



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño de un Vehículo  
Personal para Entregas de  
Última Milla**

**TESIS**

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

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

Fernando Martínez Agustín

Jonathan Josué Morales Vázquez

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Vicente Borja Ramírez



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# **AGRADECIMIENTOS**

## **Fernando Martínez Agustín.**

A mis padres, Hortencia y Luis por su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido cumplir un sueño más, por estar a conmigo en todo momento; a mi padre por ser sinónimo de esfuerzo y valentía, a superar los obstáculos que la vida nos pone enfrente; mi madre por todo su apoyo, amor y cariño. Muchas gracias, Los amo. A mis hermanos, Miriam y Jorge, gracias por apoyarme, motivarme y aconsejarme, los quiero mucho y quiero compartirles este sueño cumplido. Los quiero mucho. A mi tía Fresbinda, gracias por su apoyo en todo momento, sus concejos son lo más valioso. A toda mi familia, padres, hermanos, tíos, primos, abuelitos, sobrinos, quiero agradecerles infinitamente por estar a mi lado, apoyarme e impulsarme a seguir adelante. Lo quiero a todos.

A los doctores, el Dr. Vicente, el Dr. Alejandro y al Arq. Arturo, por permitirme ser parte de este proyecto, por sus concejos, su paciencia, su tiempo y motivación para realizar este trabajo de investigación.

A mi compañero de tesis y gran amigo, Jonathan, por tu amistad, te agradezco todo tu apoyo, gracias a ti he conocido el verdadero sentido del compartir, dar y recibir sin compromisos y alegría.

A mis compañeros y amigos del proyecto: Jesús, Carlos, Isandra, Esther, Sergio, Gustavo y Luis. Por compartirme sus experiencias, enseñanzas, por su amistad, por los momentos de desvelo, alegría, estrés y a como trabajar en equipo. Gracias equipo VUM.

A todos mis amigos que se cruzaron en mi camino, gracias por su amistad, por compartir experiencias, momentos de felicidad y por hacer más ameno este camino.

A la UNAM, a la Facultad de Ingeniería y a todos mis profesores quienes con sus enseñanzas de sus conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

A la empresa colaboradora Re!-corre, por su confianza y disposición para realizar para llevar a cabo este proyecto.

## **Jonathan Josué Morales Vázquez**

Agradezco a mis papás, Adrian Morales y Nohemi Vázquez, por su gran esfuerzo y apoyo incondicional para que yo pudiera estar aquí, por ser un gran ejemplo a seguir, por la atención y el amor que me han proporcionado a lo largo de toda mi vida, por enseñarme que la vida no es tan sencilla como parece, pero que aun así dan todo lo mejor para que yo pudiera salir adelante. Y que en la vida nunca es tarde para hacer las cosas.

Gracias por todo papás, me llenan de orgullo y sin ustedes no sería la persona quien hoy soy.

A mi hermana y prima, Ilse Morales y Fanny Cervantes, por apoyarme en las decisiones que he tomado, por los buenos momentos que hemos pasado y que también son un gran ejemplo a seguir.

A mi abuelita, Beatriz López, por su amor incondicional, sus apapachos y sus experiencias narradas.

A los doctores, el Dr. Vicente Borja y el Dr. Alejandro Reivich, junto con el arquitecto, Arturo Treviño, por darme la oportunidad de estar en este gran proyecto, por su tiempo, consejos y grandes enseñanzas.

A mi compañero de tesis y amigo de la vida, Fernando Martínez, por todo el apoyo ante situaciones difíciles, por tu perseverancia y consistencia en este trabajo de tesis, ya que sin su apoyo el trabajo no sería terminado.

A mis compañeros y amigos del proyecto VUM: Jesús, Carlos, Isandra, Esther, Sergio, Gustavo y Luis. Por esos buenos momentos, desvelos y estrés que se generó en el proceso de todo el proyecto.

A la UNAM y por supuesto a la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de estudiar y seguirme preparando para ser un mejor profesionalista día con día.

A la empresa Re!-Corre por realizar investigación junto con la UNAM y de igual manera la confianza en tomar decisiones en el proyecto.

## **RECONOCIMIENTOS**

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.

## RESUMEN

En este documento se presenta el proceso de diseño de un vehículo personal para entregas de última milla eléctrico, denominado Vehículo de Última Milla - Innovador (VUMi), orientado a la entrega de paquetería en ciudades que se ven afectadas por el tráfico vehicular, ya que puede transitar por zonas de difícil acceso como calles angostas, manifestaciones y zonas residenciales en donde existe limitación para el tránsito de camionetas o coches.

VUMi surgió como una propuesta de modo de transporte eléctrico que redujo las emisiones de gases contaminantes hacia el medio ambiente. Al mismo tiempo contribuyó al desarrollo de una logística sostenible, eficiente y verde. De esta forma, con VUMi las empresas de paquetería pueden entregar más paquetes en menos tiempo.

La investigación que se realizó tuvo como fundamento el construir un producto con base en la Metodología Centrada en el Usuario; en donde en una primera iteración se identificó a los repartidores de paquetes como usuarios potenciales y posteriormente permitió establecer los enunciados de requerimientos sobre los cuales se desarrollaron ideas y prototipos funcionales los cuales se nombraron VUMi, VUMi2 y VUMi3.

VUMi permitió identificar los componentes de un vehículo eléctrico y su funcionamiento. Posteriormente, VUMi2 buscó que el usuario repartidor convirtiera el vehículo en maleta para ingresar a los corporativos con él, sin la necesidad de tener que estacionarlo en las calles. Finalmente, la propuesta de diseño para VUMi3 planteó un vehículo de última milla cuyo peso es menor al de una motocicleta, el cual no requiere del uso de combustible como gasolina o Diesel, puede circular por ciclovía, ya que su velocidad máxima es de 25 kilómetros por hora y como consecuencia no requiere de trámites vehiculares adicionales como pagos por placas o verificación.

# ÍNDICE

Agradecimientos	II
Reconocimientos	IV
Resumen	V
Índice	VI
CAPÍTULO I – Introducción	8
CAPÍTULO II – Antecedentes	12
2.1 Movilidad urbana en México	13
2.2 Comercio en línea	15
2.3 ¿Qué es última milla?	18
2.4 ¿Qué es un VUM?	20
2.5 Proyectos previos	21
2.6 Prototipo VUM	24
2.7 Prototipo VUMi2	26
CAPÍTULO III - Definición del proyecto	34
3.1 Participantes	34
3.2 Reto	37
3.3 Metodología	38
3.4 Objetivo	40
3.5 Alcances	40
CAPÍTULO IV - VUMi2	42
4.1 Conocer	42
4.2 Análisis MEF	43
4.3 Pruebas	50
4.4 Posibles mejoras	52

CAPÍTULO V - Definición de requerimientos para el VUMi3	56
5.1 Reto nuevo	56
5.2 Necesidades y requerimientos	56
5.3 Lluvia de ideas	64
5.4 Selección de un concepto	65
CAPÍTULO VI - Diseño del VUMi3	68
6.1 Evaluación y selección del concepto de diseño	68
6.2 Propuesta final	70
6.3 Diseño de prototipo	72
6.4 Modelo sólido del ensamble estructural	86
CAPÍTULO VII - Análisis y evaluación del VUMi3	89
7.1 Análisis estático	97
7.2 Análisis dinámico	106
CAPÍTULO VIII - Fabricación y pruebas del VUMi3	109
8.1 Procesos de fabricación del prototipo	109
8.2 Pruebas de funcionamiento	114
8.3 Especificaciones finales	118
CAPÍTULO IX - Conclusiones y trabajo a futuro	124
Referencias	127
Anexos	134



# CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

Hoy en día las ciudades son cada vez más grandes y el sector empresarial ha enfrentado varios retos al buscar alternativas para el transporte de bienes. Además, el comercio en línea ha tomado relevancia en los últimos años como resultado del uso de internet y las mejoras en la logística para entrega de paquetes. El comercio electrónico ha recurrido a los servicios de entrega de paquetes dentro de la última milla, pero se ha enfrentado a escenarios en las ciudades en donde existe tráfico constante, manifestaciones, falta de lugares para estacionar los vehículos y todos estos factores tienen como resultado que los tiempos de traslado y entrega de mercancía sean mayores.

Actualmente, el modo de transporte más utilizado para la entrega de paquetes son camionetas, van, miniván, motocicletas y *scooters* en algunas ocasiones. Sin embargo, las camionetas, van y miniván, la única ventaja que ofrecen es su capacidad de carga. Mientras que como desventajas se considera que estas camionetas difícilmente circulan por calles estrechas, que existe poca disponibilidad de estacionamiento y como resultado se detienen en doble fila con el riesgo de ser infraccionados. Por otro lado, en cuanto a las motocicletas y *scooters*, la gran ventaja es la rapidez con la cual se transportan paquetes al evadir situaciones de tráfico o manifestación, así como la amplia disponibilidad de estacionamiento que pueden encontrar debido a su volumen y tamaño. Sin embargo, como desventaja resalta su menor nivel de carga en comparación con otros modos de transporte como las camionetas o van.

Por último, la seguridad de los paquetes es un factor de vital importancia pues en muchas ocasiones se transportan artículos valiosos que los usuarios adquieren en línea. Por lo cual es importante no perderlos de vista en ningún momento y cuidar su integridad durante todo el transporte hasta la entrega final con el usuario.

Por lo anterior, se espera que cualquier sistema de transporte que contenga los paquetes sea seguro y no comprometa el contenido del mismo en ningún momento.

El proyecto VUMi (Vehículo de Última Milla – innovación) tuvo como objetivo reducir los problemas antes mencionados. VUMi fue el primer prototipo de un vehículo impulsado con un motor eléctrico, con un volumen de carga similar a una motocicleta, con las dimensiones adecuadas para la carga de paquetes con embalaje en forma de cajas y sobres; el cual contó con monitoreo GPS, que transitó por ciclovías para así reducir los tiempos de entrega.

VUMi resultó como primera propuesta de diseño en donde se identificaron los diversos componentes eléctricos y electrónicos que integran un vehículo de última milla. Los resultados de este primer concepto funcionaron como base para explicar en este documento de tesis, los avances subsecuentes que se realizaron en el proyecto. Por lo anterior, el proceso de diseño se presenta en 9 capítulos:

En el capítulo II se presentan los antecedentes de la movilidad en diferentes países, entre ellos México. En dicho capítulo se exponen los principales datos estadísticos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) y de la AMVO (Asociación Mexicana de Venta Online). Además, se explica el comportamiento del comercio en línea en la actualidad y los productos que los usuarios solicitan en mayor medida a través de distintos servicios por internet. Por otro lado, se explica el significado de los vehículos de última milla y los retos a los cuales se enfrentan. Por último, en este capítulo se presenta el trabajo previo realizado por el equipo de diseño, el cual incorpora los hallazgos identificados en la propuesta de VUMi, los cuales fueron la base sobre la cual se continuó con el proceso de diseño.

En el capítulo III se explica el objetivo del proyecto y los retos de diseño. Posteriormente, se presentan los integrantes del equipo de trabajo, los alcances

que se establecieron como meta del proyecto y finalmente la metodología de diseño que se implementó.

En el capítulo IV se explica a profundidad el desarrollo de la propuesta VUMi2, la cual buscó que el usuario repartidor convirtiera el vehículo en maleta para poder ingresar con él a los corporativos y zonas en donde un vehículo motorizado no tiene acceso. Además, se presentan los resultados del análisis de elemento finito que se realizó a la estructura del modelo con el propósito de verificar la viabilidad de la solución planteada. Finalmente, en este capítulo se explican los hallazgos y el trabajo a futuro para la siguiente iteración.

En el capítulo V se presenta la investigación preliminar que se realizó para definir una nueva experiencia en donde el vehículo se estaciona fuera de corporativos y edificios residenciales, pero que permite acercar al repartidor lo más posible al destino final en donde se entrega un paquete. De esta forma, se presenta una tabla con las necesidades y los requerimientos que sirvieron como guía en el proceso de diseño conceptual y hacia la etapa de propuesta final.

En el capítulo VI se presenta una descripción de la propuesta de diseño para VUMi3, la normatividad vigente para la Ciudad de México y la forma en que el vehículo transita por zonas de ciclovía para realizar más entregas en menos tiempo.

Posteriormente, en el capítulo VII se presentan los análisis y las simulaciones de elemento finito que se realizaron a la estructura del VUMi3 con el objetivo de estudiar el comportamiento del prototipo con base en los materiales seleccionados.

En el capítulo VIII se explica el proceso que se llevó a cabo para la documentación del proyecto, la elaboración de planos para la manufactura de un prototipo funcional y el diseño de detalle para VUMi3. Una vez concluida esta etapa, se realizaron

pruebas con usuarios para identificar aquellos puntos positivos y áreas de mejora para el vehículo.

Finalmente, el capítulo IX presenta las conclusiones del proyecto, las conclusiones y aquellos puntos que se consideraran para el trabajo a futuro.

## **CAPÍTULO II – ANTECEDENTES.**

La movilidad urbana se define como un “factor determinante tanto para la productividad económica de la ciudad, como para la calidad de vida de sus ciudadanos y el acceso a servicios básicos de salud y educación” [1]. En el mundo, las grandes ciudades cada día están expuestas a un mayor desarrollo y aquellas personas que viven en la periferia buscan oportunidades de trabajo en las zonas céntricas, provocando aglomeraciones y una alta probabilidad de tráfico vehicular. Además de estos factores y como consecuencia, existe una mayor inversión de tiempo por parte de los usuarios al realizar viajes hacia centros de trabajo, escuelas y lugares de esparcimiento. Para ejemplificar que este fenómeno se genera a nivel mundial, se identificó que el tiempo promedio de un viaje diario en un solo sentido en Río de Janeiro es de 90 minutos; mientras que en Bogotá es de 60 minutos. Por otro lado, la velocidad vehicular promedio en Manila es de siete millas por hora y finalmente, se considera que, en Bangkok, un auto pasa en promedio 44 días al año detenido en el tráfico.

El aumento en el parque vehicular se debe a diversos factores; por ejemplo, el aumento en la densidad de población, el incremento de la riqueza, la mayor penetración comercial y a la imagen crecientemente atractiva en el mundo en desarrollo hacia un estilo de vida que tiene al automóvil como un elemento esencial. Por consiguiente, en gran parte de esa realidad, el número de vehículos motorizados aumenta en más de 10% cada año, provocando como consecuencia que el número de vehículos se duplique en los próximos 7 años. Esta tendencia se observa en países como China, Chile, México, Corea, Tailandia, Costa Rica, Siria, Taiwán, entre otros [2].

## 2.1 MOVILIDAD URBANA EN MÉXICO.

En 2019 México contó con un total de 50,594,282 vehículos registrados en circulación. En la figura 2.1 se observa la tendencia de crecimiento anual, considerando automóviles, camiones, camionetas de pasajeros, camiones de carga y motocicletas. Del total, 34,649,011 hacían referencia a la cantidad de automóviles en circulación durante 2019, mientras que 455,420 eran camiones de pasajeros, 10,494,923 camiones de carga y 4,994,928 vehículos “oficiales”; los cuales son elementos que integraban la flota de instituciones públicas, ya sean federales, estatales o municipales. Aunque parece que la infraestructura disponible permite la circulación de todos estos vehículos, la realidad es que las situaciones de tráfico y la mala planeación de calles y avenidas son un obstáculo para la movilidad en nuestro país. [3]

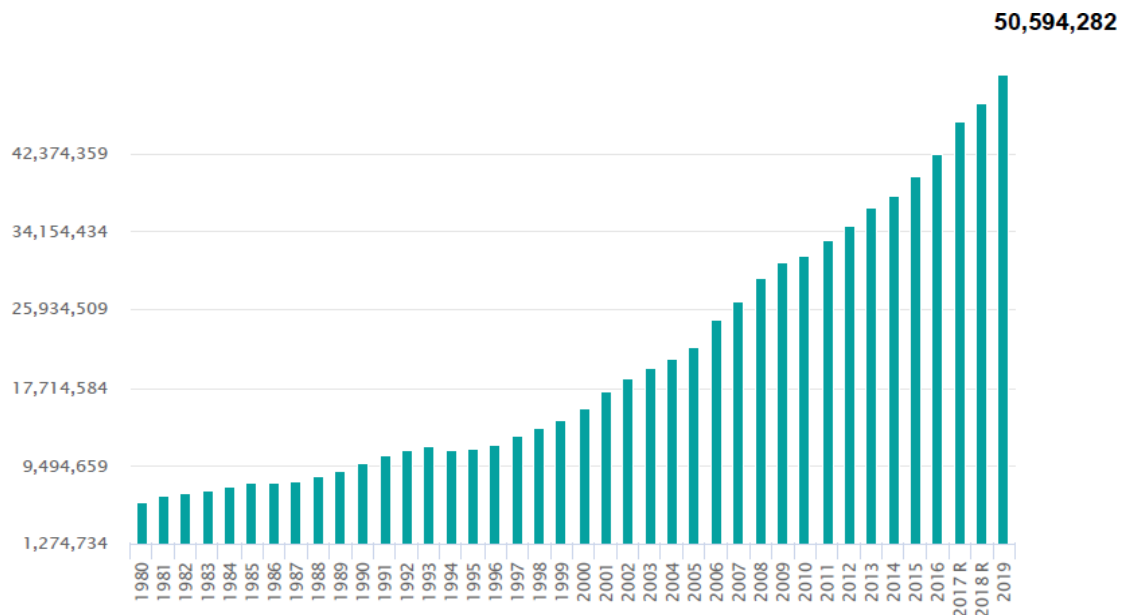


Figura 2.1 – Total nacional de vehículos en México [3].

Contrario a las mejores prácticas, en México y en el mundo se ha privilegiado el uso del automóvil particular. Como resultado de esta política y de acuerdo con estimaciones del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), entre 1990 y 2015, el parque vehicular a nivel nacional aumentó con base en la tasa promedio

anual del 5.3%, mientras que la población lo hizo a un ritmo del 1.5%. Así mismo, las políticas que promueven el uso de vehículos motorizados han generado un crecimiento desordenado de las ciudades; el uso ineficiente de recursos públicos para la construcción de infraestructura dedicada a la movilidad en coche; problemas de congestión y pérdidas sociales relacionadas con el tiempo y a la calidad de vida de las personas, todo lo anterior como resultado de los prolongados periodos de desplazamiento que la población mexicana enfrenta en su día a día [4].

Otro ejemplo que describe el problema de movilidad que existe actualmente es el alarmante incremento del uso del automóvil en México, pues durante las dos últimas décadas la cantidad de vehículos registrados se triplicó de 6.5 millones en 1990 a 20.8 en 2010. Además, se presentó un comportamiento similar al analizar la cantidad de kilómetros-vehículo recorridos (KVR), pues se triplicó de 106 millones de kilómetros a 339 millones en 2010 [5]. Por otro lado, con relación a la situación del Valle de México y la Zona Metropolitana del país, en la figura 2.2 se observa la velocidad promedio. en donde se puede observar cómo en 27 años existió una disminución en la velocidad de 38.5 km/h a 6.42 km/h.



Figura 2.2 – Disminución en la velocidad durante las horas pico en los últimos 30 años [5].

De acuerdo al IMCO, los mexicanos que viven en ciudades invierten mucho tiempo en traslados para realizar sus actividades, pues en promedio, el tiempo que tarda un ciudadano en transportarse al año es equivalente a 11 días (aproximadamente 264 horas a lo largo de un año) para aquellos que utilizan un vehículo particular. Por otro lado, para las personas que utilizan transporte público es de 18 días en promedio (432 horas aproximadamente) a lo largo de un año. Al ser la Ciudad de México (CDMX) una de las ciudades más congestionadas del país, el tiempo invertido al transportarse es mayor, siendo equivalente a 16 días en vehículo particular (384 horas aproximadamente al año) y 20 días en transporte público (480 horas aproximadamente al año). Lo anterior como resultado de la cantidad de vehículos particulares que existen dentro de la capital, lo cual a su vez provocó una reducción de 6 veces la velocidad promedio en el Valle de México durante los últimos 30 años (Figura 2.2) [6].

Finalmente, se puede concluir que el transporte de personas y mercancías en las ciudades es una tarea compleja, con retos que van aumentando conforme se incrementa la población. Como consecuencia, existe una mayor demanda de bienes y servicios que se adquieren y comercializan de diferentes formas, siendo una de ellas el comercio en línea que permite a los usuarios adquirir productos que se entregan directamente en su domicilio o lugar de trabajo. A continuación, se presenta la información recopilada con relación al comercio en línea, así como los retos que existen al desplazar estos bienes para ser entregados al cliente [7].

## **2.2 COMERCIO EN LÍNEA.**

El comercio electrónico, o también llamado *e-Commerce* o comercio en línea, ha tomado mayor relevancia frente al comercio tradicional, ya que esta modalidad es un intercambio de productos y servicios a través de medios electrónicos como lo son las páginas web y aplicaciones móviles, en donde una persona puede realizar



una compra desde cualquier parte del mundo y el producto es entregado hasta su domicilio o lugar de trabajo.

Citando a González [8]: “...*el comercio electrónico involucra distintas disciplinas del conocimiento científico y tecnológico como la economía, las comunicaciones, los negocios, los servicios, la educación, la informática, las políticas públicas, entre otros...*”. Lo anterior se ve reflejado en el impacto que ha tenido el comercio en línea con relación a otros aspectos, pues influye en las formas de pago que los clientes pueden utilizar, la oferta de productos que se tienen disponibles para el usuario, la variedad de páginas web que ofrecen estos productos y la forma en que se transporta la mercancía para ser entregada al consumidor; ya sea vía aérea, marítima o terrestre. De esta forma, el transporte de mercancía dentro de las ciudades ha generado investigación sobre la logística en la entrega de paquetería, lo cual se conoce como entregas de última milla. Este concepto hace referencia al último tramo que se recorre para lograr la entrega de un paquete al consumidor o cliente final. Amram [9] menciona que “...*la última milla supone un solo toque -el último- con el cliente, pero es el más importante, ya que, si sus expectativas no fueron satisfechas, prontamente (el cliente) estará comprando sus productos y servicios a otras empresas que sí logren entregar ese valor*”.

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO), durante 2019 se realizó un estudio sobre el comprador *online*, en donde se identificó que dentro de las principales razones por las cuales los usuarios realizan compras en línea, el 62% de los clientes lo hace ya que reciben sus compras directamente en su domicilio, mientras que 61% de los encuestados indicó que obtiene como beneficio ahorrar tiempo [10]. Por lo cual, vehículos dedicados a la entrega de última milla tienen la tarea de reducir los tiempos de entrega para la satisfacción del comprador. (Ver Figura 2.3)

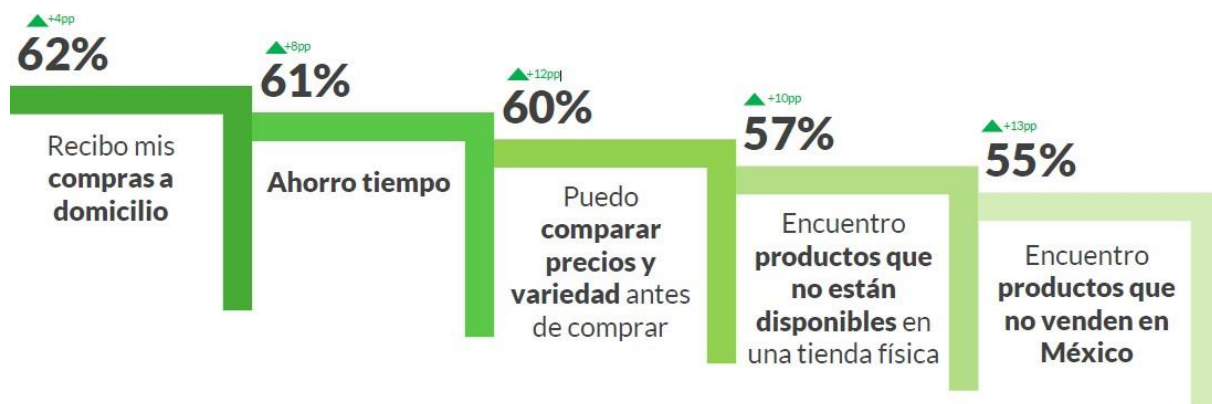


Figura 2.3 - Top 5 razones para comprar en línea [10].

Por otro lado, para que el consumidor se motive a comprar en línea, el 35% prefiere tiempos de entrega más cortos, 57% que la compra tenga garantía en caso de daño o defecto. Además, que se ofrezcan más métodos de pago. (Ver Figura 2.4)

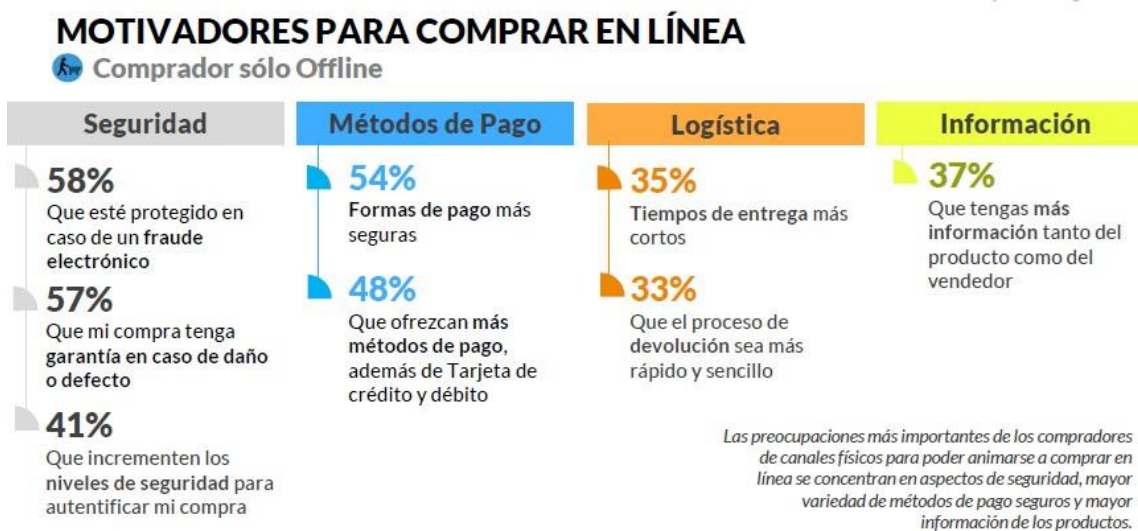


Figura 2.4 - Motivadores para comprar en línea.[10]

La compra de comida a domicilio (62%), electrónicos (56%) y artículos de moda (55%) son las categorías más solicitadas en internet.

## 2.3 ¿QUÉ ES LA ÚLTIMA MILLA?

La última milla hace referencia al último tramo que se recorre para llegar a tu destino, ya sea como movilidad personal o para entrega paquetes de las compras *online*. Debido a esto, se han buscado soluciones autónomas, eficientes y menos costosas. La última milla para movilidad personal se refiere a la distancia que debe recorrer una persona desde una estación de tren, metro, autobús, etc.; a su destino final. Esto debido a que el transporte público no recorre todas las zonas de la ciudad, sino puntos específicos, provocando una dependencia de coches, produciendo una congestión vehicular [11]. (ver figura 2.5)

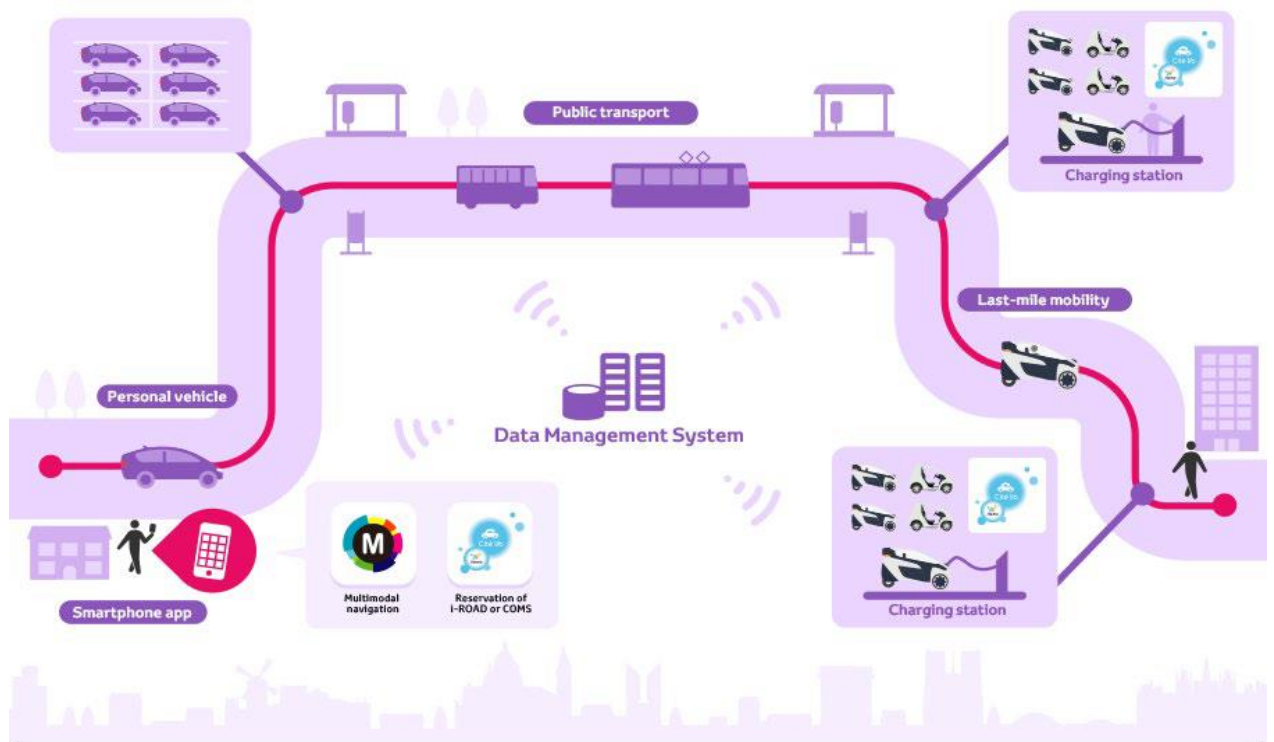


Figura 2.5 - Modelo de recorrido de la última milla [11].

