posteriormente se deben cortar 4 tornillos del mismo diámetro para que su longitud no sea mayor a una pulgada ya que el tubo a donde se fijará es de esta medida. Finalmente se deben realizar las dos perforaciones de la parte superior del manubrio con la broca de un cuarto de pulgada y las perforaciones con la broca de media pulgada para la parte inferior del manubrio, el tubo del cuadro central que conecta con la canasta de carga y la del cable del motor.

### **6.1.2 Colocación de los componentes sobre el chasis**

Una vez que se han realizados todas las perforaciones necesarias en el chasis se procede a colocar los componentes de la interfaz de acuerdo a lo descrito en el apartado 5.2.2, utilizando las abrazaderas de antorcha de los componentes para su fijación sobre el chasis,

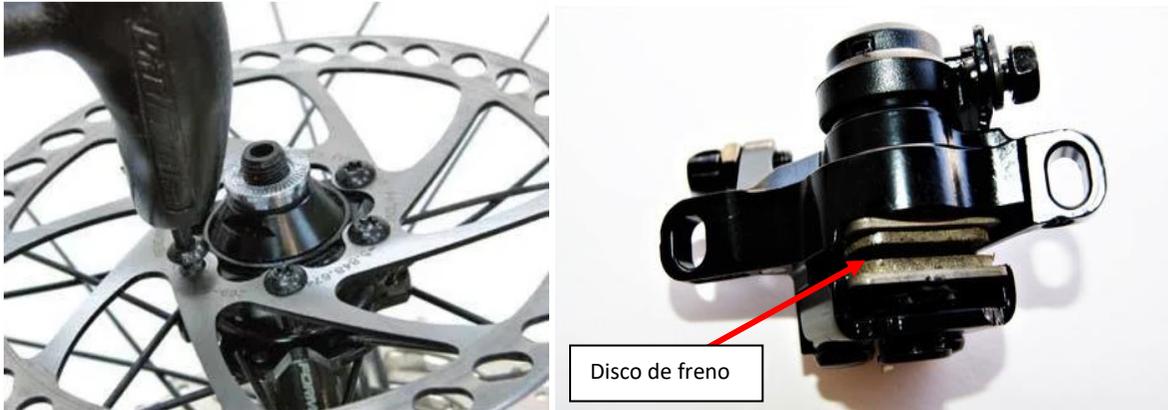
ajustando la abrazadera hasta que el componente quede firme cuidando no ajustar demasiado para evitar un daño físico del tornillo de la abrazadera.

Posteriormente se debe desmontar la llanta trasera para remover la maza y que esta sea reemplazada por el motor eléctrico, se ensambla el motor eléctrico a la rueda trasera por medio de los rayos de la rueda, para apoyarse se puede colocar el motor en los tubos de tijera para realizar el engrayado del motor.



*Figura 57 Enrayado del motor, imagen obtenida del canal de YouTube de youeshift*

Una vez que el motor esta fijo a la rueda se procede a fijar el freno de disco en el motor, para finalmente volver a montar la rueda entre los tubos de tijera. Una vez que la rueda trasera con el freno de disco está instalada, se procede a instalar el adaptador de caliper sobre el tubo de tijera, a una distancia a la que cuando se instale el caliper sobre este, las balatas envuelvan al disco de freno. Posteriormente se instala el caliper sobre el adaptador asegurando que no exista roce de alguna balata con el disco ya que esto provocará una fricción innecesaria al movimiento y por lo tanto una pérdida de eficiencia. Finalmente se instala el cable de frenado desde el caliper hasta los gatillos de freno ajustándolo de tal manera que al momento de que se accione el gatillo el mecanismo del caliper haga que las balatas hagan el contacto suficiente con el disco de freno para detener el vehículo.



*Figura 58 Atornillado del disco de freno y posición del disco de freno en el caliper*

### **6.1.3 Conexiones**

Una vez que los componentes han sido debidamente fijados sobre el chasis, el siguiente paso será realizar el cableado interno y las conexiones de los componentes electrónicos al controlador. Para realizar lo anterior se tomarán como referencia la figura 25 en donde se muestran las conexiones del controlador y la posición y proceso de cableado interior descrito en el apartado 5.2.4.

Como es muy complicado manipular el cableado dentro del chasis debido a que no se tiene acceso más que por las perforaciones realizadas, se utilizará el apoyo de una herramienta conocida como guía jala cables, esta herramienta se trata de un rollo de alambre retráctil con una punta en forma de gancho, para utilizarlo se debe realizar el recorrido que realizará el cable con el alambre de la herramienta, una vez que el alambre realizó el recorrido y alcanzó una superficie donde el operador tenga acceso en el exterior del chasis, se ancla el cable al gancho y finalmente se enrolla el alambre de la herramienta a su posición original haciendo que el cable enganchado siga ese mismo recorrido.



Figura 59 Guía jala cables de la marca SURTEK, imagen obtenida de la página oficial de SURTEK

Para los cables que quedan al exterior del chasis es recomendable utilizar cinchos de plástico para que no queden colgando y estos puedan correr el riesgo de recibir un daño físico de fatiga por el movimiento constante, enredarse o cortarse por rozar un componente filoso.



Figura 60 Cinchos de plástico para cables de la marca SURTEK, imagen obtenida de la página oficial de SURTEK

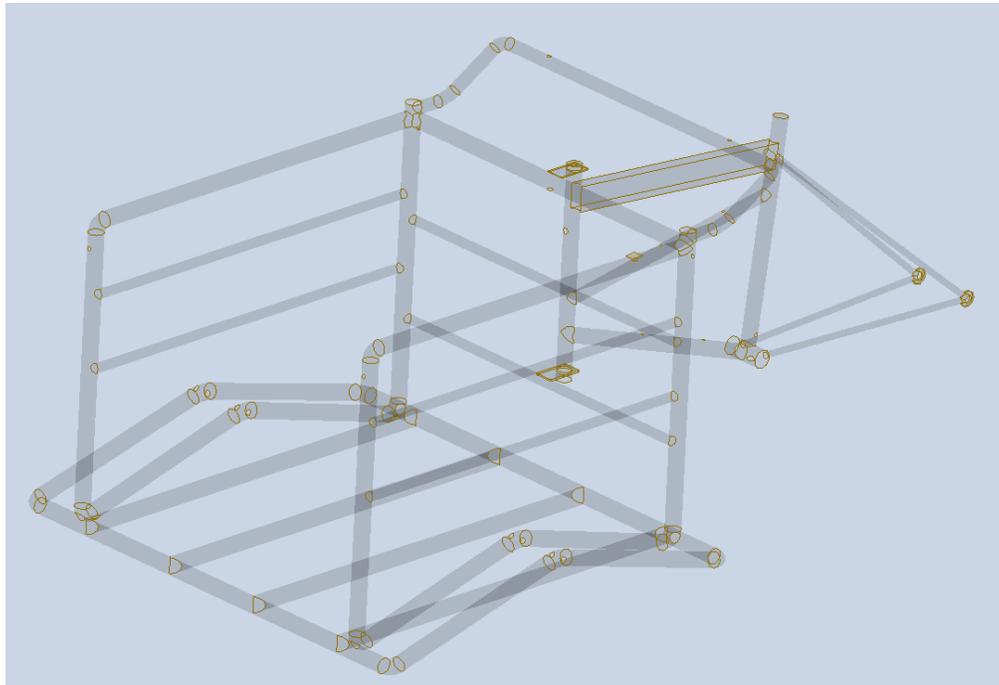
## 6.2 Análisis de elemento finito

De acuerdo con AutoDesk, empresa del software utilizado para la realización del modelado 3D del vehículo, El análisis de elementos finitos es un método computarizado para predecir cómo reaccionará un producto ante las fuerzas, la vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. La simulación de elementos finitos te permite comprobar si un producto se romperá, desgastará o funcionará como se espera. [63]

En este caso se utilizará el análisis de elementos finitos para comprobar que el chasis, después de que se hayan realizado las operaciones de perforación, aún puede soportar los pesos tanto del usuario como de la carga en la canasta.

