



**Universidad Autónoma de
Querétaro**

Campus San Juan del Río

Facultad de Ingeniería

Área Electromecánica



Tesis

Prototipo de un stand up trike eléctrico para movilidad urbana

Que como parte de los requisitos para obtener el título de

Ingeniero Electromecánico

Línea Terminal en Eléctrica

Presenta:

Daniel Pérez García

Exp.: 242630

Dirigido por:

Dr. Miguel Trejo Hernández

San Juan del Río, Querétaro. Mayo 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Prototipo de un stand up trike eléctrico para
movilidad urbana

por

Daniel Pérez García

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGLIN-242630



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO



Prototipo de un stand up trike eléctrico para movilidad urbana

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el título de

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

Línea Terminal

ELÉCTRICA

Presenta

Daniel Pérez García

Dirigido por:

DR. MIGUEL TREJO HERNÁNDEZ

SINODALES:

DR. MIGUEL TREJO HERNÁNDEZ (6443)
Presidente

M. en C. MANUEL GARCÍA QUIJADA (6279)
Secretario

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES (15647)
Vocal

DR. JUAN PRIMO BENITEZ RANGEL (2088)
Suplente

San Juan del Río, Qro., Mayo 2023

Índice

Índice de figuras	5	
Índice de tablas	7	
1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
1.1	Introducción	8
1.2	Antecedentes	9
1.2.1	El Scooter, su historia y evolución	10
1.3	Objetivos	13
1.3.1	Objetivo general	13
1.3.2	Objetivos particulares	13
1.4	Descripción del problema	14
1.5	Justificación	14
1.6	Planteamiento general	15
2	CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	16
2.1	StandUp Trike	16
2.2	Halfbike	16
2.3	Elementos de los vehículos eléctricos	17
2.3.1	Baterías	17
2.3.2	Motores	22
2.3.3	Controladores	24
2.3.4	Cargador	26
2.3.5	Transmisión	27
2.3.6	Frenos	29
2.3.7	Neumáticos del vehículo y factores a considerar	31
2.3.8	Peso promedio en México	32
2.3.9	Autonomía	34
2.3.10	Análisis de elemento finito en SolidWorks	38
3	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	41
3.1	Criterios y restricciones del diseño	42
3.2	Selección de componentes del vehículo	44
3.3	Modelado de las piezas que conforman el vehículo	48

4	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	56
4.1	Valor de autonomía (kit 1)	57
4.2	Valor de autonomía (kit 2)	59
4.3	Efecto del peso del usuario (análisis de elemento finito)	61
4.4	Generación de planos	63
4.5	Impresión del prototipo	64
5	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS	66
5.1	Conclusiones	66
5.2	Prospectivas	67
6	REFERENCIAS	68
7	ANEXOS	71

Índice de figuras

Figura 1.1 Primer scooter modelo Autoped (1915).	10
Figura 1.2 Las primeras tablas de skate, tablas de madera con ejes y ruedas de patines.	11
Figura 2.1 Halfbike y su evolución.	17
Figura 2.2. Proceso de carga y descarga de una batería.	17
Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de un motor brushed.	22
Figura 2.4. Composición y funcionamiento del motor brushless.	23
Figura 2.5 Ejemplo de controlador y sus conexiones.	25
Figura 2.6 Cargador interno y externo	27
Figura 2.7 Tipos de transmisiones.	29
Figura 2.8 Freno de tambor.	30
Figura 2.9 Freno de disco.	31
Figura 2.10 Neumáticos con distintas características.	32
Figura 2.11 Índice de Masa Corporal (kg/m^2).	33
Figura 2.12 Altura promedio en México (cm).	33
Figura 2.13 Pendiente de la carretera y el ángulo que forma.	36
Figura 2.14 Modelo subdividido en elementos.	38
Figura 2.15 Representación de un elemento con sus nodos y aristas.	39
Figura 2.16 Tipos de estudios de elemento finito disponibles en SolidWorks.	40
Figura 3.1 Esquema de la metodología del proyecto.	41
Figura 3.2 Proceso creativo del diseño.	42
Figura 3.3 Ideas principales para el diseño del vehículo a) configuración 2 ruedas enfrente y b) configuración 1 rueda enfrente.	43
Figura 3.4 Elementos del kit 1.	45
Figura 3.5 Elementos del kit 2.	47

Figura 3.6 Conexión entre los componentes por medio del controlador.	47
Figura 3.7 Prototipo final diseñado en software.	48
Figura 3.8 Modelado de la llanta delantera.	49
Figura 3.9 Modelado de la llanta trasera.	49
Figura 3.10 Modelado del cuerpo del vehículo.	50
Figura 3.11 Modelado del chasis del vehículo.	51
Figura 3.12 Modelado de la base.	52
Figura 3.13 Modelado de la pieza para la unión entre el cuerpo y la estructura metálica.	53
Figura 3.14 Modelado de la tapa para las cajas de las baterías.	53
Figura 3.15 Modelado de las distintas piezas para el manubrio del vehículo.	54
Figura 3.16 Modelado de las piezas de los descansabrazos.	55
Figura 4.1 Prototipo completo del vehículo.	56
Figura 4.2 Resultados prueba 1 (85 kg).	62
Figura 4.3 Resultados prueba 2 (120 kg).	63
Figura 4.4 Ejemplo de los planos de algunas piezas modeladas.	64
Figura 4.5 Impresión del prototipo a escala (E 1:7) a) despiece del prototipo b) prototipo armado.	65

Índice de tablas

Tabla 1. Baterías Pb-Ácido, ventajas y desventajas.	19
Tabla 2. Baterías Ni-Cd, ventajas y desventajas.	19
Tabla 3. Baterías Ni-MH, ventajas y desventajas.	20
Tabla 4. Baterías Ni-Fe, ventajas y desventajas.	20
Tabla 5. Baterías Ni-Zn, ventajas y desventajas.	20
Tabla 6. Baterías Li-Ion, ventajas y desventajas.	21
Tabla 7. Tipos de baterías y sus características.	21
Tabla 8. Comparación de motores brushless y brushed.	24
Tabla 9. Características del cargador externo e interno.	27
Tabla 10. Valores de Cr.	35

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Hoy en día el transportarse de un lugar a otro resulta a veces un tanto complicado ya que puede haber situaciones tales como quedar atrapado en el tráfico o que el transporte sea insuficiente para todas las personas, estas y otras situaciones hacen que el moverse de un lugar a otro resulte en un desafío cada día, es por eso que se han tenido que crear soluciones innovadoras para que la población tenga una alternativa para evitar este tipo de situaciones.

Algunas de estas alternativas son el uso de la bicicleta y, bicicleta eléctrica; otros dispositivos de movilidad que pueden usarse para transportarse son los Scooter y los Segway Human Transporter (HT).

El Segway HT, creación de Dean Kamen, fue presentado en 2001, es un dispositivo de movilidad eléctrico de dos ruedas y auto-equilibrado en el que el usuario se coloca en posición vertical y conduce el vehículo mediante la distribución del peso y un control manual, aunque estos dispositivos tienen sus desventajas, por ejemplo pueden resultar difíciles de maniobrar para algunas personas, lo cual hace que no todas las personas se sientan seguras de querer utilizarlo como podría ser el caso de las personas de mayor edad.

De este tipo de dispositivos también ya se pueden encontrar modelos de tres ruedas los cuales parecen ser una buena forma de desplazarse, siendo este un punto importante ya que el propósito de este proyecto es diseñar un vehículo eléctrico bastante parecido a un Scooter debido a que se va seguir el mismo principio o modo de uso, es decir, se va tratar de un vehículo con una plataforma plana sobre la cual va parado el usuario, solo que el Scooter utiliza dos ruedas, pero para este caso el vehículo que se va diseñar será de tres ruedas, con el fin de dar mayor estabilidad al vehículo y que la mayoría de las personas, niños, jóvenes, adultos, incluso personas de edad avanzada se sientan seguros de querer utilizarlo como vehículo de transporte debido a su estabilidad, su fácil maniobrabilidad, entre otros factores que harán que el usuario sienta esa seguridad y confianza de que al

utilizarlo y maniobrarlo no correrá ningún riesgo, llegando así a considerarlo como una buena alternativa de transporte segura y confiable.

En el presente trabajo, además de la estabilidad y la maniobrabilidad, al área eléctrica también se le dio gran importancia debido al proceso de selección de los equipos, a implementarse en un futuro en el vehículo, tales como las baterías y el motor. Estos equipos son muy importantes, ya que su interacción en conjunto determinan la potencia, la autonomía energética y alcance, por lo que, para su correcta selección, se realizaron diversos cálculos, apegándose a las restricciones definidas, con la finalidad de que éstos proporcionen un buen desempeño del stand up trike eléctrico.

1.2 Antecedentes

El deseo de nuevas formas de transporte es una búsqueda constante del hombre en la actualidad. Algunos de los desafíos al momento de diseñar vehículos nuevos son proporcionar una alta eficiencia energética y reducir el peso, haciendo más simple la estructura (Hoffmann y Ozrelic, 2017).

Se han desarrollado varios vehículos de transporte urbano para una o varias personas, , mismos que pueden ser a gasolina o eléctricos. De estos vehículos, se pueden mencionar algunos de ellos como el desarrollado por Toanchina en 2019, quien propone una nueva estructura para modificar el tamaño e incrementar la capacidad, la funcionalidad y el confort; El tamaño del vehículo es poco más del de una motocicleta donde se pueden transportar desde 3 hasta 7 pasajeros si se desea. Por su parte, Hsiao y Hsu en 2018, presentan una estrategia de diseño de un scooter como medio de transporte para personas jóvenes con alguna discapacidad, se analiza la configuración del producto y se presenta el resultado de éste en cuanto a apariencia y funcionalidad, cabe señalar que cada uno de los scooters presentados en el análisis de aquel trabajo tienen un asiento en su configuración. A su vez, Sonawane, et. al, 2021, diseñaron un vehículo de propulsión eléctrica y humana de tres ruedas a partir de la estructura de una bicicleta, con ayuda, también, de un sistema de engranes planetarios. El diseño es presentado en el software de diseño paramétrico Solid Works.

Aryadi et. al, (2022) trabajaron en el diseño y prueba estática del chasis de un scooter eléctrico de tres ruedas, tomando en cuenta la variación del espesor del material y considerando 2 pasajeros, batería, carga extra, accesorios, entre otros.

En otros trabajos se ha planteado la elaboración de triciclos eléctricos para personas con alguna discapacidad, que puedan funcionar incluso con energía solar como una alternativa sustentable (Hampali y Bendigeri, 2021).

Se puede observar que el desarrollo de vehículos con impulsión eléctrica, ha tenido bastante auge y el scooter es un factor influyente en este proyecto por su tamaño pequeño, pues se tomará como base para la elaboración de un prototipo que pueda transportar a personas en posición de pie, además de que brinde estabilidad para proporcionar seguridad en su uso. Es en este sentido que la información de las secciones siguientes, estará relacionada con este dispositivo de movilidad.

1.2.1 El Scooter, su historia y evolución

Hablando de los inicios del scooter, hay varias fechas acerca de su primer fabricación, algunas de estas fechas indican que al final del siglo XIX y principios del siglo XX se dieron sus inicios. Un modelo de la marca Krupp, llamado Autoped, en 1915 fue de los más conocidos ya que este modelo tenía ruedas de 10" y un motor a gasolina con capacidad de 155 cm³, fue fabricado en Long Island Nueva York y podía alcanzar una velocidad de 25 km/h, en la Figura 1.1 se puede apreciar este primer modelo.

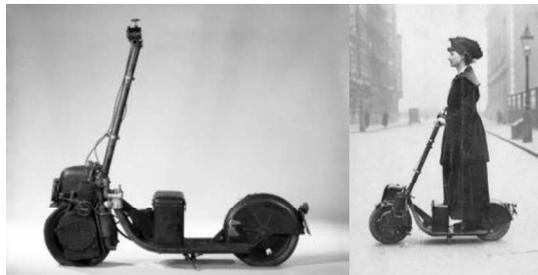


Figura 1.1 Primer scooter modelo Autoped (1915).

Después, Eveready Battery Co. en 1918 compró la compañía, le agregó una bobina de encendido y una batería. Además, para que el modelo fuera más

compacto y que se pueda guardar en espacios pequeños, diseñó un sistema plegado para este modelo. Con las modificaciones anteriores el scooter llegó a tener un peso de 43.5 kg, la mayor parte del peso se concentraba en la parte delantera, que era en donde estaba ubicado el motor. Debido a estas modificaciones se pensaría que el scooter eléctrico conquistaría el mercado, pero su uso dejó de ser común ya que fueron desplazados por las motocicletas.

En los años 50 surge la patineta o skate, entre las historias que existen acerca de su origen, la más popular es que un grupo de surfistas se les ocurrió la idea de a una tabla de surf colocarle ruedas y con ella poder rodar sobre la carretera, en la Figura 1.2 se puede observar cómo lucían estos primeros modelos. Con el paso de los años fue mejorando la idea inicial haciendo que el skate se volviera popular en los jóvenes de la época.



Figura 1.2 Las primeras tablas de skate, tablas de madera con ejes y ruedas de patines.

Más tarde en los 60s se le realizó una modificación añadiendo una barra vertical, la cual le daba al usuario una mayor seguridad y estabilidad, con esto es como surgen los primeros scooters de madera. Estos primeros modelos no eran capaces de girar, por lo que el usuario tenía que inclinarse hacia los lados para poder realizar un giro.

En las últimas décadas del siglo XX aparecen en el mercado de nuevo los scooters, pero únicamente como un juguete para niños.

En los años 80 se utilizaron materiales como el aluminio por ser materiales más resistentes y menos pesados, para su fabricación, se agregaron otras mejoras

como el freno trasero, un mecanismo de giro, y para lograr alcanzar mayores velocidades y mejor agarre se implementaron ruedas de polímeros resistentes.

A principios de los 90 un empresario, ex banquero suizo llamado Wim Ouboter fundador de Micro Mobility Systems, diseñó un modelo plegable con dos ruedas alineadas, manubrio, tenía un peso entre los 2 y 5 kg, pero lo dejaron a un lado debido a que no le dieron mucha importancia. Unos años después, en 1997 se asocia con su suegro y crea Micro Mobility Systems, hizo negocios con una empresa que estaba dispuesta a comercializar su modelo llamada J.D Components Co. En el año 1999 lo comercializan en Japón, pero solo como un scooter para niños, que debido a su gran éxito se llegaron a producir 80,000 unidades diarias.

Por último en los años 90 se les añaden a los scooters otros componentes como una batería y un motor eléctrico, entre otros componentes para mejorar su potencia y rendimiento.

Actualmente, existen numerosos fabricantes de patinetes, que se encuentran constantemente innovando e introduciendo nuevas mejoras y características útiles, con el objetivo de satisfacer la gran demanda que hay de patinetes eléctricos, e intentar cubrir las necesidades del cliente y del mercado global. A diferencia de los primeros modelos, los actuales patinetes eléctricos son mucho más económicos y ligeros, lo cual ha ayudado a convertirlos en una alternativa más a los medios de transporte (Muvter, s.f.).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar, en software CAD, un vehículo eléctrico de tres ruedas de fácil maniobrabilidad y con buena estabilidad basándose en los criterios de diseño, diseño mecánico, con las herramientas necesarias de software para que el uso de estos vehículos vaya dirigido a un mayor rango de personas.