La 'última milla' como reparto de paquetería, es el nombre que recibe el proceso final de entregar del pedido de una tienda *online* a su comprador. Este paso, que transcurre desde que el paquete sale del último punto de distribución (almacén, tienda, centro de distribución, etc.) hasta llegar al lugar de entrega, es el último de

toda la cadena de distribución y el más fundamental. Hoy en día las entregas se realizan en vehículos comerciales provocando congestión urbana, paradas y arranques, bloqueos de tráfico y generando más contaminación. [12]

Con el cambio de empresas a la compra/venta de productos por internet "... los clientes exigen más a sus proveedores de entrega, y un entorno altamente competitivo combinado con la alta sensibilidad de los clientes a los costos ha impulsado el desarrollo de tecnología que ayudará a la industria a cumplir con estas demandas. Combinadas, estas tendencias exigen la adopción inmediata de estas nuevas tecnologías por parte de los jugadores de última milla..." [13]

Con respecto, a las problemáticas que se presentan en la última milla se pueden enumerar las siguientes:

1. Se lleva a cabo en zonas urbanas, en donde la movilidad se ve entorpecida por el tráfico, calles estrechas, la disponibilidad de lugares para estacionarse, así como, situaciones imprevistas como manifestaciones, trabajos de construcción, accidentes vehiculare, etc.
2. A medida que las ciudades les dan importancia a los niveles de contaminación, sus estándares cada día son más estrictos, por lo cual se implementa el uso de vehículos eléctricos con el fin de reducirlos.
3. Aumentar el volumen de entrega de paquetes, debido a que muchas empresas se están inclinando por la última milla, entrega el mismo día y entregas instantáneas, son oportunidades para ser competitivo en las megaciudades.

## 2.4 ¿QUÉ ES UN VUM?

Es un vehículo para recorrer el último tramo de un largo camino en el proceso de entrega. Cuentan con una velocidad adecuada para la entrega oportuna de la paquetería, seguridad de los paquetes, fácil de operar, eléctrico y con capacidad de transportar paquetes pequeños y medianos.

La finalidad del Vehículo de Última Milla (VUM), es recorrer la última milla. Desde el punto de partida al punto de destino final. Como se mencionó anteriormente, los dos propósitos pueden ser de movilidad personal o para entrega de paquetes. Esta investigación está enfocada en el vehículo de última milla para entrega de paquetería.

Actualmente se están implementando drones, vehículos autónomos terrestres y mensajeros en bicicleta (Figura 2.6). Los primeros dos se caracterizan por un grado de automatización y se estima que entregaran cerca del 80% de los paquetes, el 20% será la entrega tradicional. [14]



Figura 2.6 – A) Drones de DHL utilizados en China, [15] B) Triciclo eléctrico para el transporte de cargas de Nacex [16].

## 2.5 PROYECTOS PREVIOS.

El Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnología (CDMIT) de la Facultad de ingeniería de la UNAM, junto con el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) de la Facultad de Arquitectura de la misma universidad, han trabajado en la investigación y desarrollo de proyectos, colaborando con empresas e instituciones afines. Con el objetivo de realizar la innovación que contribuya al desarrollo de la tecnología nacional. Ellos colaboran con la empresa Re!-Corre, que ofrece servicios de reparto de paquetería dedicada a la última milla.

La problemática principal en que se colabora es la forma de movilidad en las ciudades durante tráficos vehiculares densos y en zonas de difícil acceso.

A continuación, se presentarán los trabajos previos sobre vehículos de movilidad que han influido en el diseño del VUMi. También las aportaciones que se han generado por parte del equipo VUMi3:

- El cuadriciclo Qx4, proyecto colaborativo entre la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la *Technische Universität München* (TUM), es un vehículo personal híbrido (permite la tracción humana y asistencia eléctrica). [17] Este vehículo permite al usuario una nueva experiencia de manejo, con posibilidad del uso deportivo o solo uso convencional.



Figura 2.7 – Cuadriciclo Qx4.[17]

- Diseño de Vehículo Eléctrico Plegable, tesis desarrollada por Luis Bernardo García Esteban y Juan Diego Vivia Jiménez y dirigida por el Dr. Vicente Borja Ramírez. Reporta el diseño de un vehículo personal eléctrico plegable con la posibilidad de ser cargado, arrastrado, llevarlo en transporte público o guardarlo en un maletero de automóvil [18].

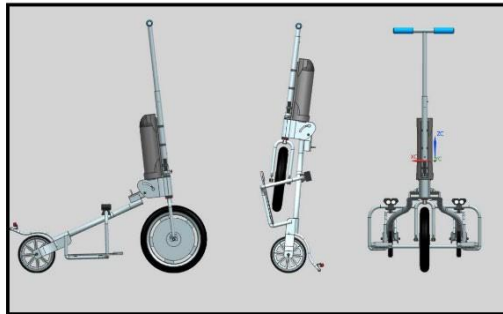


Figura 2.8 – Vehículo eléctrico plegable.[18]

- *Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema mecánico*, tesis desarrollada por **Isandra Danae Martínez Cortés**. Trabajo que reporta las actividades de diseño principales realizadas por el equipo involucrado desde el trabajo previo, la definición del problema o reto, la identificación del usuario y sus necesidades, hasta el planteamiento de experiencia, fabricación y pruebas de prototipos funcionales; mediante la metodología del diseño centrado en el usuario (DCU). [19]



Figura 2.9 - Isandra Danae Martínez Cortés

- *Vehículo Personal para entregas en la última milla y su sistema antirrobo*, tesis desarrollada por **María Esther López Torres**. Presenta el diseño del vehículo a través de un enfoque sostenible, multidisciplinario, siempre contemplando factores sociales, tecnológicos, normativos, tendencias de comercio, etc. Utilizando la metodología Diseño centrado en el usuario (DCU). Por último, plantea el diseño conceptual de un sistema antirrobo para el vehículo. [20]



*Figura 2.10 - María Esther López Torres*

- *Vehículo Personal para entregas en la última milla y su sistema de guiado automático*, tesis desarrollada por **Sergio Hernández Sánchez**. Relata cómo se definió el nicho en el que se aplicaría el vehículo alternativo, seguido de la descripción de los cuatro ciclos de la metodología DCU. Por último, muestra una propuesta conceptual de las modificaciones que necesitaría este vehículo para desempeñar la misma tarea guiado de forma automática. [21]



*Figura 2.11 - Sergio Hernández Sánchez*



## 2.6 PROTOTIPO VUM.

El proyecto VUM inicio con el objetivo de diseñar un vehículo de última milla (VUM) eléctrico, que haga más eficiente la entrega de paquetes en zonas de corporativos, reduciendo tiempo y costo de envió, a mediano y largo plazo. De esta manera, se conoce de forma general todos los elementos que lo integran. En la Figura 2.12 se muestran los sistemas que integran al prototipo VUM. [19]



Figura 2.12 Sistemas del prototipo VUM [19]

El chasis se construyó a partir de una configuración tipo *space-frame* o multitubular, con perfiles tubulares cuadrados de  $\frac{1}{2}$  [in], además se agregaron partes de una bicicleta como la dirección y tijera trasera. Esta configuración dependió de los procesos de manufactura disponibles en la facultad de ingeniería para su construcción. También se utilizaron componentes electrónicos comerciales.

Las dimensiones obtenidas para esta versión fueron de 27 x 67.5 x 44 [cm] esto resulta de un volumen de carga de 0.08 m<sup>3</sup>. La cantidad de paquetes que se pueden transportar son de 35, considerando las dimensiones de un paquete de 26.6 x 40.6 x 1.5 [cm].

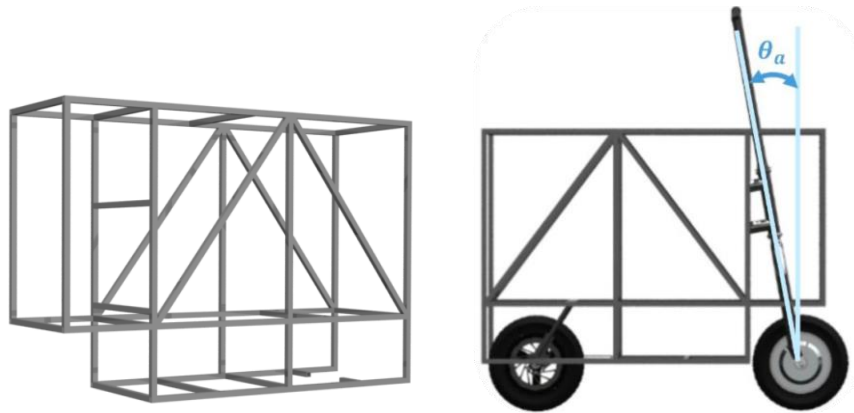


Figura 2.13 Estructura VUM (izquierda). Ángulo de lanzamiento para la dirección del VUM (derecha) [20]

La carga total fue de 150 [Kg] considerando la masa del operador, paquetes y el vehículo, además se consideró llantas neumáticas de 10 [in], sin elementos de amortiguamiento y con una velocidad máxima de 25 [Km/hr].

El ángulo de lanzamiento se definió de  $13^\circ$  y de acuerdo con el modelo utilizado se concluyó que la potencia requerida para mover el vehículo fue de 264 [W] [20]. Así mismo, para la alimentación del motor y algunos componentes más se utilizó una batería de 10 [Ah] a 48 [V].

En la Figura 2.14 se observa la disposición para los paquetes y componentes electrónicos.

El precio del vehículo se estableció en \$30,000 MXM, precio que la empresa colaboradora estaría dispuesta pagara por el vehículo.

Por último, se realizaron pruebas con usuarios de la facultad de ingeniería, obteniendo retroalimentación para prototipos posteriores.



*Figura 2.14 Prueba con usuarios con el prototipo VUM (izquierda). Distribución de los paquetes y componentes electrónicos (derecha).*

## **2.7 PROTOTIPO VUMI2.**

Para esta nueva versión el equipo identifico dos funciones de diseño del VUM: el primero opta por una propuesta en reducir el tiempo que pierde al buscar lugar de estacionamiento para el vehículo, por ello el diseño se buscó la reducción del tamaño del vehículo para ser transportado en modo maleta. Esto permite, la entrada con el VUM a corporativos.

Sin embargo, algunos corporativos tienen un reglamento de entrada a sus edificios por la puerta principal, dependiendo del tamaño de paquete y a la estética del contenedor, por ello la segunda la propuesta opta por estacionar el vehículo afuera de los corporativos y hacer entrega correspondiente.

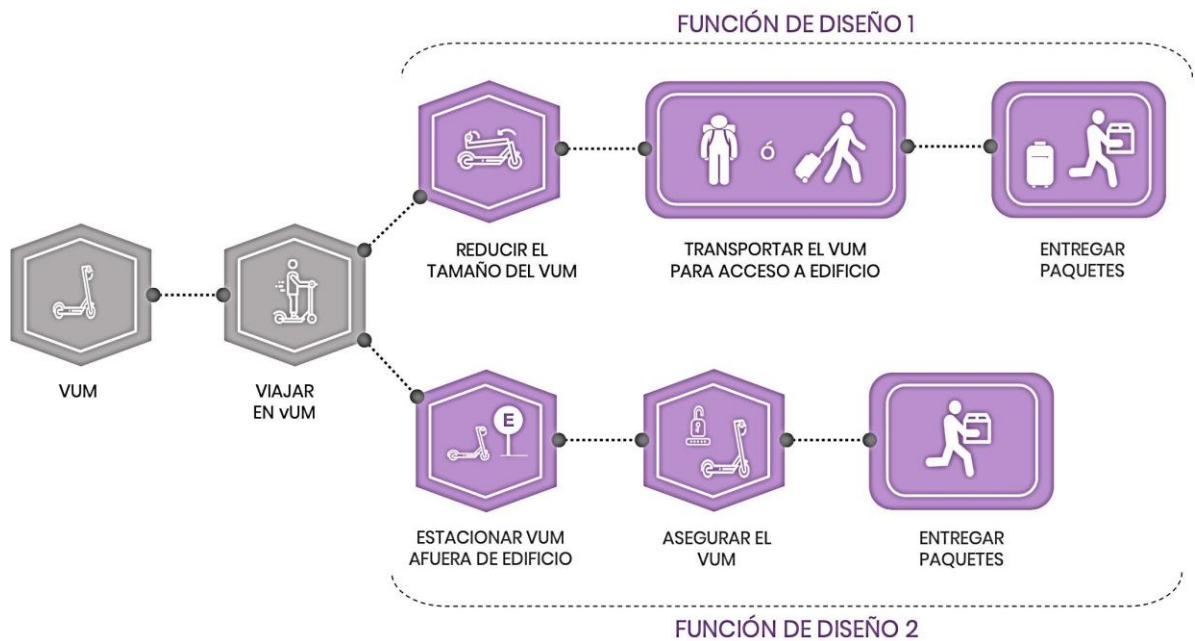


Figura 2.15 Funciones de diseño a partir de los hallazgos de las observaciones [19].

La manufactura del VUMi2 (Vehículo de Última Milla innovador 2) se realizó a partir de modificaciones estructurales al VUM para realizar la propuesta de función de diseño 1. Por lo que los componentes electrónicos, motor y batería se siguieron utilizando.

El vehículo se dividió en 6 sistemas para la organización de su diseño:

- A) Sistema estructural.
- B) Sistema de dirección.
- C) Sistema eléctrico.
- D) Sistema envolvente.
- E) Sistema de acceso.
- F) Sistema de soporte para el usuario.

## A) SISTEMA ESTRUCTURAL.

La estructura del VUMi2 está construida con PTR cuadrados de  $\frac{1}{2}$  [in], calibre 18, siendo la misma estructura del VUM, sin embargo, se cambiaron los espacios para los paquetes y para los componentes electrónicos. (Véase la Figura 2.16).

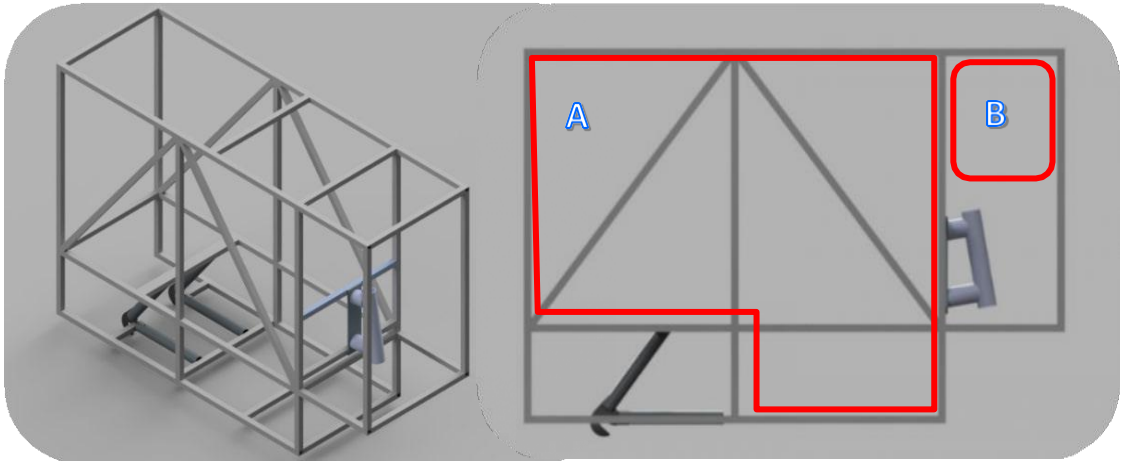


Figura 2.16 – Estructura de VUM y VUMi2 (imagen izquierda); Disposición de las zonas para paquetes A) y para componentes electrónicos B) (imagen derecha).

En la Figura 2.17, se muestran las dimensiones generales de la estructura.

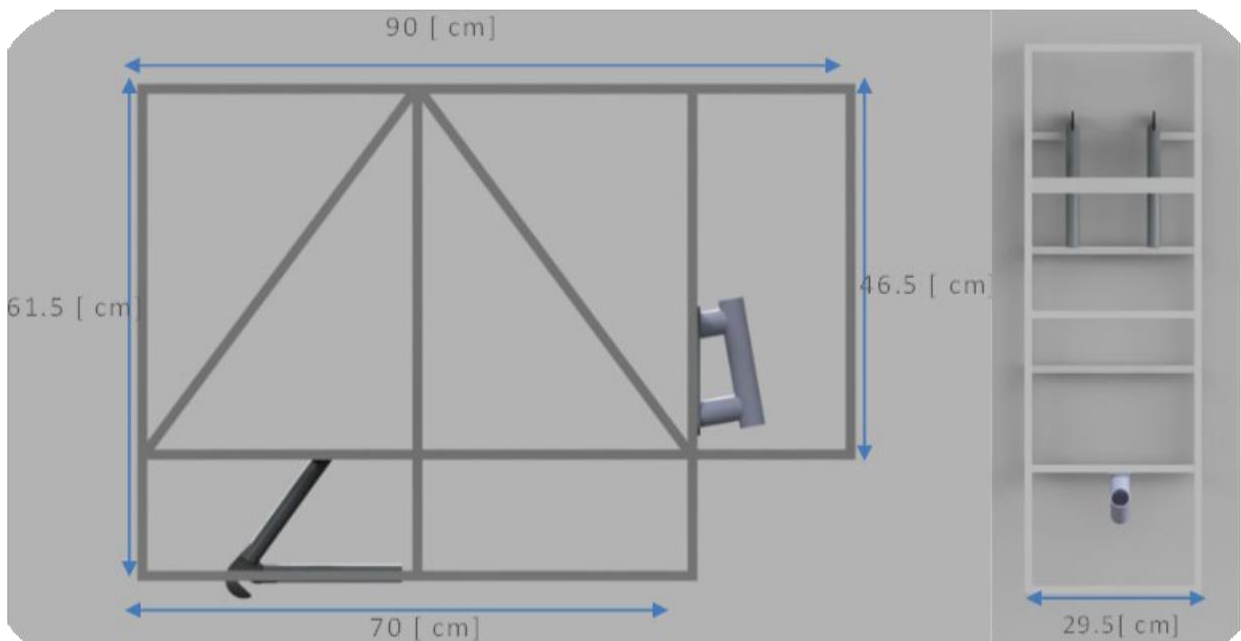


Figura 2.17 - Dimensiones generales de la estructura VUMi2

## B) SISTEMA DE DIRECCIÓN Y EJE POSTERIOR.

El sistema de dirección está constituido por la horquilla, telescopio, tazas, el eje posterior y tijera trasera. La Figura 2.18, muestra las zonas asignadas para la dirección delantera y eje posterior junto con la tijera trasera.

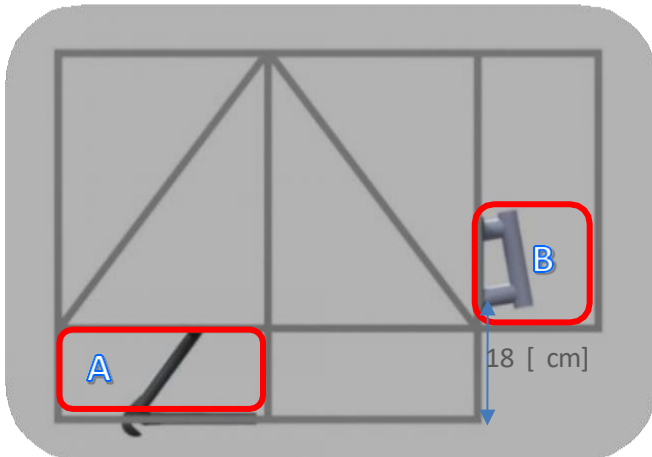


Figura 2.18 – A) Tijera trasera y eje posterior, B) dirección delantera.



Figura 2.19 – Modificación de una horquilla de bicicleta 20"

El telescopio está a 18 [cm] desde la base de la estructura, soldada a perfiles travesaños. El ángulo de lanzamiento (véase el anexo A1) es de  $16^\circ$ , lo cual tuvo un aumento de  $3^\circ$  con respecto al VUM. La horquilla se modificó para que se ajustara a la llanta.

El eje posterior y tijera trasera son componentes obtenidos de una bicicleta 20" (Figura 2.20), que se cortaron y adaptaron al diseño VUMi2. Se obtuvo una distancia entre ejes de 71 [cm].



Figura 2.20 – Componente utilizado para prototipos anteriores al VUMi3. [22]

### C) SISTEMA ELÉCTRICO.

El sistema eléctrico implementado para los prototipos VUM y VUMi2 se tomaron específicamente de piezas comerciales, para cumplir con una autonomía de 10 [Km] y con una potencia de 264 [W] para una velocidad de 25 [Km/hr] [23]. Sin embargo, se utilizó un componente “sobrado” que ofrece 500 [W] a 48 [V], con el objetivo de, y por razones de ser un prototipo, optimizar los recursos y ocupar el motor para futuros prototipos.



#### Especificación:

- ✓ Modelo de Motor: TX-10
- ✓ Corriente nominal: 36 V/48 V
- ✓ Potencia: 500 W
- ✓ Longitud del eje: 160mm
- ✓ Modelos aplicables: scooter de 10 pulgadas
- ✓ Tamaño de la horquilla: 110mm
- ✓ Diámetro exterior: 168mm
- ✓ Ancho: 40mm
- ✓ Peso: 3,2 kg
- ✓ Color: Negro
- ✓ Velocidad: 30-65 km/h

Figura 2.21 – Componente Kit ANNOY BIKE junto con sus especificaciones. [23]

La batería es comercial con las especificaciones siguientes:



#### Especificaciones:

- ✓ Capacidad: 10 A
- ✓ Voltaje máximo: 54 V
- ✓ Voltaje nominal: 48 V
- ✓ Voltaje de descarga: 40V
- ✓ Descarga máxima de corriente: 35A
- ✓ Ciclos de vida 700 – 1000

Figura 2.22 – Batería y especificaciones. [24]

#### **D) SISTEMA ENVOLVENTE.**

El sistema envolvente consistió en lámina negra de acero al carbón, calibre 20. Material que nos proporciona una resistencia y mantiene aislados los paquetes del exterior. El recubrimiento para evitar corrosión temprana y mejorar el aspecto del prototipo fue con pintura color blanco mate. Además, nos permitió identificar zonas de mayor contacto y desgaste.



*Figura 2.23 – A) Sistema envolvente del Vumi2, B) pintado de la envolvente, C) Zona de contacto usuario-VUMi2*

#### **E) SISTEMA DE ACCESO.**

El sistema de acceso se compone de 3 puertas. La puerta para acceso a paquetes, puerta principal que da acceso a los paquetes, además funge como asiento del usuario; puerta auxiliar, ubicada en la parte trasera del vehículo; y la puerta de acceso a componentes eléctricos electrónicos, ubicado en la parte frontal de lado izquierdo.





Figura 2.24 – A) Apertura de puerta principal para acceso a paquetes, B) Puerta auxiliar de acceso a paquetes, C) Puerta de acceso a componentes eléctricos electrónicos.

## F) SISTEMA DE SOPORTE PARA EL USUARIO.

Para esta propuesta se implementaron reposapiés de acero con goma anti -derrapante. Abatibles y soldados a la estructura. El asiento de esponja forrado de tela vinil negro que está fijado en la lámina de la puerta principal. También se implementó un soporte para celular en el manubrio que permite una visualización de la ruta marcada en el dispositivo.



Figura 2.25 - A) Reposapiés plegables, B) Asiento forrado de tela vinil negro, C) Soporte para celular

Una vez realizado un resumen de cada sistema lo siguiente fue hacer pruebas MEF (Método por Elementos Finitos) para identificar zonas de mayor esfuerzo y si la geometría es la adecuada. Posteriormente se realizaron pruebas con usuarios de la empresa colaboradora para obtener información que nos permita mejorar la experiencia del usuario. (Se retomará en el Capítulo IV).

## **CAPÍTULO III. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.**

En capítulos anteriores, se habló de la dificultad de circular en cualquier tipo de vehículo en las grandes ciudades debido a un mayor número de personas concentradas en un lugar. Además, de la importancia de la última milla, como último paso de la entrega de un paquete al cliente, y cómo influyen los retrasos en la satisfacción del cliente y posiblemente la búsqueda de otras empresas.

Las conclusiones obtenidas de la versión anterior del VUMi2 son importantes para la versión siguiente, debido a que se da importancia a requerimientos más enfocados a los objetivos propuestos por el equipo de trabajo (se profundizará en capítulos posteriores).

### **3.1 PARTICIPANTES DEL PROYECTO VUMi.**

Se contó con un equipo multidisciplinario de profesores y alumnos del Facultad de ingeniería y la Facultad de Arquitectura. Además, se tuvo la asesoría y apoyo de una empresa privada de transportistas llamada Re!-Corre.

#### **3.1.1 ALUMNOS.**

Se contó con la participación de 9 estudiantes de la Facultad de Ingeniería (licenciatura y maestría) y un alumno de la Facultad de Arquitectura para el diseño del VUMi2 y VUMi3. Entre los estudiantes de maestría se encuentran:

- Ing. García Conejo Luis Gustavo.
- Ing. Hernández Sánchez Sergio.
- Ing. López Torres María Esther.
- Ing. Martínez Cortés Isandra Danae.
- Ing. Rodríguez Tenorio José Carlos.

Por otro lado, los estudiantes de licenciatura son:

- Martínez Agustín Fernando.
- Morales Vázquez Jonathan Josué.
- Pérez Severiano Jesús Armando.
- Pérez Velázquez Gustavo David (Estudiante de diseño industrial).

## EQUIPO DEL PROTO TIPO FINAL VUMi2.



Martínez Cortés  
Isandra Danae.



López Torres María  
Esther.



Hernández Sánchez  
Sergio.



Pérez Velázquez  
Gustavo David.



Rodríguez Tenorio  
José Carlos.



García Conejo Luis  
Gustavo.



Morales Vázquez  
Jonathan Josué.



Pérez Severiano  
Jesús Armando.



Martínez Agustín  
Fernando.

## EQUIPO DEL PROTOTIPO VUMi3



Pérez Velázquez  
Gustavo David.



Rodríguez Tenorio  
José Carlos.



Martínez Cortés  
Isandra Danae.



Morales Vázquez  
Jonathan Josué.



Pérez Severiano  
Jesús Armando.



Martínez Agustín  
Fernando.

### 3.1.2 PROFESORES.

Durante todas las etapas del VUM, tres profesores asesoraron el proyecto. Proviene del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Facultad de Ingeniería y del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) de la Facultad de Arquitectura.



Dr. Vicente Borja  
Ramírez.



Arq. Arturo Treviño  
Arizmendi.



Dr. Alejandro Cuauhtémoc  
Ramírez Reivich

### 3.1.3 COLABORADOR.

El proyecto contó con el apoyo de la empresa Re!-Corre [25], quien requieren de un vehículo de última milla para entrega de paquetería, debido a que tienen muchos problemas vehiculares en las mega ciudades.

Re!-Corre es una empresa Mexicana dedicada al reparto de última milla dirigido a empresas con servicio de comercio electrónico. Su servicio está disponible principalmente en la Ciudad de México y otras grandes ciudades del país.



*Figura 3.1 – Empresa colaboradora Re!-corre. [25]*

### 3.2 RETO.

El reto por cumplir es diseñar un vehículo eléctrico que recorra diferentes rutas dentro de la Ciudad de México, dichos requisitos se obtuvieron a partir de las conclusiones del prototipo VUMi2.

La empresa colaboradora, Re!-Corre, dio información sobre un mercado potencial y parte de la logística con la que trabajan. Por otro lado, el nuevo prototipo debe considerar a los problemas que se enfrentarían los vehículos en las grandes ciudades, como tráfico, las irregularidades, la inseguridad, etc. Así como, el uso de energías limpias que se implementarán en estos prototipos.

### 3.3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el proceso del diseño de los proyectos VUMi (Vehículo de Última Milla innovador), fue la de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), que podemos entenderla como – una forma de planificar los proyectos y un conjunto de métodos que se pueden utilizar en cada una de las principales fases – [26]

Dicha metodología ha sido desarrollada en conjunto por el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT), de la Facultad de Ingeniería y por el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI), de la Facultad de Arquitectura, con la ayuda de la corriente *Design Thinking*, que es otro método del diseño que – se centra en el proceso en lugar de en el producto o, dicho de otra manera, se enfoca en la resolución de problemas, pero no comienza con ninguna solución previa –. [27]

Por último, otra metodología que se aborda es la que se emplea en ingeniería para el diseño y desarrollo de productos, planteada por Ulrich y Eppinger, en donde se desarrollan productos destinados a unir las funciones de mercadotecnia, diseño y manufactura de la empresa. [28]

Para emplear dicha metodología enfocada en el diseño centrado en el usuario, el proceso de diseño propone generar ciclos o iteraciones de trabajo con la participación de los usuarios a través de su experiencia, emociones, sentimientos y estados de ánimo para generar productos o servicios. El proyecto puede contar con tantas iteraciones como el proceso lo requiera hasta llegar al objetivo. [29]

A continuación, se explican las etapas que componen los ciclos de trabajo:

Definir o Redefinir	Es la primera etapa del ciclo en la cual se establece o modifica el objeto del proyecto y se proponen los objetivos particulares que guíen el trabajo durante la iteración. Para el primer ciclo se DEFINE y a partir del segundo se REDEFINE el problema, el enfoque o los objetivos en caso de ser necesario.
Conocer	En la segunda etapa se realiza una investigación documental para generar hipótesis con el objetivo de interpretar y proporcionar soluciones potenciales del problema.
Generar	En la tercera etapa del ciclo se materializan aquellos hallazgos con base en las hipótesis generadas en la etapa anterior 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 las actividades e ideas generadas. A partir de los resultados se obtienen hallazgos y se validan o refutan las hipótesis para identificar si una idea es viable e incorporable en la propuesta de diseño o no lo es.
Aprender	En la quinta etapa del ciclo se documenta, resume y se concluyen las actividades de la iteración. Finalmente, se recibe retroalimentación entre los alumnos, profesores y asesores sobre los resultados obtenidos, los hallazgos y el curso del proyecto; estableciendo el enfoque para los siguientes ciclos.

*Tabla 3.1 – Etapas de una iteración de la metodología de diseño.*

Dichas etapas, dichas etapas se pueden ejecutar en distinto orden siempre y cuando cumplan las necesidades del proyecto.



### 3.4 OBJETIVO DEL VUMI3.

El objetivo del proyecto que se reporta en esta tesis, de acuerdo con las versiones anteriores del proyecto VUMi (Vehículo de Última Milla innovador), es construir un nuevo prototipo con base en las conclusiones obtenidas de su versión anterior.