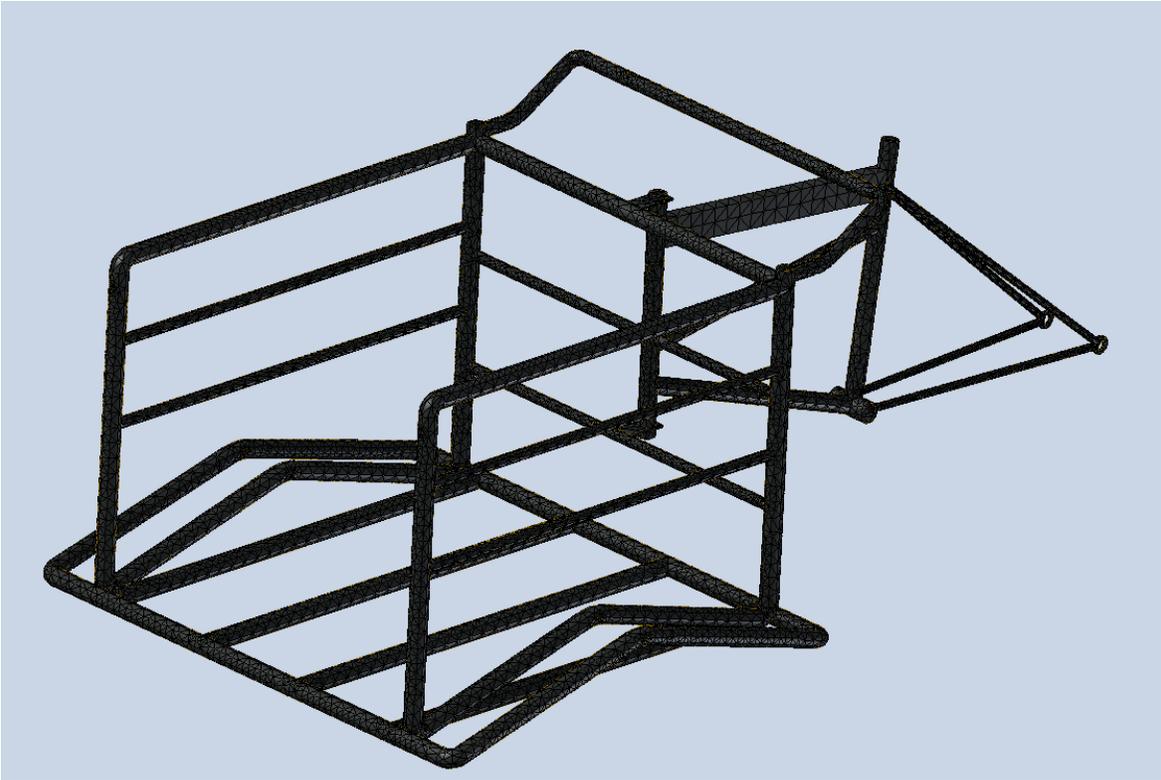
El análisis se realizó con ayuda del módulo de Análisis de tensión del mismo software Inventor, el primer paso fue la obtención de la superficie media del modelo virtual del chasis, el módulo de análisis cuenta con una operación para realizar esto. El objetivo de obtener la superficie media es la de obtener únicamente una superficie que represente la estructura del chasis ya que el análisis que se realizará será 2D, esto último otorga la ventaja de reducir recursos y tiempo de procesamiento para calcular la solución final comparado con un análisis 3D. A pesar de ser un análisis 2D el módulo cuenta con la opción de agregar un grosor para que este sea considerado en el cálculo de la solución, por lo tanto, se procedió a asignar los grosores correspondientes a los tubos, que van desde calibre 18 hasta 14.

Una vez que se tiene la superficie con los grosores correspondientes, se procede a revisar las conexiones entre los tubos, para asegurar de que el análisis se realice con una estructura completamente conectada sin que algún tubo no sea tomado en cuenta en la estructura continua. Las conexiones se visualizan de color dorado en la figura 61.



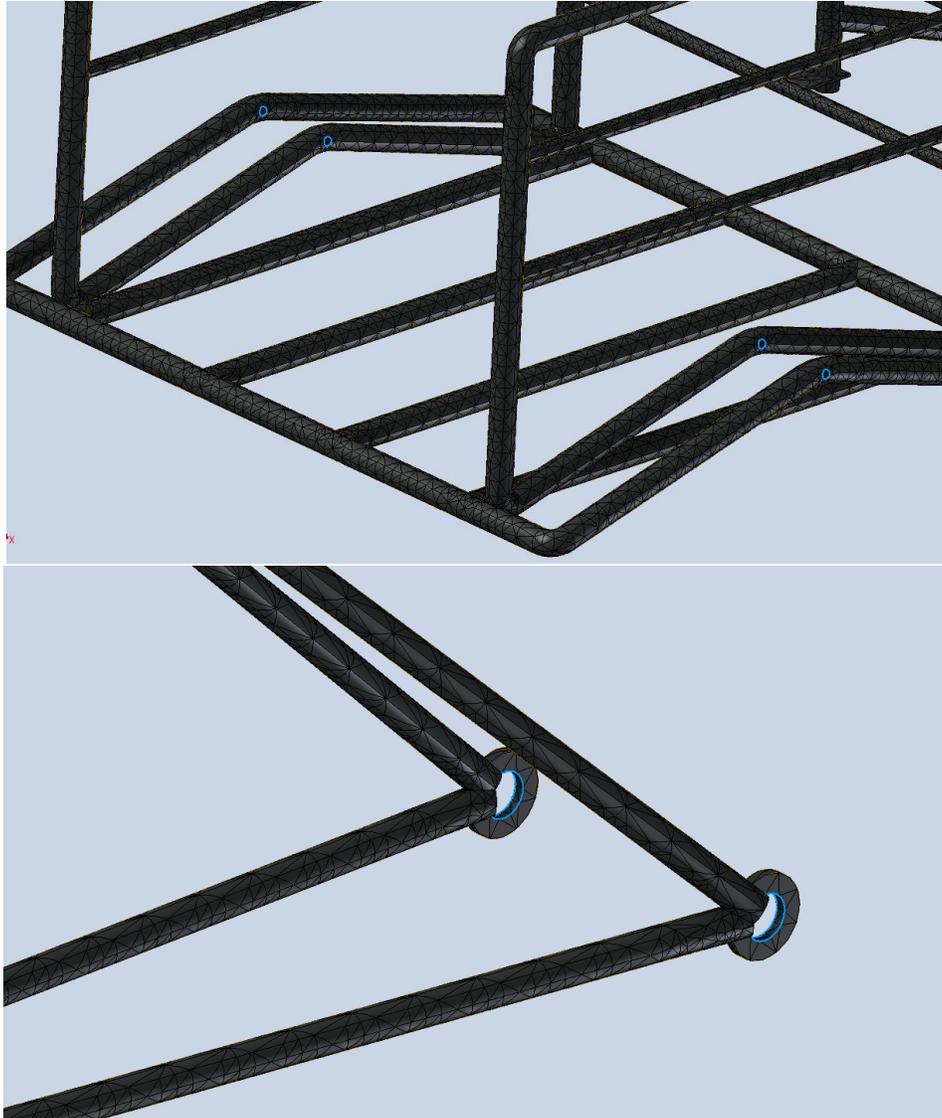
*Figura 61 Superficie media del chasis con conexiones*

