



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

**VEHÍCULO PERSONAL PARA ENTREGAS DE ÚLTIMA MILLA Y SU SISTEMA DE
GUIADO AUTOMÁTICO**

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

PRESENTA:
SERGIO HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

TUTOR PRINCIPAL
DR. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMIREZ REIVICH
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2021



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Minami Koyama Yukihiro
Secretario: Dr. Borja Ramírez Vicente
1^{er}. Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.
2^{do}. Vocal: Dr. Espinosa Bautista Adrián
3^{er}. Vocal: Dra. Corona Lira María Del Pilar

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMIREZ REIVICH



FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a la vida por permitirme mantenerme con salud a pesar de la situación tan complicada que vive el mundo.

Asimismo, quiero agradecer todo lo que he recibido, sobre todo el amor de mi madre, quien siempre está para mí, acompañándome en momentos trascendentes en mi vida y que siempre hace que me sienta muy orgulloso de ser su hijo.

Sin duda, este trabajo se lo agradezco enormemente a la mujer que amo, a Fer, con quien he compartido experiencias maravillosas y que me ha apoyado en momentos complicados sin medida, haciendo que me sienta privilegiado de haberla conocido.

A su vez, quiero agradecer a toda mi familia, amigos y seres queridos que siempre han estado cerca de mí, motivándome a seguir creciendo, tanto en lo académico y profesional como en lo personal, brindándome apoyo incondicional para que cumpla mis metas.

Así también, le agradezco al Dr. Vicente por sus grandes enseñanzas y respaldo en este trabajo, a mi tutor el Dr. Alejandro por su apoyo e inspiración y al Arq. Arturo

por siempre estar al pendiente brindándonos su realimentación. A su vez, quiero agradecer a mis compañeras y compañeros, Esther, Isa, Carlos, Gustavo, Luis, Xanat, David, Jonathan, Jesús y Fernando, que participaron en el proyecto en diferentes etapas con quienes compartí grandes momentos y aprendizajes.

A mi Alma Máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, quien me ha dado conocimientos y experiencias invaluable, incluso más allá del ámbito académico.

También quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, por la el apoyo económico que me otorgó al estudiar la maestría.

A la empresa colaboradora “Re-Corre!” y en especial a Leslie Maricela Riveros Olguin y a Oscar Martínez Vásquez, por abrírnos las puertas de su empresa y permitir que hiciéramos nuestro trabajo de investigación al conocer e interactuar con sus trabajadores, pero sobre todo por dar realimentación al proyecto en todas sus etapas.

Además, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, que por medio de los Programas UNAM-DGAPA-PAPIIT IT101718 y 103320, proporcionaron el apoyo para la realización de esta investigación.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

RESUMEN

Este trabajo de investigación reporta el diseño, fabricación y pruebas de un vehículo de última milla, que en esencia es un vehículo eléctrico de movilidad personal. Dicho producto busca resolver las dificultades de una empresa de paquetería en el último tramo de su recorrido en su logística a lo que también se le conoce como última milla. Si bien se abordaron las necesidades de una empresa, este producto puede solucionar la dificultad de otras compañías de reparto propiciadas principalmente por el incremento del comercio electrónico, o incluso en otras aplicaciones de movilidad.

Este vehículo permitirá la entrega de una forma más eficiente respecto a cómo se realiza en la actualidad, aprovechando de mejor manera los recursos humanos, económicos y el espacio del móvil para los paquetes. Además, su implementación permitirá transitar por zonas de difícil acceso y disminuir el consumo de combustibles fósiles al utilizar un vehículo eléctrico propiciando que se tenga un menor impacto ecológico.

Para el diseño de este vehículo alternativo de reparto, se utilizó la metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), la cual busca obtener las necesidades de

quien ocupará el producto o servicio y se apoya de una investigación de los productos existentes en el mercado, tecnologías disponibles y de los factores socioculturales para definir las especificaciones que propiciarán tener un producto que cumpla los objetivos.

A lo largo de este escrito, se 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. En cada capítulo se reporta un ciclo de dicha metodología, iniciando con el ciclo de usuario, que busca conocer cómo se desempeña éste en su actividad en la actualidad; después, se aborda el segundo ciclo, en el que se busca proponer una nueva modalidad de uso o experiencia para el usuario en su actividad de reparto; seguido, del ciclo 3 en el que se generan propuestas de solución del producto a desarrollar, evaluándose para determinar cuál es la que podría ser una solución; y concluyendo con el cuarto ciclo, donde se diseña, manufactura y prueba un par de prototipos, obteniendo resultados para el mejoramiento de las entregas de paquetería en zonas de corporativos. Finalmente, en un capítulo adicional se documenta la propuesta conceptual de las modificaciones que necesitaría este vehículo para poder desempeñar la misma tarea guiado de forma automática.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	7
CAPÍTULO 1 - DEFINICIÓN DEL PROYECTO	13
1.1. INTRODUCCIÓN	13
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. MÉTODOLÓGÍA.....	16
1.4. OBJETIVO	18
1.5. EQUIPO DE TRABAJO.....	18
1.6. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	22
1.6.1. Búsqueda del mercado.....	24
1.6.2. Soluciones actuales.....	29
1.7. HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN PREVIA	33
2. CAPÍTULO 2 - CICLO 1: USUARIO	35
2.1. RETO.....	35
2.2. USUARIO EN CONTEXTO	36
2.2.1. Colaborador	36
2.2.2. Observación con el usuario.....	37
2.3. NECESIDADES	43
2.4. SOLUCIONES ACTUALES PARA PAQUETERÍA	46
2.5. FACTORES CRÍTICOS Y HALLAZGOS DEL USUARIO	49
2.5.1. Dificultades en el trabajo.....	49
2.5.2. Ambiente de trabajo.....	50