1.3.2 Objetivos particulares

1. Realizar un estudio en la literatura acerca de estos vehículos a través de diversos textos, artículos relacionados con el tema para ampliar el conocimiento acerca de ellos con el fin de tener referencias y un mayor panorama para la realización del proyecto.
2. Modelar los diversos elementos del vehículo, una vez definido a través del proceso creativo, por medio de las herramientas necesarias de software CAD para definir un prototipo general del vehículo.
3. Seleccionar los elementos eléctricos requeridos de acuerdo a los criterios o características establecidos para el vehículo y de acuerdo a sus especificaciones determinar su ubicación dentro del diseño.
4. Simular el efecto que tiene el peso del usuario sobre el vehículo, implementando las herramientas de Elemento Finito adecuadas con la finalidad de evaluar y analizar los esfuerzos a los que se somete la zona en la cual va montado el usuario.
5. Definir el valor de autonomía considerando los factores que influyen, como velocidad, peso, tipo de terreno, capacidad de la batería, etc., para conocer la distancia que podría recorrer el vehículo con una sola carga de batería.
6. Imprimir un prototipo a escala del diseño por medio de impresión 3D para mostrar y dar una idea del prototipo final.
7. Obtener los planos del vehículo por medio de software CAD para una posible futura fabricación.

1.4 Descripción del problema

En la actualidad se pueden identificar algunos puntos negativos respecto a la movilidad de las personas en la ciudad con los medios de transporte comunes, algunos problemas que se identifican son que el exceso de autos que transitan a diario hace que se genera una acumulación de tráfico, para el caso de las personas que utilizan el transporte público, este llega a ser insuficiente para la gran cantidad de personas que lo usan a diario y además de que ya existe un valor de contaminación elevado debido al número de autos que circulan.

Por parte de algunos modelos de vehículos eléctricos que existen actualmente, tenemos que la mayoría son algo complicados de manipular y controlar, son poco estables lo que hace que no todas las personas puedan usarlos.

1.5 Justificación

Como se mencionó antes, los problemas de la movilidad como lo son la congestión y la falta de transporte público para las personas, son situaciones que se producen diariamente en las ciudades y estas conllevan a una serie de problemas como la pérdida de tiempo, sobreconsumo de combustible, contaminación, reducción del tiempo para actividades recreativas y para el descanso, generación de estrés, etc. Debido a todo esto es que se debe generar una solución para brindar a la población, con el propósito de que este tipo de situaciones se eviten o se minimicen.

Es por eso que este proyecto tiene la intención de crear una alternativa que las personas pueden tomar al momento de transportarse, el cual es diseñar un vehículo eléctrico de tres ruedas que la mayoría de las personas puedan usar, haciendo que se sientan seguros de querer utilizarlo como vehículo de transporte, debido a su estabilidad, su fácil maniobrabilidad, entre otros factores que harán que el usuario sienta esa seguridad y confianza de querer utilizarlo, llegando así a considerarlo como una buena alternativa de transporte.

1.6 Planteamiento general

El planteamiento general del problema se resume en los puntos que se enumeran a continuación, esto con el fin de tener claro el procedimiento a llevar a cabo dentro del trabajo.

1. Definir los criterios de diseño.
2. Proponer un diseño base.
3. Seleccionar componentes.
4. Realizar diseño en software (SolidWorks).
5. Simular el efecto del peso (elemento finito).
6. Modificación de diseño (en caso de ser necesario).
7. Diseño final.

2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 StandUp Trike

Como causa de la falta de ejercicio y otras malas prácticas de salud, los sistemas músculo-esqueléticos de las personas se están degenerando de manera prematura, esta degeneración prematura incluye pérdida de estabilidad y equilibrio. Gran parte de esto se debe a la comprensión causada por sentarse en exceso y la movilidad articular reducida.

Es por eso que se busca, a la hora de diseñar un vehículo para transporte de personas, que no tenga asiento y que, por diseño, fuerce al usuario a colocarse en una posición sustancialmente erguida y de pie cuando dicho aparato está en reposo y en movimiento. Esta postura erguida es muy beneficiosa, tanto quiropráctica como ergonómicamente (Yerdon, 2013).

2.2 Halfbike

Una empresa denominada, Design Lab Kolelinia, misma que se dedica a sistemas de transportes alternativos ha presentado una bicicleta de nombre Halfbike, misma que es un vehículo que se pliega, siendo de tres ruedas, tomando además elementos de un monopatín, el mountainboarding y el jogging. Este ha sido diseñado para trayectos cortos en grandes ciudades.

El arquitecto búlgaro Martin Angelov junto con su colaborador Mihail Klenov son los creadores de Halfbike, que desde su creación original en 2010 ha ido evolucionando gradualmente hasta conseguir el modelo actual, en la Figura 2.1, se muestran los distintos diseños y cómo han cambiado a lo largo del tiempo (Urbina, 2014).



Figura 2.1 Halfbike y su evolución.

2.3 Elementos de los vehículos eléctricos

2.3.1 Baterías

Las baterías son de los componentes más importantes en los vehículos eléctricos ya que son las que alimentan al motor, además de que algunos parámetros como la eficiencia energética y la autonomía, dependen de ellas.

Por medio del proceso de reducción-oxidación (redox), las baterías convierten la energía química que tienen almacenada en corriente eléctrica. En el proceso de descarga, uno de los electrodos que está sumergido en el electrolito, pierde electrones (cátodo) y el otro electrolito los gana (ánodo). Durante la carga, se produce el proceso inverso dónde el electrodo negativo pasa a ser el cátodo y el positivo el ánodo, en la Figura 2.2 se muestra el proceso anterior (Cárdenas y Sánchez, 2020).

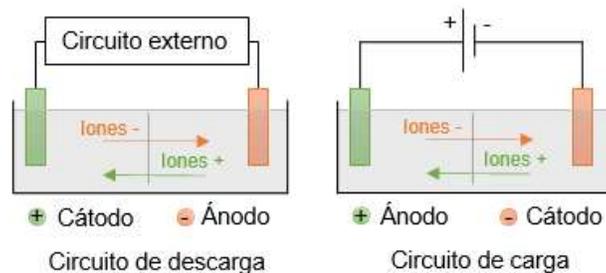


Figura 2.2. Proceso de carga y descarga de una batería.

Las especificaciones más destacadas de las baterías son:

- Tensión por celda: las baterías están conformadas por varias celdas. Cada celda tiene un valor de tensión nominal, es por eso que con celdas con un valor de tensión nominal alto, se pueden conseguir baterías de mayor tensión utilizando pocas celdas. Esto también beneficia en otros aspectos de la batería, como reducir su volumen y peso. La tensión por celda se mide en $[V/celda]$.
- Capacidad: es la máxima cantidad de energía que la batería puede suministrar y almacenar. Su unidad de medida son los amperios-hora $[Ah]$.
- Autodescarga: es el proceso en el cual la batería se descarga a pesar de no estar en uso. Se mide en porcentaje de la energía perdida respecto a la energía nominal en un periodo de tiempo establecido (regularmente un mes) $[\%]$.
- Energía específica: representa la cantidad de energía que la batería puede almacenar por unidad de masa. Sus unidades de medida son watts-hora por kilogramo $[Wh/kg]$.
- Eficiencia: representa la relación entre la energía que fue utilizada para la carga de la batería y la que realmente se almacenó en ella $[\%]$.
- Longevidad: es el número de ciclos completos (carga y descarga) que puede llegar a realizar la batería durante su vida útil $[Ciclos]$.
- Costo: precio o valor de la batería en el mercado.

Se pueden hallar distintos tipos de baterías según la naturaleza y el tipo de electrodos y del electrolito. Los tipos más comunes se presentan a continuación:

2.3.1.1 *Plomo-Ácido (Pb-Ácido)*

Este tipo de baterías contienen dos electrodos de plomo, los cuales están sumergidos en una disolución de agua y ácido sulfúrico. Se utilizan principalmente para arrancar motores de combustión, esto debido a que durante la descarga este

tipo de baterías pueden suministrar altos picos de corriente. Algunas de sus ventajas y desventajas son:

Ventajas	Desventajas
Eficiencia superior al 80 %.	Muy pesadas.
Tensión por celda alta (2 V/celda).	Mayor tiempo de recarga.
Bajo porcentaje de autodescarga.	Altamente contaminante.
Bajo costo.	

Tabla 1. Baterías Pb-Ácido, ventajas y desventajas.

2.3.1.2 Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Sus electrodos son de oxihidróxido de níquel (positivo) y cadmio (negativo), el electrolito es de hidróxido de potasio. Solo son utilizadas en controles a distancia, luces de emergencia, etc., esto debido a las mejores prestaciones que ofrecen las nuevas tecnologías. Las principales ventajas y desventajas de este tipo de baterías son:

Ventajas	Desventajas
Buen funcionamiento en un gran margen de temperaturas (-40°C - 60°C).	Altamente contaminantes debido al Cadmio.
Largo ciclo de vida (más de 1500 ciclos).	Presenta un efecto memoria que por cada ciclo incompleto reduce su capacidad.

Tabla 2. Baterías Ni-Cd, ventajas y desventajas.

2.3.1.3 Níquel-Metal hidruro (Ni-MH)

Lo que diferencia a este tipo de baterías es que utilizan una aleación de hidruro metálico en el electrodo negativo. Son implementadas en todo tipo de vehículos de propulsión eléctrica, tanto total como híbrida, en varios robots y en la electrónica de consumo como ordenadores, televisores, teléfonos, cámaras digitales, etc. A continuación se mencionan algunos puntos a favor y en contra:

Ventajas	Desventajas
Energía específica superior a las de Ni-Cd.	Son más costosas que las de Ni-Cd.
Presentan de 2-3 veces más capacidad de carga que las de ni-Cd.	Mayor porcentaje de autodescarga.
Más seguras y menos contaminantes.	A causa de descargas completas y sobrecargas su vida útil disminuye.

Tabla 3. Baterías Ni-MH, ventajas y desventajas.

2.3.1.4 Níquel-Hierro (Ni-Fe)

Este tipo de baterías fueron inventadas por el estadounidense Thomas Alva Edison a principios del siglo XX. Su electrodo negativo es de hierro y es lo que las hace diferir de las baterías de Ni-Cd y Ni- MH. Su aplicación más frecuente es en los vehículos ferroviarios y también son utilizadas en aplicaciones de energía renovable, como respaldo cuando no están conectadas a la red eléctrica. Seguidamente se detallan algunas de sus características:

Ventajas	Desventajas
Muy robusta (tolera sobrecargas, sobre descargas y cortocircuitos.	Costo elevado.
Gran longevidad (pueden durar más de 20 años.)	Requiere de una buena ventilación.
Menor peso que otras baterías.	Eficiencia energética baja.

Tabla 4. Baterías Ni-Fe, ventajas y desventajas.

2.3.1.5 Níquel-Zinc (Ni-Zn)

Respecto a este tipo de baterías, lo único que las diferencia de las de Ni-Cd, Ni-MH y Ni-Fe es el material del electrodo negativo, que en este caso es de zinc. Se implementan en herramientas inalámbricas, linternas, cámaras digitales, bicicletas eléctricas, etc. A continuación se exponen algunas de sus particularidades:

Ventajas	Desventajas
Tienen un precio bajo.	Número de ciclos bajo.
Se recicla fácil.	Tasa de fallos y autodescargas elevadas.

Tabla 5. Baterías Ni-Zn, ventajas y desventajas.

2.3.1.6 Iones de litio (Li-Ion)

Las baterías de iones de litio están formadas en el electrodo positivo por un compuesto de litio, grafito en el electrodo negativo y electrolitos de diferentes tipos (sales de litio en un disolvente orgánico, materiales cerámicos y materiales poliméricos). Los vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos portátiles, y aplicaciones aeroespaciales y militares son sus principales aplicaciones. En la siguiente tabla se muestra lo más relevante acerca de estas baterías:

Ventajas	Desventajas
No tienen efecto memoria.	Pueden provocar explosiones e incendios.
Menor peso y volumen.	Menor longevidad que otras baterías.
Alta energía específica y bajo porcentaje de autodescarga.	Requieren un sistema de seguridad contra sobrecargas y sobre descargas.
Permite cargas y descargas profundas.	A bajas temperaturas reducen su rendimiento.

Tabla 6. Baterías Li-Ion, ventajas y desventajas.

Una vez analizado lo anterior, en la siguiente tabla se resumen las propiedades de cada una de las baterías:

	Pb-Ácido	Ni-Cd	Ni-MH	Ni-Fe	Ni-Zn	Li-Ion
Tensión por celda (V/celda)	2	1.2	1.2	1.2	1.65	3.2 - 3.7
Autodescarga (%)	4 - 20	10 - 20	30	20 - 30	20 - 30	2 - 3
Energía específica (Wh/kg)	35 - 40	40 - 70	60 - 120	30 - 50	100	100 - 265
Potencia específica (W/kg)	180	80 - 150	250 - 1000	100	900	250 - 340
Eficiencia (%)	50 - 95	70 - 90	66 - 92	65 - 80	70 - 80	80 - 90
Longevidad (Ciclos)	300 - 500	1000	500 - 2000	>2000	500	400 - 1200
Costo (Dólar/kWh)	100	250 - 400	260 - 430	550	-	176

Tabla 7. Tipos de baterías y sus características.

En base a lo anterior, las baterías que más se pueden adecuar son las baterías de Plomo Ácido e Iones de litio.

2.3.2 Motores

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotatoria, su función consiste en transformar la energía eléctrica en energía mecánica. A grandes rasgos están compuestos por una parte fija llamada estator y una parte móvil conocida como rotor.

Los motores eléctricos que se alimentan con corriente continua (CC) se clasifican en dos tipos o variantes: *motor brushed* (motor con escobillas) y *motor brushless* (motor sin escobillas).

2.3.2.1 Motor brushed

El motor brushed o con escobillas presenta un conjunto de bobinas, las cuales conforman el estator y son estas las que suministran un campo magnético constante, simulando el comportamiento de un imán. Al igual que el estator, el rotor también está constituido por un conjunto de bobinas, estas bobinas son conectadas a una fuente alimentación, la cual proporciona energía continua, la transferencia de energía se da por medio del contacto del colector con las escobillas. Según la Ley Lorentz, se induce una fuerza electromagnética en la bobina del rotor cuando una corriente circula por ella, y esto es lo que genera el movimiento rotatorio de la bobina, hay que considerar que a mayor número de espiras mayor será la fluidez de giro.

En la Figura 2.3 se observa el funcionamiento del motor brushed, con lo cual se puede tener un mejor entendimiento de lo descrito anteriormente.

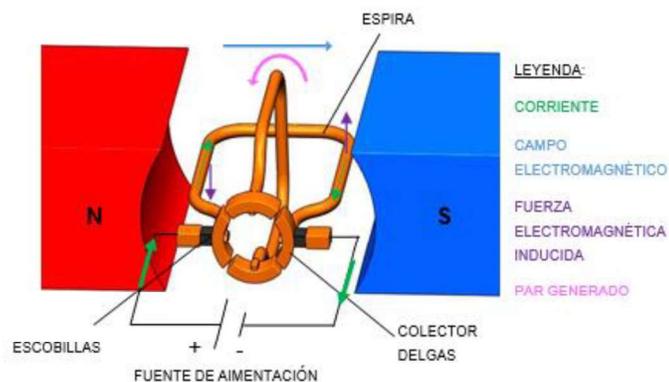


Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de un motor brushed.

2.3.2.2 *Motor brushless*

En el caso de los motores brushless o motores sin escobillas, estos resultan ser un poco más complejos, ya que este tipo de motores no poseen colector ni escobillas, que como se mencionó anteriormente, estos elementos son la parte mecánica que asegura la conmutación de las bobinas del rotor.