Posteriormente se procede a realizar el mallado de la superficie, operación que realiza el software de manera automática, únicamente hay que revisar que toda la superficie haya sido mallada, de lo contrario se deben realizar reparaciones a esta hasta que la superficie quede completamente mallada, la superficie correctamente mallada se muestra en la figura 62. En este caso la malla contó con un total de 28,032 elementos y un total de 14,050 nodos. El software de Inventor no cuenta con una herramienta para revisar la calidad de malla, donde generalmente deben cuidarse dos parámetros: el coeficiente de aspecto y el cociente Jacobiano, el primero nos indica que tan alejados están los elementos de tener el aspecto perfecto, el cual se trata de un tetraedro equilátero, cuyo valor es de 1, Cuanto mayor sea el coeficiente de aspecto a 1, peor será la calidad de la malla. El cociente Jacobiano indica que tan deformados están los elementos en zonas con curvaturas, al igual que el primer parámetro, cuanto mayor sea el valor a 1, más deformación existirá en los elementos y peor será la calidad de la malla.



*Figura 62 Superficie del chasis completamente mallada*

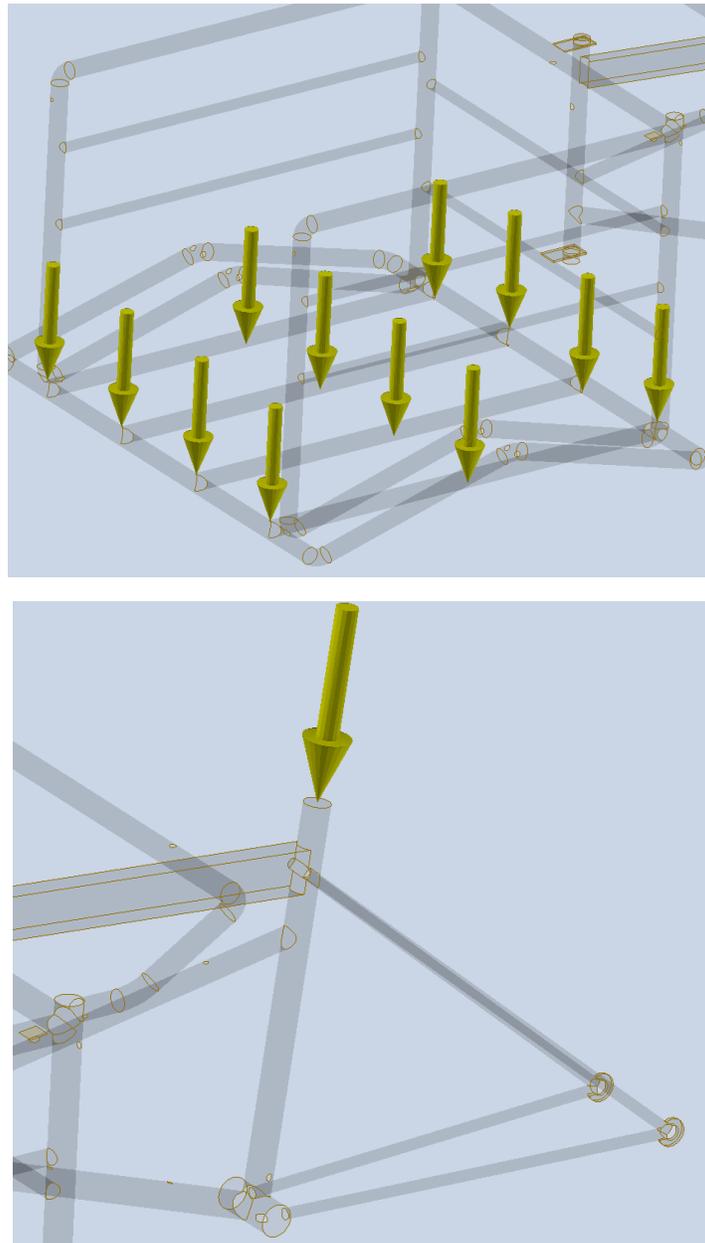
Una vez que se tiene la superficie mallada el paso siguiente es definir las restricciones del análisis, es decir, los puntos donde el chasis será inamovible para observar cómo reacciona a las cargas que posteriormente se colocarán. Los puntos seleccionados como restricciones del análisis fueron los ejes de las 3 llantas, ya que las llantas son los únicos puntos del vehículo que tienen contacto con el suelo y el chasis se encuentra suspendido de los ejes de estos.



*Figura 63 Restricciones del análisis*

El siguiente paso es definir las cargas a las que será sometida el chasis, el primer conjunto de cargas serán 12 cargas con dirección  $-F_y$  y magnitud total de 1568 Newton distribuidas a lo largo de la base de la canasta de carga, las cuales representan la carga máxima de 160 kilogramos.

La segunda carga es una carga perpendicular al tubo del asiento con una magnitud de 980 Newton que representan al peso máximo de la persona que puede conducir el vehículo (100 kilogramos).



*Figura 64 Cargas del análisis*

El último paso antes de proceder al cálculo del análisis es la asignación del material, el software cuenta con una biblioteca de materiales con sus propiedades físicas mismas que utiliza el software para calcular el análisis, dentro de esta biblioteca se encuentra el Acero A36 que por lo tanto fue el material seleccionado. El resultado del análisis se puede observar en la figura 65, 66 y 67.