Al comienzo del VUMi2 se planteó el objetivo siguiente:

*“Diseñar mediante la metodología Diseño Centrado en el Usuario (DCU), un Vehículo de Última Milla (VUM) eléctrico, que permita la entrega de paquetería de una forma eficiente en zonas de difícil acceso para la camioneta, reduciendo el tiempo y costos de envío, a mediano y largo plazo”. [19]*

Para esta versión VUMi3, se propuso un objetivo diferente, pero sin perder de vista la esencia de un vehículo de última milla con base en las conclusiones obtenidas del vehículo VUMi2, quedando de la siguiente manera:

*“Diseñar el sistema de la dirección, a la par de mejorar el chasis y la carrocería del vehículo eléctrico de movilidad personal para entrega de paquetería, que permita circular con seguridad y eficacia en las grandes ciudades.”*

### 3.5 ALCANCES.

Al final de este documento se contó con los siguientes resultados:

#### VUMi2

- Modelo sólido
- Análisis de las simulaciones estáticas y dinámicas de la estructura del vehículo.
- Resultados de las pruebas del prototipo.

### **VUMi3**

- Propuesta del diseño del VUMi3
- Modelo sólido
- Análisis de las simulaciones estáticas y dinámicas de la estructura del vehículo.
- Documentación de las piezas comerciales.
- Procesos de manufactura para el prototipo.
- Resultados de las pruebas del prototipo.

## CAPÍTULO IV. VUMi2.

En este capítulo se realizan los análisis estáticos y dinámicos del VUMi2 de acuerdo con cargas propuestas, materiales y casos críticos de operación. Así mismo, se analizan los resultados y posteriormente se manufactura el prototipo. Por último, se proponen mejoras para aplicarse a la siguiente versión.

### 4.1 CONOCER.

En la sección Capítulo 2.7 se explicó brevemente las características del VUMi2. En esta sección se analizó la estructura por medio del método de elementos finitos, que nos permite dar paso inicial al prototipo VUMi3. A continuación, se presentan las características más importantes del VUMi2:

No.	Métrica	Intervalo	Unidades
1	Estructura de acero. Perfil tubular cuadrado	1/2	[in]
		18	Calibre
2	Batería recargable de Ion-Litio	48	[V]
		10	[Ah]
3	Capacidad máxima del vehículo	1	Usuario
4	Volumen de carga	0.09	[m <sup>3</sup> ]
5	Masa del vehículo	34	[Kg]
6	Carga máxima de usuario	100	[Kg]
7	Carga máxima de paquetes	35	[Kg]
8	Velocidad media	25	[Km/h]
9	Rango de autonomía	11.5	[Km]
10	Pendiente máxima afrontable	45	[°]
11	Radio máximo de giro	2.9	[m]
12	Dimensiones máximas del vehículo	0.27 (ancho)	[m]
		0.90 (largo)	[m]
		0.75 (alto)	[m]
13	Ángulo de lanzamiento	16	[°]

Tabla 4.1 – Características principales del prototipo VUMi2.

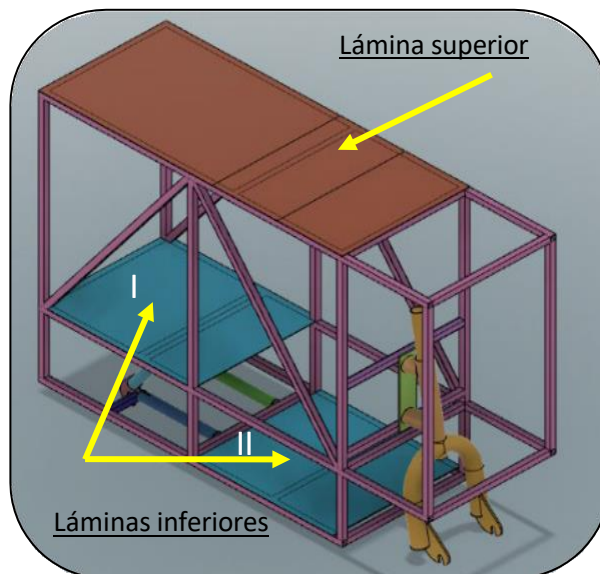
## 4.2 ANÁLISIS MEF.

Se realizaron análisis por elemento finito con el software de Autodesk Fusion 360, software CAD/CAM basado en la nube para el diseño y la manufactura de productos. Se analizaron los resultados obtenidos en las simulaciones estáticas y dinámicas.

### 4.2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO.

Para los siguientes análisis estáticos se consideró la estructura, la tijera delantera y trasera. En esta simulación se analizó el vehículo completo, estructura con las láminas y la estructura independiente. Se pretende identificar si la geometría de los componentes es la adecuada, así como visualizar las zonas de máximos esfuerzos, debido a las cargas aplicadas al vehículo.

Las cargas tanto del usuario como de los paquetes se distribuyen en las láminas superior e inferior, respectivamente (Figura 4.1). En la figura se observa la ubicación y el color que las representan, siendo color café la lámina superior y color azul las láminas inferiores I y II. Todas las láminas son calibre 18.



*Figura 4.1 - Estructura con láminas principales para la ubicación de Cargas. Cada pieza está representada con un color diferente para su rápida identificación.*

El VUMi2 se diseñó para ser operado por una persona y de acuerdo con un estudio de la cámara nacional de la industria del vestido (Canaive), el hombre promedio de entre 18 a 25 años, tiene un peso promedio de 70.4 [Kg] y las mujeres en el mismo rango de edad pesan 62.9 [Kg]. La altura promedio de las mujeres es de 1.61 metros y de los hombres es de 1.67 metros. [30]

El peso promedio mencionado anteriormente, se sobredimensionó un 30-40% extra, para asegurar que una persona tendrá la confianza de que la estructura no presente deformaciones tales que causen que los perfiles cedan. La justificación de este sobredimensionamiento es porque algunas personas agregan un “peso extra” aun sabiendo la carga máxima. Por lo cual, con esto aseguramos que el vehículo este trabajando con una carga por debajo del máximo.

No se tiene certeza del peso de la carga, debido a que varía en cada ruta de ruta de entrega de paquetes, por lo que se planteó un peso aproximado de 35 [Kg], considerando sobres grandes de 0-960 [gr] y paquetes grandes de 0-1760 [gr]. *(Información proporcionada por la empresa colaboradora, Re!-Corre).*

La ubicación de las cargas para el operador de 100 [Kg] (981 [N]) y los paquetes de aproximadamente 35 [Kg] (343.35 [N]), considerando el valor de la gravedad de 9.81 [m/s<sup>2</sup>], con sus respectivas restricciones de fijación en la tijera trasera y delantera se muestran en la Figura 4.2.

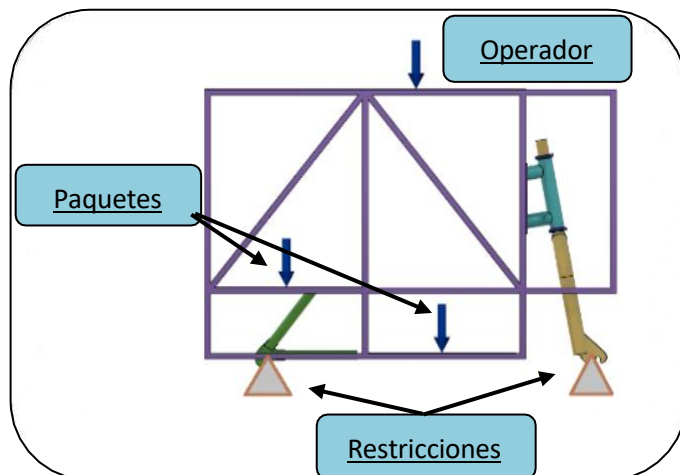


Figura 4.2 - Ubicación de las cargas en la estructura

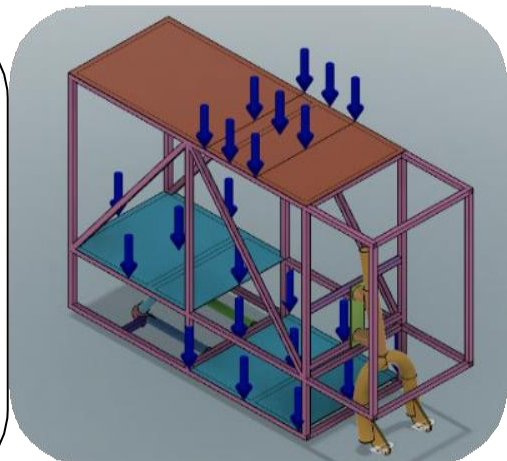


Figura 4.3 - Ubicación de las cargas aplicadas a la estructura

## 4.2.2 RESULTADOS.

Para la estructura completa (láminas y estructura) se obtuvo un esfuerzo máximo de 154 [MPa] con un factor de seguridad de 1.6 ubicado en la lámina superior, debido al peso del usuario. (Figura 4.4)

En la estructura se observó un esfuerzo máximo de 127 [MPa] con un factor de seguridad de 1.96, ubicado en la unión del travesaño superior y la base del telescopio. (Figura 4.5) Además, se observaron esfuerzos en las uniones de los perfiles, mayormente en la parte frontal, debido a que no se tiene un sistema de amortiguamiento las fuerzas son transmitidas por completo a la estructura. (Figura 4.6)

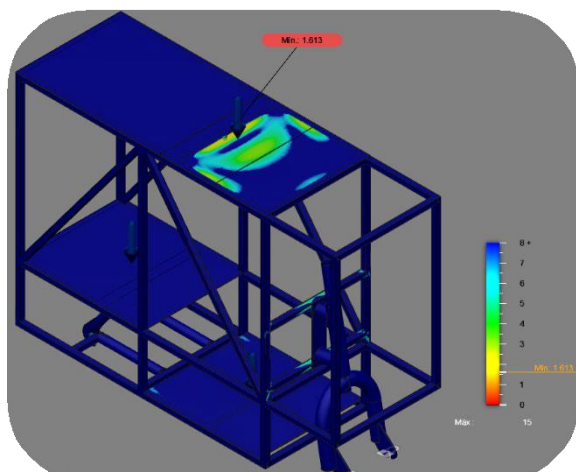


Figura 4.4 – Estructura completa del VUMi2 (Estructura y láminas)

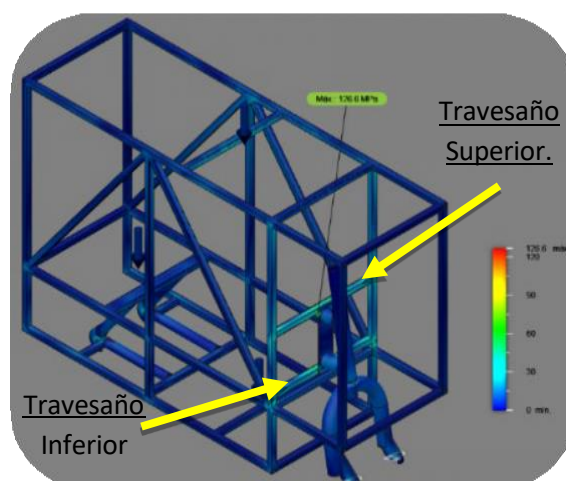


Figura 4.5 – Resultados del análisis Estático

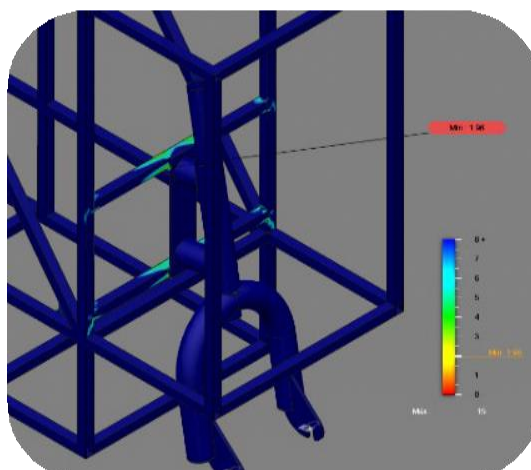


Figura 4.6 – Zonas de concentración de esfuerzos (Color verde fosforescente)

Por otro lado, se obtuvo un desplazamiento máximo de  $-0.45$  [mm] en dirección Z, es decir existió un pandeo del perfil debido al peso del usuario, con valores de esfuerzos menores a  $20$  [MPa]. (Figura 4.7)

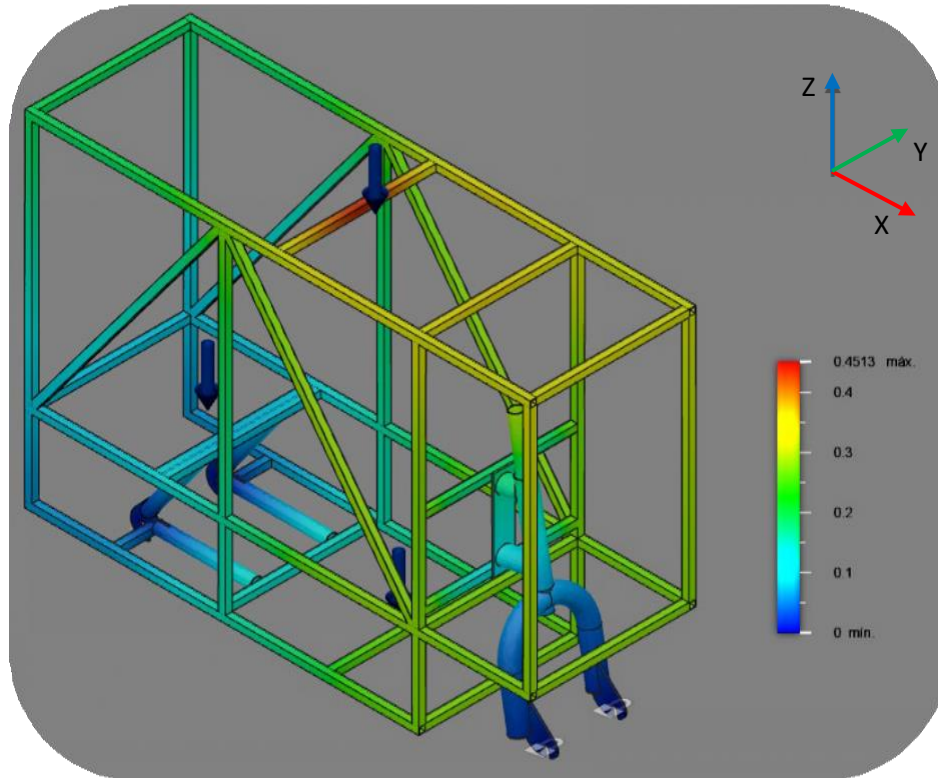


Figura 4.7 – Desplazamientos de vehículo VUMi2

#### 4.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO.

En la simulación dinámica se plantea la situación en la que el vehículo impacta contra una pared a una velocidad de  $25$  [Km/hr]. Debido a que la velocidad es la máxima, se pretende observar las zonas de impacto.

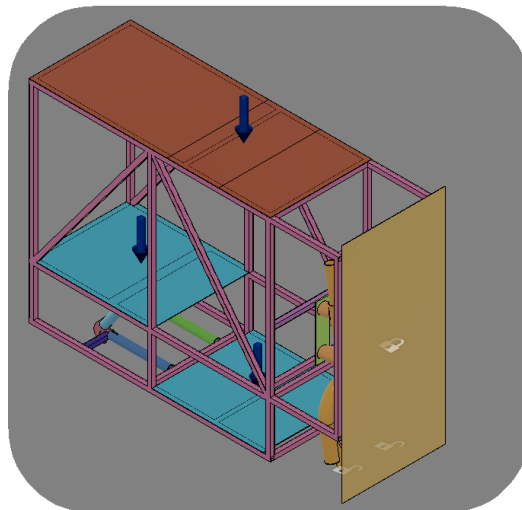
Cabe destacar que  $25$  [Km/hr] es una velocidad suficiente para que el operador pueda resultar herido, si no tiene protección adecuada como el casco. Peor aún, si la colisión es con un peatón, ambas personas pueden resultar con lesiones graves.

En colisión frontal-lateral, un impacto de un vehículo de movilidad personal (VMP) contra el lateral de un coche, origina que la zona más afectada es la cabeza. También está expuesta a un alto riesgo la zona cervical, debido al latigazo en el momento de la colisión. En el caso de un choque con un peatón, él sufre la peor parte con daños en rodillas, tórax y cabeza, zonas de primer contacto [31].

Este tipo de simulaciones se toman en cuenta con periodos de tiempo muy cortos, en Fusion 360, con la licencia estudiantil proporcionada por la UNAM se tiene un periodo de tiempo de 0.001 [s].

Las características de la simulación fueron:

- La pared: se simuló como un cuerpo rígido, debido a que no se tomó en cuenta el comportamiento de ella al momento del choque.
- La estructura del vehículo: Compuesta por el chasis la tijera trasera, la horquilla y algunas de las láminas (aplicación de las cargas).
- Se aplicó las cargas del análisis estático: un usuario de 100 [Kg] (981 [N]) y los paquetes de 35 [Kg] (343.3 [N]).
- El vehículo tuvo una velocidad de 25 [Km/hr] con dirección hacia la pared.



*Figura 4.8 – Modelo CAD con las cargas correspondientes para el análisis dinámico*



## - RESULTADOS.

La Figura 4.9 muestra la estructura mostrando las zonas más afectadas. La Figura 4.10 B) y C) ilustra los pasos en donde se presenta el impacto. El máximo esfuerzo presentado es de 668.3 [MPa] en los perfiles delanteros, los cuales son los primeros en entrar en contacto con la pared, llegando a superar el esfuerzo de cedencia del acero (220 [MPa]).

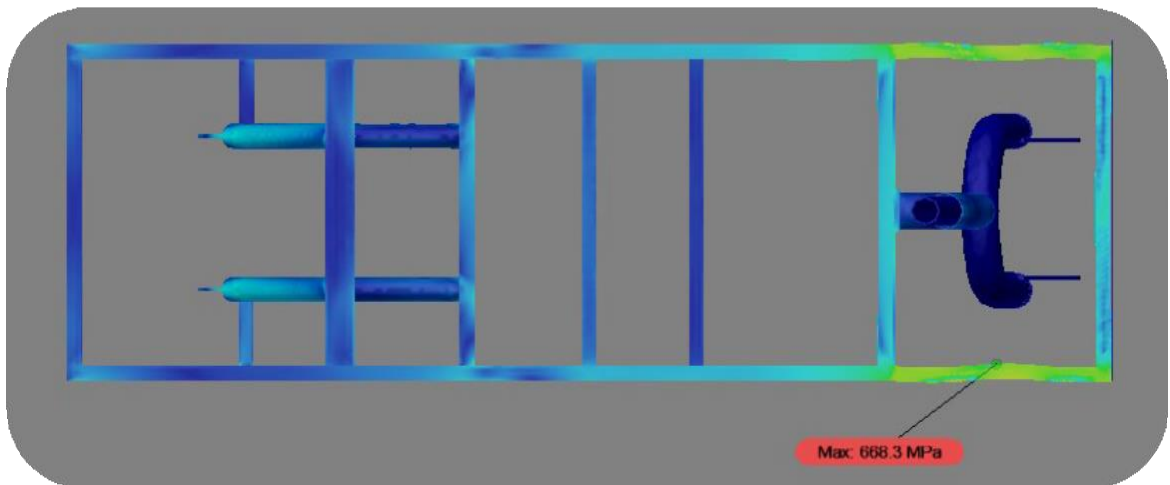


Figura 4.9 – Vista Superior de la estructura del análisis dinámico. Step 26

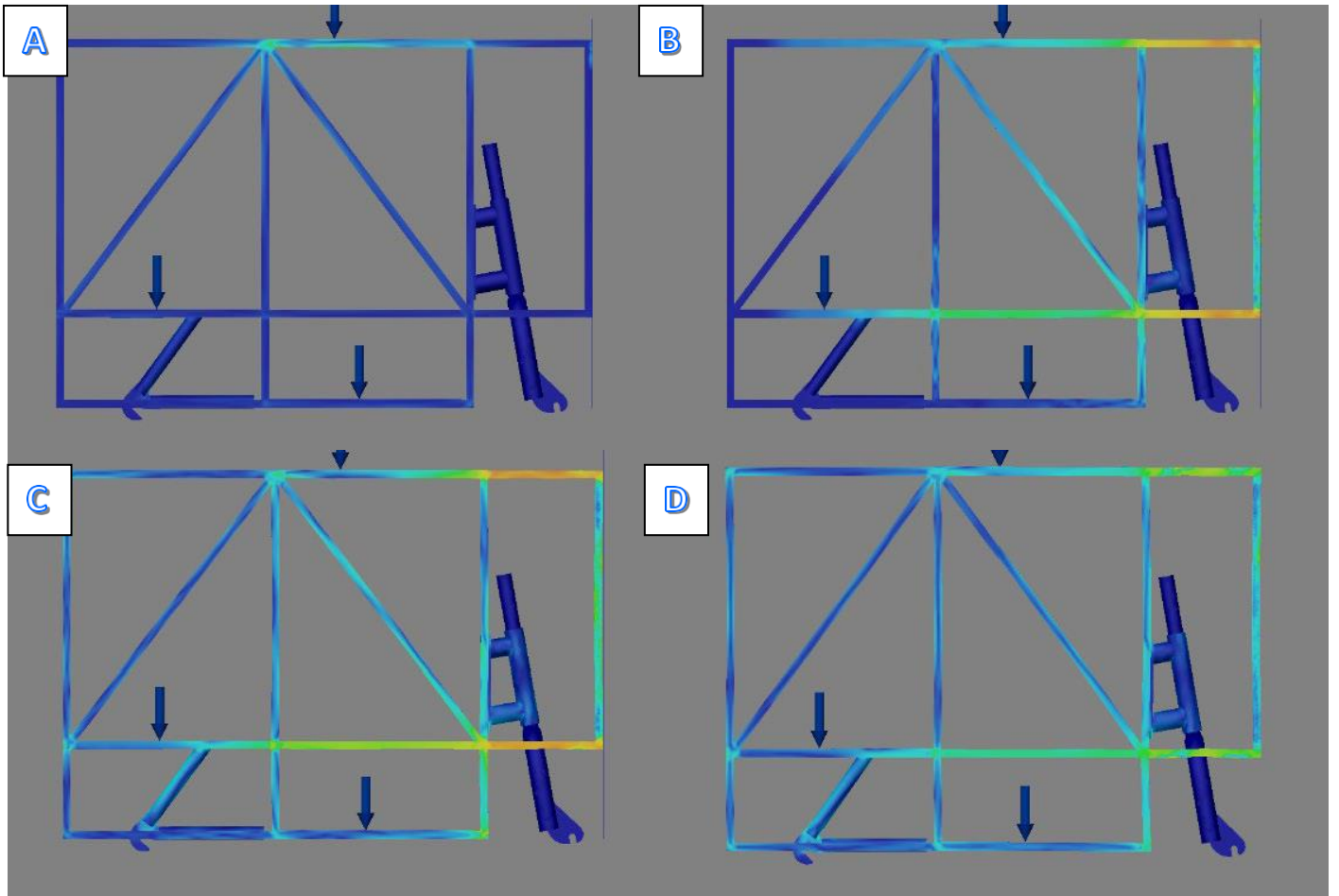


Figura 4.10 – Resultados del Análisis dinámico a diferentes pasos: A) step 11, B) Step 15, C) Step 20, D) Step 26.

### 4.3 PRUEBAS.

Una vez realizados las pruebas MEF mediante análisis estáticos y dinámicos, se procedió a realizar pruebas físicas de rendimiento mediante un recorrido en el interior de la ciclovía de ciudad universitaria.

#### 4.3.1 PRUEBAS DE RENDIMIENTO.

Dichas pruebas de rendimiento se realizaron mediante un recorrido en el interior de la ciclovía de ciudad universitaria con el vehículo vacío y operado por una persona de 80 [Kg], aproximadamente. Se obtuvieron los datos siguientes:

- Un recorrido de 12 [Km] en un tiempo de 1 hora y 30 min.
- En terrenos irregulares persistió el problema de la movilidad, debido al diámetro de la rueda (10 [in]), cabe la posibilidad de atorarse en un bache, Figura 4.11 - A.
- El claro entre el tope de hule tipo *Safety Ride* es el adecuado, ya que no existe contacto entre ambos, Figura 4.11 - B.
- El claro entre el tope de cemento es igualmente adecuado, ya que no existe contacto. Figura 4.11– C

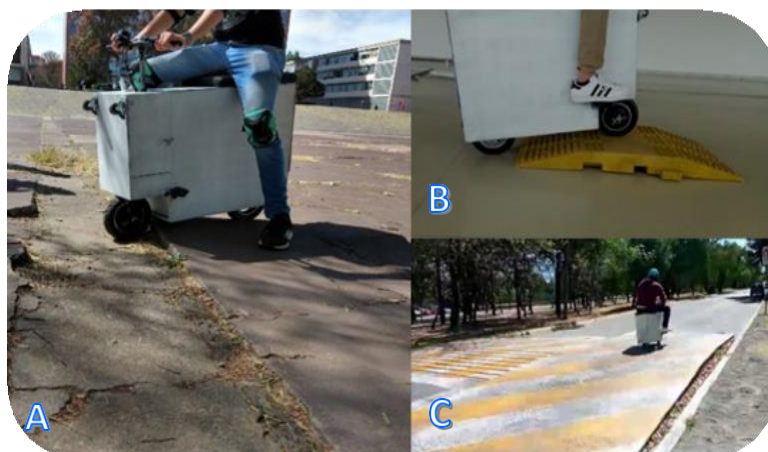


Figura 4.11 - Prueba en Diferentes terrenos. A) Desniveles, baches. B) Tope tipo *Safety Ride*, C) Tope largo

Nota: Dentro de la Ciudad de México y en México en general, hay variaciones de topes debido a que no hay regulaciones o normas estrictas por parte del gobierno, debido a que dichos topes son hechos por los mismos ciudadanos.

#### 4.3.2 PRUEBAS CON USUARIOS.

En las pruebas con usuarios, la empresa colaboradora Re!-Corre apoyó con el préstamo de paquetes de sus clientes y la participación de sus trabajadores, con experiencia en el reparto de paquetería. El objetivo fue realizar un estimado de la cantidad de paquetes que el VUMi2 pueda transportar. *(En estas pruebas se tuvo mucho cuidado con los paquetes, así como los datos de los clientes).*



Figura 4.12 - Paquete con las mayores dimensiones

El volumen de carga en el VUMi2 es de  $0.08 \text{ [m}^3\text{]}$ , comparando con datos cuantificables fueron ocho paquetes de entre bolsas y cajas de distintos tamaños. La caja con la mayor dimensión fue de  $47 \times 22 \times 38 \text{ [cm]}$ .



Figura 4.13 – A) Prueba de usuario: Personas necesarias para subir un VUMi2, B) Camioneta tipo Furgoneta [32]

Para subir el VUMi2 a la camioneta especial de reparto es necesario 2 personas. (Figura 4.13 – A). También se observó que una camioneta tipo Furgoneta (Figura 4.13 – B), tiene la capacidad de transportar entre 2 y 3 VUMi2.

El usuario, que en este caso fue el trabajador de la empresa Re!-Corre que cuenta con la habilidad de entregar paquetes a bordo de una *Scooter* en diferentes zonas de la ciudad, compartió su opinión:

- El vehículo al ser robusto no puede ingresar a los corporativos, por lo cual, se debe estacionar afuera (Eliminación del modo maleta).
- Las dimensiones son superiores en comparación con un scooter.
- Debido a que su geometría es cuadrada en la parte frontal, se puede llegar a sentir incomodidad en la parte interna de la pierna.
- El usuario se notó cómodo con la maniobrabilidad del vehículo.
- El vehículo es demasiado pesado para descenderlo con solo una persona de la camioneta.

Además, se identificó que la posición de telescopio podría cambiarse o mejorarse para tener aprovechar el espacio disponible. También se prioriza la modificación de la estructura del chasis para aumentar el volumen de carga.

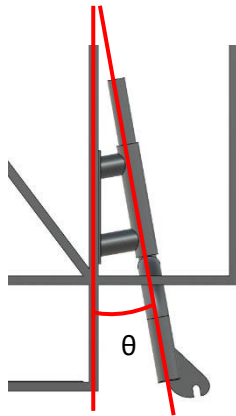
#### **4.4 POSIBLES MEJORAS.**

Con base en los análisis anteriores se plantearon aspectos a mejorar para su implementación en prototipos siguientes, relacionados con la dirección, tijera trasera, estructura del chasis y el volumen de carga.

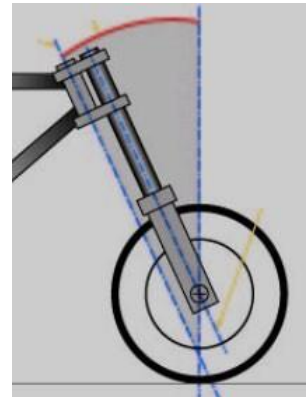
En la Tabla 4.1 se resumen los aspectos más importantes de algunos de los componentes versus aspectos importantes que podría mejorar en futuros prototipos.

## VUMi2

## POSIBLE MEJORA



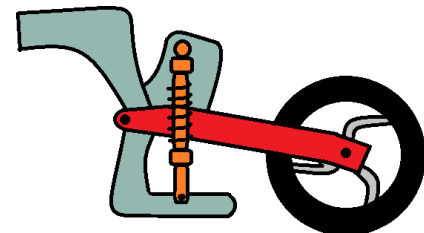
Se presentó buena estabilidad con el ángulo de lanzamiento de  $16^\circ$  implementado en el VUMi2.



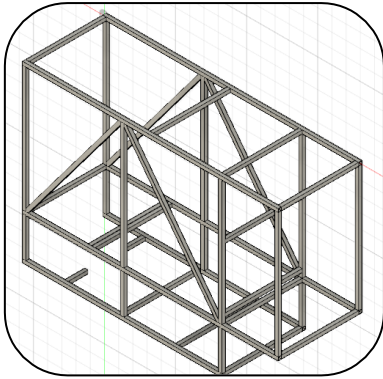
La respuesta generada por las pruebas de usuario, en cuanto a la maniobrabilidad del vehículo fue buena, por lo que se mantendrá el mismo ángulo de lanzamiento para el siguiente prototipo



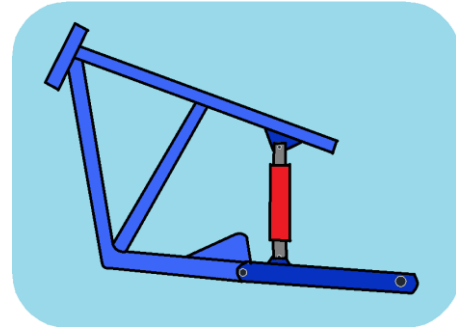
Se reutilizaron partes de una bicicleta, como tijaera trasera y horquilla, adaptándose a la estructura por lo que en el diseño quedó poco estético.



