



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA – MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE MOVILIDAD PERSONAL
ELÉCTRICO PARA ENTREGA DE PAQUETERÍA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JOSÉ CARLOS RODRÍGUEZ TENORIO

TUTOR PRINCIPAL
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Espinosa Bautista Adrián
Secretario: Dra. Corona Lira María del Pilar
1 er. Vocal: Dr. Borja Ramírez Vicente
2 do. Vocal: M. en I. Velázquez Silva Anahí
3 er. Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro Cuauhtémoc

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA

TUTOR DE TESIS:

Dr. Vicente Borja Ramírez



FIRMA

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE MOVILIDAD PERSONAL ELÉCTRICO PARA ENTREGA DE PAQUETERÍA

José Carlos Rodríguez Tenorio

2021

RESUMEN

En este documento se presenta el proceso de diseño para un vehículo de movilidad personal eléctrico para la entrega de paquetería dentro de la Ciudad de México. El proyecto se realizó en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en colaboración con una empresa encargada de la logística para la entrega de paquetes.

Como parte del proceso de diseño se recurrió a la Metodología Centrada en el Usuario, la cual tiene un enfoque en la experiencia y percepción de las personas para la generación de productos. Como resultado, en este trabajo de tesis se presenta la tercera etapa del proceso de diseño, relacionada con la propuesta de diseño VUMi3, por sus siglas para Vehículo de Última Milla - innovación, con el número 3 en referencia al tercer prototipo que se construyó.

VUMi3 buscó reducir el tiempo de entregas en zonas corporativas y residenciales al utilizar el carril de baja velocidad para vehículos motorizados, así como la infraestructura de ciclovía, con base en el Nuevo Reglamento de Tránsito 2019 y la edición 58 de la Gaceta Oficial de la Ciudad de México. Además, la propuesta permitió transitar por calles estrechas, situaciones de tráfico y manifestaciones.

A partir de la propuesta de diseño se realizó la construcción de un prototipo funcional que posteriormente se probó con usuarios para identificar aquellas oportunidades de mejora y rediseño del producto. En dichas pruebas se identificó que el vehículo pudo transitar por baches, topes de diversas presentaciones e incluso circular por rampas.

Posteriormente, se realizó el análisis comparativo de diversos materiales y presentaciones, con el objetivo de identificar reducciones en las emisiones de carbono y al mismo tiempo garantizar la viabilidad mecánica de la solución.

De esta forma, el trabajo de tesis concluyó con la documentación del producto para la manufactura de la propuesta conceptual; sin embargo, la línea de investigación continúa con el objetivo de identificar la modularidad y la implementación de un vehículo en otros mercados para la movilidad personal y de mercancía.

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, a mis hermanos y al abuelo Charly hasta el cielo. Gracias a la UNAM, a mis profesores y compañeros dentro del proyecto.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por CONACyT a lo largo de los estudios de maestría.

Este trabajo de investigación fue realizado con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través de sus programas DGAPA-PAPIIT IT01718 y DGAPA-PAPIIT IT03320.

ÍNDICE

Resumen	4
Agradecimientos y reconocimientos	5
01 INTRODUCCIÓN	8
02 INVESTIGACIÓN	10
ANTECEDENTES	12
2.1 Situación actual en México	12
2.2 Impacto al medio ambiente y políticas nacionales	14
2.3 Movilidad en la Ciudad de México	16
2.4 Iniciativas sobre movilidad en Ciudad de México	18
EXPLORACIÓN	23
2.5 Reglamentación de tránsito en Ciudad de México	23
2.6 Comercio en línea	30
2.7 Logística en la entrega de paquetería	32
2.8 ¿Qué es un vehículo de última milla?	35
2.9 Estado del arte	36
2.10 Trabajo previo sobre vehículos de última milla	39
03 DEFINICIÓN DEL PROYECTO	52
3.1 El reto	54
3.2 Objetivo	55
3.3 Metodología de diseño	56
3.4 Proceso de diseño	59
3.5 Alcances	60
3.6 Participantes	60

04 VUMi3	62
4.1 Perfil del usuario	64
4.2 Definición de la experiencia de usuario	66
4.3 Lista de requerimientos actualizada	68
4.4 Desarrollo de propuestas	68
4.5 Dinámica longitudinal del VUMi3	71
4.6 Autonomía de la batería	81
4.7 Sistemas de VUMi3	82
4.8 Sistema estructural	83
4.9 Sistema de dirección	85
4.10 Sistema de eje posterior	88
4.11 Sistema eléctrico/electrónico	90
4.12 Sistema envolvente	99
4.13 Sistema de soporte para el usuario	102
4.14 Sistema de acceso y seguridad	106
4.15 Propuesta final	108
4.16 Manufactura del prototipo	111
4.17 Secuencia de uso	116
4.18 Pruebas de funcionalidad	124
4.19 Pruebas con usuarios	129
4.20 Especificaciones de VUMi3	136
05 ANÁLISIS COMPARATIVO	140
5.1 Objetivo	142
5.2 Metodología	142
5.3 Desarrollo del análisis comparativo	143
5.4 Conclusiones	157
06 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	160
Referencias	163
Anexos	167

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017), en la Zona Metropolitana del Valle de México se realizan 34.56 millones de viajes al día con 11 millones de personas transportándose para llegar a sus lugares de trabajo, centros educativos o espacios recreativos. Debido a la infraestructura extendida de la metrópolis, al uso excesivo de vehículos particulares y a la saturación del transporte público; en la Ciudad de México se presentan situaciones de tráfico, espacios limitados para estacionamiento, inundaciones y manifestaciones; lo cual aumenta los tiempos de traslado de usuarios y mercancía. Como resultado, en 2019 se presentó el *Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México* (Secretaría de Movilidad, 2019a) con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la capital, al mismo tiempo que se buscó reducir la emisión de gases de efecto invernadero con la creación de nuevos y mejores sistemas de movilidad; incorporando aspectos sustentables, de innovación y calidad en el servicio.

Ante la problemática que enfrenta la Ciudad de México, la empresa Re!-corre, encargada de la logística en la entrega de paquetería dentro de las grandes ciudades de la República Mexicana, buscó disminuir los tiempos de entrega a través de una propuesta de vehículo eléctrico que permitiera a los usuarios repartidores circular por carriles de baja velocidad, hacer uso de la infraestructura de ciclovía, evitar situaciones de tráfico, circular por calles estrechas y realizar entregas en espacios corporativos y residenciales. Como resultado, este trabajo de tesis presenta el proceso de diseño para un vehículo de movilidad personal eléctrico para la entrega de paquetería.

En el capítulo 2 se presenta la investigación realizada para conocer el escenario de operación del vehículo, los problemas actuales relacionados con la movilidad y las propuestas e iniciativas para generar soluciones viables que mejoren la situación actual. Por otro lado, se explica la normativa relacionada con la movilidad de vehículos motorizados y no motorizados dentro de la Ciudad de México. Posteriormente, se presenta la definición de Vehículo de Última Milla (VUM), el estado del arte y el trabajo previo que se realizó con respecto a la generación de dos propuestas de vehículo: Por un lado, VUM fue el primer prototipo que permitió conocer e identificar los componentes y la distribución de los elementos que integran un Vehículo de Última Milla. Por otro lado, VUMi2 fue la segunda propuesta de diseño que permitió plantear un cambio en la experiencia del usuario al diseñar un vehículo que se convirtió en maleta con el objetivo de permitir el

ingreso del repartidor y el VUM al corporativo en donde se realiza una entrega. De esta forma se buscó evitar el uso del montacargas y el estacionamiento del vehículo fuera del edificio con los paquetes restantes por entregar dentro de él.

El capítulo 3 presenta la definición del proyecto; es decir, expone las bases con las cuales comenzó la tercera etapa del proceso de diseño para generar la propuesta de VUMi3. Por lo cual, en este capítulo se presenta el reto inicial, la definición del mercado meta y el establecimiento de objetivos y alcances. Posteriormente, se explica la Metodología Centrada en el Usuario y un diagrama sobre el proceso de diseño. Finalmente, se presentan los participantes que formaron parte del proyecto, incluyendo a los estudiantes, profesores y colaboradores de la empresa.

El capítulo 4 presenta el proceso de diseño que se llevó a cabo durante la tercera etapa para generar la propuesta para VUMi3. Este capítulo comienza con la presentación de los perfiles de usuario para los repartidores y choferes. Posteriormente se retoma la lista de requerimientos y se desarrolla el modelado relacionado con la dinámica longitudinal del vehículo. Una vez generadas diversas propuestas, se seleccionó una de ellas, sobre la cual se plantearon siete sistemas para seccionar la búsqueda de soluciones. Los siete sistemas fueron los siguientes: Estructural, envolvente, dirección, eje posterior, eléctrico/electrónico, soporte para el usuario; así como el sistema de acceso y seguridad. Después se presenta la propuesta de diseño VUMi3, la secuencia de uso del vehículo y cómo se realizó la manufactura del prototipo; a partir del cual se realizaron pruebas de funcionalidad y pruebas con usuarios repartidores en un día laboral.

El capítulo 5 presenta el análisis comparativo que se realizó al modificar el material del sistema estructural y envolvente del VUMi3, con el cual se comparó la huella de carbono asociada a la selección del material y los procesos de manufactura; y posteriormente se evaluó la viabilidad mecánica de la estructura bajo la condición de carga de un usuario y la carga de los paquetes dentro del VUMi3.

Finalmente, se presentan las conclusiones con los resultados obtenidos en el proyecto, así como el trabajo a futuro que busca continuar la línea de investigación sobre Vehículos de Última Milla. Como consecuencia, se espera establecer la modularidad del producto que permita impactar en otros mercados para la movilidad personal y de mercancía.



Figura 2.1. Movilidad urbana en la Ciudad de México (Vivanuncios, n.d.)

El siguiente capítulo se encuentra dividido en dos partes: Antecedentes y exploración; en donde se expone el contexto general, así como la definición y exposición de los temas relevantes para el planteamiento del proyecto; para posteriormente presentar el análisis de la normatividad y el trabajo previo relacionado con los vehículos de última milla.

ANTECEDENTES

Contexto - Problemas actuales - Iniciativas

En esta primera parte se describe la problemática actual en México relacionada con temas de movilidad, partiendo del panorama general en un contexto nacional, hacia lo particular dentro del contexto regional de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana; incorporando además las políticas, estrategias y campañas que buscan generar soluciones viables para mejorar la movilidad en el país.

EXPLORACIÓN

Normativas - Comercio en línea - Vehículos de última milla

En la segunda parte se analizó la reglamentación de movilidad y se realizó una investigación preliminar sobre el comercio en línea para conocer el objetivo del vehículo a diseñar. Posteriormente se explica la logística para la entrega de paquetería, la definición de vehículos de última milla y las propuestas de diseño que se generaron como trabajo previo a este documento, con el propósito de vincular los hallazgos anteriores con el desarrollo de este proyecto de tesis.

2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO

Al día de hoy, en México existen 59 zonas metropolitanas, de las cuales 30 tienen más de 500,000 habitantes; concentrando así el 47.5% de la población total mexicana (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, n.d.). El crecimiento urbano en estas zonas se ha generado de forma dispersa y expansiva, aumentando las distancias entre lugares y por consiguiente los tiempos de traslado. El modelo de movilidad que existe actualmente y que acompaña el crecimiento urbano es insostenible, ya que en las últimas dos décadas se identificó un aumento en la construcción de infraestructura destinada a vehículos particulares (Figura 2.2 y Figura 2.3). Como consecuencia, una tendencia de crecimiento relacionada con el uso del automóvil: De 6.5 millones de vehículos registrados en 1990, en 2010 se registró un total de 20.8 millones (IPTD, n.d.), mientras que para diciembre de 2019, el parque vehicular particular rebasó los 34.6 millones (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019a), con base en la información recopilada del Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros.

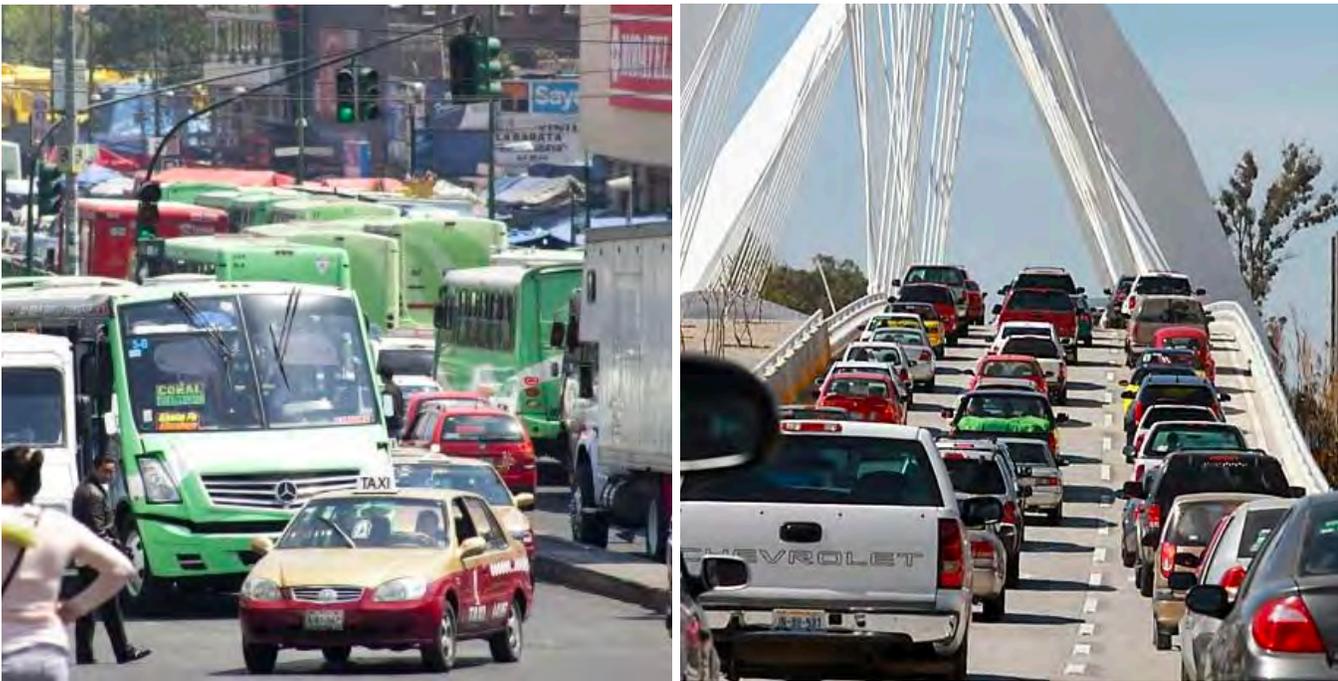


Figura 2.2. Congestionamiento vehicular en la Ciudad de México (7Boom, 2018) y Guadalajara (La Cascada, 2017).



Figura 2.3. Congestionamiento vehicular en Monterrey (El Porvenir, 2020), Ciudad Satélite (Siete24, 2019) y Tijuana (San Diego Union Tribune, 2020) de izquierda a derecha.

En contraste al uso del automóvil, la población que vive en las periferias de las ciudades depende del transporte público para moverse. Sin embargo, el investigador Graham Currie indica que la ineficiencia de los esquemas de movilidad urbana y el crecimiento de los asentamientos alejados de la ciudad, genera exclusión e inequidad social; afectando la calidad de vida de las personas pues realizan viajes muy largos para acceder a sus lugares de trabajo, centros de educación, acceso a servicios de salud y esparcimiento (Universidad de Guadalajara, 2017).

De acuerdo al INEGI (2019b), durante el mes de diciembre de 2019 se registró un total de 130.42 millones de pasajeros transportados por el Sistema de Transporte Colectivo Metro dentro de la Ciudad de México, el cual es el modo de transporte más utilizado en la Zona Metropolitana del Valle de México; mientras que en Guadalajara, con el Macrobús Troncal se registró un total de 2.094 millones de viajes. Por otro lado en Monterrey, el automóvil es el modo de transporte preferido por sus habitantes, seguido por el Camión Urbano. Lo anterior se debe a que entre otros factores, el costo de transporte público en Nuevo León es más alto en comparación con otras ciudades del país, representando un gasto significativo en sectores con ingresos económicos bajos (El Financiero, 2021).

2.2 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICAS NACIONALES

Como consecuencia de los problemas de movilidad que existen en el país y que en conjunto con otros factores relacionados con las actividades económicas que se realizan, se presentan problemas ambientales relacionados con la generación de gases de efecto invernadero, el aumento de contaminación en zonas urbanas, congestionamientos y ruido. De acuerdo al ITDP (n.d.) para 2030 se estima que se generarán 346 Mt de CO₂, con el planteamiento de reducirlo a 185 Mt/año a partir de la implementación de políticas para disminuir el uso del automóvil, la generación de motores con mejor eficiencia en el uso de gasolinas y recursos fósiles, cambios en la logística y la movilidad de las grandes ciudades, aprovechamiento y mejora del transporte público; así como políticas para incentivar el uso de modos de transporte colectivos, la promoción en el uso de la bicicleta para recorridos cortos e incorporación de vehículos eléctricos para su uso en ciudades y durante trayectos cortos.

Dichas políticas y metas son propuestas para contrarrestar el cambio climático a nivel mundial con el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a la vez para que México mantenga una seguridad energética; es decir, para frenar la contaminación del aire y mejorar la calidad de vida de su población. Por lo anterior, al firmar el Acuerdo de París en 2015, México señaló el plan de acción climático para después de 2020, en donde se establecieron dos metas de reducción de emisiones de GEI (Gobierno de México, 2015):

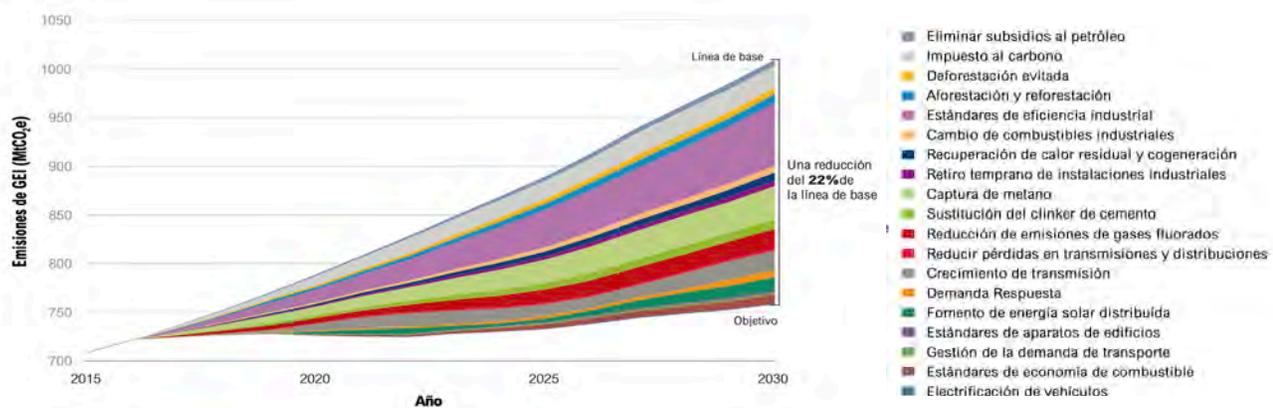


Figura 2.4. Contribuciones de políticas para alcanzar la meta no condicionada de reducción de emisiones en México (WRI, 2016).

- Una meta no condicionada para reducir las emisiones GEI en un 22% para 2030.
- Una meta condicionada de reducir las emisiones de GEI de hasta el 36% por debajo de la línea base para 2030 en caso de que exista un acuerdo mundial que contemple entre varias otras cosas un precio internacional del carbono y políticas fiscales que promuevan la transferencia de tecnología.

ELIMINACIÓN DE SUBSIDIOS AL PETRÓLEO	GESTIÓN DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE	ESTÁNDARES DE ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE	ELECTRIFICACIÓN DE VEHÍCULOS
<p>Reducción en emisiones de metano y ventaneo de gases en el procesamiento del petróleo.</p> <p>Plan de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, de Economía, y de Energía para desarrollar un plan para la desaparición de subsidios restantes en la producción y uso de combustibles fósiles en México.</p>	<p>Estándares más estrictos para vehículos de trabajo ligero y vehículos de trabajo pesado.</p> <p>Fortalecimiento de la planificación local con base en la demanda de transporte.</p> <p>Implementación de la Estrategia Nacional de Movilidad Urbana con cambios para orientar el financiamiento hacia opciones menos intensivas en el uso de carbono.</p>	<p>Norma de energía ISO 50001 (para mantener y mejorar un sistema de gestión de energía para la mejora continua, disminución de costos relacionados con la energía y reducción en emisión de gases GEI.</p> <p>Expansión del programa de incentivos fiscales para proyectos de cogeneración que apoyen energías limpias en la red eléctrica.</p> <p>Transición del gas natural a electricidad.</p>	<p>Centrar esfuerzos para generar flotillas de vehículos para pasajeros y de carga eléctricos con estándares estrictos.</p> <p>Mejora en la colaboración con la industria automotriz para la toma conjunta de decisiones.</p>

Figura 2.5. Políticas relacionadas con la movilidad y el impacto al medio ambiente (WRI, 2016).

Con base en el *World Resources Institute* (2016), México puede alcanzar su meta no condicionada para reducir las emisiones de GEI con 19 políticas climáticas y energéticas (Figura 2.4); mismas que de ser implementadas permitirán el ahorro en gastos netos por más de 500 mil millones de pesos acumulados hasta 2030. De las 19 políticas planteadas, 4 de ellas están relacionadas con la movilidad y el impacto al medio ambiente, las cuales se enlistan en la figura 2.5.



Figura 2.6. Movilidad en la Ciudad de México utilizando el Sistema de Transporte Colectivo Metro (Forbes, 2020a) y Metrobús (Publímetro, 2020).

2.3 MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Los traslados en la Ciudad de México varían en destinos, modo de transporte empleado y como consecuencia en los tiempos de traslado (Figura 2.6 y 2.7). De acuerdo con la Encuesta Origen-Destino elaborada por el INEGI (2017), en la Zona Metropolitana del Valle de México se generan 34.56 millones de viajes al día, en donde 11 millones de personas se desplazan todos los días hacia sus lugares de trabajo, centros educativos o lugares de esparcimiento. El medio de transporte más empleado para desplazarse hacia los lugares de trabajo es el transporte público con un 45% del total de los viajes realizados, seguido por la población que únicamente camina hacia el trabajo (32%); el traslado de personas que utilizan un automóvil privado representa el 21% del total de viajes y solo el 2% de las personas que viajan al trabajo lo realizan en bicicleta (Instituto de Geografía, 2018). De acuerdo al Instituto de Geografía (2018), lo anterior se debe a la estructura extendida de la metrópoli y a la accidentada topografía de ciertas zonas; al mismo tiempo que existe un sobreuso de las vialidades que existen actualmente para el transporte privado y la saturación del transporte público; obligando a las autoridades a reestructurar los programas y las políticas que promuevan la reorganización de los modos de transporte, en especial del transporte público.



Figura 2.7. Movilidad en la Ciudad de México utilizando RTP (El Economista, 2019), Sistema Ecobici (Milenio, 2020) y scooters eléctricos (Xataka, 2019a).

A raíz de lo anterior, el tema de movilidad en la Ciudad de México ha tomado relevancia ante las frecuentes declaraciones de contingencia ambiental y la reestructuración de programas como el “Hoy no circula”, el cual obliga a los automovilistas a dejar su coche al menos un día o dos por semana con respecto a la cantidad de contaminación que se presente en la ciudad (Secretaría del Medio Ambiente, n.d.)

Los niveles de saturación combinados con la infraestructura disponible provocó que en 2016, diversos estudios catalogaran a la Ciudad de México como la de mayor congestión vehicular en el mundo, y la velocidad promedio en zonas centrales de la Ciudad se estimó en 11 km/h (López et. al., 2018). Por lo anterior y debido a la demanda en las modalidades para el transporte público, se popularizó el uso de motocicleta. Los niveles de saturación han incrementado los tiempos de traslado y agudizan los problemas ambientales (SEMOVI, 2019a), ya que los automotores - de acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente - son una de las principales fuentes de contaminación de aire que contribuyen en un 52% a las emisiones de partículas PM10, en un 55% con partículas PM2.5 y en un 86% con emisiones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (SEMOVI, 2019a).

2.4 INICIATIVAS SOBRE MOVILIDAD EN CIUDAD DE MÉXICO

A raíz de los cambios en el gobierno y como propuesta de la nueva administración, en 2019 la Secretaría de Movilidad, presentó el *Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México 2019* (SEMOVI, 2019a). *Una ciudad, un sistema*; con el propósito de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, reducir las desigualdades sociales (sobre todo al considerar la movilidad de mujeres, personas con discapacidad, personas de la tercera edad y niños) al mismo tiempo que buscó disminuir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a través de la creación de un sistema integrado de movilidad que aumente la accesibilidad para la población en general (SEMOVI, 2019a).

Como antecedente al programa, se cuenta con los datos sobre el reparto modal de los viajes que se realizan en la Ciudad de México y Área Metropolitana (Figura 2.8 y 2.9), así como los tiempos de traslado (Figura 2.10), de acuerdo a la información del INEGI presentada en 2017. Como resultado de la sobredemanda en el transporte público, el uso excesivo del automóvil y la infraestructura disponible; los tiempos de traslado en la Zona Metropolitana se ven afectados, pues al menos 11.2 millones de habitantes de la Ciudad de México y el Estado de México invierten todos los días entre una y hasta cuatro horas en sus trayectos (Crónica Ambiental, 2020).

MODO	MILLONES DE VIAJES			DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL		
	ZMVM	CIUDAD DE MÉXICO	MUNICIPIOS CONURBADOS	ZMVM	CIUDAD DE MÉXICO	MUNICIPIOS CONURBADOS
Transporte público	15.57	8.62	6.88	45.1%	49.8%	40.3%
Transporte privado	7.29	4.06	3.17	21.1%	23.5%	18.5%
Bicicleta	0.72	0.24	0.48	2.1%	1.4%	2.8%
Caminando	11.15	4.50	6.52	32.3%	26.0%	38.2%
Otros	0.04	0.02	0.02	0.1%	0.1%	0.1%
TOTAL	34.56	17.30	17.09	100%	100%	100%

Figura 2.8. Viajes realizados en un día entre semana por la población de seis años y más, por tipo y modo de transporte utilizado en al menos uno de sus tramos (en millones de viajes) (SEMOVI, 2019a; con base en datos del INEGI 2017).



Figura 2.9 Distribución porcentual de los viajes en transporte público en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2017 (SEMOVI, 2019a; con base en datos del INEGI 2017).

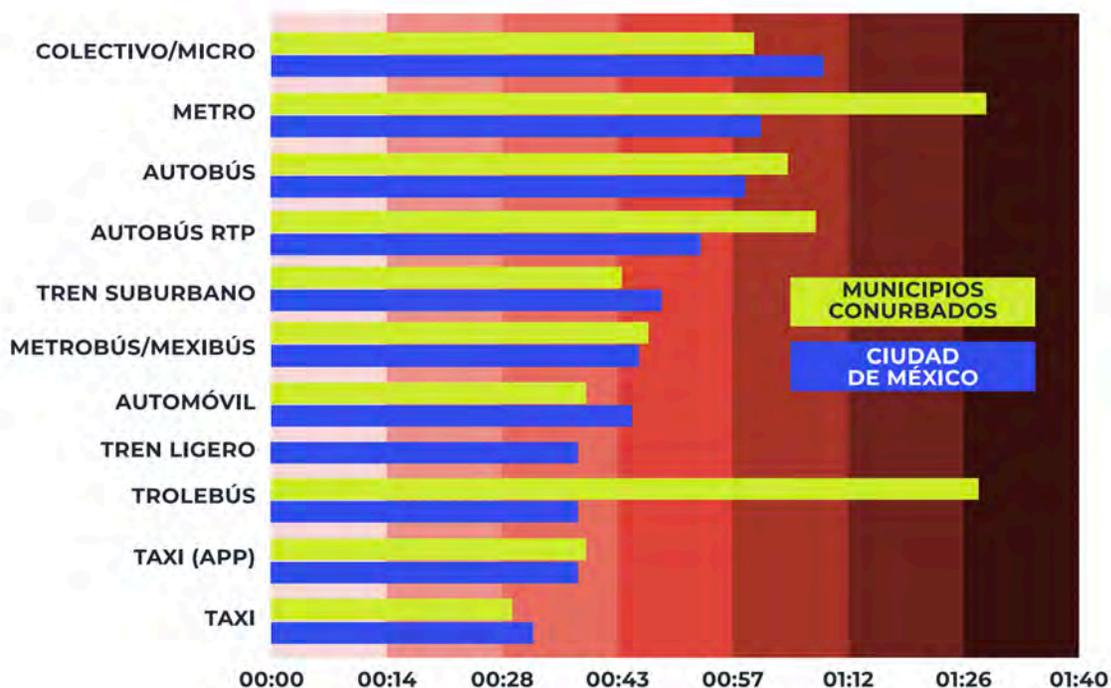


Figura 2.10 Tiempos de traslado promedio por modo de transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (SEMOVI, 2019a; con base en datos del INEGI 2017).

El Plan de acción de la SEMOVI del 2019 se estructura en torno a tres ejes complementarios entre sí que buscan mejorar las condiciones en movilidad en la Ciudad de México (Figura 2.11).

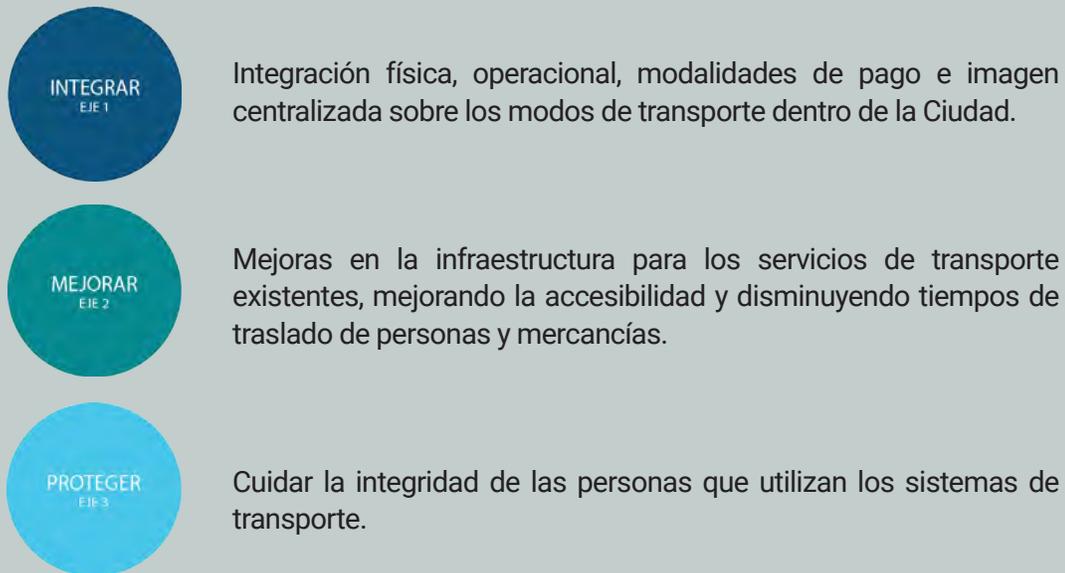


Figura 2.11 Ejes del Plan de Acción (SEMOVI, 2019a).

Los tres ejes anteriores contemplan seis principios para el desarrollo del programa: **sustentabilidad**, con la promoción en el uso de modos y tecnologías bajos en carbono; **innovación**, con tecnologías y procedimientos que mejoren la eficiencia de la red; **equidad** para favorecer a sectores vulnerables como aquellos que viven en la zona conurbada de escasos recursos; **género**, atendiendo la violencia hacia la mujer; **transparencia** sobre la discusión y desarrollo de las políticas, proyectos y la utilización de recursos; y **calidad** en la provisión de infraestructura y los servicios. De los ejes mencionados en la figura 2.11, los planteamientos que tienen relación con el proyecto de esta tesis son los siguientes:

EJE 1. INTEGRAR

Del eje INTEGRAR, la estrategia 1.3 hace referencia a la reforma integral del transporte concesionado; explicando que el objetivo es rastrear las unidades de transporte público a través de sistemas de posicionamiento global (GPS). De esta forma, se

busca la interconexión con el Centro de Control e Innovación de la Movilidad, lo cual permitirá el seguimiento de rutas, frecuencias, hábitos de conducción y mapeo de velocidades. De las rutas que más incidentes tengan, se realizarán verificaciones y oportunidades a otros concesionarios. Lo anterior además de promover y mejorar el transporte público permitirá mejoras en los tiempos de traslado de los demás modos de transporte.

Por otro lado, dentro del mismo eje, la estrategia 1.4 hace referencia a la integración del uso de la bicicleta al sistema de movilidad (Figura 2.12), pues actualmente la política pública de la infraestructura de ciclovías es llevada a cabo por la Secretaría del Medio Ambiente, lo cual no permite generar una política integral de movilidad. De esta forma se busca la expansión de la infraestructura ciclista con ciclovías, biciestacionamientos y expansión del servicio Ecobici.

EJE 2. MEJORAR

Con respecto al eje 2: MEJORAR, se plantea la estrategia 2.2 con el propósito de gestionar el tránsito y los estacionamientos a través de la integración del sistema automatizado de semáforos e integración con los sistemas de parquímetros, los cuales cuentan con dos sistemas (Ecoparq y Opevsa) con diferentes aplicaciones móviles para los pagos, lo cual dificulta su uso y causa confusión en los usuarios (SEMOVI, 2019a). Por otro lado, en la Ciudad de México existen 18,000 intersecciones primarias, de las cuales 3,200 están semaforizadas. Al estar agrupada la red semaforizada en tres sistemas (EYSSa, SEMEX y IMER), no se cuenta con una homologación ni comunicación entre ellos.

La estrategia 2.3 que se plantea dentro del mismo eje, hace referencia a la regulación de los servicios privados de movilidad. Actualmente existen servicios que cubren las necesidades de traslado del último tramo los cuales cuentan con vehículos no diseñados para brindar tal servicio; así como sistemas de renta de bicicleta sin anclaje y patines o scooters eléctricos. Sin embargo, su utilización se asocia a una ocupación indebida del espacio público, a conflictos con usuarios que hacen uso de las vías públicas, peatones y al aumento en incidentes de tránsito. Por lo anterior, se propone la publicación de los lineamientos de



Figura 2.12 Pago de distintos modos de transporte con una sola tarjeta (México Desconocido, n.d.) e integración de Ecobici al sistema de movilidad (Arango, n.d.)



Figura 2.13. Renta de scooters eléctricos a través de aplicaciones móviles (Xataka, 2019b).

operación para dichos sistemas a través del estudio, modificación y publicación de los “Lineamientos para la planeación, implementación y operación de transporte público individual en bicicleta sin anclaje para Ciudad de México” elaborado por la administración 2012-2018, con una actualización para aquellos sistemas eléctricos como scooters y patines (Figura 2.13).

La estrategia 2.4 del mismo eje tiene como objetivo impulsar la innovación y mejora tecnológica de los sistemas de movilidad, de operación y seguimiento del transporte público, ya que los servicios de movilidad están fragmentados e impiden la gestión del tránsito. De esta forma se busca mejorar el funcionamiento, disminuir tiempos de traslado, plantear sistemas de viaje compartido, y permitir la integración de vehículos autónomos y semiautónomos en el sistema de movilidad. Por otro lado, se busca fomentar el uso de tecnologías limpias para impulsar la electromovilidad con políticas que promuevan el uso de vehículos eléctricos a nivel privado y en sistemas de carga.

EJE 3. PROTEGER

Finalmente, con respecto al tercer eje PROTEGER, la estrategia 3.1 considera contar con una infraestructura segura y con accesibilidad universal para caminar y moverse en bicicleta, debido a que los ciclistas y peatones se encuentran en situación de vulnerabilidad al no contar con infraestructura segura para realizar los traslados. Tan solo en 2016 se presentaron 11,502 incidentes viales en donde 2918 personas resultaron heridas y 659 fallecieron en la ciudad (SEMOVI, 2019a), siendo la mitad de ellos peatones y ciclistas, y como consecuencia del favorecimiento al desplazamiento de vehículos motorizados, y la falta de espacios de uso exclusivo para ciclistas y peatones. Por lo anterior se busca intervenir con 40 km de ciclovías adicionales a los 194 km ya existentes, los cuales se encuentran concentrados en las alcaldías de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Benito Juárez, a pesar de que Xochimilco, Tláhuac e Iztapalapa son lugares con un alto uso de la bicicleta como modo de transporte y donde no existe infraestructura para la demanda de ciclistas.

2.5 REGLAMENTACIÓN DE TRÁNSITO EN CIUDAD DE MÉXICO

De acuerdo al Artículo Primero, el reglamento de Tránsito de la Ciudad de México tiene como objeto regular la circulación de peatones y vehículos en la vía pública, así como garantizar la seguridad vial; por lo cual conocerlo resultó primordial para el planteamiento del proyecto. Al inicio de la investigación se contaba con el *Nuevo Reglamento de Tránsito Ciudad de México 2019* (SEMOVI, 2019b), a partir del cual se basa la propuesta de diseño de esta tesis; sin embargo, existe una actualización al mismo realizada en 2020. Los cambios en el reglamento no se explican en este capítulo, pero tienen relación con las conclusiones y el trabajo a futuro para la definición de los objetivos y alcances que rigen la línea de investigación y las propuestas de diseño posteriores. Por lo anterior, a continuación se presenta la información recopilada del Nuevo Reglamento de Tránsito en su versión 2019.

2.5.1 DEFINICIONES

En este apartado se enlistan aquellos conceptos relevantes al proyecto, de acuerdo a su definición planteada en el Nuevo Reglamento de Tránsito 2019 (SEMOVI, 2019b).

BICICLETA

Una bicicleta se define como un vehículo no motorizado de propulsión humana a través de pedales o de pedaleo asistido por motor eléctrico. No incluye a los vehículos que cuentan con un acelerador manual ni aquellas cuyo motor eléctrico continúe la aceleración después de alcanzar los 25 kilómetros por hora.

CARRIL

Espacio asignado para la circulación de vehículos, ubicado sobre la superficie de rodadura y delimitado por líneas continuas o discontinuas, el cual debe contar con el ancho suficiente para la circulación de vehículos en una fila.

CICLISTA

Conductor de un vehículo de tracción humana a través de pedales; se considera también ciclista a aquellos que conducen bicicletas asistidas por motores eléctricos, siempre y cuando se desarrolle velocidades de hasta 25 kilómetros por hora; los menores de doce años a bordo de un vehículo no motorizado serán considerados peatones.

CARRIL CONFINADO

Superficie de rodadura con dispositivos de delimitación en su perímetro para el uso preferente o exclusivo de servicios de transporte, así como de cierto tipo de vehículos.

MOTOCICLETA

Vehículo motorizado que utiliza manubrio para su conducción, de una o más plazas, con dos o más ruedas, que está equipado con motor eléctrico, de combustión interna de dos o cuatro tiempos, con un cilindraje a partir de cuarenta y nueve centímetros cúbicos de desplazamiento o impulsado por cualquier otra fuerza motriz, que cumpla con las disposiciones estipuladas en la Norma Oficial Mexicana en materia de identificación vehicular.

VEHÍCULO

Aparato diseñado para el tránsito terrestre, propulsado por una fuerza humana directa o asistido para ello por un motor de combustión interna y/o eléctrico, o cualquier otra fuerza motriz, el cual es utilizado para el transporte de personas o bienes.

VEHÍCULO MOTORIZADO

Aquellos vehículos de transporte terrestre de pasajeros o carga, que para su tracción dependen de un motor de combustión interna, eléctrica o de cualquier otra tecnología que le proporciona velocidad a más de 25km/hr.

VEHÍCULO NO MOTORIZADO

Aquellos vehículos que utilizan tracción humana pedaleo asistido y/o propulsión eléctrica para su desplazamiento con una velocidad máxima de 25km/hr.

VEHÍCULO RECREATIVO

Aquellos utilizados de manera recreativa o lúdica por niñas y niños de hasta doce años de edad, tales como patines, patinetas, patines del diablo sin motor y bicicletas con una velocidad máxima de 10km/h.

CONDUCTOR

Toda persona que maneje un vehículo en cualquiera de sus modalidades.

CIRCULACIÓN

Desplazamiento por la vía pública de peatones, conductores y ocupantes de vehículos.

VÍA

Espacio destinado al tránsito de peatones y vehículos.

VÍA CICLISTA

Espacio destinado al tránsito exclusivo o prioritario de vehículos no motorizados la que puede ser parte de la superficie de rodadura de las vías o tener un trazo independiente; ésta incluye:

- a) Carril compartido ciclista, carril ubicado en la extrema derecha del área de circulación vehicular, con un ancho adecuado para permitir que ciclistas y conductores de vehículos motorizados compartan el espacio de forma segura; estos carriles deben contar con dispositivos para regular la velocidad;
- b) Ciclocarril, carril delimitado con marcas en el pavimento destinado exclusivamente para la circulación ciclista;
- c) Ciclovía, carril confinado exclusivo para la circulación ciclista físicamente segregado del tránsito automotor; y
- d) Calle compartida ciclista, vía destinada a la circulación prioritaria de bicicletas, que cuenta con dispositivos que permiten orientar y regular el tránsito de todos los vehículos que circulen en ella, con la finalidad de compartir el espacio vial de forma segura y en estricto apego a la prioridad de uso del espacio indicada en el presente Reglamento.

VÍA PÚBLICA

Todo espacio de uso común destinado al tránsito de peatones y vehículos; así como a la prestación de servicios públicos y colocación de mobiliario urbano.

De las definiciones anteriores se concluyó que los scooters eléctricos son considerados vehículos no motorizados al no alcanzar velocidades superiores a los 25 km/h, además de poder hacer uso de ciertas partes de la vía ciclista; lo cual sirvió como pauta para la búsqueda de soluciones y finalmente la propuesta de diseño de esta tesis.

Por otro lado, las definiciones que hacen relación a conceptos de multas, pagos y otros personajes que interactúan en la vía pública no se exponen en este documento a pesar de haberse estudiado, pues aunque son relevantes e importantes, no se encontró una relación que pudiera modificar o intervenir en la toma de decisiones para el proceso de diseño sobre una propuesta de vehículo.

2.5.2 PUNTOS CLAVE SOBRE VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS

De acuerdo al análisis que se realizó sobre el reglamento de tránsito; se recopilaron aquellos puntos relacionados con los vehículos no motorizados, los cuales se enlistan en la figura 2.14. En las dos primeras columnas se presenta la sección, capítulo o puntos de donde se obtuvieron los enunciados, los cuales posteriormente se muestran en la tercer columna. A dichos enunciados se les conoce también como disposiciones del reglamento. Finalmente, en la cuarta columna se presenta la conclusión u hallazgo sobre dicho enunciado, el cual sirvió para construir de forma posterior los requerimientos y las especificaciones del producto.

Debido a que las características de los vehículos no motorizados no se describían en su totalidad en el reglamento, se consultó de forma adicional la Gaceta Oficial de la Ciudad de México en su edición número 58 (Gobierno de la Ciudad de México, 2019). En la figura 2.15 se observa la descripción general del concepto para posteriormente indicar el enunciado que se extrajo del documento y su ubicación en el mismo.

Capítulo del Nuevo Reglamento de Tránsito 2019	Artículo / Apartado	Disposición enunciada en el reglamento de tránsito	Hallazgo / Conclusión
Título segundo. De las normas de circulación. Capítulo II. De las normas generales para la circulación de vehículos	Artículo 11, punto III	"[...] Se prohíbe a los conductores de todo tipo de vehículos [...] b) Circular sobre vías ciclistas a excepción que se trate de vehículos no motorizados [...]"	Los vehículos no motorizados pueden circular por la vía ciclista.
Título segundo. De las normas de circulación. Capítulo III. De la circulación de vehículos no motorizados	Artículo 14, punto I	"[...] Donde existan vías ciclistas exclusivas, circular preferentemente por éstas, excepto cuando: [...] b) Circulen vehículos no motorizados que tengan un ancho mayor a 0.75 m que impida la libre circulación de los demás ciclistas sobre la vía. [...] En estos casos, los conductores de vehículos no motorizados tienen derecho a ocupar un carril completo [...]"	El ancho del vehículo debe ser menor a 0.75 m para permitir la libre circulación de otros vehículos.
	Artículo 18, puntos I, II y III	"[...] Los vehículos no motorizados preferentemente deben circular por el carril derecho, excepto: I. En calles compartidas ciclistas en las que pueden utilizar cualquier carril; II. Se vaya a realizar un giro a la izquierda, en cuyo caso deberá llegar a la esquina próxima, posarse en el área de espera ciclista, en donde permanecerá hasta que señalamientos viales permitan su incorporación a la izquierda; y III. Se requiera rebasar a otros vehículos más lentos o existan vehículos parados o estacionados, obstáculos u obras que impiden la utilización del carril [...]"	Las posibilidades de circulación para vehículos no motorizados son las siguientes: Vía ciclista, circulación por carril derecho y sobre aceras o áreas reservadas para peatones solo en caso de ingresar a un domicilio o estacionamiento, en donde deberá desmontar y caminar junto al vehículo.
	Artículo 19, punto I.	"[...] Se prohíbe a los conductores de vehículos no motorizados: I. Circular sobre las aceras y áreas reservadas al uso exclusivo de peatones, con excepción de los niños menores de doce años y los elementos de Seguridad Ciudadana que conduzcan vehículos no motorizados, salvo que el conductor ingrese a su domicilio o a un estacionamiento, en este caso debe desmontar y caminar [...]"	
Título cuarto. De las normas de seguridad para la conducción de vehículos. Capítulo I. De las disposiciones de seguridad.	Artículo 37, punto I.	"[...] Los conductores de vehículos no motorizados deben: a) Usar aditamentos luminosos, bandas fluorescentes o reflejantes en horario nocturno o circunstancias de poca visibilidad [...]"	Los conductores de vehículos motorizados deben usar aditamentos que permitan a los demás conductores identificarlos en el camino; sobre todo durante la noche. Se prohíbe manipular un teléfono celular al manejar y/o transportar un mayor número de pasajeros al planteado por el fabricante. El usuario debe llevar ambas manos en el manubrio en todo momento.
	Artículo 38, punto I.	"[...] se prohíbe: I. A los conductores de vehículos no motorizados: a) Llevar objetos que obstruyan la visibilidad del conductor o lo distraigan; b) Transportar carga que impida mantener ambas manos sobre el manubrio, y un debido control del vehículo; [...] d) Manipular un teléfono celular o cualquier dispositivo de comunicación o de audio mientras el vehículo esté en movimiento, cualquier manipulación deberá hacerse con el vehículo detenido; y e) Transportar a un pasajero apoyado en el cuadro de la bicicleta, en el espacio intermedio entre el sillín y el manubrio; excepto cuando se cuente con una silla para transportar niños y haya sido diseñada específicamente para tal propósito [...]"	
Título cuarto. De las normas de seguridad para la conducción de vehículos. Capítulo II. De las características de los vehículos.	Artículo 40, punto I	"[...] Contar con reflejantes rojos atrás, reflejantes blancos adelante o luces traseras y delanteras en los colores antes indicados. [...]"	Los vehículos no motorizados deben contar con reflejantes o luces traseras rojas y delanteras de color blanco.

Figura 2.14. Secciones del reglamento relacionados con vehículos no motorizados (SEMOVI, 2019b).

DESCRIPCIÓN GENERAL	Disposición enunciada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México	Capítulo / Fracción
Definición de sistemas de transporte individual sustentable, también conocidos como SiTIS	“[...] Sistemas de transporte individual sustentable (SiTIS): Se entiende por sistemas de transporte individual sustentable al conjunto de servicios prestados a través de vehículos no motorizados [...] que incluye, de manera enunciativa más no limitativa, a bicicletas, monopatines, patinetas o ruedas eléctricas que prescinden de estaciones con soporte para asegurarlas. [...]”	Capítulo III. Fracción XLII.
Horario de servicio permitidos para los SiTIS	“[...] Los servicios del SiTIS tendrán un horario de operación de 05:00 a 00:30 horas, de lunes a domingo, los 365 días del año [...]”	Capítulo IV. Reglas de operación.
Velocidad máxima de operación	“[...] Las unidades de servicio del SiTIS deben contar al menos con los siguientes componentes: i. Garantizar que las unidades de servicio con asistencia eléctrica tengan un sistema que restrinja dicha asistencia al alcanzar los 25 km/h.	
Sistema de ubicación del vehículo en tiempo real	ii. Tener instalado un dispositivo para su geolocalización (GPS), que permita conocer la ubicación de la unidad de servicio en tiempo real, con el propósito de permitir su uso, recuperación, reparación, así como recolección de datos e investigación de incidentes de forma anonimizada. El margen de error de la ubicación no deberá superar 8 metros;	
Alertas visuales delanteras y traseras para el vehículo	iii. Luz trasera roja, que permita la correcta visibilidad del usuario; iv. Luces delanteras que permitan la correcta visibilidad del usuario;	
Sistema de frenado del vehículo	v. Sistema de frenado. En caso de las unidades eléctricas, deberán contar con un sistema de frenado mecánico para casos de emergencia aunque cuenten con sistema de frenado electrónico;	
Número de identificación del vehículo	vi. Número económico de identificación;	
Alerta sonora del vehículo	vii. Dispositivo acústico de advertencia (timbre o campana);	
Descripción del mecanismo de seguridad para vehículos con anclaje	viii. En el caso de las unidades que prescindan de anclaje, deberán contar con función de bloqueo y desbloqueo (candado), utilizando un mecanismo de bloqueo inteligente que impida terminar o iniciar viajes fuera del área de operación autorizada por la Secretaría;	
Aditamentos para bicicletas mecánicas y eléctricas	ix. En caso de bicicletas mecánicas y eléctricas, adicionalmente se deberá contar al menos con los siguientes componentes y accesorios: pedales con reflejante ámbar en la parte delantera y trasera; frenos manuales izquierdo – delantero, derecho – trasero; canastilla, con liga en caso de estar abierta por los laterales. x. Están prohibidas las bicicletas que sólo tengan freno de contrapedal;	
Características generales de los vehículos	xi. En caso de que la bicicleta tenga transmisión con cadena o banda, deberá protegerse con cubrecadena; xii. Todas las unidades deberán contar con un sistema de transmisión completo que incluya: manubrio para sujetar con dos manos, llantas, pedales o plataforma de apoyo, mecanismo para accionar los frenos y asiento con poste de altura ajustable (en caso de que aplique);	
Parador para mantener estático el vehículo	xiii. Todas las unidades deberán contar con un parador que les permita mantenerse en pie por sí mismas.	

Figura 2.15. Enunciados recopilados de la Gaceta Oficial de la Ciudad de México (Gobierno de la Ciudad de México, 2019).

2.6 COMERCIO EN LÍNEA

Una vez identificada la reglamentación y normatividad sobre los vehículos en la Ciudad de México, el siguiente paso fue investigar sobre el mercado y el giro sobre el cual se generó la propuesta de diseño, pues en este caso se busca transportar los productos que las personas compran en páginas de internet, desde los centros de distribución hasta el domicilio o lugar de trabajo del cliente. Por lo anterior, a continuación se explica la definición del comercio en línea, las ventajas y desventajas que los clientes y las empresas presentan bajo esta modalidad de comercio, así como los retos que existen relacionados con los hábitos de consumo de los mexicanos.

El comercio en línea o *e-commerce* también es conocido como comercio electrónico (Marketing4ecommerce, 2020); y se define como el intercambio de productos o servicios a través de internet. El comercio en línea incluye desde ordenar contenido digital para su consumo inmediato (por ejemplo comprar música o consumir películas y series en portales de *streaming* como *Netflix*), hasta ordenar bienes o servicios convencionales como muebles o dispositivos electrónicos que se entregan en el domicilio o lugar de trabajo del comprador.

Las ventajas del comercio en línea son múltiples; entre ellas destaca la posibilidad de realizarlo las 24 horas del día, acceder a productos o servicios que se envían de forma nacional o internacional e incluso las empresas pueden garantizar que los productos lleguen al cliente en menos de 48 horas. Tal es el caso de la página web *Amazon*, en donde a través de una membresía mensual o anual, las personas pueden realizar sus compras sin pagar gastos adicionales por concepto de envío y recibir sus productos al día siguiente (*Amazon*, a), siendo un gran atractivo para aquellos compradores regulares. De forma adicional, muchos sitios en internet ofrecen precios competitivos con respecto a los ofrecidos por las tiendas físicas, pues no existen intermediarios ni gastos de transporte desde las bodegas hacia una tienda departamental, ya que el producto sale del centro de distribución directamente comprador.

Por otro lado, existen desventajas relacionadas con el comercio en línea, sobre todo para los pequeños negocios que muchas veces deben absorber los gastos de envío, se enfrentan a una competencia mayor debido a la inmensa oferta de productos y servicios en línea (Incentro, 2019) y además incurren en gastos

PREOCUPACIONES AL HACER COMPRAS EN LÍNEA



Figura 2.16. Preocupaciones de los usuarios al realizar compras en portales de internet (Deloitte, n.d.).

adicionales para proteger sus páginas web con el objetivo de garantizar la seguridad de las transacciones, evitar fraudes o robo de información personal de los clientes.