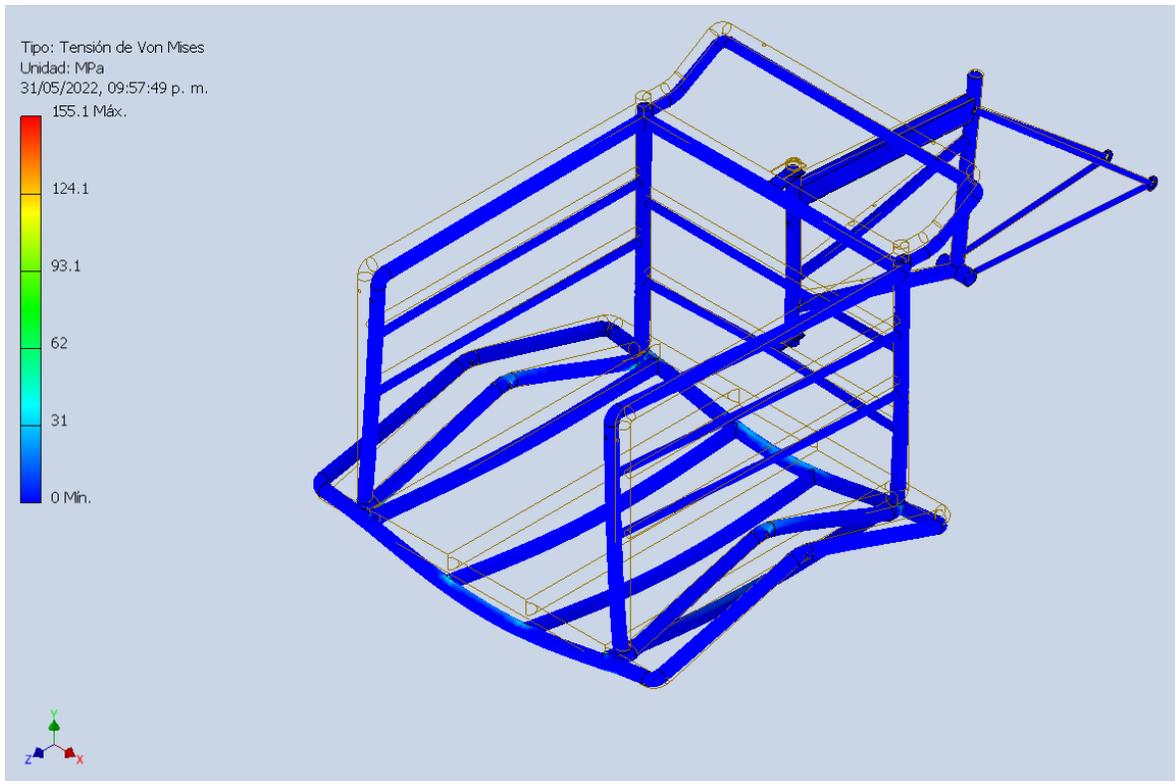


Figura 65 Resultados del análisis de elementos finitos: Tensión máxima

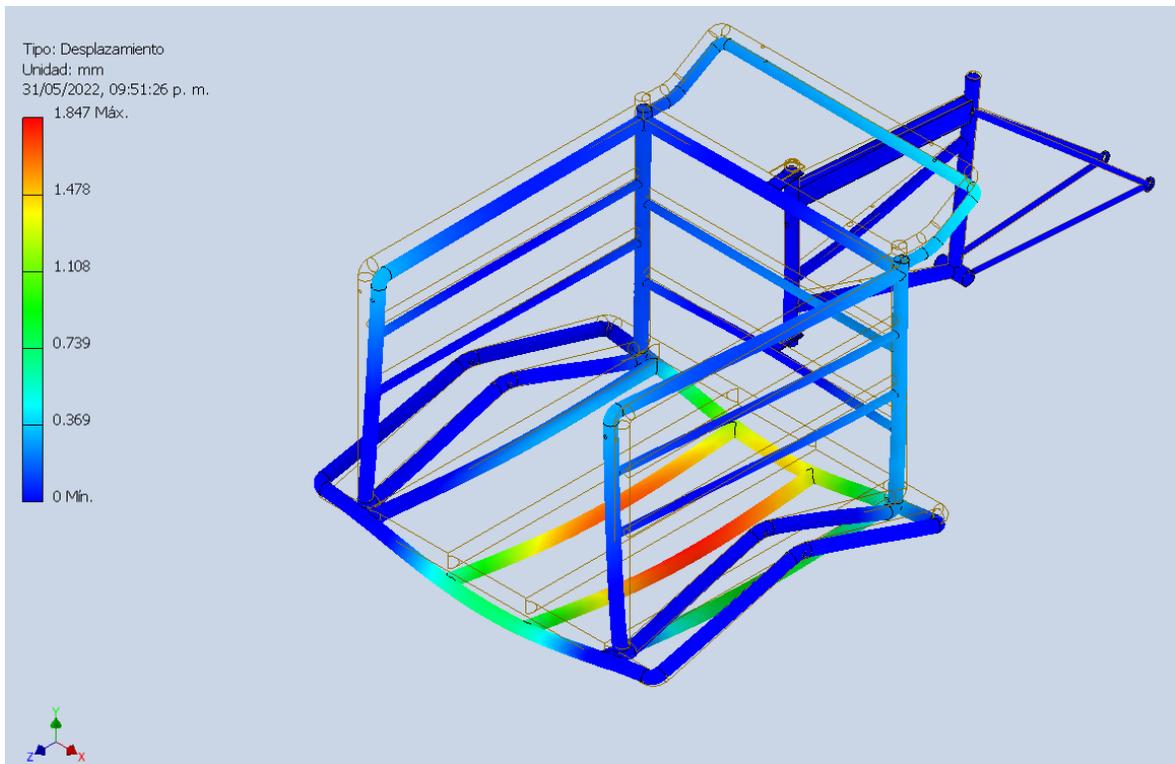
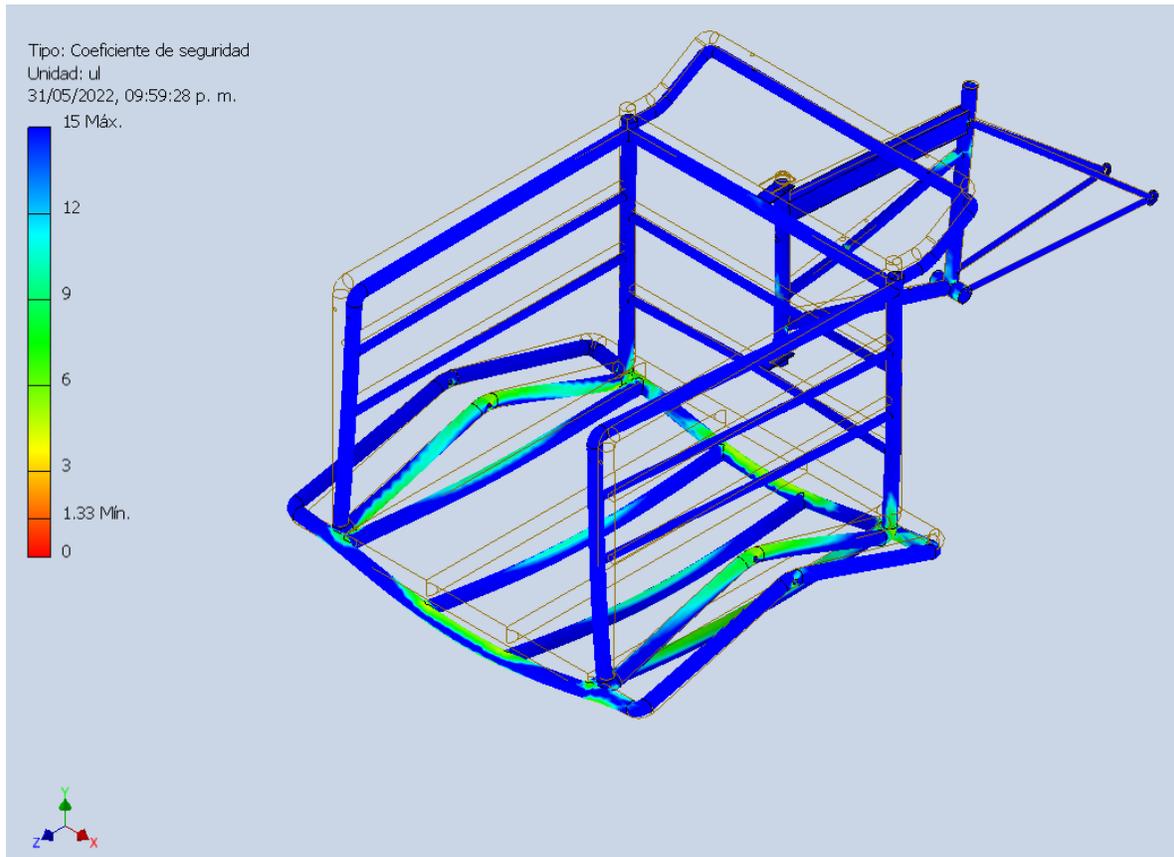