En este tipo de motores el rotor no está conformado por bobinas, como en el motor brushed, sino que es un imán permanente. Su principio de funcionamiento está basado en la ley de atracción y repulsión de los polos, es por eso que el devanado del estator debe ser alimentado de forma adecuada, esto se realiza de manera electrónica por medio de un controlador mediante pulsos eléctricos (PWM), esto con el fin de que se induzca un campo magnético provocando el movimiento del rotor. Con esto se logra que las bobinas y el campo electromagnético cumplan su función generando el desplazamiento o movimiento del motor.

En la Figura 2.4 se observa la composición de los motores brushless y la forma de la señal con la que se alimentan las distintas bobinas para su correcta activación y se genere el movimiento de rotación.



Figura 2.4. Composición y funcionamiento del motor brushless.

Es necesario conocer la posición del rotor para poder generar de forma correcta estos pulsos. Esto se puede conseguir con sensores de efecto Hall o sensores posicionales incorporados. Por medio de un controlador de motor brushless estos sensores pueden ser utilizados para monitorear la posición exacta del rotor, siendo también un método útil para mantener la velocidad del motor.

Durante la puesta en marcha del vehículo, estos sensores también son bastante útiles, ya que en función de la posición exacta del rotor permiten aplicar una secuencia optimizada.

A continuación, se realiza una comparativa entre los motores con y sin escobillas (Tabla 8).

	Brushless	Brushed
Precio	Mayor	Menor
Potencia	Mayor	Menor
Eficiencia	Mayor	Menor
Vida útil	Mayor	Menor
Mantenimiento	Menor	Mayor
Ruido	Menor	Mayor
Tamaño	Menor	Mayor
Peso	Menor	Mayor

Tabla 8. Comparación de motores brushless y brushed.

2.3.3 Controladores

El controlador es un elemento electrónico que se encarga de desarrollar diversas funciones dentro del sistema eléctrico batería-motor. Según las funciones y el tipo de motor que controla, se pueden encontrar diferentes modelos de ellos.

Algunas de estas funciones se mencionan a continuación:

- Suministra de forma regulada la cantidad de energía al motor.
- Permite la recarga dinámica de la batería.

- Se puede programar para limitar la velocidad del vehículo.
- Apaga el motor al detectar una temperatura elevada en los transistores que tiene en su interior.

Para poder recibir y ejecutar las órdenes que sean necesarias en cada momento, este dispositivo se conecta a los diferentes componentes eléctricos del vehículo. El motor, la batería, freno y acelerador electrónico son las conexiones más comunes. En la Figura 2.5 se observa un controlador con las distintas terminales para la conexión de los componentes eléctricos del vehículo.

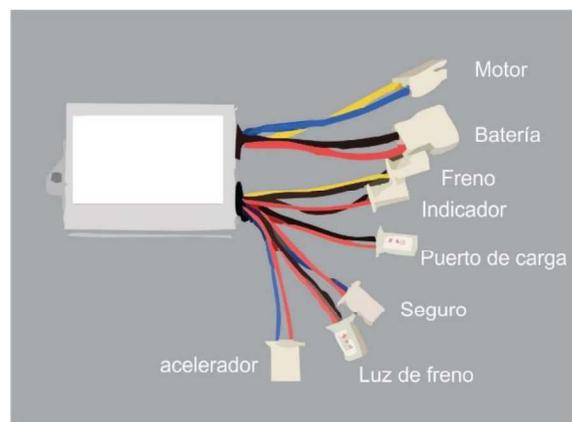


Figura 2.5 Ejemplo de controlador y sus conexiones.

2.3.3.1 BMS

Una de las funciones del controlador es la carga dinámica de la batería, es por eso que los controladores tienen un sistema electrónico de seguridad llamado BMS (*Battery Management System*), este sistema protege a las baterías de posibles daños, prolonga su vida y las mantiene en óptimas condiciones para que puedan cumplir con su función. El BMS cuenta con las siguientes funciones, entre otras más:

- Restringe el funcionamiento de la batería a su área de operación segura: se necesitan gestionar los parámetros de tensión, corriente y temperatura, ya que las baterías pueden presentar diversas situaciones, como sobrecarga,

sobredescarga y excesos o déficits de temperatura, todo esto repercute en la longevidad y la integridad física de las personas que las utilizan.

- Conocer el estado de carga: con esta función es posible saber el tiempo restante de funcionamiento de la batería.
- Conocer el estado de salud: el sistema compara las condiciones ideales de la batería con el estado actual, y de acuerdo con esta comparación da un resultado.
- Cargar de forma equilibrada las celdas: para evitar una falla en la batería el sistema distribuye uniformemente la carga en todas las celdas.
- Detección de fugas: el BMS mide el aislamiento entre la batería y la carcasa por medio de sensores. El sistema corta la alimentación en caso de detectar una fuga eléctrica.

2.3.4 Cargador

Existen dos disposiciones del cargador, puede estar localizado en el interior del vehículo o localizarse en una infraestructura externa, a continuación se describen algunas de las características para cada tipo:

- Cargador externo: la batería se recarga mediante corriente continua (CC), el convertidor de corriente alterna a continua se localiza en el mismo cargador, al igual que las protecciones de cortocircuito, sobrecarga y puesta a tierra, esto hace que proporcione mayor potencia de recarga.
- Cargador interno: en este tipo de cargador va instalado en el vehículo, esto hace que el peso del mismo aumente, el cargador debe contar con un convertidor de corriente alterna a corriente continua (CA/CC), para así poder utilizar las instalaciones estándar de corriente continua. Además, el cargador, el cable o el vehículo deben disponer de un sistema de seguridad para protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

-

En la Figura 2.6 se puede apreciar este tipo de diferencias.

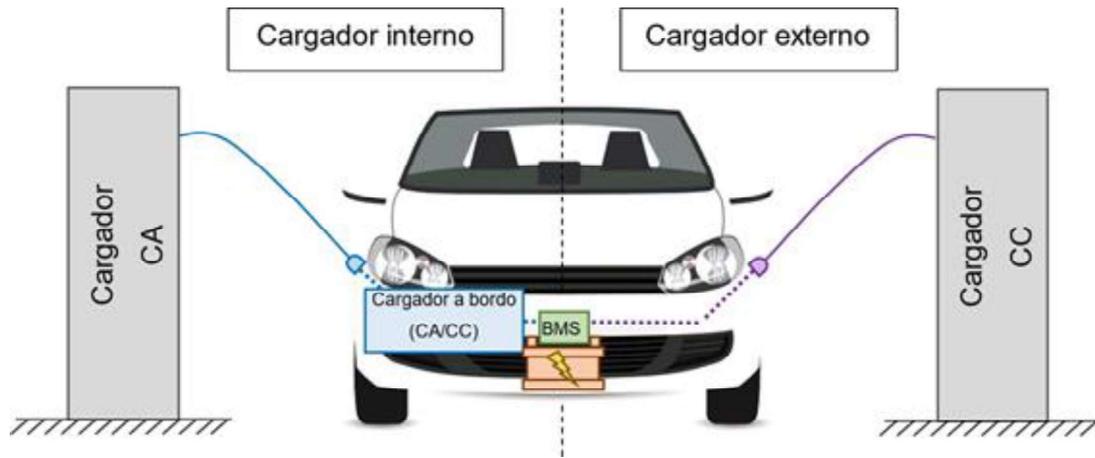


Figura 2.6 Cargador interno y externo

En la siguiente tabla se muestran algunas características de cada tipo de cargador:

Cargador externo	Cargador interno
Transferencia de energía mayor (kW).	Transferencia de energía menor (kW).
Requiere un mejor BMS.	Se puede conectar en cualquier toma de corriente.
Recarga en infraestructuras específicas.	Carga lenta
Carga rápida	Restricción de tamaño y peso debido al diseño del vehículo.
Infraestructuras más costosas.	Aumenta el peso del vehículo.

Tabla 9. Características del cargador externo e interno.

2.3.5 Transmisión

Se aplican principalmente 3 tipos de transmisión en los patinetes eléctricos, transmisión por correa o banda, transmisión por cadena y transmisión directa, en la Figura 2.7 se pueden observar algunas características y diferencias de cada tipo de transmisión.

2.3.5.1 Transmisión por correa

Este tipo de transmisión suele ser muy duradera, económica y no requiere mucho mantenimiento, además en los patinetes Scooter de media y baja potencia tiende a ser la más habitual. Es económica y de bajo mantenimiento, además de

ser muy duradera. Las correas son elementos de transmisión de potencia, de constitución flexible, que se acoplan sobre poleas que son solidarias a ejes con el objeto de transmitir pares de giro.

La correa de transmisión trabaja por rozamiento con la polea sobre la que va montada. Este hecho, junto a su naturaleza flexible, confiere a las correas una función de "fusibles" dentro de las transmisiones, dado que se comportan como amortiguadores, reduciendo el efecto de las vibraciones que puedan transmitirse entre los ejes de la transmisión.

En general, el empleo de correas en las transmisiones resulta una opción más barata, pero como contrapartida, este tipo de elementos no pueden garantizar una relación de transmisión siempre constante entre ejes, dado que pueden originarse pequeños deslizamiento de la correa sobre la canaladura de la polea, debido, por ejemplo, a que el tensado inicial no se ha hecho correctamente, o en todo caso, producido por el desgaste con las horas de funcionamiento (Ingemecánica, s.f.).

2.3.5.2 Transmisión por cadena

Debido a que su resistencia al torque es la más alta, este tipo de transmisión es la más utilizada en los patinetes eléctricos de media y alta potencia. Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas.

Las transmisiones por cadenas son transmisiones robustas, que permiten trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación. Además proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que permite su aplicación en automoción y maquinaria en general que lo requiera (Ingemecánica, s.f.).

2.3.5.3 Transmisión directa

El sistema de transmisión directa suele ser poco habitual, ya que solo en algunos modelos de patinetes eléctricos lo podemos encontrar, principalmente con diámetros de rueda grandes. Desde el punto de transmisión, este sistema se clasifica como el mejor, debido a que no requiere de mantenimiento, pero suele ser también el sistema más complicado de reparar en caso de que falle y además el más costoso.

Los motores de transmisión directa funcionan prácticamente igual que la mayoría de los motores CC sin escobillas. Los imanes están fijados al rotor del motor y los bobinados están colocados en el estátor del motor. Puesto que los bobinados reciben alimentación producen campos electromagnéticos que, o bien atraen, o repelen los imanes del rotor (Howard, s.f.).

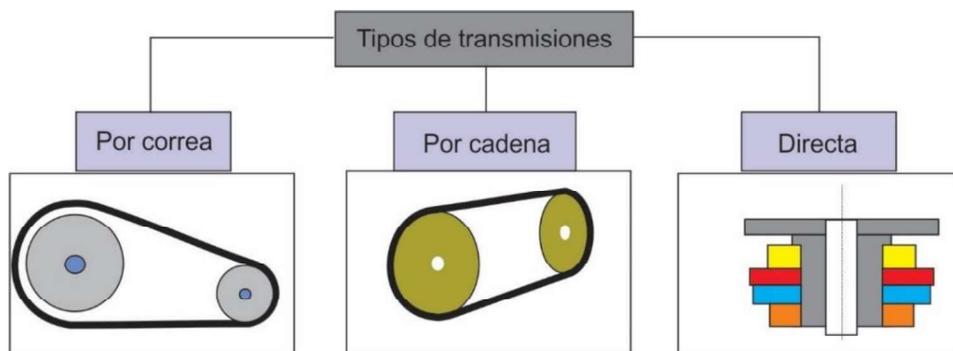


Figura 2.7 Tipos de transmisiones.

2.3.6 Frenos

La función de los frenos es desacelerar parcialmente o detener totalmente el patinete eléctrico por medio del rozamiento producido entre una superficie fija y una móvil. Se clasifican en dos tipos o sistemas de frenos, los frenos de tambor y los frenos de disco.

2.3.6.1 Frenos de tambor

La superficie fija en los frenos de tambor son las zapatas de freno y el tambor la parte móvil, este tambor es un cilindro concéntrico que gira a la vez con el eje, un par de balatas o zapatas se encuentran en el interior del tambor y cuando

se presiona el freno, estas son empujadas contra la parte interna del cilindro, lo cual hace que se produzca fricción y resistencia, frenando el avance del vehículo. En la Figura 2.8 se muestra la composición de los frenos de tambor.

Este sistema cuenta con algunas ventajas y desventajas, son de bajo costo de producción y están aislados de elementos externos al estar prácticamente cerrados, pero esto trae consigo una gran desventaja, la falta de ventilación. Esto provoca que se produzca más calor y tienden a fatigarse de manera rápida si se les exige constantemente, lo que provoca pérdida de capacidad de frenado y en los casos más extremos existe el riesgo de que se fracturen.

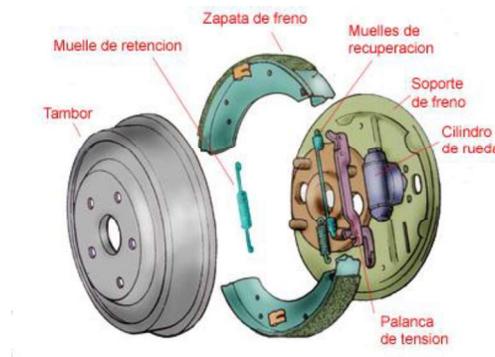


Figura 2.8 Freno de tambor.

2.3.6.2 Frenos de disco

El funcionamiento de este sistema es similar a los de tambor, en este caso el disco de frenado gira a la par del eje y es presionado por unas “pinzas de frenado” para reducir la velocidad, estas pinzas tienen unas pastillas las cuales son las que hacen el contacto con el disco. Al accionar el freno, las pastillas de las pinzas ejercen presión sobre el disco, produciendo resistencia y fricción, haciendo que la velocidad del vehículo disminuya. En la Figura 2.9 se señalan las partes de los frenos de disco mencionadas en la descripción del funcionamiento.

Este tipo de frenos, a diferencia de los de tambor, es que debido a que se encuentran completamente expuestos, el calor producido por la fricción puede ser disipado mejor y más rápido, ya que reciben aire continuamente, es por eso que

pueden ser sometidos continuamente a más cargas de trabajo y tardan en fatigarse mucho más tiempo.

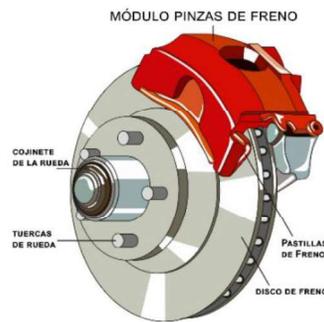


Figura 2.9 Freno de disco.

Al frenar ambos sistemas generan calor, debido a la fuerza de rozamiento que ejercen para transformar toda o parte de la energía cinética del patinete en movimiento, en calor, hasta detenerlo o reducir su velocidad, según sea el caso.

Al ventilar mejor y evacuar el calor de forma más eficiente, los frenos de disco presentan una gran ventaja sobre los frenos de tambor debido a su diseño, ya que se evita que la frenada falle por recalentamiento, es por eso que es más seguro implementar frenos de disco en vehículos potentes y en condiciones extremas (Juárez, 2020).

2.3.7 Neumáticos del vehículo y factores a considerar

El **diámetro** y el **tipo de banda de rodadura** son dos factores que se deben tomar en cuenta al momento de elegir neumáticos para el vehículo, ya que con estos dos factores se puede definir el tipo de uso que se le dará al patinete eléctrico.