De acuerdo al portal de *Deloitte* (n.d.), el *Latin America eCommerce Report* en su edición 2018 realizado por eCommerce Foundation; reportó que México es el mercado más grande de comercio electrónico en Latinoamérica, generando un gasto de 21 millones de dólares. A pesar del valor del mercado, hoy en día existen retos para el e-commerce en México, como se reportó en el panel titulado *"Llevando la conectividad al siguiente nivel"*, los cuales se enlistan a continuación:

1. Bancarización, ya que la población no cuenta con productos financieros, pues tan solo en 2015 el 32% de la población adulta en México no tenía una cuenta bancaria.
2. Confianza, pues los usuarios dudan en dar datos personales al realizar compras en líneas por miedo a fraudes al momento de realizar el pago.
3. Logística, de acuerdo al análisis elaborado por la Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO), es necesario definir nuevos procesos para garantizar que los clientes tengan una experiencia adecuada.

A pesar de los retos que se presentan, la pandemia de COVID-19 causó una modificación en los hábitos de consumo de los mexicanos, reportando un crecimiento estimado del 60% para el cierre del 2020 (Excelsior, 2020). De esta forma, mientras las tiendas departamentales tuvieron que cerrar, se presentó una oportunidad para mejorar la planeación, infraestructura y sobre todo la logística del comercio electrónico en nuestro país. En el reporte 4.0 sobre el impacto de COVID 19 sobre las ventas en línea, realizado por la AMVO; se reportó que 5 de cada 10 empresas en México están duplicando su crecimiento en internet, y los consumidores viven un proceso de adaptación para confiar más en plataformas digitales para la compra de bienes o servicios (Forbes, 2020b). Sin embargo, aún existe temor por parte de los usuarios ante el robo de información, los cargos no reconocidos o la clonación de sus tarjetas (Figura 2.16), lo cual se espera disminuya con el tiempo y el mercado de las compras en línea continúe creciendo a lo largo de los próximos años.

“Hoy, el comercio electrónico en México tiene una gran importancia en el mercado. Existen market places, como se les llama a las plataformas de venta por internet, en las que cualquier vendedor puede subir y ofrecer sus catálogos para acceder a los clientes y usuarios de dichas plataformas.”

- Deloitte (n.d.)

2.7 LOGÍSTICA EN LA ENTREGA DE PAQUETERÍA

La logística para la entrega de paquetes es diferente para cada plataforma que existe en internet, pues algunas subcontratan servicios de transporte y otras cuentan con sus propios repartidores de mercancía. Por ejemplo, Amazon trabaja con transportistas asociados (Amazon, n.d) para el transporte y entrega de mercancía al usuario; aunque también incluye dentro de sus servicios de logística, la gestión de la totalidad (o algunas partes) del inventario de las empresas; con el objetivo de permitirles ofrecer sus productos en la plataforma y disminuir tiempos de entrega.

Debido a la naturaleza del proyecto, el equipo se enfocó en conocer la logística para entrega de paquetes y no en la parte relacionada con la gestión de inventarios. A partir de la información recopilada de internet y de las observaciones que se realizaron en colaboración con la empresa Re!-Corre, fue posible conocer el proceso que se realiza en un día, el cual se presenta en la figura 2.17 como un Mapa de Ruta de Usuario (Borja et. al., 2017). Dicho mapa permitió dividir la secuencia de acciones en tres etapas: Preproceso, para describir las actividades que se llevan a cabo de forma previa y hasta la recolección de paquetes; proceso, para explicar aquellas actividades que se realizan al comenzar el recorrido para la entrega de paquetes y hasta su entrega en el domicilio del consumidor; y posproceso, para la descripción de actividades que se realizan una vez entregados todos los paquetes de dicho día. Para la construcción del Mapa de Ruta se consideró como usuario al repartidor de paquetes, el cual puede ser la persona que maneja la camioneta o una persona que acompaña al chofer de la misma. El mapa que se presenta en la figura 2.15 describe las acciones o actividades que el usuario lleva a cabo; los puntos de contacto que un repartidor tiene con respecto a otros usuarios y objetos; su percepción ante dicha actividad, la cual puede estar relacionada con un sentimiento o emoción positiva, negativa o neutra; y finalmente, una descripción gráfica sobre dicha percepción (Martínez, 2021). De esta forma, durante el proceso de diseño es posible identificar aquellas acciones o actividades en donde una propuesta de diseño generará mayor impacto al modificar la experiencia del usuario.

SÍMBOLOGÍA EN MAPA DE RUTA

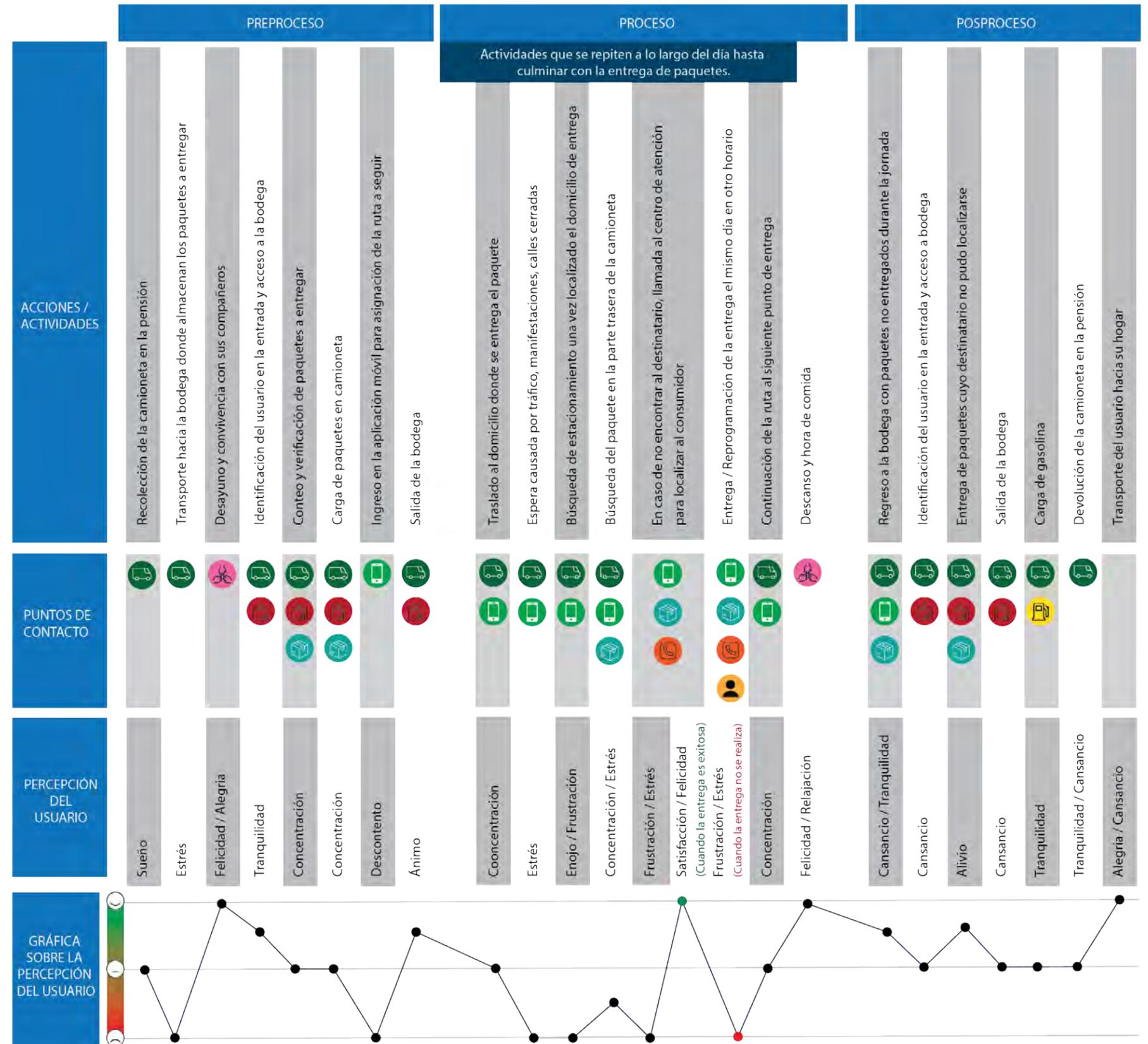


Figura 2.17 Mapa de ruta en de un repartidor al entregar paquetes al cliente final.



Figura 2.18 Manifestaciones (Forbes, 2019), irregularidades en el terreno (Novagob, n.d.), inundaciones (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2017) y estacionamiento en segunda fila (Secretaría de Seguridad Ciudadana de la Ciudad de México, 2016).

Como resultado del mapa de ruta, se identificó que la percepción del usuario tiende a ser negativa durante aquellas actividades que realiza de forma repetitiva durante la entrega de paquetes debido a los problemas viales que se encuentra durante el recorrido, lo cual ocasiona retrasos en las entregas subsecuentes. De esta forma, a través de las observaciones se identificaron diversas situaciones que entorpecen la logística del día; por ejemplo, el tráfico, manifestaciones que bloquean vialidades principales, calles estrechas donde las camionetas no pueden circular, choques vehiculares, inundaciones, baches o coladeras que dañan las llantas de la camioneta que transporta los paquetes, zonas habitacionales o corporativas donde no está permitido que las camionetas ingresen, falta de estacionamiento, así como tener que esperar en segunda fila de forma momentánea al entregar un paquete (Figura 2.18). Además de estas situaciones que enfrentan los repartidores durante los trayectos, se identificó que el proceso que se lleva a cabo al no localizar al destinatario, si bien garantiza que la información del consumidor esté protegida; alarga el tiempo entre cada entrega como resultado del tener que llamar a un centro de atención telefónica, esperar a que el consumidor atienda la llamada, confirmar si es posible dejar el paquete con algún vecino o incluso, tener que reprogramar la entrega en un horario posterior al establecido inicialmente.

El proceso de diseño continuó con la investigación documental sobre diversas modalidades de transporte con el objetivo de buscar alternativas que mejoren la logística en la entrega de paquetes. De esta forma, se buscó identificar qué propuestas existen en el mercado y analizar qué tipo de vehículo podría ser de utilidad para reducir los tiempos de transporte y entrega, que a su vez mejorara la experiencia del usuario durante su jornada laboral. Como resultado, a continuación se presenta la definición de vehículo de última milla; así como el resumen del estado del arte. El proceso completo puede consultarse en el trabajo de tesis de Martínez (2021), López (2020) y Hernández (2021). Posteriormente, se presenta el resultado de las dos iteraciones previas a este trabajo de tesis con relación a dos propuestas de vehículos de última milla, los cuales se presentaron a la empresa colaboradora y se probaron con el objetivo de obtener retroalimentación al respecto y continuar con el proceso de diseño.

2.8 ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO DE ÚLTIMA MILLA?

La última milla es un concepto que se utiliza para describir el último tramo de un trayecto; es decir, los últimos kilómetros que se recorren para llegar al destino final y que por lo general se realizan después de utilizar transporte público o automóvil (Hernández, et. al., 2020). Por lo anterior, un Vehículo Última Milla (VUM) se define en este documento de tesis como aquellos vehículos que se utilizan para recorrer el último tramo o los últimos kilómetros de un trayecto. Algunos ejemplos de vehículos última milla son las bicicletas y los scooters eléctricos. De esta forma, estos vehículos resultaron una propuesta interesante de explorar debido al crecimiento de las compras en línea y a la infraestructura disponible en las ciudades que vuelve costoso y difícil el transporte de mercancía (Carryway, n.d.), por lo cual los VUM eléctricos son una alternativa compacta y eficiente para las entregas de última milla.

Algunos beneficios de los VUM son el acceso en áreas donde los automóviles o camionetas no pueden ingresar, representan una inversión menor en comparación con la adquisición de un coche o una camioneta, los costos de operación son menores; existe una normatividad menos estricta en comparación con los vehículos convencionales y mejoran la seguridad al circular en velocidades menores a los 25 km/h. (Carryway.n.d.).



Figura 2.19 Ejemplos de vehículos de última milla en la entrega de paquetes. De izquierda a derecha (Reuters, 2021), (Milenio, 2019), (EQ Intenational, 2020).



Figura 2.20 Sistema Wing desarrollado por Google para la entrega de paquetería en Australia (ADSL zone, 2019).

2.9 ESTADO DEL ARTE

Como parte de la revisión documental, se identificaron patentes, análogos, homólogos y tendencias tecnológicas sobre los vehículos de última milla dedicados a la entrega de paquetes. Se considera análogo como aquél bien o servicio cuya función es similar o parecida a la del objeto de estudio pero que no es la misma (Rodríguez, 2019). En este caso, los análogos que se identificaron son aquellos vehículos que se utilizan para transporte de personas o mercancía cuyo objetivo es diferente a la entrega de paquetes; por ejemplo, los scooters eléctricos, las bicicletas, los vehículos que se utilizan dentro de los supermercados para que los usuarios con limitación motriz temporal o permanente puedan moverse al interior del recinto; los segways y los triciclos. (Figura 17). Por otro lado, se considera homólogo como aquél bien o servicio cuya función es la misma que la del objeto de estudio; por lo cual, en este caso, los homólogos que se identificaron son las camionetas y motocicletas en donde actualmente entregan paquetes, otros vehículos de última milla e incluso aquellos vehículos autónomos y drones que ya realizan entregas en algunos países, como Australia (ADSL zone, 2019), Estados Unidos y Europa (Figura 2.20).

En cuanto al estudio de patentes, se realizó la búsqueda y análisis de cualquier objeto registrado con derechos de autor relacionado a la protección de la propiedad intelectual; incluyendo modelos de utilidad, marcas y patentes. Este análisis permitió comparar entre propuestas de diseño y no infringir derechos de autor al momento de generar un nuevo producto, así como identificar aquellas tecnologías que podrían ser incluidas o adaptadas (Borja, et. al., 2006). En este caso, se identificaron modelos de utilidad sobre propuestas de diseño y diferentes configuraciones de los elementos en un vehículo; así como algoritmos o integración de los componentes relacionadas con las baterías que se utilizan y los sistemas de control y gestión (Figura 2.21).

Finalmente, la investigación sobre las tendencias tecnológicas permite identificar las ideas, tendencias e innovaciones en distintas partes del mundo e incluir aquellas que se alinean con la propuesta de valor del producto; sin embargo, es importante conocerlas, estudiarlas y analizar si es conveniente incluirlas; ya que los cambios tecnológicos pueden llegar a ser disruptivos y las tendencias pueden modificarse significativamente de un momento a otro. Como resultado, las tendencias tecnológicas que se identificaron están relacionadas con los vehículos

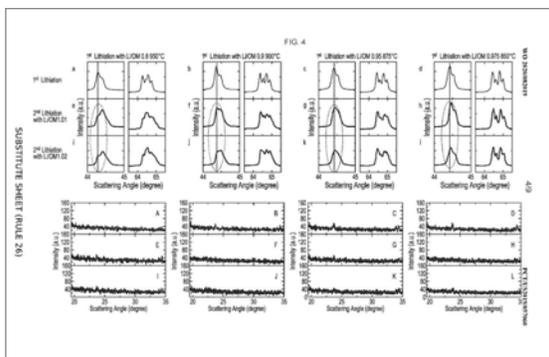


Figura 2.21 Patente relacionada con la fabricación de electrodos de níquel-cobalto-aluminio (NCA) para baterías recargables (Hongyang, n.d.), (Motorpasion, 2020).

autónomos y las entregas con drones (Figura 2.22). Sin embargo, la normativa y la infraestructura necesaria está en mejora continua; además de que las condiciones varían con respecto a los países en donde dichas propuestas ya están en servicio. Por otro lado, se identificó que los aspectos sustentables y su integración en el proceso de diseño son otra tendencia que busca disminuir la contaminación, reducir la cantidad de productos de un solo uso y reciclar o reusar las partes de un objeto, una vez que su vida útil llega a su fin.

Como parte del análisis documental, para cada bien o servicio identificado, se realizaron fichas comparativas con la información del producto, los componentes que lo integran, la velocidad máxima, peso, costo y observaciones adicionales (Figura 2.23).



Figura 2.22 Vehículo autónomo para entrega de paquetes de Amazon (CNBC, 2021).

Ficha comparativa - Tendencias tecnológicas	
Nombre del producto	Insurgentes / Chapultepec / Ajusco
Empresa	Bamboocycles
Fecha	2019
Descripción	Construcción de tu propia bicicleta de bambú
Componentes	Piezas de bambú
Autonomía	Manejado por una persona
Peso	No se indica
Costo	\$305 USD Construírla tu mismo (solo el cuadro)
Observaciones	El bambú resiste hasta 1 ton/cm ² en compresión (El doble de lo que permite el acero). Material ligero y absorbe hasta 4 veces más vibraciones que la fibra de carbono. Ni el bambú ni la fibra de carbono sufren fatiga. Las uniones se realizan con fibra de carbono unidireccional 50k (50,000 filamentos por módulo).
Referencias	https://bamboocycles.com/es/producto/aguascalientes2/#1523300391290-03cbdccb-4641 https://bamboocycles.com/es/producto/marco-insurgentes/ https://bamboocycles.com/es/producto/aguascalientes2/#1523074853585-6279b4e3-95c3

Figura 2.23 Fichas comparativas sobre diversos productos disponibles en el mercado.



Figura 2.24 Paquetes en sobres y cajas para ser entregados al consumidor en su domicilio.

Como resultado del estado del arte, se identificó que existe una gran variedad de vehículos disponibles, dependiendo del mercado meta. Por ejemplo, existen vehículos que están destinados a la movilidad de usuarios jóvenes como los scooters y las bicicletas; para los policías, como los segways; y para los adultos mayores, como los coches eléctricos de los supermercados. Por otro lado, en cuanto al transporte de mercancía, existen diferencias con respecto al contenedor que almacena los objetos, pues depende del volumen y el tipo de objeto a transportar. En el caso de la comida y artículos perecederos se utilizan cajas con recubrimiento de plástico para facilitar su limpieza y evitar que conserven olores; mientras que al transportar medicamentos u objetos que requieren refrigeración, se utilizan contenedores herméticos, compuestos de materiales aislantes. Como consecuencia, la propuesta de diseño para un vehículo de última milla dedicado a la entrega de paquetes contempló el uso de contenedor grande sin compartimientos para transportar sobres de cualquier tamaño, así como cajas medianas o pequeñas, de acuerdo a las observaciones que se realizaron con la empresa colaboradora (Figura 2.24). La ventaja de un contenedor único sin compartimientos permite contar con un espacio que se adecúa a las necesidades del día, pues el tamaño de cada sobre o paquete es diferente en cada ocasión.

Por otro lado, a partir de las tendencias tecnológicas, se identificó que la creación de productos sustentables busca modificar los hábitos de consumo a largo plazo, al mismo tiempo que disminuye la cantidad de desechos generados una vez que el ciclo de vida del producto llega a su fin. Como consecuencia, durante el proceso de diseño se incorporó el análisis comparativo sobre la selección de materiales para el vehículo de última milla, con el objetivo de identificar aquellos que generan un menor impacto ambiental y que pueden ser separados al final de su vida útil para reuso o reciclaje. Otra tendencia identificada fue el uso de baterías eléctricas en comparación al uso de gasolina o diesel; por lo cual, se decidió comparar los costos de operación de ambas opciones. Como resultado se identificó que al comparar el rendimiento de una van modelo Transporter Volkswagen que utiliza gasolina con respecto a un scooter Ninebot ES3 que ocupa una batería de 36V, al realizar recorridos equivalentes, el costo de la gasolina fue mayor en comparación con el costo de la electricidad (Hernández, 2021). Este resultado fue un primer parámetro de decisión para incorporar dicha tendencia dentro de la propuesta de diseño, pero considerando las limitaciones que un vehículo de última milla tiene con respecto a una camioneta;

por ejemplo, el menor volumen de carga que un VUM tiene, la velocidad máxima de 25 km/h en comparación con la velocidad de una camioneta y la autonomía, considerando la cantidad de kilómetros que se pueden recorrer con una carga completa de la batería en comparación con los trayectos que un tanque de gasolina completo otorga. Sin embargo, utilizar una camioneta con un VUM en su interior, resultó una propuesta interesante, la cual se exploró y se explica más adelante en este documento; en donde la camioneta llega a un punto central a partir del cual el VUM comienza los recorridos para entregar paquetes en áreas corporativas y zonas habitacionales donde las camionetas ven limitada su circulación.

En cuanto a la tendencia de vehículos autónomos para entregar paquetes, se identificó que países en vías de desarrollo presentan mayores retos en comparación con aquellos que están implementando estas soluciones actualmente. Sin embargo, en el trabajo de tesis de Hernández (2021), dicha posibilidad se explora en mayor profundidad a través del planteamiento de las condiciones necesarias para la operación de un Sistema de Guiado Automático o AGV por sus siglas en inglés; así como la definición de los sistemas con los sensores y componentes electrónicos necesarios para su implementación a futuro.

2.10 TRABAJO PREVIO SOBRE VEHÍCULOS DE ÚLTIMA MILLA

Como resultado de la línea de investigación que se lleva a cabo en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Facultad de Ingeniería en colaboración con el Centro de Investigaciones en Diseño Industrial (CIDI) de la Facultad de Arquitectura; se desarrollaron dos prototipos de vehículos de última milla. El primero de ellos se llamó VUM y el objetivo fue conocer de forma general todos los elementos que integran los vehículos de este tipo. El segundo se nombró VUMi2 por las siglas para Vehículo de Última Milla - innovación; con el número 2 indicando que era la segunda versión del vehículo. Para este segundo prototipo, el objetivo fue diseñar un vehículo que se convirtiera en maleta para que los repartidores pudieran ingresar a los edificios de corporativos sin tener que dejarlo estacionado en la calle. A continuación se presenta un resumen del proceso de diseño que se llevó a cabo para cada prototipo como antecedente al presente trabajo de tesis. El proceso de diseño completo sobre dichos prototipos se puede consultar a detalle en el trabajo de tesis de Hernández (2021), López (2020) y Martínez (2021).

2.10.1 VUM

VUM fue el primer prototipo funcional que se construyó con el objetivo de conocer los sistemas y elementos que integran un vehículo de última milla. En la figura 2.22 se enlistan los sistemas y subsistemas que lo integraron (Martínez, 2021). De todos ellos, el sistema de plegado fue el que se incorporó al final de la iteración con el propósito de convertir el vehículo en maleta como respuesta a los últimos hallazgos identificados durante el ciclo, sin embargo, esto se explicará más adelante en el apartado sobre VUMi2.

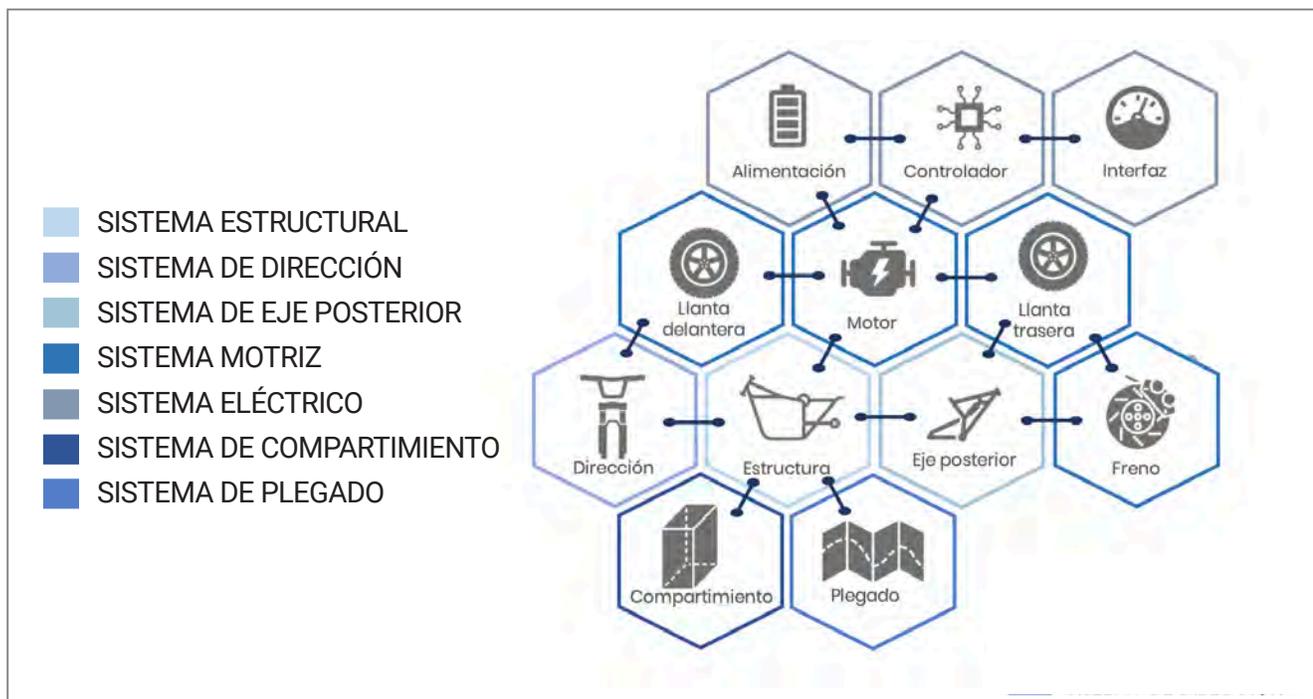


Figura 2.25 Sistemas y subsistemas que integraron la propuesta VUM (Martínez, 2021).

El establecimiento de esta primera propuesta fue consecuencia de la investigación documental y de las observaciones en campo con respecto a la dinámica en la entrega de paquetes. A partir de lo anterior, fue posible definir los enunciados de requerimientos, los cuales se muestran en la figura 2.26. De dichos enunciados, se identificaron aquellos aspectos técnicos y de diseño a considerar, sobre los cuales se enfocaron los primeros recursos (aquellos marcados en amarillo). Por otro lado, el requerimiento 9, indicado en gris, se consideró como un enunciado que se evaluaría en las pruebas con usuarios, ya que la normativa indica que los conductores no pueden manipular un dispositivo móvil con las manos al mismo tiempo que manejan el vehículo; pero no especifica si es posible que los usuarios sigan indicaciones a través de una app móvil durante el recorrido.

REQUERIMIENTOS		
NO.	REQUERIMIENTO	ASPECTO A CONSIDERAR
1	El costo máximo estimado del Vehículo de Última Milla es de 30,000 MXN	- Costo de desarrollo - Precio final del producto
2	El volumen del VUM almacena al menos 35 paquetes	- Volumen de carga
3	El usuario asciende y desciende del VUM con regularidad a lo largo de su trayecto para entregar paquetes	- Facilidad de uso - Ergonomía del producto
4	La señalización visual y sonora del VUM permite su circulación en Ciudad de México	- De acuerdo a la normatividad de Ciudad de México - Cantidad, tipo y color de luces (frontal y posterior) - Elemento para señalización sonora (bocina o campana)
5	La velocidad máxima del VUM es de 25 km/h	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México - Potencia del motor - Velocidad máxima
6	Las piezas de refacción para el mantenimiento del VUM son comerciales	- Incorporación de piezas comerciales - Procesos de manufactura para el prototipo
7	La estructura del VUM soporta el peso de los paquetes y de un usuario	- Análisis estáticos y dinámicos de la estructura - Pruebas con usuarios
8	El VUM se utiliza en zonas corporativas y residenciales	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México
9	El VUM cuenta con un soporte para celular	- Analizar la interacción durante las pruebas con usuario
10	El VUM circula en zonas con tráfico y/o ciclovía, incluyendo terrenos irregulares como desniveles, topes y baches	- Potencia del motor - Tipo de llantas - Amortiguamiento - Dimensiones del producto con base en la normativa
12	El mantenimiento del VUM es mínimo	- El mantenimiento lo realiza personal de la empresa que no posee conocimiento técnico sobre las conexiones eléctricas
13	La apariencia del VUM va acorde a los mismos lineamientos estéticos de las camionetas en donde entregan paquetes	- La apariencia es sencilla, evita que terceros identifiquen el contenido del vehículo y no contiene propaganda de otras empresas
14	El VUM es cómodo	- Revisar las medidas antropométricas - Obtener retroalimentación a partir de pruebas con usuarios
15	El VUM es eléctrico	- Potencia del motor - Autonomía de la batería
16	El sistema de ubicación en tiempo real del VUM permite conocer su posición en cualquier momento	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México - Implementación de un sistema GPS
17	El sistema de frenado es mecánico y detiene o desacelera el VUM	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México - Diseño del sistema de frenado
18	El parador del VUM mantiene en pie el vehículo por sí mismo	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México - Diseño del parador
19	El sistema de seguridad bloquea y desbloquea el VUM al inicio y término de un viaje	- De acuerdo a la normatividad de circulación en Ciudad de México - Diseño electrónico - Seguridad del sistema
20	El VUM cuenta con un número de identificación.	- Incorporación de número de serie del producto

Figura 2.26 Enunciados de requerimientos y aspectos a considerar durante el proceso de diseño.

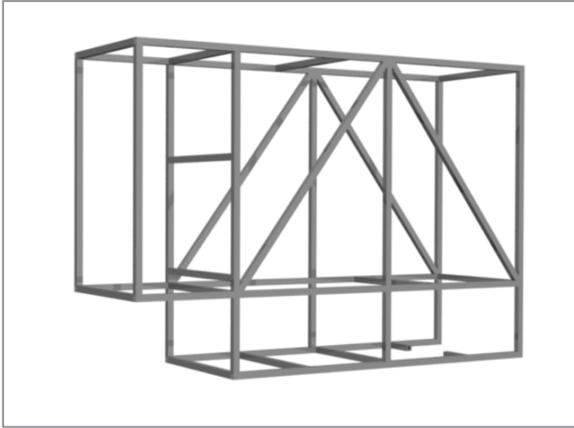


Figura 2.27 Estructura de VUM conformada por tubular de acero al carbón de 1/2 in.

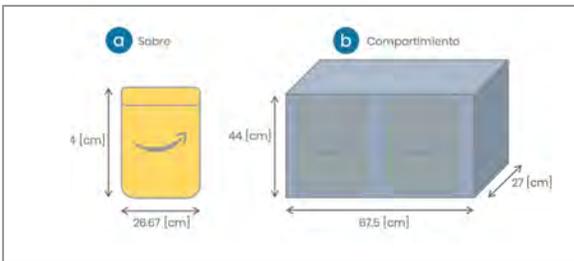


Figura 2.28 Cálculo del volumen para el compartimiento donde se almacenan los paquetes (Martínez, 2021).



Figura 2.29 Ángulo de lanzamiento (θ_a) para la dirección de VUM (López, 2020).

Los requerimientos sobre los cuales se enfocó el equipo durante esta etapa del proyecto se asociaron a la selección de componentes electrónicos y de alimentación del VUM; así como una primera propuesta de estructura; por lo cual, con respecto a este último punto, se utilizó una configuración space-frame o multitubular, considerando perfil tubular cuadrado de acero de 1/2 in, así como partes de una bicicleta para la dirección del prototipo (Figura 2.27); además de los procesos de manufactura disponibles dentro de la universidad.

A pesar de que el volumen de carga se estableció a partir de una cantidad mínima de 35 paquetes, para establecer el volumen del contenedor se utilizó como base un sobre cuyas dimensiones fueron 26.6 cm de alto, 40.6 cm de ancho y 1.5 cm de espesor (López, 2020). De esta forma, para transportar los 35 paquetes se definió un volumen de contenedor de 0.08 m³; es decir, con dimensiones de 27 cm de ancho, 67.5 cm de largo y 44 cm de alto. Cabe señalar que las dimensiones de los paquetes varían cada día, por lo cual el análisis que se realizó fue una aproximación con respecto a los sobres que utilizan para entregar los paquetes (Figura 2.28).

La carga total se consideró de 150 kg, incluyendo la masa del usuario conductor, los paquetes y el vehículo; mientras que de un análisis comparativo sobre los elementos de varios VUM (López, 2020) se concluyó que la rodada de 10 in, neumática, resultaba conveniente para desempeñarse de forma satisfactoria en baches y topes; por lo cual, no se consideró otro elemento adicional de amortiguamiento para el vehículo. Por otro lado, la velocidad máxima se delimitó con respecto a la normatividad de tránsito de la Ciudad de México, siendo de 25 km/h para ser considerado como un vehículo no motorizado.

Una vez definida la masa, el volumen, un ángulo de avance o de lanzamiento de 13° para la dirección (Figura 2.29), una estructura base y el tipo de llanta a utilizar; se realizó el modelado matemático sobre la dinámica longitudinal del VUM como un vehículo de dos ruedas. Como resultado se identificó que para mover el vehículo se requeriría una potencia de al menos 264 Watts (López, 2020); por lo cual se seleccionó un motor eléctrico sin escobillas de 500 Watts.

En cuanto al sistema de alimentación, se realizó el cálculo para identificar la batería que otorgaría una autonomía de 10 km como mínimo. Por lo cual, se identificó que una batería de 10.4 [Ah]

brindaría la energía necesaria para cumplir con la especificación meta. De esta forma se seleccionó una batería de Litio-Niquel-Magnesio-Óxido de Cobalto de 10 [Ah] que otorga un voltaje nominal de 48 [V] (Targray, n.d.).

Para el freno del sistema se consideró un caliper en la parte posterior del vehículo, el cual de forma mecánica y a través de una palanca que se coloca en el manubrio, permite el frenado del vehículo.

Finalmente, el precio del producto se estableció en 30,000 MXN ya que fue el valor que la empresa colaboradora identificó como la cantidad que estaría dispuesta a invertir para adquirir uno de estos vehículos, por lo cual dicha cantidad fue un aspecto a considerar durante las etapas posteriores del proyecto.

De esta forma el resultado fue un prototipo que se probó con 10 usuarios del Centro de Ingeniería Avanzada dentro de la Facultad de Ingeniería, a partir de los cuales se obtuvo retroalimentación al respecto (Figura 2.30).



Figura 2.30 Primer prototipo de VUM y pruebas con usuarios del Centro de Ingeniería Avanzada de la Facultad de Ingeniería.



Figura 2.31 Bicicletas estacionadas sobre la acera y atadas a un poste o señalamiento vial.



Figura 2.32 Motocicleta estacionada en el carril de baja velocidad.

Como resultado de las pruebas con usuarios, se identificaron los aspectos que mejorarían la comodidad y la funcionalidad, los cuales se tomaron en consideración durante la siguiente iteración del proyecto; por ejemplo, la altura y el ancho del vehículo resultaron de incomodidad para los participantes y durante la prueba no sabían donde colocar los pies, por lo cual incluir unos reposapiés mejoraría la experiencia del usuario. Por otro lado, los usuarios indicaron que la sensibilidad del vehículo los hizo perder el equilibrio cuando iban a una velocidad baja, lo cual se modificó posteriormente a partir del ángulo de lanzamiento del prototipo. En cuanto al funcionamiento, el vehículo tuvo un buen comportamiento durante las pruebas y a través de este primer prototipo se analizó y se probó la integración de los elementos que componen un VUM, lo cual permitió avanzar a la siguiente iteración tomando en cuenta los resultados de esta etapa, dando por concluida la primera fase.

2.10.2 VUMi2

Con los resultados de VUM y de las reuniones con los asesores de la empresa colaboradora se identificó que el potencial del vehículo se encontraba en la entrega de paquetes en corporativos en donde la camioneta no tiene acceso, ya que son lugares con espacios limitados para estacionarse. Por lo cual, se realizaron observaciones en dichas zonas. Como resultado se observó que aquellos repartidores que entregan paquetes en bicicleta o scooter dejan su vehículo estacionado sobre la acera o amarrado con cuerdas o cadenas a postes, señalamientos vehiculares o árboles (Figura 2.31) mientras que aquellos que utilizan motocicleta se estacionan sobre la avenida en el carril de baja velocidad de forma similar a las camionetas, entorpeciendo la movilidad en la zona (Figura 2.32). En cuanto a la entrega de paquetes se identificó que los repartidores se enfrentan a uno de los tres escenarios siguientes: En el primer escenario, el repartidor llama al destinatario del paquete para que baje a la entrada, en donde se realiza la entrega. Por lo general, en este escenario se identificó a aquellos repartidores de comida a domicilio. En el segundo escenario, el repartidor entra al edificio por el acceso principal en donde se identifica y puede utilizar el elevador para entregar el paquete en el piso del destinatario. En este escenario se identificó a aquellos repartidores de paquetes pequeños o de mensajería. Finalmente, en el tercer escenario el repartidor accede por el estacionamiento, donde usa el elevador de carga para llegar al piso en donde se encuentra el destinatario.

En este último escenario se identificó a aquellos repartidores con paquetes medianos o grandes, los cuales utilizan el elevador de carga para tener acceso al edificio; sin embargo, este escenario es el más tardado ya que la velocidad de dichos elevadores es menor en comparación con los elevadores para personas, ya que transportan objetos voluminosos y de gran masa. Finalmente, durante la realización de las observaciones se tuvo la oportunidad de entrevistar al guardia de un edificio, el cual mencionó que la forma de entrega depende del reglamento del corporativo y que el acceso y entrega por la entrada principal está condicionada al tamaño del paquete y a la estética del contenedor en donde los repartidores transportan los paquetes; ya que los contenedores llegan a desprender olores o ensuciar la ropa de otros usuarios que utilizan al mismo tiempo el elevador.

Dichas observaciones en corporativos se realizaron en septiembre de 2019 y durante esa fecha se identificaron zonas con ciclovía (Condesa, La Roma) y zonas sin carril exclusivo de ciclovía (Insurgentes Sur). Como consecuencia, se decidió incorporar los elementos adicionales que permitirían al vehículo circular por estos carriles con el objetivo de tomar ventaja de la infraestructura para vehículos no motorizados de acuerdo a la normatividad de tránsito de la Ciudad de México con el propósito de entregar más paquetes en menos tiempo.

A partir de las observaciones, se tomó la decisión de construir un prototipo de vehículo que se convirtiera en maleta, ya que esto le permitiría al repartidor entrar por el acceso principal del edificio,



Figura 2.33 Funciones de diseño especificadas a partir de los hallazgos de las observaciones (Martínez, 2021).

no perder de vista los paquetes, evitar buscar estacionamiento al exterior del edificio y no utilizar el elevador de carga; dándole mayor control del tiempo al repartidor en cada entrega. Como consecuencia, se establecieron dos funciones de diseño (Figura 2.33); la primera en donde el repartidor tiene acceso al edificio con el vehículo en forma de maleta y la segunda en donde deja el vehículo estacionado afuera del edificio. Con esta propuesta se realizó la construcción de los enunciados de requerimientos adicionales con respecto a ambas funciones de diseño (Figura 2.34).

REQUERIMIENTOS ADICIONALES		
NO.	REQUERIMIENTO	ASPECTO A CONSIDERAR
21	El VUM tiene un grado IP 52 como mínimo.	- Evita la acumulación y transmisión de suciedad (considerando goteo de agua y polvo).
22	La estética del VUM va acorde al ambiente corporativo.	- Permite que el repartidor ingrese por el acceso principal de un edificio con el vehículo.
23	El VUM se transforma en maleta.	- Volumen total similar al de una maleta de 28 in.
24	El VUM se pliega y oculta los elementos que lo distinguen como vehículo.	- Las llantas, el manubrio y aquellos elementos que asocian al objeto con un vehículo se ocultan.
25	El VUM tiene un sistema de seguridad para protección de los paquetes.	- Garantiza que al dejar estacionado el vehículo fuera del edificio, los paquetes están seguros.

Figura 2.34 Requerimientos adicionales de acuerdo a la propuesta de diseño en donde el VUM se convierte en maleta.

Finalmente, de las pruebas con usuario de la etapa anterior se identificó que la comodidad, la incorporación de los reposapiés y la altura del vehículo son aspectos que ya se habían considerado en el establecimiento de los requerimientos generales, por lo cual no fue necesario agregar o modificar dichos enunciados pero sí incorporar los datos de medidas antropométricas para el establecimiento de la siguiente propuesta.

Por lo anterior, se generó un modelo sobre el vehículo el cual se nombró VUMi2. La propuesta estética proponía cubrir las llantas para evitar llamar la atención y lograr encajar en el ambiente corporativo; además de incorporar un manubrio telescópico y dos llantas adicionales de 2 in de diámetro para utilizar el objeto como maleta (Figura 2.35 y figura 2.36).



Figura 2.35 VUM en modo vehículo. A la derecha se muestra el pliegue del manubrio, las llantas de 10 in ocultas y las llantas de 2 in al frente para mover el objeto en modo maleta.



Figura 2.36 VUM en modo maleta. A la derecha se muestra como se tiene acceso a los paquetes.



Figura 2.37 En la izquierda, vista interior del compartimiento para paquetes; en la derecha, acceso al sistema para mantenimiento.



Figura 2.38 Llantas frontales de 2 in de diámetro y mecanismo para bloquear el movimiento del manubrio.



Figura 2.39 Reposapiés a los costados del vehículo.

Como ya se tenía manufacturado VUM, se decidió realizar las modificaciones pertinentes sobre el mismo prototipo; pero esta vez enfocando los recursos en esta segunda propuesta para convertir el vehículo en maleta; por lo cual los componentes electrónicos, el motor y la batería seleccionada en la etapa anterior se conservaron.

Para este segundo prototipo se generaron dos compartimientos independientes: uno para almacenar todos los elementos electrónicos y otro para el contenedor de paquetes (Figura 2.37), aumentando el volumen de carga a $0.093 \text{ [m}^3\text{]}$. Se realizó también la modificación del ángulo de lanzamiento, aumentándolo 3° con el objetivo de disminuir la inestabilidad al manejarlo a bajas velocidades. Además se incorporó un manubrio telescópico con un mecanismo de bloqueo del mismo, así como dos llantas de 2 in de diámetro en la parte frontal para lograr su uso en modo maleta (Figura 2.38). En cuanto al acceso de paquetes se definieron dos: uno en el asiento del usuario y otro en la parte posterior del vehículo. De esta forma, el repartidor podía retirar el paquete utilizando el acceso que le resulte más conveniente (Figura 2.40). La altura del VUM se modificó y se colocaron dos reposapiés en cada costado de acuerdo a las medidas antropométricas para la población mexicana (Figura 2.39). Finalmente, el prototipo se recubrió con pintura blanca para identificar aquellas zonas de mayor contacto y de mayor desgaste del vehículo.



Figura 2.40 Acceso al contenedor de paquetes por la parte posterior del vehículo y por el asiento.

Posteriormente, se realizaron pruebas con usuarios para obtener retroalimentación sobre la comodidad; analizar si el cambio en la altura no limitaba su uso al pasar topes, baches o terrenos irregulares; identificar como los repartidores realizan el acomodo de los paquetes; probar si todos los paquetes que se entregan en una zona determinada en un día laboral cabían en el compartimiento y finalmente, identificar cómo subirían el VUM a la camioneta para su transporte a una zona corporativa.

Como resultado, se identificó que la altura y la distancia entre ejes del prototipo fue óptima para transitar por obstáculos como topes de concreto y de polietileno (Figura 2.41); además los usuarios describieron una mayor comodidad y confianza al manejarlo pues el temor al desequilibrio disminuyó (Figura 2.42). VUMi2 se probó en rampas con ángulos de 3° y 8° en donde tuvo un comportamiento exitoso al lograr transitar por dichas elevaciones (Figura 2.43). Finalmente, en cuanto a los baches o zonas empedradas se identificó que el tamaño de la llanta neumática presentó un buen comportamiento y no se atascó ni tuvo problemas durante los trayectos. De esta forma se logró recorrer 11.15 [km] en 1.5 [h], siendo esta la autonomía que nos otorgó la batería de 48 [V] a 10[Ah].



Figura 2.41 Pruebas del vehículo en topes de concreto y polietileno.



Figura 2.43 Pruebas en rampas y en terrenos irregulares como empedrados.



Figura 2.42 La altura del prototipo y el cambio en el ángulo de lanzamiento disminuyó la sensación de perder el equilibrio durante las pruebas.



Figura 2.44 Dos usuarios sobre el VUMi2 como parte de las pruebas extraordinarias.



Figura 2.45 Pruebas al subir y bajar VUMi2 de una camioneta.

Otra prueba realizada fue identificar el radio de giro, el cual fue de 1.30 [m] a una velocidad de entre 8 y 10 [km/h] y de 2.90 [m] a una velocidad de entre 15 y 20 [km/h]. Por otro lado, se realizó una prueba bajo la condición extrema de transportar dos usuarios a la vez en un terreno plano con pocas irregularidades (Figura 2.44), dando como resultado un buen comportamiento de la estructura, lo cual posteriormente se comprobó a través de un análisis de elemento finito (FEM por sus siglas en inglés); sin embargo, el trayecto fue de incomodidad para el segundo usuario debido al tamaño del asiento y a la falta de reposapiés. Lo anterior fue de utilidad para delimitar el uso del producto a una sola persona a través de las dimensiones del VUMi2.

En cuanto a la prueba sobre el volumen del contenedor, se identificó que en un día laboral en donde se debían entregar 9 paquetes dentro de Ciudad Universitaria, se logró el acomodo de 8 de ellos dentro del VUMi2; lo anterior considerando cajas y bolsas de diferente tamaño y forma (Figura 2.46). El paquete de mayores dimensiones fue de 47 cm de largo, 38 cm de ancho y 22 cm de profundidad (Martínez, 2021). Durante la realización de las pruebas se contó con la participación de dos repartidores y un chofer, con los cuales se identificó que en la parte posterior de la camioneta sería posible transportar entre 3 y 4 VUMi2; y que 2 usuarios serían necesarios para subir y bajar los vehículos de última milla (Figura 2.45).

De esta última prueba fue posible identificar las superficies funcionales en donde se presentó el contacto para la manipulación del vehículo.

Finalmente, de la retrolimentación de los repartidores y el chofer, se identificó que la transformación en maleta fue complicada al realizarla un solo usuario, ya que el peso del VUMi2 fue de 34.12 [kg]. Además, los repartidores comentaron que las políticas de cada edificio eran tan diversas en cuanto al acceso, que preferían dejarlo estacionado en la parte exterior. Lo anterior también se fundamentó en la posibilidad de tener que usar las escaleras al ingresar al edificio, lo cual haría incómodo y difícil su manipulación, así como aumentar el tiempo entre cada entrega. Por otro lado, al analizar la comodidad, los usuarios comentaron que la parte del asiento era incómoda debido al ancho y a la forma cuadrada, pero que su conducción fue sencilla y que incluso podía compararse con el manejo de un scooter o una bicicleta y aunque al inicio presentaron dudas con respecto a mantener el equilibrio, después de unos minutos no tuvieron dudas con respecto a la forma de manejo y aumentaron la velocidad de uso.

Con los resultados obtenidos y de las juntas con los asesores de la empresa, se decidió descartar el concepto de convertir el vehículo en modo maleta, pero continuar el proceso de diseño para utilizar el VUM en ciclovías con el propósito de entregar paquetes en zonas corporativas, y así extender su uso en espacios habitacionales donde se presentan problemas similares al ser conjuntos de edificios en donde el espacio para estacionar es limitado.

De esta forma, este proyecto de tesis documenta el proceso de diseño que se llevó a cabo durante la última etapa para la construcción del tercer prototipo VUMi3, en donde se realizó una iteración adicional con el propósito de reestructurar la experiencia del usuario, cumplir con los requerimientos restantes de la tabla que se planteó inicialmente (Figura 2.26) y finalmente contar con un prototipo que se acerca más a un producto que posteriormente pueda manufacturarse en serie.



Figura 2.46 Acomodo de los paquetes en el contenedor del VUMi2.

CAPÍTULO 3

DEFINICIÓN DEL PROYECTO



Figura 3.1. Definición del proyecto.

El siguiente capítulo presenta la definición de los lineamientos generales que direccionaron el proceso de diseño durante la tercera etapa del proyecto. Al inicio se explica cómo se realizó la búsqueda de un mercado potencial para un Vehículo de Última Milla, culminando con el establecimiento de una colaboración con la empresa Re!corre dedicada a la entrega de paquetería dentro de las principales ciudades de México. Una vez establecido el reto de diseño, se definió el objetivo inicial del proyecto; sin embargo, debido a los resultados y las conclusiones de las etapas anteriores, dicho objetivo se modificó para incorporar un cambio en la experiencia del usuario a través de una propuesta de vehículo eléctrico que utilice la infraestructura de ciclovía y el carril de baja velocidad para vehículos motorizados.

Posteriormente, se presenta la metodología de diseño centrado en el usuario utilizada en la generación de productos o servicios, la cual permite involucrar al usuario en todo el proceso para establecer una propuesta de valor que realmente solucione las necesidades de las personas. Después, el proceso de diseño se presenta en un diagrama con el propósito de situar al lector en la tercer etapa del proyecto, así como explicar la forma en la cual se trabajó haciendo uso de las iteraciones propuestas por la metodología de diseño.

La siguiente sección presenta los alcances y entregables que se generaron como resultado de la tercera etapa y con los cuales se concluyó el proceso de diseño. Finalmente, se presentan los participantes que formaron parte del proyecto, incluyendo a los profesores, alumnos y asesores de la empresa colaboradora.

3.1 EL RETO

Al inicio del proyecto se contó con el siguiente enunciado, el cual se estableció como el reto a través del cual se comenzó a trabajar en la búsqueda de soluciones:

“Diseñar un prototipo de un vehículo de movilidad personal portable y plegable para recorrer trayectos menores a 10 km con el propósito de reducir el tiempo de traslado y el desgaste físico del usuario.”

Por lo anterior, las primeras observaciones que se realizaron se enfocaron en un escenario universitario, específicamente sobre la Universidad Nacional Autónoma de México en su campus Ciudad Universitaria, en donde un vehículo de movilidad personal redujera los tiempos de traslado entre una terminal de transporte público (Metro, Metrobús o camiones) con la Facultad, Instituto o Dependencia destino de jóvenes universitarios, profesores y/o personal administrativo. Sin embargo, de las observaciones se identificó que la mayor parte de los usuarios hacen uso del sistema de préstamo de bicicletas *Bicipuma*, el cual es gratuito para la comunidad universitaria con credencial vigente y que fomenta la movilidad sustentable y la salud (Dirección General de Servicios Generales y Movilidad DGSGM, a); así como del *Pumabús*, el cual es un sistema de autobús gratuito para el público en general que permite la movilidad de usuarios dentro del campus a través de 12 rutas diferentes (DGSGM, b); por lo cual, se identificó que los usuarios jóvenes realizan ejercicio al mismo tiempo que reducen el tiempo de traslado al utilizar la bicicleta, mientras que los adultos mayores o aquellos con limitación motriz temporal o permanente hacen uso de una ruta de *Pumabús* para completar la última milla de su recorrido.

Con las conclusiones de las observaciones y la búsqueda de otro mercado con potencial de incorporar un vehículo que mejorara la movilidad de usuarios y/o mercancía, surgió la posibilidad de colaborar con la empresa *Re!-corre*, la cual es una empresa mexicana dedicada al reparto de mercancías con recolección y entrega en un mismo día; y que ofrece servicios dentro de la Ciudad de México y Área Metropolitana, Puebla y Guadalajara (*Re!-corre*, n.d.). De esta forma, fue posible encaminar los recursos a mejorar la logística en la



Figura 3.2 Servicio de préstamo de bicicletas Bicipuma dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria (DGSGM, a).

entrega de paquetería a través de una propuesta de Vehículo de Última Milla. Como consecuencia, el reto se redefinió de la siguiente forma:

“Generar una propuesta de vehículo para mejorar la logística en la entrega de paquetes con el propósito de reducir el tiempo de traslado y el desgaste físico del usuario.”

3.2 OBJETIVO

Una vez definido el reto, el objetivo inicial se definió de la siguiente forma:

“Generación de una propuesta de vehículo de movilidad personal que permita la entrega de paquetes de una manera más eficiente en zonas de difícil acceso, reduciendo tiempo y costos de envío a mediano y largo plazo.”

Sin embargo, dicho objetivo se modificó conforme se avanzó en el proceso de diseño, pues como se explica en el capítulo 2 de este documento, el primer prototipo VUM se enfocó en analizar e integrar los elementos que componen un Vehículo de Última Milla; mientras que VUMi2 contemplaba la conversión del vehículo en maleta para que los usuarios pudieran ingresar con él por el acceso principal de edificios corporativos. Como resultado y con base en las conclusiones de las pruebas con usuarios y de la retroalimentación sobre el segundo prototipo, se tomó la decisión de continuar el proceso de diseño para generar una propuesta que resolviera la totalidad de los requerimientos inicialmente planteados sobre un Vehículo de Última Milla eléctrico con la capacidad de utilizar la infraestructura de ciclovía, así como el carril de baja velocidad de calles y avenidas dentro la Ciudad de México. Por lo anterior, el enunciado sobre el objetivo de esta tercer iteración se definió de la siguiente forma:

“Generación de una propuesta de Vehículo de Última Milla eléctrico para la entrega de paquetes en zonas de difícil acceso de la Ciudad de México a través de la infraestructura disponible de ciclovía y carriles de baja velocidad para vehículos motorizados.”



Figura 3.3 Ruta del sistema gratuito Pumabús (DGSGM, b).

Una vez definido el objetivo de la tercera etapa, se recurrió a la metodología de diseño centrado en el usuario para generar la propuesta de diseño.

3.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Con el propósito de cumplir con el objetivo planteado anteriormente, se recurrió a la metodología del Laboratorio de Innovación en Diseño, la cual tiene un enfoque centrado en el usuario con el objetivo de identificar las necesidades a través de observaciones, establecer posteriormente los requerimientos y finalmente definir las especificaciones de la propuesta de diseño. La metodología propone trabajar en ciclos o iteraciones en donde se cuenta con la participación activa de los usuarios para los cuales se pretende diseñar un producto o servicio; pues a través de su experiencia, su punto de vista y la retroalimentación que proporcionan en cada etapa, es posible identificar aquellos aspectos a mejorar o modificar para garantizar que las necesidades y los requerimientos inicialmente planteados se satisfagan.