Figura 66 Resultados del análisis de elementos finitos: Desplazamiento

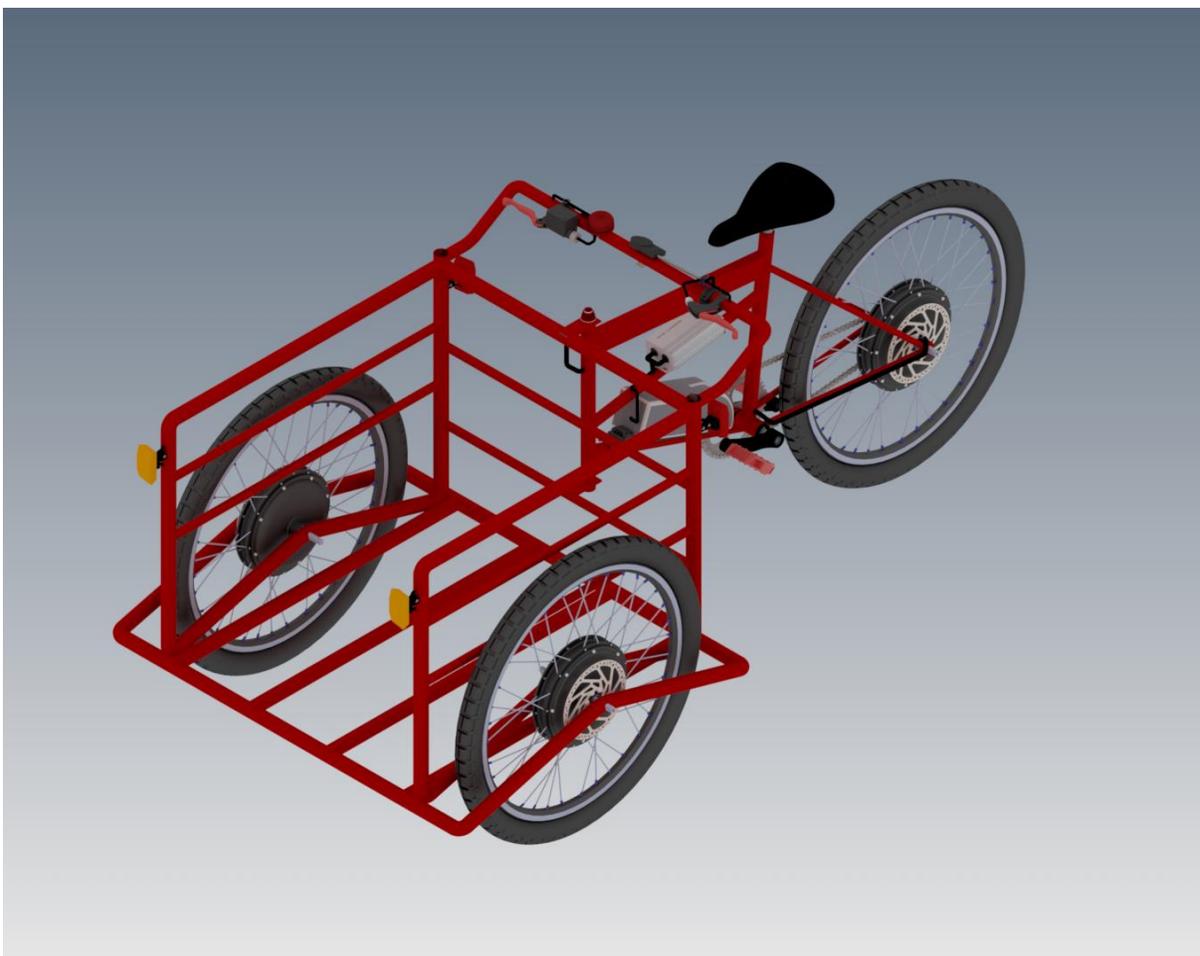


*Figura 67 Resultados del análisis de elementos finitos: Coeficiente de seguridad*