Las ruedas con un diámetro grande, por ejemplo 10", ofrecen una velocidad mayor en los patinetes eléctricos, las vibraciones las reducen, permiten superar obstáculos de mayor tamaño, como desniveles, pequeñas grietas, etc., además de que la amortiguación mecánica del patinete aumenta. Algunas de sus desventajas es que nos restan aceleración y ofrecen un menor control y maniobrabilidad. Por otro lado las ruedas de diámetro pequeño (por ejemplo 4"), ofrecen una mayor aceleración, nos ofrecen un mayor control y maniobrabilidad. También ofrecen una mayor estabilidad al tener el centro de gravedad más cerca del suelo.

El otro factor a considerar es la banda de rodadura, en función del diseño de esta banda se pueden encontrar básicamente dos modelos, los diseños de ciudad y los diseños todo terreno, en la Figura 2.10 se puede notar la diferencia entre ambos modelos. Los diseños de ciudad suelen ser más lisos ofreciendo una mayor superficie en contacto con el suelo, lo que proporciona un mejor agarre, mientras que los diseños todoterreno suelen estar compuestos por “tacos” que ofrecen una menor superficie en contacto, pero un mayor relieve que ofrece un mayor agarre en terrenos como tierra, arena, etc. (Indoostrial, 2016).

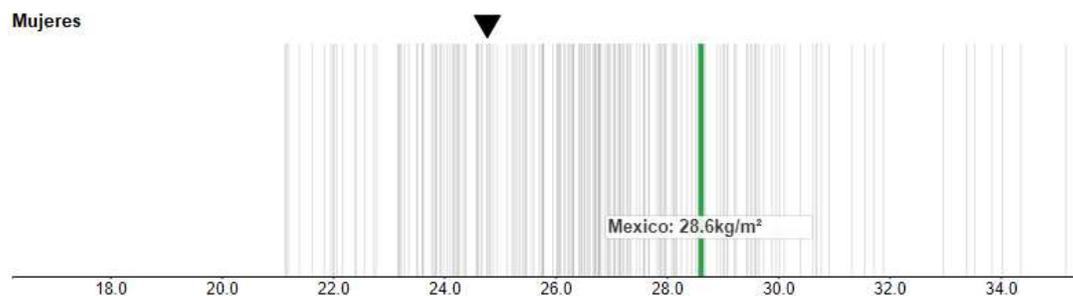


Figura 2.10 Neumáticos con distintas características.

2.3.8 Peso promedio en México

Todos los datos de estatura e índice de masa corporal que se presentan a continuación se basan en un resumen de estudios científicos que fueron evaluados por la **NCD Risk Factor Collaboration** (NCDRisC, 2017).

En el gráfico de la Figura 2.11, se muestra el **Índice de Masa Corporal (IMC)** promedio de mujeres y hombres en México, considerando solo a la población con edad de 20 años o mayores (NCDRisC, 2017).



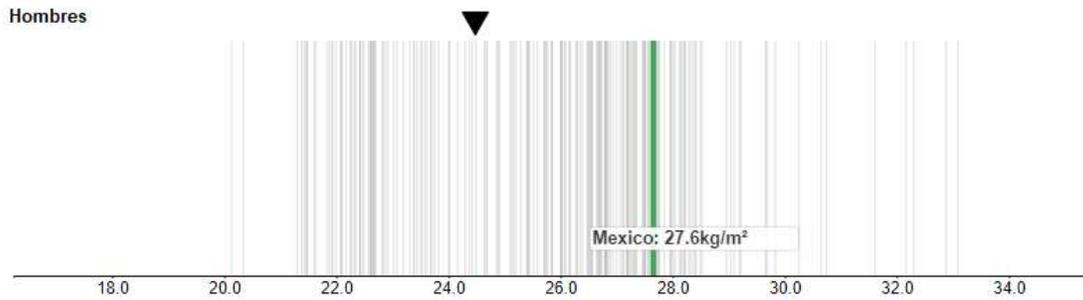


Figura 2.11 Índice de Masa Corporal (kg/m²).

El gráfico muestra que para las mujeres el IMC promedio en México es de **28.6 kg/m²** y para los hombres es de **27.6 kg/m²**.

Ahora, en la Figura 2.12, se muestra la **estatura promedio** de mujeres y hombres en México (NCDRisC, 2017).

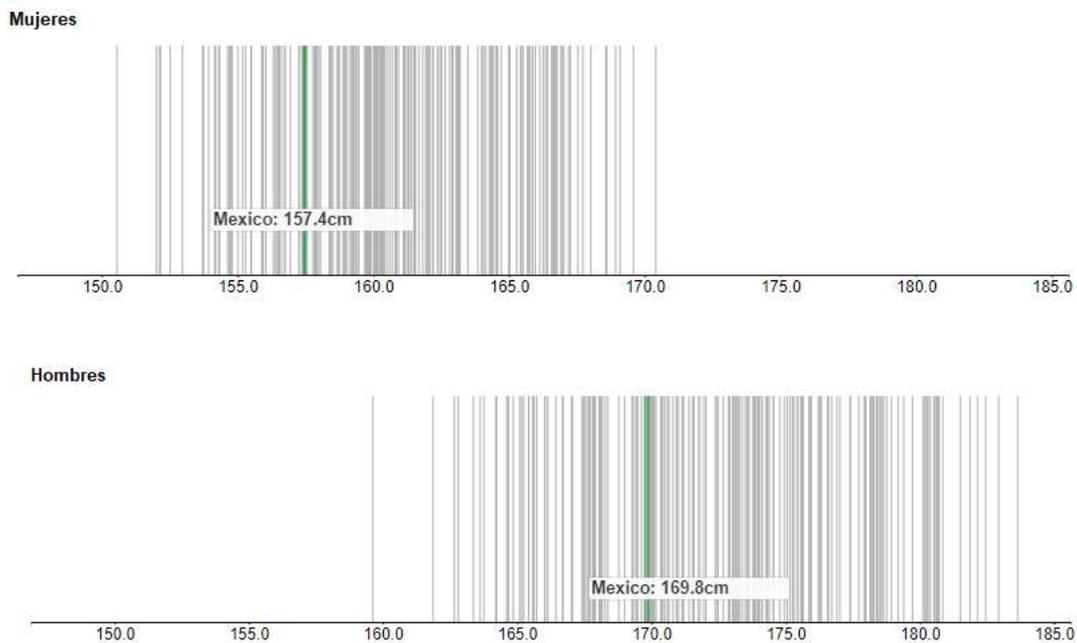


Figura 2.12 Altura promedio en México (cm).

Con base a la información que se puede observar en los gráficos, la estatura promedio en mujeres es de **1.57 m** y en hombres es de **1.69 m**.

Teniendo estos valores se puede obtener el peso promedio de los mexicanos tanto para hombres como para mujeres utilizando la Ecuación (1).

$$\text{Peso (kg)} = \text{IMC} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \cdot \text{Estatura}^2 (\text{m}) \quad (2.1)$$

- *Mujeres*

$$\text{Peso}_M = 28.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot (1.57\text{m})^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Peso}_M = 70.5 \text{ kg} \quad (2.3)$$

- *Hombres*

$$\text{Peso}_H = 27.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot (1.69\text{m})^2 \quad (2.4)$$

$$\text{Peso}_M = 79 \text{ kg} \quad (2.4)$$

Estos resultados son importantes ya que con ellos se define uno de los criterios de diseño, el cual es el peso ideal para el usuario del vehículo, con esto se determinó un rango de valores, dicho rango consideró valores de peso iguales y/o mayores a los pesos promedio en México, la estructura del vehículo debe soportar de manera eficiente estos pesos e incluso mayores.

2.3.9 Autonomía

La autonomía de un vehículo eléctrico se entiende como la distancia que puede recorrer dicho vehículo con una sola carga de batería.

La autonomía de los vehículos eléctricos se ve afectada por otros factores que influyen en la velocidad a la que se consume la energía. Algunos, como la capacidad de carga, la potencia del motor. La potencia del motor (W) es un factor influyente, debido a que un motor de mayor potencia consume más energía. Por una parte, al tener un motor con más potencia conseguirás más velocidad y rapidez, pero también provoca un consumo mayor de las baterías.

Otros factores están relacionados con la forma en que se conduce el vehículo; este es el caso de factores como la velocidad promedio, la inclinación, la topografía de la carretera, peso del vehículo, peso del usuario, etc. (Aleyda, 2021).

2.3.9.1 Cálculo de la autonomía de un vehículo eléctrico

Conocer la distancia que se puede recorrer con una sola carga de batería es un factor muy importante, ya que conociendo tal valor se puede planear el recorrido. Para poder obtener el valor de autonomía es necesario considerar ciertos parámetros, como la potencia para vencer el rozamiento con el suelo, la potencia aerodinámica (potencia para vencer la resistencia al aire) y para superar las pendientes, entre otros, los cuales se describen más adelante.

Potencia para rodar: es la potencia necesaria para vencer el rozamiento con el suelo. Un factor importante a considerar es la presión de los neumáticos, debido a que al mantenerlos inflados a la presión nominal hace que el rozamiento con el suelo disminuya.

La potencia de rodadura, se puede calcular con la Ecuación (6):

$$P_r(W) = C_r * \text{Peso Total (Kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (2.5)$$

donde C_r es el coeficiente de rodadura, su valor se puede obtener de la Tabla 10:

Tipo de terreno	Cr
Pavimento o Cemento liso	0.034
Empedrado	0.041
Carretera de asfalto	0.068
Terreno natural duro	0.218
Terreno de consistencia media	0.299
Grava fina, terreno arenoso	0.615

Tabla 10. Valores de Cr.

Potencia aerodinámica: este tipo de potencia representa la potencia que se requiere para vencer o superar la presión que ejerce el aire contra el cuerpo, se puede despreciar a bajas velocidades, sin embargo, para los patinetes que superan los 25 km/h debe ser considerada en los cálculos.

La potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica, se obtiene con la Ecuación (7):

$$P_a(W) = \frac{C_a * S (m^2) * (Velocidad)^3}{4.77} \quad (2.6)$$

donde, C_a es un coeficiente aerodinámico adimensional fijado en un valor de 0.029 y S es la superficie frontal del cuerpo humano erguido, valor comprendido entre 0.50 y 0.85 m².

Potencia de pendiente: por definición exacta, se denomina pendiente de la carretera (i) a la tangente del ángulo inclinado que forma el piso de la carretera con la horizontal, como se observa en la Ecuación (8). En la Figura 2.13 se puede ver de mejor manera el ángulo de inclinación formado por la pendiente.

$$i = \tan(\alpha) = \frac{h}{L'} \quad (2.7)$$

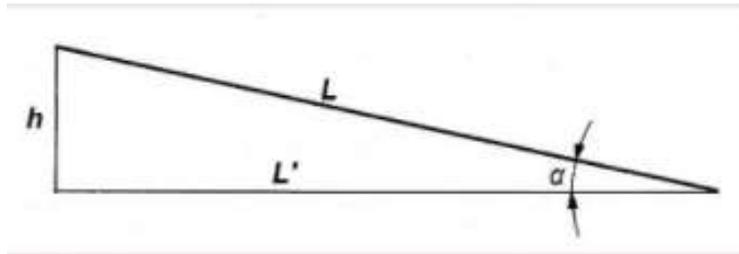


Figura 2.13 Pendiente de la carretera y el ángulo que forma.

Pero para ángulos pequeños, como ocurre en la mayoría de las pendientes de la carretera, de acuerdo con la Ecuación (9), lo anterior se puede simplificar diciendo que $i=0$ (Ingemecánica, s.f.).

$$L \approx L'; \tan(\alpha) = \sin(\alpha); \cos(\alpha) = 1 \quad (2.8)$$

$$i = \tan(0) = 0 \quad (2.9)$$

La potencia necesaria para superar la pendiente puede ser obtenida implementando la Ecuación (11).

$$P_p(W) = 2.73 * i * \text{Peso Total (kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (2.10)$$

Entonces, la potencia necesaria para vencer la resistencia total al movimiento es la suma de las potencias antes calculadas (Ecuación(12)):

$$P_T(W) = P_r + P_a + P_p \quad (2.11)$$

Ahora de las características de la batería, es decir, su capacidad y voltaje, se consideran solo el 70% de estos valores. Esto se debe a dos razones: la primera es que la carga máxima de las baterías está limitada al 85% de su capacidad, con el fin de evitar sobrecargas y alargar su vida útil; la segunda, para evitar que la batería se descargue totalmente, esta debe tener un 15% de carga como mínimo.

Entonces siguiendo con la obtención del valor de la autonomía, ahora se obtiene el valor de la corriente con ayuda de la Ecuación (13).

$$I(A) = \frac{P_T(W)}{\text{Voltaje } 70\% (V)} \quad (2.12)$$

Una vez obtenido este valor, se calcula el tiempo de recorrido que se puede alcanzar con la batería al 70% de su capacidad de carga con la Ecuación (14).

$$\text{Tiempo } (h) = \frac{\text{Capacidad } 70\% (Ah)}{I (A)} \quad (2.13)$$

Ya con el tiempo total del recorrido que puede ofrecer la batería y al establecer una velocidad promedio, se obtiene la distancia que recorrerá el vehículo, para esto, se hace uso de la Ecuación (15).

$$\text{Autonomía } (km) = \text{Tiempo } (h) * \text{Velocidad } (km/h) \quad (2.14)$$

Este valor obtenido sería el valor de autonomía, pero debido a que también hay que considerar las pérdidas de rendimiento del sistema de la batería, motor, controlador, cableado y el rozamiento mecánico entre las partes móviles. Si se suponen unas pérdidas globales del 20 %, de acuerdo con la Ecuación (16), el valor real de autonomía se obtiene de la siguiente manera (Patinetes Eléctricos, s.f.):

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = \text{Tiempo } (h) * \text{Velocidad } \left(\frac{km}{h} \right) * 0.8 \quad (2.15)$$

2.3.10 Análisis de elemento finito en SolidWorks

El software de SolidWorks emplea el Método de elemento finito (FEM), el cual es una técnica numérica que sirve para el análisis de diseños de ingeniería. Debido a su compatibilidad y generalidad para ser implementado en computadoras, el FEM está aceptado como el método de análisis estándar. El FEM divide el modelo en "elementos", los cuales son numerosas piezas pequeñas de formas simples, de esta manera un problema complejo puede ser eficazmente reemplazado por muchos problemas simples que deben ser resueltos de manera simultánea. En la Figura 2.14 podemos observar la división del modelo en piezas pequeñas o elementos.

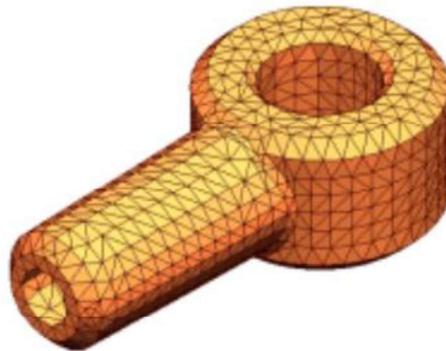


Figura 2.14 Modelo subdividido en elementos.

Los puntos comunes que comparten los elementos son denominados "nodos". El mallado es el proceso en el que el modelo es dividido en pequeñas piezas.

Se conoce el comportamiento de cada elemento bajo todas las situaciones de soporte y carga posibles. El método de elemento finito utiliza elementos con formas diferentes.

La respuesta en un elemento, en cualquier momento, se interpola desde la respuesta en los nodos del elemento. Según el tipo de análisis o del elemento utilizado, cada nodo es descrito detalladamente por un cierto número de parámetros. Por ejemplo, en un análisis térmico de un nodo, la temperatura de éste describe por completo su respuesta. Para el análisis estructural, por lo general, la

respuesta de un nodo está descrita por tres rotaciones y tres traslaciones, estos se denominan grados de libertad (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina Análisis de elementos finitos (FEA).