La metodología de diseño centrada en el usuario incorpora los siguientes cuatro ciclos de trabajo (Figura 3.4):

CICLO I. Usuario
CICLO II. Experiencia
CICLO III. Producto
CICLO IV. Prototipo

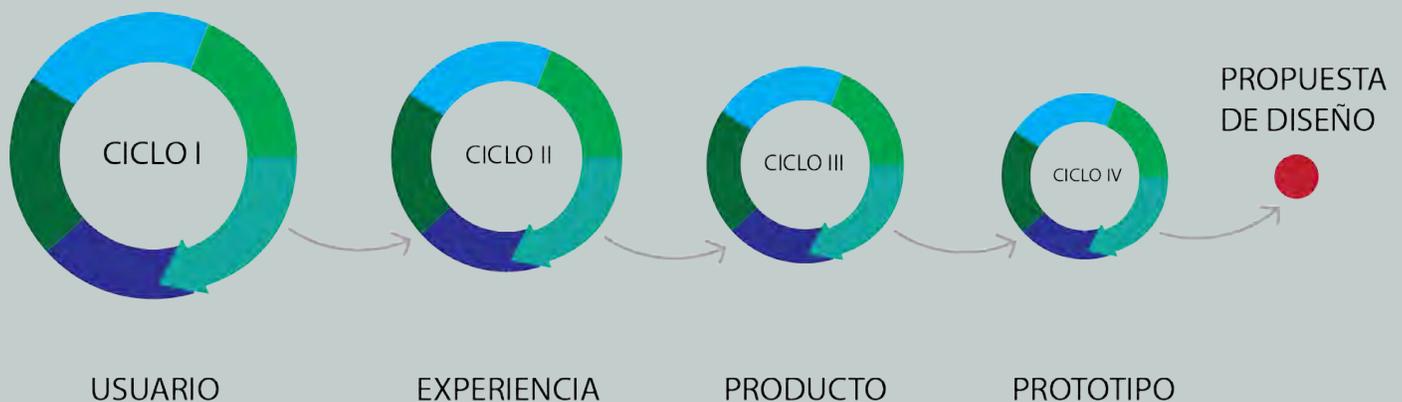


Figura 3.4 Metodología de diseño centrada en el usuario utilizada en el Laboratorio de Innovación en Diseño.

El ciclo I comienza a partir de la definición del reto y el objetivo general del proyecto, a partir de los cuales se identifica al usuario para el cual se diseñará el producto o servicio; observando la interacción actual con el objeto de estudio y realizando la investigación documental que permite conocer los productos disponibles en el mercado a través de patentes, análogos, homólogos y tendencias tecnológicas. Como conclusión de esta iteración se identifican las necesidades que los usuarios tienen con respecto al producto o servicio.

Con base en lo aprendido en el ciclo I, el ciclo II integra los hallazgos que surgieron de la identificación de necesidades para establecer la lista de requerimientos. Además se define la experiencia del usuario; es decir, se plantea cómo la propuesta de diseño de un producto o servicio modificará o mejorará la interacción que el usuario tiene con el objeto.

Posteriormente, el ciclo III se enfoca en generar y probar las ideas sobre cómo satisfacer los requerimientos planteados, por lo cual se recurre a la construcción de prototipos rápidos para identificar la viabilidad de una solución. Ejemplos de prototipos son los simuladores, modelos y bocetos o dibujos (Borja et. al., 2011); los cuales se prueban con usuarios con el objetivo de conocer su punto de vista y obtener retroalimentación sobre los aspectos positivos o negativos de cada concepto.

Finalmente, el ciclo IV permite definir las especificaciones del producto y el diseño de detalle; así como la documentación que permita manufacturar el producto, teniendo como resultado un prototipo funcional sobre la propuesta de diseño.

Si bien la metodología contempla cuatro ciclos de trabajo, las necesidades particulares de cada proyecto definen la cantidad de iteraciones que se realizan, lo cual brinda flexibilidad durante el proceso de diseño. Por otro lado, la metodología permite diverger en cada etapa con el propósito de buscar soluciones innovadoras y creativas; pero al mismo tiempo se busca la convergencia como resultado de la retroalimentación constante que se obtiene al involucrar al usuario durante todo el proceso para la toma de decisiones.

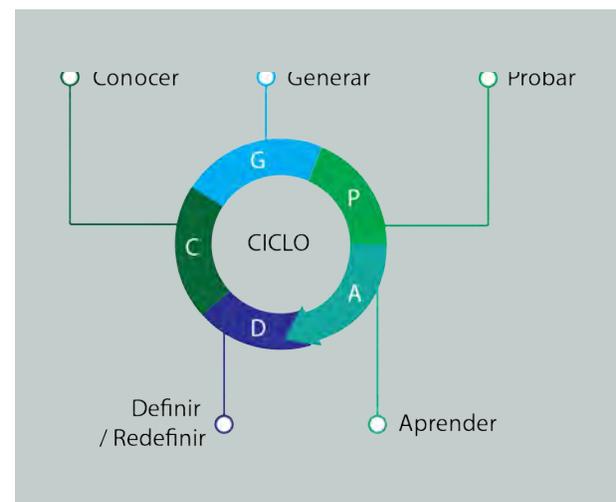


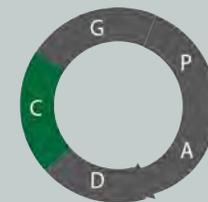
Figura 3.5 Etapas que conforman un ciclo de trabajo dentro de la metodología de diseño.

Una vez definida la estructura de la metodología a partir de ciclos de trabajo, es importante mencionar que cada iteración se divide a su vez en cinco etapas: Definir o redefinir, conocer, generar, probar y aprender (Figura 3.5). En la figura 3.6 se presenta la descripción sobre cada etapa. Finalmente, al igual que la cantidad de iteraciones, el orden de las etapas puede modificarse de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

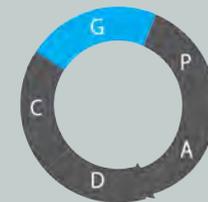
DEFINIR O REDEFINIR - Es la primera etapa de un ciclo, en la cual se establece o modifica el objetivo general del proyecto al mismo tiempo que se definen objetivos particulares del ciclo para guiar el trabajo durante la iteración.



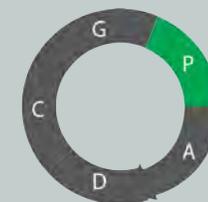
CONOCER - En la segunda etapa del ciclo se realiza una investigación documental para generar hipótesis con el objetivo de interpretar y proporcionar soluciones potenciales.



GENERAR - En la tercera etapa del ciclo se materializan las ideas a través de simuladores, prototipos, dibujos, bocetos, modelos, maquetas, mapas mentales, entre otros. En esta etapa únicamente se construyen o planifican las actividades pero no se evalúan las ideas.



PROBAR - En la cuarta etapa del ciclo se presentan y evalúan los prototipos al conocer el punto de vista del usuario, obteniendo de esta forma conclusiones que validan o refutan las hipótesis con el fin de identificar si una idea es viable e incorporable en la propuesta de diseño.



APRENDER - En la quinta etapa del ciclo se documenta, resume y se concluyen las actividades de la iteración. Finalmente, se recibe retroalimentación sobre el trabajo realizado en el ciclo y se establece el enfoque para el siguiente.

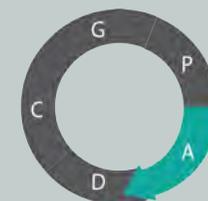


Figura 3.6 Descripción de cada etapa que conforma un ciclo de trabajo.

3.4 PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño que se llevo a cabo se muestra en la figura 3.7. En este documento de tesis se documenta la tercera etapa , la cual comprendió la iteración número cinco para establecer la propuesta de diseño VUMi3.

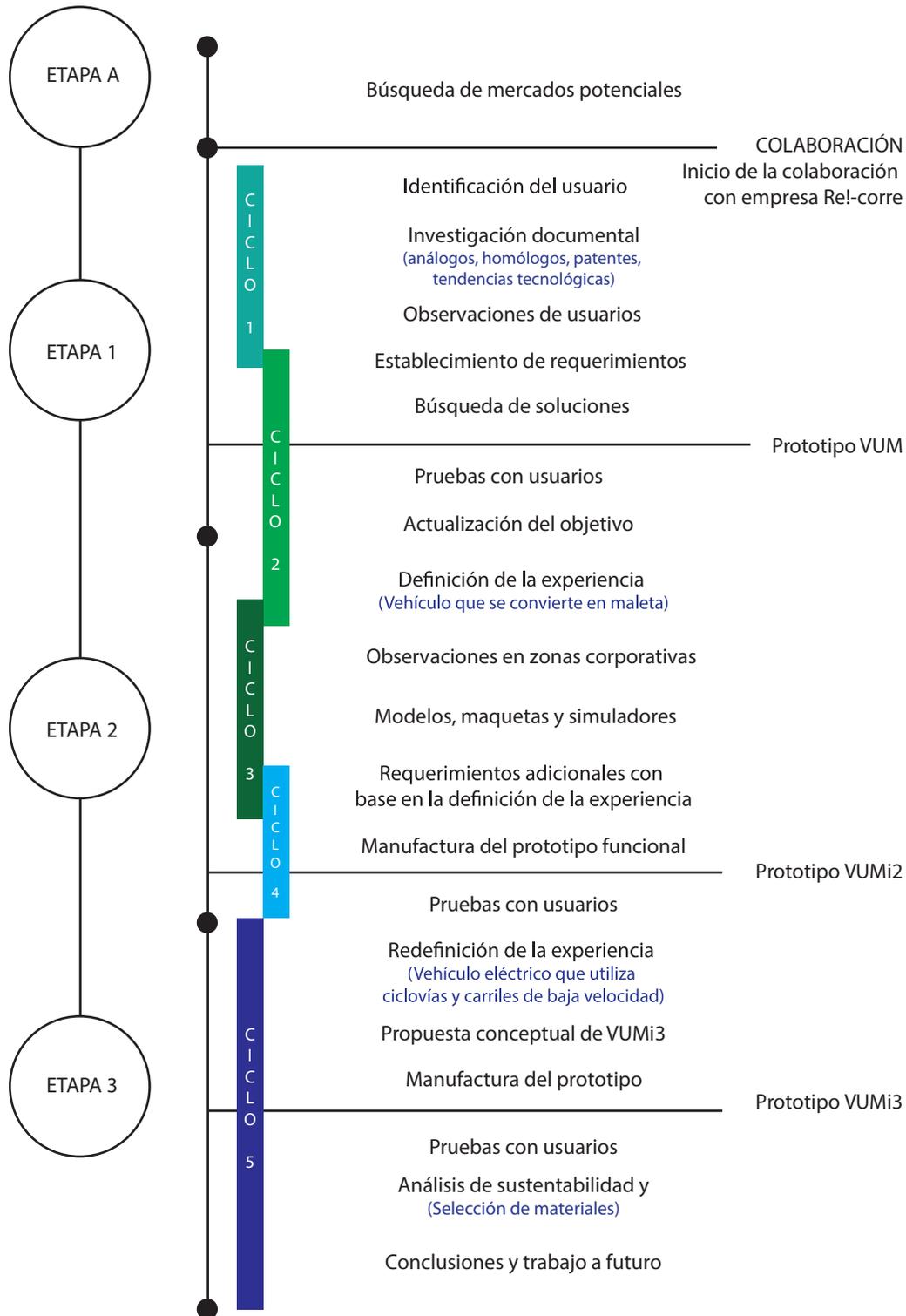


Figura 3.7 Diagrama sobre el proceso de diseño.



Figura 3.8 Alumnos que formaron parte de la tercera etapa del proyecto.

3.5 ALCANCES

Como objetivo de la tercera etapa se establecieron los siguientes alcances:

- Documentación para la fabricación del producto (Archivos CAD y planos).
- Lista BOM (Por sus siglas en inglés para *Bill of Materials*) que integra los materiales y los componentes comerciales necesarios para la construcción de una unidad.
- Fabricación de un prototipo funcional.
- Análisis de las pruebas con usuarios para la modificación posterior del prototipo.
- Análisis comparativo sobre la selección de materiales para disminuir la huella de carbono e identificar la viabilidad en el cambio de materiales.

3.6 PARTICIPANTES

Para el desarrollo del proyecto se integró un equipo multidisciplinario con profesores y alumnos de la Facultad de Ingeniería y del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México; además de contar con la asesoría de la empresa colaboradora Re!corre, la cual se dedica al reparto de mercancías en las principales ciudades de México.

Como parte de la tercera etapa, se contó con la participación de 4 estudiantes de Ingeniería Mecánica, 2 estudiantes de la Maestría en Ingeniería Mecánica y un alumno de Diseño Industrial (Figura 3.8). La función del equipo fue realizar actividades de investigación, construcción y pruebas con simuladores; así como la generación de propuestas de valor, documentación y presentación de reportes periódicos sobre los avances del proyecto.

Los profesores que proporcionaron asesoría y retroalimentación a lo largo del proyecto se muestran en la figura 3.9. La función de los profesores fue supervisar e incentivar el trabajo en el equipo, establecer fechas de entrega de avances del proyecto, así como el intercambio de información con la empresa colaboradora.

Finalmente, se contó con la asesoría de Leslie Riveros y Óscar Martínez por parte de la empresa colaboradora. Los asesores proporcionaron la información necesaria en cada etapa, facilitaron la realización de observaciones y pruebas con los repartidores; además de brindar retroalimentación a través de su participación activa en la toma de decisiones de cada etapa.



Vicente
Borja



Arturo
Arizmendi



Alejandro
Ramírez

Figura 3.9 Profesores asesores durante el proceso de diseño.



Figura 4.1. Prototipo VUMi3 durante las pruebas de funcionalidad.

El siguiente capítulo presenta el proceso de diseño que se llevó a cabo como parte de la tercera etapa del proyecto y que culminó con la definición de la propuesta para el Vehículo de Última Milla al cual se nombró VUMi3. Al inicio se presentan los usuarios repartidores y choferes, sobre los cuales se construyeron perfiles de usuario con la información sobre su trabajo, aspiraciones y actividades diarias; y en la siguiente sección se explica cómo se estableció la experiencia del usuario, la cual se busca alcanzar al implementar el VUMi3 en la entrega de paquetería.

Posteriormente, se retomó la lista de requerimientos y los resultados de las pruebas con usuarios de la etapa anterior y se continuó con la generación de propuestas conceptuales. De esta forma, se realizó el modelado del vehículo, el cual sirvió para explicar la dinámica longitudinal del VUMi3 y sobre la cual fue posible obtener un parámetro teórico relacionado con la autonomía de la batería.

La siguiente sección explica la división del VUMi3 en 7 sistemas: Sistema estructural, sistema de dirección, sistema de eje posterior, sistema eléctrico/electrónico, sistema envolvente, sistema de soporte para el usuario y sistema de acceso y seguridad. Con base en dichos sistemas, se explica cómo fue el proceso para la definición de la propuesta final. Posteriormente, se presenta el proceso de manufactura del prototipo y las pruebas de funcionalidad que se realizaron para identificar la viabilidad de la solución.

Posteriormente, a través de las pruebas con usuarios repartidores fue posible realizar observaciones del producto al entregar paquetes en un día laboral. Con los resultados se identificaron las modificaciones a implementar, las dificultades y las áreas de oportunidad relacionadas con las entregas en zonas residenciales.

Finalmente, se realizó la recapitulación de los requerimientos planteados inicialmente y se establecieron las especificaciones del VUMi3. De esta forma, se dió por concluída la tercera etapa del proyecto, generando la documentación del proceso de diseño, los planos para la manufactura del producto y la lista de costos total del proyecto.

4.1 PERFIL DEL USUARIO

Al ser el usuario el enfoque de la metodología de diseño, fue importante conocer a aquellos que interactúan con el objeto de estudio. En la primera etapa se realizaron observaciones relacionadas a la entrega de paquetería, en donde se identificó como usuarios a los repartidores y a los choferes de las camionetas. Como consecuencia, se construyeron dos perfiles de usuario a través de la herramienta *Personas* (Goodwin, 2008), la cual permite describir a grupos de usuarios, personas, clientes o segmentos de mercado mediante el establecimiento de arquetipos. De esta forma, esta herramienta permite crear patrones de usuario con base en las similitudes que pueden tener las personas en cuanto a su vida diaria, experiencia al interactuar con el objeto de estudio, necesidades y opiniones (Rodríguez, 2019).

Los dos perfiles inicialmente construidos se fueron enriqueciendo conforme el proceso de diseño avanzó, pues el equipo de trabajo contó con más información sobre los usuarios identificados. Por lo anterior, en la figura 4.2 se muestran las fichas sobre los perfiles elaborados, los cuales se tomaron como base para generar una nueva experiencia de usuario para esta tercera etapa. Aquellas actividades que sirvieron como referencia para el planteamiento de la experiencia se indican en amarillo, ya que representan puntos críticos que impactan de forma negativa en el usuario y en la logística de entrega.

Figura 4.2 Fichas con el perfil de usuario de un chofer y un repartidor de paquetes.



ALEJANDRO GARGÍA
36 años
Chofer de camioneta

LUGAR DE RESIDENCIA	Cerca de la estación de metro Mixcoac en la CDMX
SALARIO	7000 MXN al mes
DESCRIPCIÓN DEL USUARIO	Alejandro es chofer de una camioneta, la cual utiliza para realizar la entrega de paquetes dentro de la Ciudad de México. Él vive con su esposa y su hijo de 3 años de edad. Alejandro es muy responsable pues sabe que debe manejar adecuadamente para evitar percances automovilísticos. Además, debido a que su jornada laboral empieza a las 7 a.m. debe ir a retirar a tiempo la camioneta de la pensión, pues de no hacerlo toda la ruta de entrega presenta retrasos y su hora de salida se ve afectada. Alejandro viste de forma cómoda, con pantalón de mezclilla y playera; sin embargo, carga una chamarra o un chaleco debido a los cambios inesperados en el clima durante el día. Siempre lleva consigo dos celulares: uno propio y uno de la empresa con los datos de las entregas a realizar durante la ruta. Además carga su identificación, dinero, las llaves de la camioneta y de su casa.
ACTIVIDADES A LO LARGO DE UN DÍA LABORAL	<p>4:30 Alejandro se levanta y alista para ir a trabajar</p> <p>5:00 Sale de su casa y se transporta en Metro a la pensión</p> <p>6:00 Revisa que la camioneta esté en buen estado y la retira de la pensión</p> <p>7:00 Llega al almacén, en donde se encuentra con otros choferes y repartidores</p> <p>7:10 Como el repartidor asignado a su ruta está enfermo, Alejandro se da cuenta que él deberá cubrir la ruta de entrega por su cuenta</p> <p>7:15 Desayuna y convive con sus compañeros</p> <p>7:30 Se identifica en la entrada y recoge los paquetes de la ruta</p> <p>8:00 Comienza la ruta de entrega</p> <p>8:15 Llega al primer destino, el cual es una unidad habitacional en donde debe entregar 15 paquetes</p> <p>8:20 En la parte trasera de la camioneta, tiene un scooter que le proporcionó la empresa, el cual utiliza para llevar dos o tres paquetes a la vez, ya que no cuenta con una mochila o lugar disponible en el scooter para llevar más</p> <p>9:00 Termina de entregar los paquetes en esa zona y se traslada al siguiente punto de entrega</p> <p>9:15 A pesar de ser un trayecto corto, hay tráfico debido a un percance automovilístico</p> <p>9:35 Llega al siguiente punto de encuentro donde nuevamente utiliza el scooter para hacer entregas</p> <p>10:00 El scooter se queda sin batería, por lo cual debe realizar los trayectos entre la camioneta y cada edificio a pie</p> <p>12:00 Toma un descanso breve y busca un lugar para comprar un licuado y un sandwich</p> <p>12:10 Continúa la ruta, pero la zona donde debe entregar son calles estrechas. Por lo cual, decide estacionar la camioneta en un lugar cercano y completar la entrega de paquetes a pie</p> <p>13:00 Regresa a la camioneta y continúa la ruta</p> <p>15:00 En una de las entregas, no encontró al destinatario en su casa; por lo cual reagentó la entrega para las 17:00</p> <p>16:00 Toma un descanso para comer e ir al sanitario</p> <p>17:00 Vuelve al domicilio del cliente para entregar el paquete</p> <p>18:00 Termina la entrega de todos los paquetes, por lo cual lleva la camioneta a la gasolinera para dejar el tanque lleno para el día siguiente</p> <p>18:30 Se dirige a la pensión para dejar la camioneta</p> <p>19:00 Deja la camioneta y toma el metro hacia su hogar</p> <p>20:00 Cena con su familia y ve un partido de futbol</p> <p>22:00 Toma una ducha y se va a dormir</p>



BERNARDO FLORES
23 años
Repartidor de paquetería

LUGAR DE RESIDENCIA	Iztapalapa, CDMX
SALARIO	6000 MXN al mes
DESCRIPCIÓN DEL USUARIO	Bernardo es repartidor de paquetes. Él vive con su novia y sus papás, pero pronto tendrán un hijo. Todos los días se dispone a trabajar y espera terminar antes su jornada laboral para regresar temprano a casa y convivir con su familia. En su trabajo viste de forma cómoda, por lo general utiliza pantalón de mezclilla, tenis y camisa; aunque en algunas ocasiones utiliza un chaleco por comodidad. Tiene dos celulares: uno propio y otro de la empresa, en el cual lleva el control de los lugares de entrega para que el usuario firme. Además, siempre lleva consigo su identificación, dinero y las llaves de su casa. Bernardo toma diariamente el Metro para llegar al punto de reunión con los demás repartidores y con el chofer de la ruta asignada, por lo cual utiliza el tiempo en el que viaja en transporte público para dormir un poco más.
ACTIVIDADES A LO LARGO DE UN DÍA LABORAL	<p>4:30 Bernardo se levanta y se alista para ir a trabajar</p> <p>5:00 Sale de su casa y se transporta en Metro mientras duerme unos minutos</p> <p>7:00 Llega al almacén, en donde se encuentra con otros choferes y repartidores</p> <p>7:10 Desayuna y convive con sus compañeros de trabajo</p> <p>7:30 Se identifica en la entrada del almacén junto con el chofer, en donde recogen los paquetes por entregar ese día</p> <p>8:00 Comienza la ruta de entrega</p> <p>8:15 Llega al primer destino, pero al no encontrar estacionamiento, Bernardo se baja rápidamente a buscar el paquete y la dirección mientras el chofer va a encontrar donde estacionar</p> <p>8:25 Una vez entregado el paquete, busca al chofer, el cual encontró estacionamiento a dos calles de distancia</p> <p>8:30 Una vez reunido con el chofer, decide buscar el siguiente paquete a entregar, el cual lo lleva en la parte frontal de la camioneta para agilizar la entrega una vez identificado el domicilio</p> <p>9:00 Llega al destino, donde el chofer espera estacionado en segunda fila mientras Bernardo entrega el paquete</p> <p>9:10 Continúa la ruta y al llegar a una zona corporativa la camioneta se detiene en un espacio reservado</p> <p>9:15 Al ver que son varios paquetes por entregar, el chofer ayuda a Bernardo a cargar la mitad de ellos</p> <p>10:20 Se dirigen al siguiente punto de entrega, pero al haber tráfico y estar a una calle de distancia, Bernardo se baja de la camioneta para ir a entregar el paquete</p> <p>11:00 Bernardo se reúne con el chofer y toman un descanso para comer e ir al sanitario</p> <p>11:20 Continúa la ruta en zonas con poco tránsito vehicular, por lo cual se agiliza la entrega</p> <p>15:00 Toma un descanso para comer e ir al sanitario</p> <p>16:00 Durante una entrega no se localiza al usuario en su domicilio ni por teléfono, por lo cual dicho paquete debe devolverse a almacén</p> <p>18:00 Termina la entrega del resto de los paquetes; Bernardo y el chofer se trasladan al almacén</p> <p>18:30 Llegan al almacén, se identifican y devuelven el paquete que no pudo entregarse</p> <p>18:40 Se despide del chofer y se dirige al metro para regresar a casa</p> <p>20:00 Bernardo llega a su hogar</p> <p>20:30 Cena con su familia y ve la televisión en su recámara</p> <p>22:00 Toma una ducha y posteriormente va a dormir</p>

4.2 DEFINICIÓN DE LA EXPERIENCIA DE USUARIO

Una vez actualizados los perfiles de usuario, el siguiente paso fue definir la experiencia, la cual buscó contribuir en la logística de entrega de paquetes a través de un canal adicional de transporte, con el propósito de disminuir tiempos de entrega y al mismo tiempo mejorar la percepción del usuario, sobre todo con respecto a aquellos puntos críticos o repetitivos que se identificaron a través del mapa de ruta (Figura 2.17) y de los enunciados marcados en amarillo en las fichas sobre el perfil de ambos usuarios (Figura 4.2). En la figura 4.3 se muestra el diagrama sobre el planteamiento de la experiencia de usuario a partir del diseño de un Vehículo de Última Milla utilizado para la entrega de paquetes dentro de la Ciudad de México, al cual a partir de este punto se le nombró VUMi3, haciendo referencia a la tercer etapa del proyecto y al tercer prototipo por construir. Como parte de la propuesta de valor, se buscó hacer uso de la infraestructura de ciclovía y del carril de baja velocidad en calles y avenidas; entregar paquetes en zonas corporativas y habitacionales; circular por calles estrechas, embotellamientos y manifestaciones; utilizar energía

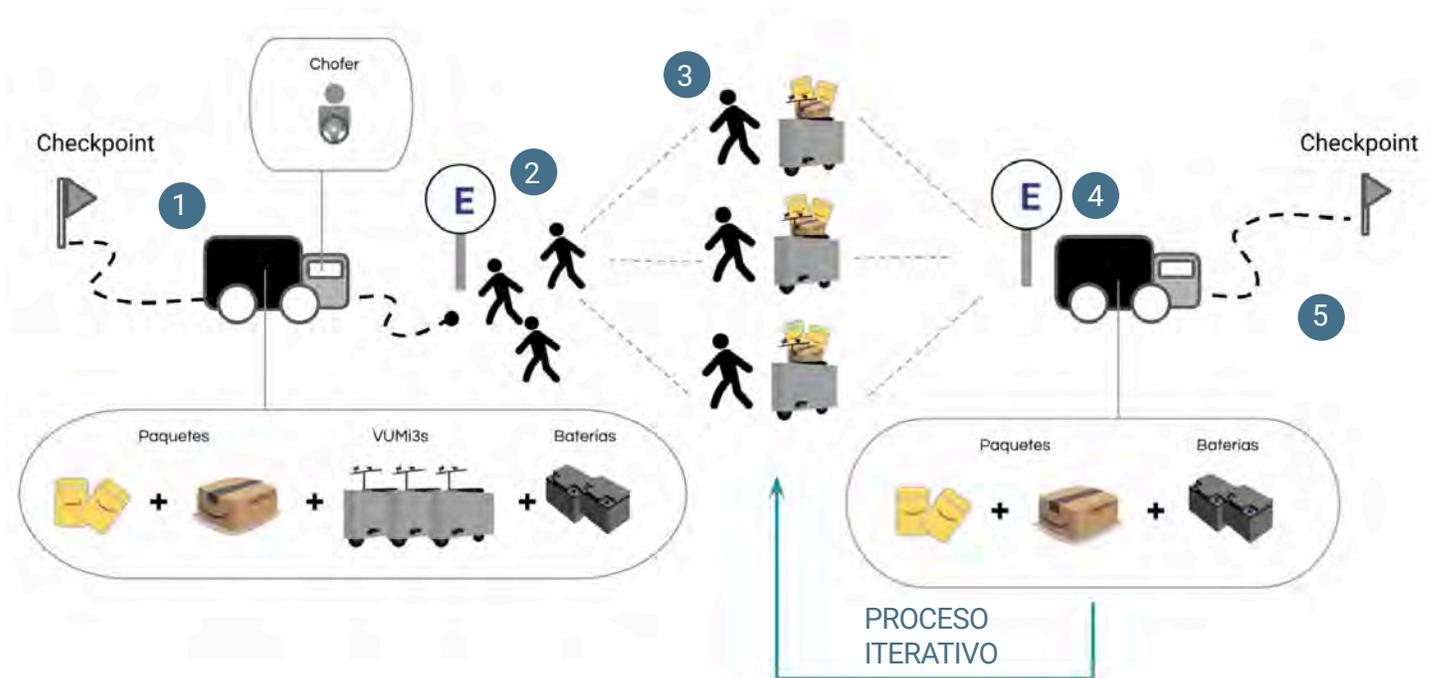


Figura 4.3 Diagrama sobre la definición de la experiencia de usuario para la tercera etapa del proyecto.

eléctrica como alternativa al uso de gasolina o diesel; y como consecuencia de los puntos anteriores, realizar más entregas en menos tiempo.

Los pasos que integran el diagrama sobre la experiencia de usuario son los siguientes:

1. El chofer de la camioneta recolecta los paquetes por entregar en la bodega o el *checkpoint*. En la parte trasera de la camioneta transporta sobres y cajas; así como los VUMi3s y baterías eléctricas completamente cargadas.
2. El chofer se dirige a la zona de entrega, en donde se estaciona en un lugar permitido. En dicho lugar, se reúne con varios repartidores.
3. Los VUMi3s se bajan de la camioneta y se llenan con sobres y paquetes pequeños o medianos; así como con una batería eléctrica cargada. Cada repartidor utiliza un VUMi3 para realizar estas entregas en diferentes edificios o unidades habitacionales, mientras el chofer con la camioneta realiza la entrega de las cajas grandes. De esta forma los repartidores pueden transportar varios paquetes a la vez, tienen acceso a ciclovía o al carril de baja velocidad y transitan por calles estrechas, tráfico e incluso evaden manifestaciones.
4. Al terminar de entregar los paquetes, los repartidores vuelven al punto de encuentro establecido previamente con el chofer de la camioneta. Ahí, pueden recolectar más paquetes y cambiar la batería por una con carga completa para así continuar con las entregas en dicha zona. El proceso se repite hasta que los paquetes son entregados en su totalidad.
5. Al volver por última vez al punto de encuentro, se cargan los VUMi3s en la parte trasera de la camioneta. Los repartidores terminan su jornada laboral, mientras que el chofer regresa a la bodega o al *checkpoint* para devolver los paquetes cuya entrega no pudo completarse. Posteriormente, va a cargar gasolina y a devolver la camioneta a la pensión, en donde también deja las baterías cargando para utilizarlas al día siguiente; finalizando de esta forma su día laboral.

4.3 LISTA DE REQUERIMIENTOS ACTUALIZADA

Una vez establecida la experiencia, se revisó la lista de requerimientos inicialmente planteada (Figura 2.26) así como los requerimientos adicionales establecidos para la segunda etapa (Figura 2.34). Como resultado, se conservaron todos los enunciados de la primera tabla (Requerimientos 1 - 20), incluyendo el requerimiento 9 que hace referencia a colocar un elemento de sujeción para el celular, ya que hasta el término de la segunda etapa no se obtuvieron conclusiones al respecto con base en las pruebas con usuarios. Se conservaron además aquellos enunciados de la segunda tabla que no hacían referencia a la transformación del vehículo en maleta; es decir, el requerimiento 21 y 25 se tomaron en cuenta durante la tercer etapa del proyecto, pues estaban relacionados con la protección general del vehículo ante polvo y agua; y a la seguridad de los paquetes al estacionar el vehículo.



Figura 4.4 Primer modelo.

4.4 DESARROLLO DE PROPUESTAS

Después de delimitar los requerimientos con los aspectos a considerar en el diseño, se inició el proceso de conceptualización y desarrollo de propuestas a través de modelos; los cuales se analizaron en conjunto con la empresa colaboradora y los profesores. El propósito de esta actividad fue definir un modelo de vehículo sobre el cual se trabajaría la propuesta, tomando en consideración las dimensiones del VUMi2, así como las medidas antropométricas de la población mexicana (Universidad de Guadalajara, n.d.).

El primer modelo fue un vehículo con caras planas que incorporó un contenedor prismático en su interior (Figura 4.4). De esta forma, se buscó maximizar el volumen utilizado al interior al acomodar las cajas, ya que de acuerdo a los resultados de las pruebas con usuarios de la etapa 2, esto permitió aprovechar de mejor forma el espacio disponible al interior del vehículo al acomodar los paquetes. La geometría de la propuesta presentó ventajas en cuanto a la manufactura y producción, pues reducía

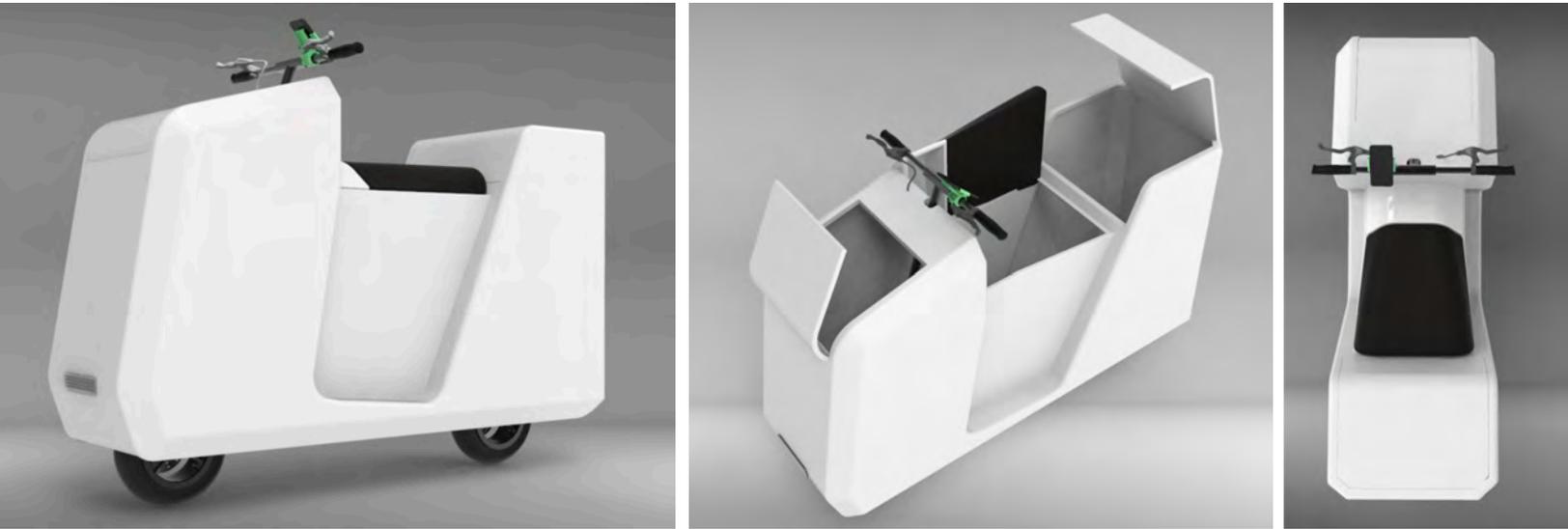


Figura 4.5 Segundo modelo: Compartimientos independientes y vista superior.

costos y tiempos de construcción; sin embargo, para lograr la comodidad del usuario, sobre todo con respecto a las superficies en contacto con las piernas, se identificó que al reducir significativamente el ancho del vehículo, se debía compensar con el largo para poder cumplir con el volumen de carga. Como consecuencia, al alargar el VUM, existiría una modificación en la distancia entre ejes; modificando la experiencia del usuario, el radio de giro y el claro en el vehículo para transitar por topes. Por otro lado, la reducción en el ancho eliminaría la posibilidad de transportar cajas medianas, limitando el uso del VUM a la entrega de cajas pequeñas y sobres. El modelo incorporó además un cambio en la forma del asiento con el objetivo de delimitar su uso a un solo usuario; sin embargo, dicha modificación aumentaría los costos de producción. Adicionalmente, se identificó en las pruebas con usuarios que el no contar con reposapiés en la parte trasera era incómodo para un segundo usuario. Como resultado de las consideraciones anteriores, se decidió no continuar el proceso de diseño con este primer modelo.

El segundo modelo (Figura 4.5) fue un vehículo que incorporó tres contenedores independientes: uno en la parte frontal, uno al centro y uno en la parte posterior del vehículo (Figura 4.6); utilizando el primero de ellos para almacenar los componentes electrónicos, motor y la batería; y los dos restantes para el almacenamiento de paquetes. El contar



Figura 4.6 Reducción en el ancho de la parte frontal del vehículo para garantizar la comodidad del usuario durante los trayectos.

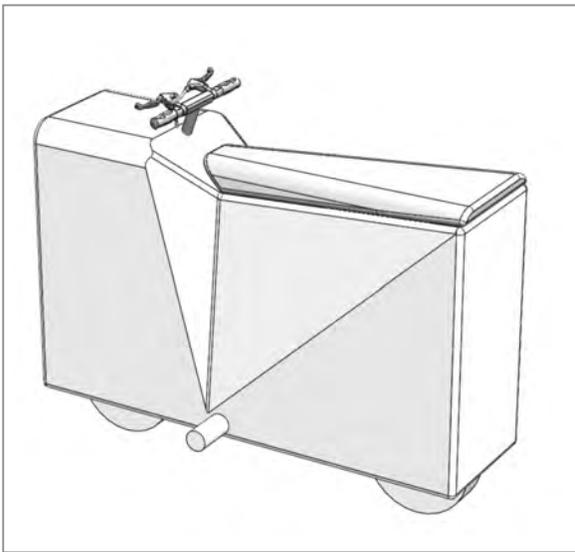


Figura 4.7 Tercer modelo utilizado como base para la propuesta de diseño.

con dos contenedores para paquetes en lugar de uno solo se consideró como una desventaja, ya que un único contenedor es adaptable a las necesidades del día al día, tomando en cuenta que cada empresa de *e-commerce* maneja cajas de distintos tamaños que dependen del objeto que se envía; además de que el volumen de los paquetes por entregar cambia en cada ruta. Por otro lado, el segundo modelo contó con una reducción en la parte central con el propósito de aumentar la comodidad del usuario; sin embargo, se identificó que la reducción era necesaria únicamente en la parte frontal, en donde se localizan las rodillas del conductor y no en donde se ubica el asiento (Figura 4.6). Como resultado de las consideraciones mencionadas anteriormente, se decidió elaborar un tercer modelo, tomando en cuenta las conclusiones sobre los dos anteriores.

La exploración de conceptos llevó al establecimiento de un tercer modelo (Figura 4.7), el cual consideró una reducción en la parte donde el usuario coloca las rodillas y la entrepierna; un contenedor único para almacenar los paquetes y un asiento completo que cubría de la mitad de vehículo hasta la parte posterior del mismo. Dicho modelo se modificó como se muestra en la figura 4.8, continuando la reducción de la entrepierna hasta la parte frontal, ya que se identificó que dicha modificación era necesaria para colocar de forma correcta los pies y las rodillas, con base en las medidas antropométricas de la población mexicana. Por otro lado, se redujo el tamaño del asiento como código visual para delimitar su uso a un usuario; dejando espacio disponible en la parte trasera para colocar elementos adicionales como mochilas o una caja de mayores dimensiones. Debido a que este modelo incorporó los hallazgos de los primeros dos, se tomó la decisión de tomarlo como base para la definición de la propuesta de diseño. Por lo anterior, se dió por concluida la etapa de conceptualización y desarrollo de propuestas, comenzando con el análisis en la dinámica longitudinal del vehículo, la cual proporcionó el análisis teórico sobre el comportamiento del VUMi3 bajo diversas condiciones de manejo.



Figura 4.8 Desarrollo del tercer modelo sobre un vehículo de última milla.

4.5 DINÁMICA LONGITUDINAL DEL VUMi3

En esta sección se presenta el modelado matemático del vehículo de última milla con el objetivo de analizar el compartamiento del VUMi3 bajo diversas condiciones de manejo, sobre todo al transitar cuesta arriba sobre pendientes, complementando el análisis realizado en el trabajo de tesis de López (2020) en donde se identificó la potencia requerida para transitar por terrenos planos. En la figura 4.9 se muestra la representación de un Vehículo de Última Milla de dos ruedas con un usuario como conductor, transitando sobre una pendiente.

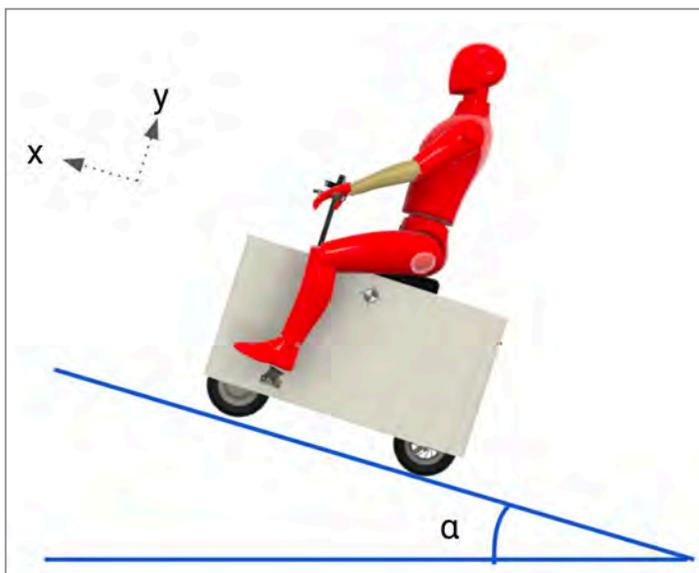


Figura 4.9 Representación de un usuario manejando un VUM sobre una pendiente.

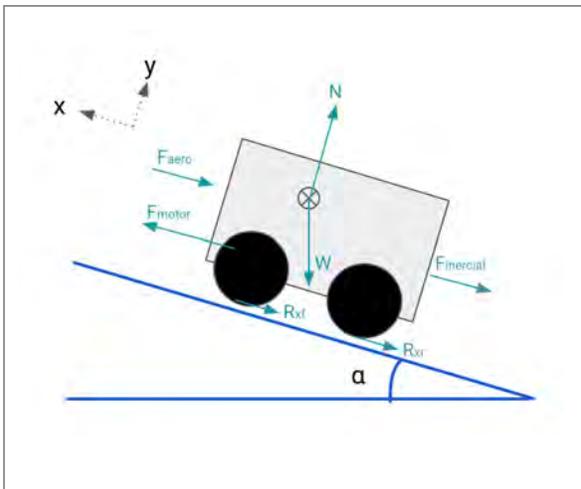
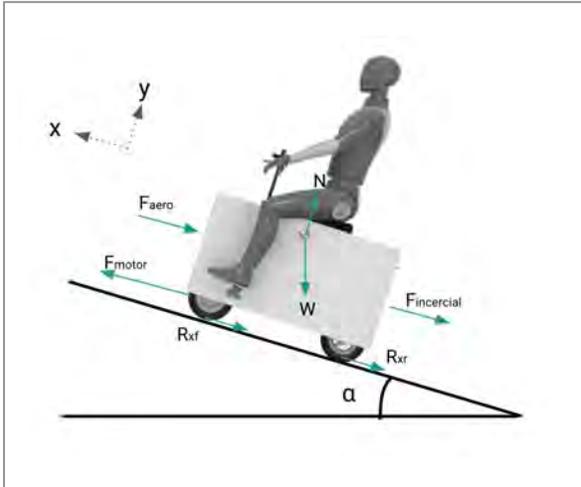


Figura 4.10 Construcción del Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) para la representación del VUMi3 subiendo por una pendiente.

El análisis tomó en cuenta a un usuario de 100 [kg] de masa, un conjunto de paquetes de 35 [kg] y un VUM de 45 [kg]. Dichas medidas se definieron por las siguientes razones:

1) Dentro de los requerimientos se estableció el transporte de por lo menos 35 paquetes. Debido a que el peso y volumen varían por ruta y es diferente para las cajas y los sobres, se estableció considerar 1 [kg] por paquete pues permitió analizar el comportamiento del vehículo ante una situación de carga extrema.

2) El peso del VUMi2 tuvo una masa de 34.12 kg. A partir de dicha medida, se consideró un 30% adicional para considerar cambios estructurales y componentes electrónicos; resultando en una masa de 45 kg para el modelado del VUMi3.

A partir de la representación, se realizó el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) como se observa en la figura 4.10. En donde:

N , es la fuerza normal al plano inclinado [N]

α , es el ángulo de inclinación de la pendiente [°]

F_{motor} , es la fuerza con la cual el motor mueve el vehículo [N]

F_{aero} , es la fuerza aerodinámica que se opone al movimiento del vehículo [N]

R_{xr} , es la fuerza de resistencia en la llanta posterior que se opone al movimiento del vehículo [N]

R_{xf} , es la fuerza de resistencia en la llanta frontal que se opone a movimiento del vehículo [N]

W , es el peso del vehículo, el usuario y los paquetes [N]

$F_{fincial}$, es la fuerza que actúa sobre la masa cuando un cuerpo está sometido a una aceleración [N]

Las fuerzas que representan la reacción en las llantas se englobaron bajo una misma variable a la cual se nombró *Frodadura* (Ecuación 1).

$$Frodadura = R_{xr} + R_{xf} \quad (1)$$

A partir del DCL se construyó el modelo matemático del VUMi3, resultando en las ecuaciones 2 y 3, en el sentido de y y de x , respectivamente:

$$N = W \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$F_{\text{motor}} = F_{\text{aero}} + F_{\text{rodadura}} + F_{\text{inercial}} + W \sin(\alpha) \quad (3)$$

De la ecuación 3, se obtuvo cada fuerza tomando como base el análisis realizado por Becton (2011) como se menciona a continuación:

I. PESO (W)

El peso del VUMi3 se representó por la ecuación 4.

$$W = mg \quad (4)$$

En donde:

$m=180$ [kg]; es la masa del vehículo, los paquetes y el usuario

$g=9.81$ [m/s²]; es la constante de gravitación universal

I. FUERZA AERODINÁMICA (F_{aero})

La fuerza aerodinámica es la fuerza ejercida sobre un cuerpo, siempre que exista una velocidad relativa entre el cuerpo y el aire (Anderson, 2019). Dicha fuerza se obtuvo a través de la ecuación 5.

$$F_{\text{aero}} = (1/2)\rho c_d A_f (v_{\text{VUMi3}} + v_{\text{viento}})^2 \quad (5)$$

En donde:

$\rho = 1.225$ [kg/m³]; es la densidad del aire con base en la STP (*Standard Temperature and Pressure*), considerando 1 [atm] de presión a 0 [°C] (*MAC Instruments*, n.d.)

c_d es el coeficiente aerodinámico, se encuentra dentro del rango [0.5 - 1], con base en el rango general aerodinámico para motocicletas (Becton, 2011).

$A_f = 0.68$ [m²]; es el área frontal del vehículo con el usuario

v_{VUMi3} ; es la velocidad a la cual se mueve el vehículo

$v_{\text{viento}} = 0$ [m/s]; es la velocidad del viento que se opone al movimiento del vehículo, la cual se consideró nula.

Para el cálculo de la ecuación 5, se obtuvo el área frontal del vehículo y del usuario como se muestra en la figura 4.11; en donde se identificó el área total con base en el contorno general (693324.988 mm²) y posteriormente se restaron aquellas zonas bajo los brazos que no formaban parte del área (25306.06 mm²). Como resultado se obtuvo un área frontal de 0.68 m².

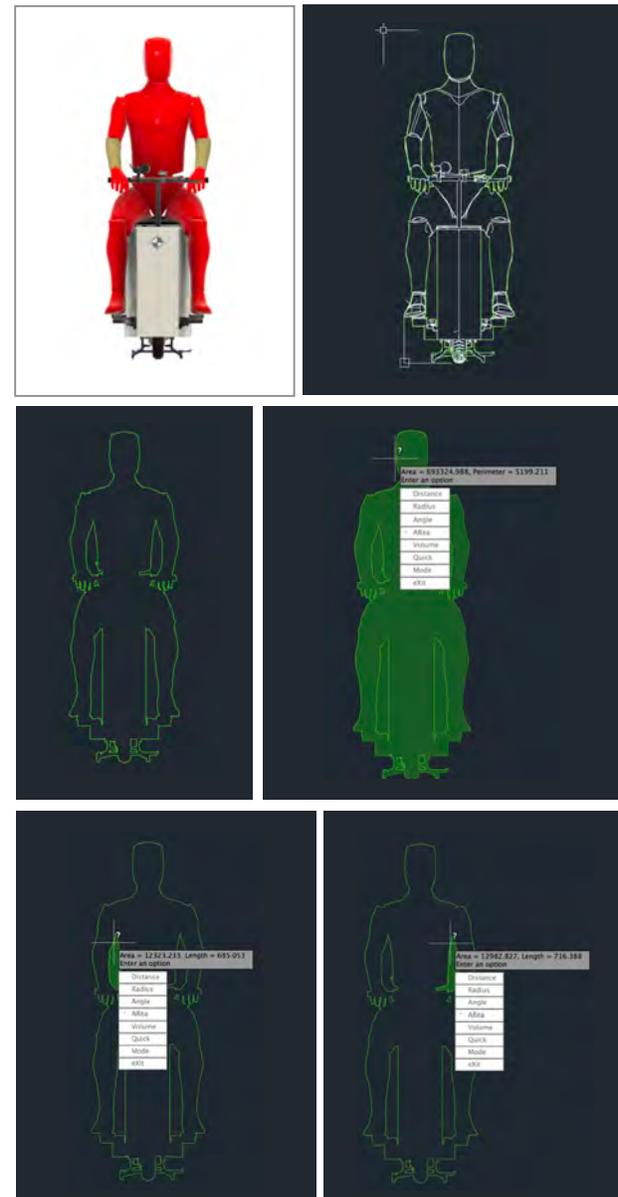


Figura 4.11 Procedimiento que se realizó para obtener el área frontal del vehículo y del conductor.

III. FUERZA DE RESISTENCIA A LA RODADURA ($F_{rodadura}$)

La fuerza de resistencia a la rodadura se calcula tomando en consideración la Fuerza Normal y el coeficiente de resistencia a la rodadura, el cual es un factor adimensional que expresa los efectos entre el neumático y el suelo (Ramírez, 2017). De acuerdo al análisis de Ramírez con base en Gillespie (1992), el peso del vehículo estático es lo suficientemente preciso para calcular la resistencia al rodamiento. Por lo cual, la ecuación 6 se utilizó en el modelo matemático del sistema.

$$F_{rodadura} = mgc_r \quad (6)$$

En donde:

c_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura que se encuentra en el rango de [0.006 - 0.3] con estimaciones de entre [0.01-0.08] para una motocicleta mediana (Becton, 2011)

III. FUERZA INERCIAL ($F_{inercial}$)

La fuerza inercial se obtuvo a partir de la ecuación 7.

$$F_{inercial} = ma \quad (7)$$

En donde:

a es la aceleración, medida en m/s^2 .

IV. POSICIÓN, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN

Finalmente, considerando que la posición se definió a partir de la variable x , la ecuación 8 explica que la primer derivada de x es la velocidad del vehículo; mientras que la ecuación 9 presenta a la aceleración como la segunda derivada de x .

$$x' = v_{VUMi3} \quad (8)$$

$$x'' = a \quad (9)$$

V. FUERZA DEL MOTOR (F_{motor})

La fuerza del motor se consideró como la entrada del modelo con el objetivo de identificar el comportamiento del vehículo bajo diferentes condiciones de manejo; así como el cálculo en la energía utilizada.

Una vez identificadas todas las ecuaciones necesarias para el modelo, fue posible construir ecuación 10 y posteriormente normalizarla y despejar x'' como se observa en la ecuación 11.

$$mx'' + (1/2)\rho c_d A_f (x' + v_{\text{viento}})^2 + mgc_r + mg\sin(\alpha) = F_{\text{motor}} \quad (10)$$

$$x'' = (1/m)F_{\text{motor}} - (1/2m)\rho c_d A_f (x' + v_{\text{viento}})^2 - gc_r - g\sin(\alpha) \quad (11)$$

La ecuación 11 se utilizó para programarla en *Matlab*, utilizando *Simulink*, a partir de la cual fue posible obtener las gráficas de posición, velocidad y aceleración; así como el comportamiento de cada fuerza (Figura 4.12). Las condiciones iniciales de x , x' y x'' se consideraron nulas.