3. CAPÍTULO 3 - CICLO 2: EXPERIENCIA	51
3.1. REDEFINICIÓN DEL RETO.....	51
3.2. JERARQUIZACIÓN DE NECESIDADES.....	52
3.3. PROPUESTA DE VALOR.....	54
3.3.1. Propuesta de valor para el cliente	54
3.3.2. Propuesta de valor para el usuario.....	57
3.4. ESCENARIOS.....	58
3.5. PERSONAJES	60
3.6. MAPA DE RUTA DEL USUARIO (CHOFER/AYUDANTE)	61
3.6.1. Pre-proceso	63
3.6.2. Proceso.....	63
3.6.3. Post-proceso.....	64
3.7. TENDENCIAS PRESENTE Y FUTURO	65
3.8. DISEÑO DE EXPERIENCIAS	69
3.8.1. Camioneta con VUM.....	69
3.8.2. VUM por la ciudad	70
3.8.3. Enjambre.....	71
3.9. FACTORES CRÍTICOS Y HALLAZGOS DE LA EXPERIENCIA	72
4. CAPÍTULO 4 - CICLO 3: PRODUCTO	75
4.1. ACTUALIZACIÓN DEL RETO.....	75
4.2. NUEVA OBSERVACIÓN DEL USUARIO	75
4.2.1. Zona con ciclovía.....	76
4.2.2. Zona sin ciclovía.....	79
4.3. FUNCIONES DEL PRODUCTO	81
4.4. REQUERIMIENTOS	82
4.5. HOMÓLOGOS Y ANÁLOGOS	83
4.6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	84
4.6.1. Maqueta 1	85
4.6.2. Maqueta 2	86
4.6.3. Maqueta 3	87
4.6.4. Maqueta 4	88
4.6.5. Maqueta 5	88
4.6.6. Maqueta 6	89
4.7. SELECCIÓN DE CONCEPTO	90
4.8. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PRODUCTO	92

CAPÍTULO 5 - CICLO 4: PROTOTIPO	95
5.1. ESTUDIO COMPARATIVO	95
5.2. ESPECIFICACIONES OBJETIVO.....	96
5.3. VUMI 1	99
5.3.1. Sistema eléctrico y electrónico	99
5.3.1.1. Subsistema motriz.....	99
5.3.1.2. Subsistema de energía	104
5.3.2. Diseño del sistema mecánico.....	106
5.3.2.1. Estructura	106
5.3.2.2. Compartimento para paquetes	108
5.3.2.3. Dirección	110
5.3.3. Manufactura.....	111
5.4. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PROTOTIPO VUMi 1.....	113
5.5. VUMI 2.....	116
5.6. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PROTOTIPO VUMi2	119
5.6.1. Primeras pruebas.....	119
5.6.2. Pruebas con usuarios.....	123

CAPÍTULO 6 - CICLO 4.1: VEHÍCULO ELÉCTRICO NO TRIPULADO DE ÚLTIMA MILLA	127
6.1. REPLANTEAMIENTO DEL RETO.....	127
6.2. OBJETIVO	127
6.3. PROBLEMÁTICA	128
6.4. HIPÓTESIS	129
6.5. NECESIDADES	129
6.6. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS	130
6.7. VEHÍCULOS DE REPARTO NO TRIPULADOS	131
6.7.1. Starship	131
6.7.2. Amazon Scout.....	132
6.7.3. Robby.....	133
6.7.4. Kiwibot	134
6.7.5. Eliport	134
6.7.6. Postmates Serve.....	135
6.7.7. Marble.....	136
6.7.8. TeleRetail ONE	136
6.7.9. Refraction AI REV-1	137
6.7.10. Nuro R1	138

6.7.11. Neolix	138
6.7.12. Mercedes-Benz Vans	139
6.8. DEFINICIONES IMPORTANTES	140
6.9. GENERACIÓN DE CONCEPTOS VENTUM	142
6.9.1. Sistema de estabilización a bajas velocidades	142
6.9.2. Sistema de actuado	144
6.9.2.1. Subsistema de tracción	144
6.9.2.2. Subsistema de frenado	145
6.9.2.3. Subsistema de dirección	146
6.9.2.4. Subsistema de interacción externa	147
6.9.3. Sistema de sensado	148
6.9.3.1. Subsistema de guiado	148
6.9.3.2. Subsistema de detección de obstáculos	151
6.9.3.3. Subsistema propioceptivo	153
6.9.4. Sistema de procesamiento.....	154
6.10.DESARROLLO DE LA PROPUESTA	155
CONCLUSIONES	163
TRABAJO A FUTURO	167
REFERENCIAS	169

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN

El mundo siempre está en movimiento. Esta sería una forma sencilla de describir a los seres humanos incluso desde tiempos arcaicos. Si bien, en algún punto de la historia, los humanos se establecieron como sedentarios, siempre ha existido algún tipo de desplazamiento para satisfacer las necesidades principales. Actualmente, la movilidad es un problema que aqueja a todos y se ha incrementado por diversos factores y, a su vez, genera consecuencias en diferentes ámbitos.