Se propone un diseño de la tijaera trasera más estético basado en las motocicletas, los cuales, tienen integrado la parte del Caliper con el bastidor (chasis).



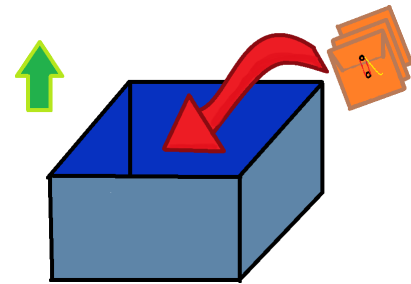
La estructura del prototipo es cuadrada, provoca incomodidad al usuario después de usar el vehículo durante un tiempo.



Se planea diseñar la estructura a partir de las pruebas y resultados obtenidos. El vehículo se propone más delgado, cómodo y se tiene como objetivo superar el volumen de carga.



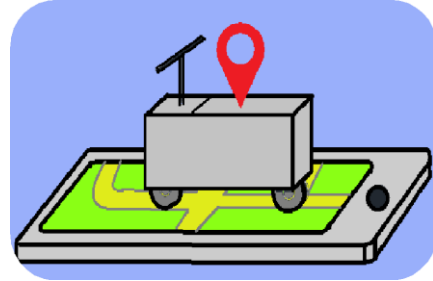
El volumen de carga es de 0.08 [m<sup>3</sup>]. Con la capacidad de trasportar paquetes de entre sobres y cajas. La caja de mayor dimensión es de 47 x 22 x 38 [cm].



Se planea aumentar el volumen de carga modificando la estructura. El objetivo es mayor o igual 0.1 [m<sup>3</sup>].



La puerta principal para acceso de paquetes tiene un candado, las puertas auxiliares de paquetes y la de acceso a componentes electrónicos cierran mediante mecanismos a presión.



Se propone en añadir *switch* de encendido, GPS donde se puede rastrear desde el teléfono, luces delanteras y traseras led y apertura de la tapa hacia arriba con sus respectivos sistemas de seguridad.

Tabla 4.1 – Posibles mejoras para el VUMi3



## **CAPÍTULO V. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL VUMi3.**

Este capítulo propone implementar mejoras propuestas a partir de las pruebas realizadas del VUMi2 de la Tabla 4.1, plantea un reto nuevo a cumplir, una tabla de necesidades y requerimientos, generación de ideas, propuestas de conceptos, un modelo CAD, análisis MEF, proceso de manufactura y pruebas con usuario.

### **5.1 RETO NUEVO.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas obtenidas en el prototipo VUMi2, el nuevo reto a cumplir, por una parte es darle prioridad a las posibles mejoras planteadas en la *Tabla 4.1*, así como atender a las necesidades del cliente mediante entrevistas a usuarios y reuniones con el equipo de la empresa Re!-Corre.

### **5.2 NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS.**

Las necesidades de los clientes son expresadas en términos del “lenguaje del cliente”. Estas expresiones son en términos de lo que el producto tiene que hacer, no de cómo lo tiene que hacer, se utilizan enunciados en forma afirmativa y evita la incorporación de palabra como debe o debería. [28].

Los requerimientos son variables que deben cumplir una solución, siendo fijados previamente por una decisión, por la naturaleza y por requisitos legales. Asimismo, son variables que limitan las alternativas del solucionador de productos [33]. Por lo cual, son consideraciones que se tomaran en cuenta para el diseño, aunado a conceptos y el propósito del mismo.

Además, el término requerimiento es sinónimo de restricción, especificación, consideración variable. Sin embargo, en esta investigación las especificaciones serán una serie de datos finales del producto, es decir las características del producto final, las cuales estarán documentadas al final de esta investigación. Las especificaciones consistirán en métricas y valores; la métrica es el atributo cuantificable y el valor es la forma de medir la métrica.

Los requerimientos se clasifican por su cumplimiento y por su contenido:

**A) Por su cumplimiento.**

- Requerimientos obligatorios: son aquellos que deben cumplirse en todos los casos; es decir, aquellos en los que el cumplimiento es necesario para que la solución sea aceptada.
- Requerimientos deseados: son aquellos que en lo posible deben ser cumplidos, mas no obligatorios.

**B) Por su contenido.**

- Requerimientos de uso.

Son aquellos que por su contenido se refiere a la interacción entre producto y usuario, considerando los aspectos siguientes: practicidad, seguridad, mantenimiento, reparación, manipulación, ergonomía y antropometría, transportación.

- Requerimientos de función.

Son aquellos que por su contenido se refiere a los principios físicos-químicos-técnicos de funcionamiento de un producto, considerando los aspectos siguientes: Mecanismos, confiabilidad, versatilidad, resistencia y acabado.

- Requerimientos estructurales.

Son aquellos que por su contenido se refiere a los componentes, partes y elementos constitutivos de un producto, considerando los aspectos siguientes: número de componentes, carcasa, unión, centro de gravedad y estructurabilidad.

- Requerimientos Técnico – Productivos.

Son aquellos que por su contenido se refiere a los medios y métodos de manufacturar un diseño, considerando los aspectos siguientes: bienes de capital, mano de obra, modo de producción, normalización, estandarización, prefabricación, Lay out, líneas de producción, materias primas, tolerancias, control de calidad, proceso productivo, estiba, embalaje y costos de producción.

- Requerimientos económicos o de mercado.

Son aquellos que por su contenido se refiere a la comercialización, distribución y demanda potencial del producto por parte de compradores individuales o instituciones, considerando los aspectos siguientes: Demanda, oferta precio, ganancias, medios de distribución, canales de distribución, centros de distribución, empaque, propaganda, preferencia, ciclo de vida y competencia

- Requerimientos formales.

Se refiere a los caracteres estéticos de un producto, considerando los aspectos siguientes: estilo, unidad, interés, equilibrio y superficie.

- Requerimientos de identificación.

Se refiere a la representación bidimensional o tridimensional que tendrá el producto, ya sea para identificarse o para dar a conocer las operaciones que tiene que ejecutar el usuario para su accionamiento, mantenimiento y reparación, considerando los aspectos siguientes: impresión y ubicación.

- Requerimientos legales.

Son aquellos que por su contenido se relacionan con las leyes que emanan de régimen constitucional del país donde se genera el producto, protegiendo los derechos de autor del mismo o determinando como debe de ser, como: patentes y normas

En la siguiente tabla se presentan las necesidades y requerimientos recopilados a través de encuestas realizadas a usuarios dedicados al reparto de paquetería.

		<b>Tipo de requerimiento</b>	
<b>Necesidades</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Por su cumplimiento.</b>	<b>Por su contenido.</b>
<b>[N1] El vehículo es ligero y resistente</b>	<b>[R1]</b> EL vehículo tiene una masa menor a 35 [Kg].	Deseado	De función
	<b>[R2]</b> El vehículo soporta el peso de una persona promedio (70.4 Kg).	Deseado	De uso
	<b>[R3]</b> El vehículo tiene la capacidad de un volumen de carga mayor a 0.09 m <sup>3</sup> .	Obligatorio.	De uso
	<b>[R4]</b> El vehículo es resistente ante irregularidades viales (baches, topes, banquetas, rampas, etc.).	Obligatorio	De función
	<b>[R5]</b> El vehículo cuenta con un grado IP 55 como mínimo (resistente al polvo y chorros de agua).	Obligatorio.	De función

	<b>[R6]</b> El vehículo es resistente ante las vibraciones generadas al moverse.	Obligatorio	De función
	<b>[R7]</b> El vehículo es resistente ante caídas y colisiones.	Obligatorio	De función
<b>[N2] La autonomía del vehículo permite realizar trayectos cortos.</b>	<b>[R8]</b> El vehículo tiene una autonomía de 12 [Km] como mínimo.	Deseable	De función.
<b>[N3] El vehículo es modular</b>	<b>[R9]</b> El módulo de la batería se ensambla / desensambla en dos pasos como máximo.	Deseable	De uso
<b>[N4] El vehículo cuenta un espacio para almacenar los artículos personales del conductor</b>	<b>[R10]</b> El vehículo cuenta un espacio para almacenar los artículos personales del conductor, de forma independiente al contenedor de paquetes.	Deseable	De uso

<b>[N5] El vehículo es seguro</b>	<b>[R11]</b> La seguridad del vehículo evita que usuarios ajenos a este lo utilicen / lo muevan de lugar.	Obligatorio	De función
	<b>[R12]</b> El contenedor para el módulo de alimentación protege los componentes en su interior.	Deseable	De función
	<b>[R13]</b> El vehículo cuenta con un sistema de monitoreo. (Se le proporciona mayor prioridad a la seguridad del módulo de los paquetes).	Obligatorio.	De función
	<b>[R14]</b> El vehículo cuenta con una envolvente de láminas ensambladas con remaches.	Deseable	Estructural
	<b>[R15]</b> El vehículo circula por vialidades destinadas al transporte motorizado y no motorizado.	Obligatorio	Legales (De acuerdo con el reglamento de tránsito de la ciudad de México.)

<b>[N6] El vehículo puede transitar en la ciclovía de la ciudad.</b>	<b>[R16]</b> La velocidad del vehículo es menor a los 25 [Km/hr]	Obligatorio	De función Legales (De acuerdo con el reglamento de tránsito de la ciudad de México).
<b>[N7] El vehículo tiene un precio competitivo.</b>	<b>[R18]</b> El vehículo tiene un precio entre \$20,000.00 - \$30,000.00 (pesos mexicanos).	Deseable	De mercado
<b>[N8] El vehículo es discreto</b>	<b>[R19]</b> El vehículo este pintado con pintura automotriz o electroestática.	Obligatorio	Formales (de preferencia es de color blanco o gris claro)
	<b>[R20]</b> Se disminuye el uso de vértices en el diseño para dar confianza al usuario.	Obligatorio	Formales

Tabla 5.1 – Necesidades y requerimientos para el VUMi 3.0



### 5.3 LLUVIA DE IDEAS.

Se empezó con bocetos en cuadernos y pizarrones. Para tener una perspectiva real del prototipo final, se agregaron piezas de cartón al vehículo VUMi2 y se realizaron modificaciones en cuanto a las dimensiones, Figura 5.1.

De acuerdo con nuestro requerimiento [R1] se desea disminuir el peso del vehículo, con respecto al anterior, por lo que, los objetivos de un prototipo estrecho y con una capacidad de carga mayor son dependientes en todo el proceso de diseño.

El aumento de la capacidad de carga con respecto a la carga obtenida en el prototipo VUMi2 [R3]. Así mismo, como para [R4] en cuanto a la resistencia de la estructura.



*Figura 5.1 – I) Simuladores de cartón con el prototipo VUMi2, II) Geometría propuesta marcada en el simulador de cartón.*

Para el requerimiento [R5] se puede optar por la fijación de un sistema envolvente y el sellado con adhesivos de poliuretano para evitar la filtración de agua, también sirve para reducir las vibraciones, cumpliendo con [R6].

Se realizarán pruebas mediante MEF estáticas y dinámicas que verifiquen su resistencia ([R7]).

De acuerdo, con la versión anterior se desea una autonomía mínima de 12 [Km] ([R8]). Sin embargo, se propone utilizar el mismo sistema eléctrico para obtener resultados similares al VUMi2, los cuales fueron aceptados por el equipo de diseño.

Para los requerimientos [R9] y [R10] se propone módulos independientes, esto para que el módulo de la batería sea manipulado por personas capacitadas.

Se hace la implementación obligatoria de candados para el módulo de los paquetes y llaves *swicht* para el arranque del vehículo. [R11].

Se planea una estructura para el módulo de alimentación para proteger los componentes en su interior [R12], esto dependerá del diseño de la estructura del chasis.

Se implementará un sistema GPS para mantener monitoreado el vehículo y dar seguridad a los paquetes [R13].

El vehículo tendrá una velocidad máxima de 25 [Km/hr] para transitar en las ciclovías [R15], sin embargo, también puede circular fuera de ellas [R16] siempre y cuando se cuente con la señalización obligatoria de luces y sonoras. [R17].

Se hará un estimado del precio del vehículo y su ubicación en el mercado con respecto al precio de vehículos comerciales. [R18].

## 5.4 SELECCIÓN DE UN CONCEPTO.

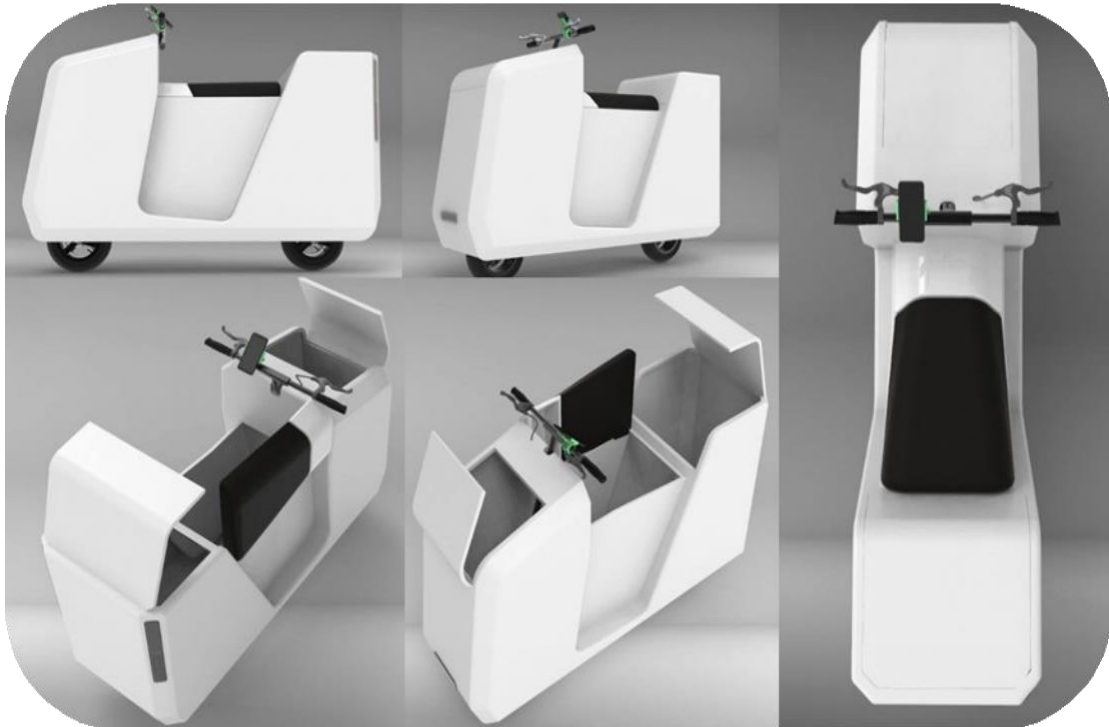
La primera propuesta de concepto es un vehículo más delgado (Figura 5.2), sin embargo, para tener un volumen de carga mayor se aumentó el largo del vehículo. El asiento funge como puerta de acceso a paquetes, los componentes electrónicos y llantas tienen las mismas especificaciones del prototipo VUMi2.

Las dimensiones para esta nueva propuesta cambiaron, el aumento de volumen de carga se traduce en un aumento del largo o ancho del vehículo. Se tiene una restricción del ancho del vehículo para poder transitar en ciclovías. Los vehículos no motorizados deben tener un ancho no mayor a **0.75 [m]**. (véase el *Capítulo VI*)



*Figura 5.2 – Primera propuesta de diseño para el VUMi3*

La segunda propuesta ofrece un diseño más complejo en cuanto a la envolvente. Tiene 3 puertas para el acceso a componentes electrónicos y para paquetes. El número de láminas para la envolvente será mucho mayor a la propuesta anterior y aumentaría el costo del vehículo.



*Figura 5.3 – Segunda propuesta de diseño para el VUMi3*

Esta propuesta tiene un volumen de carga mayor, por lo que las dimensiones podrían superar las permitidas para circular en la ciclovía.

La última propuesta fue una mezcla de las propuestas anteriores. Un vehículo delgado con la apertura de puertas en la parte superior. De la parte frontal hacia la trasera un cambio gradual del ancho del vehículo, permitiendo un diseño más ergonómico para el usuario con respecto al prototipo anterior.

Tiene implementado dos puertas en la parte superior, que dan acceso a los componentes electrónicos y a los paquetes. Además, se le incorpora reposapiés y luces delanteras y traseras.



*Figura 5.4– Tercera propuesta de diseño para el VUMi3.*

## CAPÍTULO VI. DISEÑO DEL VUMi3.

### 6.1 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL DISEÑO.

En conjunto con el diseño del prototipo VUMi3 se revisó el reglamento de tránsito de la Ciudad de México [34], con el objetivo de analizar la posibilidad del libre tránsito por las ciclovías de la Ciudad de México.

Los enunciados más importantes que aplican al vehículo son los siguientes:

**Título Primero:** Disposiciones Generales.

- Capítulo I. Del Objeto y Conceptos Generales. En el Artículo 4.- “XLIX. **Vehículo no motorizado**, aquellos vehículos que utilizan tracción humana, pedaleo asistido y/o propulsión eléctrica para su desplazamiento con una velocidad máxima de 25 [Km/hr].”
- Capítulo III. De La Circulación De Vehículos No Motorizados. En el Artículo 14.- “I. Donde existan vías ciclistas exclusivas, circular preferentemente por éstas, excepto cuando:

a) Estas vías estén impedidas para el libre tránsito a consecuencia de obras públicas o privadas, eventos que interfieran de forma temporal la circulación o cuando el flujo de ciclistas supere la capacidad de la vía;

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;

c) Se tenga que adelantar a otro usuario;

d) Vayan a girar hacia el lado contrario en el que se encuentre la vía ciclista o estén próximos a entrar a un predio. En estos casos, los conductores de vehículos no motorizados tienen derecho a ocupar un carril completo.

II. Indicar la dirección de su giro o cambio de carril, mediante señales con el brazo y mano.

Titulo Cuarto: De las normas de seguridad para la conducción de vehículos.

- Capítulo I. De las disposiciones de seguridad. En el Artículo 38. Los conductores son responsables de evitar realizar acciones que pongan en riesgo su integridad física y la de los demás usuarios de la vía, por lo que 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;
    - c) Sujetarse a otros vehículos en movimiento;
    - d) Manipular u teléfono celular o cualquier dispositivo de comunicación o de audio mientras el vehículo este en movimiento, cualquiera deberá hacerse con el vehículo detenido.
  
- Capítulo II. De Las Características De Los Vehículos. En el Artículo 40.- “Los conductores de vehículos deben cerciorarse de que su vehículo esté provisto de los siguientes elementos, de acuerdo con la naturaleza propia de cada vehículo.
  - Conductores de vehículos no motorizados:
    - a) Contar con reflejantes rojos atrás, reflejantes blancos adelante o luces traseras y delanteras en los colores antes indicados.

Los conductores de vehículos no motorizados que no cumplan con las obligaciones estipuladas en las normas generales de circulación y de este capítulo, serán amonestados verbalmente por los agentes y/o agentes autorizados para infraccionar, y orientados a conducirse de conformidad con lo establecido por las disposiciones aplicables.

Con esto, se evaluaron las especificaciones permitidas por la ley destacando las siguientes:

- a) Velocidad máxima de 25 [Km/hr] para ser considerado vehículo no motorizado.
- b) Para la circulación en ciclovías de la ciudad, vehículos no motorizados podrán circular si tienen un ancho no mayor a 0.75 [m].
- c) Contar con reflejantes rojos atrás, reflejantes blancos adelante o luces delanteras y traseras en los colores indicados.
- d) El equipo de protección para el operador.

## 6.2 PROPUESTA FINAL.

El concepto elegido fue el tercer prototipo (Figura 6.1) propuesto en el Capítulo V. Las características por las cuales se seleccionó esta propuesta en comparación con las otras se enlistan a continuación:



*Figura 6.1 – Propuesta final del diseño para el VUMi3*

1. **Diseño estético.** En cuanto a la versión VUMi2, contaba con una estructura cuadrada y robusta, ofreciendo incomodidad al usuario, esto

con base en las pruebas realizadas y la retroalimentación hecha por los usuarios de la empresa Re!-Corre (*Capítulo 4.3*); ahora en cuanto a la propuesta seleccionada, el diseño ofrece una mayor confianza a simple vista manteniendo un diseño conservador y de bajo perfil.

Para el VUMi3 se debe realizar cambios de dimensiones de la estructura para una mayor comodidad, que va desde la parte frontal hacia la parte trasera haciendo un fácil acenso y descenso del usuario.

**2. *Maniobrabilidad.*** En cuanto a las propuestas, la primera propuesta ofrece una buena maniobrabilidad debido a su estructura ligera y delgada, sin embargo, uno de los objetivos es aumentar el volumen de carga, por lo que se descarta esta opción. La segunda propuesta por su robustez no nos permitirá una buena maniobrabilidad debido al peso del vehículo, además de un aumento en los costos de producción por su compleja carrocería. Es por ello que, para el VUMi3, la propuesta seleccionada nos ofrecería estabilidad para conducir y bajos costos de producción por su estructura sencilla y ligera.

**3. *Volumen de carga.*** Por último, el VUMi2 tiene un volumen de carga de 0.09 [m<sup>3</sup>], siendo así, el próximo prototipo deberá ofrecer un volumen de carga mayor que la versión anterior. En cuanto a las propuestas, como ya se ha mencionado, la primera propuesta se observa que es muy delgado por lo cual el volumen de carga no tiene mucha diferencia contra el VUMi2, el segundo prototipo es el que tendrá mayor volumen de carga, pero en cuestión de manufactura sería más complejo de hacer. Por eso la última propuesta seleccionada, es de bajo costo con un volumen de carga mayor al VUMi2 y su manufactura no es tan compleja. Además, para todos los prototipos se tiene un espacio en la parte trasera para agregar un paquete extra, lo que permite aumentar la entrega de paquetes.



### 6.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO.

El diseño del prototipo se dividió en sistemas, a continuación, se desarrolla cada uno:

- A) Sistema estructural.
- B) Sistema envolvente.
- C) Sistema de dirección y eje posterior.
- D) Sistema eléctrico - electrónico.
- E) Sistema de soporte para el usuario.
- F) Sistema de acceso.

#### A) SISTEMA ESTRUCTURAL.

De acuerdo con el reglamento, se evaluaron las dimensiones aproximadas de la estructura y se tuvieron los siguientes: 106.5 [cm] de longitud, 57.5 [cm] de altura, el ancho de la parte frontal de 22 [cm] y el ancho de la parte trasera es de 35 [cm]. El cambio de dimensiones, de la parte frontal hacia la parte trasera es debido a la incomodidad en las piernas reportada por los usuarios al operar el VUMi2.

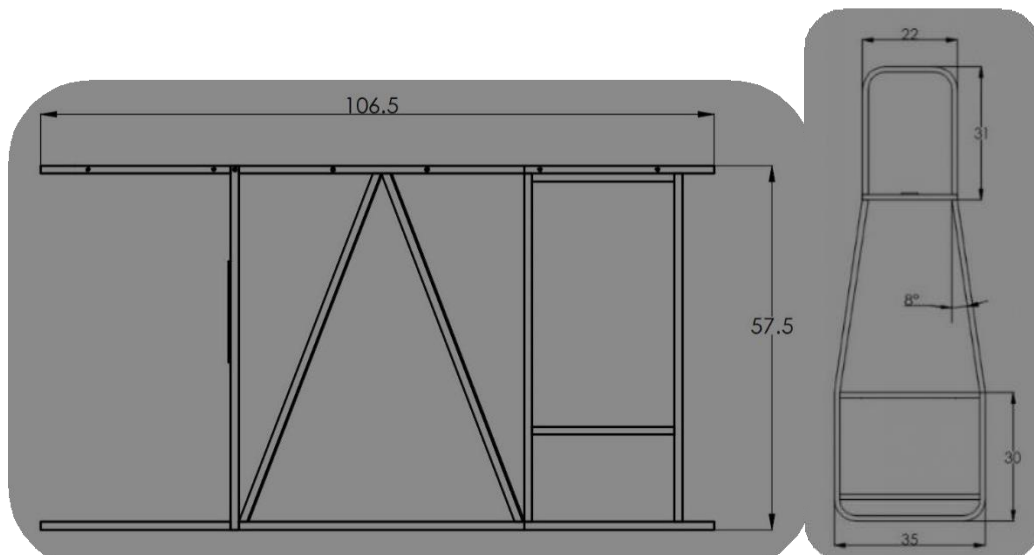


Figura 6.2 – Dimensiones de la propuesta fina [cm]. A) vista lateral, B) vista superior.

Está conformada por dos marcos, superior e inferior, seis perfiles travesaños verticales para darle la altura a la estructura, perfiles travesaños horizontales además de agregarle rigidez a la estructura, sirven para mantener una distancia entre postes; y cuatro perfiles acomodados en V invertida, desde la zona donde se concentrará el peso del usuario hacia un nodo (*los nodos son puntos comunes que comparten con varios elementos*) permitiendo que el peso se distribuya y no se concentre en un solo punto, Figura 6.3.

Finalmente, se agregaron en la parte frontal una estructura para el soporte de la batería y los componentes electrónicos, soleras para la sujeción de la dirección delantera y soleras de reposapiés Figura 6.4.

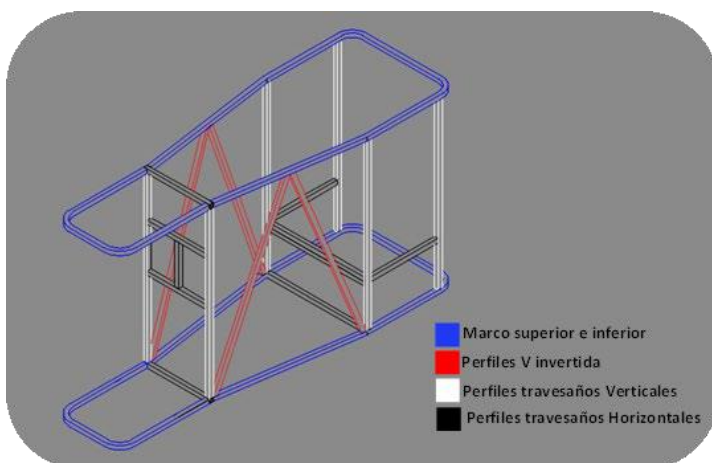


Figura 6.3 – Perfiles que constituyen la estructura.

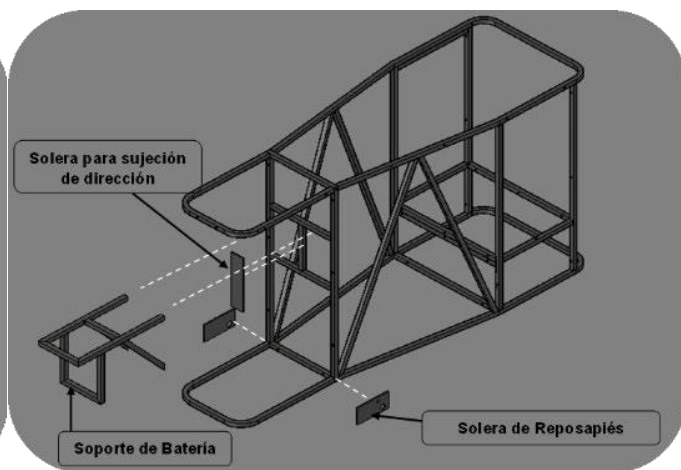


Figura 6.4 Elementos adicionales a la estructura.

La elección del perfil tubular cuadrado es un poco indecisa y hasta cierto punto incorrecta, si se parte de las propiedades mecánicas del tubular circular vs tubular cuadrado. El perfil tubular cuadrado suele ser más pesado que el redondo y resiste mejor la flexión mecánica (deformación del tubo en dirección perpendicular a su eje longitudinal). Tienen una facilidad de corte, moldeado y son fáciles de soldar. Sin embargo, el perfil tubular redondo es más ligero que el cuadrado y resiste mejor los esfuerzos de torsión (retorcimiento del tubo).

Dicho lo anterior, un perfil tubular cuadrado le dará la resistencia a la estructura, pero con un aumento en el peso. Si comparamos los pesos del perfil tubular redondo y cuadrado, para las mismas dimensiones y calibres, (1/2 [in] y 18, respectivamente) tomando en cuenta que comercialmente se venden tramos de 6 [m], tenemos los siguientes resultados:

Descripción	Dimensión	Calibre (in) (mm)	Kg / m	Peso (Kg) por tramo de 6 m
<b>Tubular redondo.</b>	½	18 (0.0478) (1.21)	0.34	2.04
<b>Tubular cuadrado.</b>	½	18 (0.0478) (1.21)	0.44	2.64

*Tabla 6.1 - Comparación del peso por tramo de los perfiles tubulares cuadrado y redondo.[35]*

Obteniendo un incremento del 23% del peso aproximadamente, del tubular cuadrado.

Por otro lado, la importancia de no desperdiciar material es un objetivo, no solo en el proyecto VUMi sino en cualquier proyecto realizado en la Facultad de Ingeniería y en el mundo. Se tuvo material sobrante del prototipo VUMi2 en buenas condiciones y listo para utilizarse. Además, el perfil cuadrado es más fácil de manipular, doblar, cortar o soldar, lo que lo convierte en un gasto menor al manufacturar la estructura.

Una estructura de perfil tubular cuadrada permitió una mejor protección de los paquetes con un aumento del peso, por lo que, se sacrificó el peso del VUMi3 por la seguridad de la carga.

Por último, se estimó el volumen de carga del VUMi3, dando un resultado de 0.1 [m<sup>3</sup>] con lo cual se obtuvo un aumento del 10 % aproximadamente.

## **B) SISTEMA ENVOLVENTE.**

El sistema envolvente compuesto por 13 piezas de lámina negra, calibre 22 de acero al carbón. Su objetivo primordial es proteger la estructura y evitar el mayor desgaste posible, también de proteger el cargamento que transporte.