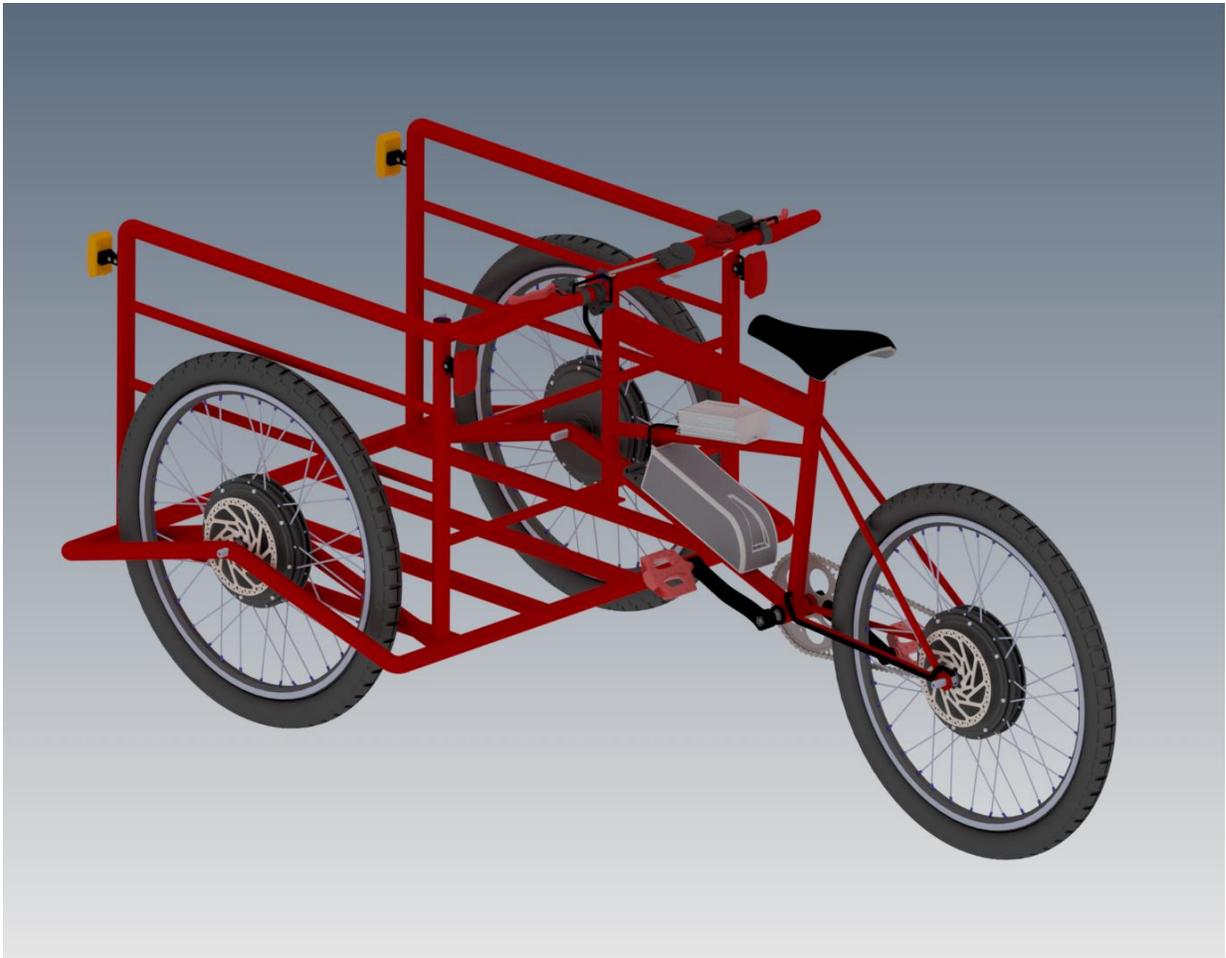
Como se puede observar en la figura 62 el análisis muestra que la tensión máxima que sufre la estructura es de 155.1 MPa, valor que se encuentra por debajo del límite elástico que es de 250 M. El desplazamiento máximo se encuentra en los tubos de en medio de la base de la canasta, ya que el peso de la carga causa su pandeo al no tener un tubo de soporte en medio que lo contrarreste, se podría reforzar agregando 3 segmentos de tubo que conecten los tubos de la base entre sí, pero esto no es necesario ya que el desplazamiento máximo es de tan solo 1.85 milímetros. El rango del coeficiente de seguridad de la estructura va de 15 como máximo y 1.33 como mínimo, ya que todos los valores del rango son mayores a 1, el resultado del análisis indica que la estructura soportará las cargas máximas a las que será sometido el vehículo en funcionamiento.

### 6.3 Versión final

Para concluir el capítulo, se muestra la versión final del modelo virtual del vehículo, siendo este una representación detallada de cómo sería el vehículo físico ensamblado completamente.



*Figura 68 Modelo final, vista isométrica*



*Figura 69 Modelo final del vehículo, vista isométrica trasera*

Es por ello que en se punto se puede decir que se ha cumplido el objetivo de diseño: se ha desarrollado el vehículo que cumple con los requerimientos y especificaciones definidos inicialmente, se han evaluado y comparando distintas soluciones para satisfacer los mismos , se han detallado cada una de estas soluciones describiendo sus características técnicas, se ha generado un modelo tridimensional tanto del vehículo como de sus componentes como referencia del vehículo real ensamblado, se ha realizado un análisis de elemento finito y se ha descrito el proceso de transformación del triciclo tradicional al vehículo final propuesto en este trabajo escrito.

## Conclusiones

Si bien el triciclo de carga es un vehículo que brinda una alternativa de transporte e incluso de trabajo a miles de Mexicanos, la infraestructura vial y el límite de la capacidad humana para generar fuerza motriz hacen que el transporte de cargas muy elevadas utilizando este vehículo resulte muy complicado e incluso perjudicial para la salud del usuario, es por ello que se aprovecha este espacio para resaltar la factibilidad de agregar elementos que permitan mejorar las funciones de un vehículo sin necesidad de que esto interfiera con las funciones habituales que desarrolla el vehículo tradicional. Como se demostró a lo largo de este trabajo escrito, a pesar de la poca popularidad del triciclo de carga en comparación con otros vehículos, actualmente se cuentan con las tecnologías necesarias para realizar la transformación del triciclo de carga tradicional a eléctrico, contando incluso con diversas opciones para la solución de cada subsistema dependiendo de las necesidades que tenga el usuario, se espera que a medida que el avance tecnológico incrementa, existe cada vez más opciones y elementos para la mejora constante del vehículo. Cabe resaltar que un factor importante para el proceso de diseño en general es pensar en el usuario, cuestionarse si el producto final le será de verdadera utilidad, si cumple con sus necesidades y si es factible que el usuario pueda utilizarlo o aprender a utilizarlo sin mayor complicación, en este caso la selección de componentes y su posición en el vehículo juegan un papel importante, ya que si se posicionan los componentes con los que interactúa el usuario de una manera que le resulta poco familiar o incluso poco cómoda el diseño del vehículo no cumplirá con su objetivo. Se posicionaron los componentes de interfaz de manera que el usuario no debe cambiar la forma en la que conduce el vehículo habitualmente y se seleccionaron componentes con los que el usuario está familiarizado, como por ejemplo el dispositivo indicador en forma de tacómetro, facilitando así el cambio de un vehículo tradicional a eléctrico para el usuario. Así como actualmente se está viviendo un alza exponencial en el número de usuarios de bicicletas eléctricas en los últimos años, se espera que el triciclo de carga eléctrico pueda formar parte importante del mercado de los vehículos eléctricos.

## Trabajo a futuro

La configuración propuesta en este trabajo es tan sólo una de muchas soluciones diferentes que pueden existir, como se observó a lo largo del proceso de diseño, este tipo de vehículo cuenta con diversos sistemas de los cuales existen diversas soluciones para cada uno de ellos, se pueden modificar cada uno de estos de acuerdo a las necesidades que dicten los requerimientos y especificaciones planteados. Uno de los trabajos futuros a realizar para este vehículo es el diseño del mismo desde cero, es decir, diseñando todos los componentes específicamente para este tipo de vehículo en lugar de adaptar componentes que fueron diseñados para otro tipo de vehículos, el diseño de un chasis específicamente para un triciclo de carga eléctrico daría como resultado una mejor adaptabilidad de los componentes en incluso dar entrada a nuevos componentes.

Uno de los obstáculos más grandes que presentan los vehículos eléctricos actualmente es la relación peso autonomía de las baterías, además de su elevado costo, llegando a ser este incluso el componente más costoso del vehículo. Actualmente la tecnología de baterías ha avanzado de manera considerable, dando así oportunidad de obtener baterías con mayor eficiencia y a menor costo, pero si se espera que los vehículos eléctricos reemplacen a los vehículos de combustión interna se debe avanzar aún más en la tecnología de las baterías e incluso en la obtención de energía por medios renovables para recargarlas.