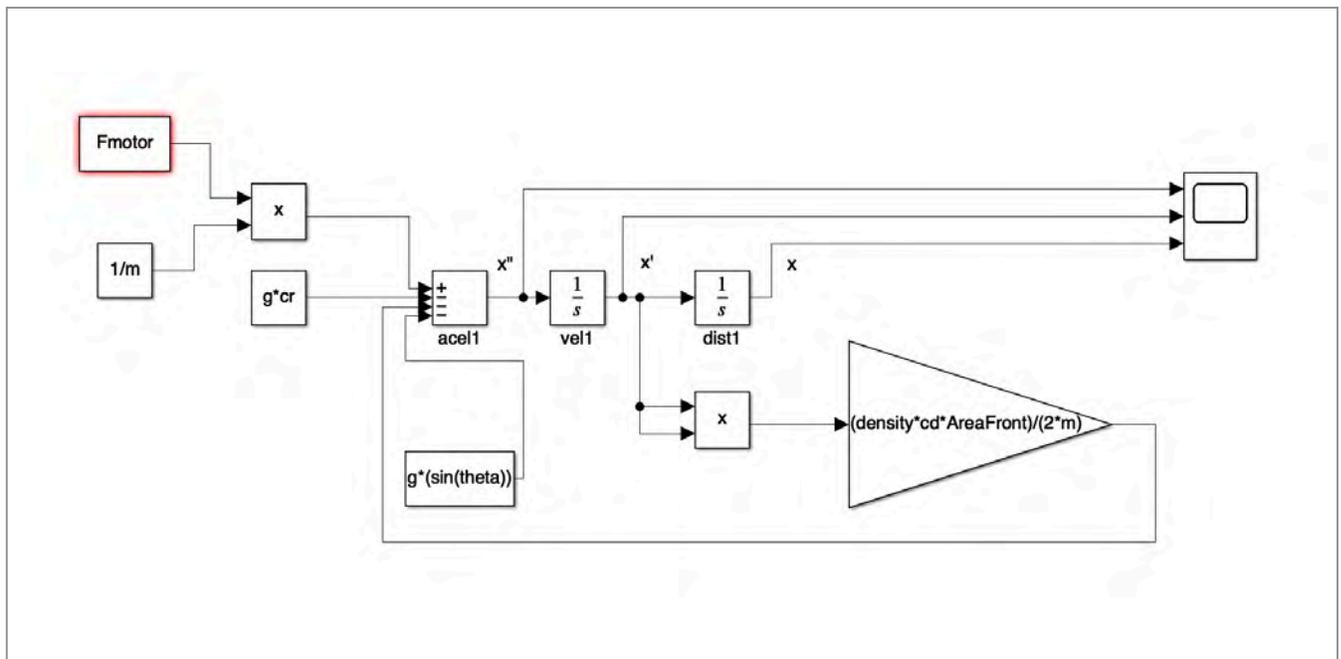


Figura 4.12 Diagrama realizado en *Simulink* para estudiar el comportamiento de la aceleración, velocidad y posición.

Las siguientes condiciones se establecieron para identificar los valores mínimos necesarios para definir F_{motor} .

Si $\alpha = 0$ (es decir, que el VUMi3 está sobre una superficie plana, sin inclinación) y el vehículo está estático; la fuerza mínima necesaria del motor para comenzar el movimiento se establece a partir de la ecuación 12.

$$F_{\text{motor}} = mgc_r \quad (12)$$

Considerando $c_r = 0.08$, el cual es el máximo valor dentro del rango previamente definido para una motocicleta mediana, la fuerza mínima del motor es de 141.26 [N]. Como consecuencia, se definió la fuerza del motor en 300 [N]. En la figura 4.13 se muestra el comportamiento de la aceleración, velocidad y posición bajo la condición de $\alpha = 0$, así como las fuerzas involucradas en el modelado del sistema que se oponen a la fuerza ejercida por el motor.

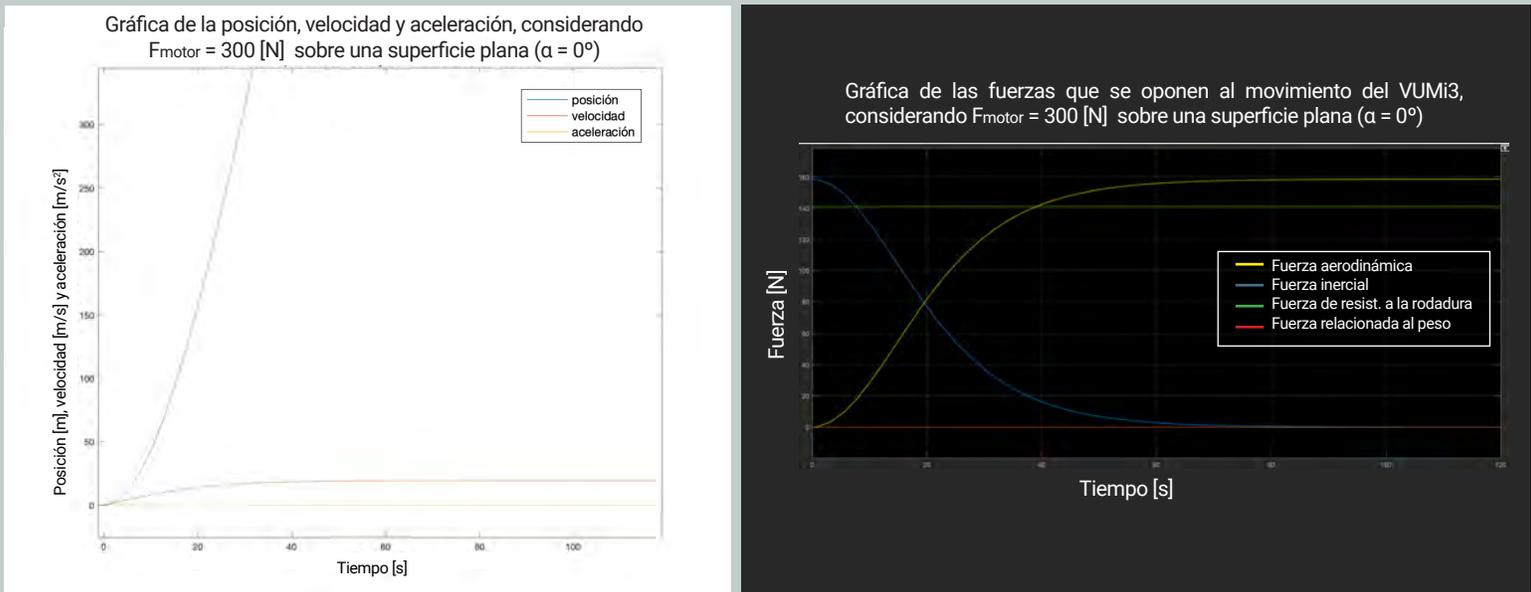


Figura 4.13 Gráfica de la posición, velocidad y aceleración al considerar $\alpha = 0$ (Izquierda) y gráfica de las fuerzas que se oponen al movimiento del VUMi3 (derecha).

Como resultado, de las gráficas obtenidas en la figura 4.13 se identificó que el peso no ejerce una fuerza que se opone al movimiento del VUMi3 debido a que $\alpha = 0$. Por otro lado, durante los primeros segundos de la simulación (de 0 a 20 segundos aproximadamente), la fuerza aerodinámica es menor a la fuerza inercial; sin embargo, después de los 20 segundos, la fuerza inercial disminuye debido a que el VUMi3 alcanza una velocidad constante y la aceleración tiende a cero; mientras que la fuerza aerodinámica va aumentando ya que es proporcional a la velocidad del vehículo. Finalmente, la fuerza de resistencia a la rodadura se mantiene constante al estar las llantas en contacto constante con la superficie, suponiendo que no existe deslizamiento entre ambos cuerpos.

La segunda condición que se estudió para identificar la fuerza mínima necesaria para el motor, fue al considerar la ecuación 13, la cual se estableció a partir de un VUMi3 estático que comienza el movimiento sobre una superficie inclinada dentro del rango de 1 a los 15°. A diferencia de la ecuación 12; en la ecuación 13, el peso sí ejerce una fuerza a considerar dentro del análisis, ya que su componente sobre el eje x se opone al movimiento del vehículo.

$$F_{\text{motor min.}} = mgc_r + mgsin(\alpha) \quad (13)$$

En la figura 4.14 se muestra la tabla con los datos relacionados a la fuerza mínima necesaria para el motor de acuerdo a $1^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$, considerando dos cifras significativas para el redondeo de los datos.

Tomando en cuenta el resultado que indicó que se requería una fuerza mínima de 595.22 [N] para comenzar el movimiento sobre una superficie con 15° de inclinación; se realizó una simulación considerando 590 [N] de fuerza para el motor (Figura 4.15) y otra considerando 700[N] (Figura 4.16), pues analizando ambos casos, se buscó identificar consistencia en el modelo planteado para el VUMi3.

FUERZA MÍNIMA NECESARIA PARA EL MOTOR DEL VUMi3 SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS

Ángulo		$F_{\text{motor min.}}$
[°]	[rad]	[N]
1	0.02	176.58
2	0.03	194.23
3	0.05	229.52
4	0.07	264.77
5	0.09	299.97
6	0.1	317.55
7	0.12	352.65
8	0.14	387.67
9	0.16	422.59
10	0.17	440.01
11	0.19	474.75
12	0.21	509.36
13	0.23	543.83
14	0.24	561
15	0.26	595.22

Figura 4.14 Cálculo de la fuerza mínima necesaria del motor para comenzar el movimiento del VUMi3 sobre una superficie con una inclinación de entre 1 y 15°.

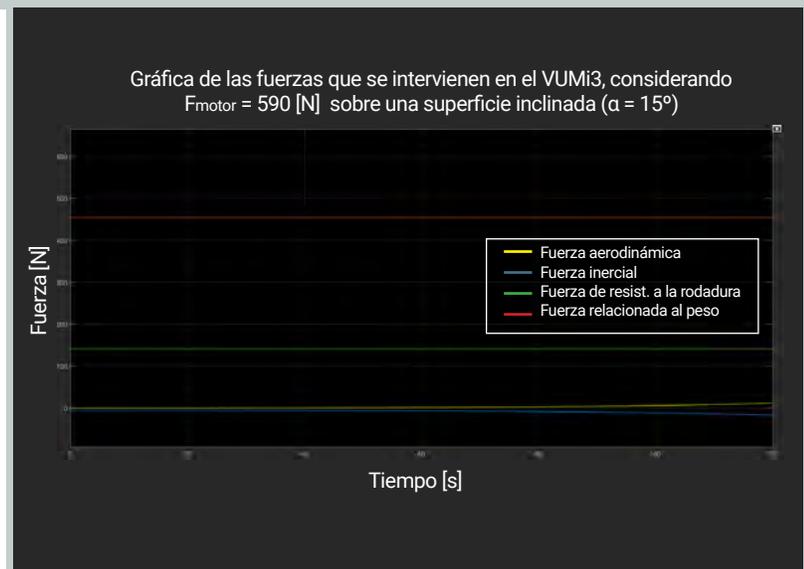
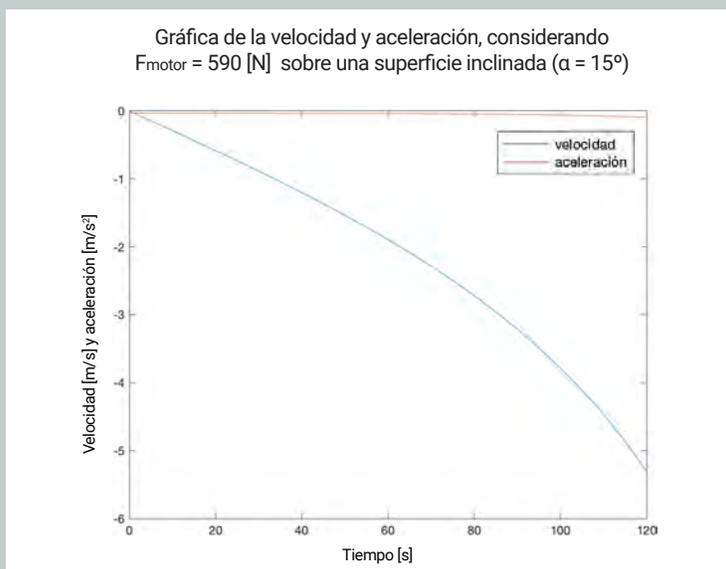


Figura 4.15 Gráfica de la velocidad y aceleración al considerar $\alpha = 15^\circ$ (Izquierda) y gráfica sobre el compartimento de las fuerzas que intervienen en el VUMi3, considerando una fuerza del motor de 590 [N] (derecha).

Como resultado, al considerar una fuerza del motor de 590 [N], se identificó que el vehículo no contó con la fuerza necesaria para generar el movimiento cuesta arriba, sobre una superficie inclinada 15°; lo cual se identificó a través de los resultados de la figura 4.14 y posteriormente se observó en la gráfica de la figura 4.15; ya que el comportamiento de la velocidad, al ser negativo, indicó que el movimiento se generaba en sentido contrario a lo establecido en el DCL.

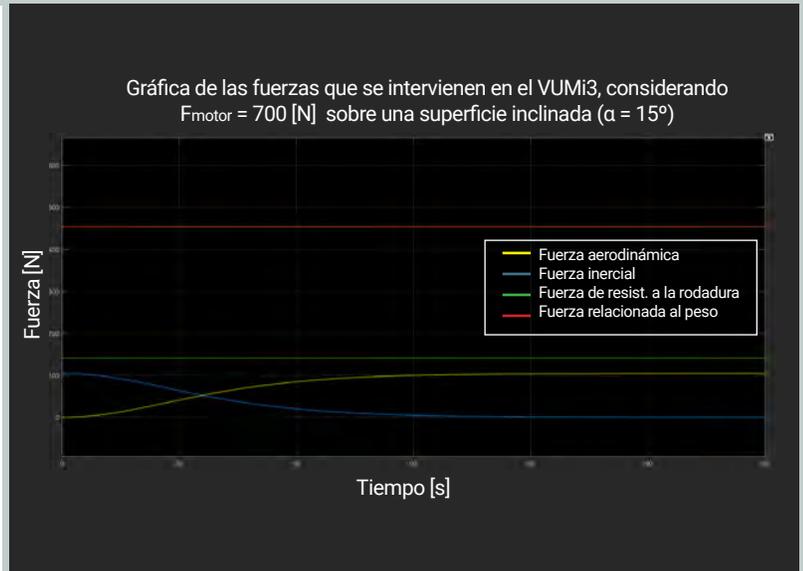
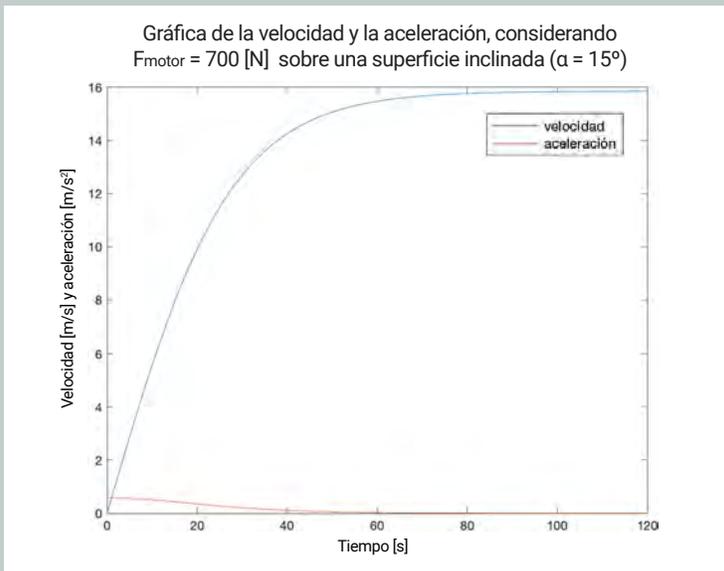


Figura 4.16 Gráfica de la velocidad y aceleración al considerar $\alpha = 15^\circ$ y una fuerza del motor de 700[N] (Izquierda) y gráfica sobre el compartimento de las fuerzas que se oponen al movimiento del VUMi3, considerando una fuerza del motor de 700 [N] (derecha).

Relación entre F_{motor} y las fuerzas que se oponen al movimiento del VUMi3	
Fuerza	Porcentaje
$F_{aerodinámica}$	14%
$F_{inercial}$	0.008%
$F_{rodadura}$	20.1%
F_{peso} (componente del peso que se opone al movimiento)	64%

Figura 4.17 Relación entre cada fuerza que se opone al movimiento, con respecto a la fuerza ejercida por el motor considerando $F_{motor} = 700$ [N] y los datos de la simulación en $t = 120$ [s].

Por otro lado, al considerar una fuerza del motor de 700 [N], bajo el mismo escenario, es decir, sobre una superficie inclinada 15°, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 4.16; en donde se observa que la componente del peso que se opone a la fuerza del motor, es la más representativa, pues es la mayor fuerza que se opone al movimiento del vehículo. De esta forma, el vehículo sí logró el objetivo de ir cuesta arriba por la superficie de 15°, alcanzando una velocidad constante de 15.9 m/s. En la figura 4.17 se observa la comparación sobre qué porcentaje de la fuerza del motor es contrarrestada por cada una de las demás fuerzas involucradas, las cuales se oponen al movimiento del vehículo; en donde se identificó que al subir una pendiente, el 64% de la fuerza del motor

se invierte en contrarrestar la componente del peso que se opone al movimiento y el 20% se invierte en contrarrestar la resistencia a la rodadura, siendo estas dos fuerzas las más representativas, al menos durante la mayor parte del trayecto simulado.

Una vez realizados los análisis anteriores, se decidió utilizar e incorporar en la simulación la ecuación 14, la cual indica como se obtiene la potencia mecánica. De esta forma, fue posible observar el comportamiento del VUMi3 con base en la potencia de 500 [W] del motor que se utilizó para los dos prototipos anteriores, suponiendo una eficiencia del 100%; es decir, que no existen pérdidas.

$$P_{\text{motor}} = (F_{\text{motor}})(v_{\text{VUMi3}}) \quad (14)$$

A partir de la modificación en el modelo, se realizaron simulaciones adicionales para observar el comportamiento del VUMi3 considerando $\alpha = 0^\circ, 8^\circ, 15^\circ$; así como identificar la velocidad que alcanzó el vehículo en cada escenario y la fuerza del motor. Debido a que a partir de la ecuación 14, se despejó F_{motor} para incorporarla en el modelo construido previamente, se estableció como condición inicial $v_{\text{VUMi3}}(0) = 0.1 \text{ m/s}$, para no causar indeterminación en la división al comienzo de la simulación. Los datos se obtuvieron para $t = 1 \text{ [s]}$ y para $t = 120 \text{ [s]}$, con el objetivo de observar el comportamiento al inicio y al final de la simulación. En la figura 4.18 se muestran los datos obtenidos.

Resultados obtenidos bajo diferentes condiciones de manejo considerando una potencia mecánica del motor de 500 [W]							
	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 8^\circ$		$\alpha = 15^\circ$		
	t = 1 [s]	t = 120 [s]	t = 1 [s]	t = 120 [s]	t = 1 [s]	t = 120 [s]	
F_{motor}	274.8	146.1	419.5	388.4	601	595.7	
$F_{\text{aerodinámica}}$	1.43	4.876	0.6	0.7	0.29	0.02	
F_{inercial}	132.1	3.87×10^{-12}	31.21	0.04	5.45	0.20	
F_{rodadura}	141.3	141.3	141.3	141.3	141.3	141.3	
F_{peso} (componente del peso que se opone al movimiento)	0	0	246.4	246.4	454	454	
v_{VUMi3}	[m/s]	1.84	3.42	1.19	1.29	0.83	0.84
	[km/h]	6.62	12.31	4.3	4.64	3	3.02

Figura 4.18 Resultados de las simulaciones, considerando $P = 500 \text{ [W]}$ y $\alpha = 0^\circ, 8^\circ$ y 15° .

Con base en los resultados del modelo, se obtuvo como conclusión que el motor que se adquirió para los prototipos anteriores es de utilidad para incorporarlo en la tercer versión del vehículo de última milla; y que la componente del peso que se opone al movimiento es la mayor fuerza que el motor debe contrarrestar para lograr el movimiento del VUMi3. Por otro lado, la fuerza aerodinámica no fue representativa, pues el VUMi3 se traslada a velocidades bajas; mientras que la fuerza inercial tiende a cero conforme el vehículo alcanza una velocidad constante durante los trayectos. Finalmente, la fuerza de resistencia a la rodadura es constante, tomando en consideración que no existe deformación en las llantas ni deslizamiento entre la superficie de contacto y las llantas.

El modelo sirvió para analizar diversas condiciones de manejo, sin embargo el análisis teórico es una simplificación y sus limitaciones engloban el no considerar que las superficies llegan a tener irregularidades como baches o grietas en el terreno; que ante un terreno demasiado irregular como empedrados, la llanta puede dejar de estar en contacto con la superficie por la que se transita; que los materiales de las calles, ciclovías e incluso entradas de algunos edificios corporativos y casas son diferentes (concreto, asfalto, loseta, adoquín, entre otros), modificando el comportamiento del vehículo. Por lo anterior, además del análisis que se realizó de forma teórica, se planteó realizar pruebas en diferentes terrenos una vez construido el prototipo de VUMi3.

Finalmente, debido a que la mayor fuerza por contrarrestar al subir pendientes se debe al peso del vehículo, reducir la masa podría aumentar la autonomía del vehículo y la velocidad por la que transita sobre las rampas; así como reducir la fuerza que se genera como consecuencia de la resistencia a la rodadura; por lo cual, después de establecer la propuesta de diseño, se realizó el análisis comparativo de diversos materiales con el objetivo de disminuir la masa del VUMi3 y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental debido a la selección de un material en específico para la estructura del vehículo.

4.6 AUTONOMÍA DE LA BATERÍA

Con base en los resultados obtenidos del modelo; se identificó la autonomía que nos otorgaría la batería, previamente seleccionada para los dos prototipos anteriores. De esta forma, se obtuvo el tiempo de uso y la distancia recorrida por el VUMi3 con una carga completa de la batería.

La batería seleccionada con anterioridad fue una batería de LiNiMnCoO_2 , de 10Ah con voltaje nominal de 48 [V] (López, 2020). Si se considera que para que el vehículo transite a una velocidad constante de 3.42 [m/s] (es decir, 12.31 [km/h]) por terrenos planos, se requiere de una fuerza del motor de 146.1 [N]. Por lo cual, la potencia mecánica necesaria para mover el vehículo es de 499.66 [W]. Suponiendo que no existen pérdidas en la transformación de energía eléctrica a mecánica, se utilizó la ecuación 15 para identificar la corriente que consume el motor bajo las condiciones anteriores.

$$P = VI \quad (15)$$

En donde:

$P = 499.66$ [W], es la potencia eléctrica

$V = 48$ [V], es el voltaje nominal de la batería

I [A], es la corriente que consume el motor

De esta forma, al despejar I de la ecuación 15, y sustituir los valores conocidos se identificó que se requiere de 10.41 [A] de corriente eléctrica para poder transitar a una velocidad constante de 12.31 [km/h]. Como resultado, ya que la batería seleccionada para los prototipos anteriores tiene una capacidad de 10 [Ah], bajo las condiciones anteriormente mencionadas, la batería tendría una autonomía de 57.7 [min] aproximadamente; en los cuales se podría recorrer un total de 11.8 [km]. Si bien este resultado otorga un parámetro teórico, no contempla las pérdidas al transformar la energía eléctrica a mecánica, ni el transitar por terrenos irregulares, rampas ni topes. Por otro lado, durante el manejo no se transita a una misma velocidad y por lo general, no se logra una velocidad constante debido a topes, baches y obstáculos; por lo cual, se decidió realizar pruebas de autonomía a la par de las pruebas con usuarios, una vez construido el prototipo de VUMi3, con el propósito de contar con un resultado más certero sobre la autonomía con respecto a un trayecto realizado por las calles de la Ciudad de México en donde se entregan paquetes.

4.7 SISTEMAS DE VUMi3

Una vez terminado el modelado, las simulaciones y el cálculo teórico de la autonomía de la batería, la siguiente etapa fue establecer los sistemas del VUMi3 con el propósito de seccionar la búsqueda de soluciones por partes. De esta forma se establecieron los siguientes sistemas:

- a) **Sistema estructural** - Su propósito fue proporcionar soporte al vehículo.
- b) **Sistema de dirección** - Su propósito fue dirigir el vehículo de forma longitudinal y lateral (al avanzar en línea recta o al girar para cambiar de sentido).
- c) **Sistema de eje posterior** - El objetivo de este sistema fue proporcionar soporte a la llanta trasera y permitir el frenado del vehículo.
- d) **Sistema eléctrico/electrónico** - El propósito de este sistema fue alimentar el circuito eléctrico e integrar los elementos electrónicos para la operación del vehículo.
- e) **Sistema envolvente** - El objetivo de este sistema fue proteger el vehículo ante el agua, el polvo y el desgaste, prolongar la vida útil del producto; así como ocultar el contenido del VUMi3, tanto en el contenedor de paquetes como la parte electrónica del mismo.
- f) **Sistema de soporte para el usuario** - El objetivo de este sistema fue garantizar la comodidad y seguridad del usuario al manejar e interactuar con el vehículo.
- g) **Sistema de acceso y seguridad** - Su propósito fue acceder y asegurar el contenido al interior del contenedor de paquetes y del sistema eléctrico/electrónico.

Para cada uno de los sistemas enlistados anteriormente se llevó a cabo la búsqueda de soluciones, por lo cual en las siguientes secciones se presenta el proceso de diseño de cada sistema.

4.8 SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural tuvo el propósito de proporcionar soporte al vehículo, por lo cual se estableció un chasis de tipo *space frame* o multitubular para contar con un armazón homogéneo a partir de la definición de un mismo perfil tubular cuadrado de acero al carbón, de 1/2 [in] de grosor, calibre 18, para la construcción de la propuesta de diseño (Martínez, 2021) y posteriormente se exploró el cambio en el calibre y la presentación del material a través del análisis mecánico de la estructura, lo cual se documentó en el trabajo de tesis de Martínez y Morales (n.d.). De esta forma, la selección del chasis multitubular presentó una ventaja en la disminución de los costos asociados a la manufactura del vehículo a partir de un mismo tipo de material; considerando el corte y doblado del tubular, soldadura de tipo eléctrica y finalmente el pulido o lijado con disco de los cordones de soldadura. Por otro lado, la selección del material fue resultado de su implementación en los primeros dos prototipos construidos (VUM y VUMi2), en donde a partir del análisis mecánico y de las pruebas de funcionalidad, se obtuvo un comportamiento estático y dinámico adecuado para el funcionamiento del vehículo.

Durante el diseño de la estructura, se revisaron las medidas antropométricas de la población mexicana (Universidad de Guadalajara, n.d.), y además se realizaron observaciones en concesionarias de motocicletas con el objetivo de identificar las medidas a considerar en la parte frontal del vehículo, específicamente en aquellos puntos de contacto con las entrepiernas, rodillas y pies de los usuarios. A partir de dichas consideraciones, se construyó un simulador de masa (Borja et.al., n.d.) con el propósito de definir en primera instancia las modificaciones que se realizarían con respecto al prototipo VUMi2 (Figura 4.19). Por lo cual, se identificó que debido al cambio en la geometría de la parte frontal, la propuesta del vehículo debía alargarse para cumplir con el volumen objetivo del contenedor de paquetes, indicado en la tabla de requerimientos (Figura 2.14). Como resultado, se establecieron las medidas aproximadas que el vehículo tendría, las cuales sirvieron de parámetro en la construcción del modelo a computadora. Dichas medidas fueron 106 [cm] de largo, 57.5 [cm] de altura, 35 [cm] de ancho en la parte posterior del vehículo y 22 [cm] en la parte delantera del mismo.



Figura 4.19 Simulador construido para definir las medidas aproximadas de la estructura para VUMi3.

Como resultado, se construyó el modelo de la estructura en un programa de CAD partiendo de la planta y las dimensiones previamente mencionadas (Figura 4.20), y posteriormente se colocaron travesaños verticales y horizontales para delimitar el contenedor de paquetes (Figura 4.21), dando como resultado un volumen de carga de 0.09 [m³] aproximadamente.

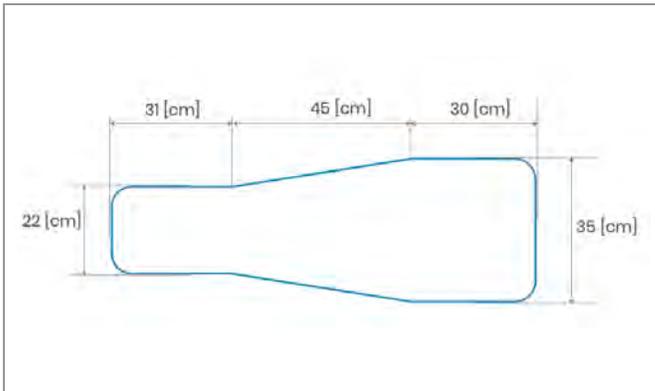


Figura 4.20 Planta de la estructura con las medidas previamente definidas (Martínez, 2021).

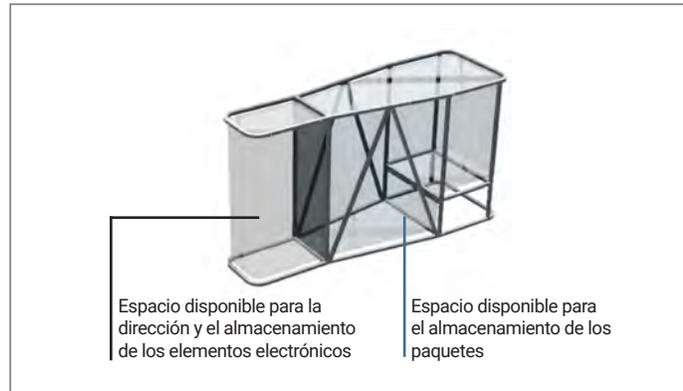


Figura 4.21 Espacio disponible para el almacenamiento de componentes al interior del VUMi3.

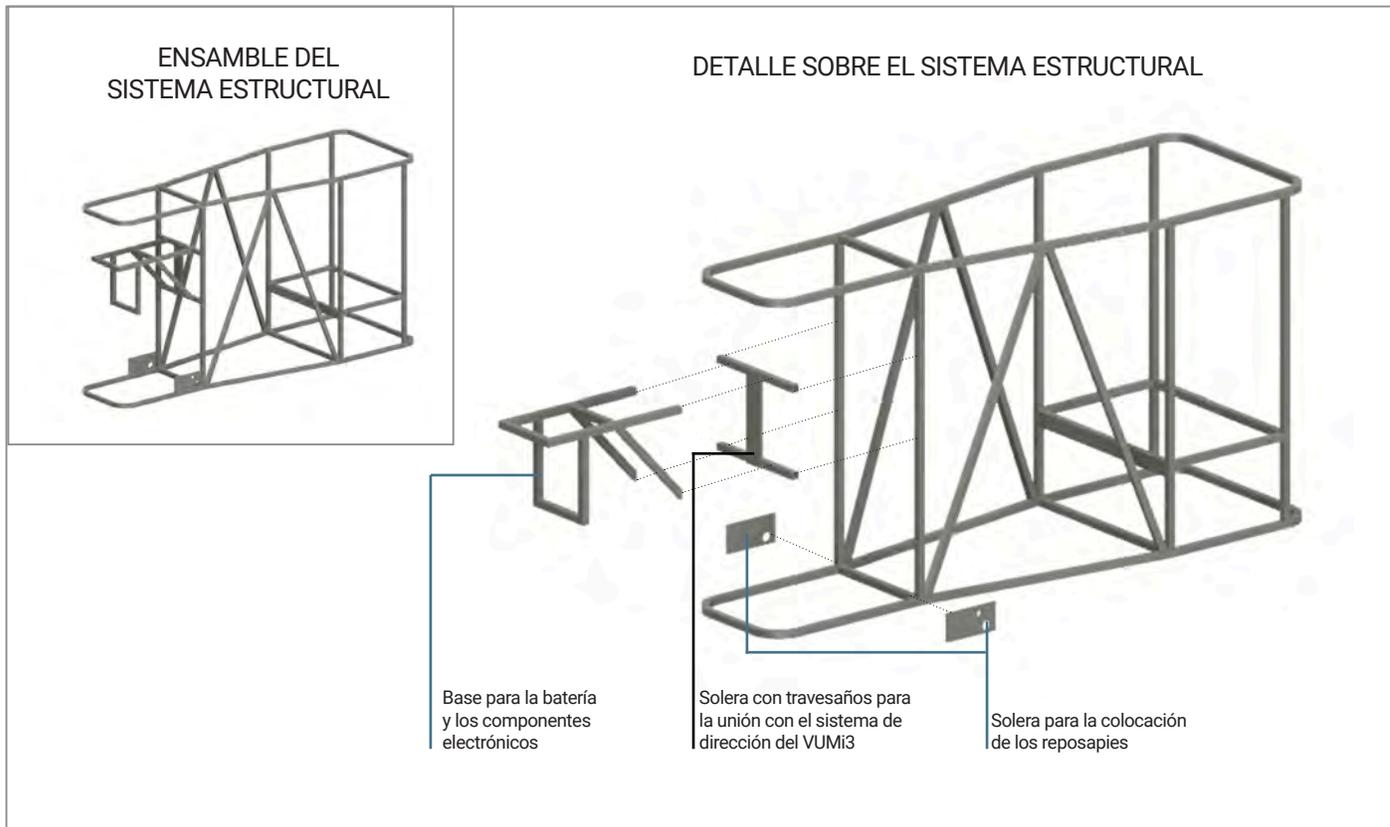


Figura 4.22. Definición de los elementos adicionales de la estructura.

Además, la parte frontal se destinó a la colocación de los elementos del sistema de dirección, y a la vez se definió como almacenamiento de los componentes eléctricos y electrónicos. Los travesaños diagonales que se consideraron, al igual que en los dos prototipos anteriores, tuvieron el propósito de aumentar la rigidez de la estructura y distribuir de mejor forma la carga del usuario.

Posteriormente, en la parte frontal se diseñó la estructura para el soporte de la batería y los componentes electrónicos, mientras que en cada costado se colocó una solera destinada al soporte de los reposapiés. Finalmente, se propuso una solera con tres travesaños como punto de contacto con el sistema de la dirección (Figura 4.22).

4.9 SISTEMA DE DIRECCIÓN

El objetivo del sistema de dirección fue dirigir el sentido en el cual se maneja el vehículo, por lo cual el equipo de diseño se enfocó en definir el ángulo de lanzamiento, establecer la altura del manubrio e identificar el ángulo de giro del VUMi3. En la figura 4.23 se enlistan las piezas que integraron el sistema de dirección con el propósito de brindar referencia al lector con respecto al nombre de cada elemento que se incorporó en la propuesta.

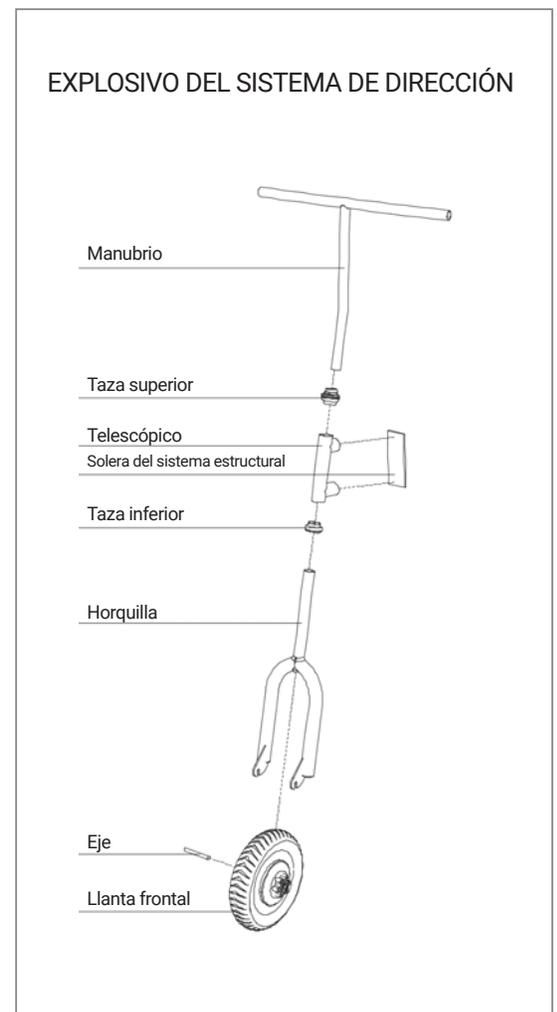


Figura 4.23 Elementos que integraron el sistema de dirección de la propuesta de diseño.

Debido a que a través de las pruebas con usuarios se identificó que 16° como ángulo de lanzamiento tuvo como resultado una mejor experiencia de manejo y disminuyó la sensibilidad del manubrio en comparación con los 13° del primer prototipo (VUM), se decidió establecer 16° como el ángulo para esta tercer propuesta de diseño (Figura 4.24). Además, se identificó que a partir del *offset* o distancia entre el centro de la llanta y la horquilla que la sostiene (Figura 4.25) es posible controlar de mejor forma el manejo del vehículo. Por lo anterior, se buscó una pieza comercial de la horquilla que contara con un *offset* mayor a los 9 [mm] que tenía la horquilla de VUMi2. Como resultado se incorporó en el sistema de dirección, una horquilla comercial con un *offset* de 35 [mm], lo cual mejoró la estabilidad del vehículo y permitió realizar giros lentos (Martínez, 2021).

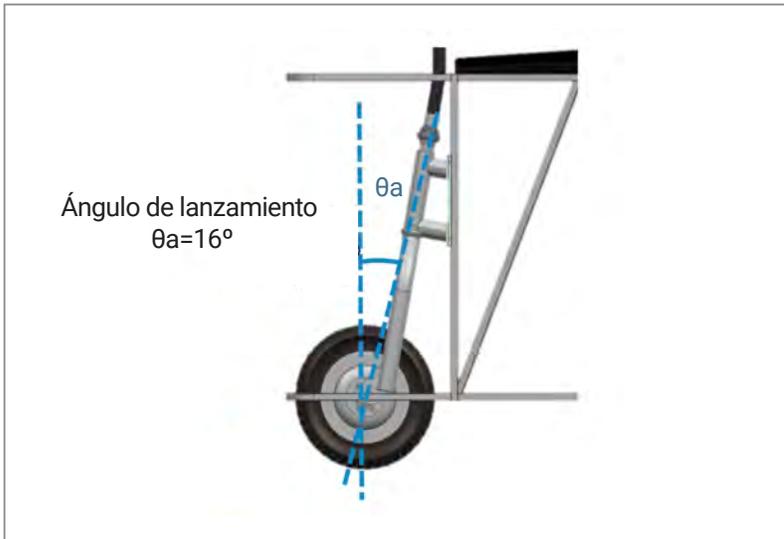


Figura 4.24 Definición del ángulo de lanzamiento para la propuesta de diseño del VUMi3 (Martínez, 2021).

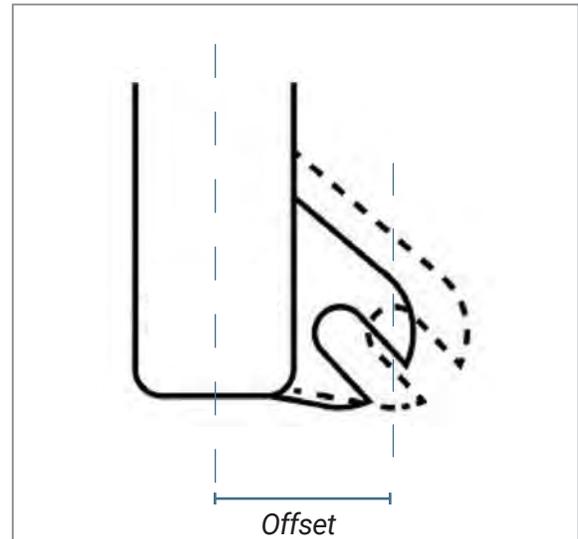


Figura 4.25 *Offset* en la horquilla (Martínez, 2021).

Debido a que el sistema estructural tuvo una modificación en el largo del vehículo, dicho cambio tuvo un impacto en la distancia entre ejes; es decir, en la distancia entre el eje de la llanta frontal y el eje de la llanta trasera. Como resultado se tuvo una distancia entre ejes para VUMi3 de 75.3 [cm], en comparación con los 71 [cm] que tuvo VUMi2. El impacto de dicha modificación se analizó a través de las pruebas de funcionalidad, las cuales se presentan en la sección 4.18 de este capítulo, con el objetivo de observar el comportamiento del VUMi3 al pasar por obstáculos, zonas irregulares y topes.

Por otro lado, el ángulo de dirección de la rueda frontal se limitó a 22° hacia cada lado (Figura 4.26) con el propósito de evitar que un usuario girara bruscamente durante el manejo, así como evitar el uso del VUMi3 en situaciones extraordinarias; promoviendo la precaución y el manejo responsable para evitar percances viales. De esta forma, a través del diagrama de la figura 4.27, se obtuvo el radio de giro R con respecto a la llanta trasera (Ecuación 16),

$$R = L / \tan \delta \quad (16)$$

En donde:

R [m], es el radio de giro para la llanta trasera

L [m], es la distancia entre ejes

δ [rad], es el ángulo de dirección de la rueda frontal

Como resultado se identificó que el menor radio de giro que el VUMi3 tendría es de 1.9 [m], tomando en cuenta un ángulo máximo de giro de la llanta frontal de 22° , y suponiendo que no existe condición de deslizamiento entre la llanta y el piso. En la figura 4.28 se muestra la tabla con el radio de giro resultante para giros de entre 2° y 22° , como parte del análisis que se realizó para el VUMi3.

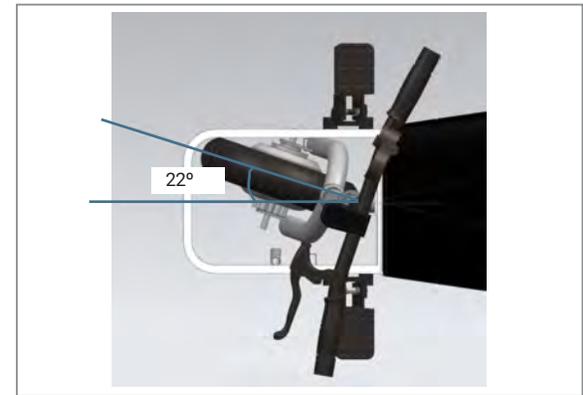


Figura 4.26 Ángulo de dirección máximo de la llanta frontal para cambiar el sentido del vehículo (Martínez, 2021).

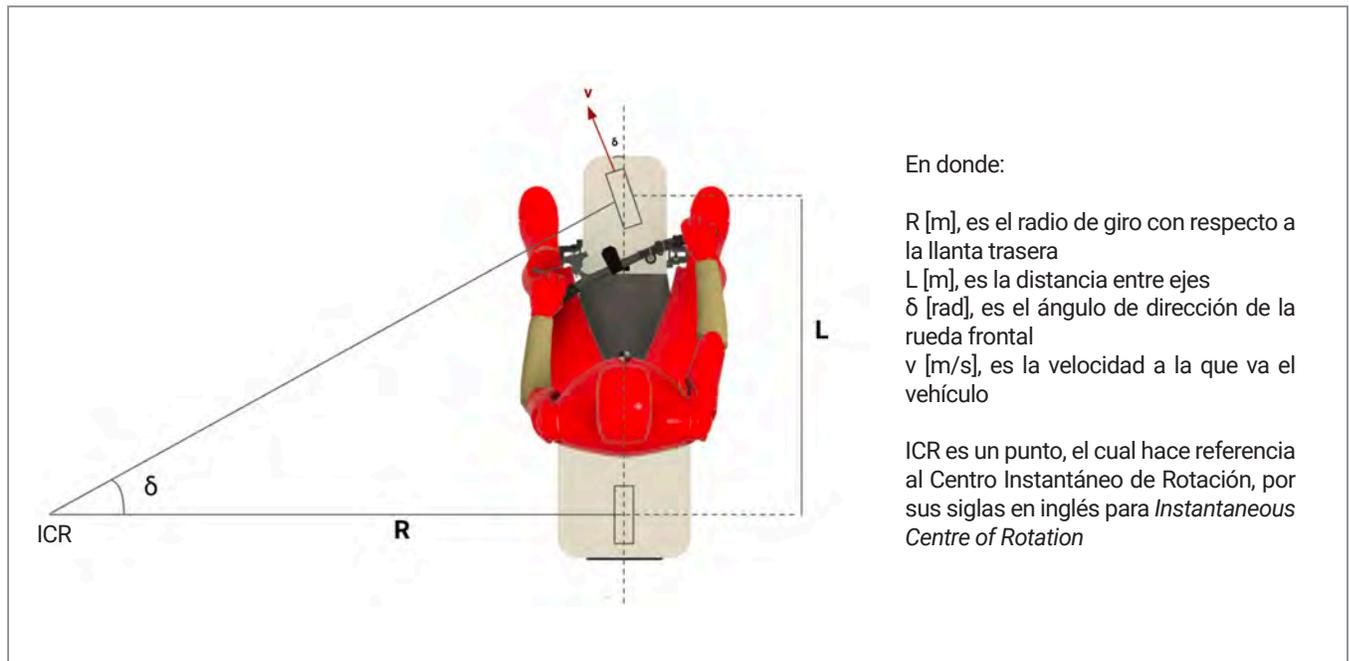


Figura 4.27 Diagrama en vista superior de un usuario con el VUMi3 al girar para cambiar el sentido del vehículo.

Finalmente, la altura del manubrio se estableció como resultado de la revisión de las medidas antropométricas para la población mexicana, tomando en consideración a un usuario sentado. De esta forma se concluyó que una altura de entre 70 y 75 [cm] con respecto a los reposapiés, fue la medida que se implementó para colocar el manubrio; es decir, a una distancia de entre 90 y 95 [cm] con respecto al piso (Figura 4.29).

RADIO DE GIRO PARA ÁNGULOS DE ENTRE 2 Y 22°		
Ángulo		R
[°]	[rad]	[m]
2	0.035	21.6
4	0.069	10.8
6	0.105	7.2
8	0.139	5.4
10	0.174	4.3
12	0.209	3.5
14	0.244	3.0
16	0.279	2.6
18	0.314	2.3
20	0.349	2.0
22	0.383	1.9

Figura 4.28 Cálculo del radio de giro del VUMi3 para ángulo de giro de la llanta de entre 2 y 22°.

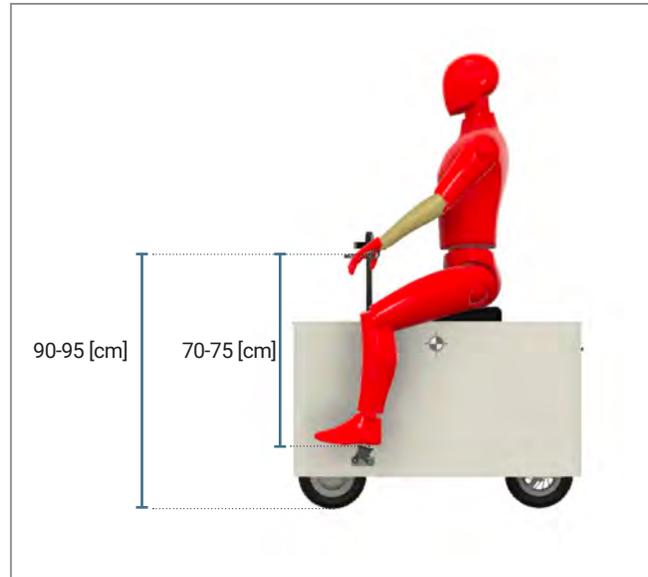


Figura 4.29 Altura del manubrio con respecto al reposapiés y con respecto al piso.

4.10 SISTEMA DE EJE POSTERIOR

El objetivo del eje posterior fue proporcionar soporte a la llanta trasera y permitir el frenado del vehículo. Por lo cual, para este sistema, el equipo se enfocó en definir la estructura para la llanta y el soporte del caliper. La figura 4.30 presenta la primer propuesta que se estableció; además de indicar cómo se nombró a cada pieza que integró el sistema.

A partir de la primer propuesta se realizaron modificaciones en la pieza "Tijera" (Figura 4.31) pues se identificó que debido a la fuerza ejercida por los topes, baches y otras irregularidades en el terreno sobre la llanta, ésta no conservaba su posición; lo cual representó un

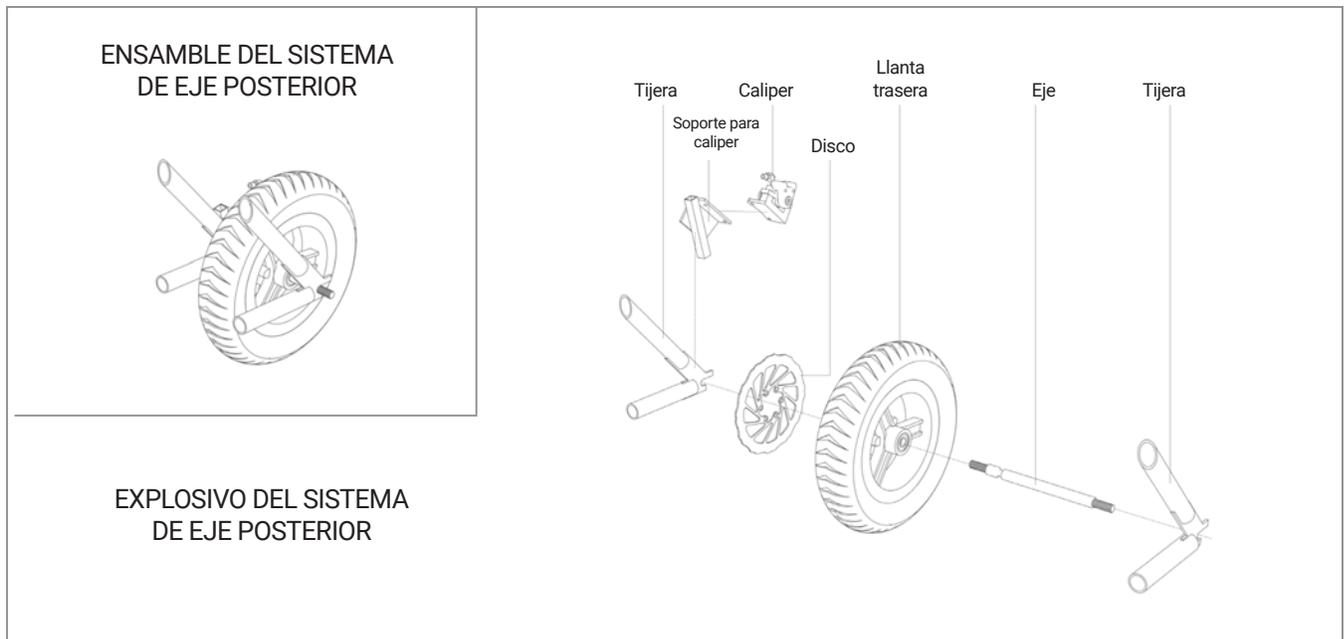


Figura 4.30 Elementos que integraron el sistema de eje posterior de VUMi3.

comportamiento crítico a solucionar ya que comprometía la seguridad del usuario e imposibilitaba el funcionamiento del vehículo. Por lo cual se modificó dicha pieza como se observa en la figura 4.32. El análisis de dicha modificación se realizó a través de las pruebas de funcionalidad como se indica en la sección 4.18 de este capítulo.

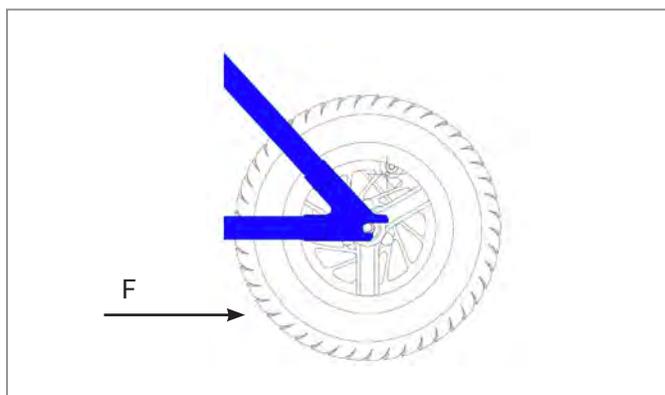


Figura 4.31 Fuerza aplicada sobre la llanta como resultado del impacto con una superficie irregular, un tope o un bache.

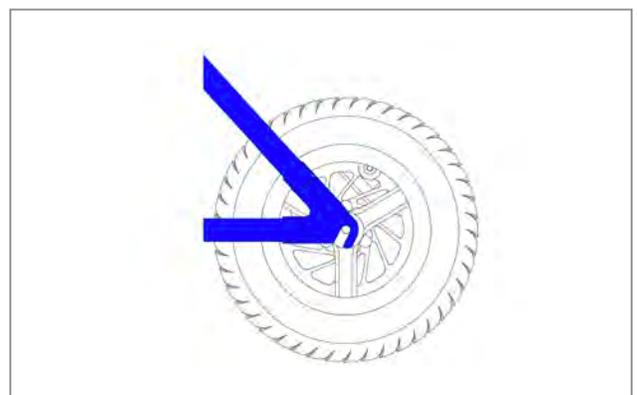


Figura 4.32 Modificación planteada para la pieza "Tijera" del sistema de eje trasero.

Por otro lado, con respecto al frenado del VUMi3 se incorporó un caliper para frenado con disco, así como el soporte del caliper; el cual se manufacturó a partir del tubular de la estructura y ángulo de acero al carbón de 1 [in]. El sistema incorporó además una palanca de freno colocada en el manubrio del vehículo, y el chicote, el cual al ser accionado provocó que el caliper detuviera el disco y como consecuencia que el vehículo se detuviera o redujera su velocidad.

4.11 SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO

Con el objetivo de seleccionar aquellos componentes electrónicos necesarios para cumplir con los requerimientos que por normativa y seguridad debe incluir el vehículo; se realizó un diagrama unifilar como se muestra en la figura 4.33.