El incremento de la población es una de las causas principales, ya que, según la Organización de las Naciones Unidas, en 1950 se estimó una población mundial de 2,600 millones de habitantes, mientras que para el año de escritura de esta tesis se reportan 7 mil 700 millones de habitantes y se estima que seguirá creciendo 2 mil millones más en los siguientes 30 años [1]. También esta organización menciona que el 54% de la población vivía en ciudades en 2015, mientras que en 2030 será el 60%, esto significa que serán 5 mil millones de habitantes en los núcleos urbanos [2]. Dichos núcleos urbanos se llaman megaciudades cuando superan los 10

millones de habitantes, siendo la ciudad más poblada Tokio, mientras que en el quinto puesto se encuentra la CDMX y su zona metropolitana con 21.6 millones de personas [2], lo que plantea un gran reto para lograr que la población pueda contar con los bienes y servicios que suele tener, como energía, alimento, transporte, entre otros.

Con lo que respecta a transporte, este ha tratado de satisfacer la necesidad de trasladarse en megaciudades, poniéndose al vehículo particular como una solución primaria, que en consecuencia ha incrementado el tránsito y por ende, el congestionamiento de las vialidades. Según Chesterton [3], en 2016 había 1 mil 320 millones de automóviles, camiones y autobuses, mientras que en 1996 había 670 millones de autos, lo que significa que prácticamente se incrementó dos veces el número de vehículos en 20 años y se estima que en los siguientes 20 años, habrá el doble que en la actualidad, lo que significa entre otras cosas, un problema de congestionamiento vial mayor y un impacto ecológico más grande que el actual, por lo que se tiene que pensar en cambiar la forma en cómo se transporta la gente en el día a día.

Si se habla más puntualmente de México, según el INEGI [4], en el mismo periodo ha pasado de 11.8 millones de vehículos a 42.5 millones, lo cual es 3.6 veces mayor, esto se convierte en un problema que debe solucionarse y una alternativa que surgió son los vehículos eléctricos, siendo una vertiente de éstos los vehículos eléctricos personales de última milla, ya sea de uso privado o empleados en la prestación de algún servicio.

La movilidad no solo aqueja a los habitantes de las ciudades, si no a las empresas que ofrecen sus productos y servicios, y necesitan medios que faciliten la logística de sus entregas. Más particularmente al hablar del comercio electrónico (*e-commerce*), el cual ha tenido un gran crecimiento en los últimos años en todo el mundo, está cambiando la forma en cómo se venden los productos y servicios, ya que cada vez es más cómodo para el usuario que desde alguna aplicación móvil o una página web pueda hacer sus compras y esperar a que lleguen a su domicilio, lo que provoca que la industria de la paquetería necesite asegurar la satisfacción

del cliente al mejorar varios aspectos en su logística, entre ellos, el medio que utilizan para hacer las entregas, lo que genera nuevos retos y oportunidades.

1.2. ANTECEDENTES

La movilidad siempre ha generado varios problemas que se han tratado de solucionar con la aparición del automóvil, el cual a grandes rasgos es un vehículo motorizado cuya carrocería cuenta con cuatro ruedas y se mueve usando combustibles fósiles como gasolina o diésel. No obstante, el nicho de vehículos alternativos para uso personal ha crecido en los últimos años como respuesta a vialidades con gran tránsito y a contrarrestar la emisión de gases de efecto invernadero.

Si bien una alternativa muy simple es el uso de bicicletas, éstas tienen la limitante de ser accionadas por fuerza física, lo que impide trasladarse largas distancias a velocidades mayores a 15 km/h de forma continua, lo cual es una oportunidad para nuevos vehículos eléctricos que tienen ventajas sobre las bicicletas, por ejemplo, al subir pendientes. Una de las ideas que surgieron hace algunos años, fue el uso de vehículos de dos ruedas paralelas con ejes concéntricos, donde el usuario iba a la mitad de ellas, como las que se reportan en los trabajos de investigación [5] [6] [7] o incluso cuadríciclos ecológicos [8]. Pero más recientemente se han conceptualizado vehículos eléctricos de tres ruedas plegables [9] [10].

Pero antes de entrar más en detalle de cuáles son los vehículos que existen, es importante definir qué es la “última milla”. Estas palabras se suelen utilizar para definir el último tramo de un recorrido, aunque se pudiera pensar que se refiere a 1.6 kilómetros, se puede usar para referirse solo a algunos metros o incluso algunos kilómetros faltantes para llegar al destino final, ya sea que se use transporte público o particular (figura 1.1). Uno de los nichos más explorados es la movilidad personal, ofrecido como producto o como servicio, sin embargo, hay otros nichos que podrían ser explorados y a continuación se evaluará su conveniencia, con el uso los

recursos que la metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) proporciona para saber más respecto a la o las personas que utilizarán el producto a desarrollar.