En la Figura 2.15 se muestra un elemento tetraédrico, en él se pueden notar los nodos y las aristas del elemento. El elemento puede tener aristas curvas o rectas.

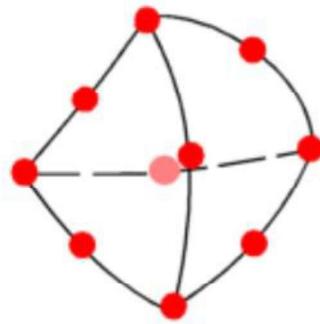


Figura 2.15 Representación de un elemento con sus nodos y aristas.

El software teniendo en cuenta la conectividad de los elementos formula ecuaciones que rigen el comportamiento de cada uno. Estas ecuaciones hacen referencia a la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material conocidas.

A continuación, el programa organiza las ecuaciones en un conjunto mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas y resuelve las desconocidas.

En el análisis de tensión, por ejemplo, el software encuentra los desplazamientos en cada nodo y, posteriormente, el programa calcula las deformaciones unitarias y finalmente las tensiones (Dassault Systemes, s.f.).

En la Figura 2.16 se muestran los tipos de estudios que el software ofrece y el icono con el que se puede identificar cada análisis en la interfaz del programa.

Tipo de estudio	Icono del estudio		
Estático		Gráfico de historia-tiempo	
Frecuencia		Armónico	
Pandeo		Vibración aleatoria	
Térmico		Espectro de respuesta	
Estudio de diseño		Caída	
Estático no lineal		Fatiga	
Dinámico no lineal		Diseño de recipiente a presión	

Figura 2.16 Tipos de estudios de elemento finito disponibles en SolidWorks.

Para el caso de esta investigación se va realizar un tipo de estudio estático con la finalidad de observar y analizar el comportamiento de un modelo diseñado para soportar el peso del usuario del vehículo en diferentes condiciones y con esto obtener los valores de esfuerzos y desplazamientos en los nodos de los elementos del modelo.

3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En la Figura 3.1 se puede observar a grandes rasgos la metodología del proyecto.

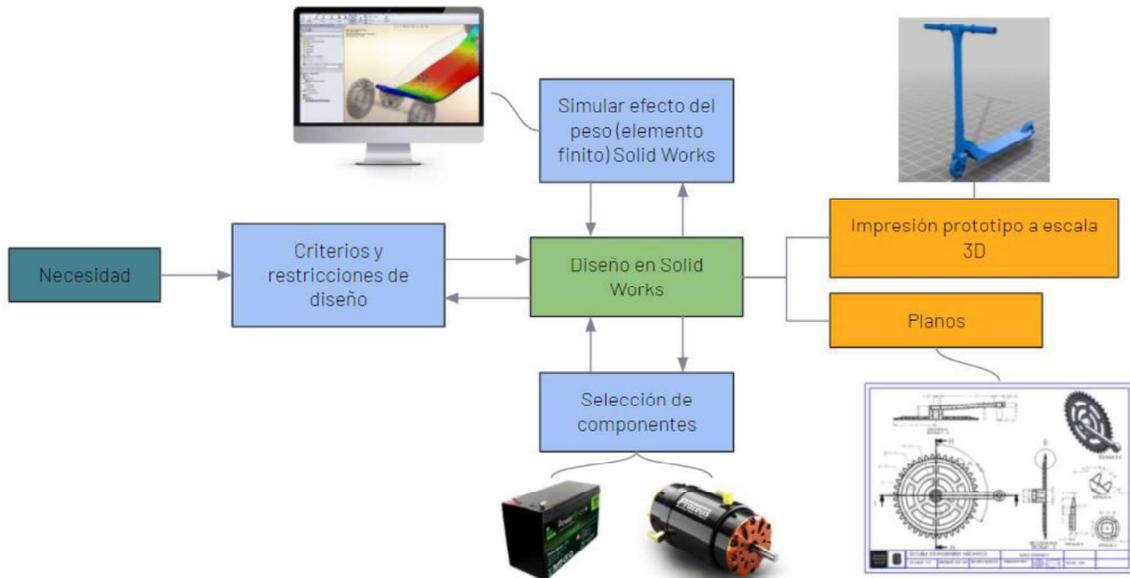


Figura 3.1 Esquema de la metodología del proyecto.

Se parte de una necesidad, la cual es brindar alternativas de transporte a las personas debido a los problemas que existen actualmente al transportarse en los medios comunes como el automóvil y el transporte público.

Después se definen los criterios y restricciones de diseño, se seleccionan los componentes para el vehículo y se modelan cada una de las partes del vehículo de acuerdo a todo lo antes mencionado.

Una vez modeladas todas las piezas y llegar a un diseño completo, se realizan pruebas de funcionamiento con el objetivo de analizar el comportamiento del vehículo y ver si presenta fallas. En caso de que no cumpla con alguno de los requerimientos, se hacen las modificaciones necesarias hasta llegar a un modelo completamente funcional.

En la Figura 3.2 puede observarse parte del proceso de evolución de las propuestas presentadas hasta llegar a la versión final. Cada boceto fue realizado tratando de cubrir la necesidad principal de que el vehículo sea de 3 ruedas y de

una plataforma baja. A partir de ahí se modelan las piezas en software CAD, dimensionándose hasta llegar a la propuesta del prototipo final.

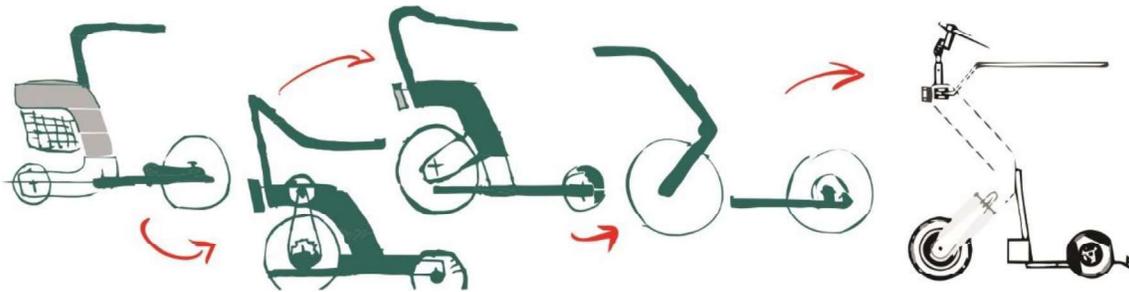


Figura 3.2 Proceso creativo del diseño.

Ya con el diseño final del vehículo, se obtendrán los planos de cada una de las piezas y además se pretende generar un prototipo del vehículo a escala por medio de impresión 3D.

3.1 Criterios y restricciones del diseño

De forma más específica los criterios de diseño del vehículo son los siguientes:

- Debe ser eléctrico
- Debe ser un vehículo de tres ruedas
- Estable
- Sencillo de maniobrar
- Andar en distintos tipos de terreno
- Compacto
- Debe ser confortable
- Peso promedio del usuario entre 75 kg y 85 kg
- Autonomía de 30 km
- La altura de la base del vehículo debe poder modificarse.
- El manubrio debe poder adoptar distintas posiciones.

Ya definidos los criterios de diseño, se presentan las ideas que se tienen para el diseño del vehículo, para llegar a esto se consideraron como referencia

algunos modelos existentes y tomando solo algunos elementos de cada uno, las ideas propuestas son las siguientes:

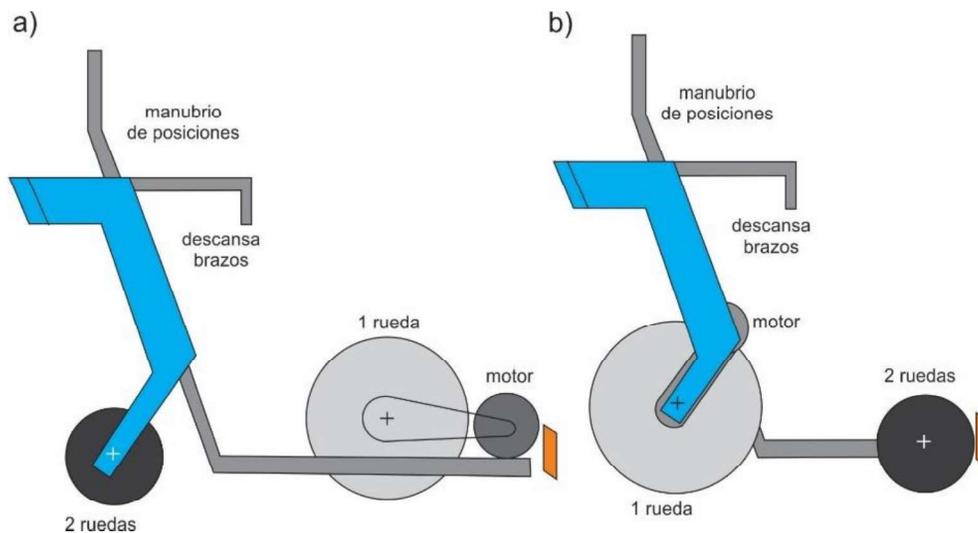


Figura 3.3 Ideas principales para el diseño del vehículo a) configuración 2 ruedas enfrente y b) configuración 1 rueda enfrente.

En la Figura 3.3, por parte del modelo del inciso **a)** se puede observar que cuenta con dos ruedas pequeñas en la parte de enfrente y una rueda de mayor diámetro en la parte de atrás, mientras que en el modelo del inciso **b)** la rueda grande está en la parte delantera y las dos ruedas pequeñas en la parte trasera del vehículo. En ambas opciones el diseño cuenta con luces, descansabrazos y el manubrio para su conducción, en el cual como ya se definió anteriormente, se piensa implementar uno que se pueda adaptar a distintas posiciones según la comodidad del usuario.

Por otra parte, se puede observar que en ambos diseños la rueda de mayor diámetro será la que transmitirá el movimiento, y aquí entra otro factor importante a considerar ya que, debido a la posición del motor y la rueda, en cada diseño el vehículo ocupa un espacio diferente, como se puede ver, el diseño **b)** es más compacto por lo que, al final, este es el que se elegirá debido a que es uno de los criterios de diseño que se buscan.

A la par, debe considerarse y complementarse en tema de seguridad. Para el manejo de algún vehículo de esta índole, se recomienda el uso de casco como

se señala en la NOM 206 SCFI. A su vez, en la NOM 082-ECOL-1994 se establecen los niveles máximos de emisión de ruido de motocicletas y triciclos, por lo que, si en un futuro se fabrica, deberá tomarse en consideración.

3.2 Selección de componentes del vehículo

En cuanto a la selección de componentes para el vehículo, se vieron algunos kits en el mercado como los que se aprecian enseguida, los cuales ya cuentan con algunos elementos importantes del sistema eléctrico, como lo son las baterías, el motor y el controlador.

Se seleccionaron 2 kits con características similares, esto con la finalidad de que puedan ser implementados en el vehículo de igual manera, sin importar cual elija el usuario.

Contenido de los kits:

- 1 motor.
- 1 controlador.
- 1 acelerador.
- 2 baterías.

Kit 1

Especificaciones del motor:

- Tensión (Voltaje): 24V DC.
- Intensidad de corriente: 26.7 A.
- Potencia máxima: 500 W.
- Máximo 2500 RPM.
- Transmisión de cadena (11 dientes de la rueda dentada).
- Tipo de motor: DC, con escobillas.
- Cables de calibre 12.
- Diámetro: 4 1/4 pulgadas (10.79 cm).

- Longitud (sin eje): 5 1/4 pulgadas (13.33 cm).
- Longitud (con eje): 6 1/4 pulgadas (15.87 cm).

Especificaciones del controlador:

- Dimensiones: Aprox. 3.25 x 2.5 x 1.5 pulgadas/8.25 x 6.35 x 3.81 cm.
- Peso: 9 Oz/255 g.
- Marca: Yiyun.
- Modelo: YK31C.

Especificaciones de cada batería:

- Tensión (Voltaje): 12 V.
- Intensidad de corriente: 12 Ah.
- Tipo: Batería sellada de ácido plomo (Pb-Ácido).
- Dimensiones de la batería: 5.94 x 3.88 x 4.00 pulgadas/15.08 x 9.85 x 10.16 cm.
- Ciclos de vida: 1000.
- Peso: 8.38 lb/3.25 Kg

Precio: \$ 5 224.00 MXN

En la Figura 3.4 se muestran cada uno de los elementos que componen el kit 1.



Figura 3.4 Elementos del kit 1.

Kit 2

Especificaciones del motor:

- Tipo de Motor: motor con rueda tipo brushless de 12 pulgadas
- Potencia nominal: 350W
- Voltaje nominal: 24V
- Velocidad: 20 ~ 35 km/h
- Velocidad/RPM:450RPM
- Diámetro: 275mm

Especificaciones del controlador:

- Tamaño: 8x6,5x4 cm
- Voltaje nominal: 24 V
- Límite de corriente: 21A
- Potencia nominal: 350W

Especificaciones de cada batería:

- Voltaje nominal: 12,8 V.
- Voltaje de carga: 14,4 ± 0,2 V.
- Capacidad nominal: 12 Ah (0,2 C, 25 °C).
- Tipo: Iones de Litio (Li-Ion)
- Dimensiones (largo x ancho x alto): 5.94 x 3.86 x 3.7 pulgadas.
- Peso: 1,6 kg.
- Máx. Corriente de descarga continua: 10 A.
- Máx. Corriente de descarga permanente: 15 A, 10 segundos.
- Máx. Corriente de carga continua: 6 A.
- Ciclos de vida: 2500 con 100% DOD; 3600 con 80% DOD; 7000 con 50% DOD (Depth Of Discharge – Profundidad de descarga).
- Temperatura de funcionamiento:
 - Descarga: -15.6 °C a 150.0 °F

- Carga: 0 °F a 140 °F

Precio: \$ 6 762.00 MXN

En la Figura 3.5 se pueden apreciar los distintos componentes eléctricos del kit 2.



Figura 3.5 Elementos del kit 2.

La conexión de estos elementos es a través del controlador, en la Figura 3.6 se muestra un diagrama en el cual se puede observar la interconexión entre el dispositivo de control y los distintos elementos eléctricos del vehículo.

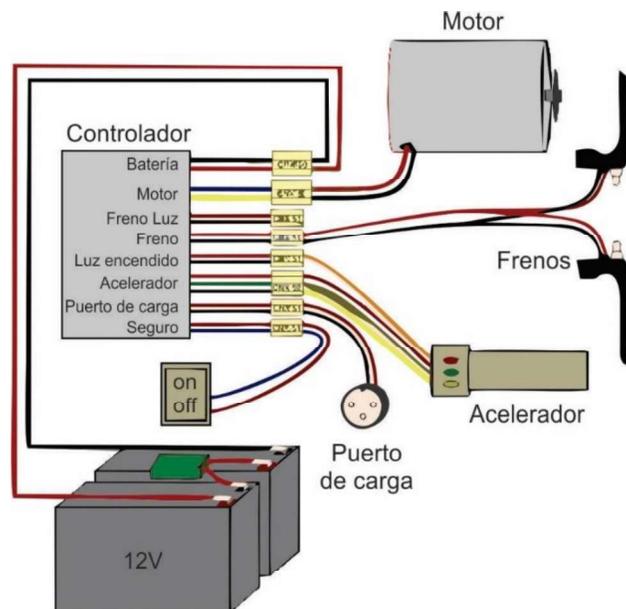


Figura 3.6 Conexión entre los componentes por medio del controlador.