La pieza “Lámina para asiento” es la única calibre 18 de acero al carbón, con base en el análisis FEM realizados. Se tomó la decisión de aumentar el calibre para evitar un desgaste prematuro debido al peso del operador (Cap. VII). Así mismo, se agregaron refuerzos a la lámina en forma de omega para aumentar su resistencia, Figura 6.5.

Cada pieza del sistema envolvente se propuso para ser sujeta con remaches, por lo cual, se hicieron los barrenos en la estructura y láminas para su sujeción. Además, se puede combinar con un pegamento especial para evitar filtraciones de agua y disminuir las vibraciones que pueda ocasionar.

El uso de remaches es por su bajo costo y a que se pueden quitar las piezas fácilmente en comparación con un soldado, que la pieza se debe desbastar en las uniones de las soldaduras, lo que conlleva un costo mayor. Sin embargo, si se elige la soldadura se propone una MIG (*Metal Inert Gas*) o TIG (*Tungsten-electrode Inert Gas*), aunque existe la posibilidad de utilizar soldadura de arco eléctrico con la

desventaja de perforar la lámina si no se aplica de manera adecuada debido a su calibre.

### C) SISTEMA DE DIRECCIÓN Y EJE POSTERIOR.

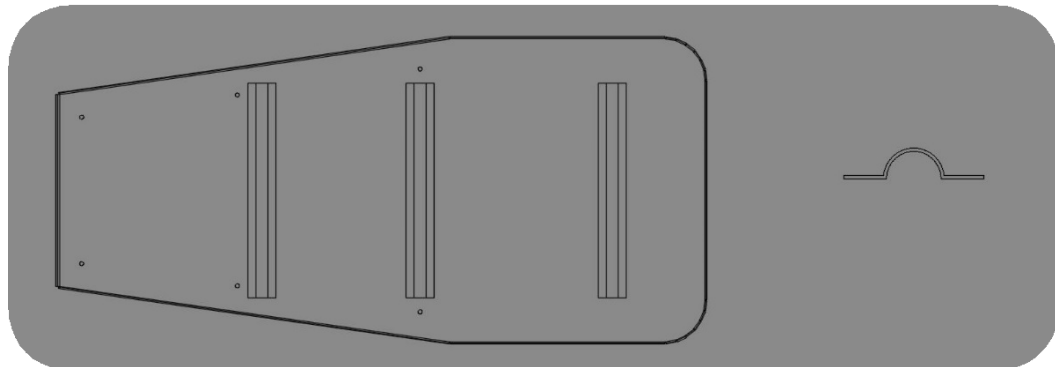


Figura 6.5 - Lámina con las omegas implementadas (Izquierda) y la omega para evitar el pandeo de la lámina del asiento (Derecha).

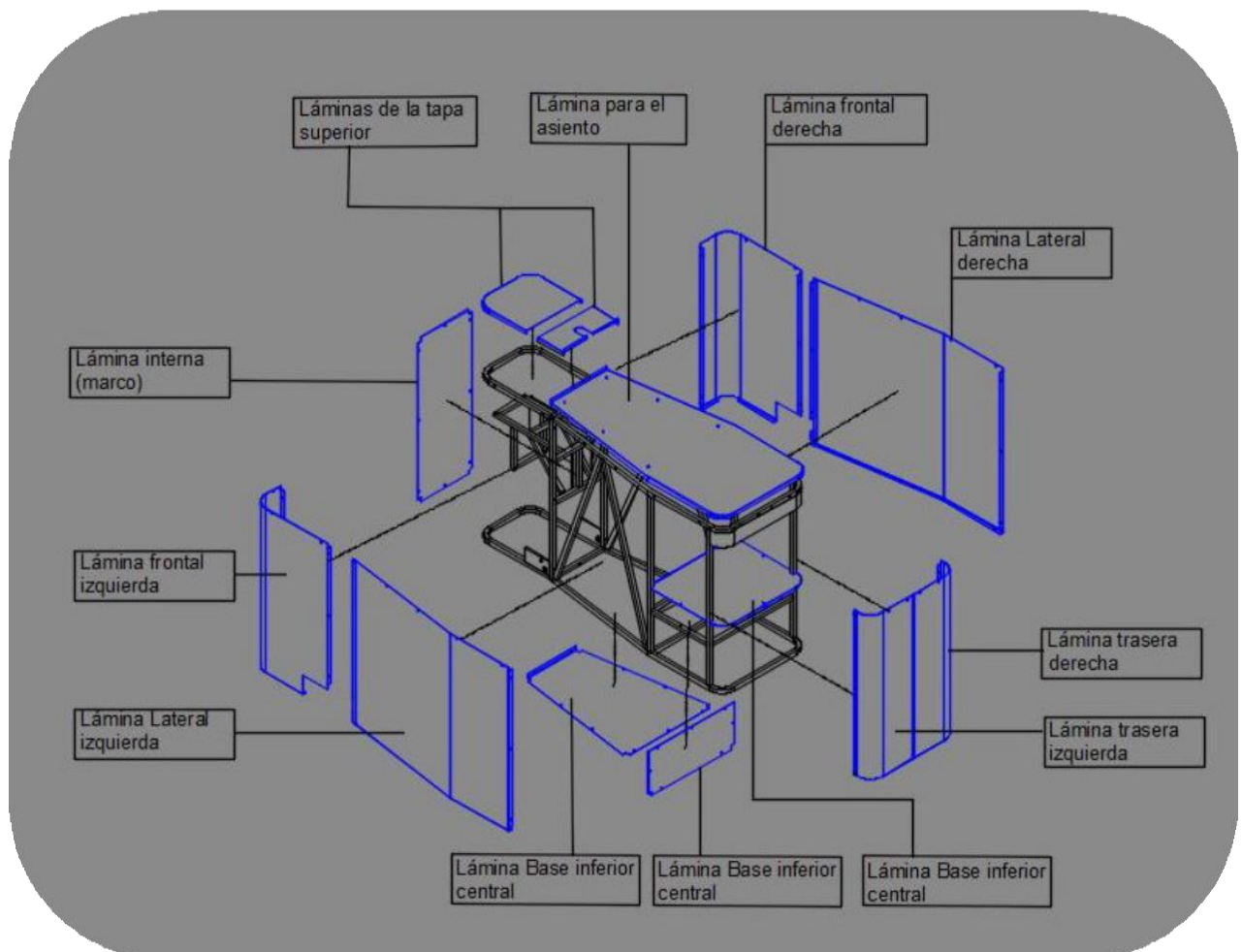


Figura 6.6 – Láminas que componen el sistema envolvente

El objetivo de la dirección es dar orientación que llevara el vehículo, por lo cual, se analizó el ángulo de lanzamiento y el radio de giro, de acuerdo con la información obtenida en las pruebas del VUMi2.

La dirección propuesta está conformada por las piezas básicas de una bicicleta de uso diario, es decir, cuenta con manubrio, telescopio, tazas, horquilla, eje y la rueda. El telescopio se diseñó similarmente al implementado en las bicicletas con las dimensiones de tubular circular de  $1 \frac{1}{4}$  [in], calibre 18 y con 16 [cm] de largo.

Con base en las pruebas de usuario para el prototipo VUMi2 se obtuvo una buena respuesta con el ángulo de lanzamiento de  $16^\circ$ , por lo que se implementó en el diseño del VUMi3.

Se aumentó la distancia entre ejes de 71 [cm] para el prototipo VUMi2 a 75.3 [cm] para el nuevo prototipo VUMi3. Este aumento nos proporcionó estabilidad en línea recta, sin embargo, podemos perder agilidad en curvas, por ello se buscó una horquilla con el offset mayor al VUMi2 (9 [mm]), logrando encontrar una horquilla con 35 [mm] de offset, manteniendo una relación de estabilidad y agilidad en el vehículo. Figura 6.7.

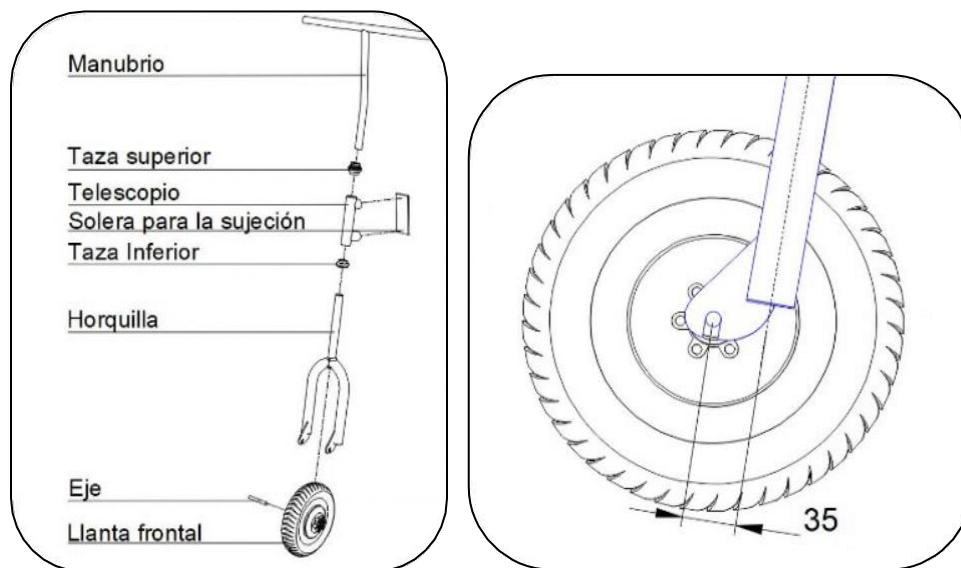


Figura 6.7 – Explosivo del sistema de dirección (Izquierda), offset de la horquilla de 35mm (derecha).

El radio de giro del vehículo se calculó por el principio de Ackerman, el cual enuncia que cuando un vehículo gira en una curva, los ejes de todas las ruedas deben concurrir en un punto CIR (Centro instantáneo de Rotación). [36] Una manera de representarlo es con el modelo de la Figura 6.8, suponiendo que la velocidad es la suficiente como para que no existan fuerzas centrífugas, así como la inclinación de vehículo y operador, manteniendo la trayectoria del radio de giro:

$$r_d = \frac{L}{\text{Sen } \delta} \dots\dots (I)$$

$$r_t = \frac{L}{\text{Tan } \delta} \dots\dots(II)$$

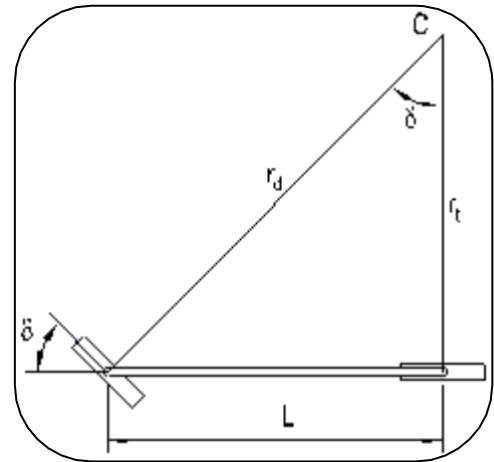


Figura 6.8 – Representación del radio de giro en un modelo de bicicleta.

En donde:

$r_d[m]$  es el radio de giro de la llanta delantera

$r_t[m]$  es el radio de giro de la llanta trasera

$L[m]$  Distancia entre ejes

$\delta$  Ángulo de dirección de la rueda delantera

Por otro lado, el ángulo de dirección de la rueda delantera se fijó en  $22^\circ$  (Figura 6.9). Se obtuvieron el máximo radio de giro del vehículo con respecto a los dos ejes delantero y trasero. Para un ángulo de dirección máximo ( $22^\circ$ ) el radio de giro es de  $1.86 [m]$  y para un ángulo de dirección mínimo ( $4^\circ$ ) de  $10.77 [m]$ .



Figura 6.9 – Ángulo de dirección del VUMi3

La altura del manubrio se diseñó con base en las medidas antropométricas de la población mexicana siendo entre 70-75 [cm] desde el reposapiés.

El eje posterior está conformado por la rueda, eje, caliper, soporte de caliper y la tijera. La tijera es la estructura que le brinda el soporte a la rueda y a la cual se sujetan los demás componentes, manufacturada con perfil tubular de 7/8, Cal. 18 para los dos brazos de cada tijera soldadas a las punteras. (Figura 6.10)

Sin embargo, se modificaron las punteras de la tijera debido a que la rueda se movía de su posición por lo que fue necesario modificarla y evitar el movimiento o presentaría un desgaste de la puntera o en el eje de la rueda poniendo en riesgo la seguridad del usuario (véase Capítulo VIII). Figura 6.11

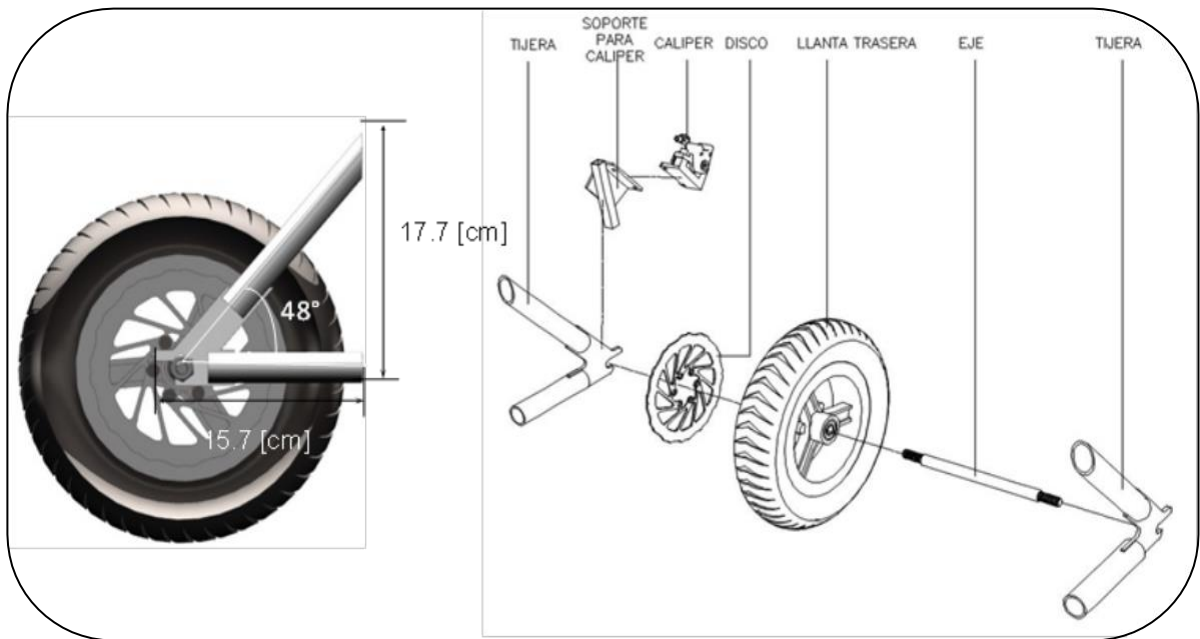


Figura 6.10 – Dimensiones de la tijera (Izquierda), Ensamble del eje posterior (Derecha).



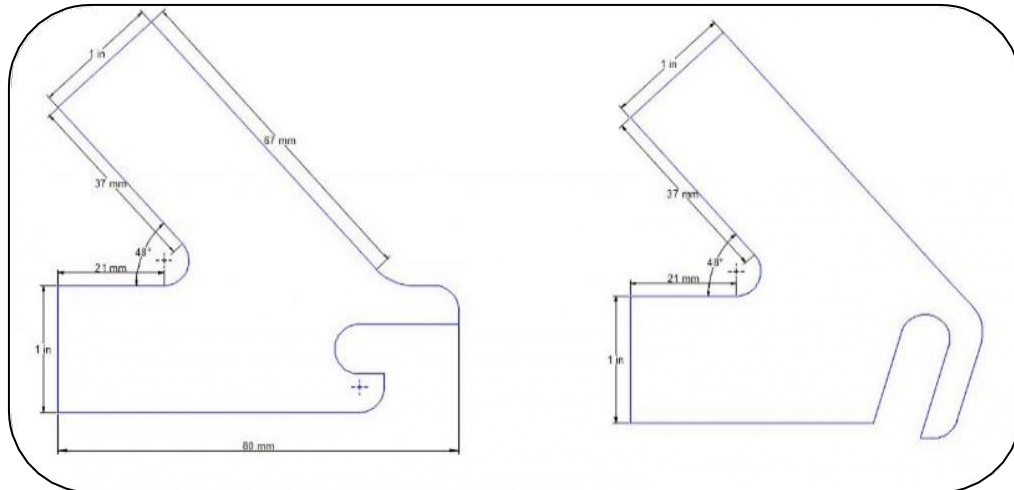


Figura 6.11 – Puntera inicial (izquierda), Modificación debido a pruebas con usuario (Derecha).

#### D) SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO.

El sistema eléctrico electrónico está constituido por la batería, el controlador, motor, acelerador, llave switch, GPS y elementos que por ley deben incorporarse para el libre tránsito como luz delantera blanca y trasera roja.

El motor, controlador, batería y acelerador son los utilizados en el prototipo VUMi2 (Cap. 3.5 Prototipo VUMi2). Sustentados con los análisis realizados para la potencia requerida del prototipo [19], [20], [21].

Adicionalmente, a estos componentes se agregaron la llave switch para darle seguridad al VUMi3 al cortar el paso corriente cuando lo estacionan. Una tira de leds roja y luces blancas, en base a la normativa de la CDMX para poder transitar, ubicadas en la parte trasera y delantera respectivamente.

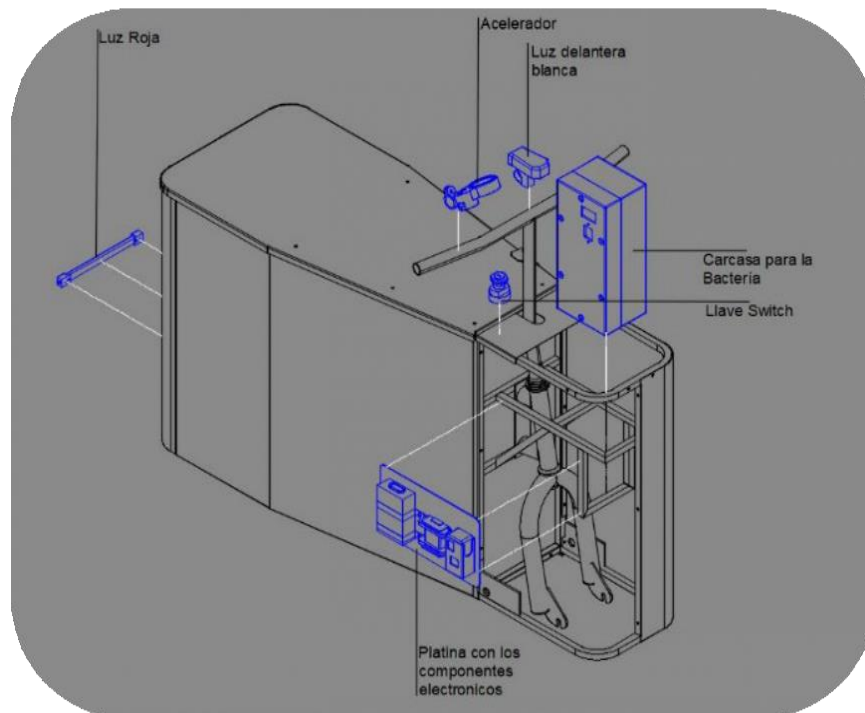
Se adiciono un sistema GPS para mantener monitoreado el vehículo a través de la red 4G, el registro de datos en la nube y por mensaje de texto.

Además, se diseñó una carcasa para la batería y GPS manufacturada de ácido poliláctico (PLA). A través de la tecnología de Modelado por Deposición de Material. Las razones por las cuales se seleccionó dicho material y proceso de

manufactura se debieron a la libertad de forma que se tuvo a través de crear un modelo 3D en un programa de CAD para posteriormente construir la pieza. [37] Adicionalmente, se realizó el diseño de una platina de 75 X 250 [mm] de acero al carbón calibre 20 para sujetar los componentes electrónicos fijada a un costado del soporte para batería.

La luz blanca se ubicó en el manillar junto al acelerador, la luz roja a ubicada en la parte trasera del VUMi3, aunque la tira de leds tiene pegamento 3M se le añadieron dos bases de PLA para mantenerla fija.

El Switch se ubicó en una de las láminas de la tapa superior. (Figura 6.12)



*Figura 6.12 – Ubicación de los componentes del sistema electrónico.*

## **E) SISTEMA DE SOPORTE PARA EL USUARIO.**

La función principal del sistema de Soporte para el usuario es darle la comodidad y seguridad al usuario. Por lo cual, se buscaron los componentes necesarios, siendo los puños de manillar, los reposapiés, asiento y caballete los esenciales.

Los puños de manillar son productos comerciales de aluminio y espuma permitiendo un cómodo agarre sobre el manillar (Figura 6.13).

De los reposapiés ubicados a una altura entre 15 y 20 [cm] desde el suelo, se obtuvo buena respuesta en las pruebas de usuario.



*Figura 6.13 – Reposapiés para VUMi3 [38] (Derecha), Puños de manillar para VUMi3[39] (izquierda)*

El asiento se hizo con una base de madera y con un relleno de espuma recubierta con vinil. La geometría se realizó a partir de las pruebas hechas con el VUMi2, el usuario reportó incomodidad debido a su diseño cuadrado, sin embargo, para este nuevo prototipo el asiento con forma de trapecio no presentó incomodidad en las piernas del usuario, además permite la incorporación de paquetes extra en la parte superior trasera del VUMi3.

El asiento se sujetó sobre la lámina para el asiento, lo que hace que ambos componentes cumplan dos funciones, de puerta de acceso a paquetes y asiento de usuario.

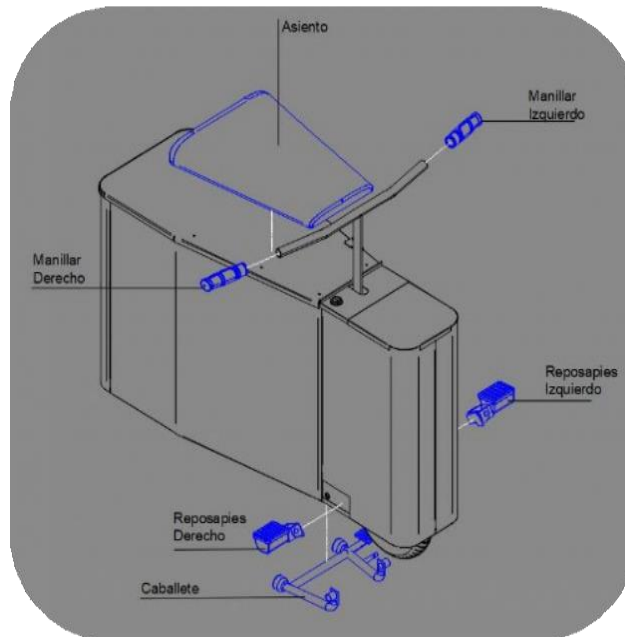


Figura 6.14 – Ubicación de los componentes del sistema de soporte para usuario.

El caballete se diseñó a partir de observaciones de mecanismos utilizados en motocicletas y motonetas. Se descartó el utilizado comúnmente en bicicletas el cual es un brazo articulado que permite mantener estática a la bicicleta con una leve inclinación debido al peso que se maneja con los VUMi's (20 – 40 [Kgs]) o simplemente su diseño no permitió ensamblarse en el VUMi3, por lo que una opción fue la modificación y adaptación de un caballete para motocicleta *Italika* DS125 (Figura 6.15).



Figura 6.15 – Soporte trasero para bicicleta [40] (Izquierda), parador central para motocicleta *Italika* DS150 [41] (Derecha).

Se sujetó en las soleras para los reposapiés mediante bujes y tornillos, así mismo se agregó un resorte que permita estar sujeto debajo el VUMi3 sin que se despliegue solo o por la vibración del vehículo.

## F) SISTEMA DE ACCESO.

Al vehículo se le implemento una puerta de acceso a paquetería, el cual funge como asiento para el usuario una puerta de acceso a la batería y por último el acceso a los componentes electrónicos.

La puerta de acceso a paquetes tiene un grillete para candado del lado izquierdo, manteniendo los paquetes seguros. Además, la puerta tiene una apertura de máximo 90° limitada por un pistón de 60 [N] en la parte trasera.

El acceso a la batería se realiza por la parte superior delantera teniendo una puerta que permite el acceso a la batería y el cableado del vehículo. Se le implemento una cerradura para que no cualquier persona pueda manipular los componentes, si no el personal capacitado.

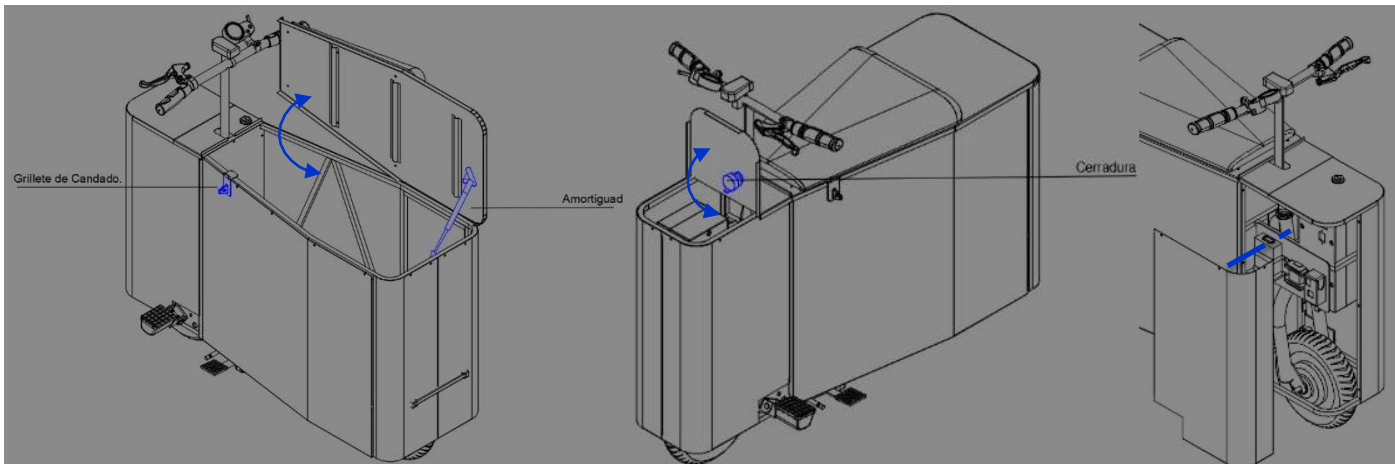


Figura 6.16 – Sistema de acceso (de izquierda a derecha), puerta de acceso a paquetería, puerta para el acceso a la batería y el acceso a los componentes electrónicos y sistema de dirección.

Así mismo, la lámina frontal derecha es la que permite el acceso a los componentes electrónicos y al sistema de dirección. Esta lámina se propone colocarla con tornillos o pijas para el fácil retiro.

Por último, la Tabla 6.2 contiene los sistemas y su correspondiente masa aproximada:

<b>Sistema</b>	<b>Masa [Kg]</b>	<b>Peso [N]</b>
<b><i>Estructural (Con soporte de batería)</i></b>	6.3	61.8
<b><i>Envolvente</i></b>	15	147.2
<b><i>Dirección y eje posterior</i></b>	15	147.2
<b><i>Eléctrico</i></b>	3.2	31.4
<b><i>Soporte para usuario</i></b>	4	39.2
<b>TOTAL</b>	43.5	426.8

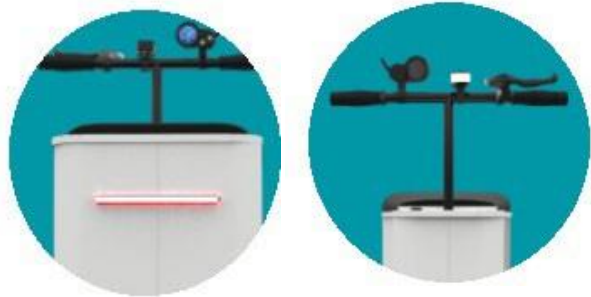
*Tabla 6.2 - Estimación de los pesos de cada sistema*

## 6.4 MODELO SÓLIDO DEL ENSAMBLE ESTRUCTURAL.

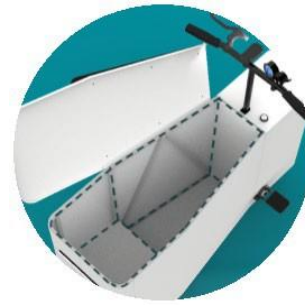
Se presentó al colaborador como se vería el prototipo con sus respectivas características, para que diera su punto de vista.

### **CARACTERÍSTICAS.**

- Estructura y envolvente de acero
- Acelerador de gatillo
- Freno de disco de gatillo
- Llave switch
- Asiento forrado de tela
  
- Luz led blanca delantera
- Luz led roja trasera
  
- Llanta neumática con rodada de 10 in
- Tracción delantera
- Reposapiés
- Caballete



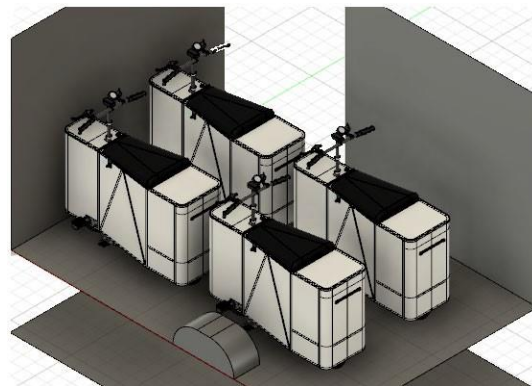
- Apertura lateral para paquetes
- Volumen de carga de 0.1 [m<sup>3</sup>]



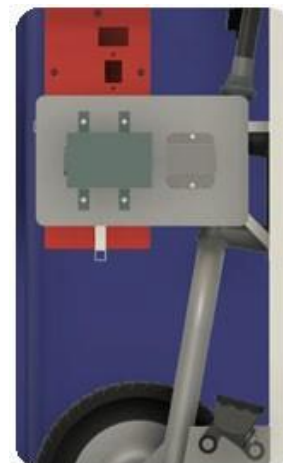
- Apertura frontal para mantenimiento



- Masa aproximada de 43 [Kg]
- 3 – 4 VUMi3 por camioneta



- Batería eléctrica recargable e intercambiable
- Autonomía 12 [Km], equivalente a 1 h 30 [min]
- GPS envía alertas mediante SMS o MAIL





- Espacio disponible para poner mochila o paquetes en la parte trasera/superior.