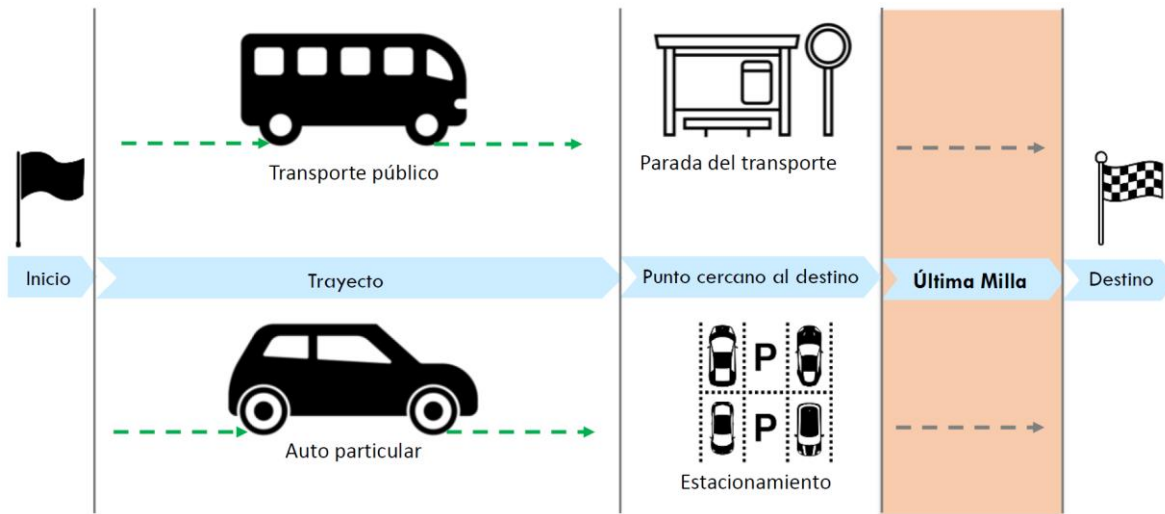


Figura 1.1 Descripción gráfica de la última milla.

1.3. MÉTODOLÓGÍA

Como se mencionó, este trabajo de investigación se llevó a cabo con el empleo de la metodología de Diseño Centrado en el Usuario para el desarrollo de un vehículo alternativo. Además del enfoque centrado en el usuario de la misma metodología, también se contemplaron los impactos al medio ambiente que el vehículo podría tener, así como su viabilidad económica.

El proceso consta de cuatro ciclos, cada uno se enfoca en diferentes aspectos, siendo el primero el usuario, seguido de la experiencia, desarrollo del producto y finalmente la generación del prototipo. En cada uno de éstos, se realizan cinco funciones: definir, conocer, generar, probar y aprender; y en cada una de estas cinco etapas, puede haber pasos intermedios que apoyen en el procedimiento (figura 1.2).

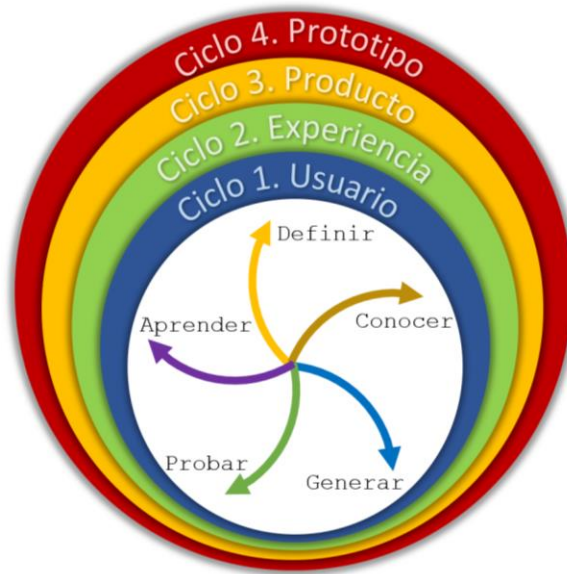


Figura 1.2 Metodología DCU.

El ciclo 1, *usuario*, inicia al definir el reto, se conoce al usuario, tomando en cuenta los temas relacionados con el impacto social, tecnológico, cultural, económico, ambiental y normativo. Se generan preguntas sobre el usuario y sobre el uso de tecnologías que son contestadas con pruebas o cuestionamientos directos, para que al final de cada ciclo se sintetice lo aprendido.

En el ciclo 2, *experiencia*, se redefine el reto con base en lo aprendido en el ciclo anterior, estableciendo requerimientos, se conoce el estado de la técnica y los productos análogos existentes en el mercado. Se generan y prueban opciones de experiencia para el usuario, tomando nota de los descubrimientos obtenidos.

En el ciclo 3, *producto*, de igual manera se redefine el reto y se actualizan los requerimientos considerando la experiencia a desarrollar, se abunda en el estado de la técnica. Se generan conceptos de productos o servicios que hagan viable la experiencia del ciclo anterior, de forma que se prueben con usuarios mediante prototipos simplificados y simuladores, para seleccionar uno y reportar los hallazgos generados.

En el ciclo 4, *prototipo*, se definen las especificaciones de diseño del producto o servicio con base en la experiencia y el producto generado, se investigan nuevas

tecnologías, se genera la arquitectura y el diseño a detalle, se eligen los componentes, se manufactura el prototipo, se realizan pruebas con usuarios y se reporta lo aprendido.

El proceso está organizado en ciclos iterativos, que se repiten hasta lograr una solución, no siempre siguiendo un orden entre las funciones. Las pruebas se realizan con usuarios con el uso de maquetas, prototipos y simuladores; de forma que se obtenga información valiosa para seguir al ciclo siguiente. A lo largo de los capítulos se reportarán los ciclos realizados, mostrando en la parte final una segunda iteración del ciclo 4, con lo que se deja un punto de partida para continuar con el trabajo de investigación en vehículos no tripulados.

1.4. OBJETIVO

Diseñar, manufacturar y probar un Vehículo de Movilidad Personal (VMP) eléctrico de última milla que permita la entrega de paquetes de una manera más eficiente en zonas de difícil acceso, con lo que se reduzca el tiempo y costos de envío a mediano y largo plazo mediante la aplicación de la metodología DCU.