3.3 Modelado de las piezas que conforman el vehículo

Ya seleccionados los componentes que se van a implementar en el vehículo, el siguiente paso fue modelar cada una de las piezas del vehículo en el software de SolidWorks considerando todos los criterios de diseño y los componentes seleccionados y con esto llegar a un prototipo completo y final, el prototipo al cual se llegó se aprecia en la Figura 3.7.

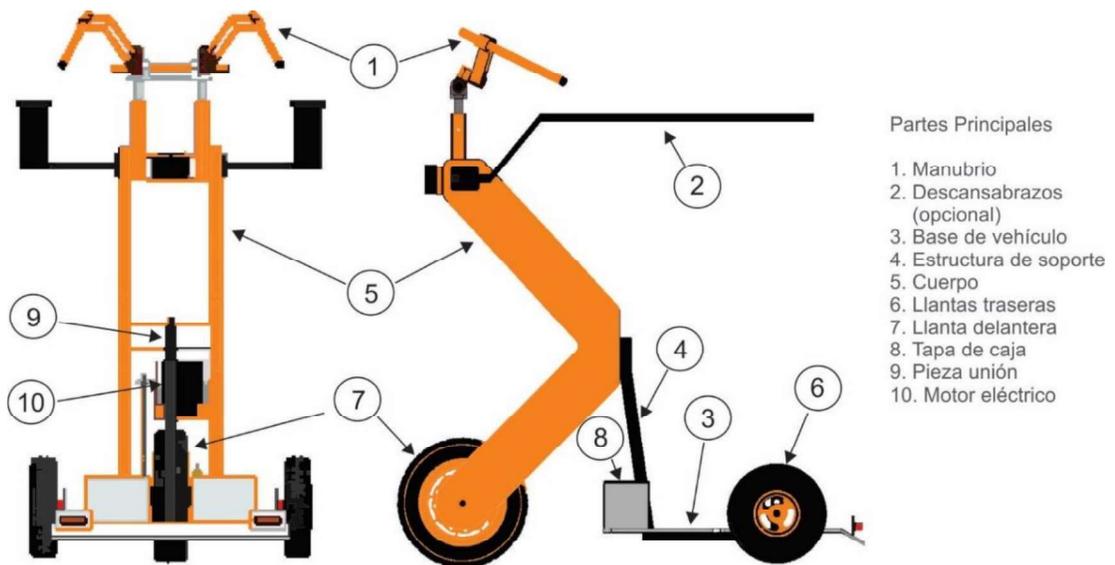


Figura 3.7 Prototipo final diseñado en software.

A continuación, se muestran los componentes modelados y algunas de sus características generales:

Llanta Delantera

- Se tomó como referencia las medidas de una llanta real de una motoneta.
- Tiene un diámetro de 330mm y un ancho de 84mm.
- Un peso aproximado de 3kg.
- En el centro tiene un orificio por donde pasa el eje de 13 mm de diámetro, 1/2 de pulgada aproximadamente.

En la Figura 3.8 se muestra el modelo diseñado en el software y la fotografía de la llanta real.



Figura 3.8 Modelado de la llanta delantera.

Llantas traseras

- Se tomaron, como referencia, las medidas de una llanta real.
- Tiene un diámetro de 250mm y un ancho de 68mm.
- Un peso aproximado de 2kg.
- En el centro tiene un orificio por donde pasa el eje de 17 mm de diámetro, 21/32 de pulgada aproximadamente.

En la Figura 3.9 se muestra el modelo diseñado en SolidWorks y la fotografía de la llanta real, de la que fueron extraídas sus medidas.



Figura 3.9 Modelado de la llanta trasera.

Cuerpo del vehículo

- Tiene una forma peculiar, con la forma de una *L* con cierta orientación, no es completamente sólida, sino que son dos placas unidas, esto con la finalidad de que en medio de las dos placas quede descubierto.

- Cuenta con el orificio en la parte baja para el eje de la llanta delantera.
- En la parte superior tiene los orificios para la sujeción del descansa brazos, de 10mm de diámetro (25/64”).
- Tiene una parte para la colocación de la iluminación delantera y otra en la cual se monta el manubrio, con orificios de 8mm (5/16”) para el ajuste de altura, además de esto cuenta con una base en la parte media para la sujeción del motor con tornillos de 6mm de diámetro (15/64”).
- Se planea que sea de una aleación de aluminio 6061 la cual es una aleación de una resistencia entre media y alta. Resiste bien la corrosión, y tiene buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.

En la Figura 3.10 se puede ver la forma del cuerpo central del vehículo descrita en los puntos anteriores.

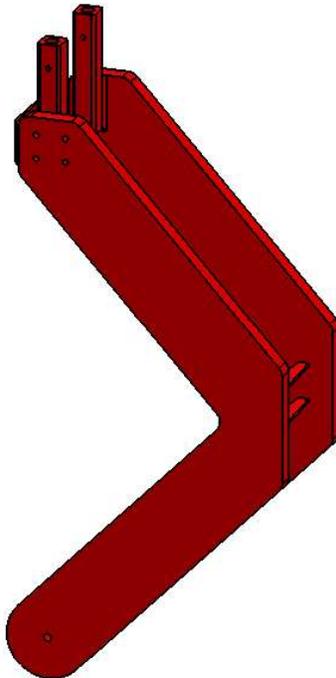


Figura 3.10 Modelado del cuerpo del vehículo.

Estructura metálica de soporte (chasis o bastidor)

- Está formada a partir de tubo rectangular de aluminio, aleación 6063 la cual ofrece una buena capacidad de extrusión y una superficie de alta calidad.,

excelentes propiedades de soldadura, resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica.

- Tiene una forma rectangular con algunas adaptaciones para el espacio de los neumáticos del vehículo.
- Cuenta con orificios en la parte alta y baja de la estructura con los cuales se puede hacer la unión con el cuerpo y las llantas traseras respectivamente.
- En la parte baja y trasera de la estructura cuenta con tres orificios (17mm) a diferente altura en los cuales es donde se unen las llantas traseras, la diferencia de altura es para poder modificar la altura de la base del vehículo respecto al piso.

En la Figura 3.11 se muestra la forma final modelada en el software de la base de soporte del vehículo.

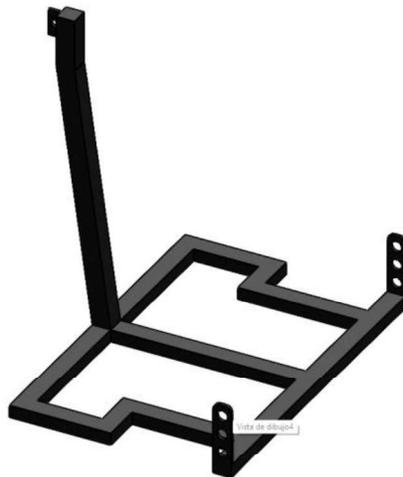


Figura 3.11 Modelado del chasis del vehículo.

Base del vehículo

- Será de un plástico duro, con un largo de 670mm y un ancho de 600mm, tiene una forma rectangular con algunas modificaciones para adaptarse a la estructura en ira montada.
- En la parte frontal cuenta con las cajas en las que colocarán las baterías, estas cajas tienen un orificio (3/16") en la parte superior para posteriormente colocar la tapa y atornillarla para que quede bien sujeta.

- Por la parte trasera cuenta con una pequeña inclinación hacia el suelo, en esta parte se tienen los pequeños espacios donde se montarán las luces traseras.

En la Figura 3.12 se observa la forma de la base sobre la cual el usuario del vehículo va parado, además, se observan también las partes en donde van colocadas las baterías y las luces traseras.

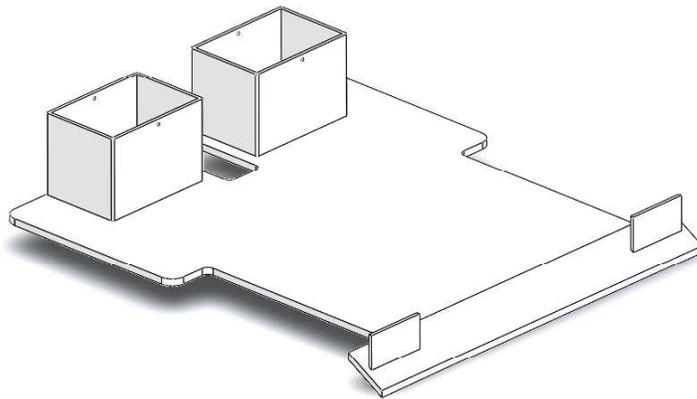


Figura 3.12 Modelado de la base.

Pieza de unión entre el cuerpo y la estructura metálica de soporte

- Es una pequeña pieza de aluminio la cual permite la unión entre el cuerpo del vehículo y la estructura que soporta la base de plástico por medio de un eje de 13mm de diámetro.
- Esta pieza es la que permite realizar el giro del vehículo.
- En la parte donde se une esta pieza y la estructura metálica se tienen tres orificios (10mm de diámetro), esto para que, de igual manera que con las llantas traseras, se pueda modificar la altura de la base del vehículo.

En la Figura 3.13 se muestra la pieza descrita, la cual une y permite el giro entre el cuerpo del vehículo y la base de soporte.

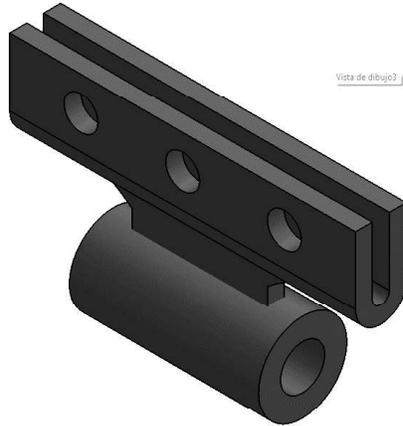


Figura 3.13 Modelado de la pieza para la unión entre el cuerpo y la estructura metálica.

Tapa de las cajas para baterías

- Es del mismo material que el de la base, es decir, un plástico duro.
- Cuenta con el orificio para la sujeción con la caja (3/16”).
- Tiene una forma rectangular con un largo de 170mm y un ancho de 118.5mm.

En la Figura 3.14 se observa la apariencia de la tapa para las cajas donde van insertadas las baterías.

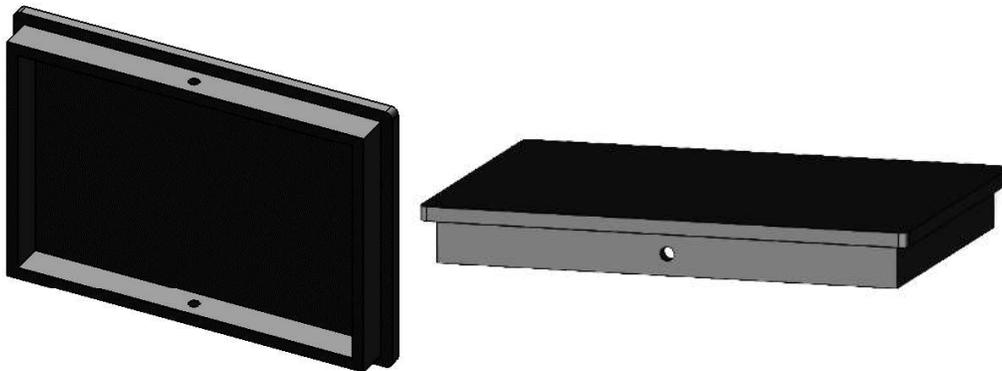


Figura 3.14 Modelado de la tapa para las cajas de las baterías.

Juego de piezas para el manubrio

- Está basado en el diseño de un manubrio de posiciones para motocicleta, el material especificado en el software es una aleación de aluminio 7075, de acuerdo con sus propiedades, es una aleación fuerte, con buena resistencia a la fatiga frente a otros metales y es fácil de mecanizar, además es frecuentemente usado en la industria de la bicicleta.
- Consta de 5 piezas distintas, pero para formar el manubrio completo se necesitan de 14 piezas en total debido a que algunas se repiten.
- El ensamble de estas piezas permite al usuario ajustar cada una de ellas a su gusto y comodidad por medio de tornillería de 3/16”.

En la Figura 3.15 se muestran las distintas piezas que fueron modeladas y que son ensambladas para formar el manubrio del vehículo.

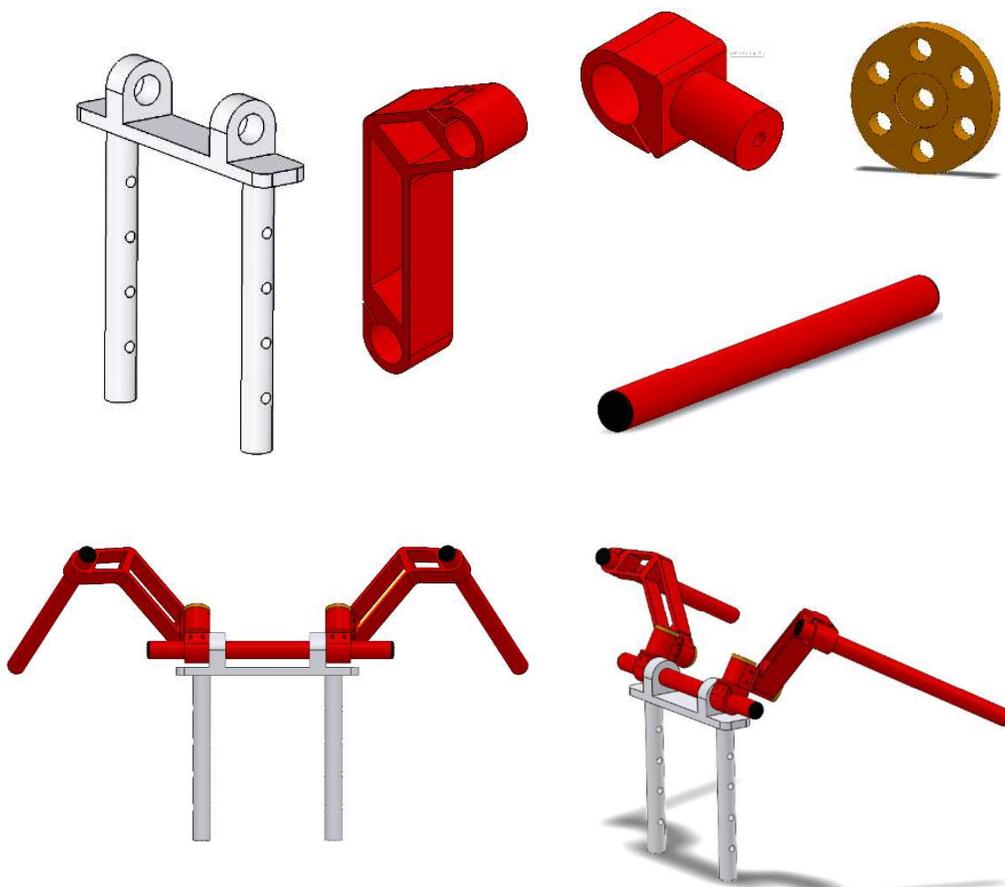


Figura 3.15 Modelado de las distintas piezas para el manubrio del vehículo.

Descansabrazos

- Será de un material ligero y resistente para evitar que se le agregue demasiado peso a la estructura del vehículo.
- Consta de una parte izquierda y una parte que se coloca del lado derecho, se sujetan a la estructura principal del vehículo por medio de 4 tornillos de 10mm de diámetro.
- Las piezas son removibles por lo que el usuario puede elegir entre usarlas o no en el vehículo.