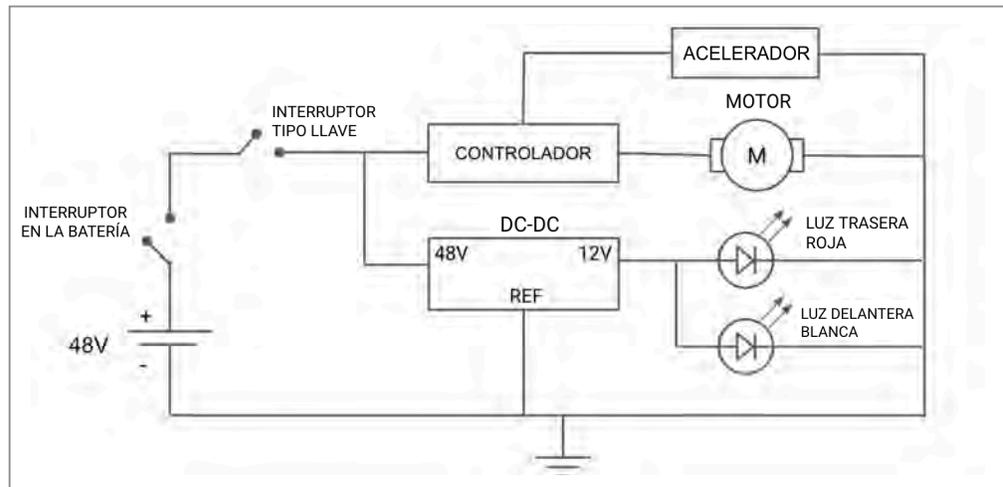


Figura 4.33 Diagrama unifilar sobre los componentes electrónicos.

La selección contempló únicamente aquellos elementos adicionales al motor, la batería, el acelerador y el controlador; pues dichos componentes se seleccionaron con anterioridad y la justificación se presenta en el trabajo de tesis de López (2020), Martínez (2021) y Hernández (2021). Además, debido al costo elevado de dichos elementos, a la disponibilidad de dichos productos únicamente por importación y a los tiempos de entrega de al menos un mes después de la compra; se tomó la decisión de incorporar la batería, el controlador y el motor que se utilizaron en los prototipos pasados, pero esta vez dentro de la propuesta para VUMi3. Cabe señalar que dichos componentes se

encuentran disponibles con proveedores en México; sin embargo, también son productos importados, por lo cual el costo de venta al público es aún mayor. Adicionalmente, con base en el análisis teórico de la dinámica longitudinal y las simulaciones se justificó el uso de los elementos anteriormente mencionados.

El diagrama unifilar incorporó un convertidor DC-DC para permitir la conexión de elementos que funcionan a 12 [V] como lo son la luz frontal y la luz trasera; ya que de acuerdo al análisis de piezas comerciales, se identificó que en el mercado predominan los elementos electrónicos en dicho voltaje de operación pues son ampliamente utilizados en motocicletas; por lo que facilitaría la sustitución de los mismos durante el mantenimiento correctivo; o en su caso, intercambiarlos por otro modelo en caso de ser necesario. Por lo anterior, se seleccionó un convertidor DC-DC (Figura 4.34) de 48 [V] a 12 [V] que opera con un máximo de 5 [A] de corriente; con una carcasa para disipar el calor, con protección contra sobrecorriente y ante cortocircuitos; además de encontrarse sellado, proporcionando una mayor durabilidad del producto por ser resistente ante el agua y polvo, con un grado IP68 (UNIT Electronics, n.d.).



Descripción del producto	
Fabricante	RC RUN
Voltaje a la entrada	DC 32 - 60 [V]
Voltaje a la salida	DC 12 [V]
Dimensiones	5.7 x 6.4 x 2.2 [cm]
Potencia de salida	60 [W]
Protección	IP68
Temperatura de operación	-30 a +80 [°C]

Figura 4.34 Convertidor DC-DC de 48 [V] a 12 [V] (UNIT Electronics, n.d.) (Flip Life Of Sweden, nd.).



Descripción del producto	
Fabricante	Hopemob
Voltaje de operación	DC 11-14 [V]
Material	Caucho
Dimensiones	20 [cm] (ancho) x 1.3 [cm] (largo)
Vida útil	60,000 [h]
Protección	IP68 (Impermeable)
Tipo de fuente de luz	LED SMD 3528

Figura 4.35 Especificaciones de la tira led roja para la luz trasera (Hopemob, n.d.)

Una vez definido el convertidor DC-DC, se seleccionó una tira de leds rojos para colocarla en la parte trasera del VUMi3 (Figura 4.35), ya que cuenta con un grado IP68, resistente ante agua y polvo. A diferencia de otros productos similares en el mercado, en la parte trasera del producto se encuentra una tira de pegamento 3M, útil para que en alguna situación extraordinaria, se pegue sobre la lámina y así evitar multas o percances viales durante la conducción del vehículo. Aunque el vendedor no proporciona datos sobre el consumo energético, se identificó que las tiras LED SMD 3528 son de media potencia al consumir 5 [W/m] (Ledbox, n.d.).



Descripción del producto	
Fabricante	No especificado
Voltaje de operación	5 [V]
Material de la carcasa	ABS
Dimensiones	7.5 x 7.9 x 4.3 [cm]
Tiempo de operación	2-24 [h] aproximadamente y dependiendo del modo de uso
Protección	Resistente a la lluvia
Tipo de fuente de luz	LED CREE XP-G

Figura 4.36 Especificaciones de la luz delantera blanca (Led supermall, n.d.)



Descripción del producto	
Fabricante	Electropedaleo
Voltaje máximo	DC 54 [V]
Voltaje nominal	DC 48 [V]
Voltaje de descarga	DC 40 [V]
Corriente de carga	3 [A]
Ciclos de vida	700-1000
Autonomía	25-30 [km]
Capacidad	10 [Ah]

Figura 4.37 Especificaciones de la batería seleccionada (Electropedaleo, n.d.).

Para la selección de la luz delantera blanca, en un inicio se contempló incorporar una lámpara LED de 12[V] de operación como se muestra en el diagrama unifilar; sin embargo, se decidió adquirir una lámpara LED a 5 [V] (Figura 4.36), la cual contó con una batería independiente de 1200 [mAh], recargable a través de un cable micro-USB.

De esta forma se buscó identificar durante las pruebas del VUMi3, si esta era una mejor opción en comparación con el uso del convertidor DC-DC, ya que la lámpara blanca a 5 [V] no requirió de cableado adicional, pero supuso un elemento cuya batería debía recargarse diariamente a la par de la batería de 48 [V].

En cuanto a la batería que se adquirió, presentó una configuración de 4P13S, lo cual significa que 4 paquetes de 13 baterías en serie, son conectadas en paralelo (Figura 4.37). Dicha batería trabajó con un voltaje nominal de 48 [V], una capacidad de 10 [Ah] y contó con un Sistema de Gestión de la Batería (BMS por sus siglas en inglés para *Battery Management System*), el cual se encargó de proteger y garantizar la seguridad del operador al interactuar con la batería, detectar condiciones inseguras de operación, proteger cada celda de la batería ante situaciones de fallo, prologar la vida útil de la batería y mantener un estado de funcionalidad del producto; así como informar al controlador sobre la carga y descarga de la batería (Referencia Coursera). Sin embargo, al adquirirla, únicamente contó con una bolsa de tela como protección ante el agua y polvo; por lo cual se decidió diseñar una carcasa, en donde se colocaron los elementos adicionales como un botón para interrumpir o permitir el flujo de energía eléctrica, el conector para cargar la batería y los cables de alimentación para el circuito eléctrico (Figura 4.38). El material seleccionado para construir la carcasa fue ácido poliláctico PLA (*Polylactic Acid*) debido a la disponibilidad del mismo y a la accesibilidad que el equipo de diseño tuvo con respecto a una máquina Creality CR-10S (Creality, n.d.), la cual permitió la manufactura aditiva de las piezas a través de la tecnología de Modelado por Deposición de Material (FDM por sus siglas en inglés para *Fused Deposition Modeling*) (Stratasys, n.d.). Las razones por las cuales se seleccionó dicho material y dicho proceso de manufactura se debió a la libertad de forma que se tuvo a través de crear un modelo 3D en un programa de CAD para posteriormente construir las piezas. De esta forma fue posible identificar la viabilidad del modelo y hacer los ajustes pertinentes para la manufactura subsecuente de las piezas. Además, debido a que la cantidad de vehículos a construir en el primer lote de VUMi3 no excedería las 100 unidades, el considerar otros procesos de manufactura, como la inyección de un polímero, no resultó viable ya que involucraría una mayor inversión al tener que construir los moldes de inyección para las piezas.

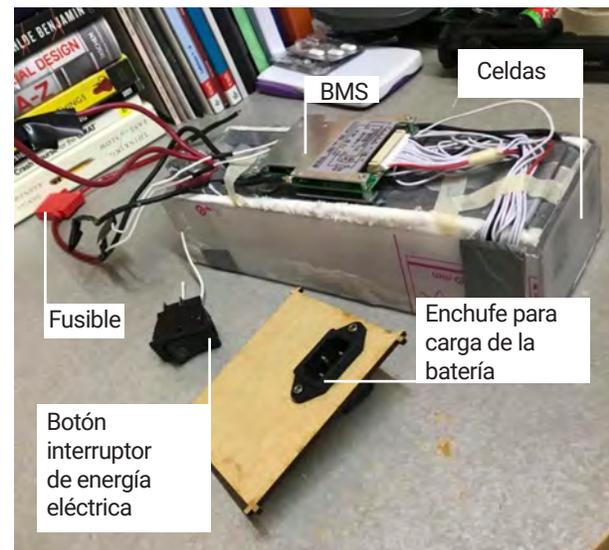


Figura 4.38 Elementos que integraron el módulo de la batería.



Figura 4.39 Simulador de MDF para la carcasa de la batería con los elementos que integraron el módulo.

En cuanto al material, se decidió incorporar un polímero ya que se buscó que fuera aislante para evitar la conducción eléctrica y que al mismo tiempo no permitiera el paso de agua, en caso de que la carcasa llegara a mojarse. Como consecuencia, maderas y metales conductores se descartaron; así como los metales no conductores como el aluminio, ya que considerarlos aumentaría significativamente el costo de la materia prima y de la manufactura. Como resultado se construyó un primer simulador de la batería con MDF, cuyas dimensiones fueron 12 x 10.6 x 32 [cm] (Figura 4.39); sin embargo se identificó que el alto de la carcasa debía reducirse, pues presentó problemas al incorporarlo en la propuesta de diseño. Por lo anterior, se modificó la distribución de los elementos, específicamente del enchufe para carga de la batería, resultando en la propuesta de carcasa que se muestra en la figura 4.40, cuyas dimensiones fueron 12.4 x 10.6 x 28.2 [cm].

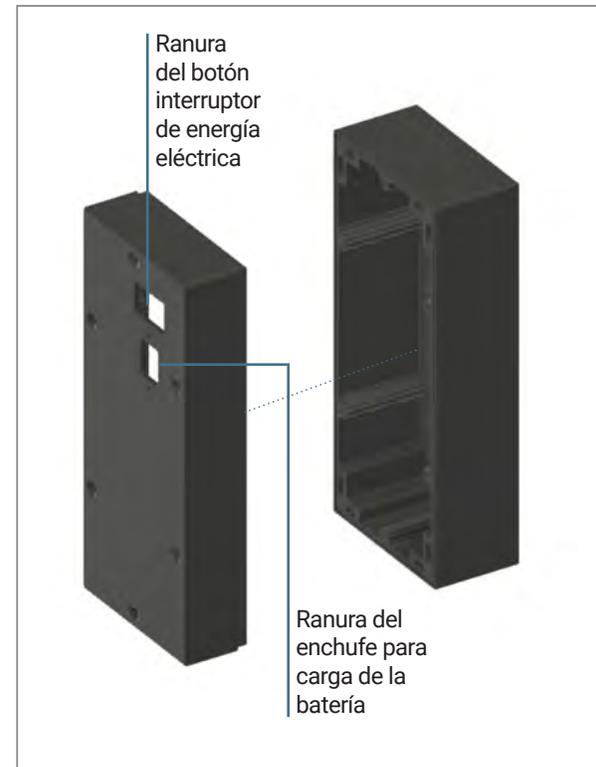


Figura 4.40 Modelo de las piezas de la carcasa para el módulo de la batería.

Por otro lado, se implementó un segundo interruptor, pero de tipo llave (Figura 4.41) para que únicamente los usuarios del vehículo pudieran encender y utilizar el VUMi3, lo cual funcionó además como un parámetro adicional de seguridad en caso de dejar estacionado el vehículo al entregar paquetes.



Descripción del producto	
Fabricante	Keenso
Pines	2
Compatibilidad	Motocicleta Yamaha YFM 350 Bruin 660R 700
Material	ABS

Figura 4.41 Especificaciones del interruptor tipo llave (Amazon, b)

Con respecto al requerimiento relacionado con la localización del vehículo (Requerimiento 16 de la tabla 2.26) y de acuerdo a la normativa para circular por la Ciudad de México, se realizó la selección de un sistema GPS (por sus siglas en inglés para *Global Positioning System*) para obtener la ubicación en tiempo real del VUMi3. Si bien la empresa colaboradora utilizó sistemas de localización GPS Tom tom (Tom tom, n.d.), no se incorporaron en la propuesta de diseño debido al costo elevado de dichos productos; sus dimensiones; y finalmente, debido a que son productos que se colocan en el automóvil para ayudar al chofer durante el manejo del vehículo (Figura 4.42).

El diseño de un sistema GPS no se tuvo en consideración ya que al construirlo, sería necesario contar con un contrato de telefonía móvil para el envío de la ubicación; limitando la cantidad de información que el sistema pudiera enviar o recibir con respecto al plan de datos contratado. Otra alternativa que se consideró pero no se implementó, fue obtener la ubicación del VUMi3 a partir de la ubicación del celular que pertenece al repartidor; sin embargo, en caso de dejar el VUMi3 estacionado, no se tendría información sobre la localización del vehículo y este podría ser robado. Finalmente, se podría obtener la ubicación del vehículo con base en el sistema integral de WiFi gratuito que existe en la ciudad (Gobierno de la Ciudad de México, 2021); sin embargo, el sistema sigue en ampliación para generar una mayor cobertura en la ciudad y la implementación de este sistema en la propuesta de diseño podría considerarse a futuro con base en la viabilidad de dicha solución.

Por lo anterior, se tomó la decisión de analizar dos sistemas GPS cuyas dimensiones permitieran incorporarlo en la parte frontal del VUMi3. El primero de ellos (Figura 4.43) fue un sistema que funcionó con base en la red 2G, también conocida como GSM (*Global System Mobile communications*), el cual presentó la desventaja de que próximamente la red 2G será desactivada en algunas zonas geográficas con el propósito de aprovechar el espectro de operación para la red 5G (Nae Global, n.d.). Dicho GPS tenía un voltaje de operación de entre 7 y 50 [V] de acuerdo al fabricante; por lo cual su implementación en el sistema con el convertidor DC-DC fue satisfactoria. La desventaja que presentó el dispositivo fue la poca cobertura con la que contó en las pruebas preliminares de funcionalidad, pues no se logró establecer conexión con la red para identificar la posición; por lo cual fue descartado como opción.



Figura 4.42 Sistema GO Discover de Tom tom (Tom tom, n.d.)



Descripción del producto	
Fabricante	No se indica. Distribuido por ElevenII
Cobertura	Red 2G
Dimensiones	90 x 45 x12 [mm]
Voltaje de operación	DC 7 a 50 [V]

Figura 4.43 Especificaciones del primer sistema GPS analizado (Amazon, c)



Descripción del producto	
Fabricante	Amcrest
Cobertura	Red 4G
Dimensiones	3 x 1.6 x 1 [in]
Batería	Li-Polímero 2600 [mAh]
Protección	IPX5
Voltaje de carga	DC 5 [V]
Temperatura de operación	-20 a +55 [°C]

Figura 4.44 Especificaciones del sistema GPS Amcrest (Amazon, d).

El segundo sistema analizado fue un GPS Amcrest que funcionó con base en la red 4G (Figura 4.44). Dicho sistema presentó como ventaja el contar con una plataforma en la nube para el registro de los datos y el envío de alertas por mensaje de texto SMS, por sus siglas en inglés para *Short Message Service*. Dicho sistema contó con una batería de 2600 [mAh] con una duración aproximada de 10 a 14 días para el rastreo del VUMi3; lo cual presentó una ventaja, pues al no depender de la batería de 48 [V], se contó con la ubicación del vehículo a pesar de que el sistema general no tuviera energía eléctrica. El sistema GPS se implementó de forma satisfactoria en la propuesta y con base en las pruebas preliminares que se realizaron fue posible obtener la localización, la velocidad de operación del vehículo y el envío de alertas por teléfono celular dentro de la Ciudad de México.

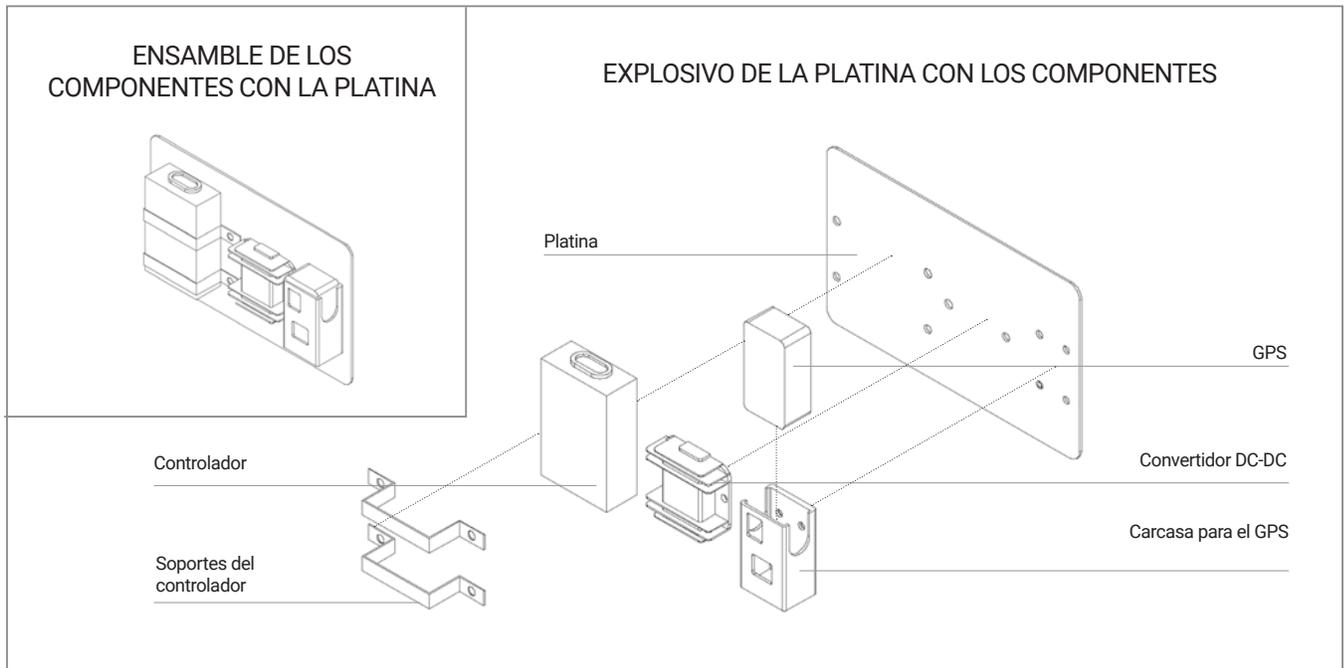


Figura 4.45 Platina para el soporte de los componentes del sistema eléctrico/electrónico.

Una vez seleccionados los componentes del sistema eléctrico/electrónico, se diseñó una platina de acero al carbón calibre 20 con el propósito de brindar soporte al controlador, convertidor DC-DC y al GPS (Figura 4.45). Dicha platina se sostuvo de la estructura, en específico de la parte en donde se coloca la carcasa con la batería (Figura 4.46). Como resultado, la platina facilitó el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema; al mismo tiempo que organizó los elementos dentro del VUMi3. Por otro lado se diseñaron dos soportes para el controlador, con base en la misma lámina calibre 20 utilizada para la platina; además de una base para el GPS de PLA que permitió la colocación y el retiro del dispositivo para realizar la carga periódica de su batería.

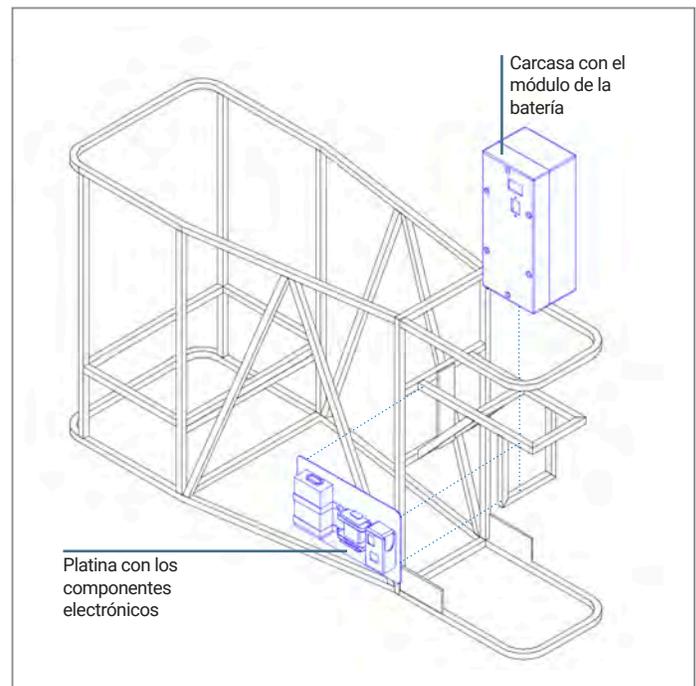


Figura 4.46 Colocación de los componentes electrónicos al sistema estructural de VUMi3.

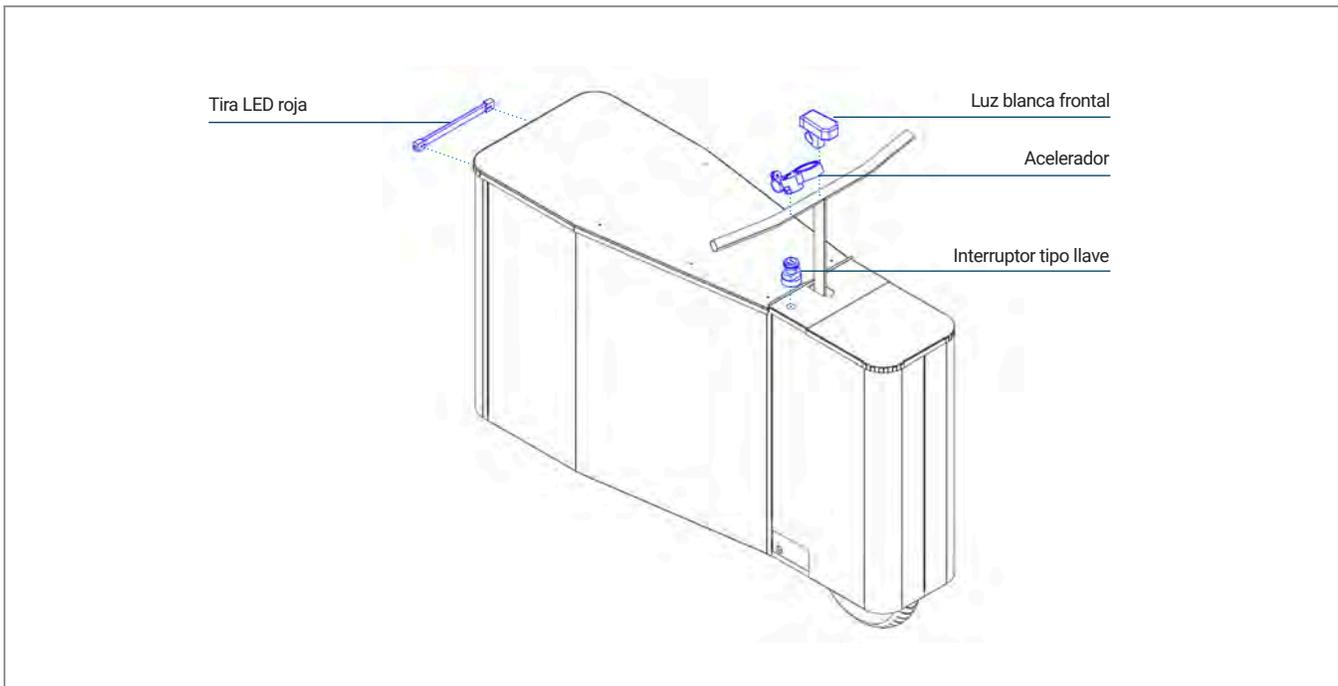


Figura 4.47 Ubicación de la luz frontal y trasera, acelerador e interruptor tipo llave sobre el VUMi3.

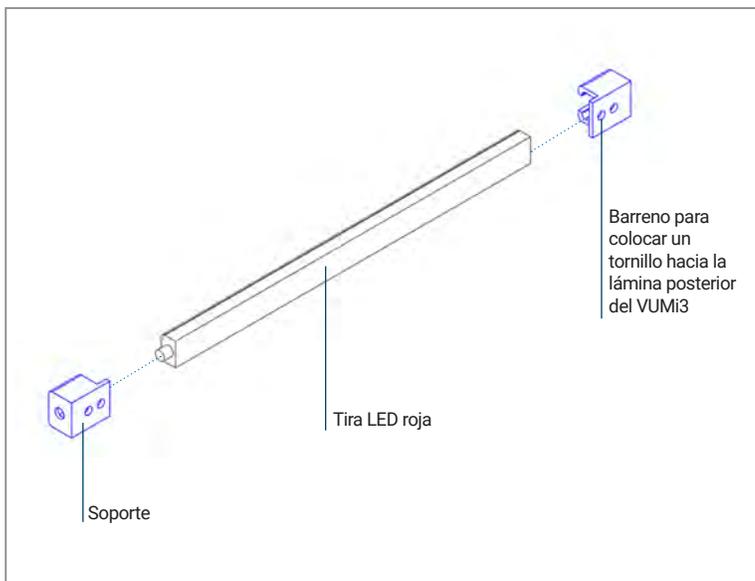


Figura 4.48 Soportes para colocar la tira LED roja en la parte trasera del VUMi3.

La ubicación de los componentes restantes (la luz frontal, luz trasera, el acelerador y el interruptor tipo llave) se estableció posterior a la definición del sistema envolvente, pues fue sobre las piezas de dicho sistema que se colocaron (Figura 4.47). Adicionalmente, se diseñaron dos soportes de PLA, atornillados a las láminas traseras del VUMi3 con el propósito de sostener la tira LED roja. De esta forma no se utilizó la tira adhesiva 3M y se conservó en caso de necesitarla durante alguna situación extraordinaria (figura 4.48).

Finalmente, en la figura 4.49 se muestran las conexiones que se implementaron del motor y del acelerador con respecto al controlador. El color de las conexiones está relacionado con el color de los cables de cada componente. El acelerador incluyó una pantalla LCD en donde se desplegó la carga de la batería y la velocidad de manejo del vehículo, así como un sensor Hall para identificar cuando el usuario modificaba la posición del gatillo para acelerar el VUMi3 durante el manejo.

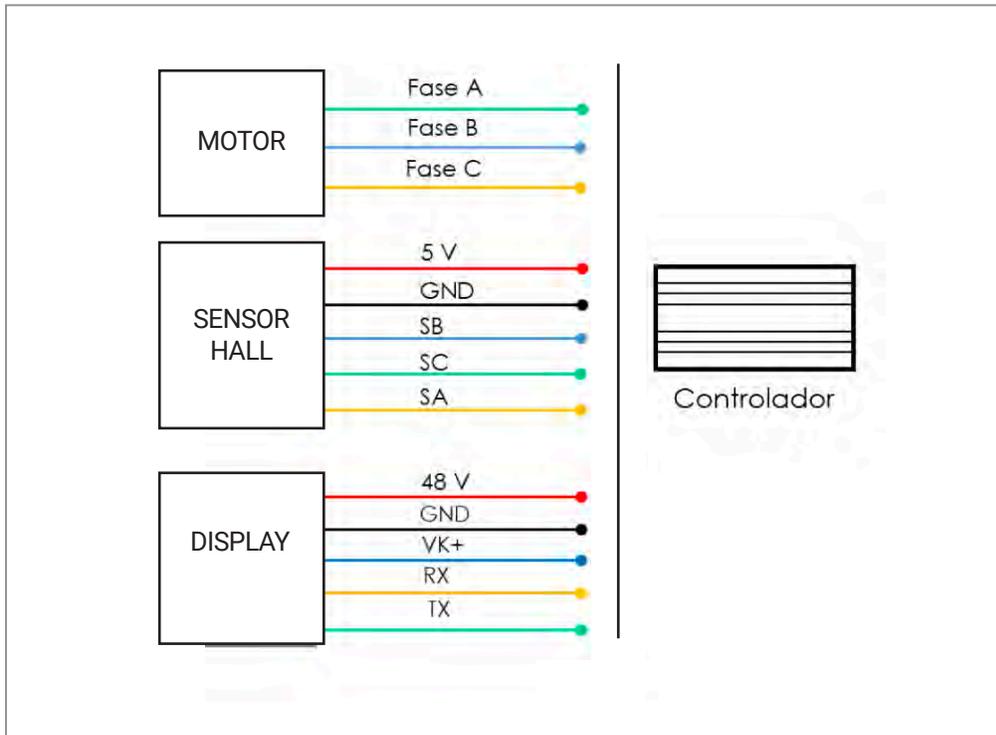


Figura 4.49 Diagrama de conexiones entre el motor y el acelerador con el controlador. (López, 2020).

4.12 SISTEMA ENVOLVENTE

El objetivo del sistema envolvente fue proteger el vehículo ante el agua, el polvo y el desgaste, para así prolongar la vida útil del producto; además de ocultar el contenido del VUMi3, tanto en el contenedor de paquetes como la parte electrónica del mismo. Por lo cual, se diseñaron las cubiertas a partir de lámina de acero al carbón calibre 22; tomando en consideración su disponibilidad, costo y presentación en láminas. De esta forma, la lámina calibre 22 fue lo suficientemente rígida para proteger el contenido

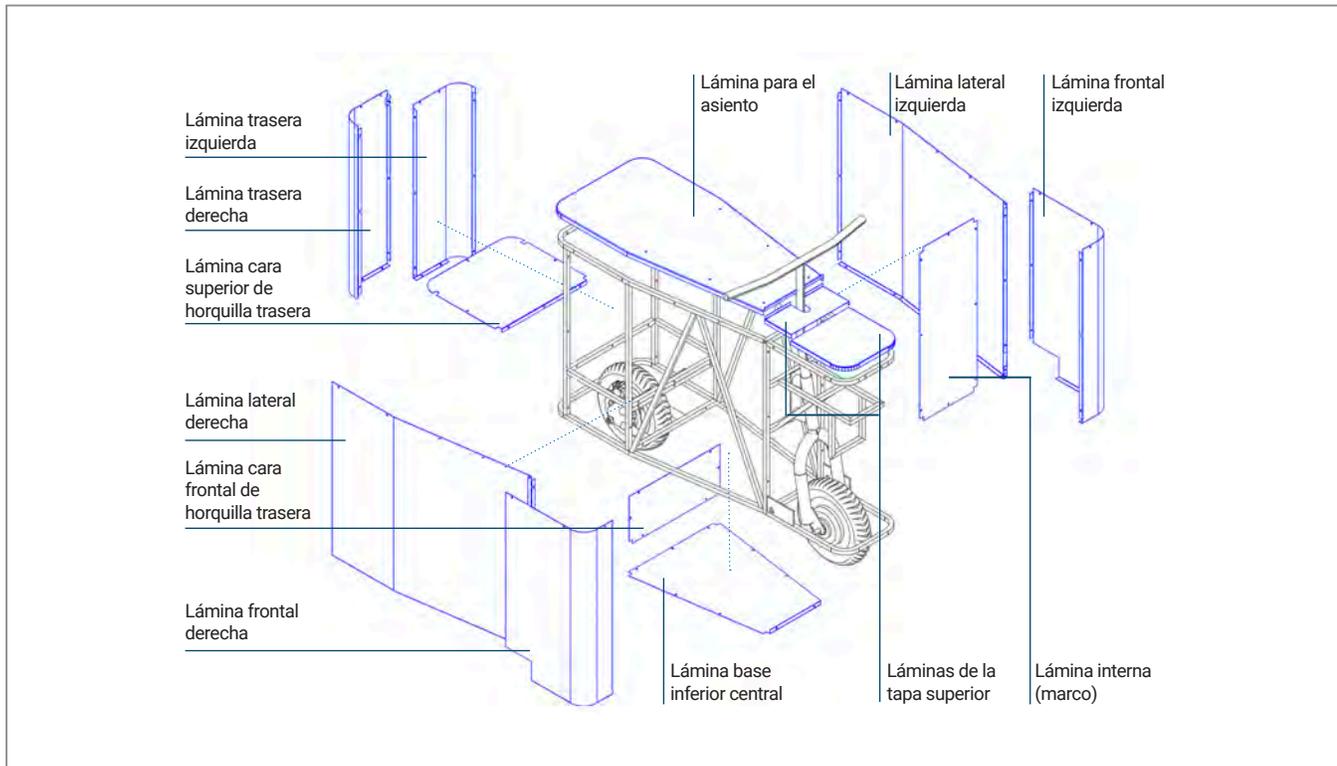


Figura 4.50 Sistema envolvente del VUMi3.

del VUMi3 y al mismo tiempo delgada para no aumentar de forma considerable la masa del vehículo (Figura 4.50).

Únicamente la pieza “Lámina para asiento” incorporó lámina de acero al carbón calibre 18 como material, ya que a partir del análisis mecánico realizado para el prototipo VUMi2, se identificó que dicha pieza al estar en contacto directo con la masa del usuario, presentaría deformaciones si se implementaba un material más delgado (Martínez y Morales, 2021). De forma adicional, sobre dicha pieza se diseñaron soportes en forma de omega con lámina del mismo calibre para evitar su pandeo, colocados en la parte inferior de la pieza (Figura 4.51).

Las piezas del sistema se diseñaron tomando en cuenta los procesos de corte, rolado y doblado de lámina. Además, se estableció la secuencia de ensamble; de esta forma al ir colocando cada pieza, la sobreposición de cada una de ellas con la anterior, restringió en lo posible el ingreso del agua o polvo al interior del vehículo, especialmente dentro del contenedor de paquetes.

Con respecto al ensamble de cada pieza, se propuso el uso de remaches; por lo cual se definieron los barrenos en cada pieza del sistema de envolvente y en aquellas piezas del sistema estructural en donde se sujetarían. El uso de remaches se seleccionó debido a su bajo costo, a que permite unir piezas de diferentes materiales y en específico, debido a las uniones ciegas, ya que una vez soldada la estructura, solo se tuvo acceso a la cara externa de las piezas pero no al interior del tubular cuadrado al que se sujetarían; por lo cual los remaches fueron una solución adecuada. Adicionalmente, en caso de que alguna de las piezas del sistema envolvente tuviera que cambiarse, el proceso podría realizarse al taladrar sobre el remache, cambiar dicha pieza y colocar un remache nuevo sobre el barreno; facilitando el mantenimiento del vehículo sin necesidad de ir a un taller mecánico.

En caso de no utilizar remaches para la sujeción de las piezas y debido a que la lámina calibre 22 es de 0.76 [mm] de espesor (Nacional de Acero, n.d.), se propuso como alternativa recurrir a procesos de soldadura como el proceso MAG (*Metal Active Gas*); MIG (*Metal Inert Gas*) también conocida como soldadura de microalambre (The Welding Institute, a); o TIG (*Tungsten-electrode Inert Gas*) (The Welding Institute, b) (Láminas y aceros, n.d.); asegurando de esta forma un proceso de soldado rápido, una alta resistencia en la soldadura y baja distorsión (Binzel-abicolor, n.d.); ya que el uso de soldadura eléctrica perforaría la lámina en lugar de soldarla a la estructura.

Finalmente, se propuso el uso de pintura electrostática blanca para recubrir el sistema envolvente y parte del sistema estructural con el propósito de evitar la oxidación del vehículo y como consecuencia alargar la vida útil del producto. Las ventajas de este proceso son un menor costo en comparación con otro proceso de pintura, se cuenta con un acabado homogéneo y no requiere de una aplicación de pintura anticorrosiva de forma previa al proceso de pintado electrostático. Además, cuenta con gran resistencia a cambios ambientales, larga durabilidad y capacidad de retención del color y brillo de hasta aproximadamente 10 años en el exterior (Mapirel, n.d.). La selección en el color de la pintura fue resultado de los requerimientos que se solicitan a las empresas repartidoras; en donde los vehículos deben ser blancos, sin propaganda ni elementos gráficos que asocien el vehículo con el contenido del mismo.

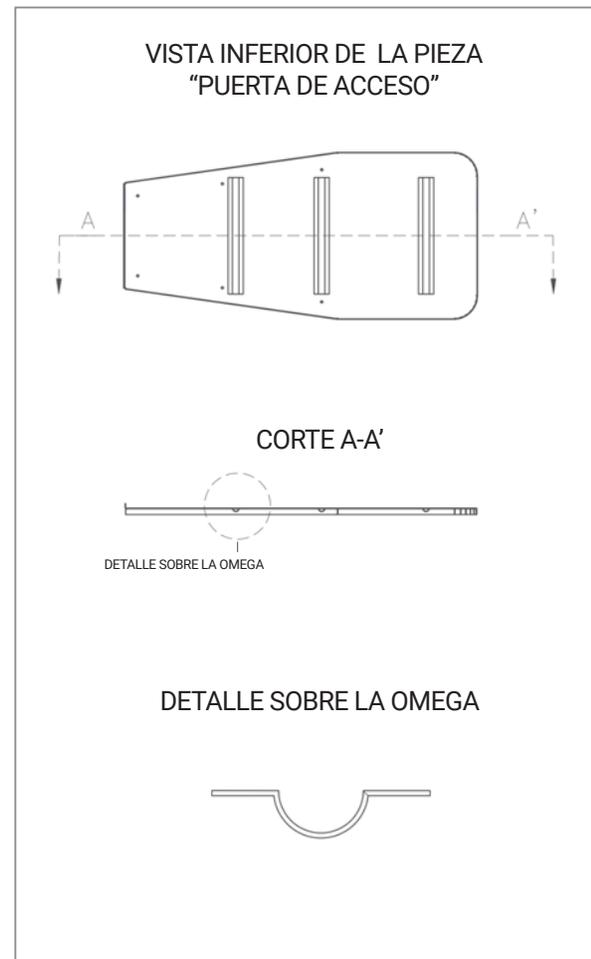


Figura 4.51 Vista inferior de la pieza "Puerta de acceso", en donde se implementaron soportes en forma de omegas para evitar la deformación de la pieza.

4.13 SISTEMA DE SOPORTE PARA EL USUARIO

El objetivo del sistema de soporte para el usuario fue garantizar la comodidad y seguridad del usuario al manejar e interactuar con el vehículo. Por lo cual, el equipo de trabajo se enfocó en el diseño del asiento, en la colocación de los reposapiés y finalmente, en el diseño de un caballete que permitiera mantener estático el vehículo al estar estacionado. En la figura 4.52 se muestran los elementos que integraron este sistema.

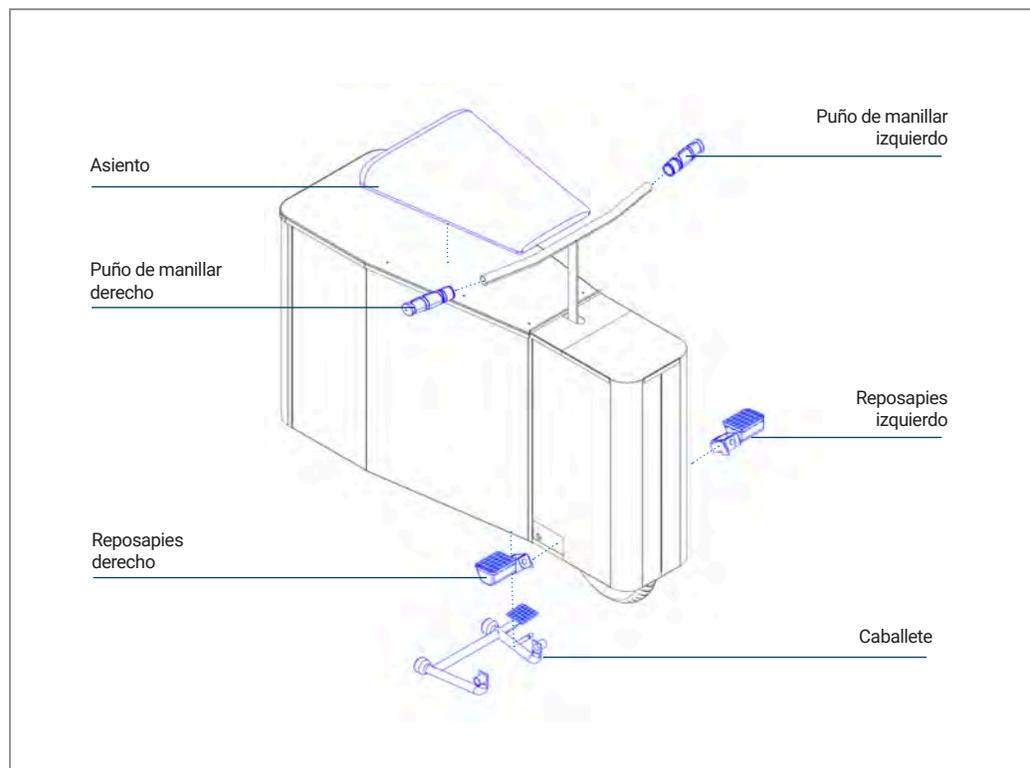


Figura 4.52 Elementos que integraron el sistema de soporte para el usuario.

A través de las pruebas con usuarios realizadas con el prototipo VUMi2, se identificó que si bien el asiento fue cómodo con respecto a los materiales, la forma rectangular del mismo presentó comentarios negativos debido al contacto de dos de sus vértices con la entrepierna de los participantes, lo cual tuvo impacto desfavorable durante la experiencia de manejo. Como consecuencia, la propuesta de asiento para VUMi3 presentó una forma trapezoidal, de forma similar a la pieza "Puerta de acceso" del sistema envolvente en donde se colocó. El largo del asiento se

estableció de 47 [cm] con el objetivo de limitar el uso del vehículo a un solo usuario, dejando espacio disponible en la parte trasera para colocar paquetes adicionales, la mochila del conductor o algún artículo personal. Como materiales para el asiento, se seleccionó una base de madera con relleno de espuma y un recubrimiento de vinil, ya que fue el material utilizado durante la manufactura del asiento para el prototipo VUMi2.

Con respecto a los reposapiés, estos se colocaron a una altura del piso de entre 15 y 20 [cm]; ya que de acuerdo a las medidas antropométricas y a los comentarios de los participantes al interactuar con el prototipo de VUMi2, se identificó que dicha altura fue percibida por los usuarios como segura, ya que podían bajar los pies rápidamente para conservar el equilibrio o actuar de forma rápida en caso de perder el control del vehículo. Como resultado se implementaron los reposapiés que se muestran en la figura 4.53.



Descripción del producto	
Fabricante	Roda
Modelo	DM150
Peso	740 [g]
Dimensiones	7 x7 x 15 [cm]
Materiales	Acero y goma

Figura 4.53 Reposapiés para VUMi3 (Motometa n.d.).



Descripción del producto	
Fabricante	GUB
Materiales	Aluminio, esponja y goma
Diámetro de manubrio de bicicleta	22 [mm]
Dimensiones	13.3 x 3.5 [cm]

Figura 4.54 Puños de manillar para VUMi3 (Amazon, e).



Figura 4.55 Piezas comerciales para mantener estática una motocicleta pequeña o una bicicleta.

En el manubrio se colocaron dos puños de manillar, los cuales fueron piezas comerciales de aluminio con espuma (Figura 4.54). La implementación de los mismos permitió una mayor adaptabilidad a la forma de la mano del usuario y a una mejora en el agarre del manubrio (Camino Perfecto, n.d.).

Finalmente, se diseñó un caballete para colocar el vehículo en posición estática al estacionarlo. Al inicio se buscó incorporar una pieza comercial en la propuesta de diseño; sin embargo, las que se consideraron fueron piezas utilizadas en bicicletas o motocicletas (Figura 4.55), por lo que algunas de ellas requerían cierta inclinación del vehículo para implementarse, mientras que otras no se acoplaron a la forma del VUMi3. Como resultado y a partir de una pieza comercial que funciona como parador para una motocicleta Italika DS125 (Figura 4.56), se diseñó el caballete para el VUMi3.

La propuesta de caballete se sujetó de las soleras para los reposapiés a través de dos bujes, dos tornillos y dos tuercas (Figura 4.57); y además contó con un resorte que permitió colocarlo en dos posiciones diferentes: En la primera de ellas, el resorte se elongó y el caballete elevó la llanta frontal, impidiendo el contacto de esta con el piso y como consecuencia, el VUMi3 se mantuvo estático. Por otro lado, en la segunda posición, la elongación en el resorte fue menor y su fuerza mantuvo el caballete en contacto con la superficie inferior del VUMi3, permitiendo el manejo del vehículo (Figura 4.58).

Para realizar el cambio de la primera a la segunda posición, el usuario tomó el manubrio con una mano y con la otra empujó la parte trasera del VUMi3; provocando de esta forma que el caballete pasara a la posición 2. Por otro lado, para hacer el cambio de la segunda a la primera posición, el usuario tomó el manubrio con ambas manos y con el pie accionó la palanca del parador. De esta forma, el parador entró en contacto con el piso, levantando la llanta frontal y manteniendo estático el VUMi3. En la sección 4.17 se muestran las imágenes de un usuario realizando el cambio entre posiciones.



Figura 4.56 Parador de motocicleta Italika DS125 (Mercadolibre, n.d.)

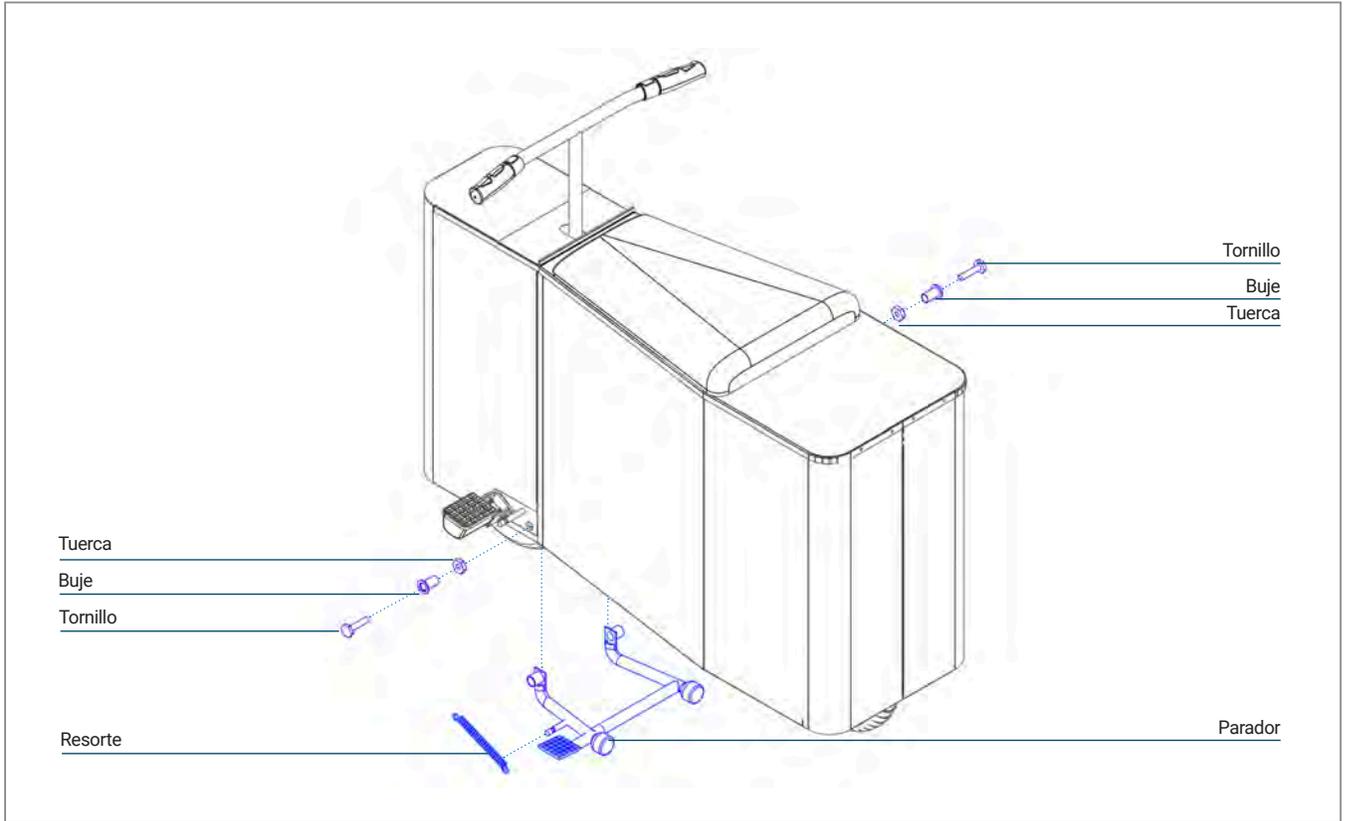


Figura 4.57 Piezas que formaron parte del caballete del VUMi3.

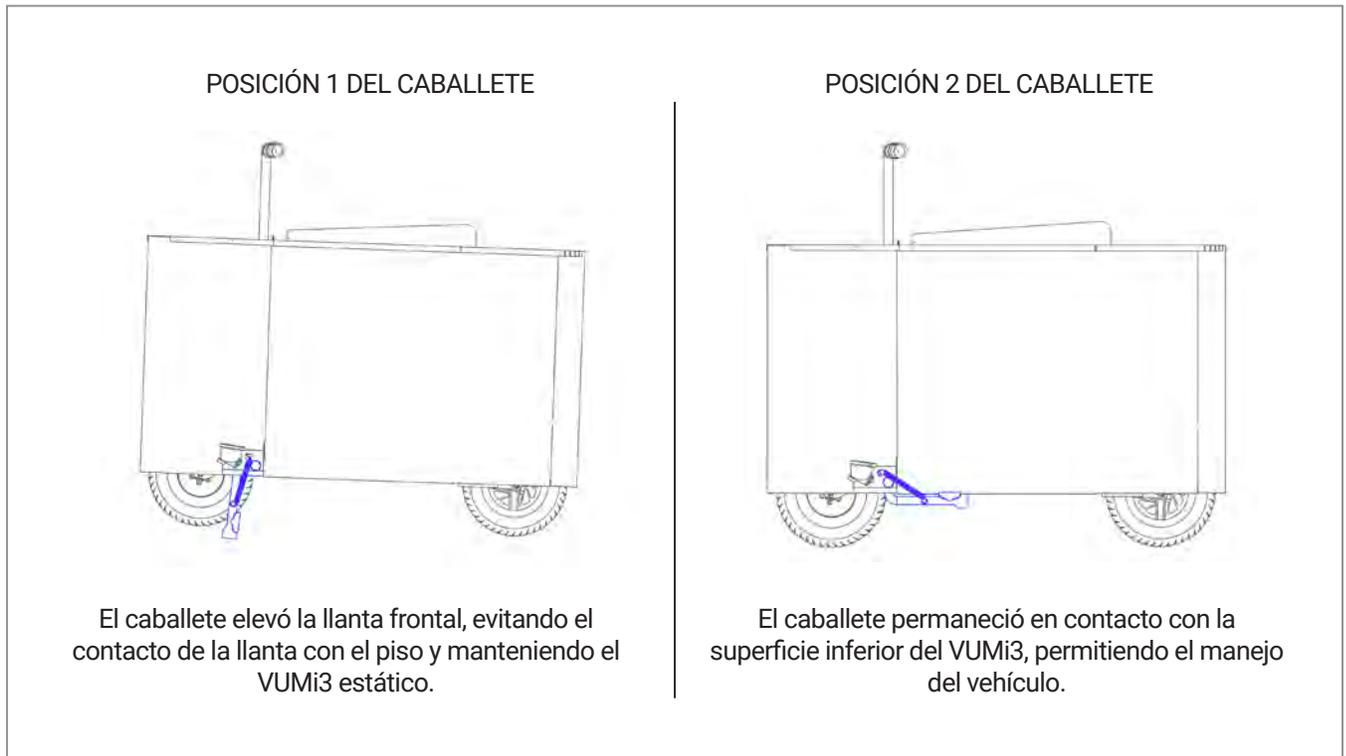


Figura 4.58 Posiciones en las que se colocó el caballete.