1.5. EQUIPO DE TRABAJO

Este proyecto se realizó en equipo el cual cambió de integrantes en diversas etapas. A continuación, se presentarán a los alumnos que contribuyeron en éstas. Se mostrarán sus fotografías encerradas en un rectángulo de diferente color, dónde el color verde muestra los estudiantes de la licenciatura en Diseño Industrial, en rojo los estudiantes de Maestría en Ingeniería Mecánica y en azul los estudiantes de licenciatura en Ingeniería en Mecánica.

Equipo 1

Enseguida se muestra el equipo base, en la que la mayoría de sus miembros se quedaron hasta el final del proyecto, el cual comenzó con la investigación preliminar para conocer el problema general y plantear los nichos de aplicación.



Figura 1.3 Miembros del equipo 1.

Equipo 2

Esta actualización de equipo se dio dado que hubo un cambio de integrantes de parte de los miembros de Diseño Industrial, del que salió la integrante mencionada en el equipo 1 y se integraron otros dos. Al definirse el nicho en el que trabajaría, este grupo desarrolló las etapas del ciclo 1 al conocer al usuario y el ciclo 2 con la propuesta de experiencias para el usuario.



Figura 1.4 Uno de los nuevos miembros del equipo 2.

Equipo 3

Para esta etapa del proyecto, salió del equipo un diseñador, por lo que quedó solamente Gustavo, no obstante, se añadieron al equipo dos estudiantes de Maestría en Ingeniería Mecánica. En conjunto, presentaron los resultados a la empresa colaboradora, de la cual se hablará en el segundo capítulo, obteniéndose realimentación y se trabajó en el ciclo 3 para generar un concepto y en el ciclo 4, para diseñar un prototipo funcional y se finalizó con las primeras pruebas a éste.



Figura 1.5 Nuevos miembros del equipo 3.

Equipo 4

Después de presentar los resultados a la empresa colaboradora, se obtuvieron conclusiones y se construyó un prototipo mejorado capaz de ser probado por el usuario. Para esta etapa salió del grupo Luis y se integraron 3 estudiantes de licenciatura en Ingeniería Mecánica.

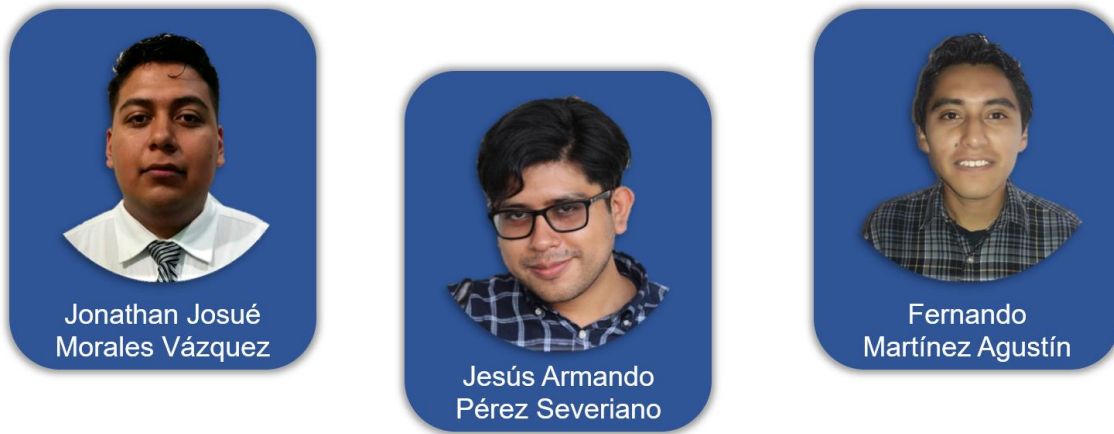


Figura 1.6 Nuevos miembros del equipo 4.

Equipo 5a

Después de obtener conclusiones de las pruebas realizadas con el prototipo, el proyecto se ramificó en tres, de forma que este equipo se enfocara en obtener el diseño mecánico de la versión final del vehículo, de forma que se presentara a la empresa colaboradora los resultados finales. De este equipo salieron Esther y Sergio, y se mantuvieron los cinco miembros restantes. Los resultados se reportan en el trabajo de tesis titulado “*Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema mecánico*” [11].

Equipo 5b

La segunda ramificación de esta etapa del proyecto, se enfocó en investigar el tema referente al sistema antirrobo que debía tener el vehículo. Los resultados se muestran en la tesis cuyo nombre es “*Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema antirrobo*” [12].

Equipo 5c

Finalmente, la tercera y última ramificación se encargaría de investigar la aplicación de un sistema de guiado automático para el vehículo, con lo que se busca otro modo de aplicación del sistema. Los resultados se muestran en el último capítulo de este trabajo.

Asesores en todas las etapas del proyecto

Este trabajo pudo realizarse gracias al asesoramiento de los doctores Vicente Borja Ramírez y Alejandro C. Ramírez Reivich, así como del arquitecto Arturo Treviño Arizmendi, que a lo largo de todo el proyecto dieron a los equipos sus recomendaciones y realimentación.



Figura 1.7 Asesores del proyecto.