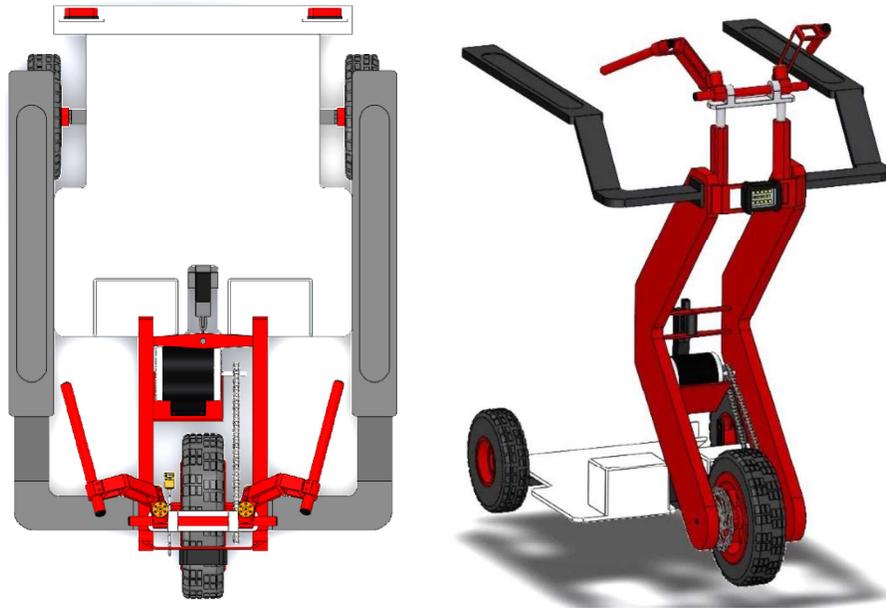
En la Figura 3.16 se puede observar la parte derecha e izquierda de los descansabrazos.



Figura 3.16 Modelado de las piezas de los descansabrazos.

4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Una vez modeladas todas las piezas del vehículo, se realizó un ensamble para poder visualizar el vehículo completo (Figura 4.1), lo cual permite tener un acercamiento a la apariencia que tendrá el vehículo.



Figura

4.1 Prototipo completo del vehículo.

El largo del vehículo es de **1.2 m** y el alto de **1.4 m** aproximadamente, esto puede cambiar debido a que el manubrio puede cambiar de altura por lo cual este valor puede variar unos cuantos centímetros.

En cuanto al peso, se toman en consideración dos valores, esto debido a que depende del kit de componentes seleccionado, implementando el kit 1 el peso del vehículo es de **40 kg** aproximadamente, en caso de que se use el kit 2, el peso es de **35 kg**.

Estos valores son importantes ya que como se mencionó antes, el peso del vehículo es un factor que interviene en el valor de la autonomía del vehículo, el cual se calcula a continuación para cada kit.

4.1 Valor de autonomía (kit 1)

Parámetros:

- Peso vehículo: 40 kg
- Velocidad: 25 km/h
- Potencia del motor: 500 W
- Tensión de las baterías: 24 V
- Capacidad de las baterías: 24 Ah
- Peso del usuario: 80 kg

$$P_r(W) = C_r * \text{Peso Total (Kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.1)$$

Considerando un tipo de terreno como el pavimento, el coeficiente $C_r = 0.034$.

$$P_r(W) = (0.034) * (120 \text{ kg}) * \left(25 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = 102 \text{ W} \quad (4.2)$$

Considerando $S = 0.6 \text{ m}^2$

$$P_a(W) = \frac{C_a * S (\text{m}^2) * (\text{Velocidad})^3}{4.77} \quad (4.3)$$

$$P_a(W) = \frac{(0.029) * (0.6 \text{ m}^2) * (25 \text{ km/h})^3}{4.77} = 57 \text{ W} \quad (4.4)$$

La potencia necesaria para superar la pendiente, se calcula con la Ecuación (4.5):

$$P_p(W) = 2.73 * i * \text{Peso Total (kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.5)$$

Considerando que el terreno es plano y no tiene pendientes considerables, el valor de $i = 0$, por lo tanto.

$$P_p(W) = 2.73 * (0) * (120 \text{ kg}) * \left(25 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = 0 \text{ W} \quad (4.6)$$

Entonces, la potencia necesaria para vencer la resistencia total al movimiento es la suma de las potencias antes calculadas:

$$P_T(W) = P_r + P_a + P_p \quad (4.7)$$

$$P_T(W) = 102 + 57 + 0 \quad (4.8)$$

$$P_T(W) = 159 W \quad (4.9)$$

Ahora de las características de la batería, es decir, su capacidad y voltaje, como se mencionó antes, se consideran solo el 70% de estos valores.

Entonces siguiendo con la obtención del valor de la autonomía, ahora se obtiene el valor de la corriente con la Ecuación (4.10):

$$I(A) = \frac{P_T(W)}{\text{Voltaje } 70\% (V)} = \frac{159 W}{16.8 V} = 9.46 A \quad (4.10)$$

Una vez obtenido este valor, se calcula el tiempo de recorrido que dará la capacidad de carga de la batería.

$$\text{Tiempo (h)} = \frac{\text{Capacidad } 70\% (Ah)}{I (A)} = \frac{16.8 Ah}{9.46 A} = 1.77 h \quad (4.11)$$

Calculando el valor de autonomía sin pérdidas.

$$\text{Autonomía (km)} = \text{Tiempo (h)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.12)$$

$$\text{Autonomía (km)} = (1.77 h) * (25 km/h) \quad (4.13)$$

$$\text{Autonomía (km)} = 44.2 km \quad (4.14)$$

Calculando el valor de autonomía con pérdidas.

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = \text{Tiempo (h)} * \text{Velocidad (km/h)} * 0.8 \quad (4.15)$$

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = (1.77 h) * (25 km/h) * 0.8 \quad (4.16)$$

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = 35.4 km \text{ (Kit 1)} \quad (4.17)$$

4.2 Valor de autonomía (kit 2)

Parámetros:

- Peso vehículo: 35 kg
- Velocidad: 25 km/h
- Potencia del motor: 350 W
- Tensión de las baterías: 24 V
- Capacidad de las baterías: 24 Ah
- Peso del usuario: 80 kg

$$P_r(W) = C_r * \text{Peso Total (Kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.18)$$

Considerando un tipo de terreno como el pavimento, el coeficiente $C_r = 0.034$.

$$P_r(W) = (0.034) * (115 \text{ kg}) * \left(25 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = 97.75 \text{ W} \quad (4.19)$$

Considerando $S = 0.6 \text{ m}^2$

$$P_a(W) = \frac{C_a * S (\text{m}^2) * (\text{Velocidad})^3}{4.77} \quad (4.20)$$

$$P_a(W) = \frac{(0.029) * (0.6 \text{ m}^2) * (25 \text{ km/h})^3}{4.77} = 57 \text{ W} \quad (4.21)$$

La potencia necesaria para superar la pendiente, se calcula con la Ecuación (4.22):

$$P_p(W) = 2.73 * i * \text{Peso Total (kg)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.22)$$

Considerando que el terreno es plano y no tiene pendientes considerables, el valor de $i = 0$, por lo tanto.

$$P_p(W) = 2.73 * (0) * (115 \text{ kg}) * \left(25 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = 0 \text{ W} \quad (4.23)$$

Entonces, la potencia necesaria para vencer la resistencia total al movimiento es la suma de las potencias antes calculadas:

$$P_T(W) = P_r + P_a + P_p \quad (4.24)$$

$$P_T(W) = 97.75 + 57 + 0 \quad (4.25)$$

$$P_T(W) = 154.75 W \quad (4.26)$$

Ahora de las características de la batería, es decir, su capacidad y voltaje, como se mencionó antes, se consideran solo el 70% de estos valores.

Entonces siguiendo con la obtención del valor de la autonomía, ahora se obtiene el valor de la corriente con la Ecuación (4.27):

$$I(A) = \frac{P_T(W)}{\text{Voltaje } 70\% (V)} = \frac{154.75 W}{16.8 V} = 9.2 A \quad (4.27)$$

Una vez obtenido este valor, se calcula el tiempo de recorrido que dará la capacidad de carga de la batería.

$$\text{Tiempo (h)} = \frac{\text{Capacidad } 70\% (Ah)}{I (A)} = \frac{16.8 Ah}{9.2 A} = 1.82 h \quad (4.28)$$

Calculando el valor de autonomía sin pérdidas.

$$\text{Autonomía (km)} = \text{Tiempo (h)} * \text{Velocidad (km/h)} \quad (4.29)$$

$$\text{Autonomía (km)} = (1.82 h) * (25 km/h) \quad (4.30)$$

$$\text{Autonomía (km)} = 45.5 km \quad (4.31)$$

Calculando el valor de autonomía con pérdidas.

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = \text{Tiempo (h)} * \text{Velocidad (km/h)} * 0.8 \quad (4.32)$$

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = (1.82 h) * (25 km/h) * 0.8 \quad (4.33)$$

$$\text{Autonomía}_{real} (km) = 36.4 km \text{ (Kit 2)} \quad (4.34)$$

De acuerdo a los resultados, se puede observar que el kit 2 ofrece un valor de autonomía mayor que el del primer kit, aunque no es mucha la diferencia, esto puede ser para algunos usuarios algo considerable e importante.

4.3 Efecto del peso del usuario (análisis de elemento finito)

Continuando, lo siguiente fue realizar un estudio de elemento finito estático con el software de SolidWorks, el cual implementa el Método de Elemento Finito (FEM); El objetivo del estudio es analizar el efecto que tiene el peso del usuario sobre el chasis del vehículo y ver si el material seleccionado para la estructura es adecuado o es necesario modificarlo.

El elemento al que se le realizó la prueba, es la estructura metálica de soporte del vehículo, también denominada **chasis o bastidor**. El material seleccionado para el elemento es una aleación de **aluminio 6063**, cuyo límite elástico es **41.368 MPa**.

Para el estudio de elemento finito, a dicho modelo se le aplicó un mallado, con un total de **90550 nodos, 55910 elementos** y se simuló una fuerza aplicada de forma vertical al modelo, la cual representa el peso del usuario sobre la plataforma, esto debido a que sobre el chasis va soportada la base donde el usuario se encuentra parado.

Se realizó una prueba simulando un peso del usuario de **85 kg (833.85 N)** y otra con un valor **120 kg (1177.2 N)**, esto con el objetivo de ver si es capaz de soportar un peso mayor al recomendado o incluso sirve como prueba en el caso donde se presenten disturbios en el terreno, como por ejemplo que el vehículo pase por un bache y puedan presentarse este tipo de fuerzas mayores de forma momentánea.

La prueba arrojó los resultados de los esfuerzos y los desplazamientos en los nodos de la plataforma, en la Figura 4.2 se observan los valores obtenidos de la prueba 1.

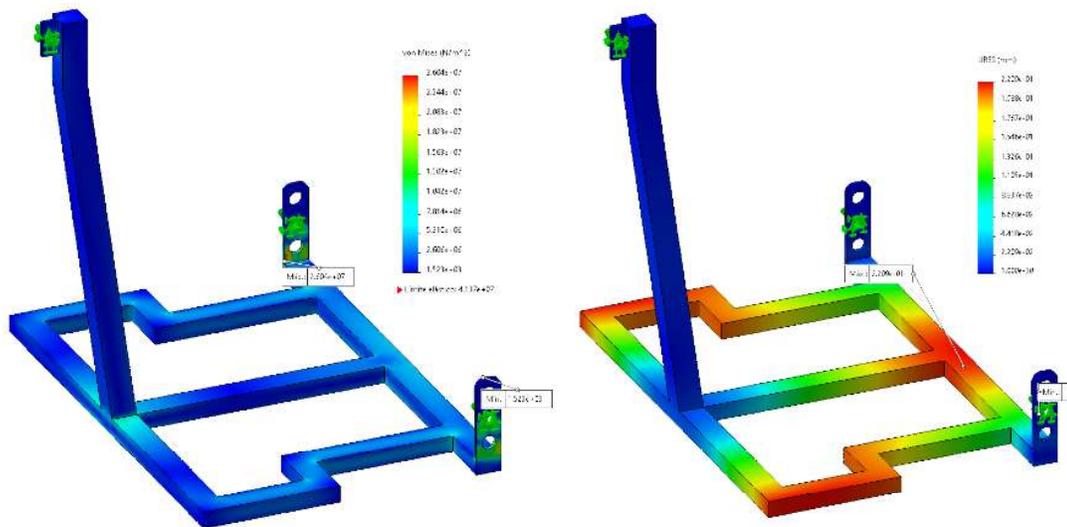


Figura 4.2 Resultados prueba 1 (85 kg).

Al observar la Figura 4.2, se aprecia que los esfuerzos en los nodos del elemento (imagen izquierda), ninguno representa algún riesgo, incluso el valor máximo, el cual su valor es de **26.04 MPa**, dicho valor está por debajo del límite elástico.

Por el lado de los desplazamientos (imagen de la derecha), se puede observar una mayor variación e incluso se podría pensar que son valores grandes debido a los colores, pero en realidad no es así ya que, en las zonas rojas, que es donde se presentan los mayores desplazamientos, se tiene valores de **0.22 mm**, los cuales son valores muy pequeños.

Ahora siguiendo con la segunda prueba, en la Figura 4.3 se pueden visualizar los resultados obtenidos de la prueba 2.

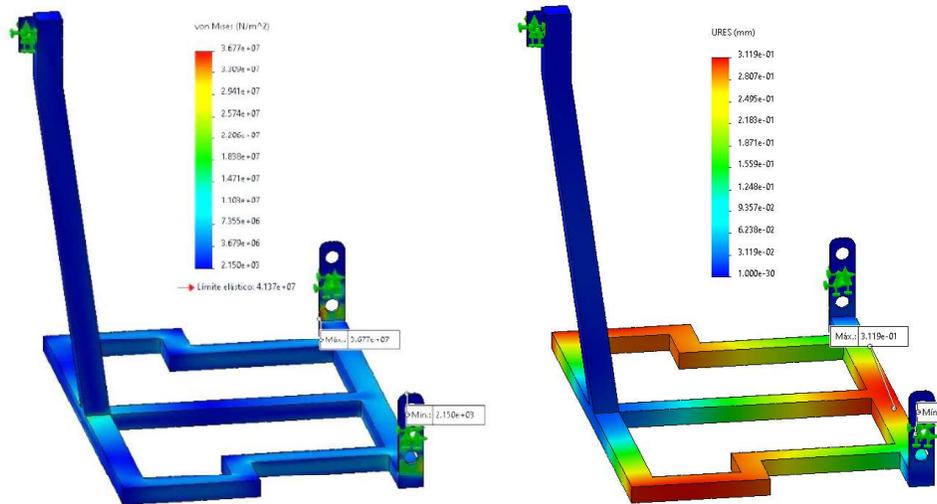


Figura 4.3 Resultados prueba 2 (120 kg).

En esta prueba los esfuerzos en los nodos (imagen izquierda), tampoco se observa algún riesgo, debido a que el valor máximo que se presenta es de **36.77 MPa**, el cual está por debajo del límite elástico que es de 41.36 MPa.

Por el lado de los desplazamientos (imagen de la derecha), se nota una mayor variación al igual que en la prueba anterior, pero siguen siendo desplazamientos muy pequeños, con valores menores a **1 mm** lo cual no es significativo.

Por lo tanto, se puede determinar que el material implementado en este elemento es adecuado ya que soporta bastante bien los esfuerzos ejercidos por el peso del usuario, incluso valores que están muy por encima de los establecidos en los criterios de diseño.

4.4 Generación de planos

Por último, a través del mismo software de SolidWorks, se hace el trazado de los planos de cada uno de los elementos del vehículo, esto con la finalidad de que en un futuro se quiera hacer su fabricación.