Los triciclos de carga siguen siendo un tipo de vehículo muy poco comercializado a comparación de las bicicletas, y de igual manera para sus versiones eléctricas, dónde en los últimos años se ha visto un crecimiento considerable en la venta de bicicletas eléctricas mientras que los modelos de triciclos de carga eléctricos son pocos y con pocas ventas. Otro de los objetivos principales de este trabajo es la difusión y promoción del triciclo de carga, tanto tradicional como eléctrico, como alternativa de transporte, incentivando a las personas a reconsiderar si sus actividades cotidianas deben ser cubiertas por un automóvil o motocicleta o si pueden ser satisfechas con un vehículo de este tipo, a dar a conocer nuevas oportunidades de mercado con el uso de este vehículo o simplemente para tener una nueva experiencia conduciendo uno.

Actualmente la infraestructura vial de México obstaculiza el crecimiento del uso de estos vehículos, no siendo considerados ni si quiera en el reglamento de tránsito, encontrándose en un limbo entre bicicleta y automóvil recibiendo los aspectos negativos de cada uno de estos como no tener espacios asignados de estacionamiento o la obligación de pagar impuestos y placas como si se tratara de un automóvil. El trabajo que debe hacerse para que estos vehículos puedan ser vistos con mayor frecuencia en las vialidades mexicanas es el cambio de infraestructura vial, permitiendo que estos vehículos cuenten con los mismos privilegios que las bicicletas, generar una cultura vial correcta para que los usuarios de estos vehículos puedan transitar con tranquilidad por las calles y popularizar el uso de estos abriendo nuevos mercados y concientizando a las personas de la versatilidad y beneficios de utilizarlo.

## Referencias bibliográficas

- [1] Wikipedia, «Human-powered transport,» 5 Febrero 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Human-powered\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Human-powered_transport). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [2] Wikipedia, «Human Powered Transport: Modes,» 5 Febrero 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Human-powered\\_transport#Modes](https://en.wikipedia.org/wiki/Human-powered_transport#Modes). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [3] Wikipedia, «Electric Vehicle,» 25 Abril 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [4] Wikipedia, «Electric Vehicle: Electric Motor,» 25 Abril 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle#Electric\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#Electric_motor). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [5] Wikipedia, «Electric Vehicle: Lithium-ion battery,» 25 Abril 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle#Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#Lithium-ion_battery). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [6] DGSC UNAM, «ELECTROMOVILIDAD, TENDENCIA MUNDIAL EN LA QUE MÉXICO DEBE AVANZAR,» 17 Marzo 2022. [En línea]. Available: [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2022\\_214.html#:~:text=De%202019%20a%202021%20se,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s\)..](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2022_214.html#:~:text=De%202019%20a%202021%20se,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)..) [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [7] Híbridos y Eléctricos, «La bicicletas eléctricas también son un éxito en España: récord de ventas en 2021,» 20 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electrica/bicicletas-electricas-tambien-exito-espana-record-ventas-2021/20220419173732056900.html>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [8] Ciclosfera, «EE UU: la venta de bicicletas eléctricas creció un 145% en 2020,» 17 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://ciclosfera.com/a/ee-uu-la-venta-de-bicicletas-electricas-crecio-un-145-de-2019-a-2020>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [9] Carerac, «Capacidad de carga de Volkswagen Jetta,» Enero 2022. [En línea]. Available: [https://carerac.com/volumen\\_carga/volkswagen/jetta.html](https://carerac.com/volumen_carga/volkswagen/jetta.html). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [10] Benotto, «Triciclo de Carga Estandar con llanta Reforzada Maza Velosteel,» 2022. [En línea]. Available: <https://tienda.benotto.com/Triciclo-de-Carga-Estandar-con-llanta-Reforzada-Maza-Velosteel/50744.html>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [11] AutoData, «2019 Volkswagen Jetta VII GLI 2.0 TSI (228 CV),» 2020. [En línea]. Available: <https://www.auto-data.net/es/volkswagen-jetta-vii-gli-2.0-tsi-228hp-37135>. [Último acceso: 26 Abril 2022].

- [12] Data Mexico, «Vendedores Ambulantes,» Abril 2022. [En línea]. Available: <https://datamexico.org/es/profile/occupation/vendedores-ambulantes>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [13] INEGI, «INDICADORES DE OCUPACIÓN Y EMPLEO,» Diciembre 2021. [En línea]. Available: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/iooe/iooe2022\\_01.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/iooe/iooe2022_01.pdf). [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [14] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Permiso transitorio para comercio ambulante,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/tramites/ficha/permiso-transitorio-para-comercio-ambulante/SEMARNAT39>. [Último acceso: 26 Abril 2022].
- [15] Secretaría de Comunicaciones y Transportes , «¡Felicidades a todos nuestros Carteros!,» 12 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/sct/articulos/felicidades-a-todos-nuestros-carteros>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [16] S. Carpenter, «Motorcycles and emissions: The surprising facts,» *Los Angeles Times*, 16 Septiembre 2014.
- [17] El Economista, «Inversión publicitaria en 2021 será de 110,000 millones de pesos,» 16 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.economista.com.mx/empresas/Inversion-publicitaria-en-2021-sera-de-110000-millones-de-pesos-PwC-20211016-0008.html>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [18] Statista, «Distribución porcentual del gasto en publicidad digital a nivel mundial desde 2007 hasta 2023, por región,» Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/598549/porcentaje-del-gasto-en-publicidad-digital-en-el-mundo-por-region/>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [19] El Financiero, «La publicidad con bicis que factura 4 mdp al año,» 2 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/bicible-una-nueva-forma-de-hacer-publicidad-sustentable-y-llamativa/>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [20] El Sol de México, «“Movilidad barrial”, el modelo que revive el bicitaxi en CDMX,» 10 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/bicitaxi-regresa-a-la-cdmx-con-el-concepto-movilidad-barrial-7069233.html>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [21] Statista, «Participación del turismo en el producto interno bruto (PIB) en México entre 2010 y 2020,» 4 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/596071/participacion-del-turismo-en-el-producto-interno-bruto-mexico/#:~:text=M%C3%A9xico%3A%20participaci%C3%B3n%20del%20turismo%20en%20el%20producto%20interno%20bruto%202010%2D2020&text=Entre%202013%20y%202019%20la,5>. [Último acceso: 27 Abril 2022].