1.6. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Una vez definido que se trabajará sobre vehículos alternativos, se encontró que estos se suelen llamar Vehículo de Movilidad Personal (VMP) los cuales son “vehículos capaces de asistir al ser humano en su desplazamiento personal... para facilitar una movilidad personal rápida, práctica y económica, son ligeros, cómodos y fáciles de utilizar, ocupan muy poco espacio, caben en casa, en la oficina, etc., y son fáciles de transportar” [13]. Estos vehículos se clasifican según la Instrucción

16/V-124 de la Dirección General del Tráfico (DGT) de España en función de la altura y de los ángulos peligrosos que puedan provocar daños a una persona en un atropello como se muestra en la figura 1.8.

Características	A	B	C0	C1	C2
Velocidad máx.	20 km/h	30 km/h	45 km/h		45 km/h
Masa	≤ 25 kg	≤ 50 kg	≤ 300 kg		≤ 300 kg
Capacidad máx. (pers.)	1	1	1		3
Ancho máx.	0,6 m	0,8 m	1,5 m		1,5 m
Radio giro máx.	1 m	2 m	2 m		2 m
Peligrosidad superficie frontal	1	3	3		3
Altura máx.	2,1 m	2,1 m	2,1 m		2,1 m
Longitud máx.	1 m	1,9 m	1,9 m		1,9 m
Timbre	NO	SÍ	SÍ		SÍ
Frenada	NO	SÍ	SÍ		SÍ
DUM (distribución urbana mercancías)	NO	NO	NO	NO	SÍ
Transporte viajeros mediante pago de un precio	NO	NO	NO	SI	NO



Figura 1.8 Clasificación de los VMP [13].

Como se puede observar en la figura anterior, los VMP del tipo A son monociclo eléctrico, *hoverboard*, *scooter* eléctrico; los vehículos del tipo B son *segway*, *scooters* de mayor tamaño; los del tipo C0 se refiere a vehículos pequeños con compartimento de carga mientras que el C1 y C3 son vehículos un poco más grandes con capacidad de carga ya sea de mercancía o de personas, por ejemplo, *bicitaxis*.

1.6.1. Búsqueda del mercado

Una vez definidos los tipos de vehículos que existen, es importante definir cuáles serían los contextos de uso o nichos de mercado en los que serían usados. En la tabla 1.1 se muestra algunos lugares de uso, así como el tipo de usuario, para qué lo usaría y de qué forma lo usaría.

Tabla 1.1 Nichos de mercado.

Mercado tentativo	Usuario	Necesidades
Fábrica	<i>Personal de servicio</i>	<i>Que no cargue sus cosas, recorra distancias largas en poco tiempo, poco esfuerzo físico</i>
Hospital	<i>Médicos</i>	<i>Recorra distancias largas en poco tiempo</i>
Universidades	<i>Alumnos, académicos, visitantes, intendencia, mensajería</i>	<i>Comodidad, llegar rápido a su destino</i>
Discapacidad	<i>Adultos mayores, discapacitados</i>	<i>Comodidad, seguridad</i>
Lugares de recreación (parques, plazas comerciales, etc.)	<i>Mantenimiento, vigilancia, discapacitados, familias</i>	<i>Comodidad, seguridad, entretenimiento</i>
Aeropuerto	<i>Personal, viajeros con equipaje</i>	<i>Comodidad, poco esfuerzo, eficiencia</i>
Ciudad	<i>Usuarios del transporte público y particular</i>	<i>Evitar tráfico, fácil de estacionarse</i>
Fitness	<i>Deportistas</i>	<i>Ejercitarse mientras se mueve</i>

Con base en esta tabla se decidió iniciar la investigación con el nicho de universidades, dado que era un lugar con la disponibilidad de aplicar la metodología, por lo que Ciudad Universitaria de la UNAM, fue mercado de aplicación.

Una vez definido el lugar, se definió qué tipos de usuario habría dentro de éste, tales como alumnos, profesores, personal de mantenimiento, personal de seguridad, personal administrativo e incluso personas ajenas a ésta que irían a hacer turismo dentro de la misma. Las edades varían bastante desde adolescentes hasta personas de la tercera edad, por lo que los usuarios tendrían diferentes hábitos y características.

Con base en las entrevistas, se logró identificar que hay al menos tres escenarios en los que los usuarios se movilizan dentro del campus de Ciudad Universitaria, como se puede observar en la figura 1.10. Existen los usuarios de tipo 1, que son los que se movilizan con el transporte particular o público a su destino final dentro de la universidad y de este mismo destino usan su medio de transporte para regresar a sus actividades; los de tipo 2, que son los que se movilizan de su punto de partida a su lugar de trabajo, de este van a otro destino dentro del campus y regresan a su lugar de origen; y los de tipo 3, que son las personas que tienen gran movilidad dentro del campus y van a más de dos lugares dentro de Ciudad Universitaria.

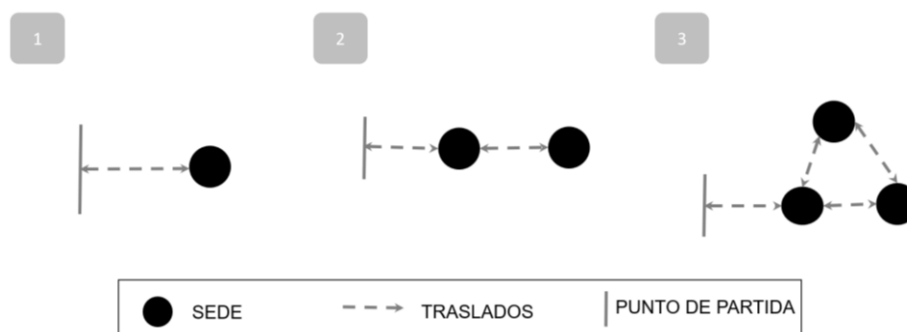


Figura 1.10 Escenario del usuario dentro de Ciudad Universitaria.