En dichos planos se especifican todas las medidas que fueron consideradas para el trazado de cada pieza, en la Figura 4.4 se observa un ejemplo de los planos realizados.

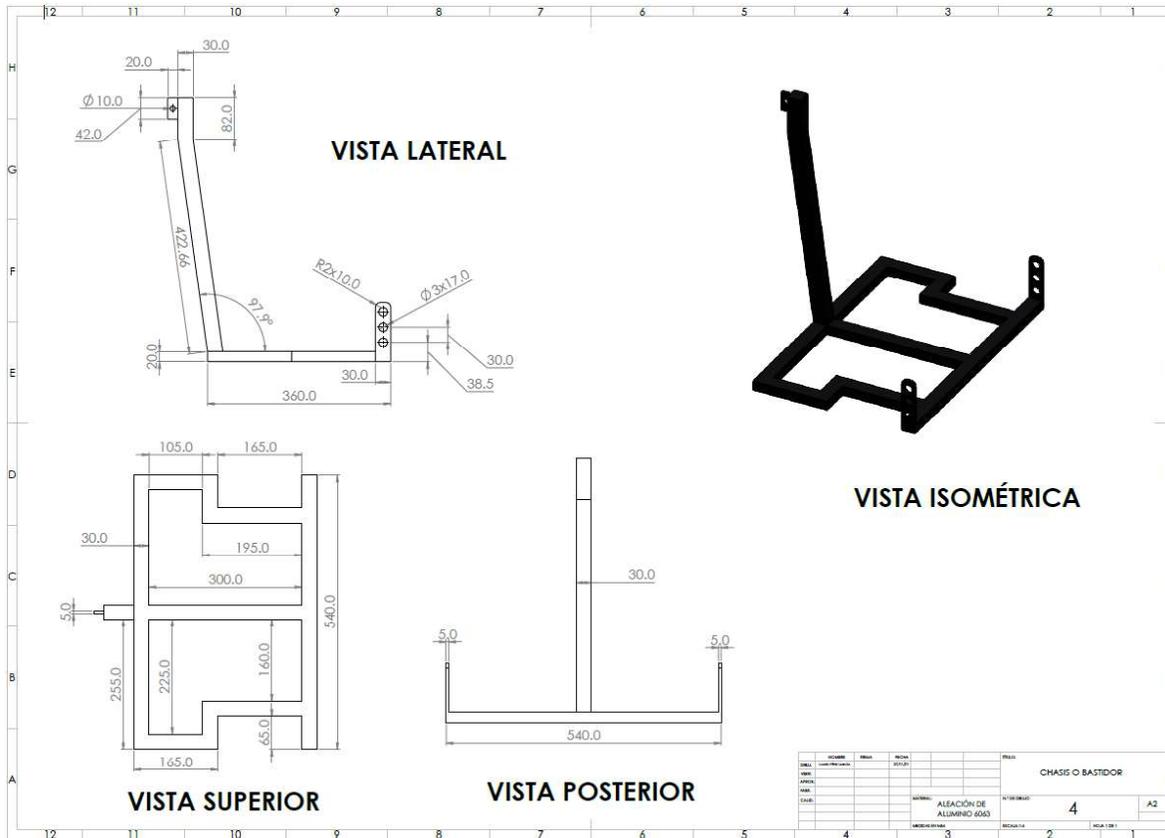


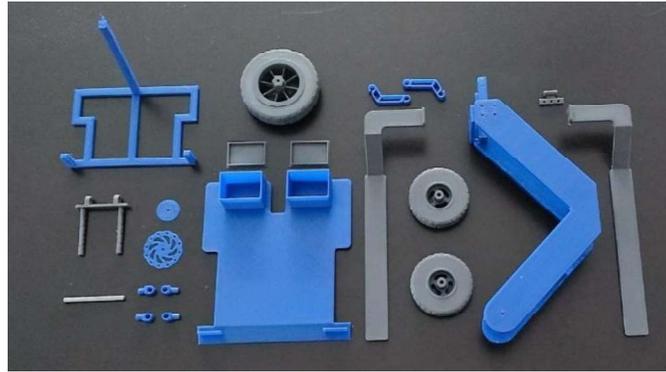
Figura 4.4 Ejemplo de los planos de algunas piezas modeladas.

4.5 Impresión del prototipo

Se realizó la impresión del prototipo a escala (**E 1:7**), esto con el fin de tener un modelo en impresión 3D y tener una pequeña visualización de cómo luciría el vehículo.

En la Figura 4.5 se observan cada una de las piezas modeladas en el programa y que fueron impresas para realizar el ensamble completo al igual que en el software, solo que en este caso de forma física.

a)



b)



Figura 4.5 Impresión del prototipo a escala (E 1:7) a) despiece del prototipo b) prototipo armado.

La impresión de este modelo a escala permite tener una mejor percepción y un pequeño acercamiento a la apariencia que podría tener el modelo real si se manufactura.

5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS

5.1 Conclusiones

El vehículo diseñado cumple con los conceptos de estabilidad y fácil maniobrabilidad ya que las tres ruedas y la plataforma cercana al suelo proporcionan un buen valor a este parámetro.

El vehículo se puede adaptar a las preferencias del usuario debido a que se pueden modificar varios aspectos, como la altura de la plataforma, la posición del manubrio e incluso puede elegir entre un kit u otro de componentes.

Los materiales elegidos para los elementos del vehículo son adecuados ya que no presentan riesgos de que lleguen a fracturarse o deteriorarse con facilidad.

Los kits de componentes para el vehículo son similares, sin embargo, ambos presentan ventajas y desventajas sobre el otro, el usar uno u otro dependerá de qué aspecto prefiera cuidar o dar más importancia el usuario (precio, valor de autonomía, tipo de baterías, etc.).

5.2 Prospectivas

Como prospectivas de esta investigación, se podría realizar la fabricación o manufactura del vehículo para realizar pruebas, analizar su funcionamiento y ver que tan acertados son los resultados obtenidos en la investigación, y debido al análisis poder encontrar y crear mejoras para el diseño, con lo cual se pueda incrementar la eficiencia y rendimiento del vehículo.

De igual manera se podría implementar un sistema en el vehículo que pueda recargar las baterías por medio del aprovechamiento de la energía solar, para que con esto se tenga un mejor y más eficiente uso de la energía, pudiendo así incrementar el valor de autonomía eléctrica en el vehículo.

6 REFERENCIAS

Aleyda. (25 de Junio de 2021). *Guía de términos para entender un auto eléctrico: qué es rango de autonomía, kWh y cómo se mide la potencia de carga*. Xataka México. Disponible en: <https://www.xataka.com.mx/automovil/guia-terminos-para-entender-auto-electrico-que-rango-autonomia-kwh-como-se-mide-potencia-carga>

Bellis. (3 de Julio de 2019). *Segway Human Transporter*. Disponible en : <https://www.thoughtco.com/segway-human-transporter-1992424>

Cárdenas y Sánchez. 2020. *Diseño de un triciclo eléctrico para el reparto de mercancías*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

Dassault Systemes. (s.f). *Conceptos básicos del análisis*. Disponible en: https://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm?verRedirect=1

Diario Oficial de la Federación. 2018. *Norma Oficial Mexicana NOM-206-SCFI/SSA2-2018, Cascos de seguridad para la prevención y atención inmediata de lesiones en la cabeza de motociclistas-Acciones de promoción de la salud-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba, información comercial y etiquetado*. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5524337&fecha=29/05/2018#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación. 1994. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-082-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta, y su método de medición*. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4706998&fecha=22/06/1994#gsc.tab=0

Hoffmann y Ozrelic. 2017. *Electric-Powered Self-Balancing Unicycle with Steering Linkage Between Handlebars and Wheel Forks*. Ryno Motors, Inc.

Howard. (s.f.). *Motores de transmisión directa y sensores directos*. Disponible en: https://www.celeramotion.com/zettlex/wp-content/uploads/sites/7/2019/05/Motores-de-transmisi%C3%B3n-directa-y-sensores-directos_Rev_C_ES.pdf

Indoostrial. (19 de Julio de 2016). *Todo lo que necesitas saber de Patinetes Eléctricos*. Disponible en: https://www.indoostrial.com/blog/patinetes_electricos

Ingemecánica. (s.f.). *Correas de Transmisión Cálculo y Diseño*. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>

Ingemecánica. (s.f.). *La Potencia y el Par Motor, Estudio de la Cadena Cinemática, Estabilidad en los Vehículos*. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>

Ingemecánica. (s.f.). *Transmisión por Cadenas Cálculo y Diseño*. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

Juárez. (11 de Junio de 2020). *No, los frenos de tambor no son un error, pero los de disco son mejores por estas razones*. Motorpasion México. Disponible en: <https://www.motorpasion.com.mx/industria/frenos-disco-vs-frenos-tambor-diferencias>

Muvter. (s.f.). *Historia y evolución del Scooter*. Disponible en: <https://muvter.com/blogs/muvter/historia-y-evolucion-del-scooter>

NCDRisC. (2017). *Body-Mass Index*. Disponible en: <https://www.ncdrisc.org/bmi-mean-distribution.html>

NCDRisC. (2017). *Data Visualisations*. Disponible en: <https://www.ncdrisc.org/data-visualisations.html>

NCDRisC. (2017). *Height*. Disponible en: <https://www.ncdrisc.org/height-mean-distribution.html>

Patinetes Eléctricos. (s.f.). *Autonomía Real de Batería de Patinete Eléctrico*. Disponible en: <https://www.patineteselectricosweb.org/blog/calculo-autonomia-bateria/>

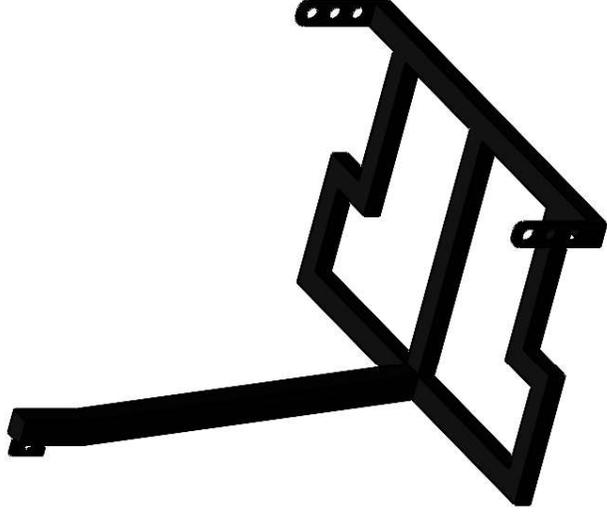
Sonawane, I., Raut, U., Sitapara, B., Sadre, P., & Patil, B. *Design of Electric Trike (Bio-Hybrid)*. Journal homepage: www.ijrpr.com ISSN, 2582, 7421.

Toanchina, A. (2019). *URBAN ELECTRIC TRICYCLE*. *Journal of Industrial Design and Engineering Graphics*, 14(2), 35-40.

Urbina. (2 de Septiembre de 2014). *Halfbike: un vehículo de transporte urbano, una bicicleta sin asiento*. Disponible en: <https://www.di-conexiones.com/halfbike-un-vehiculo-de-transporte-urbano-una-bicicleta-sin-asiento/>

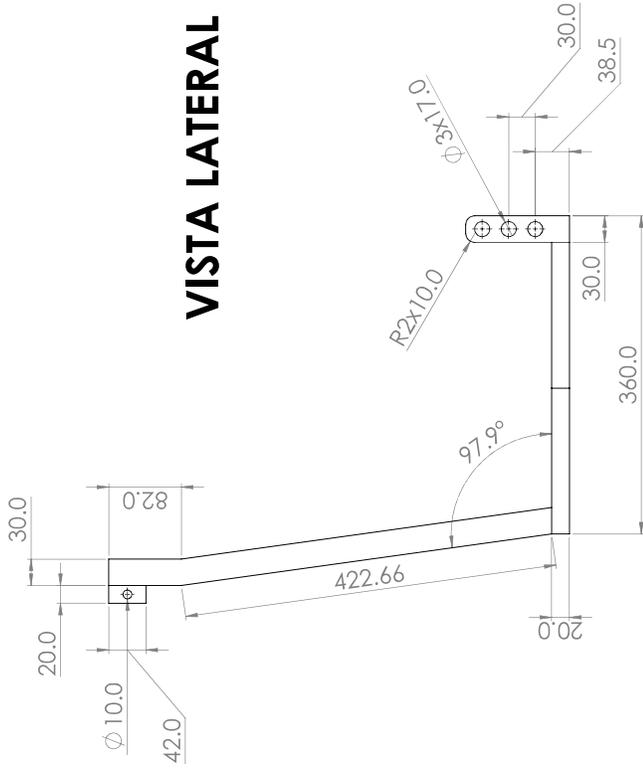
Yerdon. 2013. *Mobile Ergonomic Exercise Tricycle Apparatus and Method*.

7 ANEXOS

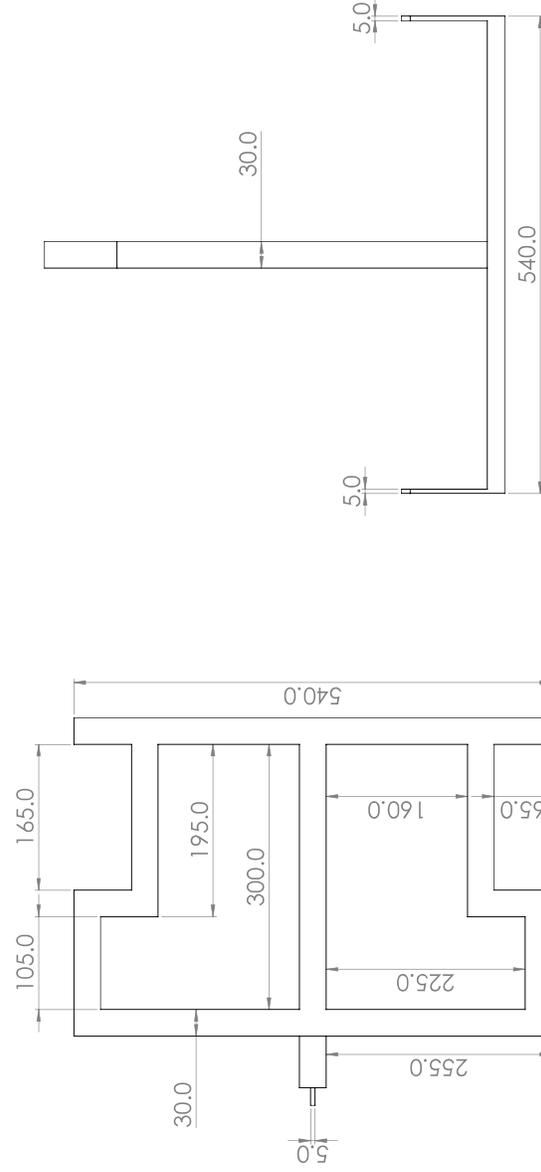


VISTA ISOMÉTRICA

VISTA LATERAL



VISTA POSTERIOR



VISTA SUPERIOR

ITEM	INDICACION	FECHA	ITEM	TITULO
1	CHASIS ISOMÉTRICA	27/11/21	1	CHASIS O BASTIDOR
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	
8			8	
9			9	
10			10	
11			11	
12			12	

PROYECTANTE:	INGENIERO	FECHA:	27/11/21
REVISOR:			
APROBADO:			
VALIDADO:			
CONSTRUIDO:			
MATERIAL:	ALEACION DE ALUMINIO 4063		
INDICACION:	4		
FECHA:	27/11/21		