- Capacidad de un usuario.
- Vehículo para personas de estatura promedio (1.70 [m])



*Tabla 6.3 – Características que tendría el VUMi3*

## CAPÍTULO 7. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL VUMi3.

Como parte del proceso de diseño, una vez realizado el diseño CAD se plantearon posibles situaciones a las que se enfrentaría el VUMi3:

1. El comportamiento del vehículo debido a las solicitaciones en estado estático.
2. Simulación de un choque frontal del vehículo a una velocidad de 25 [Km/hr].

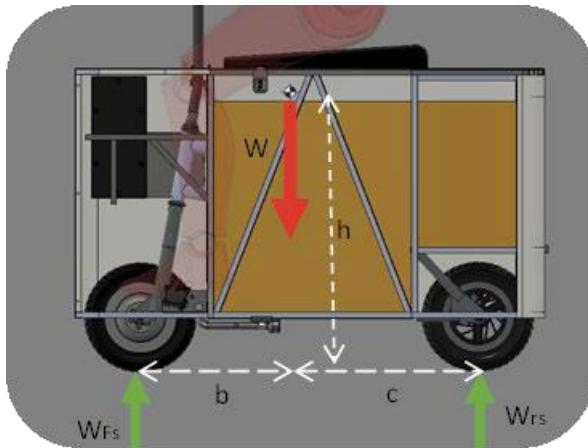


Figura 7.1 – Diagrama de cuerpo libre del VUMi3.

Para los siguientes análisis se consideró una persona de 100 [Kg], 35 [kg] aproximadamente de la paquetería y una masa de 43.5 [Kg] del VUMi3, sumando 178.5 [Kg] del vehículo. En la Figura 7.1 se observa la ubicación del centro de gravedad (CG es Punto en el cual es ejercida fuerza resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre el cuerpo).

Para un vehículo que permanece estático a nivel de suelo, las ecuaciones de carga se consideran:

$$W_{Fs} = W \frac{c}{L} \quad (7.1)$$

$$W_{rs} = W \frac{b}{L} \quad (7.2)$$

En donde:

$W_{Fs}$  [N] y  $W_{rs}$  [N], son los pesos en la parte frontal y trasera, respectivamente.

$W$  [N], es el peso total.

$L$  [m], es la distancia entre ejes.

$b$  [m], es la distancia del eje delantero hacia el CG.

$c$  [m], la distancia entre el eje trasero hacia el CG.

Los datos obtenidos para este prototipo fueron los siguientes:

Descripción	Símbolo	Medición	Unidades
Masa del VUMi3.	m	43.5	Kg
Carga (Paquetes)	m	35	Kg
Operador.	m	100	Kg
Distancia entre ejes.	<b>L</b>	<b>0.75</b>	m
Distancia horizontal del eje delantero al CG.	<b>b</b>	<b>0.34</b>	m
Distancia horizontal del eje trasero al CG.	<b>c</b>	<b>0.41</b>	m
Altura del nivel del suelo al CG.	h	0.65	m
Gravedad.	g	9.81	$m/s^2$
Velocidad máxima	$V_0$	25	$Km/hr$
Coefficiente de rozamiento en el pavimento seco.[42]	$\mu$	0.8	-

Tabla 7.1 – Especificación parciales del VUMi3

## A) ANÁLISIS ESTÁTICO.

Debido a que el CG no está ubicada a la mitad de la distancia entre los ejes, la distribución de carga no es igual en los apoyos. Se observa que la carga en el eje delantero es de 957.3 [N] (97.58 [Kg]) y en el eje trasero de 793.83 [N] (80.92 [Kg]).

Carga sobre el eje delantero	Carga sobre el eje trasero
$W_{FS} = W \frac{c}{L}$	$W_{rs} = W \frac{b}{L}$
<b><math>W_{FS} = 957.3 N</math></b>	<b><math>W_{rs} = 793.83 N</math></b>

Tabla 7.2 – Distribución de cargas en el vehículo.

## B) ANÁLISIS DINÁMICO (DESACELERACIÓN).

En el caso dinámico, en el cual el VUMi3 se enfrenta a desaceleración brusca y se llega a un paro total. De acuerdo con las motocicletas *Italika* para una velocidad de 30 [Km/hr] la distancia de frenado en pavimento seco es de 11 metros [43], suponiendo que las condiciones son óptimas, es decir, los neumáticos y frenos están en buenas condiciones.

Una motocicleta itálica tiene una masa aproximada de 113 [kg] mientras que el VUMi3 tiene una masa de 41.2 [Kg]. Es decir, más del doble de la masa. Por lo que, el prototipo se pondrá a prueba en las condiciones similares a una motocicleta, en cuanto a frenado se refiere.

Para el prototipo VUMi3 se tomó una distancia de frenado de 5 metros para una velocidad máxima de 25 [Km/hr].

En una desaceleración se presentan dos fuerzas como consecuencia: fuerzas de carga dinámica y fuerzas de rozamiento.

Las fuerzas de carga dinámica se refieren a la fuerza verticales repartida en cada eje. Las fuerzas de rozamiento se presentan horizontales, tangenciales a los neumáticos. (Véase la Figura 7.2)

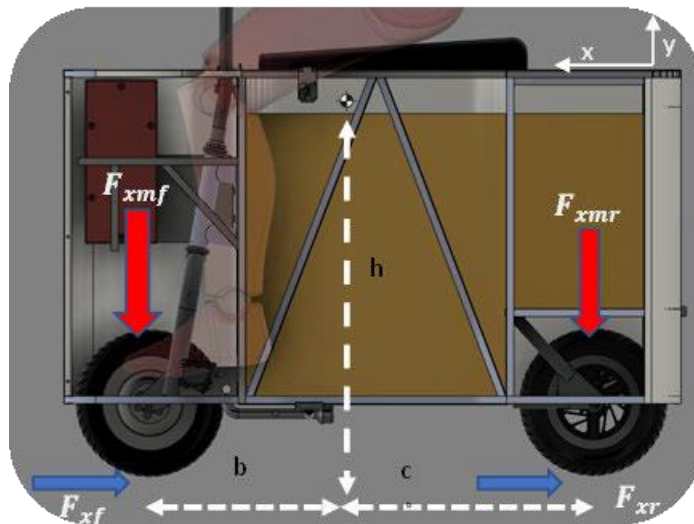


Figura 7.2 – Fuerzas debido a la desaceleración.

La ecuación básica para la desaceleración es obtenida de la segunda ley de Newton, donde las fuerzas son con respecto a la dirección x en un plano x-y [44].

$$M a_x = -\frac{W}{g} D_x = -F_{xf} - F_{xr} - D_A - W \sin \theta \quad (7.3)$$

Donde:

W, es el peso del vehículo

g, es la aceleración gravitacional.

$D_x = -a_x$ , es la desaceleración lineal.

$F_{xf}$ , Fuerza de frenado en eje frontal.

$F_{xr}$ , Fuerza de frenado en el eje trasero.

$D_A$ , arrastre aerodinámico.

$\theta$ , Grados en la pendiente.

*(En este caso de estudio el arrastre aerodinámico no se tomó en cuenta y se realizó sin ninguna pendiente.)*

Por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$M a_x = -\frac{W}{g} D_x = -F_{xf} - F_{xr} \quad (7.4)$$

Además, la desaceleración se considera constante por lo que:

$$D_x = \frac{F_{xt}}{M} = -\frac{dV}{dt} \quad (7.5)$$

Donde:

$F_{xt}$ , la fuerza total de frenado longitudinal.

M, masa total.

E integrando la ecuación (7.5) de una velocidad inicial a una final:

$$\int_{V_0}^{V_f} dV = -\frac{F_{xt}}{M} \int_0^{t_s} dt \quad (7.6)$$

Donde:

$$V_0 - V_f = \frac{F_{xt}}{M} t_s \quad (7.7)$$

Ts, es tiempo para el cambio de velocidad, entonces:

$$t_s = \frac{V_0 - V_f}{\frac{F_{xt}}{M}} \quad (7.8)$$

También la velocidad y distancia están relacionadas por  $V = \frac{dx}{dt}$ , sustituyendo en la ecuación (7.5) e integrando se obtiene una relación entre velocidad y distancia:

$$\frac{V_0^2 - V_f^2}{2} = \frac{F_{xt}}{M} X \quad (7.9)$$

Donde X, es la distancia durante la desaceleración.

Así mismo, para el caso de una desaceleración en paro total la velocidad es cero y X es la distancia de paro total (SD):

$$SD = \frac{V_0^2}{2 \frac{F_{xt}}{M}} = \frac{V_0^2}{2D_x} \quad (7.10)$$

Por lo que, el tiempo de paro es:

$$t_s = \frac{V_0}{\frac{F_{xt}}{M}} = \frac{V_0}{D_x} \quad (7.11)$$

De acuerdo con la ecuación (7.4) las fuerzas de rozamiento en cada eje se pueden representar como una fuerza total. Por lo que:

$$\frac{W}{g} D_x = F_{xt} \quad (7.12)$$

Así mismo, hay una relación entre las fuerzas de carga dinámicas y las fuerzas de rozamiento representada como:

$$\xi = \frac{F_{xt}}{F_{xmt}} \quad (7.13)$$

Donde  $F_{xmt}$ , es la fuerza de carga dinámica.

Por lo que, la ecuación (7.4) puede ser representada como:

$$\frac{W}{g} D_x = F_{xf} + F_{xr} = \xi(F_{xmf} + F_{xmr}) \quad (7.14)$$

Por lo que, la ecuación (7.14) queda de la siguiente manera:

$$\xi = \frac{F_{xf} + F_{xr}}{F_{xmf} + F_{xmr}} \quad (7.15)$$

Para las fuerzas de carga dinámica:

$$F_{xmf} = \mu \left( W_{fs} + \frac{h}{L} \cdot \frac{W}{g} D_x \right) \quad (7.16)$$

$$F_{xmr} = \mu \left( W_{rs} - \frac{h}{L} \cdot \frac{W}{g} D_x \right) \quad (7.17)$$

Donde:  $\mu$ , es el coeficiente de fricción.

El VUMi3 tiene una velocidad máxima de 25 [Km/hr] y se pretende hacer un alto total para una distancia de frenado de 5 [m].

$v_0 = 6.94 \left[ \frac{m}{s} \right]$	Velocidad máxima (inicial)
$v_f = 0 \left[ \frac{m}{s} \right]$	Velocidad final.
$X = 5 \left[ m \right]$	Distancia de frenado

I. Fuerza de rozamiento total.

$$F_{xt} = \frac{m}{X} \cdot \frac{V_0^2 - V_f^2}{2} = \frac{178.5 [Kg]}{5 [m]} \cdot \frac{\left( 6.94 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2}{2}$$

$$F_{xt} = 859.72 [N]$$

II. Desaceleración.

$$D_x = \frac{F_{xt}}{m} = \frac{859.72 [N]}{178.5 [Kg]}$$

$$D_x = 4.82 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

III. Tiempo de frenado.

$$t_s = \frac{V_0}{\frac{F_{xt}}{M}} = \frac{V_0}{D_x} = \frac{6.94 \left[ \frac{m}{s} \right]}{4.82 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}$$

$$t_s = 1.44 [s]$$

IV. Reparto de fuerzas de carga dinámica.

$$F_{xmf} = \mu \left( W_{fs} + \frac{h}{L} \cdot \frac{W}{g} D_x \right) = (0.8) \cdot \left( (957.3 [N]) + \frac{0.65 [m]}{0.75 [m]} \cdot \frac{1751.1 [N]}{9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \cdot (4.82 \left[ \frac{m}{s^2} \right]) \right)$$

$$F_{xmf} = 1362 [N]$$

$$F_{xmr} = \mu \left( W_{rs} - \frac{h}{L} \cdot \frac{W}{g} D_x \right) = (0.8) \cdot \left( (793.83 [N]) - \frac{0.65 [m]}{0.75 [m]} \cdot \frac{1751.1 [N]}{9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \cdot (4.82 \left[ \frac{m}{s^2} \right]) \right)$$

$$F_{xmr} = 39 [N]$$

V. Reparto de fuerzas de rozamiento.

$$\xi = \frac{F_{xf} + F_{xr}}{F_{xmf} + F_{xmr}} = \frac{F_{xt}}{F_{xmt}} = \frac{859.72 [N]}{1401 [N]}$$

$$\xi = 0.614$$

$$\xi = \frac{F_{xf}}{F_{xmf}} = \frac{F_{xr}}{F_{xmr}}$$



Para el eje frontal:

$$F_{xf} = \xi(F_{xmf}) = (0.614) \cdot (1362[N]) = \mathbf{835.8[N]}$$

Para el eje trasero:

$$F_{xr} = \xi(F_{xmr}) = (0.614) \cdot (39[N]) = \mathbf{24[N]}$$

## 7.1 ANÁLISIS ESTÁTICO.

Antes de iniciar el análisis de la estructura, se hizo la evaluación del calibre de la lámina para el asiento y la justificación del aumento del calibre. Para este caso en particular se tomó el peso de una persona de 100 [Kg] (981 [N]) y la región donde se concentra el peso del operador (Figura 7.1). Además, solo se usaron los componentes necesarios para el análisis.

### 7.1.1 ANÁLISIS MEF EN LA LÁMINA PARA ASIENTO.

Se realizó la comparación de 3 análisis estáticos de la lámina para verificar que calibre es el adecuado. Se utilizará solo la lámina como objeto de estudio y parte de la estructura superior se analizará como un cuerpo rígido, es decir, que no presentará deformación alguna.

Por lo que, los análisis quedan de la siguiente manera:

1. Un análisis para una lámina calibre 22.
2. Un análisis para una lámina calibre 18.
3. Un análisis para una lámina calibre 18 agregando 3 omegas.

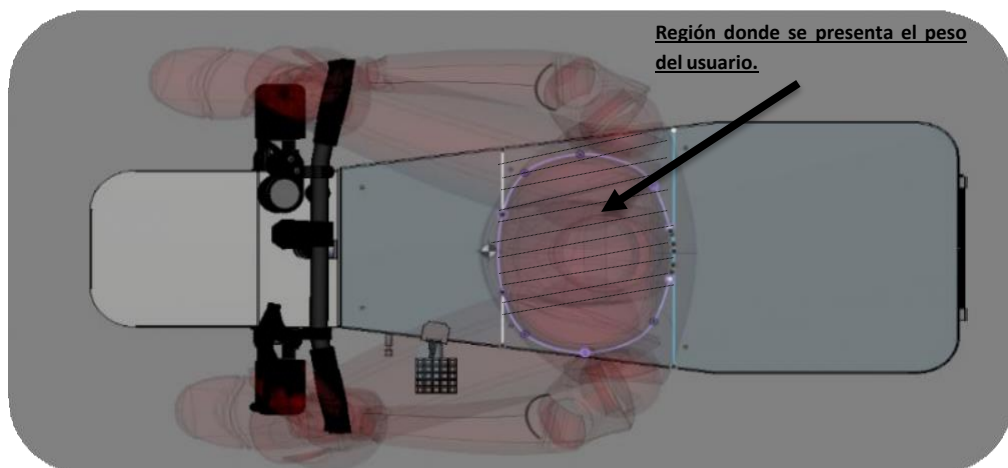


Figura 7.1 – Región donde se someterá la lámina al peso del usuario.

## 1) LÁMINA DE ACERO CALIBRE 22.

De acuerdo con el análisis se observó que el peso en la lámina es suficiente para que se deforme permanentemente. Se obtuvo un factor de seguridad de 0.37 para un esfuerzo de 560 [MPa].

Se tiene un desplazamiento en el centro donde se concentra el peso del usuario de 14.8 [mm]. Por lo que, concluimos que este calibre no será el adecuado para el diseño.

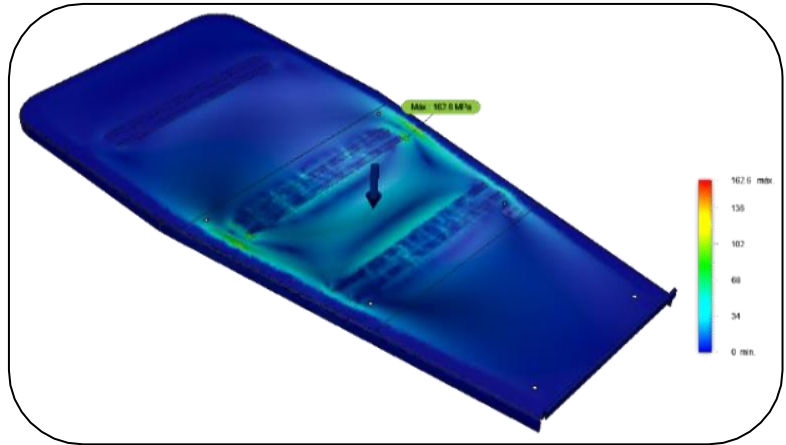


Figura 7.2 – MEF de la Lámina para asiento calibre 22.

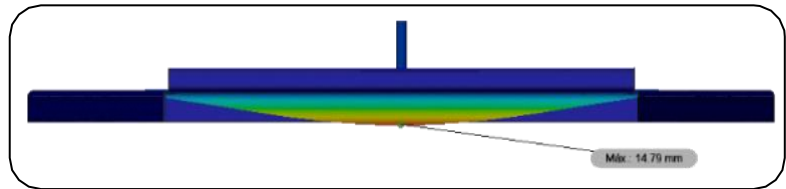


Figura 7.3 – Vista lateral derecha de la lámina calibre 22.

## 2) LÁMINA DE ACERO CALIBRE 18.

Para el segundo análisis se usó lámina calibre 18 y se observa su comportamiento en las mismas condiciones. Se obtuvo un esfuerzo de 316 [MPa].

Para un correspondiente factor de seguridad de **0.65**.

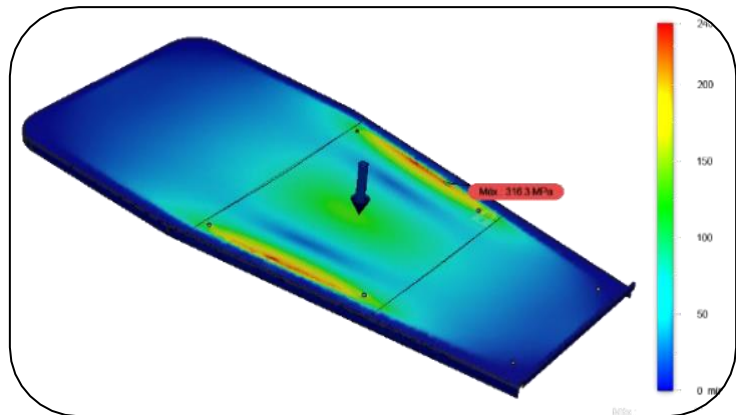


Figura 7.4 – Análisis MEF de la lámina para asiento calibre 18.

El factor de seguridad es mayor al anterior pero no cumple con las condiciones para ser usado en las pruebas físicas. Su desplazamiento fue de **4.88 [mm]**.

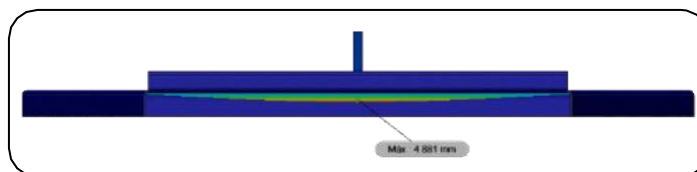


Figura 7.5 – Vista lateral derecha de la lámina Calibre 18

Además, por el calibre se aumentó el peso, de 1.6 [Kg] para una lámina de calibre 22 a 2.5 [Kg] para una lámina de calibre 18.

Para este punto del diseño del VUMi3, el rendimiento del motor dependería del peso aplicado a la estructura, además si se aumenta el calibre se aumenta el costo del material. Por lo que, se usaron omegas como refuerzos.

### 3) LÁMINA DE ACERO CALIBRE 18 CON OMEGAS DE REFUERZO.

Se agregaron omegas de refuerzo para la lámina, se obtuvo un factor de seguridad de 1.1 para un esfuerzo de 187.2 [MPa]. En cuanto a los desplazamientos, se obtuvo 0.617 [mm], mucho menor a las propuestas anteriores.

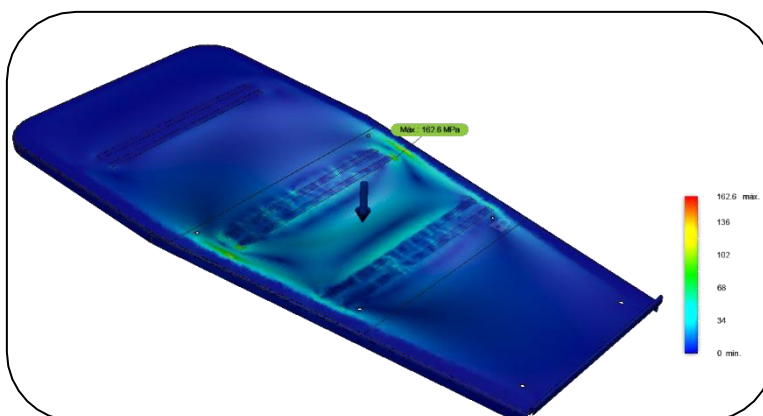


Figura 7.6 - Análisis MEF de la lámina para asiento calibre 18 con omegas de refuerzo

Por lo tanto, esta propuesta es la indicada y la que se utilizará para las pruebas posteriores.

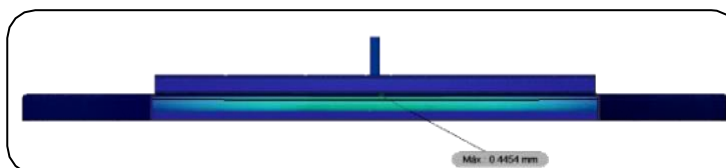


Figura 7.7 – Vista lateral derecha de la lámina Calibre 18 con omegas de refuerzo.

### 7.1.2 ANÁLISIS MEF DE LA ESTRUCTURA.

Para los análisis de la estructura se tomó como referencia 3 calibres (grosor de la pared del perfil) distintos para hacer una comparación y elegir el adecuado en el vehículo.

En estos análisis estáticos se tomaron las cargas aplicadas al VUMi2 (Cap. 4.3.1), usuario de 100 [kg] y paquetes 35 [Kg]. Al igual que el VUMi2, se planteó la simulación con las láminas en las cuales están ubicadas las cargas, sin embargo, solo el chasis será objeto de estudio. (Figura 7.8).

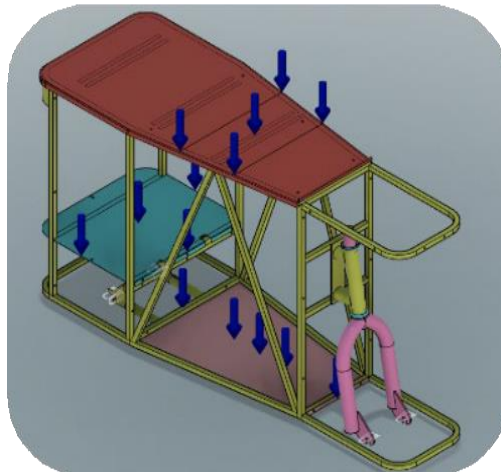


Figura 7.8 – Ubicación de las cargas en el vehículo

### 7.1.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE CALIBRES.

Para contar con la seguridad de la elección del calibre del perfil, se realizó un análisis MEF de la estructura con diferentes calibres (16,18, 20) y con base en esto, elegir el adecuado.

En la siguiente tabla se presentan las características de los calibres utilizados para el perfil tubular cuadrado para las simulaciones:

Descripción	Dimensión	Calibre(in)	Kg / m	Peso (Kg) por tramo de 6 m
<b>Tubular cuadrado</b>	½	16 (0.0598 in) (1.52 mm)	0.53	3.30
<b>Tubular cuadrado</b>	½	18 (0.0478 in) (1.21 mm)	0.44	2.64
<b>Tubular cuadrado</b>	½	20 (0.0359 in) (0.91 mm)	0.34	2.04

Tabla 7.2 – Especificaciones de los diferentes calibres del perfil tubular cuadrado. [35]

Bajo las mismas condiciones de carga tomadas para el VUMi3 se obtuvieron los resultados siguientes:

Calibre	Factor de Seguridad	Esfuerzo máximo	Desplazamiento	Masa
<b>16</b>	2.5	98.72 MPa	0.2636 mm	13.856 kg
<b>18</b>	2.2	112.2 MPa	0.3403 mm	12.691 kg
<b>20</b>	1.9	130 MPa	0.3411 mm	11.453 kg

Tabla 7.3 – Resultados de los análisis estáticos para diferentes calibres.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 7.3, el perfil de calibre 16 resultó obtener un factor de seguridad alto, con un desplazamiento bajo en comparación con los otros calibres, sin embargo, en cuanto a la masa, aumenta un kilogramo con respecto al calibre 18 y 2 [kg] aprox. Con respecto al calibre 20.

Por otro lado, en los tres casos el factor de seguridad se presentó en la puntera trasera, zona que será la más desgastada que cualquier otra parte. Para el calibre 16, el factor de seguridad es muy alto, sin embargo, se tendrá un mayor peso de la estructura y aumentará el costo del material.

Para el caso del calibre 20 los resultados son los óptimos, se tiene un factor de seguridad de 1.9, y el peso de la estructura sería la mínima, sin embargo, por cuestiones de manufactura, no se elegirá. Es decir, para poder soldar los perfiles delgados se debe tener cuidado para no deformar el material. Por lo tanto, para evitar problemas de soldadura, se opta por el calibre 18, aunque tenemos aproximadamente un kilogramo más que el calibre 20, el factor de seguridad es un valor aceptado. También es un material no muy delgado que soporta la soldadura convencional (de Herrero).

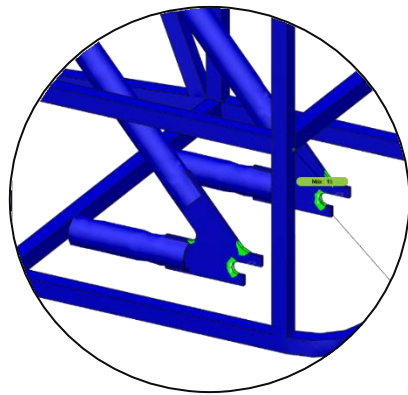


Figura 7.9 – Mínimo factor de seguridad en calibre 16

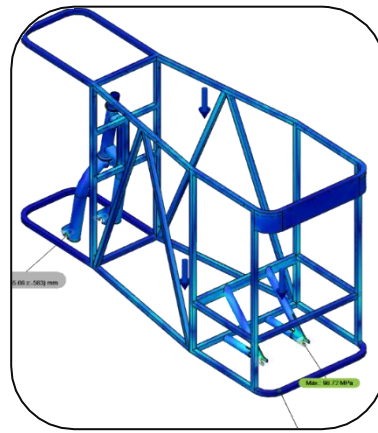


Figura 7.10 – Esfuerzo máximo en calibre 16

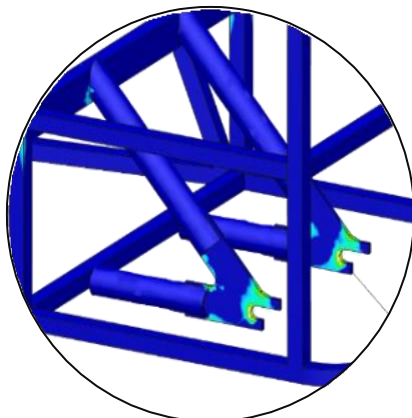


Figura 7.11 – Mínimo factor de seguridad en calibre 20

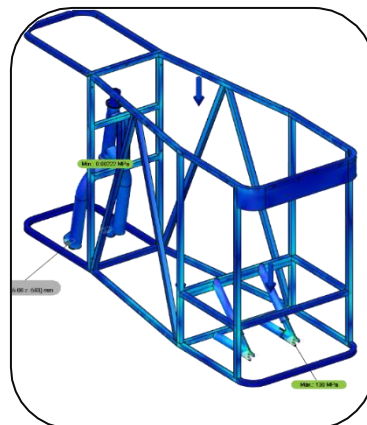


Figura 7.12 – Esfuerzo máximo en calibre 20

En la Figura 7.13 se observa los desplazamientos totales en la estructura, se tienen los mayores en la parte media del vehículo para los 3 análisis.