Con lo que respecta al usuario tipo 1, es la gran mayoría de la población universitaria, estas personas son las que se trasladan por el Sistema de Transporte Colectivo Metro, por el servicio de microbuses de la ciudad o en auto particular y llegan a su destino de trabajo. Se observó que cargan normalmente mochilas en la espalda, bolsas de mano, algún tipo de bolsa de plástico, un portafolio, algún alimento o bebida, su maletín de herramientas de su profesión o incluso maletas de viajero, como se muestra en la figura 1.11.

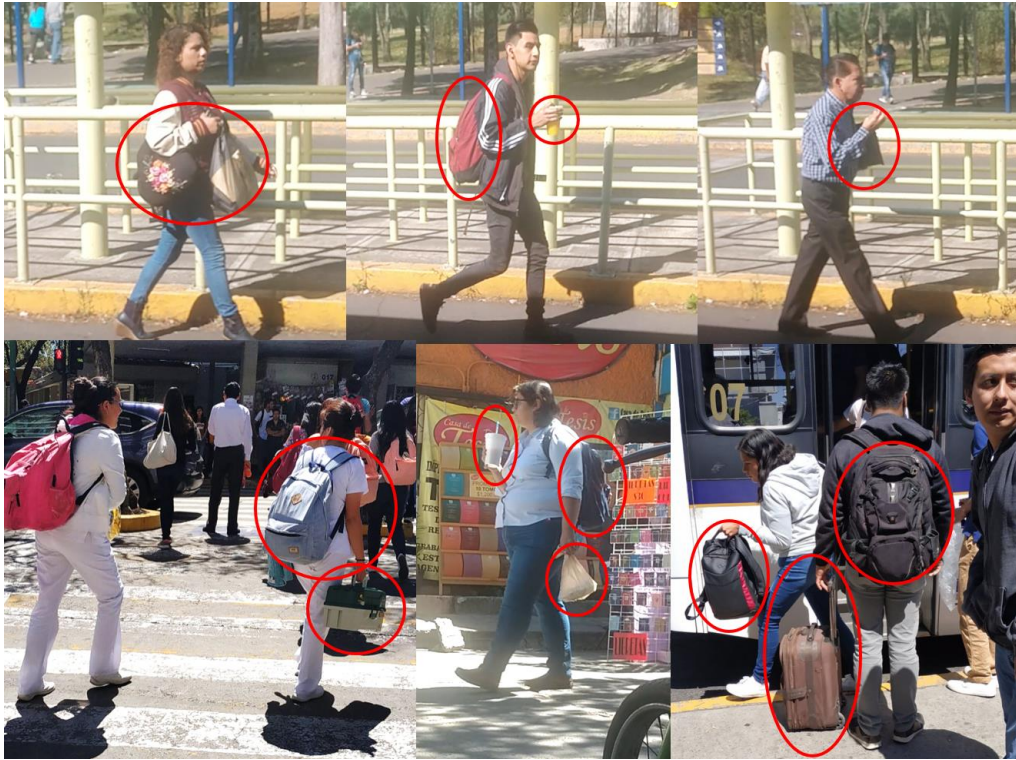


Figura 1.11 Características del usuario tipo 1.

Los usuarios del tipo 2, tienen características similares al tipo uno, solo que al desplazarse a su otro destino suelen hacerlo caminando o mediante el sistema de transporte universitario “Bicipuma”, como se muestra en la figura 1.12. Un ejemplo típico de estos usuarios son los que desde su hogar se transportan a su salón de clase, y de éste se movilizan a otro edificio donde continúan sus clases, como los estudiantes de ingeniería cuando se movilizan del complejo sur de la Facultad al norte y viceversa.

Además, estos usuarios suelen cargar su mochila en la espalda o en el hombro, si sus actividades lo demandan, llevarán consigo también bata de laboratorio y caja de herramientas, pero si viajan en bicicleta causa un problema ya que deben ingeniárselas para llevar sus cosas como se muestra en la figura citada.