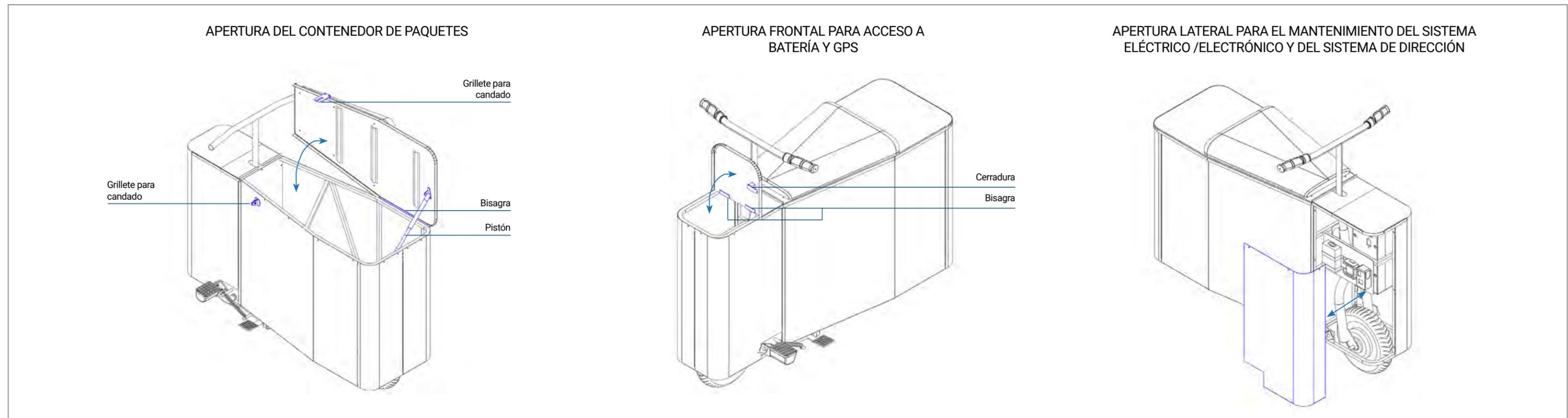


Figura 4.59 Elementos de seguridad y apertura para el acceso al contenedor de paquetes; acceso frontal para colocar la batería y el GPS; y acceso lateral para el mantenimiento del sistema.

4.14 SISTEMA DE ACCESO Y SEGURIDAD

El objetivo del sistema de acceso y seguridad fue accesar y asegurar el contenido al interior del contenedor de paquetes, así como del sistema eléctrico electrónico. Por lo cual, se establecieron tres formas diferentes de accesar al vehículo: La apertura del contenedor de paquetes, la apertura frontal para colocar la batería y el GPS; y finalmente, una apertura lateral para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema eléctrico/electrónico y del sistema de dirección.

El primer acceso que se definió fue la apertura del contenedor de paquetes, el cual se estableció a partir de la pieza "Lámina para asiento", garantizando que dicho acceso estuviera cerrado durante el manejo del vehículo y que una vez estacionado, el usuario pudiera abrirlo de forma lateral e interactuar con los paquetes en el contenedor (Figura 4.59). Sobre la pieza "Lámina para asiento" y sobre la "Lámina lateral izquierda" se colocó un grillete para la utilización de un candado, asegurando de esta forma el contenido al interior del vehículo al dejarlo estacionado. La "Lámina para asiento" incorporó además una bisagra de piano que guió el movimiento de la pieza durante su

apertura y su cierre. Finalmente, con el objetivo de mantener la "Lámina para asiento" abierta, se implementó un pistón de 60 [N], el cual soporta hasta 6 [kg]; de esta forma, el usuario contó con ambas manos para poder colocar o retirar paquetes en el interior del vehículo sin la necesidad de sostener la puerta durante la interacción con el contenido del VUMi3.

El segundo acceso que se planteó fue sobre una de las "Láminas de la tapa superior" con el objetivo de colocar o retirar la batería de 48 [V] y el GPS. Por lo cual, se colocaron dos bisagras para permitir el movimiento de apertura y cierre, así como una cerradura con llave comercial utilizada en cajones y estantes.

Finalmente, el tercer acceso que se definió fue sobre la "Lámina frontal derecha", la cual en lugar de colocarse con remaches como se estableció anteriormente, se sostuvo a través de tornillos hacia la estructura; permitiendo el acceso a todo el sistema eléctrico/electrónico y al sistema de dirección con el objetivo de proporcionar el mantenimiento correctivo y preventivo al tener que cambiar algún componente, una llanta desinflada.

4.15 PROPUESTA FINAL



Figura 4.60 Propuesta final de diseño: VUMi3.

La integración de los siete sistemas dió como resultado la propuesta final de diseño, la cual se nombró VUMi3 por las siglas Vehículo de Última Milla - Innovación, con el número 3 por ser la tercer propuesta establecida.

VUMi3 es un vehículo personal eléctrico dedicado a la entrega de paquetería, cuyo objetivo es transportar y entregar cajas y sobres hacia el usuario final, haciendo uso de ciclovía y carriles de baja velocidad, con una batería eléctrica recargable; beneficiando de esta forma la movilidad en zonas residenciales, espacios corporativos y conjuntos habitacionales. La propuesta de diseño permitió contar con un vehículo que mejora la relación entre el volumen de paquetería que se puede transportar y el tiempo de entrega, con la ventaja de disminuir la contaminación ambiental.

Las dimensiones generales de VUMi3 son 106 [cm] de largo, 75 [cm] de altura entre el piso y el asiento, 95 [cm] de altura entre el piso y el manubrio, y 53 [cm] de ancho. El vehículo cuenta con una estructura tubular y un juego de láminas de acero, con recubrimiento de pintura electrostática para alargar la vida útil del producto. VUMi3 tiene una masa de 41.2 [kg]; cuenta con un motor eléctrico integrado a la llanta delantera, una batería eléctrica recargable de ion-Litio, freno de disco en la llanta posterior del vehículo, llantas neumáticas de 10 [in], un sistema de rastreo GPS *Amcrest*, acelerador, caballete y freno de palanca en el manubrio. El vehículo cuenta además con un interruptor tipo llave para poner en marcha el vehículo, una luz blanca delantera y luz roja trasera con base en la normativa para circular en Ciudad de México.

El volumen de carga de paquetes de VUMi3 es de 0.09 [m³], con la posibilidad de incorporar cajas o una mochila adicional en la parte posterior del vehículo. Cuenta con tres accesos: Uno bajo la lámina con el asiento para la apertura del contenedor el paquetes; otro en la parte frontal para colocar o retirar la batería y el GPS; y uno en la parte lateral para el mantenimiento del vehículo.

VUMi3 transporta 1 usuario como máximo y alcanza una velocidad máxima de 25 [km/h], lo cual le permite circular por ciclovías de la Ciudad de México con base en el Reglamento de Tránsito 2019 (Figura 4.61), así como por calles estrechas, entre coches detenidos por el tráfico y manifestaciones.



Figura 4.61 Renders sobre la circulación de VUMi3 por ciclovías de la Ciudad de México.

4.17 MANUFACTURA DEL PROTOTIPO

Con la integración de los sistemas en la propuesta final de diseño, se comenzó la manufactura del prototipo, la cual se llevó a cabo en dos etapas.

En la primera etapa se manufacturó una parte del sistema estructural en un taller mecánico mientras que las piezas que integran tanto el sistema de dirección, el sistema de eje posterior y el resto de las piezas del sistema estructural se fabricaron dentro de las instalaciones de la universidad por los integrantes del equipo. Además, se cortaron las piezas individuales que pertenecían al sistema envolvente y con un proveedor externo se construyó el asiento en tela y espuma (Figura 4.62).



Figura 4.62 Construcción del prototipo como parte de la primer etapa de manufactura.

Desafortunadamente, durante esta etapa, la construcción del prototipo se vio interrumpida debido a la pandemia por COVID-19, por lo cual no fue posible utilizar las instalaciones de la universidad. Como consecuencia, la segunda etapa contempló la fabricación del prototipo en un taller mecánico que contó con los procesos de manufactura para el doblado y rolado de láminas, soldadura eléctrica y soldadura con micro-alambre. De esta forma, durante esta etapa se continuó con la construcción del sistema estructural y su integración con el sistema de dirección y de eje posterior (Figura 4.63).



Figura 4.63 Segunda etapa de manufactura para el prototipo de VUMi3: Rolado de láminas (a), soporte para el módulo de la batería (b,c), láminas frontales (d).

La manufactura del prototipo continuó durante la segunda etapa al integrar el sistema envolvente al prototipo, se colocaron los reposapiés y se manufacturaron aquellos elementos que brindaron soporte al sistema electrónico, como la platina para el GPS, el controlador y el convertidor DC-DC; y además se manufacturaron de forma aditiva aquellas piezas en PLA como la carcasa para la batería, los soportes de la tira LED roja y la carcasa del GPS (Figura 4.64).



Figura 4.64 Manufactura aditiva de las piezas utilizando PLA (a), colocación del reposapiés (b), colocación del sistema envolvente (c) y elaboración de la platina para los componentes electrónicos (d).

Algunos de los problemas a los cuales se enfrentó el equipo de trabajo durante esta etapa fueron las restricciones de operación para actividades no esenciales dentro de la Ciudad de México, por lo cual los tiempos de entrega se vieron afectados. Por otro lado, una vez que las láminas del sistema envolvente estaban listas para colocarse con remaches, el equipo de trabajo identificó que parte de la estructura que un inicio se había mandando manufacturar en un taller, se construyó utilizando barra sólida cuadrada en lugar del perfil tubular cuadrado establecido como material dentro del sistema estructural; limitando de esta forma el uso de remaches para sostener las láminas. Por lo anterior, para el prototipo se utilizó soldadura con micro-alambre en las secciones donde no fue posible colocar los remaches.



Figura 4.65 Soldado de la bisagra de piano en la parte posterior del vehículo (a), colocación del grillete para el candado (b), colocación del pistón para mantener abierto el compartimiento de paquetes (c), manufactura de la pieza parador (d).

Posteriormente, el equipo de trabajo se enfocó en el sistema de soporte para usuario y el sistema de seguridad, por lo cual se realizó la colocación de los soportes en forma de omega en la pieza del asiento, se colocaron los soportes para el pistón que sostuvo el acceso al contenedor de paquetes, se manufacturó el caballete del prototipo y finalmente se colocó el grillete para el candado (Figura 4.65). Durante estos pasos, se identificó que algunas tolerancias establecidas al construir las piezas no permitieron la apertura del contenedor como originalmente se había planteado; por lo cual en el prototipo se colocó la bisagra de piano en la parte posterior, modificando como consecuencia aquellos elementos relacionados con la colocación del pistón.

El siguiente paso fue integrar todos los elementos para verificar que todas las piezas del prototipo estuvieran consideradas, identificar posibles detalles y comprobar el funcionamiento de los componentes eléctricos y electrónicos (Figura 4.66).



Figura 4.66 Integración de todas las piezas, incluyendo los componentes eléctricos y electrónicos del VUMi3.

Finalmente, la segunda etapa de manufactura concluyó al pintar el prototipo con pintura electrostática blanca e integrando posteriormente todos los elementos de los sistemas previamente establecidos (Figura 4.67). De esta forma se terminó con la fabricación del prototipo, aunque se realizaron modificaciones posteriores al mismo con base en los resultados de las pruebas de funcionalidad, con el propósito de contar con un prototipo que permitiera realizar las pruebas con usuarios repartidores.



Figura 4.67 Integración de los elementos en el prototipo de VUMi3.

4.17 SECUENCIA DE USO

A continuación se presenta la secuencia de uso del VUMi3 con base en tres posibles escenarios:

1) Secuencia de uso al operar el vehículo

Descripción de los pasos para el uso del VUMi3 (Figura 4.68).

2) Secuencia previa al manejo

Descripción de los pasos a seguir para colocar o retirar la batería y/o el GPS. Se divide en las siguientes secciones:

- a) Al retirar la batería sin carga del VUMi3 (Figura 4.69)
- b) Al retirar el GPS sin carga del VUMi3 (Figura 4.70)
- c) Al cargar la batería y colocarla en el VUMi3 (Figura 4.71)
- d) Al retirar el GPS descargado del VUMi3 (Figura 4.72)

3) Secuencia para el mantenimiento

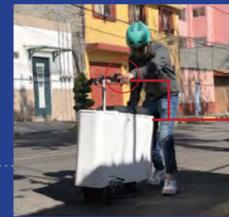
Descripción de los pasos para realizar el mantenimiento preventivo y/o correctivo. La secuencia solo presenta aquellos pasos que los usuarios pueden realizar sin necesidad de contar con algún tipo de conocimiento técnico. Por lo cual, la explicación se limita a presentar las siguientes dos secciones:

- a) Ajuste del freno (Figura 4.73)
- b) Acceso a la parte frontal del vehículo para el cambio de la llanta delantera y/o reemplazo de algún dispositivo eléctrico/electrónico (figura 4.74)

Figura 4.68 Secuencia de uso para operar el VUMi3.

1) SECUENCIA DE USO AL OPERAR EL VEHÍCULO

1. El caballete se retira al sujetar con una mano el manubrio al mismo tiempo que se empuja la parte trasera del vehículo con la otra mano.



2. El usuario verifica que el caballete se encuentre completamente plegado, de lo contrario, lo empuja con el pie hacia atrás.



3. El usuario sube al VUM y enciende el vehículo con la llave tipo switch al girarla hacia la derecha.



Al encender el vehículo, la luz trasera roja se enciende automáticamente.



4. El usuario enciende la luz frontal blanca al oprimir una vez el botón.



5. El usuario enciende el acelerador al dejar presionado el botón rojo hasta que la pantalla encienda.



El vehículo cuenta con el botón MODE que permite cambiar el modo de manejo, lo cual ayuda a subir pendientes o manejar en terrenos irregulares. Se recomienda ajustarlo de acuerdo a la comodidad del usuario al manejar el VUM.



6. El usuario pone el vehículo en movimiento al tirar del gatillo del acelerador.



7. Al frenar, el usuario usa la palanca con la mano izquierda, lo cual activa el freno en la llanta trasera del vehículo.



8. En caso de ser necesario, el usuario puede emitir un sonido con la campana, con el objetivo de alertar a los choferes de otros vehículos o peatones.



9. Al terminar un recorrido el usuario oprime el botón rojo del acelerador hasta que la pantalla se apague.



10. El usuario oprime el botón de la luz frontal hasta que ésta deje de emitir luz.



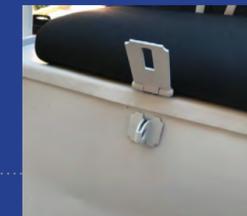
11. El usuario gira la llave tipo switch y la retira del vehículo.



12. El usuario desmonta el vehículo y para colocar el caballete, toma con ambas manos el manubrio al mismo tiempo que empuja con el pie la palanca del parador.



13. El usuario retira el candado del grillete, lo cual permite la apertura del contenedor de paquetes.



14. El usuario apertura el contenedor de paquetes y extrae aquellos que se entregarán.



15. El usuario cierra el contenedor y coloca el candado en el grillete.



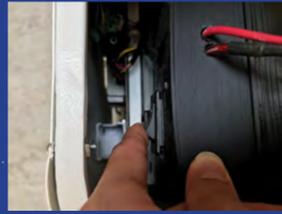
2) SECUENCIA PREVIA AL MANEJO

a) Al retirar la batería sin carga del VUMi3

1. El usuario utiliza la llave para abrir la puerta frontal del vehículo.



2. El usuario interrumpe el flujo de corriente al oprimir el switch que se encuentra en la batería.



3. El usuario desconecta el conector amarillo.



4. El usuario retira la batería del vehículo.



5. El usuario cierra la puerta frontal con llave.



Figura 4.69 Secuencia de uso para retirar la batería sin carga del VUMi3.

b) Al retirar el GPS sin carga del VUMi3

1. El usuario utiliza la llave para abrir la puerta frontal del vehículo.



2. El usuario retira la batería del vehículo.



3. El usuario extrae el GPS con la mano izquierda.



4. El usuario cierra la puerta frontal con llave.



Figura 4.70 Secuencia de uso para retirar el GPS sin carga del VUMi3.

c) Al cargar la batería y colocarla en el VUMi3

1. El usuario conecta la batería al cargador.
El cargador emite una luz roja durante la carga. Una vez que la batería está completamente llena, el cargador emite una luz verde.
(Tiempo de carga: 1-1:30 h aproximadamente)



2. El usuario desconecta el cargador cuando la luz esté en color verde.



3. El usuario utiliza la llave para abrir la puerta frontal del vehículo.



4. El usuario coloca la batería con el botón y los conectores de cara al costado donde se encuentra el acelerador.



5. El usuario conecta la batería al resto del vehículo a través del conector amarillo.



6. El usuario oprime el switch que se encuentra en la batería.



7. El usuario cierra la puerta frontal con llave.



Figura 4.71 Secuencia de uso al cargar la batería y colocarla en el VUMi3.

d) Al cargar el GPS y colocarlo en el VUMi3

1. El usuario conecta el GPS al cargador. El conector se encuentra a un costado del GPS.

El GPS emite una luz roja intermitente durante la carga. Una vez que el GPS está cargado, emite una luz verde. (Tiempo de carga: 20 - 30 min aproximadamente)

2. Cuando el GPS emite una luz verde, el usuario lo desconecta de la corriente eléctrica.

3. El usuario utiliza la llave para abrir la puerta frontal del vehículo.

4. El usuario coloca el GPS dentro de la carcasa blanca.

5. El usuario cierra la puerta frontal con llave.



Figura 4.72 Secuencia de uso al cargar el GPS y colocarlo en el VUMi3.

3) SECUENCIA PARA EL MANTENIMIENTO

a) Al ajustar el freno

1. El usuario recuesta el VUMi3 sobre el lateral derecho.

2. El usuario ajusta el freno al tensionar el cable con ayuda de las pinzas, al mismo tiempo que se ajusta el tornillo del caliper con la llave allen.



a) Al acceder a la parte frontal del VUMi3

1. El usuario retira los tornillos que sujetan la cara frontal lateral, en donde se encuentran los componentes electrónicos.

2. El usuario revisa las conexiones eléctricas o retira la llanta frontal del VUMi3.

3. El usuario coloca nuevamente los tornillos con tuerca para sujetar la parte frontal lateral del VUMi3.



Figura 4.73 Secuencia para el ajuste del freno.

Figura 4.74 Secuencia para el acceso a la parte frontal del vehículo.

4.18 PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD

Posterior al establecimiento de la secuencia de uso, se realizaron pruebas de funcionalidad sobre el prototipo que permitieron identificar aquellos aspectos que comprometían su uso. De esta forma, se buscó realizar las modificaciones pertinentes sobre el vehículo con el propósito de poder probar posteriormente el VUMi3 con usuarios repartidores y choferes que trabajan para la empresa colaboradora.

La primera sesión de pruebas se realizó en la Colonia Villa Quietud, dentro de la alcaldía Coyoacán en la Ciudad de México; en donde se buscó probar el prototipo bajo diferentes condiciones del terreno; por ejemplo, al transitar por ciclovía, topes, baches, empedrados, rampas e incluso por los carriles en donde circulan las motocicletas y los automóviles. Además, se buscó documentar a través de fotos y videos el comportamiento del vehículo durante el uso (Figura 4.75).



Figura 4.75 Primera sesión para analizar la funcionalidad del prototipo.

Como resultado, se identificó un buen comportamiento del vehículo al circular por la ciclovía, en terrenos planos y al pasar topes o al utilizar rampas; sin embargo, al transitar por baches, empedrados o zonas irregulares, se identificó que dichos obstáculos ejercían una fuerza sobre la llanta trasera que le impidió conservar su posición y por lo tanto provocó que el eje de la llanta saliera del soporte. Lo anterior, se debió a la forma inicial en que se diseñó la pieza que soportaba el eje trasero, como se muestra en la figura 4.76; sin embargo, el soporte se modificó posteriormente y se probó el prototipo nuevamente en una segunda sesión de pruebas (Figura 4.77). Por otro lado, debido a que la llanta no conservó su posición original, esto provocó a su vez que el disco del freno golpeará con el caliper, y éste último se aflojó, imposibilitando el frenado del vehículo. Esto último se resolvió posterior a la modificación en el soporte de la llanta trasera y de igual forma se probó en una segunda sesión.



Figura 4.76 La geometría del soporte para el eje trasero provocó que la llanta saliera de su posición original como resultado del impacto con una superficie irregular.



Figura 4.77 Modificación implementada sobre el soporte trasero.



Figura 4.78 Cable tensionado para sostener la puerta del contenedor para paquetes.

Adicionalmente, se identificó que la palanca del caballete podía llegar a ser estorbosa al descender del VUMi3; sin embargo, el parador se manufacturó tomando como base las partes de una pieza comercial pero la documentación en el sistema planteó la incorporación de una palanca de menor longitud. Por lo anterior, la modificación en el caballete se consideró como un posible cambio a futuro, la cual se tomaría en cuenta con base en los comentarios recopilados de las pruebas con los usuarios repartidores. Por otro lado, se estableció la posibilidad de colocar el parador cerca de la llanta posterior del prototipo, lo cual fue una mejora a considerar durante las etapas posteriores, con respecto a las siguientes propuestas de diseño.

Otros aspectos que se identificaron como posibles mejoras a futuro fue la implementación de un sistema de seguridad robusto para evitar el robo parcial o total del vehículo al estar estacionado, y cuya propuesta conceptual se explica en el trabajo de tesis de López (2020); a la aplicación de un material entre el tubular de la estructura y el sistema envolvente con el propósito de reducir las vibraciones, sobre todo en aquellas piezas en donde se utilizaron remaches para el ensamble; así como una mejora en la apertura del contenedor de paquetes, ya que durante el proceso de pintado electrostático, una de las piezas en donde se colocaba el pistón fue golpeada y tuvo que soldarse nuevamente; sin embargo, al quedar en la posición incorrecta, no fue posible implementar dicha solución para mantener la puerta del contenedor de paquetes abierta sin necesidad de que el usuario la sostuviera con alguna mano. De esta forma, en el prototipo se colocó un cable que al estar bajo tensión, sostuvo la puerta del compartimiento para paquetes (Figura 4.78).

Con los resultados de la primera sesión, el equipo realizó las modificaciones en el prototipo y planteó una segunda sesión de pruebas, ya que durante la primera no fue posible completar los datos relacionados con la autonomía del prototipo, ni garantizar el manejo del VUMi3 sobre diversas irregularidades en el terreno. Por lo anterior, la segunda sesión se realizó en las calles de la colonia Alfonso XIII, dentro de la alcaldía Álvaro Obregón (Figura 4.79). Como resultado, se realizó un recorrido de 10.5 [km] en un tiempo de uso aproximado de 99 [min], el cual fue el tiempo en el que el vehículo estuvo en movimiento, ya que durante el trayecto se aprovechó para documentar con fotos y videos; por lo cual dichos intervalos no se tomaron en consideración

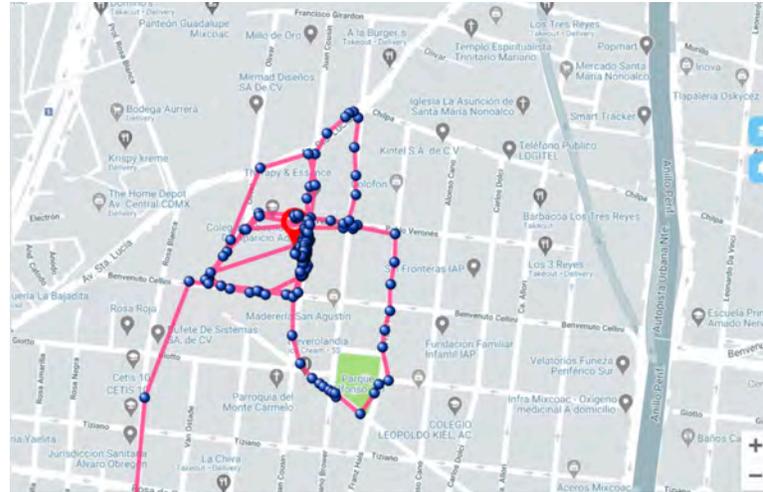


Figura 4.79 Segunda sesión de pruebas sobre la funcionalidad del prototipo. El usuario realizó el recorrido por calles de la alcaldía Álvaro Obregón como se observa en el mapa recopilado a partir de los datos del GPS.

para el cálculo sobre el tiempo de uso. Los resultados de autonomía se obtuvieron considerando a un participante de 67 [kg] de masa, el cual ha manejado automóvil y bicicleta pero no scooter, motocicleta ni motoneta; y sin carga de paquetes dentro del VUMi3. De acuerdo a los datos obtenidos del GPS, se obtuvo una velocidad media del VUMi3 de 7.1 [km/h] y el vehículo alcanzó una velocidad máxima de 16.2 [km/h]. En la figura 4.80 se observa la serie de tiempo en donde se graficó el tiempo total que duró la sesión de pruebas y la velocidad de manejo del VUMi3 durante el recorrido.

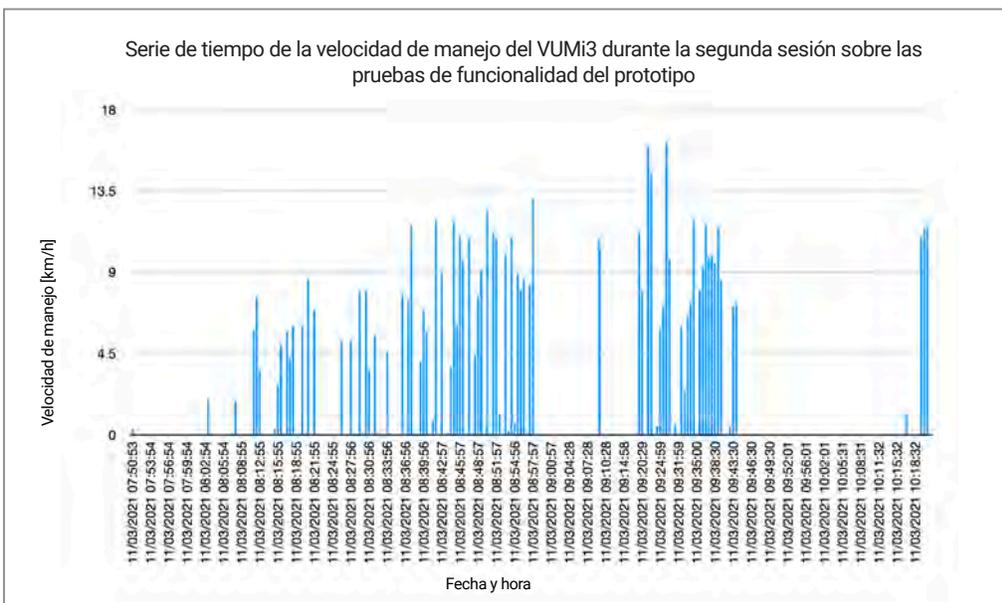


Figura 4.80 Serie de tiempo sobre la velocidad que alcanzó el VUMi3 durante la segunda sesión sobre las pruebas de funcionalidad del prototipo.

De esta forma se identificó que el VUMi3 no sobrepasó la velocidad máxima de 25 [km/h] que le permite circular por la ciclovía de la Ciudad de México. Además, se identificó que los resultados de autonomía no pueden ser definitivos, pues son consecuencia de la forma de manejo del usuario, la masa total del vehículo y de las condiciones del terreno, por lo cual es necesario realizar pruebas adicionales para obtener un mejor parámetro sobre el tiempo de uso, los kilómetros totales recorridos con el prototipo, así como de la velocidad máxima que se alcanza.

Con respecto al funcionamiento del prototipo, se realizó la conducción satisfactoria en terrenos planos, empedrados, topes de diferentes tipos, baches, sobre coladeras de cemento, rampas y banquetas (Figura 4.81). Adicionalmente, se identificó que el VUMi3 pudo estacionarse entre los coches y que pudo rodear obstáculos que se presentaron en el camino como cubetas que las personas colocan para evitar que los automóviles se estacionen.

Una vez realizadas las pruebas en diversos terrenos, se realizaron pruebas de usos extraordinarios, es decir sobre las formas poco convencionales en las que los usuarios podrían llegar a utilizar el vehículo; por ejemplo al ir de pie sobre los reposapiés o al manejar en *zig-zag*, aunque de acuerdo al participante, se identificó que la comodidad y la seguridad se ven comprometidas al utilizar el VUMi3 de esta forma (Figura 4.82).

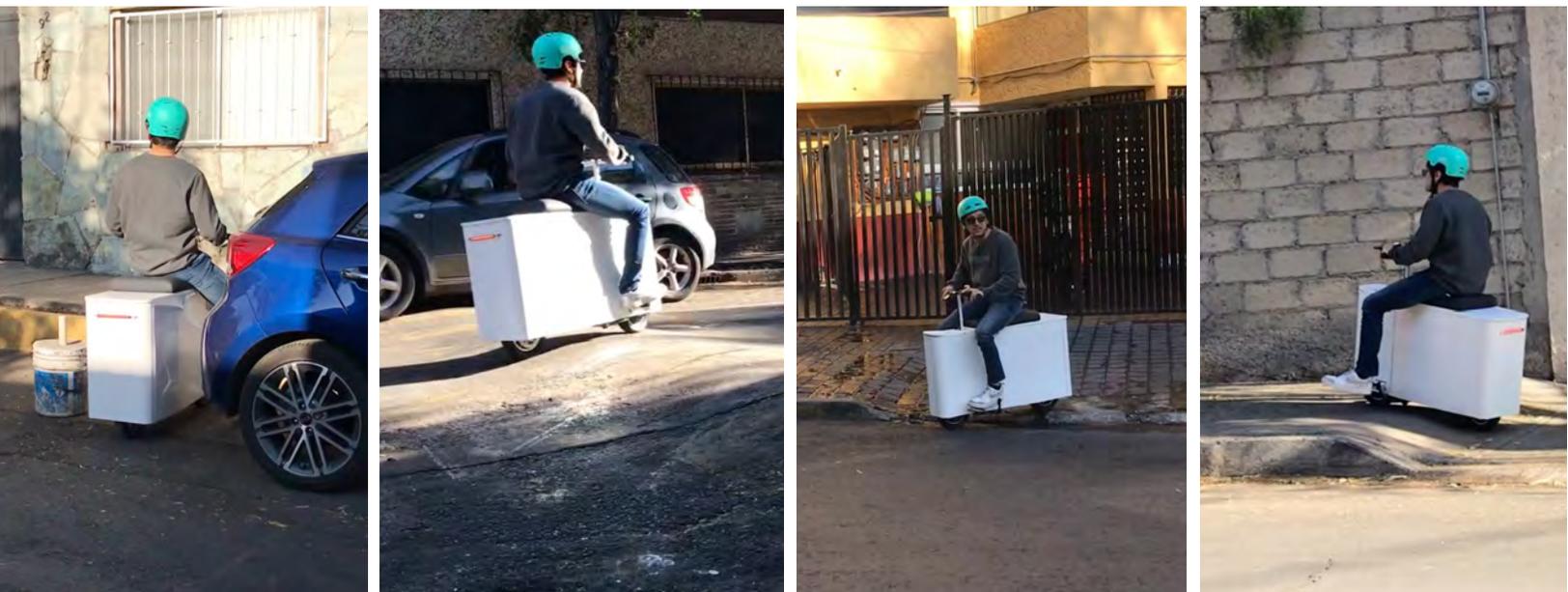


Figura 4.81 Segunda sesión sobre las pruebas de funcionalidad del prototipo VUMi3.



Figura 4.82 Usos extraordinarios del vehículo.

4.19 PRUEBAS CON USUARIOS

Con los resultados de la segunda sesión de pruebas relacionadas con la funcionalidad, se realizó una junta con la empresa colaboradora con el propósito de planear la sesión de pruebas con usuarios repartidores de paquetes durante un día de trabajo. De forma previa, se realizó una cédula de evaluación relacionada con la experiencia del usuario al manejar el VUMi3 con el propósito de recopilar los datos relacionados con la comodidad, facilidad/dificultad en la conducción del vehículo y el llenado de paquetes; además de identificar la percepción de los usuarios, es decir, sobre los sentimientos o emociones asociados al uso del VUMi3 de forma previa y posterior a la prueba. La cédula se muestra en la figura 4.83 y aunque incluyó secciones para conocer la forma en que se realizaba el mantenimiento del VUMi3 y la comparación del tiempo que tardarían en entregar con el VUMi3 con respecto a una camioneta; no fue posible realizar dichas pruebas ya que los usuarios debían continuar las entregas del día y la logística se vió comprometida. Sin embargo, se consideraron como pruebas a realizar a futuro.

Una vez de acuerdo con la empresa colaboradora, se estableció un día entre semana en donde se realizaron las pruebas con usuarios repartidores. Por lo cual, el equipo de trabajo acompañó a un chofer y a un repartidor al almacén en donde comienza su jornada laboral.

CÉDULA PARA PRUEBAS CON USUARIOS

DATOS DEL USUARIO

Estatura del usuario: _____

¿Sabe manejar moto?

¿Sabe manejar scooter?

¿Sabe manejar bicicleta?

ERGONOMÍA

¿Cómo calificarías la comodidad del VUMi3 con respecto a los siguientes puntos?

El asiento

Altura del manubrio

Altura de los reposapiés

Subir / Bajar del vehículo

Apertura de paquetes

Apertura de mantenimiento

Espacio para las piernas

Espacio para guardar paquetes

Área para sentarse

¿Cómo calificarías la facilidad de maniobra del VUMi3 con respecto a los siguientes movimientos?

Al girar derecha/ izquierda

Al avanzar

Al frenar

Al colocar / retirar la batería y el GPS

PRUEBA DE MONTAJE

Cantidad de usuarios que suben y bajan el vehículo de una camioneta / vehículo

Tiempo de subida/bajada

PRUEBA DE LLENADO DE PAQUETES

Cantidad de sobres:

Cantidad de cajas:

¿Hubo algún paquete que no cupiera?

Dimensiones de dicho paquete: _____

Empresa que envía el paquete:

Amazon / Mercado Libre / Otro

Al colocar los paquetes:

- Tiempo de llenado

- Forma en que ordenan los paquetes

- Aprovechamiento del espacio

PRUEBA DE RECORRIDO AL ENTREGAR PAQUETES

¿Problema con policías / vigilancia?

Obstáculos identificados

¿Accedió a la unidad habitacional / zona corporativa?

Lugar de estacionamiento del vehículo: Sí /

No / No aplica

Seguridad del vehículo al estar estacionado:

Velocidad promedio de uso

PRUEBA DE ENTREGA DE PAQUETE CON CAMIONETA vs. VUMi3

Tiempo que tardó cada vehículo en llegar a un punto de entrega en común

Ruta realizada (Conocer la cantidad de km recorridos de la camioneta vs. VUMi3)

PRUEBA DE CANTIDAD DE PAQUETES ENTREGADOS EN UN TIEMPO DETERMINADO

En 1 hora se entregaron ____ paquetes.

PRUEBA DE MANTENIMIENTO

¿Cómo se realiza el cambio de la batería?

¿Cómo se realiza el cambio del GPS?

¿Cómo se verifica que los cables y los dispositivos electrónicos estén en buen estado?

Tiempo total: _____

SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL USUARIO

¿Qué sensación / emoción te causó el VUMi3 antes de utilizar el vehículo? ¿Qué sensación / emoción te causó el VUMi3 después de utilizar el vehículo?

Felicidad	Asombro	Vergüenza	Molestia	Pánico	Aburrimiento	Sorpresa
Tristeza	Confusión	Preocupación	Fascinación	Satisfacción	Frustración	Desesperación
Enojo	Agrado	Irritabilidad	Indiferencia	Tranquilidad	Interés	Entretenimiento
Desagrado	Desconfianza	Ansiedad	Confianza	Duda	Decepción	Estrés

¿Se te dificultó bajar y subir el VUMi3 de la camioneta? ¿Por qué? ¿Necesitas de alguien más para hacerlo?

¿Fue difícil el uso del VUM bajo alguna condición / situación? (Frenado, arranque, pendientes, baches, giro pronunciado, entre otros).

Comentarios adicionales: _____

Figura 4.83 Cédula para el registro de las respuestas de los usuarios.

En el punto de encuentro, los usuarios tuvieron oportunidad de familiarizarse con el vehículo y entender la función de cada elemento en el manubrio (Figura 4.84). Posteriormente, los usuarios ingresaron al almacén en donde cargaron los paquetes por entregar ese día y se les asignó la ruta de trabajo con un aproximado de 50 paquetes, donde 5 de ellos eran sobres, 1 venía en bolsa y el resto en cajas. Dicha ruta contempló la entrega dentro de la alcaldía Álvaro Obregón, e incluyó conjuntos habitacionales en donde la empresa mostró interés para evaluar el vehículo; pues las camionetas no cuentan con acceso ya que no hay espacios asignados para estacionamiento de terceros. Por lo anterior, dejan la camioneta fuera del conjunto habitacional y proceden a realizar la entrega de paquetes caminando.

Como resultado de la logística de la ruta, el primer lugar de entrega fue un conjunto habitacional. Por lo cual una vez identificados los paquetes por entregar, se realizó el llenado del vehículo para conocer si era posible colocar todos ellos dentro del VUMi3. Por lo anterior, fue posible colocar dentro del contenedor 5 cajas, 2 sobres y 1 bolsa, siendo estos el total de paquetes que se entregarían dentro del conjunto habitacional.



Figura 4.84 Usuario repartidor colocando los paquetes por entregar en el conjunto habitacional de la primera parada.



Figura 4.85 La cámara colocada en el casco permitió identificar el terreno sobre el cual se manejó el VUMi3 y los obstáculos en el trayecto.

Posteriormente a los repartidores se les explicó la secuencia de uso del vehículo, se les entregó además el equipo de protección y dos cámaras para grabar la prueba, una de ellas instalada en el casco y la otra sobre el manubrio. Como resultado, el usuario repartidor logró manejar el vehículo en terrenos irregulares, pendientes, así como sobre coladeras de cemento y de metal. Además, manejó entre otros vehículos como automóviles y motocicletas; así como peatones que caminaban por debajo de la acera (Figura 4.85). Durante el recorrido tuvo una velocidad media de 6.5 [km/h] y alcanzó una velocidad máxima de 16.3 [km/h].

Una vez que el usuario llegó a la entrada de la unidad, no fue posible ingresar con el VUMi3, ya que el policía de vigilancia indicó que para permitir el ingreso de cualquier vehículo de terceros, se requería un permiso por parte de la administración del conjunto departamental. Además, indicó que las camionetas, bicicletas, motocicletas y scooters de repartidores deben quedarse estacionados en la entrada como parte del reglamento interno. Por lo anterior, el usuario estacionó el VUMi3 y tuvo que retirar todos los paquetes para posteriormente ordenarlos conforme a la disposición de los edificios en donde entregaría. De esta forma, el usuario chófer de la camioneta auxilió al repartidor con el propósito de cargar todos los paquetes y agilizar la entrega (Figura 4.86).



Figura 4.86 Organización de los repartidores para la entrega de los paquetes dentro del conjunto habitacional.

La prueba tuvo una duración total de poco más de 40 minutos; tomando como punto de partida el llenado de los paquetes y finalizando con la entrega de todos ellos dentro del conjunto habitacional. En la figura 4.87 se muestra el tiempo invertido en cada actividad que se realizó y posteriormente se graficaron dichos tiempos con el objetivo de identificar en qué actividades se invirtió un mayor tiempo. Aunque dentro de la unidad habitacional no pudo utilizarse el VUMi3 para las entregas en los distintos edificios, la prueba con usuarios permitió identificar que las dimensiones de los paquetes dificultan que un solo usuario pueda transportar todos ellos en un mismo viaje, por lo cual un segundo usuario auxilia al primero con el propósito de agilizar la entrega. Por otro lado, se identificó que un 22.5% del tiempo total de la prueba se destinó a trasladarse entre los edificios (Figura 4.88). Como consecuencia, los dos resultados anteriores resaltaron la importancia de incorporar un producto como el VUMi3 para permitir a un solo usuario realizar las entregas de los distintos paquetes y a la vez reducir el tiempo al transportarse en el interior de los conjuntos habitacionales.

DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO INVERTIDO EN LA PRUEBA CON USUARIOS REPARTIDORES

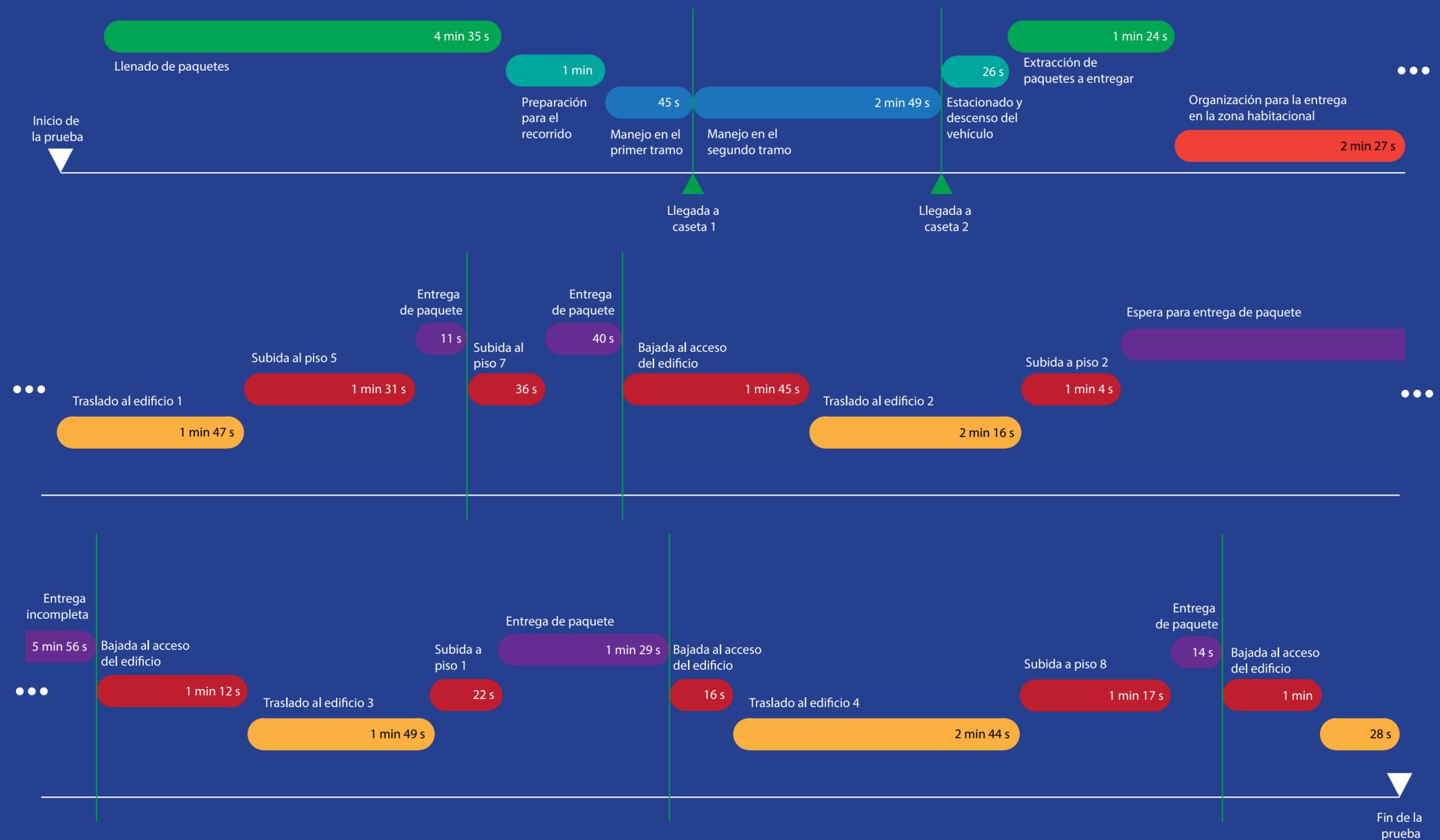


Figura 4.87 Descripción de las actividades y del tiempo invertido durante la primer prueba con usuarios repartidores.

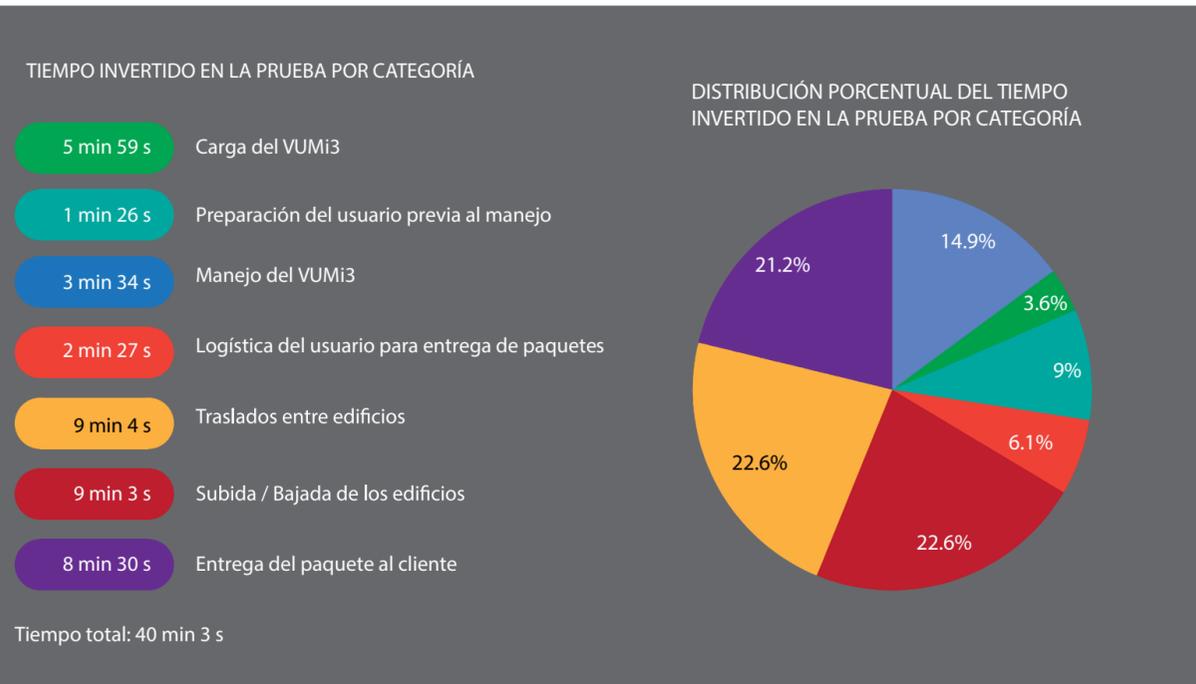


Figura 4.88 Resumen del tiempo invertido por categoría.

Con base en los resultados de esta primera prueba, se acordó que la empresa realizaría pruebas adicionales en otros estados de México con el objetivo de conocer si la entrega en conjuntos habitacionales era posible. Sin embargo, se identificó que el sistema electrónico requirió de mantenimiento preventivo y correctivo, por lo cual se decidió modificar dichos elementos antes de continuar las pruebas.

Además, con base en una reunión con la empresa colaboradora, se identificó que los hábitos de las personas que trabajaban en zonas corporativas cambiaron, pues al trabajar desde casa redujeron la congestión de vialidades y además disminuyó la cantidad de paquetes que se entregaban en dichas zonas. Sin embargo, existió un aumento en la cantidad de paquetes que se entregaron en zonas particulares como casas, conjuntos habitacionales y espacios residenciales. Por lo anterior, la empresa indicó que dentro de las modificaciones para el VUMi3, sería

importante incorporar un módulo que se colocara en la parte trasera del vehículo para el transporte de una mayor cantidad de paquetes en zonas particulares. De esta forma, el VUMi3 base con sus dimensiones originales permitiría la movilidad en zonas con ciclovía; pero en aquellos espacios particulares donde no existe una restricción o normativa para circular, podría hacerse uso del módulo adicional para reducir tiempos de entrega.

Aunque este trabajo de tesis concluyó con las pruebas de usuario y el análisis de sustentabilidad y modularidad que se explica en el capítulo 5; el equipo de trabajo continuó trabajando en la incorporación de las modificaciones del VUMi3 para el diseño del módulo adicional relacionado con la carga de paquetes; así como en el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema eléctrico/electrónico. De esta forma, se espera que próximamente se puedan incorporar los datos de pruebas adicionales con usuarios repartidores. Dentro de los anexos se muestran las cédulas de las pruebas internas que se realizaron con integrantes del equipo y familiares cercanos que tuvieron la oportunidad de interactuar con el prototipo.

4.20 ESPECIFICACIONES DE VUMi3

Como paso final, se realizó una recapitulación de los requerimientos inicialmente planteados para conocer las especificaciones que se tenían hasta el momento del VUMi3, los cuales se muestran en la figura 4.89 y figura 4.90. Se realizó además la documentación para la manufactura del vehículo, así como la lista de costos relacionados con la adquisición de materia prima, manufactura y componentes comerciales. Todos los datos anteriormente mencionados se muestran como anexos de este documento. Por otro lado, la construcción del prototipo tuvo un costo aproximado de \$23,000 MXN, por lo cual se estableció un precio de venta de entre \$33,000 y \$36,000 MXN, los cuales aunque son mayores al precio máximo inicialmente planteado, se platicó con la empresa y se comparó con otros productos en el mercado como bicicletas eléctricas, scooters y motocicletas; por lo cual, se tuvo aceptación en cuanto al nuevo precio establecido, considerando además que al construir el producto en serie, el precio final podría disminuir.

REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL VUMi3			
NO.	REQUERIMIENTO	ESPECIFICACIONES	COMENTARIOS ADICIONALES
1	El costo máximo estimado del Vehículo de Última Milla es de 30,000 MXN	- Costo de desarrollo: \$23,000 MXN - Precio de venta aproximado: \$33,000 - \$36,000 MXN	El precio final puede disminuir al construir el vehículo en serie.
2	El volumen del VUM almacena al menos 35 paquetes	- Volumen de carga: 0.09 [m³]	El equipo de trabajo continuó trabajando para aumentar el volumen de carga a partir de un módulo adicional en la parte trasera del vehículo.
3	El usuario asciende y desciende del VUM con regularidad a lo largo de su trayecto para entregar paquetes	- El vehículo permite el ascenso y descenso con regularidad al llegar al punto de entrega de paquetes.	
4	La señalización visual y sonora del VUM permite su circulación en Ciudad de México	- Luz delantera blanca de 5 [V] para señalización visual del vehículo - Luz trasera LED roja de 12[V] para señalización visual del vehículo - Campana Mirrycle para manubrio de 22.2 [mm] para señalización sonora del vehículo	
5	La velocidad máxima del VUM es de 25 km/h	- Velocidad máxima de 16.3 [km/h] (con base en los resultados que se consideraron hasta las pruebas con usuarios repartidores)	Se propone la realización de pruebas adicionales para tener un dato más preciso sobre la velocidad máxima del vehículo.
6	Las piezas de refacción para el mantenimiento del VUM son comerciales	- Incorporación de piezas comerciales en el sistema eléctrico/electrónico, sistema de soporte para el usuario y sistema de acceso y seguridad(ver BOM en anexos)	
7	La estructura del VUM soporta el peso de los paquetes y de un usuario	- Peso del vehículo sin carga: 41.2 [kg] - El vehículo soporta el peso de los paquetes y de un usuario (máximo 150 [kg])	Los análisis estáticos y dinámicos se realizaron y se encuentran documentados en la tesis de Martínez y Morales (2021).
8	El VUM se utiliza en zonas corporativas y residenciales	- El vehículo transita por ciclovía y carriles de baja velocidad para realizar entregas en zonas residenciales y corporativas de la Ciudad de México.	
9	El VUM cuenta con un soporte para celular	- Requerimiento eliminado.	La cantidad de elementos en el manubrio no permitió la incorporación del soporte para el celular. Se evita distracción al conducir el vehículo.
10	El VUM circula en zonas con tráfico y/o ciclovía, incluyendo terrenos irregulares como desniveles, topes y baches	- El vehículo circula en zonas de tráfico, ciclovías, terrenos irregulares, topes, baches y pendientes. - Motor: Motor sin escobillas con potencia de 500 [W] a 48 [V] - Tipo de llantas: Llantas neumáticas de 10 [in] de diámetro - Dimensiones del vehículo: 106 x 95 x 53 [cm]	
12	El mantenimiento del VUM es mínimo	- El mantenimiento del vehículo se limita al cambio en la batería y el GPS; al cambio de llanta frontal y trasera, y al ajuste del freno (ver la secuencia de uso)	
13	La apariencia del VUM va acorde a los mismos lineamientos estéticos de las camionetas en donde entregan paquetes	- Acabado del vehículo con pintura electrostática blanca, similar a las camionetas que utiliza actualmente la empresa colaboradora; sin propaganda ni elementos que lo relacionen con la entrega de paquetería.	
14	El VUM es cómodo	- Asiento de MDF con relleno de espuma y recubrimiento de vinil, con forma trapezoidal. - Reposapiés colocados a una altura del piso de entre 15 y 20 [cm] - Manubrio con puños de manillar para mejora en el agarre del manubrio. - Altura del manubrio de entre 70 y 75 [cm] con respecto a los reposapiés.	El asiento, los reposapiés y la altura del manubrio se establecieron con base en las medidas antropométricas para usuarios mexicanos. La propuesta incorporó los resultados de las pruebas con usuarios para el prototipo anterior.

Figura 4.89 Requerimientos y especificaciones de la propuesta de diseño.

REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL VUMi3			
15	El VUM es eléctrico	- Batería de LiNiMnCoO ₂ con capacidad de 10 [Ah], voltaje nominal de 48 [V]. - Autonomía teórica de 11.8 [km] durante 57.7 [min] de uso a una velocidad constante de 12.31 [km/h] - Autonomía de 10.5 [km] durante 99 [min] de uso considerando una velocidad variable durante la prueba.	Se propone realizar pruebas adicionales para tener un mejor parámetro relacionado con la autonomía del vehículo.
16	El sistema de ubicación en tiempo real del VUM permite conocer su posición en cualquier momento	- GPS Amcrest con cobertura 4G, batería independiente de Li-Polímero de 2600 [mAh] con registro de datos en la nube, envío de ubicación en tiempo real del vehículo, velocidad de operación y envío de alertas por mensaje de texto	
17	El sistema de frenado es mecánico y detiene o desacelera el VUM	- Freno de disco con caliper en la llanta posterior, con palanca de accionamiento en el manubrio	
18	El parador del VUM mantiene en pie el vehículo por sí mismo	- Caballete en la parte frontal para mantener el vehículo estático al estar estacionado, accionable con el pie	Se propone la colocación del caballete en la parte de la llanta trasera del vehículo, como resultado de las pruebas de funcionalidad que se realizaron para el VUMi3.
19	El sistema de seguridad bloquea y desbloquea el VUM al inicio y término de un viaje	- Interruptor de tipo llave que permite usar el vehículo únicamente a usuarios autorizados - Interruptor de tipo botón en el módulo de batería para interrumpir o permitir el flujo de energía eléctrica	
20	El VUM cuenta con un número de identificación	- El vehículo cuenta con un número de identificación	Al ser el primer prototipo, no se incorporó un número de identificación; sin embargo, al manufacturar el primer lote se espera incluir el número de serie en alguna parte del vehículo.
21	El VUM tiene un grado IP 52 como mínimo	- El vehículo incorporó componentes comerciales con protección ante el polvo y el agua	La geometría y orden de colocación de las láminas del sistema envolvente evita el ingreso de agua y acumulación de polvo al interior del vehículo; sin embargo, se propone realizar pruebas adicionales para conocer el grado de protección del vehículo en general, sobre todo durante el manejo bajo lluvia.
22	La estética del VUM va acorde al ambiente corporativo	- Acabado del vehículo con pintura electrostática blanca, similar a las camionetas que utiliza actualmente la empresa colaboradora; sin propaganda ni elementos que lo relacionen con la entrega de paquetería	

Figura 4.90 Requerimientos y especificaciones de la propuesta de diseño (Continuación).

Con la recapitulación de la lista requerimientos y la elaboración de la tabla de especificaciones del VUMi3 se concluyó esta etapa del proyecto. Por lo cual se comenzó con la documentación del prototipo, en donde se realizaron 45 planos relacionados con la manufactura de las piezas individuales e integración de los sistemas del VUMi3.

Finalmente, se comenzó con el análisis comparativo sobre la sustentabilidad y la viabilidad de la propuesta de diseño, el cual se presenta en el capítulo 5 de este trabajo de tesis.

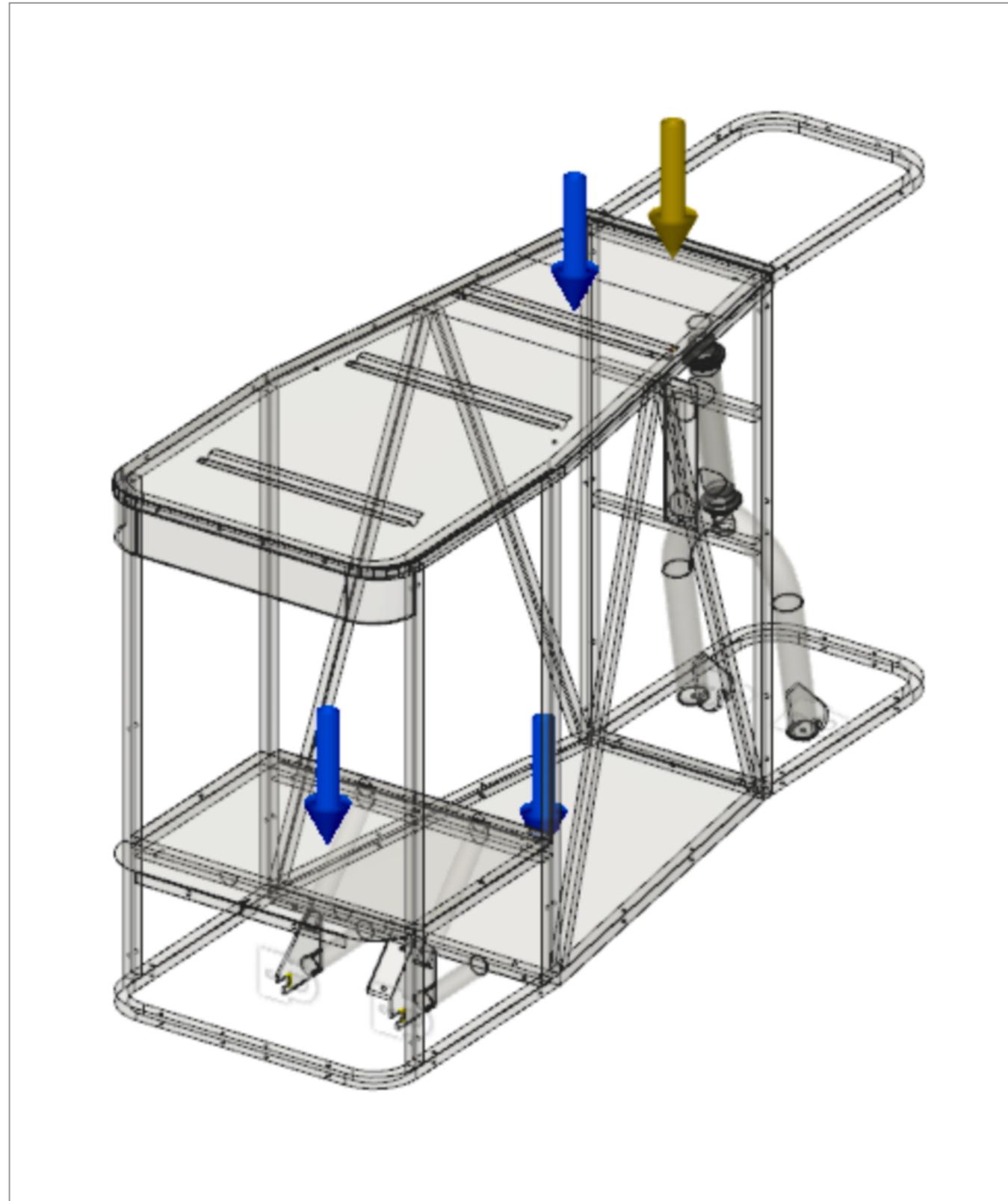


Figura 5.1. Análisis estático realizado en Fusion 360 para el VUMi3.

En este capítulo se explica el proceso que se llevó a cabo para realizar el análisis comparativo de la propuesta de diseño VUMi3 con el propósito de encontrar un equilibrio entre los aspectos sustentables y viables de la solución. De esta forma, se buscó reducir la huella de carbono al incorporar el análisis de sustentabilidad en el proceso de diseño de productos, en específico, sobre la selección de materiales; así como el análisis en la viabilidad de la solución al estudiar el comportamiento mecánico de las diferentes propuestas.

El caso de estudio que se tomó como base es la propuesta de diseño VUMi3, la cual se presentó en el capítulo 4; propuesta sobre la cual se realizaron cambios en los materiales que integran el sistema estructural y el sistema envolvente. Como resultado se identificaron los cambios a implementar para garantizar la funcionalidad del producto; el impacto ambiental asociado a la selección de metales y polímeros; y finalmente se propusieron aquellas consideraciones para continuar la línea de investigación relacionada al diseño de productos sustentables.

5.1 OBJETIVO

- Identificar aquellos materiales del sistema estructural y del sistema envolvente que reducen el impacto ambiental y la masa del vehículo; en comparación con la propuesta de diseño VUMi3.
- Evaluar los conceptos para identificar la viabilidad de la solución y proponer cambios o modificaciones en el sistema estructural.

5.2 METODOLOGÍA

La evaluación del producto se realizó de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1. Recopilación de la información.** Se recolectan los datos de cada parte manufacturada en una tabla llamada BOM, por sus siglas en inglés para *Bill of Materials* (SPC Group, 2014), lo cual permite el análisis y extracción de la información.
- 2. Selección de la herramienta de evaluación.** Se define la herramienta con base en los objetivos, la disponibilidad del programa, las características del producto y la información de cada parte individual (material asignado, masa, procesos de manufactura, entre otros).
- 3. Evaluación del producto.** Se realiza el análisis con base en el BOM y se evalúa el producto. En este caso, se obtiene como resultado el impacto ambiental de cada propuesta, así como el resultado del análisis mecánico.
- 4. Análisis de resultados.** Se realiza el análisis comparativo de cada propuesta con base en los resultados de impacto ambiental, la viabilidad mecánica de cada solución y el cambio en la masa, asociado con la selección de un material específico.
- 5. Toma de decisiones.** Se realiza la toma de decisiones con base en los hallazgos y resultados del análisis; es decir, se propone el rediseño, modificación de partes, cambio en el material seleccionado, entre otras consideraciones.

5.3 DESARROLLO DEL ANÁLISIS COMPARATIVO

El desarrollo del análisis comparativo se llevó a cabo con base en los pasos mencionados en la sección 5.2 Metodología.

5.3.1 Recopilación de la información

Como primer paso, se recopiló la información relacionada con el VUMi3, la cual se tomó con base y como parámetro de comparación al realizar el análisis mecánico y de sustentabilidad. Los datos que se recopilaron fueron aquellos relacionados con el sistema estructural y sistema envolvente, ya que no eran partes comerciales y por lo tanto, el equipo de diseño pudo realizar las modificaciones pertinentes al manufacturar las piezas, ya sea al incorporar cambios en la geometría, al seleccionar el material o al modificar los procesos de manufactura para cada parte.

En la figura 5.2 se observa el ensamble general del VUMi3 del lado izquierdo, mientras que del lado derecho se observa en azul, aquellas piezas que formaron parte del sistema estructural y en negro aquellas piezas que integraron el sistema envolvente, las cuales se tomaron en consideración para el análisis comparativo.

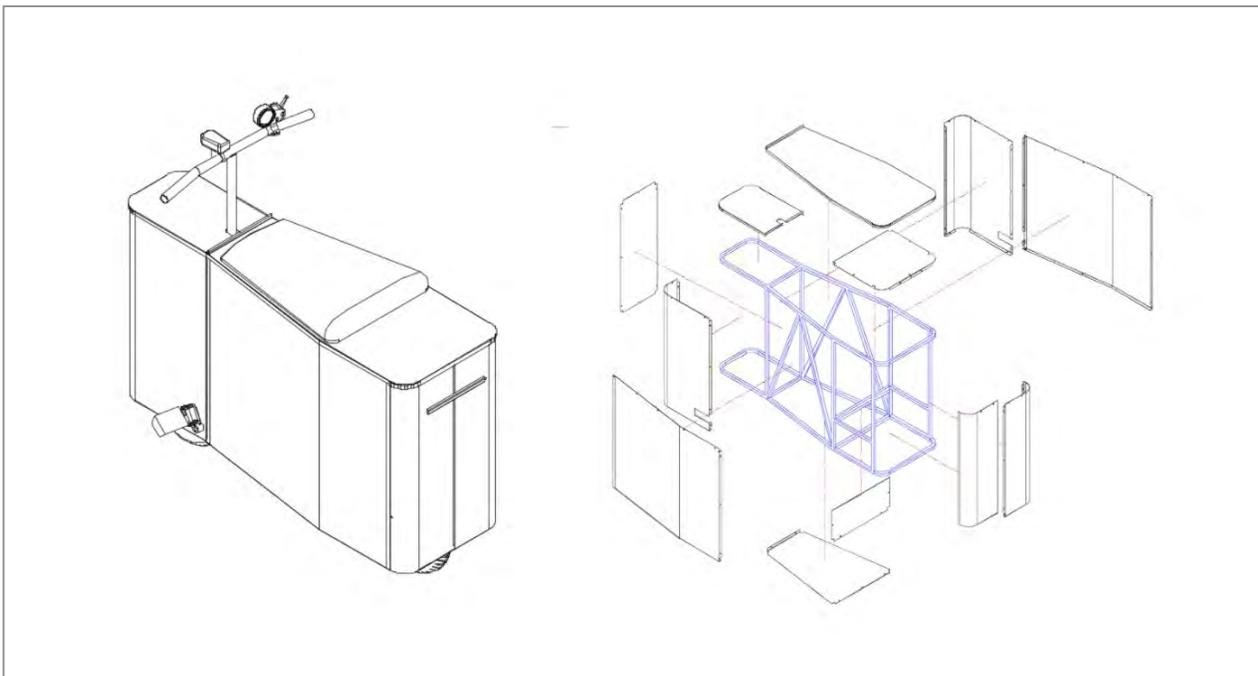


Figura 5.2 Del lado izquierdo, ensamble del VUMi3; del lado derecho, explosivo con las piezas consideradas del sistema estructural (azul) y del sistema envolvente (negro) para el análisis comparativo.

Posteriormente, a partir del modelo digital que se tenía de la propuesta VUMi3 en *Fusion 360* (Autodesk, n.d.), se extrajo la información de cada pieza que integró el sistema estructural y el sistema envolvente, utilizando como herramienta *OpenBOM* (n.d.). De esta forma, se obtuvo una tabla que indicó el número de cada parte con el nombre asignado, material, densidad, área total de la pieza, volumen y masa; así como otros datos que fueron eliminados del BOM ya que no eran de utilidad para el análisis. Debido a que los datos de densidad preestablecidos por *Fusion 360* eran diferentes a aquellos recopilados de las páginas web de proveedores de materia prima de la Ciudad de México, se modificaron para incorporar éstos últimos. Por lo tanto, se mantuvo una consistencia en los datos y permitió realizar consideraciones en la toma de decisiones de las etapas posteriores. Como resultado, se obtuvo una lista BOM que incorporó 15 partes individuales del sistema envolvente y 36 partes del sistema estructural.

Como siguiente paso, se realizó la selección de los materiales a considerar dentro del análisis. Para el sistema estructural se consideró el acero al carbón y el aluminio 1100 H14; mientras que para el sistema envolvente se consideró acero al carbón, aluminio 1100 H14, ácido poliláctico (PLA), policarbonato (PC) y polietileno de alta densidad (HDPE). De forma general, la selección se realizó con base en la disponibilidad con proveedores nacionales y la consideración de que el material para aquellas piezas del sistema envolvente, debía venderse de forma comercial en láminas. A continuación se describe brevemente otros aspectos que se tomaron en cuenta para seleccionar dichos materiales como parte del análisis comparativo.

Acero - Se consideró debido a la disponibilidad y a su extensa variedad; es decir, existe una amplia oferta de presentaciones en las cuales que se comercializa. De hecho esta fue uno de los motivos por los cuales se seleccionó como material para la propuesta de diseño VUMi3. Por otro lado, es un material reciclable, durable y requiere de poca energía para su producción en comparación con otros materiales (World Steel Association, n.d.).

Aluminio - Se seleccionó el aluminio debido a su ligereza, lo cual permitiría reducir la masa del vehículo y aumentar la autonomía. De forma adicional, es un material que reduce el calentamiento de otras piezas al distribuir el calor sobre sí mismo (The Aluminum Association, n.d.).

Ácido poliláctico (PLA) - Este material se consideró debido a su biodegradabilidad bajo condiciones y ambientes de composta controlados; los cuales se llevan a cabo al calentar el PLA a 140 [°F] e incluir microbios en el proceso. El PLA se obtiene comúnmente del maíz. (Scientific American, 2018)

Policarbonato (PC) - Es un material ampliamente utilizado para aplicaciones en la industria automotriz debido a su ligereza, resistencia y durabilidad (British Plastics Federation, a), lo cual permite reducir la cantidad de piezas de refacción que se manufacturan y por lo tanto, reducir las emisiones de carbono a mediano y largo plazo (The Polycarbonate Store, n.d.).

Polietileno de alta densidad (HDPE) - Es un material reciclable (Universitat de Barcelona, n.d.), utilizado en varias aplicaciones como empaques de alimentos, equipo deportivo y partes automotrices (Exxon Mobil Chemical, n.d.). Es un material flexible, fácil de procesar y con un costo de inversión bajo (British Plastics Federation, b).

Como consideración adicional, se identificó que la disponibilidad comercial del aluminio era menor en comparación con la del acero; por lo cual se tomó la decisión de realizar el análisis de ambos materiales con base en las dimensiones de la presentación comercial del acero; pero considerando el rediseño de la estructura en caso de obtener un mejor resultado para el aluminio. Con los datos de cada pieza y la selección de los materiales que se consideraron en el análisis, se concluyó con el paso 1 de la metodología planteada anteriormente.

5.3.2 Selección de la herramienta para la evaluación

Con base en los objetivos y la lista BOM, se utilizaron dos herramientas para el análisis comparativo: Por un lado, se utilizó *Fusion 360*, pues fue el programa que permitió a los integrantes del equipo trabajar de forma remota sobre un mismo archivo. Con este programa, fue posible realizar el análisis estático de cada propuesta para identificar la viabilidad de la solución. Aunque el análisis no incluye aquellos aspectos dinámicos debido a una limitación en los recursos computacionales con los cuales se contó; el análisis estático funcionó como un parámetro que permitió comparar el comportamiento de los materiales bajo la condición de carga de un usuario y de los paquetes dentro del VUMi3. De forma adicional, en el trabajo de tesis de Morales y Martínez (2021) se incorpora el análisis dinámico

del sistema estructural, sistema de dirección y de eje posterior, al transitar por un bache.

La segunda herramienta que se seleccionó fue *Sustainable Minds* (Sustainable Minds, a), la cual permite la comparación entre los impactos ambientales asociados al seleccionar un material y los procesos de manufactura. De esta forma, el programa permitió generar varios conceptos en donde se realizó el cambio de material y calibre; así como modificaciones en los procesos de manufactura dependiendo del material seleccionado. Otros programas, como GaBi (Sphera Gabi Solutions, n.d.), no se consideraron como una posibilidad ya que incorporan un análisis completo del Ciclo de Vida del Producto (LCA por sus siglas en inglés para *Life Cycle Assessment*); lo cual estuvo fuera de los alcances del presente análisis ya que no se contaba con información sobre el origen de la materia prima ni de los procesos químicos o de transformación que se realizaron en ella. Además, no se contó con información relacionada a los procesos relacionados con el desecho y reciclaje de cada pieza del VUMi3 una vez que el ciclo de vida llegara a su fin. De esta forma, Sustainable Minds permitió limitar el análisis a la selección del material y a los procesos de manufactura. El programa estima el impacto ambiental con base en el CO₂ equivalente y en milipuntos (mPts) (Castro et.al. , 2020). Como referencia, un punto (1000 [mPts]) representa la carga anual ambiental (por ejemplo, la totalidad de las actividades de producción/consumo de la economía) de Estados Unidos dividida entre la parte correspondiente de cada habitante de dicho país (Borja et. al., 2018) (Sustainable Minds, b).

5.3.3 Evaluación del producto

La primera evaluación que se realizó fue para la propuesta de diseño VUMi3, con base en los materiales seleccionados para manufacturar el prototipo (Figura 5.3). De esta forma, el conocer el impacto ambiental y el resultado del análisis estático fueron la base para comparar el cambio de materiales en los conceptos subsecuentes.

Materiales asignados al VUMi3		
Sistema	Material	Presentación comercial
Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
Envolvente	Acero al carbón	Lámina calibre 18 y 22

Figura 5.3 Materiales de la propuesta VUMi3.

Los procesos de manufactura que se incorporaron fueron diferentes para cada pieza; sin embargo en su mayoría se consideró el rolado de barra y lámina, corte con cizalla, soldadura y pintura electrostática. La figura 5.4 muestra un ejemplo sobre cómo se realizó el ingreso de los datos dentro del programa *Sustainable Minds* para la parte 041 y la parte 029, las cuales integraron el sistema estructural. La información se seleccionó del BOM y posteriormente se ingresaron los procesos de manufactura que aplicaban a cada parte.

Name	Material/Process	Qty	Amt	Unit	mPts	CO ₂ eq. kg	MS	Part ID
[-] Pieza3_Predeterm		1	818.043	g	1.02	2.89	E	VUM041
[-] Material	Steel, low-alloyed, market a		818.0430	g	0.906	1.42	E	
[-] Process	Sheet rolling, steel		100	g	0.0134	0.0422	E	
[-] Process	Saw cutting, metal		20	g	2.28x10 ⁻⁶	5.45x10 ⁻⁵	E	
[-] Process	Powder coating, steel		275500	mm2	0.0955	1.43	E	
[-] TuboDiagonal		2	136.142	g	0.351	0.696	E	VUM029
[-] Material	Steel, low-alloyed, market a		136.1419	g	0.151	0.237	E	
[-] Process	Welding, arc, steel		10	cm	0.0181	0.0146	E	
[-] Process	Saw cutting, metal		10	g	1.14x10 ⁻⁶	2.73x10 ⁻⁵	E	
[-] Process	Powder coating, steel		18710	mm2	0.00649	0.0968	E	

Figura 5.4 Tabla de *Sustainable Minds* para las partes 041 y 029 del sistema estructural en donde se despliegan los procesos de manufactura asignados.

En la figura 5.5 se muestra el resultado del impacto ambiental. Para todos los conceptos evaluados se tomó en consideración que el VUMi3 tiene un tiempo de uso de 5 años. Como resultado, se obtuvo un impacto ambiental total de 41 [mPts] (o su equivalente de 125 [kg] de CO₂). Es decir, al definir la unidad funcional como 1 año, en ese periodo de tiempo la contribución en el impacto ambiental del producto sería de 8.2 [mPts] o su equivalente de 25 [kg] de CO₂. En el análisis se incorporó el transporte del producto desde el domicilio del proveedor hasta las oficinas de la empresa colaboradora, localizada a 21.7 [km] de distancia; resultando en una contribución equivalente de 0.26 [kg] de CO₂ por cada unidad funcional; la cual no fue representativa en los resultados pues la mayor contribución de CO₂ estuvo asociada a la manufactura del producto. Por otro lado, SM clasifica en categorías el impacto ambiental del producto. Por lo cual se identificó que aquellas que generaron mayores contribuciones, estaban asociadas a carcinógenos, los cuales generan el 80.3% del total de los impactos, seguido de los no carcinógenos con el 6%. Lo anterior, como resultado de los componentes químicos de cada material (*Sustainable Minds*, c, d).

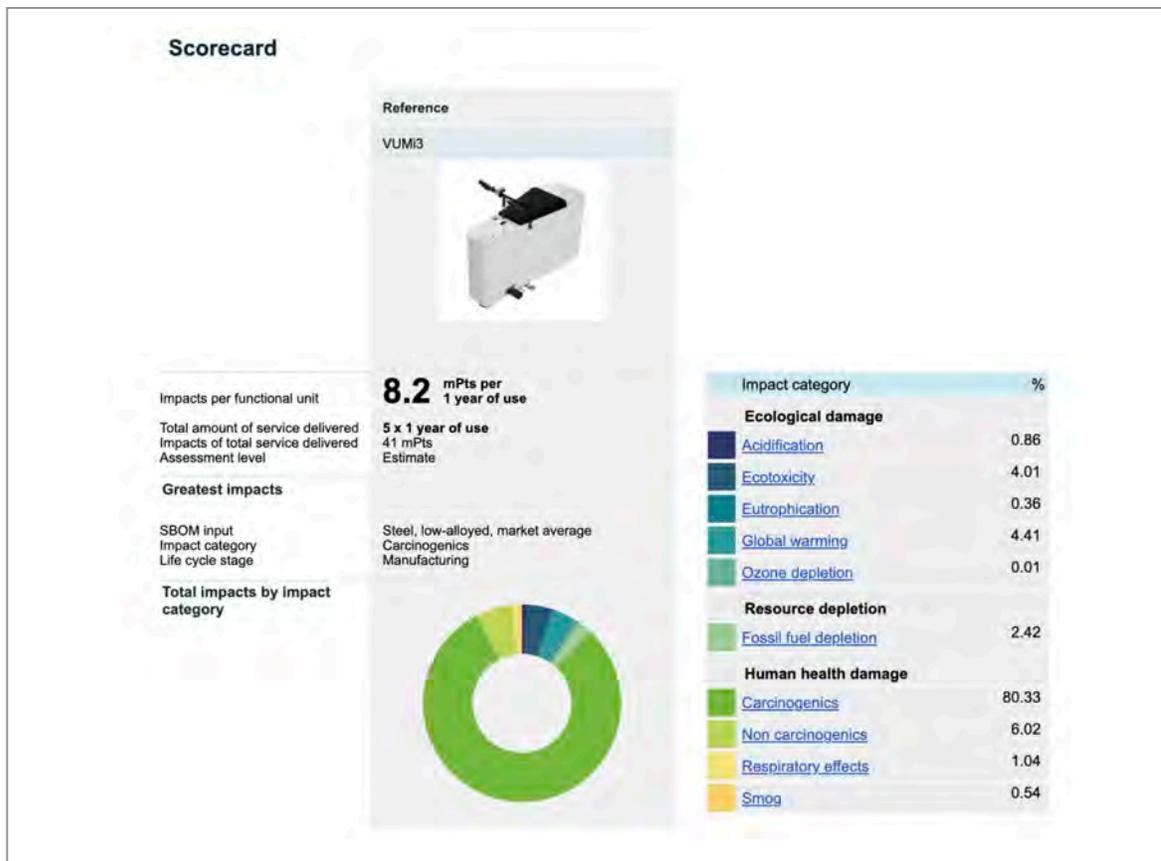


Figura 5.5 Resultados del impacto ambiental asociado a la propuesta de diseño VUMi3.

Por otro lado, con respecto al análisis estático, se analizó el sistema estructural en su totalidad y aquellas láminas que proporcionan soporte al usuario y a los paquetes. De esta forma, se consideró una masa del usuario de 120 [kg], lo cual representó una fuerza de 1176 [N] (considerando $g = 9.8 [m/s^2]$); una masa de paquetes de 30 [kg] repartida en las dos láminas como se muestra en la figura 5.6; con una fuerza de 196 [N] (aproximadamente 20 [kg]) en la lámina inferior y 98 [N] (aproximadamente 10 [kg]) en la lámina superior del contenedor de paquetes.

Como resultado, se obtuvo un comportamiento adecuado de la estructura en general (Figura 5.7), con la mayoría de las superficies en color azul representando un factor de seguridad superior a 6. Sin embargo, dicho factor disminuyó en aquellas zonas en donde existe contacto con otra pieza; es decir, en aquellas uniones en donde se sueldan las piezas entre sí; en aquellos puntos de contacto con el eje de ambas llantas; y en la cuerda de la pieza “Horquilla”.

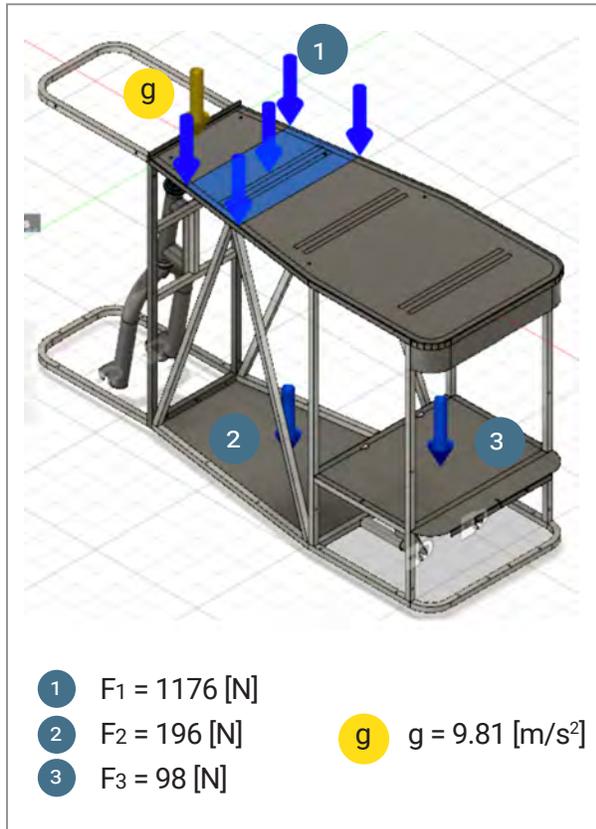


Figura 5.6 Distribución de las cargas para el análisis estático del VUMi3.

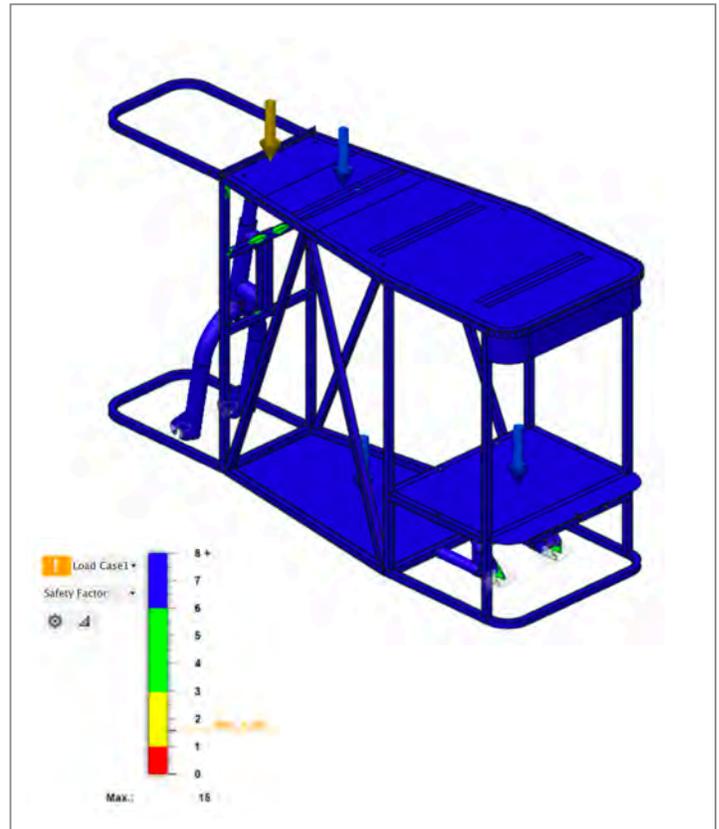


Figura 5.7 Diagrama con los resultados sobre el factor de seguridad para la propuesta de diseño VUMi3.

Como consecuencia, se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.54. Por lo anterior, se determinó revisar que durante la manufactura del prototipo, la soldadura de las piezas se realice de forma correcta para evitar la concentración de esfuerzos y la posible falla de la estructura en dichas zonas.

El esfuerzo de Von Mises máximo que se presentó fue de 130.4 [MPa] aproximadamente (Figura 5.8), ubicado en la cuerda de la "Horquilla"; seguido de aquellos esfuerzos que se generan en las superficies de contacto con el eje de la llanta trasera, el cual fue de 115 [MPa] aproximadamente (Figura 5.9). Por otro lado, en el soporte de la llanta frontal, se identificó un esfuerzo de Von Mises de 48 [MPa] (Figura 5.10). Como resultado, la estructura no presentó un esfuerzo superior a los 207 [MPa], el cual fue el esfuerzo de cedencia del material y con lo cual se garantizó la viabilidad de la solución considerando al acero al carbón como material de la estructura.



Figura 5.8 Esfuerzo de Von Misses máximo (130.4 [MPa]) identificado en la cuerda de la horquilla.

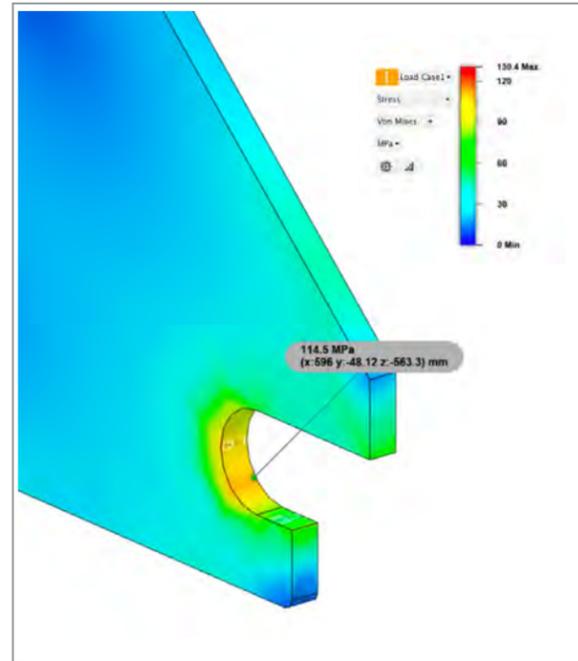


Figura 5.9 Esfuerzo de 115 [MPa] identificado en el soporte de la llanta trasera.

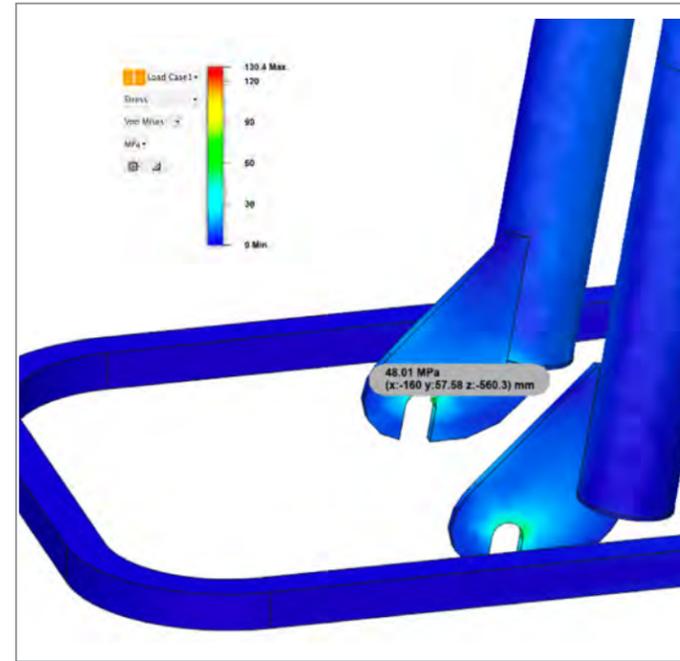


Figura 5.10 Esfuerzo de 48 [MPa] identificado en la horquilla, en donde se encuentra el soporte de la llanta delantera.

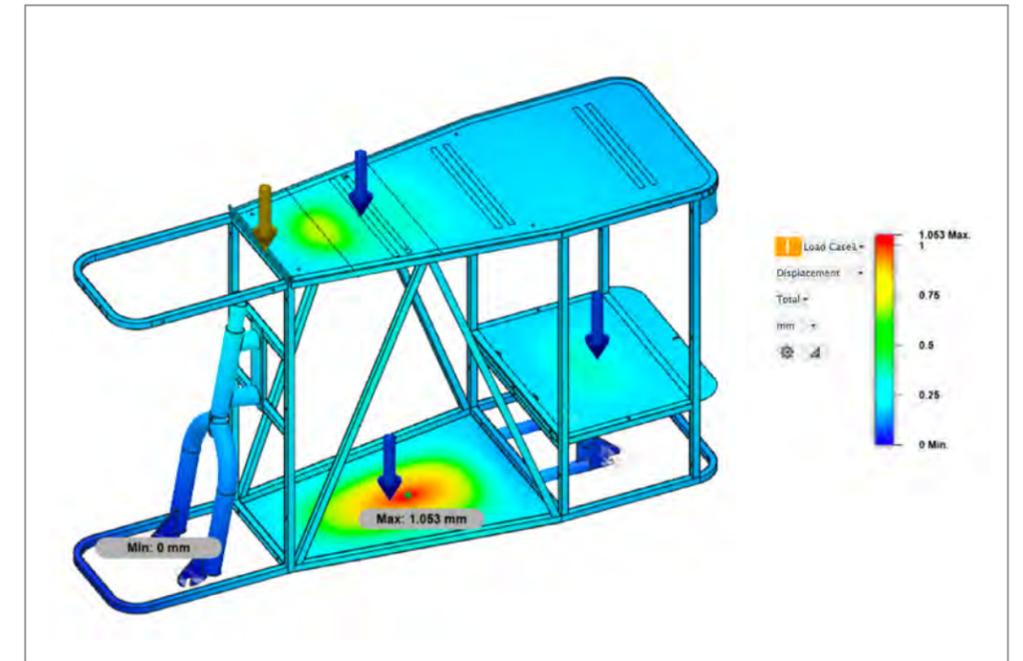


Figura 5.11 Desplazamiento máximo de 1.053 [mm] identificado en la lámina del contenedor de paquetes.



Figura 5.12. Desgaste en los soportes del eje trasero.

Como resultado, se propuso ampliar la superficie de contacto del soporte de la llanta posterior, e incluso se planteó la posibilidad de modificar el calibre del material, ya que de lo contrario existiría desgaste en dicha zona del VUMi3, lo cual sucedió como resultado de la primera etapa de las pruebas de funcionalidad del prototipo (Figura 5.12), en donde el soporte de la llanta trasera presentó desgaste y como consecuencia aumentó el huelgo en dicha zona, entre el eje y el soporte. Como resultado, la llanta salió de su posición original al circular por baches o zonas irregulares. Debido a que el análisis comparativo se realizó de forma previa a las pruebas de funcionalidad, en este capítulo no se presentan los resultados del análisis mecánico que se realizó al modificar el soporte para el eje. Sin embargo, dichos resultados se muestran en el trabajo de tesis de Morales y Martínez (2021).

Finalmente, en la figura 5.11 se muestra la gráfica con los resultados del desplazamiento que se obtuvieron a través de la simulación para el VUMi3. En dichos resultados se observa que existe un desplazamiento máximo de 1.053 [mm] en una de las láminas que soporta los paquetes, sin embargo, el esfuerzo en dicha zona no es mayor al esfuerzo de cedencia del material, por lo cual no existirá deformación permanente en la pieza. Como propuesta de rediseño, se propuso la colocación de un perfil tubular con el cual se construyó la estructura para así evitar el pandeo de dicha lámina derivado del uso.

Después de contar con los resultados base para la propuesta del VUMi3, se generó una tabla con los conceptos a evaluar, ya sea al modificar el material y/o el calibre en cada sistema. Los conceptos se muestran en la figura 5.13.

Conceptos para la evaluación			
Concepto	Sistema	Material	Presentación
Concepto 1 (Modificación en el calibre del sistema envolvente)	Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Acero al carbón	Lámina calibre 22 y 24
Concepto 2 (Modificación en el material del sistema envolvente)	Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Aluminio 1100 H14	Lámina calibre 18 y 22
Concepto 3 (Modificación en el material del sistema envolvente)	Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Polycarbonato (PC)	Hoja de 2 [mm] de espesor
Concepto 4 (Modificación en el material del sistema envolvente)	Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Ácido poliláctico (PLA)	Hoja de 2 [mm] de espesor
Concepto 5 (Modificación en el material del sistema envolvente)	Estructural	Acero al carbón	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Hoja de 2 [mm] de espesor
Concepto 6 (Modificación en el material del sistema estructural y del sistema envolvente)	Estructural	Aluminio 1100 H14	Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18
	Envolvente	Aluminio 1100 H14	Lámina calibre 18 y 22

Figura 5.13 Conceptos evaluados para identificar cambios en el impacto ambiental y en el análisis mecánico.

Los resultados del impacto ambiental para cada concepto se muestran en la figura 5.14 por unidad funcional; es decir, con respecto a la contribución anual. El tiempo total de uso del producto se consideró de 5 años para todos los casos. Por otro lado, en la figura 5.15 se presenta una gráfica con el cambio porcentual de cada concepto con respecto a la referencia.

Comparación de resultados relacionados al impacto ambiental			
	Impactos [mPts]/ unidad funcional	[kg] equivalentes de CO ₂ /unidad funcional	Cambio con respecto a la referencia [mPts]
Referencia	8.2	25	-
Concepto 1	7.8	24	0.37
Concepto 2	7.2	31	0.93
Concepto 3	5.4	24	2.8
Concepto 4	5.3	20	2.9
Concepto 5	5.1	18	3.1
Concepto 6	6.9	34	1.3

Figura 5.14 Resultados del impacto ambiental de cada concepto.

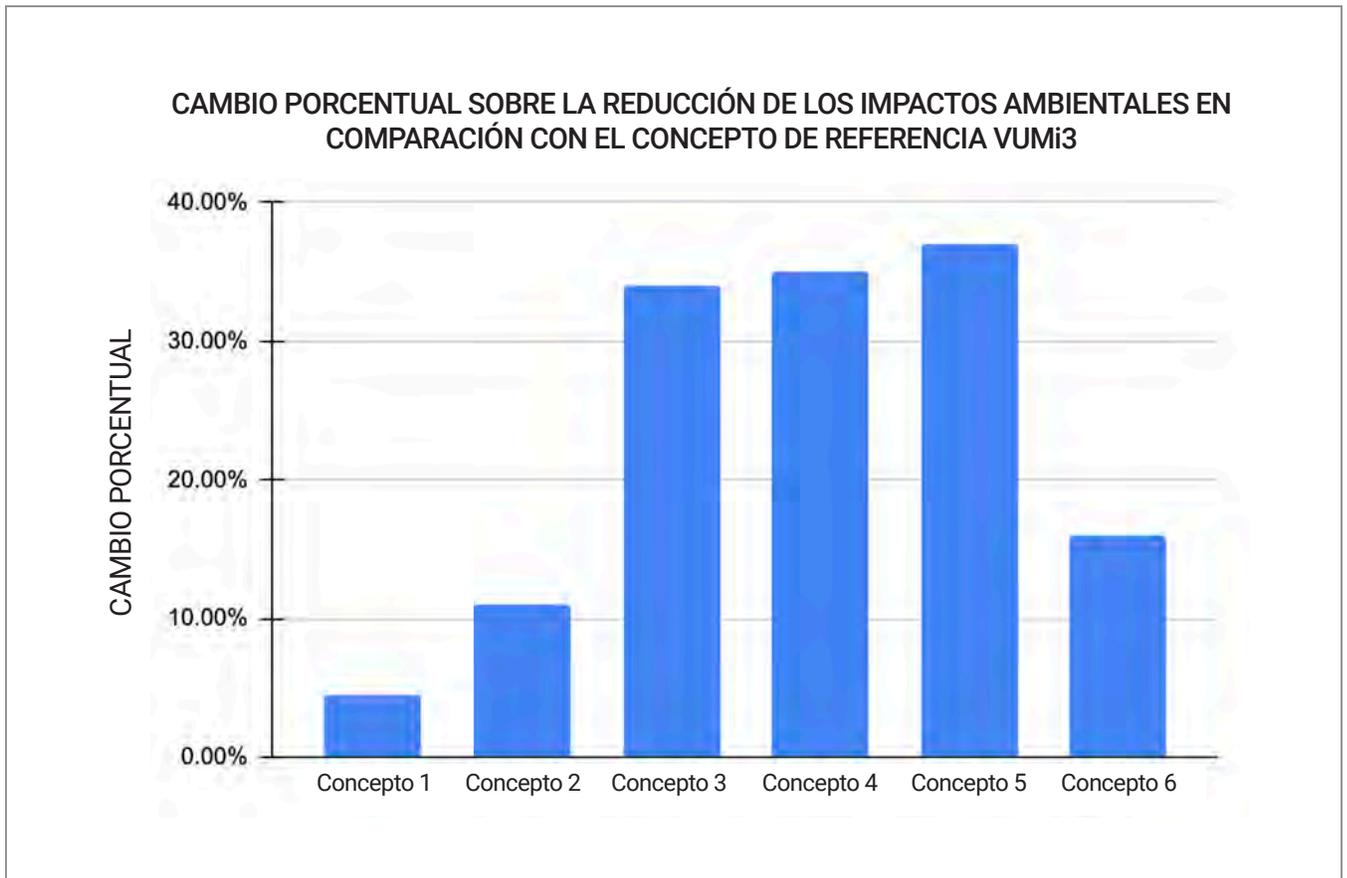


Figura 5.15 Gráfica de barras para comparar la reducción en el impacto ambiental de cada concepto con respecto a la referencia.

Por otro lado, en la figura 5.16 se presenta una tabla con los resultados del análisis mecánico que se realizó para el tubular de acero (considerado para la referencia y los conceptos 1-5), así como del tubular de aluminio (considerado en el concepto 6).

Comparación de resultados relacionados al análisis mecánico					
	Material	Presentación	Esfuerzo de Von Mises máximo [MPa]	Factor de seguridad mínimo	Desplazamiento máximo [mm]
Referencia y conceptos del 1-5	Acero al carbón	Sistema estructural: Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18 Sistema envolvente: Lámina calibre 18 y 22	130.4	1.587	1.053
Concepto 6	Aluminio 1100 H14	Sistema estructural: Tubular cuadrado de 1/2 [in], calibre 18 Sistema envolvente: Lámina calibre 18 y 22	346.9	0.597	1.318

Figura 5.16 Resultados del análisis estático

Con respecto al análisis mecánico que se realizó al considerar aluminio como material, se identificó que la viabilidad de la solución se ve comprometida al obtener un factor de seguridad menor a 1. Además, los esfuerzos de Von Mises que se obtuvieron como resultado de la simulación, fueron mayores que el esfuerzo de cedencia del material (96.5 [MPa]) por lo cual existió deformación plástica.

Los esfuerzos de Von Mises máximos identificados fueron diferentes en comparación con el análisis realizado para el acero, ya que algunas piezas, como la "Horquilla", son comerciales; por lo cual, el material de estas piezas se conservó. El esfuerzo máximo identificado fue de 346.9 [MPa] ubicado en las omegas que se colocaron como refuerzo de la "Lámina para el asiento". En el soporte de la llanta trasera se identificó un esfuerzo de Von Mises de 100 [MPa] aproximadamente; mientras que en el soporte de la llanta frontal se identificó un esfuerzo de 91 [MPa]. Como resultado, la horquilla, al ser de acero, tuvo un buen comportamiento mecánico; sin embargo, el soporte de la llanta trasera y las omegas tendrían que modificarse para garantizar la viabilidad de la solución. En la figura 5.17, 5.18 y 5.19 se muestran los resultados del análisis mecánico considerando aluminio como material estructural.

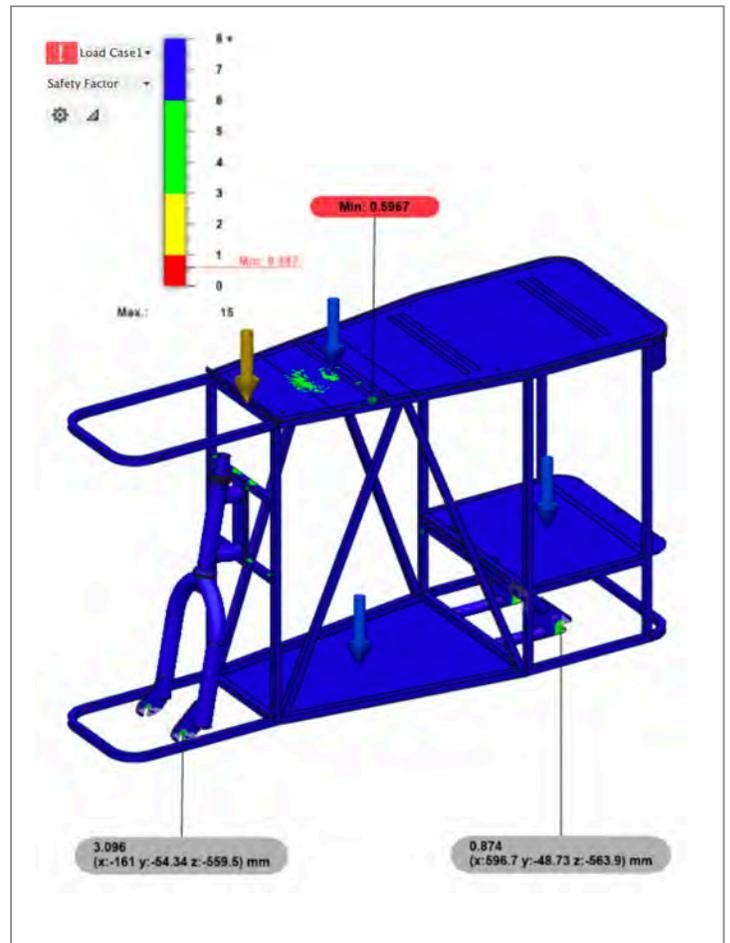
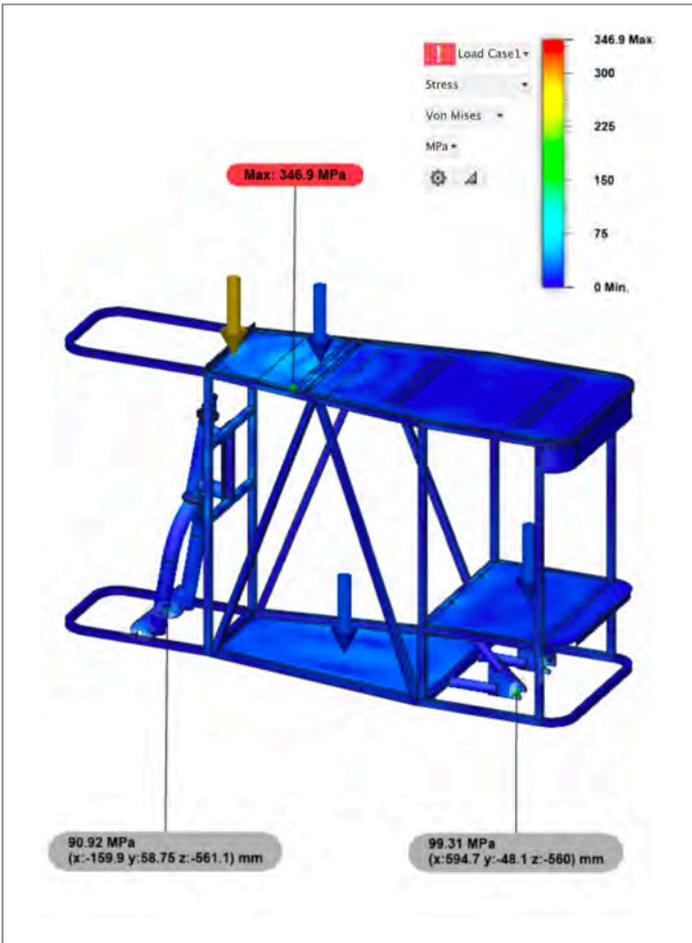


Figura 5.17 Análisis mecánico con base en los esfuerzos de Von Mises identificados, considerando aluminio como el material seleccionado.

Figura 5.18 Resultados sobre el factor de seguridad, considerando aluminio como el material seleccionado.

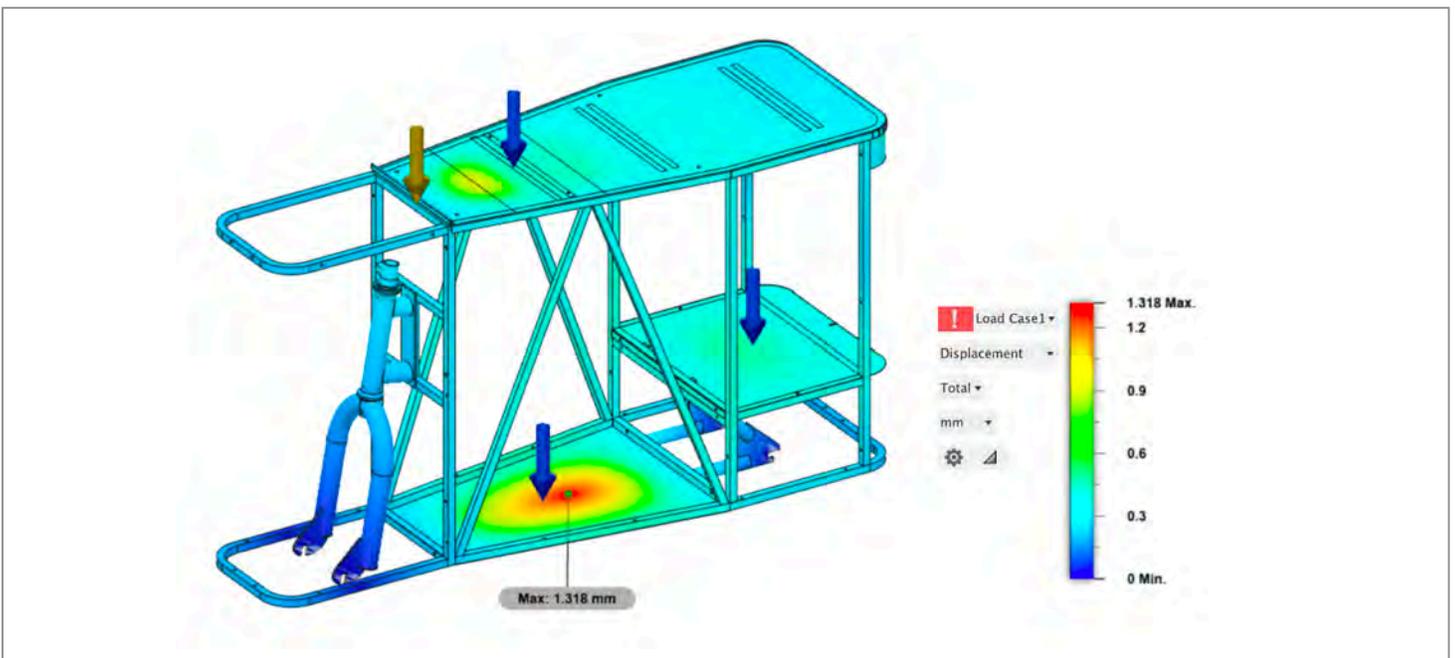


Figura 5.19 Desplazamiento máximo de 1.318 [mm] en una de las láminas que soporta el peso de los paquetes.

Finalmente, se construyó la tabla que se muestra en la figura 5.20 en donde se presenta la masa de cada concepto con base en el cambio en los materiales.