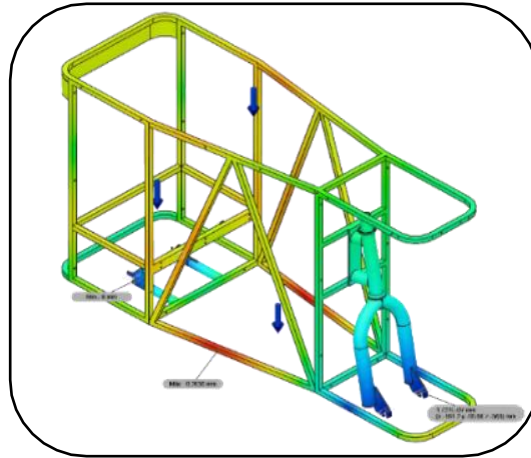


Figura 7.13 – Desplazamientos VUMi3

Para el caso del calibre 18 con el cual se manufacturará el prototipo en la Figura 7.14, se observa el esfuerzo máximo de 112.2 [MPa], para un respectivo factor de seguridad de 2.2 Además, se muestra que los esfuerzos se llegan a concentrar en las uniones de perfiles, tanto en la zona de la dirección como en la tijera trasera. También, en la tijera trasera se ubica el máximo esfuerzo, en la región donde el eje de la rueda trasera está en contacto con la tijera (Figura 7.15). Realmente este dato

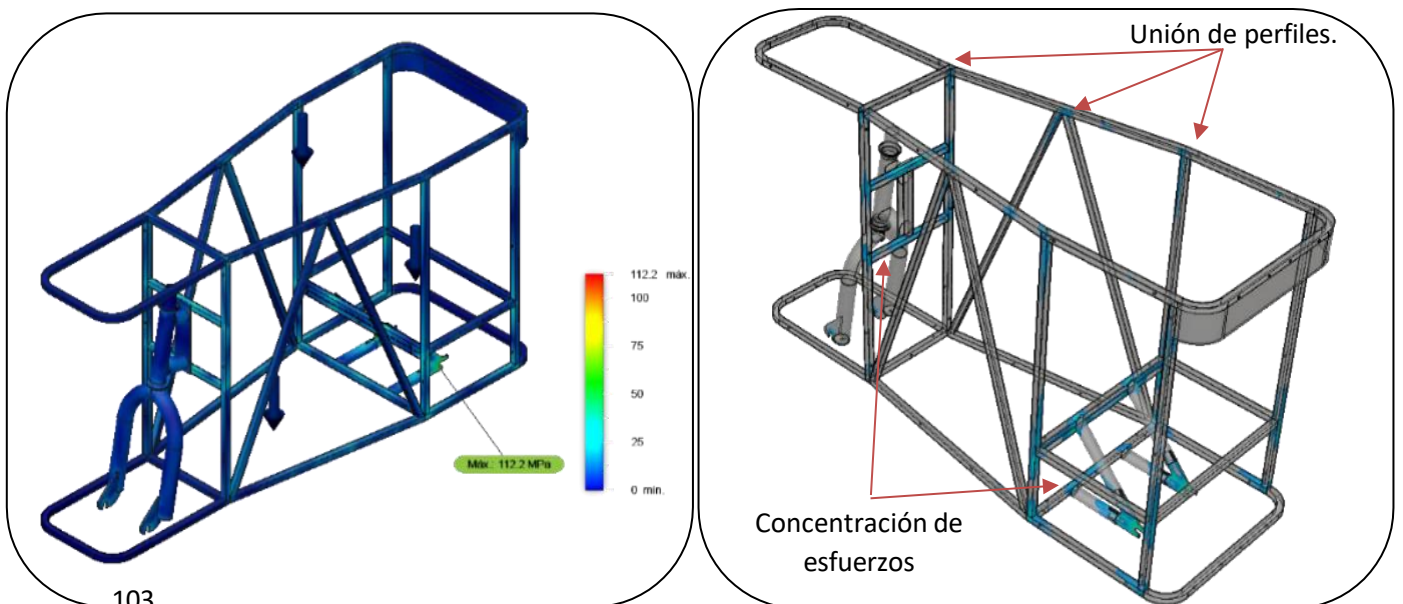


Figura 7.14 – MEF de la estructura del VUMi3 (Izquierda), estructura con umbral de esfuerzos de entre 10-55 MPa (Derecha).



nos predice la región de falla, antes que todo lo demás, referente a la estructura ya que las láminas tienen un factor más bajo.

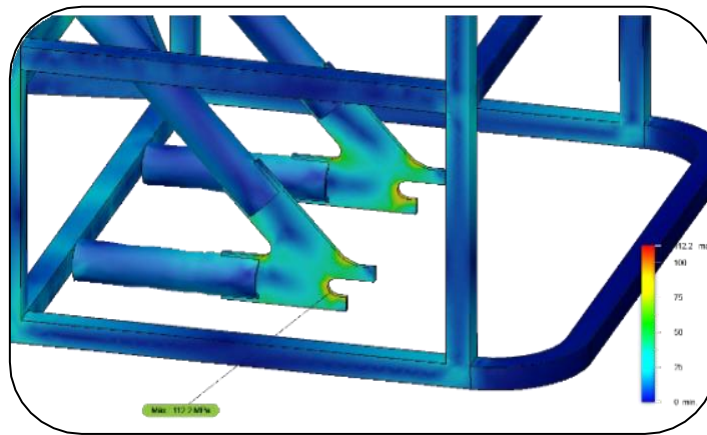
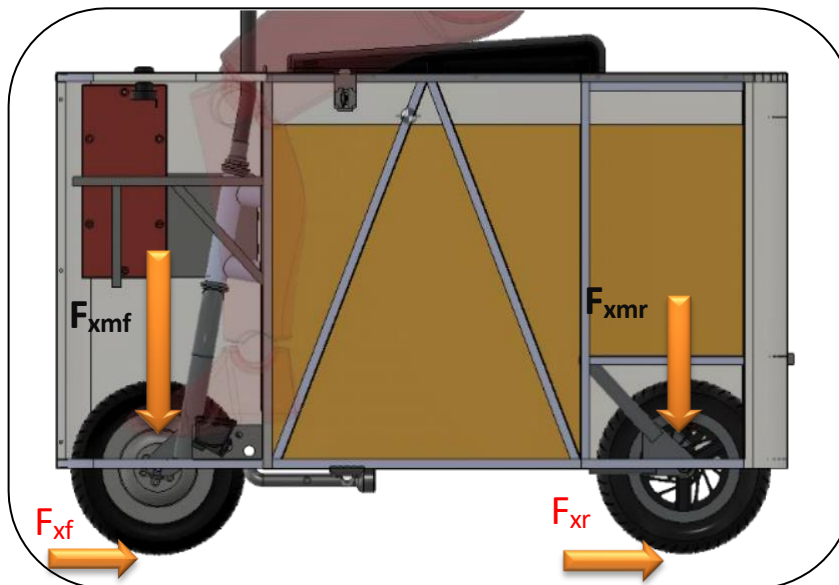


Figura 7.15 – Esfuerzo Máximo en la tijera trasera.

Lo siguiente fue realizar un análisis de dirección y la tijera frontal para una desaceleración, con las ecuaciones obtenidas anteriormente. En la figura 7.16 se observan las fuerzas generadas en la desaceleración. Además, en las tablas se observan las fuerzas a las que se someten. Así mismo, se hará la simulación por MEF para ver su comportamiento.



Dirección	Carga [N]
$F_{xf}$	812.38
$F_{xmf}$	1323.73

Tijera trasera	Carga [N]
$F_{xr}$	23.26
$F_{xmr}$	37.9

Figura 7.16 – Fuerzas generadas en la desaceleración.

Para este caso de estudio donde se tiene una distancia de frenado de 5 [m] se tienen las fuerzas generadas ilustradas en la figura 7.16 con sus valores correspondientes. Para la simulación de la dirección se toma parte de la estructura y se observa el comportamiento con respecto a las fuerzas de frenado.

En la figura 7.17 – A, se observa como parte de la estructura se ve afectado por las fuerzas de frenado, se tiene un factor de seguridad de 0.25, se ubica en la unión del tubo y la puntera izquierda. Para la tijera trasera Figura 7.17 – B, se observa que hay esfuerzos menores a 22 [MPa]. Además, nos indica la región donde probablemente habrá desgaste, por lo que se corroborará en las pruebas físicas.

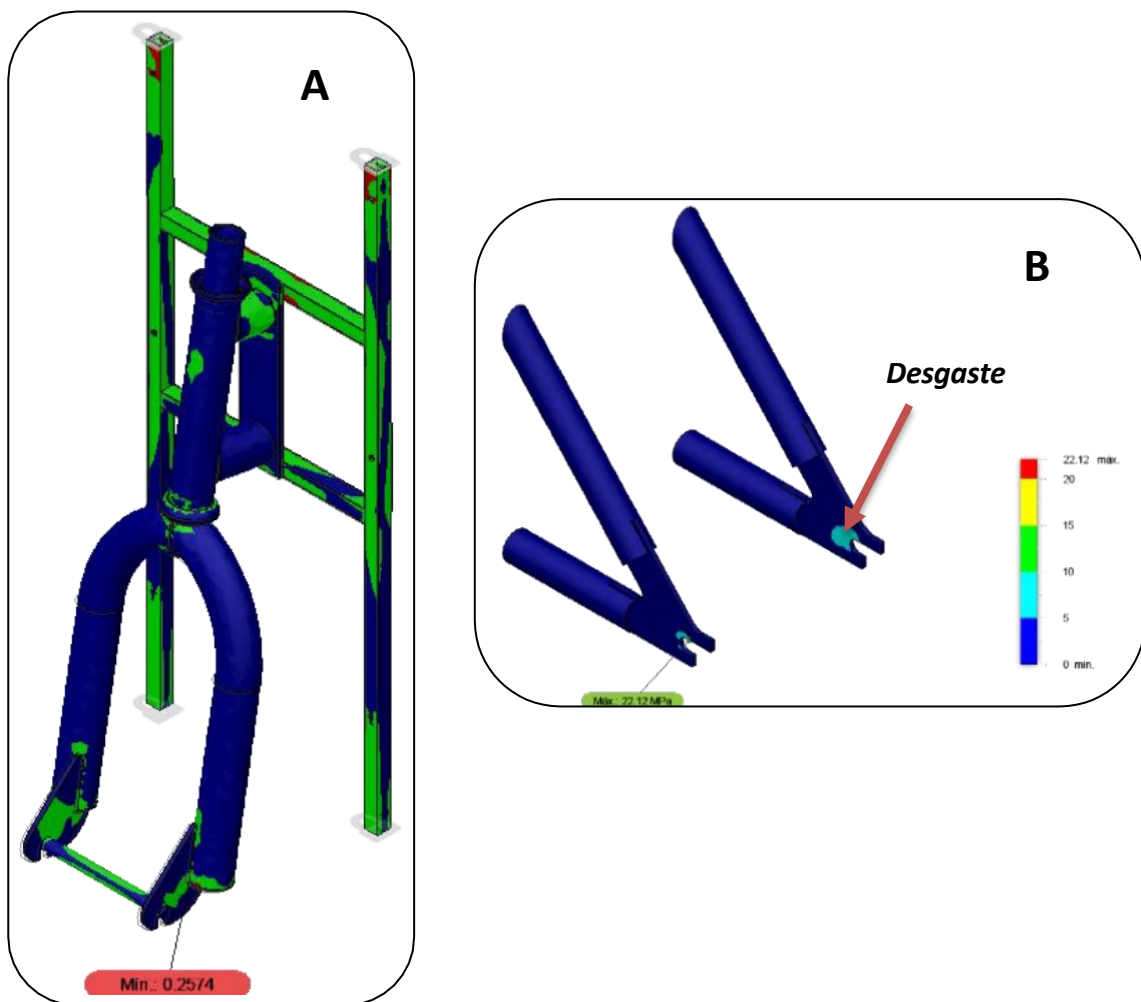


Figura 7.17 – A) Dirección sometida a esfuerzos de frenado, B) Tijera trasera sometida esfuerzos de frenado.

## 7.2 ANÁLISIS DINÁMICO.

Al igual que el Capítulo 4.3, se realizaron análisis dinámicos tomando periodos de tiempo cortos, en esta simulación el tiempo es de 0.001 [s]. La situación siguiente representan el caso en el que el vehículo, a una velocidad de 25 [Km/hr], choca contra una pared. Estas simulaciones nos permiten observar el comportamiento de la estructura al someterse a estos cambios bruscos.

Las características del análisis dinámico son las siguientes:

- La pared: se simulará como un cuerpo rígido, ya que el cuerpo no es el objeto de estudio.
- La estructura del vehículo: compuesta por el chasis, la dirección, y algunas láminas donde se representarán las fuerzas.
- Se aplicarán las cargas del análisis estático: Usuario de 100 [Kg] (981 [N]) y los paquetes de 35[Kg] (343.3 [N]).
- La velocidad del vehículo es de 25 [Km/hr].

### 7.2.1 RESULTADOS.

En la figura 7.1 se observa el VUMi3 antes del impacto y después del impacto. Se muestra desde una vista superior la deformación de la parte delantera del vehículo, siendo ésta la que entra en contacto con la pared. Se tiene un esfuerzo máximo de 569 [MPa].

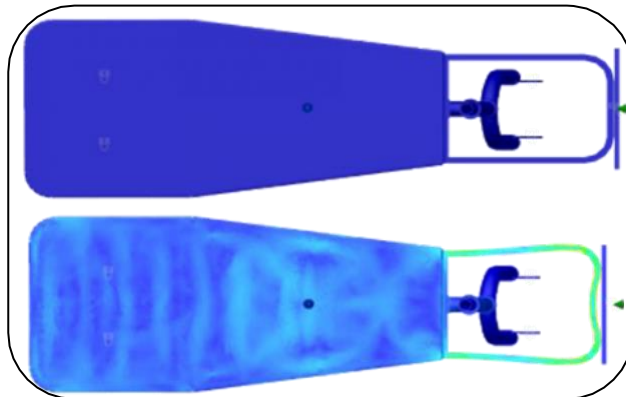


Figura 7.1 – VUMi3 antes y después del impacto.

La deformación máxima se concentró en las U frontales del VUMi3, por lo que estos perfiles fueron los que absorbieron la mayor fuerza de impacto. (Véase Figura 7.2). Por lo tanto, se observó que los esfuerzos se disiparon en la parte frontal debido a la deformación de las U, en comparación con el VUMi2 en el que parte de los esfuerzos se transfirieron de la parte frontal a la parte media de la estructura. En la Figura 7.3 se observan los pasos del análisis dinámico.

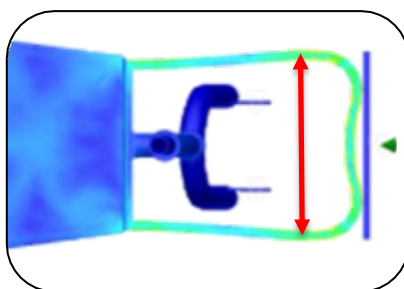


Figura 7.2 – Deformación de la U frontal.

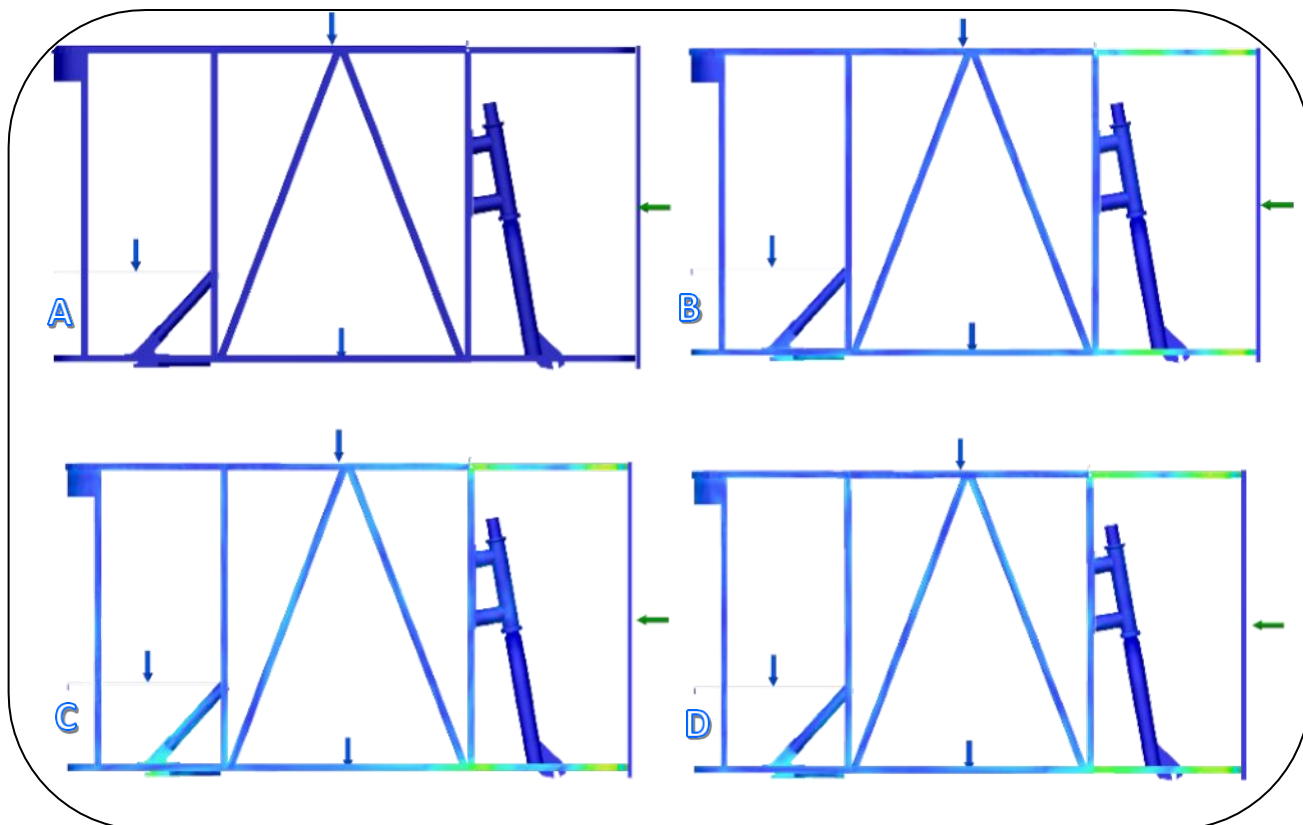


Figura 7.2 – Resultados del análisis dinámico a diferentes pasos: A) Step 11, B) 15, C) Step 20, D) 26

A continuación, en la figura 7.3, en el VUMi2 se observa como los esfuerzos llegan a transferirse hasta la parte media de la estructura. En cuanto, al VUMi3 la mayoría de los esfuerzos se disiparon en la parte frontal.

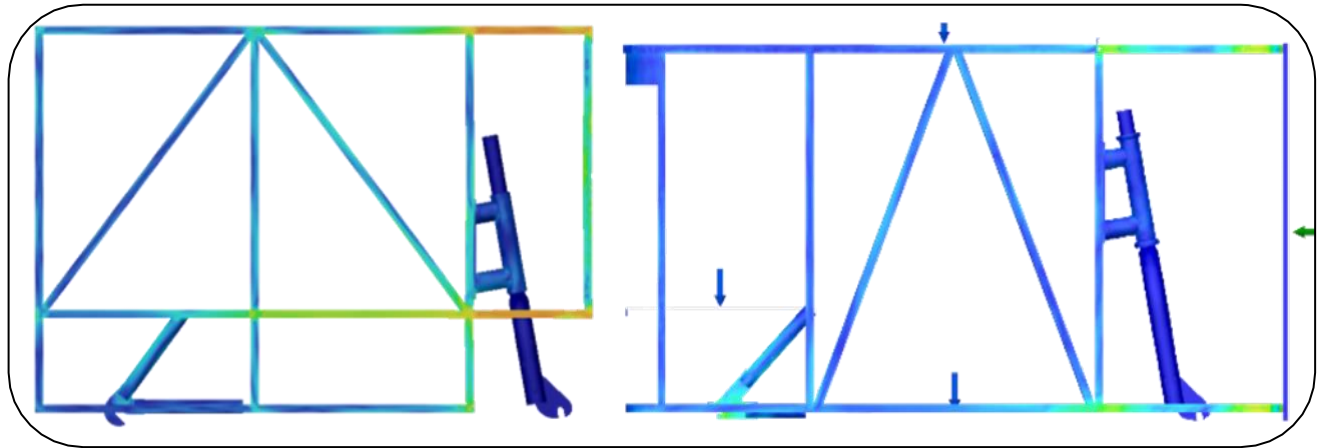


Figura 7.3 – Comparación del análisis dinámico para un STEP de 20, del VUMi2 (Izquierda) VS VUMi3 (Derecha)

# CAPÍTULO VIII. FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL VUMi3.

## 8.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO.

Tras la elección del concepto, generación del modelo CAD y análisis MEF se comenzó con el proceso de manufactura del prototipo. Éste consta de tres etapas presentadas continuación:

### I. PRIMER ETAPA.

En cuanto a la primera etapa se manufacturó la parte del sistema estructural (chasis) en un taller mecánico particular (Figura 8.1 - A). El sistema de dirección, el sistema de eje posterior junto con el sistema de frenado y parte del sistema envolvente (carrocería) se manufacturó en las instalaciones de la universidad, en el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI), por los mismos integrantes del equipo. Asimismo, el asiento se mandó a manufacturar en un taller de tapicería particular.



Figura 8.1 – Primera etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3. A) Base estructural del prototipo VUMi3 en el taller particular, B) detallando la base estructural del prototipo VUMi3, C) Acomodo del sistema envolvente en hoja de lámina.



Figura 8.2 – Primera etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A) Ajuste de asiento, B) Colocación de la dirección, C) implementación de la tijera trasera.

## II. SEGUNDA ETAPA.

En la segunda etapa se tuvo que realizar todo el sistema de envolvente (Carrocería). De la misma forma que el sistema estructural, la envolvente se manufacturo en un taller particular que cuenta con procesos de manufactura para el doblado y rolado de láminas y soldadura eléctrica (Figura 8.3).



Figura 8.3 – Segunda etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A) Rolado de láminas traseras, B) presentar el posicionamiento de láminas en el prototipo, C) Colocación de la lámina trasera.

Desafortunadamente la pandemia retraso la construcción del prototipo. El Gobierno de la Ciudad de México puso restricciones para operar en la mayoría de los establecimientos, cancelando las actividades planeadas por parte del equipo de trabajo y retrasando la entrega del sistema envolvente.

Por otro lado, se identificó que parte de la estructura tenía barra sólida y el uso de remache no sería una opción, por lo que, para las zonas donde se tenía barra solida se usó soldadura para la fijación de las láminas.



Figura 8.4 – Segunda etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A), B) carcasa para el módulo de la batería, C) colocación del sistema envolvente.

Se implementaron los reposapiés y se presentó un prototipo de MDF para la batería para verificar si todos los componentes fueron soldados en su lugar (Figura 8.4 - A). Además, se manufacturó bases para componentes del sistema electrónico (GPS, controlador y convertidor DC-DC), junto con la impresión de las carcasas fabricadas de PLA para la batería, GPS y soporte de la luz trasera.

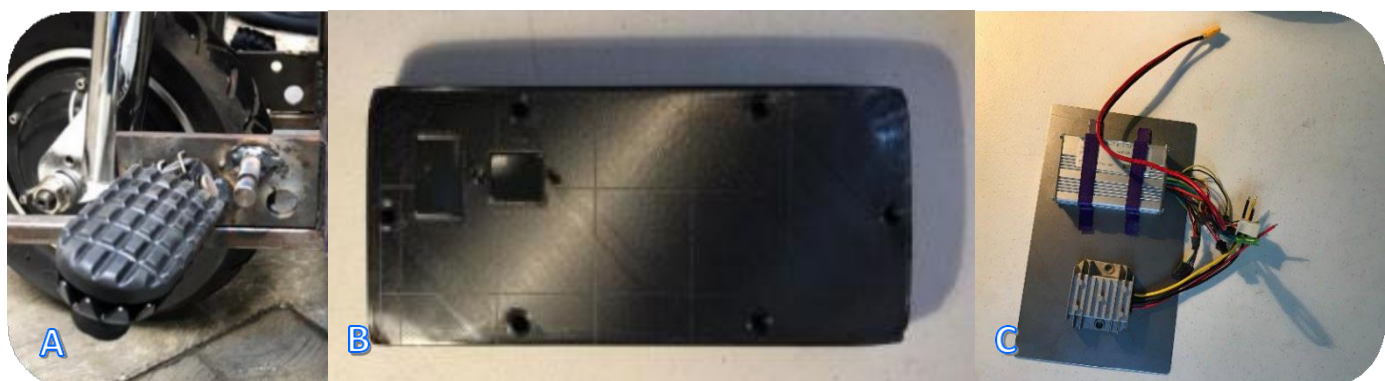


Figura 8.5 – Segunda etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A) Colocación del reposapiés, B) Manufactura aditiva de las piezas utilizando PLA, C) Platina para los componentes electrónicos.



### III. TERCER ETAPA.

En la última etapa, el equipo trabajó en el sistema de soporte de usuario y sistema de acceso. En cuanto al sistema de soporte de usuario, se adaptó el caballete modificado tipo *itálica* DS125 (Figura 8.6 – D).

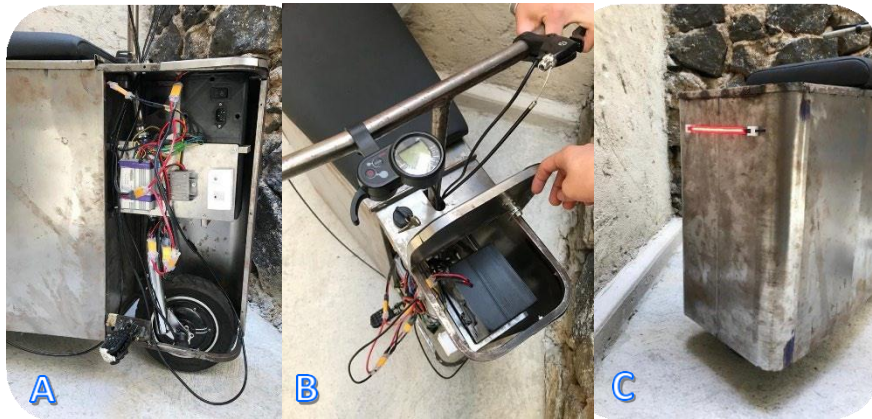
En cuanto al sistema de acceso del prototipo se realizó la modificación de la puerta de acceso a paquetería, aunque su diseño fue con la apertura hacia un costado (Figura 6.16), se identificó colisiones con otro componente, por lo que se rediseño colocando la bisagra (tipo piano) en la parte trasera con el amortiguador como se muestra en la Figura 8.6 – A.

También se implementaron los grilletes de candados y cerradura para la puerta de acceso a componentes electrónicos.



Figura 8.6 – Tercera etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A) Colocación del amortiguador para la puerta de paquetería, B) Colocación del grillete para el candado, C) soldadura para la bisagra de piano en la parte posterior del vehículo, D) Manufactura del caballete.

Así mismo, en esta etapa se realizó la implementación de todos los componentes faltantes, para realizar una prueba de funcionamiento, tanto de electrónica como dirección y estructura del vehículo. Se realizó la prueba de funcionamiento de luces, acelerador y funcionamiento de frenos, para evitar modificar con el prototipo pintado.



*Figura 8.7 – Tercera etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: A) Integración de todas las piezas como la platina para los componentes electrónicos, B) Carcasa de la batería en PLA junto con el acelerador, switch y asiento, C) Luz trasera en funcionamiento.*

Por último, se realizó el proceso de pintura del prototipo con pintura electrostática blanca, esto para evitar la oxidación de los componentes e integrando todos los componentes nuevamente. Dando por terminado el proceso de manufactura del prototipo, en procesos posteriores se harán las pruebas de funcionamiento y aunque se realizaron modificaciones al prototipo esto permite tener un prototipo más preparado para las pruebas con los repartidores.



*Figura 8.8 – Tercera etapa de manufactura para el prototipo del VUMi3: integración de todos los elementos en el prototipo de VUMi3.*

## 8.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Las pruebas de funcionamiento nos permiten detectar las partes del prototipo que pueda verse comprometidas al momento de utilizarse. De esta manera, se buscaron las modificaciones, si así lo requería, para un funcionamiento adecuado para el usuario. Las pruebas se realizaron en un parque en la alcaldía Coyoacán en la Ciudad de México, donde se condujo el prototipo a distintas condiciones que se pudiera enfrentar como, baches, topes, empedrados, rampas, etc.



Figura 8.9 – Pruebas de funcionamiento del prototipo VUMi3

En terrenos planos el vehículo transitó sin problema alguno, sin embargo, en zonas con terreno irregular, baches y empedrados, se identificó el movimiento del eje trasero, esto debido a que se ejercía una fuerza que movía al eje de su lugar. (Figura 8.10)

Así mismo, se identificó que en las punteras se presentó desgaste debido a su uso. Por lo que, se propuso e implemento una modificación al agregar un tope en la puntera, así el ensamble no sería de forma horizontal si no vertical. Figura 8.11



Figura 8.10 – Reparación del eje trasero.

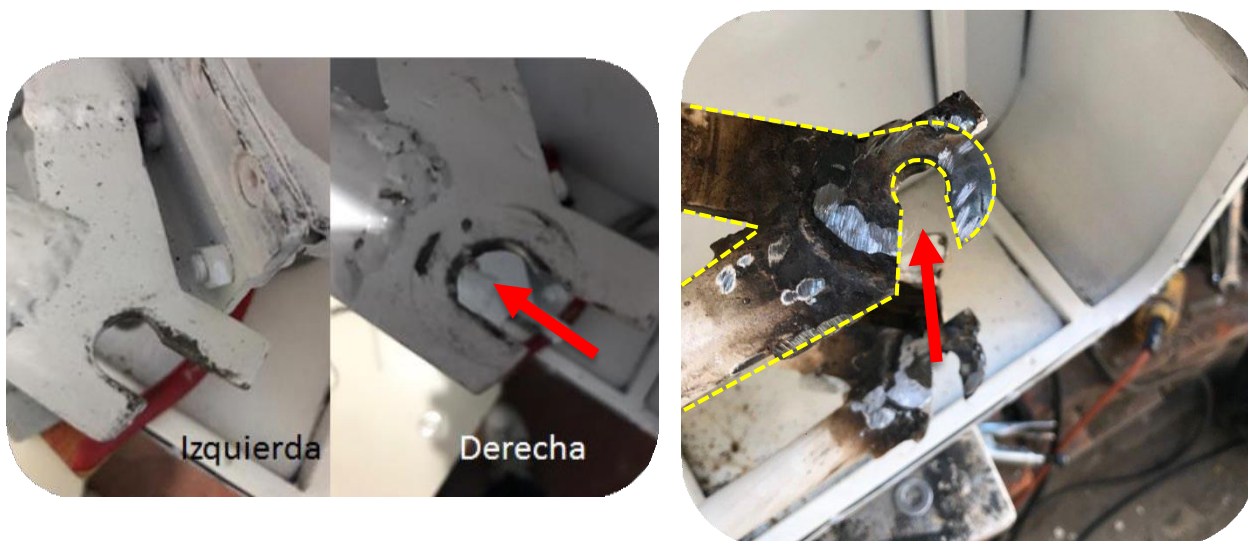


Figura 8.11 – Identificación del desgaste en las punteras en pruebas de funcionamiento (Izquierda), Modificación implementada (Derecha). Las flechas rojas indican la dirección del ensamble.

Como consecuencia de la falla del movimiento del eje, el disco del freno no estaba en contacto uniforme con el caliper, provocando un desajuste y un frenado difícil. Para evitar esto fue necesario un ajuste periódico.