- [22] TripAdvisor, «Tours en bicicleta en Ciudad de México,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.tripadvisor.com.mx/Attractions-g150800-Activities-c61-t214-Mexico\\_City\\_Central\\_Mexico\\_and\\_Gulf\\_Coast.html](https://www.tripadvisor.com.mx/Attractions-g150800-Activities-c61-t214-Mexico_City_Central_Mexico_and_Gulf_Coast.html). [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [23] Noticias Acunsa, «Las lesiones más habituales en ciclismo y cómo prevenirlas,» 22 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://noticias.acunsa.es/lesiones-mas-habituales-en-ciclismo/>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [24] BikeShop, «¿CÓMO ESCOGER LAS LUCES PARA UNA BICICLETA?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.bikeshop.es/static/escoger-luces-bicicleta.html#:~:text=Una%20potencia%20de%20100%20l%C3%BAmenes,secundario%20que%20alumbra%20los%20laterales..> [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [25] Gobierno de la Ciudad de México, «REGLAMENTO DE TRÁNSITO DE LA CIUDAD DE MÉXICO,» 31 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transito/Actualizaciones/Reglamento-de-Transito-CDMX.pdf>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [26] Miiituo, «Conoce cuántos kilómetros recorre un auto por día en CDMX,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.miiituo.com/Blog/cuantos-kilometros-recorre-un-auto-en-la-ciudad-de-mexico>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [27] Twitter, «Tweet de Correos de México,» 12 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://twitter.com/correosdemexico/status/929746483947229184?lang=es>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [28] El Heraldo de México, «En CDMX, se roban cinco bicicletas al día,» 25 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://heraldodemexico.com.mx/nacional/2022/1/25/en-cdmx-se-roban-cinco-bicicletas-al-dia-372704.html>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [29] CONAGUA, «Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia,» 2022. [En línea]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>. [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [30] Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo, «Diseño vial para ciudades mexicanas,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual\\_de\\_calles\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual_de_calles_2019.pdf). [Último acceso: 27 Abril 2022].
- [31] Twenergy, «Tipos de motor eléctrico para bicicleta,» 22 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/sostenibilidad/bicicletas-electricas/tipos-motor-electrico-bicicleta/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [32] Híbridos y Eléctricos, «¿Qué potencia elijo al comprar una bicicleta eléctrica?,» 11 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas->

electrica/potencia-comprar-bicicleta-electrica/20190611094304028196.html. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].

- [33] wwwwhatsnew, «TIPOS DE BATERÍAS PARA BICICLETAS ELÉCTRICAS,» 2 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://wwwwhatsnew.com/2019/09/02/tipos-baterias-para-bicicletas-electricas/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [34] Tuvalum, «La guía definitiva de cuadros de bicicleta; ¿qué material es mejor?,» 28 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [35] Bikelec, «Controlador de una bicicleta eléctrica,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bikelec.es/blog/controlador/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [36] VAIC, «¿Qué tipo de sensores llevan las bicicletas eléctricas?,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.vaic.com/es/content/14-que-tipo-de-sensores-llevan-las-bicicletas-electricas>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [37] Carmelabikes, «Bicicleta eléctrica con acelerador: Qué es, normativa y más,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.carmelabikes.com/bicicleta-electrica-con-acelerador-que-es-normativa-y-mas/#:~:text=Un%20acelerador%20es%20aque%20mecanismo,de%20gatillo%20y%20de%20bot%C3%B3n..> [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [38] Wikipedia, «Transmisión de bicicleta,» 30 Enero 2021. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n\\_de\\_bicicleta](https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_de_bicicleta). [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [39] Wikipedia, «Freno de bicicleta,» 30 Marzo 2022. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Freno\\_de\\_bicicleta](https://es.wikipedia.org/wiki/Freno_de_bicicleta). [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [40] Bike Exchange, «Las Ruedas para Ciclismo de Ruta: Todo lo que Necesitas Saber,» 15 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-definitiva-para-ruedas-de-ruta>. [Último acceso: 3 Diciembre 2021].
- [41] Merkabici, «Tipos de dirección que podemos encontrar en una bicicleta,» 10 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.merkabici.es/blog/tipos-direccion-bicicleta/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [42] Bunchbike, «The Original, Electric Cargo Trike,» 2021. [En línea]. Available: <https://bunchbike.com/products/the-original-electric-cargo-bike?variant=31804586393651>. [Último acceso: 7 Mayo 2022].
- [43] Triciclos Trejo, «¿Se le pueden adaptar frenos de mano al triciclo de carga?,» 2018. [En línea]. Available: <http://triciclosdecarga.com/preguntas/se-puede-adaptar-frenos-a-un-triciclo-de-carga.php>. [Último acceso: 7 Mayo 2022].

- [44] Heinzmann, «Cargo-Power RN 111,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.heinzmann-electric-motors.com/en/component/jdownloads/?task=download.send&id=78&catid=21&Itemid=171>. [Último acceso: 13 Mayo 2022].
- [45] MatWeb, «ASTM A36 Steel, bar,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>. [Último acceso: 13 Mayo 2022].
- [46] AliExpress, «Pedal de bicicleta eléctrica con asistente de sistema PAS, 5, 8, 12 imanes,» 2021. [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005003595089459.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.551e6686WXkgf4&algo\\_pvid=452c8330-cd5b-4504-b81d-2434fd8e1e19&algo\\_exp\\_id=452c8330-cd5b-4504-b81d-2434fd8e1e19-1&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000026421819042%22%7D&pdp\\_npi=](https://es.aliexpress.com/item/1005003595089459.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.551e6686WXkgf4&algo_pvid=452c8330-cd5b-4504-b81d-2434fd8e1e19&algo_exp_id=452c8330-cd5b-4504-b81d-2434fd8e1e19-1&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000026421819042%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 13 Mayo 2022].
- [47] ELECYCLE, «KT Controller 36V 48V 250W/350W/500W/750W Electric bicycle controller,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.elecycles.com/kt-controller-36v-48v-250w-350w-500w-750w-electric-bicycle-controller.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2022].
- [48] AliExpress, «Acelerador de pulgar WUXING 300X para bicicleta eléctrica,» 2020. [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005004113013602.html?\\_randl\\_currency=MXN&\\_randl\\_shipto=MX&src=google&src=google&albch=shopping&acnt=631-313-3945&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&albagn=888888&isSmbActive=false&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=fa](https://es.aliexpress.com/item/1005004113013602.html?_randl_currency=MXN&_randl_shipto=MX&src=google&src=google&albch=shopping&acnt=631-313-3945&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&albagn=888888&isSmbActive=false&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=fa). [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [49] AliExpress, «Pantalla para bicicleta eléctrica, accesorio resistente al agua, KT LED-900S,» 2021. [En línea]. Available: [https://es.aliexpress.com/item/1005004159966943.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7846b31848aqu4&algo\\_pvid=99e2f113-9358-4cfd-ab5b-cc3190ff876d&algo\\_exp\\_id=99e2f113-9358-4cfd-ab5b-cc3190ff876d-4&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2212000028233779009%22%7D&pdp\\_npi=](https://es.aliexpress.com/item/1005004159966943.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7846b31848aqu4&algo_pvid=99e2f113-9358-4cfd-ab5b-cc3190ff876d&algo_exp_id=99e2f113-9358-4cfd-ab5b-cc3190ff876d-4&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000028233779009%22%7D&pdp_npi=). [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [50] Mercado Libre, «Caliper Mas Rotor Para Freno De Disco 160mm Look.,» 2021. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-831331793-caliper-mas-rotor-para-freno-de-disco-160mm-look-\\_JM?searchVariation=66957172114#searchVariation=66957172114&position=26&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=ccfc05b4-879e-4643-af07-6c7d01c8e58a](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-831331793-caliper-mas-rotor-para-freno-de-disco-160mm-look-_JM?searchVariation=66957172114#searchVariation=66957172114&position=26&search_layout=stack&type=item&tracking_id=ccfc05b4-879e-4643-af07-6c7d01c8e58a). [Último acceso: 16 Mayo 2022].
- [51] IMCO, «¿CÓMO ES EL MEXICANO PROMEDIO?,» 5 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://imco.org.mx/como-es-el-mexicano-promedio-via-el>