Masa total y por sistema de cada concepto				
	Masa del sistema estructural [kg]	Masa del sistema envolvente [kg]	Masa de los sistemas restantes del VUMi3 [kg]	Masa total [kg]
Referencia	6	9.4	25.8	41.2
Concepto 1	6	8.2	25.8	40
Concepto 2	6	3.1	25.8	34.9
Concepto 3	6	5.2	25.8	37
Concepto 4	6	5.4	25.8	37.2
Concepto 5	6	4.7	25.8	36.5
Concepto 6	2.1	3.1	25.8	31

Figura 5.20 Masa total y por sistema de cada concepto, con base en el cambio de material.

5.3.4 Análisis de los resultados

Con base en los resultados de sustentabilidad, se identificó que el concepto 1 tuvo una mejora del 4.5% en comparación con la referencia debido al cambio en el calibre del material utilizado en el sistema envolvente. Por otro lado, el concepto 2 presentó una mejora del 11% como resultado de cambiar el material del sistema envolvente a aluminio. De forma adicional, se identificó que para el concepto 2, el peso del sistema envolvente se redujo un 67% al pasar de 9.4 [kg] a 3.1 [kg]. Los tres conceptos que presentaron una mayor disminución en el impacto ambiental fueron aquellos que contaron con un polímero como material del sistema envolvente; es decir, el concepto 3, 4 y 5. El concepto que incorporó polietileno de alta densidad (HDPE), fue el que presentó los mejores resultados y a su vez redujo en un 50% la masa del sistema envolvente, de 9.4 [kg] a 4.7 [kg]. Finalmente, el concepto 6 presentó una reducción en las emisiones de carbono del 16% con respecto a la referencia, considerando aluminio como el material del sistema estructural y envolvente.

Por otro lado, se identificó que la estructura de aluminio presentó un mal comportamiento mecánico pues los esfuerzos de Von Mises eran superiores al esfuerzo de cedencia del material; mientras que al considerar acero como el material de la estructura, se tuvo un factor de seguridad mínimo de 1.57 en la cuerda de la “Horquilla”, sin embargo dicho resultado se asoció a la concentración de esfuerzos en dicha superficie como consecuencia de la elaboración de la pieza en el CAD.

5.3.5 Toma de decisiones

Con base en los resultados se decidió elaborar un último análisis de impacto ambiental considerando aluminio con el material estructural y HDPE como el material del sistema envolvente. De esta forma se buscó identificar la reducción potencial en las emisiones de carbono. Aunque se identificó a través del análisis mecánico que el aluminio no era un material viable para la estructura, a través de los resultados se identificaron aquellas piezas o superficies que serían susceptibles de una modificación para el rediseño. De esta forma, como trabajo a futuro se buscó plantear dichas modificaciones y así garantizar la funcionalidad de la estructura. Como cambios a futuro se buscó reforzar el soporte posterior que sostiene la llanta, así como aumentar la cantidad de omegas que se colocaron en la “Tapa del asiento”.

Como resultado se obtuvo un 43% de mejora con respecto a la referencia, con una contribución anual de 4.7 [mPts] (Figura 5.21).

5.4 CONCLUSIONES

A través de este análisis fue posible comparar conceptos que incorporaron diversos materiales asignados al sistema estructural y al sistema envolvente del VUMi3. Al ser este el primer estudio realizado, la cantidad de materiales que se comparó fue limitada; sin embargo, se identificó una reducción en los impactos ambientales al considerar algunos metales y polímeros. Como consecuencia, se espera realizar otro análisis que incluya otros materiales y presentaciones con el propósito de mejorar la toma de decisiones en el proceso de diseño, con el objetivo de reducir las emisiones de carbono.

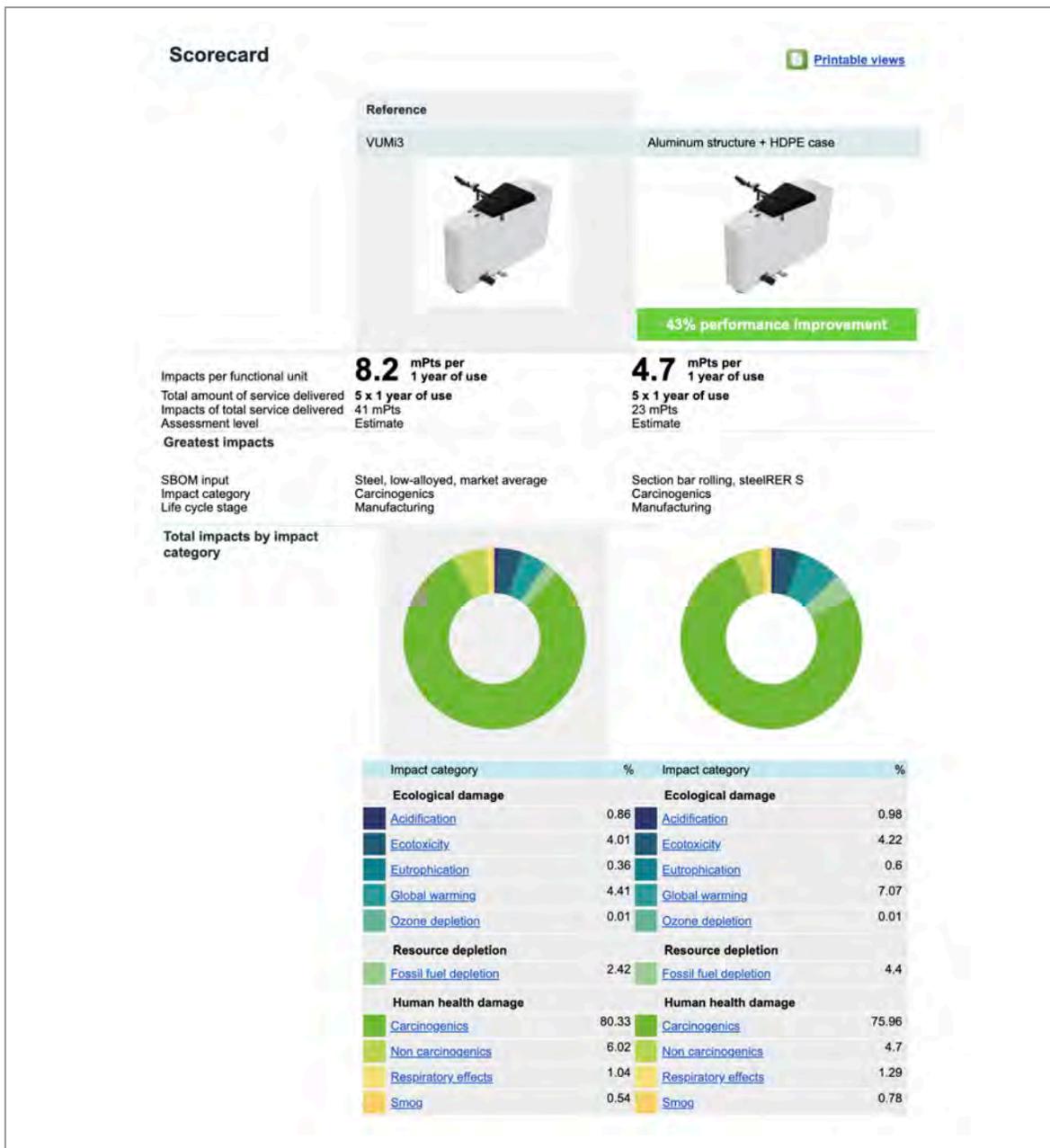


Figura 5.21 Resultados de impacto ambiental para el concepto final, considerando aluminio como material del sistema estructural y polietileno de alta densidad (HDPE) para el sistema envolvente.

Por otro lado fue posible realizar el análisis mecánico de dos metales para identificar la viabilidad de la solución; y a partir de los resultados obtenidos se espera realizar modificaciones en la presentación del material seleccionado y en la forma de las piezas con el propósito de garantizar la funcionalidad mecánica. Además, como trabajo a futuro se espera contar con la comparación de los costos asociados

a la compra de los materiales y la selección de los procesos de manufactura. Por otro lado, se plantea realizar el análisis mecánico considerando los aspectos estáticos y dinámicos del VUMi3, comparando diferentes calibres del tubular, barra y otros materiales que disminuyan a su vez la masa del prototipo para aumentar la autonomía del vehículo.

Finalmente, la selección de los materiales tiene un impacto en los procesos de manufactura que se implementan. Por ejemplo, la pintura electrostática aumenta el tiempo de vida de un producto de acero (Winward Engineering Ltd, n.d.); sin embargo, este proceso puede omitirse al incorporar un polímero como material; y como consecuencia, eliminar las emisiones de carbono asociadas a dicho proceso. Lo anterior se comprobó al analizar los conceptos 3, 4 y 5 en donde hubo una disminución considerable en los impactos ambientales.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

A través de este trabajo de tesis se buscó resolver una de las problemáticas de movilidad de la Ciudad de México, asociadas a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso como lo son los espacios residenciales y los corporativos; en donde se identificó que existen pocos lugares de estacionamiento, congestión vehicular, dificultad para circular por calles estrechas, avenidas cerradas por manifestaciones e inundaciones. Derivado de esta situación, se recurrió a la Metodología Centrada en el Usuario para implementar un cambio en la experiencia y la logística en la entrega de paquetería.

De esta forma, alumnos y profesores de la Universidad Nacional Autónoma de México con la empresa colaboradora Re!-corre, buscaron soluciones a través de cinco ciclos de trabajo, a través de los cuales fue posible construir tres propuestas con sus respectivos prototipos.

Mediante la propuesta VUM, el equipo tuvo un primer acercamiento al problema, a entender las necesidades de los usuarios repartidores y a conocer los elementos que integran un Vehículo de Última Milla. Posteriormente, a través de VUMi2 se planteó el diseño de un vehículo que se convirtió en maleta para permitir a los usuarios repartidores ingresar a los corporativos y hacer uso del elevador en lugar del montacargas. Con base en los resultados, el cambio en la experiencia se rechazó, pero fue posible identificar la percepción del usuario sobre el vehículo y definir aspectos ergonómicos sobre el uso del prototipo.

Este trabajo de tesis partió de los resultados de funcionalidad y de las pruebas con usuarios de VUMi2. Como resultado, se estableció un cambio en la experiencia del usuario en donde se utilizan varios VUMs eléctricos para realizar entregas utilizando los carriles de baja velocidad y la infraestructura de ciclovía. El objetivo de la experiencia fue realizar la entrega de una mayor cantidad de paquetes en menos tiempo, poder circular en calles estrechas, entre situaciones de tráfico y manifestaciones; así como acercar al usuario al edificio donde realiza la entrega al cliente; ya sea dentro de un conjunto residencial o corporativo.

Como consecuencia, la propuesta de diseño VUMi3 se integró por siete sistemas: Estructural, envolvente, dirección, eje posterior, eléctrico/electrónico, de soporte para el usuario, y sistema de acceso y seguridad.

VUMi3 es un Vehículo de Última Milla personal eléctrico con una capacidad de carga de 0.09 [m³] que cumple con la normativa para circular por la ciclovía con base en el Nuevo Reglamento de Tránsito 2019 y la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, edición 58. Cuenta con un sistema de localización GPS *Amcrest*, un motor eléctrico integrado a la llanta delantera, una batería eléctrica recargable de ion-Litio, dos llantas neumáticas de 10 [in] de diámetro, luz blanca delantera y luz LED roja trasera; además de freno de palanca, acelerador, un caballete y campana para emitir alertas sonoras. VUMi3 transporta un usuario como máximo y alcanza una velocidad máxima de 25 [km/h] con base en las pruebas de funcionalidad.

Con la construcción del prototipo se identificaron mejoras en la producción del vehículo; y a través de las pruebas de funcionalidad, el VUMi3 alcanzó una velocidad máxima de 16.2 [km/h] y tuvo una autonomía de 10.5 [km] recorridos en 99 [min]; aunque se planteó realizar pruebas adicionales para tener un mejor parámetro sobre el vehículo. A partir de dichas pruebas se identificó que el VUM logró circular por irregularidades en el terreno como topes, baches, empedrados, coladeras de cemento; además de rampas.

Por otro lado, el prototipo se probó con usuarios repartidores en un día laboral, en donde se identificó la importancia de contar con un vehículo que mejore la logística al transportarse entre edificios dentro de un conjunto habitacional, ya que dichos recorridos representaron el 25% del tiempo que tardaron los usuarios en realizar entregas. Sin embargo, debido a la normativa interna de cada zona habitacional, no fue posible continuar con las pruebas. Por lo anterior, se espera probar el VUMi3 en otras ciudades de Puebla y Jalisco para identificar la viabilidad de la solución en otros escenarios.

Con base en la propuesta de diseño VUMi3, se realizó un análisis comparativo para identificar posibles cambios en los materiales con el objetivo de reducir el impacto ambiental, sin comprometer la viabilidad de la solución, lo cual se comprobó a través de un análisis mecánico bajo la consideración de cargar a un usuario de 120 [kg], así como 30 [kg] de paquetes dentro del vehículo. Como resultado se identificó que el aluminio permitió reducir el peso estructural y del sistema de envoltente en un 67%, que el polietileno de alta densidad (HDPE) fue el material asociado al sistema

de envolvente que redujo en un 38% la huella de carbono en comparación con la propuesta de diseño VUMi3. Sin embargo, es necesario continuar el análisis para estudiar y comparar otros materiales y diversas presentaciones comerciales que permitan identificar mayores reducciones en el impacto ambiental. Por otro lado, se plantearon las modificaciones a realizar en el VUMi3 con el propósito de garantizar la viabilidad de la solución.

Este trabajo de tesis concluyó con la documentación para la manufactura del prototipo, la cual incluyó 45 planos; la lista de partes; y el BOM para la compra de materia prima y las piezas comerciales. Además, se publicó un artículo titulado *"A Comparative Study on Material Selection for Designing an Electric Last Mile Vehicle for Parcel Delivery"* como parte del *18th International Conference on Product Lifecycle Management (IFIP PLM 2021)* y la propuesta de diseño se encuentra en proceso de registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) bajo el concepto de modelo de utilidad.

Por otro lado, la línea de investigación continúa y el equipo de trabajo se encuentra trabajando en la mejora del prototipo, en el aumento en la capacidad de carga y en la modularidad que permita expandir el uso del VUMi3 a otros mercados potenciales, como lo es la movilidad de usuarios de la tercera edad y de usuarios con alguna limitación motriz temporal o permanente; además de la movilidad de mercancía.

Finalmente, como trabajo a futuro se plantearon los siguientes puntos:

- Realizar las modificaciones relacionadas al diseño de detalle de la propuesta.
- Analizar la viabilidad mecánica, tomando en consideración aspectos de optimización de la estructura y la dinámica del vehículo.
- Realizar pruebas de funcionalidad adicionales para contar con un mejor parámetro relacionado con la autonomía del producto.
- Comparar otros materiales, el costo y la selección de procesos de manufactura que disminuya las emisiones de carbono.
- Realizar pruebas con usuarios en otros estados de la República Mexicana con el propósito de identificar la viabilidad de la solución al entregar paquetes.

REFERENCIAS

ADSL Zone, 9 de Abril de 2019, *Google se adelanta a Amazon: lanza el primer servicio que entrega pedidos con drones* [Imagen] Disponible en: <https://www.adslzone.net/2019/04/09/google-wing-drones-entrega-pedidos/> [Consultado el 16 de Julio de 2021]

Amazon, a, *Logística de Amazon. Ahorra tiempo y crece tu negocio con Logística de Amazon* [Online] Disponible en: https://vender.amazon.com.mx/logistica-de-amazon.html?ref=asmx_soa_rd&#beneficios [Consultado el 11 de Julio de 2021]

Amazon, b., *Ensamblaje de interruptor de encendido con llave para Yamaha YFM 350 Bruin 660R 700R Raptor 350X de 2 pines en la motocicleta ATV* [Online] Disponible en: https://www.amazon.com.mx/gp/product/B07V8TGF14/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o08_s00?ie=UTF8&psc=1 [Consultado el 8 de Agosto de 2021]

Amazon, c, *ElevenII Seguidor del vehículo localizador, mini rastreador GPS Tracker para autos vehículo o moto, portátil GPS Tracker Tiempo Real GPS/GSM/GPRS/SMS Que sigue, alarmas y geocerca* [Online] Disponible en: https://www.amazon.com.mx/gp/product/B07NRX942H/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o01_s00?ie=UTF8&psc=1 [Consultado el 18 de Agosto de 2021]

Amazon, d, *Amcrest 4G LTE Rastreador GPS - Mini dispositivo de Trastreo GPS portátil oculto en tiempo real para vehículos, coches, niños, personas, bienes, con Cercado-Geográfico, Alertas de mensajes de texto y correo electrónico, 14 días de batería* [Online] Disponible en: https://www.amazon.com.mx/gp/product/B07P87SZMJ/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o04_s00?ie=UTF8&psc=1 [Consultado el 18 de Agosto de 2021]

Amazon, e, *Yosoo Helath Gear - Funda de agarre para manillar de bicicleta, 1 par de empuñaduras de espuma para manillar con anillo de bloqueo para bicicleta de montaña* [Online] Disponible en: https://www.amazon.com.mx/gp/product/B08BJ285RW/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1 [Consultado el 21 de Agosto de 2021]

Anderson J., 2019, *Aerodynamic Force* [Online] Disponible en: <https://www.accessscience.com/content/aerodynamic-force/012600> [Consultado el 22 de Agosto de 2021]

Arango C., n.d., *Imagen sobre ecobici* [Imagen] Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/28535336@N03/5114567030/sizes//> [Consultado el 19 de Marzo de 2021]

Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO), n.d., *Reporte 4.0 Impacto COVID-19 en Venta Online México* [Online] Disponible en: <https://www.amvo.org.mx/estudios/reportes-4-0-impacto-covid-19-en-venta-online-mexico/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Autodesk, n.d., *Fusion 360. Software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos integrado.* [Online] Disponible en: <https://www.autodesk.mx/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

Ávila R., Prado L., González E., 2007, *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana.* México, segunda edición. Universidad de Guadalajara.

Becton M., 2011, *Building an Electric Motorcycle: Design and Construction of a Zero Roadside Emissions Vehicle* [Online] Disponible en: <https://digitalworks.union.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2001&context=theses> [Consultado el 5 de Septiembre de 2021]

Binzel-Abicor, n.d., *Soldadura de lámina delgada* [Online] Disponible en: <https://www.binzel-abicor.com/MX/spa/soluciones/main-focus/thin-sheet-welding/> [Consultado el 17 de Agosto de 2021]

Borja V., Escalera Y., García A., Márquez F., 2017. *Mapa de viaje de usuario.* Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

Borja V., Bustamante R., López M., Ramírez A., 2006, *Uso de patentes para el rediseño de un equipo de empaque.* Memorias del XII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

Borja V., Leyra E., Méndez A., 2011, *Método para validar conceptos de productos usando simuladores y prototipos.* Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

Borja V., López K., Mendoza A., 2018, *Estudio comparativo de motores de aire didácticos con énfasis en la sustentabilidad.* Memorias del XXIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

British Plastics Federation, a, *Polycarbonate (PC)* [Online] Disponible en: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/polycarbonate.aspx> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

British Plastics Federation, b, *Polyethilene (High Density) HDPE* [Online] Disponible en: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/hdpe.aspx> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

Camino Perfecto, n.d., *Mejores puños normales y ergonómicos para MTB del 2021* [Online] Disponible en: <https://caminoperfecto.com/punos-ergonomicos-y-normales/> [Consultado el 19 de Agosto de 2021]

Carryway, n.d., *Last mile delivery solutions. Electric Vehicle Solutions for the Last Mile Delivery Industry* [Online] Disponible en: <https://carryway.co.uk/solutions/last-mile-delivery-solutions/> [Consultado el 17 de Julio de 2021]

Castro C., García B., Borja V., Jiménez J., 2020. *Estudio comparativo de los materiales utilizados en la elaboración de un dispositivo lúdico.* Memorias del XXVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

CNBC, 1 de Julio de 2021, *Amazon plans to build delivery robot tech in Finland* [Imagen] Disponible en: <https://www.cnb.com/2021/07/01/amazon-plans-to-build-scout-delivery-robot-tech-in-finland.html> [Consultado el 17 de Julio de 2021]

Creality, n.d., *3D Printers* [Online] Disponible en: <https://creality3d.shop/> [Consultado el 11 de Agosto de 2021]

CREE LED, n.d., *Product Family Data Sheet. XLamp XP-G LEDs* [Archivo PDF] Disponible en: <https://cree-led.com/media/documents/XLampXPG.pdf> [Consultado el 3 de Septiembre de 2021]

Crónica Ambiental, 2020, *11.2 Millones hacen viajes de hasta 4 horas en CDMX y Estado de México* [Online] Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:i6L631R7qbwJ:https://www.cronicaambiental.com.mx/11-2-millones-hacen-viajes-de-hasta-4-horas-en-cdmx-y-edomex-urbvan-reduce-hasta-30-los-tiempos-de-traslado/+&cd=19&hl=es&ct=clnk&gl=mx> [Consultado el 11 de Marzo de 2021]

Deloitte, n.d., *Los tres principales retos del e-commerce en México* [Online] Disponible en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articulos/principales-retos-e-commerce-en-Mexico.html> [Consultado el 1 de Mayo de 2021]

Dirección General de Servicios Generales y Movilidad (DGSGM), a, *Bicipuma* [Online] Disponible en: <https://www.dgsgm.unam.mx/bicipuma> [Consultado el 25 de Julio de 2021]

Dirección General de Servicios Generales y Movilidad (DGSGM), b, *Pumabús* [Online] Disponible en: <https://www.dgsgm.unam.mx/bicipuma> [Consultado el 25 de Julio de 2021]

Electropedaleo, n.d., *Baterías* [Online] Disponible en: <https://www.electropedaleo.com.mx/baterias/> [Consultado el 11 de Agosto de 2021]

El Economista, 16 de Julio de 2019, *CDMX anuncia 100 nuevas unidades y más rutas para su RTP* [Imagen] Disponible en: <https://www.economista.com.mx/politica/CDMX-anuncia-100-nuevas-unidades-y-mas-rutas-para-su-RTP-20190716-0102.html> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

El Financiero, 12 de Febrero de 2021, *Jorge O. Moreno: El transporte público en la AMM: una agenda vigente y pendiente* [Online] Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/jorge-o-moreno-el-transporte-publico-en-la-amm-una-agenda-vigente-y-pendiente/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

El Porvenir, 17 de Mayo de 2020, *Aparecen aglomeraciones y tráfico en La Nacional* [Imagen] Disponible en: <https://elporvenir.mx/local/aparecen-aglomeraciones-y-traffic-en-la-nacional/88079> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

EQ International, 22 de Abril de 2020, *MellowVans' Cool Electric Delivery Vehicles Look To Power The Global Last Mile Delivery Market* [Imagen] Disponible en: <https://www.eqmagpro.com/mellowvans-cool-electric-delivery-vehicles-look-to-power-the-global-last-mile-delivery-market/> [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Excelsior, 5 de Junio de 2020, *El e-commerce en México y su crecimiento en la época Covid* [Online] Disponible en: <https://www.excelsior.com.mx/hacker/el-e-commerce-en-mexico-y-su-crecimiento-en-la-epoca-covid/1385950> [Consultado el 1 de Mayo de 2021]

Exxon Mobil Chemical, n.d., *HDPE* [Online] Disponible en: <https://www.exxonmobilchemical.com/en/products/polyethylene/hdpe> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Flip Life of Sweden, n.d., *RCNUN 36V 48 V to 12V 13.8V 5A 10A 15A 20A 30A DC DC Step Down Power Converter 48V-12V Golf Cart Voltage Regulator With CE RoHS*. [Online] Disponible en: <https://ln.fliplifeofsweden.se/product/v2ee5dgg5/rcnun-36v-48v-to-12v-13-8v-5a-10a-15a-20a-30a-dc-dc-step-down-power-converter-48v-12v-golf-cart-voltage-regulator-with-ce-rohs> [Consultado el 3 de Septiembre de 2021]

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 18 de Septiembre de 2017, *Lluvias e inundaciones en la Ciudad de México* [Imagen] Disponible en: <https://agua.org.mx/actualidad/lluvias-e-inundaciones-en-la-ciudad-mexico/> [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Forbes, 11 de Noviembre de 2019, *Gobierno de la Ciudad de México publica protocolo ante manifestaciones* [Imagen] Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/gobierno-de-la-ciudad-de-mexico-publica-protocolo-ante-manifestaciones/> [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Forbes, 11 de Marzo de 2020 (a), *Los 3 choques del metro, a lo largo de sus 50 años de historia* [Imagen] Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/noticias-choques-metro-cdmx-historia/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Forbes, 30 de Septiembre de 2020 (b), *El año que impulsó al e-commerce en México* [Online] Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/el-ano-que-impulso-al-e-commerce-en-mexico/> [Consultado el 1 de Mayo de 2021]

Gillespie T., 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers (SAE) International.

Gobierno de la Ciudad de México, 2019, *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. Edición 58. Vigésimo primera década.

Gobierno de la Ciudad de México, 2 de Junio de 2021, *Ubicación de puntos de acceso gratuito a internet WiFi via infraestructura C5* [Online] Disponible en: <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/ubicacion-acceso-gratuito-internet-wifi-c5> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

Gobierno de México, n.d., *Impacto del COVID-19 en el transporte público* [Online] Disponible en: <https://www.gob.mx/omt/articulos/impacto-del-covid-19-en-el-transporte-publico> [Consultado el 19 de Marzo de 2021]

Gobierno de México, 2015, *Intended Nationally Determined Contribution* [Online] Disponible en: <http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf> [Consultado el 17 de Julio de 2021]

Hernández S., 2021, *Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema de guiado automático*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Hernández S., López E., Martínez I., Borja V., Treviño A., Ramírez-Reivich A., 2020, *Diseño de un vehículo eléctrico de última milla para la entrega de paquetería*. Memorias del XXVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM, México.

Hongyang L., Jing L., Jeffery R., 1. *WO2020082019 - METHOD FOR SYNTHESIZING NICKEL-COBALT-ALUMINUM ELECTRODES*. [Patente] International Application Number PCT/US2019/057060.

Instituto de Geografía, 2018, *La movilidad en la Ciudad de México. Impactos, conflictos y oportunidades* [Archivo PDF] Disponible en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/149/138/712-2?inline=1> [Consultado el 11 de Abril de 2021]

Incentro, 16 de Diciembre de 2019, *Ventajas y desventajas del comercio electrónico* [Online] Disponible en: <https://www.incentro.com/es-es/blog/stories/ventajas-desventajas-comercio-electronico/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, n.d., *Movilidad Urbana Sustentable. Hacia una estrategia nacional integral de movilidad*. [Archivo PDF] Disponible en: <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Movilidad-Urbana-Sustentable-MUS.pdf> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017, *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017* [Online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/> [Consultado el 11 de Marzo de 2021]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019a, *Parque vehicular* [Online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/> [Consultado el 19 de Marzo de 2021]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019b, *Transporte de pasajeros* [Online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/transporteurb/> [Consultado el 19 de Marzo de 2021]

Iqbal H., 2010, *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. México, segunda edición. CRC Press.

La Cascada, 27 de febrero de 2017, *Guadalajara: ciudad de atarones viales* [Imagen] Disponible en: <https://www.cascadanoticias.com/index.php/noticias/jalisco-noticias/jalisco/guadalajara-ciudad-de-atarones-viales> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Láminas y aceros, n.d., *Soldadura por Microalambre (MIG)* [Online] Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/soldadura-por-microalambre-mig#:~:text=El%20proceso%20de%20soldadura%20por,forma%20continua%20desde%20una%20bobina> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

LEDBOX, n.d., *Ficha técnica. Tira LED Monocolor HQ SMD3528, DC12V, 5m (60 Led/m) - IP20* [Archivo PDF] Disponible en: [https://www.ledbox.es/generar-pdf-4482~tira-led-hq-smd3528-dc12v-5m-\(60-led-m\)-ip20](https://www.ledbox.es/generar-pdf-4482~tira-led-hq-smd3528-dc12v-5m-(60-led-m)-ip20) [Consultado el 22 de Agosto de 2021]

LEDsupermall, n.d., *Luz de bicicleta USB Recargable Bicicleta LED LED 400lm Bike Front Light* [Online] Disponible en: <https://mx.ledsupermall.com/bicycle-light-usb-rechargeable-bike-light-led-400lm-bike-front-light.html> [Consultado el 4 de Septiembre de 2021]

López E., 2020, *Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema antirobo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

López G. Bocarejo J., Blanco A., 2018, *Políticas de tarificación por congestión: efectos potenciales y consideraciones para su implementación en Bogotá, Ciudad de México y Santiago*. Banco Interamericano de Desarrollo. [PDF] Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/politicas-de-tarificacion-por-congestion-efectos-potenciales-y-consideraciones-para-su> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

MAC Instruments, 2019, *What Is the Density of Air at STP?* [Online] Disponible en: <https://www.macinstruments.com/blog/what-is-the-density-of-air-at-stp/> [Consultado el 18 de Agosto 2021]

MAPIREL, n.d., *Beneficios de la pintura electrostática*. [Online] Disponible en: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/tungsten-inert-gas-tig-or-gta-welding-006> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

Marketing 4 E-commerce, 2 de Junio de 2020, *Qué es el eCommerce: definición modelos y ventajas* [Online] Disponible en: <https://marketing4ecommerce.mx/que-es-el-ecommerce/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Martínez I., 2021, *Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema mecánico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Martínez F., Morales J., 2021, *Análisis Mecánico del Rediseño de un*

Vehículo Personal para Entregas de Última Milla. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Mexico Desconocido, n.d., *Tarjetas todo en uno para la CDMX: paga el Metro, Metrobús, Ecobici, RTP y más* [Imagen] Disponible en: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/tarjetas-todo-en-uno-para-la-cdmx.html> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Milenio, 21 de Octubre de 2019, *A partir de hoy ya podrás viajar con tu bici en el Metro de CdMx* [Imagen] Disponible en: <https://www.reuters.com/business/retail-consumer/britains-ocado-turns-electric-pedal-power-zoom-service-2021-02-02/> [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Milenio, 15 de Diciembre de 2020, ¡Es oficial! En CDMX, unidades de Ecobici mostrarán publicidad [Imagen] Disponible en: <https://www.milenio.com/politica/comunidad/ecobici-cdmx-tendra-espacios-publicitarios-en-unidades> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

MotoMeta n.d., *Posapie delantero izquierdo y derecho DM-150 10-17* [Online] Disponible en: https://motometa.com.mx/details/product/0241203022/Posapie-delantero-izquierdo-y-derecho-DM-150-10-17?gclid=CjwKCAjwyIKJBhBPEjwAu7zII61P146SodRLG8WoJBn0-Elyd3Mo80oJ2shuBU_8ErQVnOnht-n_RoCWNAQAvD_BwE#tab-specification [Consultado el 19 de Agosto de 2021]

Motorpasión, 27 de Abril de 2020, *Tesla patenta una nueva celda de batería de iones de litio para aumentar la vida útil y hacer caer los costos* [Imagen] Disponible en: <https://www.motorpasion.com/tesla/tesla-patenta-nueva-celda-bateria-iones-litio-para-aumentar-vida-util-hacer-caer-costos> [Consultado el 16 de Julio de 2021]

Nacional de Acero (NASA), n.d., *Tabla de calibres* [Online] Disponible en: <http://www.nacionaldeacero.com/tabla-de-calibres> [Consultado el 19 de Agosto de 2021]

Nae Global, 26 de Julio de 2019, *¿Qué sucede con el apagado de redes 2G/3G?* [Online] Disponible en: <https://nae.global/es/que-sucede-con-el-apagado-de-redes-2g-3g/> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

NovaGob, n.d., *Imagen baches en San Bernabé* [Imagen] Disponible en: https://red.novagob.org/wp-content/uploads/2017/07/sa_1500566267_561070_baches-san-bernabe.jpg [Consultado el 8 de Julio de 2021]

OpenBOM, n.d., *OpenBOM. Manage Parts, Vendors, Bill of materials & Purchases* [Online] Disponible en: <https://www.openbom.com/> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Publimetro, 2020, *Línea 1 del Metrobús CDMX anuncia cierre de estaciones por adecuaciones desde febrero a junio* [Imagen] Disponible en: <https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2020/02/17/cierre-estaciones-linea-1-del-metrobus-cdmx.html> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Ramírez J., 2017, *Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico*. [Online] Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8533/53111R173.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

ReI-corre, n.d., *Rutas dedicadas de última milla* [Online] Disponible en: <http://recorre.mx/> [Consultado el 21 de Julio de 2021]

Reuters, 2 de Febrero de 2021, *Britain's Ocado turns to electric and pedal power for Zoom service* [Imagen] Disponible en: <https://www.reuters.com/business/retail-consumer/britains-ocado-turns-electric-pedal-power-zoom-service-2021-02-02/> [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Rodríguez J., 2019, *Diseño una máquina para compra y recarga de tarjetas para el transporte público*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

San Diego Union Tribune, 25 de Agosto de 2020, *Líneas fronterizas se extienden por millas, la espera crece hasta 10 horas en la era del coronavirus* [Imagen] Disponible en: <https://www.sandiegouniontribune.com/en-espanol/noticias/bc/articulo/2020-08-25/lineas-fronterizas->

coronavirus [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Scientific American, Julio, 2018, *The Environmental Impact of Corn-Based Plastics* [Online] Disponible en: <https://www.scientificamerican.com/article/environmental-impact-of-corn-based-plastics/> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

Secretaría de Movilidad (SEMOVI), 2019a, *Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México 2019. Una ciudad, un sistema* [Archivo PDF] Disponible en: <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf> [Consultado el 21 de Abril de 2021]

Secretaría de Movilidad (SEMOVI), 2019b, *Nuevo Reglamento de Tránsito Ciudad de México 2019* [Archivo PDF] Disponible en: <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/RT%202019%20CDMX.pdf> [Consultado el 11 de Marzo de 2021]

Secretaría de Movilidad (SEMOVI), 2020, *Reglamento de Tránsito CDMX 2020* [Online] Disponible en: <https://www.semovi.cdmx.gob.mx/secretaria/marco-normativo/reglamento-de-transito-cdmx> [Consultado el 11 de Marzo de 2021]

Secretaría de Seguridad Ciudadana de la Ciudad de México, 27 de Junio de 2016, *Estacionamiento en doble fila* [Imagen] Disponible en: https://twitter.com/SSC_CDMX/status/747500318087225345 [Consultado el 8 de Julio de 2021]

Secretaría del Medio Ambiente, n.d., *Hoy no circula* [Online] Disponible en: [https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/hoy-no-circula#:~:text=Nuevo%20Programa%20para%20Prevenir%20y\(Apartado%20Hoy%20no%20Circula\).&text=Dejan%20de%20Circular%2050%25%20de.%2C%20municipales%2C%20alcalde%20y%20federal](https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/hoy-no-circula#:~:text=Nuevo%20Programa%20para%20Prevenir%20y(Apartado%20Hoy%20no%20Circula).&text=Dejan%20de%20Circular%2050%25%20de.%2C%20municipales%2C%20alcalde%20y%20federal) [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Siete 24, Febrero 2019, *Cerrarán por las noches el Periférico Norte ¡aguas!* [Imagen] Disponible en: <https://siete24.mx/mexico/estados/cerraran-por-las-noches-el-periferico-norte-aguas/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

SPC Group, 2014, *Bill of Materials - BOM* [Online] Disponible en: <https://spcgroup.com.mx/bom/> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

Sphera GaBi Solutions, n.d., *Sphera GaBi Solutions*. [Online] Disponible en: <https://gabi.sphera.com/mexico/index/> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Stratasys, n.d., *Impresoras 3D* [Online] Disponible en: <https://www.stratasys.com/mx/fdm-technology> [Consultado el 15 de Agosto de 2021]

Sustainable Minds, a, *Sustainable Minds. Design greener products right, from the start*. [Online] Disponible en: <http://www.sustainableminds.com/> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Sustainable Minds, b, *Learn about SM Single Score results*. [Online] Disponible en: <http://www.sustainableminds.com/showroom/shared/learn-single-score.html> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Sustainable Minds, c, *Carcinogens*. [Online] Disponible en: <https://app.sustainableminds.com/learning-center/methodology/human-carcinogen> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Sustainable Minds, d, *Non-carcinogens*. [Online] Disponible en: <https://app.sustainableminds.com/learning-center/methodology/human-toxicity> [Consultado el 13 de Septiembre de 2021]

Targray, n.d., *NMC Battery Material (LiNiMnCoO2). Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide Cathode for Li-ion Batteries* [Online] Disponible en: <https://www.targray.com/li-ion-battery/cathode-materials/nmc> [Consultado el 17 de Julio de 2021]

The Aluminum Association, n.d., *The Aluminum Advantage* [Online] Disponible en: <https://www.aluminum.org/aluminum-advantage> [Consultado el 11 de Septiembre de 2021]

The Polycarbonate Store, n.d., *Polycarbonate - What is it Used For?* [Online] Disponible en: <https://www.thepolycarbonatestore.co.uk/polycarbonate-uses/> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

The Welding Institute (TWI), a, *What is gas metal arc welding? (MIG Welding / MAG Welding)* [Online] Disponible en: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-mig-mag-welding> [Consultado el 11 de Agosto de 2021]

The Welding Institute (TWI), b, *What is tungsten inert gas (GTAW or TIG) welding?* [Online] Disponible en: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/tungsten-inert-gas-tig-or-gta-welding-006> [Consultado el 11 de Agosto de 2021]

Tom-tom, n.d., *GO Discover* [Online] Disponible en: https://www.tomtom.com/es_es/navigation/car-gps/ [Consultado el 8 de Agosto de 2021]

UNIT Electronics, n.d., *Convertidor 48V a 12V 5A 60W Step Down.* [Online] Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/convertidor-48v-a-12v-5a-60w-step-down/> [Consultado el 11 de Agosto de 2021]

Universidad de Guadalajara, 20 de Enero de 2017, *Ineficiencia de transporte público afecta calidad de vida* [Online] Disponible en: <https://www.udg.mx/es/noticia/ineficiencia-de-transporte-publico-afecta-calidad-de-vida> [Consultado el 11 de Marzo de 2021]

Universitat de Barcelona, n.d., *Polietileno de alta densidad* [Online] Disponible en: <https://creality3d.shop/> [Consultado el 11 de Abril de 2021]

University of Colorado System, n.d., *Algorithms for Battery Management Systems* [Curso Coursera] Disponible en: https://www.coursera.org/programs/mooc-unam-en-coursera-para-ti-zeau?currentTab=MY_COURSES&productId=i06fSUGJEee1wo4ipJFA&productType=s12n&showMiniModal=true [Consultado el 19 de Agosto de 2021]

Vivanuncios, n.d., *Las mejores ciudades en México para andar en bicicleta* [Imagen] Disponible en: <https://blog.vivanuncios.com.mx/bienes-raices/las-mejores-ciudades-en-mexico-para-andar-en-bicicleta/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Winward Engineering Ltd, n.d., *The Benefits of Powder Coating to Your Business* [Online] Disponible en: <https://winward.co.uk/benefits-powder-coating-business> [Consultado el 15 de Septiembre de 2021]

World Resources Institute México (WRI), Noviembre 2016, *Ocho puntos de acción para alcanzar las metas climáticas de México* [Archivo PDF] Disponible en: https://wrimexico.org/sites/default/files/WRI_OCN_Mexico_Final_ES.pdf [Consultado el 15 de Junio de 2021]

World Steel Association, n.d., *About Steel* [Online] Disponible en: <https://www.worldsteel.org/about-steel.html> [Consultado el 11 de Septiembre de 2021]

Xataka, 21 de Agosto de 2019 (a), *Grin regresa a CDMX después de que se fuera porque se robaban sus scooters y los vendían en Facebook* [Imagen] Disponible en: <https://www.xataka.com.mx/vehiculos/grin-regresa-a-cdmx-despues-que-se-fuera-porque-se-robaban-sus-scooters-vendian-facebook> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

Xataka, 21 de Marzo de 2019 (b), *Movo: el servicio de scooters eléctricos compartido de Cabify ya está en México, esto es lo que sabemos* [Imagen] Disponible en: <https://www.xataka.com.mx/vehiculos/movo-servicio-scooters-electricos-compartido-cabify-esta-mexico-esto-que-sabemos> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

7 Boom, 13 de Abril de 2018, *Conoce los horarios y lugares de mayor tráfico en CDMX* [Imagen] Disponible en: <https://7boom.mx/6pm-8pm/conoce-los-horarios-y-lugares-de-mayor-trafico-en-la-cdmx/> [Consultado el 15 de Abril de 2021]

ANEXOS

Lista de componentes (Bill of Materials)

Última actualización: 05/Abril/2021
1USD = 20.35 MXN

PIEZAS COMERCIALES							
ITEM	Cant.	Producto	Descripción	Costo unitario	Costo total	Indicaciones compra	Link
1	1	Kit actual	Incluye motor 48V 500W, 1 cubo de rueda, 2 neumáticos, 1 controlador, 1 acelerador, 1 par de palanca de freno, 2 discos para freno, 2 chicotes para freno con calipers	159.62 USD + 105.33 USD (envío)	5391.7325	Aliexpress (DHL entrega 9-19 días)	https://es.aliexpress.com/item/32948196212.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.3e9d2e0eV8R4uP
2	1	Batería	48V masa= 2.7 kg. Carga 10Ah. 6 meses de garantía incluye cargador	12120 MXN	12120	Electropedaleo (CDMX)	https://www.electropedaleo.com.mx/baterias/
3	1	Luz para bicicleta*	Luz delantera blanca 5V recargable	339 MXN	339	Amazon	https://www.amazon.com.mx/Bicicleta-Recargable-Impermeable-Conjuntos-Delanteros/dp/B08NP2FXT1/ref=sr_1_5?
4	1	HOPEMOB	Tira de luz led 12-15V	189 MXN	189	Amazon	https://www.amazon.com.mx/gp/product/B082FNJGQ3/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s00?ie=UTF8&psc=1
5	1	Defender	Defender Seguridad U9941 ka 5/8-inch Cam Lock, llave maestra, 3 Cam, acero cara, pack de 1	214.32 MXN + 79.08 MXN (envío)	293.4	Amazon	https://www.amazon.com.mx/gp/product/B002FYERHG/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s00?ie=UTF8&psc=1
6	1	Caballote	Caballote	348 MXN	348	Mercado libre	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-549477549-parador-central-italika-ds125-ds150-gs150-xs150-vento-_JM
7	2	Tornillo y buje	Tornillo y buje p/parador central	25 MXN	50	Mercado libre	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-735782217-tornillo-y-buje-parador-centralcs125-ds125-ds150-ws150-_JM?quantity=2#Calcular%20cu%C3%A1ndo%20llega
8	1	Resorte	Resorte parador centra	25 MXN	25	Mercado Libre	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-735782299-resorte-parador-central-cs125-ds125-ds150-ws150-_JM
9	2	Reposapies	Juego de posapies con resorte	174 MXN	174	MercadoLibre	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-712272407-juego-posapies-delantero-italika-dm-150-pop-021-_JM
10	2	Tazas	Tazas 2x32 pesos	16 MXN	32	BICITODO, San Pablo 24, Cuauhtémoc	
11	1	Horquilla	Tijera 16 BMX Cromada 22.2	329 MXN	329	BICITODO, San Pablo 24, Cuauhtémoc	
12	1	Amcrest 4G	GPS rastreador con alertas en mensaje de texto y mail. 14 días de batería	848.18 MXN + 400 MXN (envío)	1248.18	Amazon	https://www.amazon.com.mx/gp/product/B07P87SZMJ/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o03_s00?ie=UTF8&psc=1
13	1	Electrónica CDMX	Convertidor Step Down 48V a 12 V (Mayoría cambia precio)	251 MXN	251	CDMX Electrónica	https://www.cdmxelectronica.com/producto/convertidor-step-down-48v-a-12v-60w/

12	5	Cable cal 14 (duplex)	Metro de cable calibre 14	27 MXN	135	Steren	https://www.steren.com.mx/cable-duplex-500-m-14-awg-bicolor-vta.html
13	14	Xt60	Paquete de 5 macho y 5 hembras	299 MXN, c/par 59.8	418.6	MercadoLibre	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-592453382-xt60-conectores-5-macho-5-hembra-5-juegos-conector-dron-full-JM?quantity=1
14	1	Keenso distr.	Ensamblaje de interruptor de encendido Yamaha YFM 350 Bruin 600R 700R Raptor 350	639 MXN	639	Amazon	https://www.amazon.com.mx/gp/product/B07V8TGF14/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o07_s00?ie=UTF8&psc=1
				TOTAL=	\$21,982.91		

MATERIAL PARA MANUFACTURA

ITEM	Cant.	Opciones	Descripción	Costo unitario	Costo total	Indicaciones compra	Link
1	4	Tubular cuadrado	Acero 1/2 " Perfil de 6 metros	143.83 MXN + IVA	667.36	Perfiles Pacífico	
2	1	Tubular circular	Calibre 18, 19mm Perfil 6 m, Acero al carbón, lámina negra	168.03 MXN + IVA	194.91	Perfiles Pacífico	
2	1	Barra circular	1/2 in Perfil de 6 m Acero al carbón	140.62 MXN + IVA	163.12	Perfiles Pacífico	
3	1	Lámina de acero	Calibre 18, lámina de acero al carbón (3X8)	987.78 MXN + IVA	1145.82	Perfiles Pacífico	
4	2	Lámina de acero	Calibre 22, lámina de acero al carbón (3X10)	785.73 MXN + IVA	1822.9	Perfiles Pacífico	
5	1	Tubo circular	Calibre 18, (1 1/4 in) 31.7 mmx6metros	259.36 MXN + IVA	300.86	Perfiles Pacífico	
6	1	Tubo circular	7/8 in, calibre 18	177.36 MXN + IVA	205.74	Perfiles Pacífico	
7	1	MDF	MDF 6mm 60x80 cm	85 MXN	85	Pumanet Copilco	
8	1	Foami para interior de carcasa	Foami negro	37.5 MXN	37.5	Lumen	
				TOTAL=	\$4,623.21		

COSTO DE MANUFACTURA

ITEM		Opciones	Descripción	Costo unitario	Costo total	Indicaciones compra	Link
1	1	Copilco	Asiento con la forma	500 MXN + IVA	580	Pumanet Copilco	
10	1	Corte láser	Corte láser 5 pesos/min (12 min)	60 MXN	60	Pumanet Copilco	
14	1	Corte láser	Corte láser 5 pesos/min (14 min)	70 MXN	70	Pumanet Copilco	
				TOTAL=	\$710.00		
				TOTAL FINAL=	\$27,316.12		

MATERIAL PARA MANUFACTURA DE SOLO UN VUM							
ITEM		Opciones	Descripción	Costo unitario	Costo total	"Costo de una unidad	
1	3	Tubular cuadrado	Acero 1/2 " Perfil de 6 metros	143.83 MXN + IVA	500.52	364.2395	Perfiles Pacífico
2	1	Barra circular	1/2 in Perfil de 6 m Acero al carbón	140.62 MXN + IVA	163.12	4.8936	Perfiles Pacífico
3	1	Lámina de acero	Calibre 18, lámina de acero al carbón (3X8) CABEN 6	987.78 MXN + IVA	1145.82	190.97	Perfiles Pacífico
4	1	Lámina de acero	Calibre 22, lámina de acero al carbón (3X10)	785.73 MXN + IVA	911.45	820.305	Perfiles Pacífico
5	1	Tubo circular	Calibre 18, (1 1/4 in) 31.7 mmx6metros	259.36 MXN + IVA	300.86	12.78655	Perfiles Pacífico
6	1	Tubo circular	7/8 in, calibre 18	177.36 MXN + IVA	205.74	48.65751	Perfiles Pacífico
7	1	MDF	MDF 6mm 60x80 cm	85 MXN	85	85	Pumanet Copilco
8	1	Foami para interior de carcasa	Foami negro	37.5 MXN	37.5	37.5	Lumen
				TOTAL=	\$3,350.01	\$1,564.35	
					TOTAL FINAL	\$24,257.26	

II. Cédula - Ejemplificación (Comentarios de usuarios)

HOJA DE PRUEBAS

Fecha/Hora de la prueba: **11/Marzo**
/2021 8:10 am

PRUEBA DE OBSTÁCULOS

Pendientes (rampas) **Sí**
Reductores de velocidad
Banquetas rotas **Sí**
Gente caminando **Sí**
Cruces peatonales y viales
Piedras, empedrado. (Calles con modificaciones en el material, parque) **Sí**
Encharcamientos.
Zonas sin ciclovía **Sí**
Coches. **Sí**
Otro: **Personas en bicicletas, corriendo, motos, personas en sillas de ruedas, personas con negocios sobre las vialidades. Además de coladeras y obstáculos como botes para apartar lugares.**

PRUEBA DE AUTONOMÍA

Recorrido (km): **10.5 km**
Tiempo de batería: **1h 39 min**
Batería: **Cargada al 100%**
Carga adicional en paquetes: **Ninguna carga adicional**

COMENTARIOS ADICIONALES

La estética del vehículo, al ser diferente a los otros modos de transporte disponibles, causó que algunas personas se acercaran a hacer preguntas.

Un usuario de mediana edad preguntó qué era y cual era el propósito del vehículo. Indicó que pensó que era propaganda y que se le hacía curiosa la propuesta.

Un usuario de la tercera edad indicó que donde se había adquirido el vehículo y el costo, pues le pareció que se veía cómodo y fácil de usar al ir sentado. Que el presenta problemas de la rodilla y le gustaría contar con uno para desplazarse a lugares cercanos a su hogar.

Dos policías de seguridad pública se acercaron para saber qué era y como funcionaba. Preguntó dónde se compraban e indicó que le tiene una moto, pero que le gustó la forma del vehículo para usarlo con su familia o sus hijos, ya que la moto solo puede manejarla él por las dimensiones, el peso total del vehículo y la posición del conductor, ya que los manubrios están muy adelante y va recostado sobre el pecho para poder manejarla.

Una persona de un negocio de carne preguntó si era posible guardar cosas, ya que el durante la pandemia ha promovido su negocio para entregar a domicilio pero que en la moto no llegan a caber grandes porciones de carne, que su ayudante no sabe manejar moto ni tiene licencia. La solución que el implementó fue entregar a pie pero pierde mucho tiempo y ha dejado su negocio solo en lo que regresa.

Laboratorio de Innovación en Diseño 2020.2 126

PRUEBA DE USO (Observaciones)

Comodidad:

Del asiento

Al subir y bajar, ya que las piernas se abren mucho. Durante un tiempo no causa incomodidad, pero después de cierto tiempo si es incómodo al manejarlo.

Altura del manubrio

Bien, es como la bicij

Altura de los reposapiés

Bien pero son algo pequeños para mi pie

Subir / Bajar del vehículo

Es incómoda

Apertura de paquetes

-

Apertura de mantenimiento

-

Facilidad de maniobra:

Girar derecha/ izquierda

Al inicio pensé que tendría problemas porque senti que no giraba lo suficiente, sin embargo, después de que conocí como funcionaba ya era muy fácil girar o incluso girar y pasar sobre obstáculos y pendientes.

Avanzar

Avanza bien, no tengo más comentarios.

Frenar

Frena bien, en las bajabas tardaba en agarrar o cuando iba rápido.

Ingreso / Recolección de batería

-

Comentarios adicionales:

No tiene reversa, estaría padre ponerlo. Es cómodo pero podría ser aún más. No tiene suspensión y cuando pasas los baches o los obstaculos se llega a sentir que pierdes el control. Al inicio tuve precaución al manejarlo porque no es mío, pero después agarre confianza y fue más sencillo todo.

PRUEBA DE MONTAJE

Cantidad de usuarios que suben y bajan el vehículo de una camioneta / vehículo.

2 usuarios para bajarlo de un coche particular.

Tiempo de subida/bajada: **35 segundos**

PRUEBA DE LLENADO DE PAQUETES

Cantidad de sobres:-

Cantidad de cajas:-

¿Hubo algún paquete que no cupiera?

Dimensiones de dicho paquete: _____

Empresa que envía el paquete:

Amazon / Mercado Libre / Otro

PRUEBA DE RECORRIDO EN CICLOVÍA PARA ENTREGAR PAQUETES

¿Problema con policías / vigilancia? **No, ninguno.**

Obstáculos identificados **Baches y coladeras**

¿Accedió a la unidad habitacional / zona corporativa? -

Lugar de estacionamiento del vehículo: **Sí / No / No aplica Fue sencillo encontrar espacio entre coches, sobre la vialidad**

Seguridad del vehículo al estar estacionado: -

Velocidad promedio de uso **FALTA, LOS DATOS DEL GPS SE SIGUEN CARGANDO**

Laboratorio de Innovación en Diseño 2020.2 127

SECUENCIA DE USO

Sobre el uso

El usuario:

- Al colocar el parador / caballete.

Al inicio cuesta trabajo saber como funciona, pero en la tercera ocasión que lo coloque ya fue muy fácil ponerlo y quitarlo.

Al subir/bajar el VUMi3 de la camioneta:

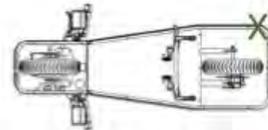
- Superficies funcionales (apoyos) al subir / bajar el vehículo

PERSONA 1: CARLOS



Lo sostienen de los espacios que están entre la llanta y la estructura

PERSONA 2: RODRIGO



Lo sostienen de los espacios que están entre la llanta y la estructura