Respecto a la parte frontal, se identificó que la llanta delantera choca con la U frontal inferior de la estructura, debido a la carga del usuario (Figura 8.12). Esto no se contempló en el diseño, sin embargo, se corrigió con un ensanchamiento de la U frontal inferior, además de verificar el aire en las llantas, que es uno de los factores que causaron el roce.



*Figura 8.12 – Rozamiento de la llanta delantera y la U frontal inferior.*

En cuanto al acceso del compartimiento de los paquetes, la puerta presentó problemas al momento de cerrar, esto se debe a que presenta holgura y debe de ser más precisa al cerrar, puesto que pone en riesgo a los paquetes. Se tendrá que ajustar mejor el acceso al compartimiento de los paquetes y seleccionar una mejor sujeción para el acceso.

Aunado a esto, el sistema de cerraduras presentó deficiencia, dado que no se ven tan resistentes para un incidente de robo. Para mejorar la seguridad se deberá de implementar mayor seguridad tanto para evitar el robo del vehículo como el de los paquetes, como se explica en la tesis de López [20].

El accionamiento del caballete es funcional, pero el usuario informó que puede llegar a estorbar en los pies, ya que se encuentra muy pegado a los reposapiés y también al momento de descender del prototipo.

Respecto a los ruidos y vibraciones, se propone el uso de silicón o algún tipo de empaques para disminuir el problema de las vibraciones entre laminas y estructura, además de evitar las posibles filtraciones de agua en el vehículo.

Ya una vez identificado los puntos críticos, se buscó la manera de hacer las modificaciones que nos fuese convenientes, para posteriormente, hacer las pruebas con los usuarios de la empresa colaboradora.

Dichos resultados y observaciones ayudan a tener un mejor panorama de cómo se encuentra el VUMi3. Gracias a esto se ira planteando las posibles mejoras para hacer más eficiente el vehículo.



## 8.4 ESPECIFICACIONES FINALES.

Para finalizar, en la Tabla 8.1, se muestran las especificaciones finales del prototipo VUMi3, en donde se realizarán comentarios de aquellas que se lograron alcanzar y las que no. También, en la Tabla 8.2. Se agregan algunas especificaciones generales del vehículo.

<i>Requerimiento</i>	<i>Especificaciones</i>	<i>Comentarios</i>
<b>[R1]</b> El vehículo tiene una masa menor a 35 [Kg].	El peso del vehículo es de 43.5 [Kg]	
<b>[R2]</b> El vehículo soporta el peso de una persona promedio (70.4 Kg)	El vehículo soporta el peso de usuario y paquetes de máximo 130 [Kg]	De acuerdo con los análisis estáticos con respecto a la estructura analizada.
<b>[R3]</b> El vehículo tiene la capacidad de un volumen de carga mayor a 0.09 m <sup>3</sup>	El volumen de carga del vehículo es de 0.1 m <sup>3</sup> , además en parte trasera tiene el espacio para un paquete extra	Queda pendiente el número de paquetes que caben en el vehículo. En una prueba con la empresa colaboradora.
<b>[R4]</b> El vehículo es resistente ante irregularidades viales (baches, topes, banquetas, rampas, etc.).	El vehículo es resistente ante irregularidades viales (baches, topes, banquetas, rampas, etc.)	
<b>[R5]</b> El vehículo cuenta con un grado IP 55 como mínimo (resistente al polvo y chorros de agua).	El vehículo cuenta con un grado IP55, también cuenta con componentes comerciales con protección ante polvo y chorros de agua.	El orden de colocación de las láminas permitió evitar en mayor medida la filtración de agua, también es recomendable la colocación de silicón para aumentar la protección de los paquetes y los componentes electrónicos

<p><b>[R6]</b> El vehículo es resistente ante las vibraciones generadas al moverse.</p>	<p>El vehículo es resistente ante las vibraciones generadas al moverse.</p>	<p>El uso del silicón, además de que ayuda para evitar las filtraciones de polvo y agua, disminuye las vibraciones generadas entre láminas y estructura.</p>
<p><b>[R7]</b> El vehículo es resistente ante caídas y colisiones.</p>	<p>El vehículo es resistente, en condiciones de carga y ante una colisión.</p>	<p>Mediante los análisis estáticos y dinámicos se observó que el vehículo es resistente ante una situación de carga y ante una colisión a 25 [Km/hr]</p>
<p><b>[R8]</b> El vehículo tiene una autonomía de 12 [Km] como mínimo.</p>	<p><b>REQUERIMIENTO POSPUESTO.</b></p>	<p>No se pudieron completar las pruebas de rendimiento del motor. Por lo que para trabajo a futuro se contemplarán.</p>
<p><b>[R9]</b> El módulo de la batería se ensambla / desensambla en dos pasos como máximo</p>	<p>El módulo de la batería se ensambla / desensambla en dos pasos como máximo</p>	
<p><b>[R10]</b> El vehículo cuenta un espacio para almacenar los artículos personales del conductor, de forma independiente al contenedor de paquetes.</p>	<p><b>REQUERIMIENTO ELIMINADO</b></p>	<p>Se contemplará para las versiones posteriores.</p>
<p><b>[R11]</b> La seguridad del vehículo evita que usuarios ajenos a este lo utilicen/muevan de lugar.</p>	<p>El vehículo cuenta con candados que resguardan los componentes electrónicos y la paquetería, también cuenta con caballete que permite aparcar el vehículo y/o mantenerlo fijo.</p>	



<p>[R12] El contenedor para el módulo de alimentación protege los componentes en su interior.</p>	<p>El módulo de alimentación está protegido del exterior por el sistema envolvente y por un candado en la puerta de acceso</p>	
<p>[R13] El vehículo cuenta con un sistema de monitoreo. (Se le proporciona mayor prioridad a la seguridad del módulo de los paquetes).</p>	<p>El vehículo cuenta con un GPS que permite su ubicación en tiempo real con el registro de datos en la nube, velocidad de operación y envió de alertas por mensaje de texto.</p>	
<p>[R14] El vehículo cuenta con una envolvente de láminas ensambladas con remaches.</p>	<p>El vehículo cuenta con una envolvente de láminas de acero al carbón, calibre 22.</p>	<p>Posteriormente para las siguientes versiones se propone el uso de láminas de otros materiales (fibra de vidrio, polipropileno, etc.) que disminuiría el peso del vehículo.</p>
<p>[R15] El vehículo circula por vialidades destinadas al transporte motorizado y no motorizado.</p>	<p>El vehículo puede circular por vialidades destinadas al transporte motorizado y no motorizado.</p>	<p>De acuerdo con el reglamento de tránsito de la ciudad de México.</p>
<p>[R16] La velocidad del vehículo es menor a los 25 [Km/hr]</p>	<p><b>REQUERIMIENTO POSPUESTO.</b></p>	<p>El acelerador esta modificado de tal manera que no rebase la velocidad de 25 [Km/hr], sin embargo, quedan pospuestas las pruebas con usuario para corroborar la información.</p>

<p><b>[R17]</b> El vehículo cuenta con señalización visual (luces) y sonora.</p>	<p>El vehículo cuenta con señalización visual y sonora que permite la circulación en la CDMX.</p> <p>Luz delantera blanca de 5 [V].</p> <p>Luz trasera roja de 12 [V].</p> <p>Campana para manubrio de 22.2 [mm].</p>	<p>De acuerdo con el reglamento de tránsito de la ciudad de México.</p>
<p><b>[R18]</b> El vehículo tiene un precio entre \$20,000.00 - \$30,000.00 (pesos mexicanos).</p>	<p>Costo de desarrollo \$23,000 MXM</p> <p>Precio de venta aproximado de \$33,000 - \$36,000 MXM</p>	
<p><b>[R19]</b> El vehículo este pintado con pintura automotriz o electroestática</p>	<p>El vehículo este pintado con pintura automotriz o electrostática.</p>	<p>Su uso de colores no llamativos. De preferencia el uso de color blanco.</p>
<p><b>[R20]</b> Se disminuye el uso de vértices en el diseño para dar confianza al usuario.</p>	<p>La estética del vehículo permite dar confianza al usuario y va acorde al ambiente corporativo.</p> <p>Sin propaganda ni elementos que lo relacionen con entrega de paquetería.</p>	

*Tabla 8.1 Especificaciones finales del VUMi3.*

A continuación, se presenta una tabla de especificaciones generales del vehículo:

DIMENSIONES			CARGA		
Largo	106	[cm]	Usuario (peso máximo)	100	[Kg]
Ancho	53	[cm]	Cara de paquetes máximo.	35	[Kg]
Alto	95	[cm]			
Pasajeros	1	Persona			
Distancia entre ejes	75	[cm]	MOTOR		
Volumen de carga	0.103	m <sup>3</sup>	Potencia	500	[W]
Radio de giro	186	[cm]	Tracción	Delantera	-
Masa de vehículo	43.5	[Kg]	Batería	48	[V]
Carga de paquetes	35	[Kg]		10	[Ahr]
Carga máxima de usuario	130	[Kg]	Velocidad máxima	25	[Km/hr]
			CHASÍS		
			Estructura base	Acero al carbono	½ in
			Dirección	Acero al carbono	1 ¼ in
			Tijera trasera	Acero al carbono	7/8 in
			Neumáticos	Caucho	10 In

SEGURIDAD	
Frenos	Frenos de disco en la llanta posterior
GPS	GPS con cobertura 4G con registro de datos en la nube, envío de ubicación en tiempo real, velocidad y envío de alertas por mensaje de texto.
Llave	Switch de encendido general de 2 pines
Cerradura	Cerradura para gabinete para acceso a componentes electrónicos y cerradura para puerta con pestillo de candado

ASPECTOS EXTERIORES		
Color	Blanco	-
Puños	Goma	-
Asiento	Tela	-
Reposapiés	Acero con gomas	-
Caballote	Acero	-
Timbre	Campana	-
Luz delantera	Blanca	LED
Luz trasera	Roja	LED

*Tabla 8.1 – Ficha técnica del VUMi3*

## **CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.**

Con este trabajo de tesis se buscó dar seguimiento y proponer una solución a la problemática de la movilidad respecto a la entrega de paquetería en ciudades con alto índice de tráfico vehicular, zonas de difícil acceso, calles estrechas y/o avenidas cerradas; aprovechando el uso de ciclovías, los espacios en camionetas de reparto de paquetería, uso de energías limpias y el mayor número de entregas en un menor tiempo.

Mediante un trabajo en conjunto de alumnos y profesores de la Universidad Nacional Autónoma de México y la empresa Re!-corre se buscaron soluciones a la problemática mediante el uso de la metodología centrada en el usuario.

A través de esta metodología se prototiparon 3 vehículos. Los dos primeros buscaron atender las necesidades de los usuarios y proponer una solución. El tercero, el cual es la base inicial de este documento, partió de los resultados anteriores, atendiendo los comentarios hechos por usuarios e implementándolos en una nueva versión del prototipo.

Con base en las opiniones realizadas por usuarios, el VUMi2 era un vehículo robusto, provocando incomodidad tras largas horas de uso, aunque refirieron un fácil uso del vehículo. El VUMi3 atendió estos factores importantes para mejorar la experiencia del usuario, se diseñó con una estructura ergonómica que permite el uso prolongado sin causar incomodidad, se aumentó el volumen de carga de 0.09 [m<sup>3</sup>] a 0.1 [m<sup>3</sup>]. Sin embargo, se tuvo un aumento de peso con respecto al VUMi2. En cuanto a la dirección, se buscó una armonía entre estabilidad y agilidad realizando cambios en el offset en la horquilla para mejorar la conducción.

Se agregó el sistema envolvente con 13 láminas, que ayudaron a cubrir toda la parte estructural. Algunas de sus láminas con dobleces y rolados, lo que ayudó a darle confianza a simple vista al usuario, manteniendo un diseño conservador y de bajo perfil.

Antes de manufacturar el prototipo VUMi3 se realizaron análisis estáticos y dinámicos para obtener información del comportamiento de la estructura y compararla con el VUMi2.

Se analizaron ambas estructuras bajo las mismas condiciones de carga en un estado estático y se obtuvo un mejor comportamiento del VUMi3, en cuanto al factor de seguridad, esfuerzos y desplazamientos, esto debido al aumento de dimensiones y por consecuencia al aumento de masa, aun con una distribución de perfiles similar al prototipo VUMi2.

En cuanto a los análisis dinámicos, de igual forma, el VUMi3 se comportó de la mejor manera. La simulación de una colisión permitió observar que la fuerza de impacto se absorbe en mayor medida en la parte frontal, debido a los perfiles con geometría en forma de U implementados, su función es absorber la mayor cantidad de fuerza de impacto permitiendo una deformación como acordeón. Además, son elementos soldados independientes a la estructura. En comparación del VUMi2 que la parte frontal sigue siendo parte de la estructura, además de ser cuadrada provocando que las fuerzas de impacto se transfieran a toda la estructura.

Posteriormente, se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron conocer el comportamiento del vehículo al circular por diferentes tipos de terrenos como baches, empedrados, topes, caminos irregulares, etc. Gracias a estas pruebas, se solucionaron la mayoría de las fallas antes de las pruebas con usuarios de la empresa colaboradora.

Por último, el diseño del VUMi3 finalizó con la documentación para la manufactura del vehículo con 45 planos, lista de materiales (BOM) y lista de partes. Así mismo, se inició el registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), bajo el concepto de modelo de utilidad.

Por otro lado, se sigue trabajando y desarrollando un nuevo prototipo VUMi que permita aumentar el volumen de carga y un diseño modular. También, se está

trabajando en nuevos mercados potenciales como movilidad personal, usuarios de la tercera edad y con limitación motriz.

Para concluir, como trabajo a futuro se destacan los siguientes aspectos:

- Realizar pruebas con usuarios con las modificaciones implementadas.
- Realizar pruebas de funcionamiento para obtener valores de autonomía del vehículo.
- Realizar pruebas con usuarios de la empresa colaboradora.
- Realizar una actualización de materiales y proceso de manufactura para disminuir el costo del vehículo.
- Realizar una comparación de diferentes materiales para disminuir el peso del vehículo.

## REFERENCIAS.

- [1] Corporación Andina de fomento (CAF). (2009). Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina. [Online] Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/422> [consultado: 05 de mayo de 2021]
- [2] Gakenheimer R. (1998). Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo. EURE(Santiago). [Online] Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71611998007200002#\\*](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71611998007200002#*) [Consultado: 20 de mayo de 2021]
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019) Parque vehicular. [Online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/> [Consultado: 25 de mayo de 2021]
- [4] Instituto Mexicano para la competitividad (IMCO). (2018). Índice de Movilidad Urbana 2018: Barrios Mejor Conectados Para Ciudades Más Equitativas. [Online] Disponible en: <https://imco.org.mx/indice-movilidad-urbana-2018-barrios-mejor-conectados-ciudades-mas-equitativas/> [Consultado: 31 de mayo de 2021]
- [5] Movilidad Urbana Sustentable & ITDP. Hacia una estrategia nacional integral de movilidad urbana. [Archivo PDF] Disponible en: [http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Movilidad-Urbana-Sustentable-MUS\\_.pdf](http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Movilidad-Urbana-Sustentable-MUS_.pdf) [Consultado: 05 de junio de 2021]
- [6] Instituto Mexicano para la competitividad (IMCO). (2019). El costo de la congestión, vida y recursos perdidos. [Online] Disponible en: <https://imco.org.mx/costo-la-congestion-vida-recursos-perdidos/#:~:text=La%20congesti%C3%B3n%20en%20las%202032,en%20sus%20traslados%20al%20a%C3%B1o.> [Consultado: 09 de Junio de 2021]
- [7] Regional Plan Association (RPA) & Volvo Research & Educational Foundations (VREF). (2016). La Importancia Del Transporte de Carga. [Archivo PDF] Disponible



en:

<http://www.vref.se/download/18.1ffaa2af156b50867485a23/1471930170757/Why-Goods-Movement-Matters-SPA%20-%20June%202016.pdf> [Consultado: 15 de junio de 2021]

[8] González J. (2020) Comercio electrónico en China y México: surgimiento, evolución y perspectivas. [Online] Disponible en: <http://www.mexicoylacuencadelpacifico.cucsh.udg.mx/index.php/mc/article/view/688/886> [Consultado: 20 de junio de 2021]

[9] Abraham P. (2017). La última milla como punto más importante en la entrega de valor. España: ie, Business School.

[10] Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO). (2020). [Online] Disponible en: <https://www.amvo.org.mx/estudios/estudio-sobre-venta-online-en-mexico-2020/> [Consultado: 25 de junio de 2021]

[11] Samar J. (2017), Movilidad Conectada. Una Mirada a la Movilidad de “Última Milla” y su Concepto. [Online] Disponible en: <https://movilidadconectada.com/2017/04/25/una-mirada-a-la-movilidad-de-ultima-milla-y-su-concepto/> [Consultado: 30 de junio de 2021]

[12] McKinsey&Company. (2017) McKinsey Center for Business and Environment. Urban commercial transport and the future of mobility. [Online] Disponible en: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/urban-commercial-transport-and-the-future-of-mobility> [Consultado: 07 de julio de 2021]

[13] Schröder J., Heid B., Neuhaus, F., Kässer, M., Klink, C. y Tatomir, S. (2018). Technology delivered: Implications for cost, customers, and competition in the last-mile ecosystem. [Online] Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/technology-delivered-implications-for-cost-customers-and-competition-in-the-last-mile-ecosystem> [Consultado: 12 de julio de 2021]

[14] Joerss M., Neuhaus F. y Schröder J. (2016). How customer demands are reshaping last-mile delivery. [Online] Disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/how-customer-demands-are-reshaping-last-mile-delivery> [Consultado: 17 de julio de 2021]

[15] Todotransporte (2019). DHL Express ya utiliza drones para el reparto de última milla en China. [Online] Disponible en: <https://www.todotransporte.com/texto-diario/mostrar/3275517/dhl-express-utiliza-drones-reparto-ultima-milla-china> [Consultado: 19 de julio de 2021]

[16] Ramos J. (2013). UPS, FedEx y Nacex ya utilizan triciclos eléctricos para sus envíos [Online] Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/ups-fedex-y-nacex-ya-utilizan-triciclos-electricos-para-sus-envios> [Consultado: 20 de julio de 2021]

[17] Hernández Y., Tentori J. (2011) Diseño de un vehículo ultraligero de tracción humana: con asistencia eléctrica. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[18] García L. & Vivia J. (2018). Diseño de un vehículo eléctrico plegable. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[19] Martínez I. 2021. Vehículo Personal Para Entregas De Última Milla Y Su Sistema Mecánico. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[20] López E. 2021. Vehículo Personal Para Entregas En La Última Milla Y Su Sistema Antirrobo. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[21] 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.

- [22] Piago. Cuadro Bicicleta Bmx Con Tijera Horquilla Rodado 20. [Online] Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1393194830-cuadro-bicicleta-bmx-con-tijera-horquilla-rodado-20-JM?searchVariation=174314028093#searchVariation=174314028093&position=1&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=4b80f0d8-0ff1-441e-8dd3-7e6a57a1a38b](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1393194830-cuadro-bicicleta-bmx-con-tijera-horquilla-rodado-20-JM?searchVariation=174314028093#searchVariation=174314028093&position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=4b80f0d8-0ff1-441e-8dd3-7e6a57a1a38b) [Consultado: 21 de julio de 2021]
- [23] Kit de conversión eBike (2020). AliExpress. [Online] Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32948196212.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.3e9d2e0eV8R4uP> [Consultado: 25 de julio de 2021]
- [24] Batería. (2018). Electropedaleo. [Online] Disponible en: <https://www.electropedaleo.com.mx/baterias/> [Consultado: 05 de agosto de 2021]
- [25] Re!-corre. Rutas dedicadas de última milla. [Online] Disponible en: <http://recorre.mx/> [Consultado: 10 de agosto de 2021]
- [26] Garreta M., Mor E. (2018). Diseño centrado en el usuario. España: Universitat Oberta de Catalunya (UOC). [Archivo PDF] Disponible en: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Interaccion\\_persona\\_ordenador/Interaccion\\_persona\\_ordenador\\_\(Modulo\\_3\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Interaccion_persona_ordenador/Interaccion_persona_ordenador_(Modulo_3).pdf) [Consultado: 20 de agosto de 2021]
- [27] Pelta R. (2019). Design thinking. España: Universitat Oberta de Catalunya UOC. [Archivo PDF] Disponible en: [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/75946/4/Design%20Thinking.%20Tendencias%20en%20la%20teor%C3%ADa%20y%20la%20metodolog%C3%ADa%20del%20dise%C3%B1o\\_M%C3%B3dulo%204\\_Design%20thinking.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/75946/4/Design%20Thinking.%20Tendencias%20en%20la%20teor%C3%ADa%20y%20la%20metodolog%C3%ADa%20del%20dise%C3%B1o_M%C3%B3dulo%204_Design%20thinking.pdf) [Consultado: 20 de agosto de 2021]
- [28] Ulrich K., Eppinger S. (2013). Diseño y desarrollo de productos. Quinta edición. MCGRAW HILL EDUCATION.

[29] Rodríguez C. (2019). Diseño de una máquina para comprar y recarga de tarjetas para el transporte público. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería.

[30] Muy interesante. (2018). ¿Cuánto pesa y mide el mexicano promedio? [Online] Disponible en: <https://www.muyinteresante.com.mx/preguntas-y-respuestas/medidas-poblacion-mexicana/>. [Consultado el 22 de agosto de 2021]

[31] CESVIMAP. (2021). Chocar a 25Km/h con un patinete eléctrico produce lesiones graves a conductores y peatones. <https://www.revistacesvimap.com/chocar-a-25-km-h-con-un-patinete-electrico-produce-lesiones-graves-a-conductores-y-peatones/> [Consultado el 30 de agosto de 2021]

[32] Renault Kangoo 2017. (2020). [Online] Disponible en: <https://www.nissantoreocontry.com.mx/seminuevo+-2017-RENAULT-KANGOO-EXPRESS+AC+16+TM-8A1F01J58HL528895>. [Consultado el 04 de septiembre de 2021]

[33] Rodríguez G. (1985). Manual de diseño industrial. México. G.Gili.

[34] Administración Pública De La Ciudad De México. (2015). Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México. [Archivo PDF] Disponible en: <https://www.ssc.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Transito/Actualizaciones/Reglamento-de-Transito-CDMX.pdf> [Consultado el 30 de septiembre de 2021]

[35] PROLAMSA. Catálogo de productos. [Online] Disponible en: <https://www.prolamsa.com/tubos-perfiles-y-polines-de-acero-carbono/perfil-cuadrado/> [Consultado el 02 de octubre de 2021]

[36] Ingeniería y mecánica automotriz. ¿Qué es y cómo funciona el principio de Ackerman? [Online] Disponible en: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=375&IdBoletin=141> [Consultado el 02 de octubre de 2021]

[37] Rodríguez C. (2021). Diseño de un vehículo de movilidad personal eléctrico para la entrega de paquetería. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.

[38] Motometa. Posapié 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> [Consultado el 10 de octubre de 2021]

[39] Amazon. Yosoo Health 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&th=1](https://www.amazon.com.mx/gp/product/B08BJ285RW/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&th=1) [Consultado el 10 de octubre de 2021]

[40] Amazon. N+1 Soporte para bicicleta – Soporte trasero ajustable para bicicleta de montaña de 26 a 29 pulgadas, bicicleta de carretera, BMX, MTB y eBikes. [Online] Disponible en: [https://www.amazon.com.mx/Soporte-para-bicicleta-ajustable-carretera/dp/B097MPKJB5/ref=asc\\_df\\_B097MPKJB5/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=547216077307&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=13429359388470672036&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=9073919&hvtargid=pla-1638616729170&psc=1](https://www.amazon.com.mx/Soporte-para-bicicleta-ajustable-carretera/dp/B097MPKJB5/ref=asc_df_B097MPKJB5/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=547216077307&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=13429359388470672036&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=9073919&hvtargid=pla-1638616729170&psc=1) [Consultado el 10 de octubre de 2021]

[41] Motometa. Parador central DS150. [Online] Disponible en: <https://motometa.com.mx/details/product/0235201004/Parador-central-DS150> [Consultado el 11 de octubre de 2021]

[42] Vise. ¿Sabes qué es el coeficiente de fricción? [Online] Disponible en: <https://blog.vise.com.mx/sabes-qu%C3%A9-es-el-coeficiente-de-fricci%C3%B3n> [Consultado el 13 de octubre de 2021]

[43] Italica. Conoce la distancia correcta para frenar en moto. [Online] Disponible en: <https://www.italika.mx/MundoITK/Conoce-la-distancia-correcta-para-frenar-en->



## ANEXOS.

### A. Sistema de dirección.

#### A) Ángulo de lanzamiento o *caster*.

Este parámetro es importante para el diseño de bicicletas y motocicletas. Es el ángulo  $\alpha$  formado entre el eje de dirección y la línea imaginaria que pasa por el centro del eje de la rueda delantera, perpendicular al suelo. Figura A1.



Figura A1 – Ángulo de lanzamiento  $\alpha$  sobre una bicicleta [45]

Un ángulo es positivo si la línea imaginaria se encuentra por en la parte trasera del eje de dirección, por lo tanto, cuanto mayor sea el ángulo mayor estabilidad tendrá la dirección, de esta forma se evita que la bicicleta tienda a irse a un lado.

Si la línea imaginaria esta delante del eje de dirección se tiene un ángulo negativo, sin embargo, este tipo de ángulos dan inestabilidad direccional en bicicletas.

Un ángulo neutro o lanzamiento cero es cuando el eje de dirección esta alineado con la línea imaginaria. [46]

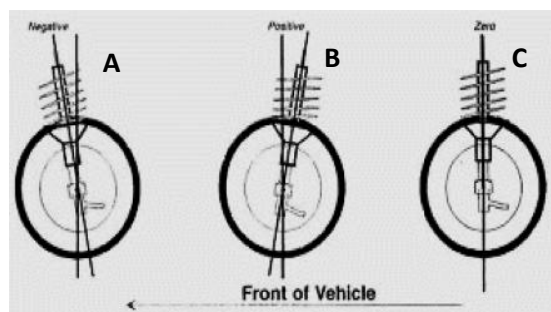


Figura A2 - Ángulos de lanzamiento. A) negativo, B) Positivo y C) Neutro o cero.

El ángulo de lanzamiento en bicicletas de turismo está en el rango de  $17^\circ$  -  $18^\circ$ , en bicicletas de carreras es de  $17^\circ$  -  $15.5^\circ$  y para bicicletas de pista de  $15^\circ$  [47]. En ocasiones, el ángulo de lanzamiento se mide con respecto al suelo y no con la línea imaginaria vista anteriormente.

Cabe mencionar que el cambio de ángulo de lanzamiento modificara otro de los parámetros importantes como el Avance.

### B) Avance

El avance es la distancia horizontal entre el punto de contacto de la rueda con el suelo y la proyección de la línea imaginaria.

El objetivo del **avance** es proporcionar estabilidad en línea recta con un avance positivo, es decir, y al igual que el ángulo de lanzamiento, el punto de contacto de la llanta (línea imaginaria) debe estar por detrás de eje de dirección. (Efecto similar al ángulo de lanzamiento) Véase Figura A2.





Figura A3 – Avance.

En algunos diseños de motocicletas o bicicletas existe el desfase de la horquilla (*offset*). El *offset* en la horquilla es conveniente para reducir el lanzamiento, ya que, en ocasiones el avance es demasiado grande para la modalidad en la que se usara la bicicleta. Logrando tener una buena relación de estabilidad y maniobrabilidad.

Así mismo, el *offset* de la horquilla puede ir acompañado de un *offset* de las barras de la horquilla con el eje de giro del manillar combinado con el *offset* del eje de la propia rueda delantera, Figura A3 - A. En relación con el diseño del sistema de dirección cuanto mayor sea el *offset* menor será el avance y viceversa. Figura A4 - B. [48]

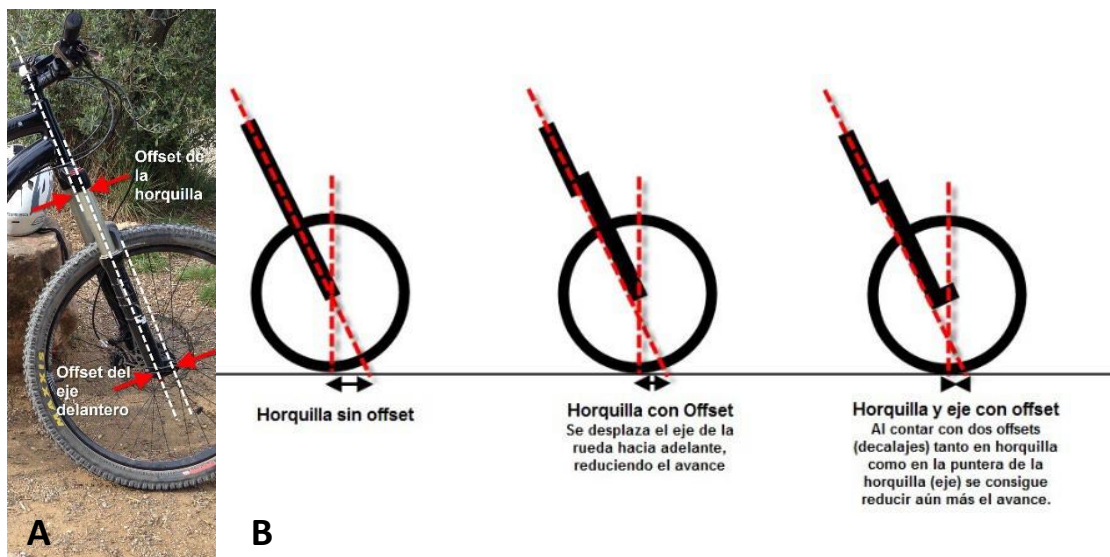


Figura A3 – A) Dirección delantera de bicicleta con *offset* en horquilla y eje delantero, B) Efecto del *offset* en la horquilla.

La distancia entre ejes proporcionará estabilidad. Cuanto más larga la distancia entre ejes será más estable a altas velocidades, pero menos ágil y viceversa. Por ejemplo, en ocasiones la bicicleta es estable en línea recta, pero en curvas largas y rápidas perdemos estabilidad, esto se puede solucionar con aumento en el avance, ya sea con offset de la horquilla o del eje. [49]

Es por ello que se busca una armonía entre los parámetros (avance, ángulo de lanzamiento y distancia entre ejes) al momento de diseñar.



*Figura A4 – Distancia entre ejes (D).*