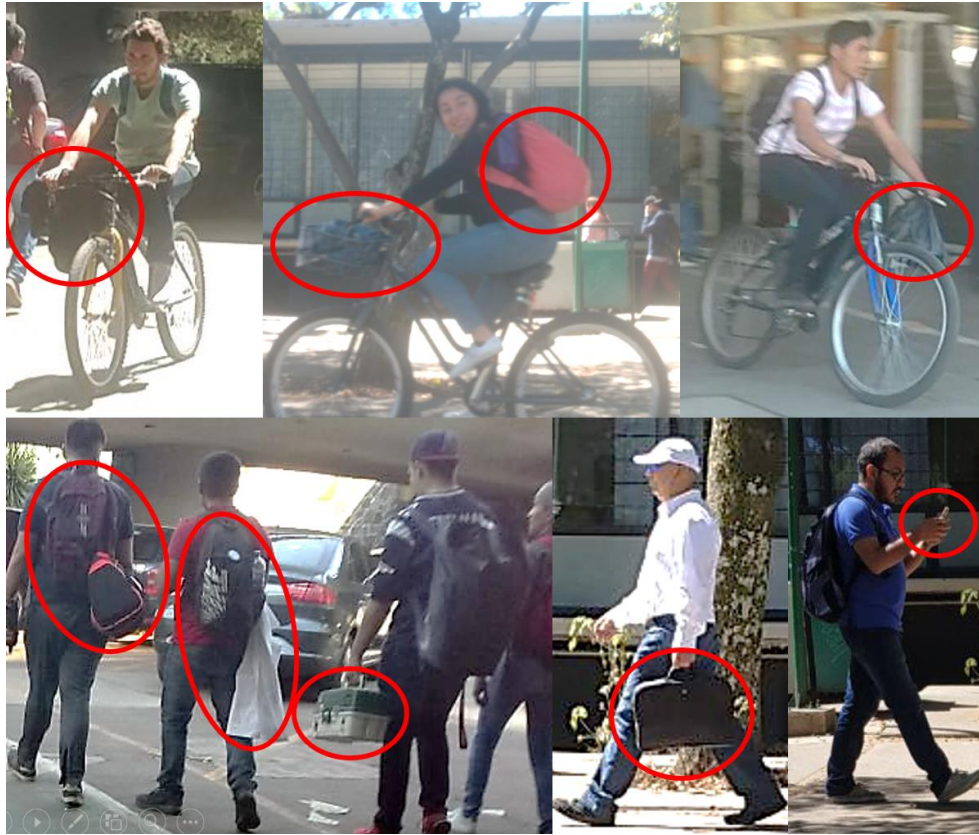


Figura 1.12 Características del usuario tipo 2.

Por otra parte, existen los usuarios del tipo 3, los cuales son usuarios particulares ya que tienen varias actividades dentro del campus universitario y por tanto, tienen gran movilidad. Se logró identificar a un usuario de este tipo (figura 1.13) y se le hizo una entrevista, de la cual se obtuvo que él es estudiante del Posgrado en Ingeniería Mecánica y él regularmente llega a su salón de estudio dentro de la Facultad de Ingeniería, después se moviliza a la Facultad de Química donde imparte clases y finalmente se traslada al Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT), donde realiza su trabajo de investigación.

Debido a esta gran movilidad, decidió adquirir una bicicleta eléctrica para movilizarse dentro del campus, dado que el transporte universitario no era tan flexible en las rutas y tiempos que necesitaba cumplir para llegar a tiempo a su destino, además que él tiene el inconveniente de sudar mucho y si ocupara un transporte que le exija esfuerzo físico, irremediablemente no podría llegar seco a sus compromisos, haciéndolo sentir incómodo.









Figura 1.13 Fotografía del usuario tipo 3.





1.6.2. Soluciones actuales




A la par de la investigación del usuario, también se hizo una búsqueda de los vehículos existentes enfocados a resolver la movilidad personal. A continuación, se muestra una tabla donde se listan vehículos de una, dos y tres ruedas con diferentes configuraciones y características técnicas utilizados como vehículos personales para movilidad.

Tabla 1.2 Vehículos de movilidad personal.

Nombre	Ruedas	Tamaño de las ruedas	Potencia (W)	Velocidad máxima (km/h)	Autonomía (km)	Peso (kg)	Precio (USD)
 Ninebot One S1 [14]	1	16"	500	20	25	12	500

 <p>One Wheel Pint [15]</p>	1	10.5"	750	26	13	10.5	950
 <p>Segway Drift W1 [16]</p>	1/ patin	3.5"	37.5 cada uno	12	45	3.5 cada uno	500
 <p>Ninebot S [17]</p>	2	10.5"	400	16	22	12.8	550
 <p>Ninebot ES3 [18]</p>	2	8" delanter a, 7.5" trasera	250	25	45	14	700
 <p>Mi Xiaomi [19]</p>	2	8.5"	250	25	30	12.5	600

 <p>Egren-ten [20]</p>	2	8"	350	20	30	17	1600
 <p>Mercane WideWheel [21]</p>	2	8"	500	40	45	17	1350
 <p>Mercane Wheels Trans Board [22]</p>	3	10" delante- ras, 8" trasera	500	25	30	28	2000
 <p>Streeter [23]</p>	3	20" delanter a, 8" traseras	200-400	28	30	38.8	-

 <p>DC-Tri [24]</p>	3	10"	250	25	50	-	-
 <p>Hitcar Lift DDM [25]</p>	3	-	-	-	70	-	-
 <p>Halfbike [26]</p>	3	20" delanter a, 8" traseras	No aplica	Capacidad humana	No aplica	8.5 kg	700
 <p>Me Mover [27]</p>	3	12.5"	No aplica	Capacidad humana	No aplica	kg	-

Como se mostró en la tabla anterior, hay varios tipos de vehículos que son utilizados para la movilidad personal, si bien hay productos de propulsión por fuerza humana, la mayoría son de funcionamiento eléctrico, los cuales tienen una potencia entre 200 y 750 vatios, con la capacidad de recorrer cuando menos 20 km de forma continua. Una característica importante es que son ligeros, ya que están pensados para ser versátiles y ser transportados lo cual incluye tener ruedas de diámetro no tan grande.

1.7. HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN PREVIA

Con esta información se llegó a la conclusión que ofrecer un vehículo de última milla como producto, no sería una buena alternativa, ya que según la tabla 1.2, los vehículos rondan entre los \$10,000 y los \$40,000 (MXN), por lo que la gran mayoría de la comunidad universitaria no tendría las posibilidades de adquirir un vehículo con características similares.

A su vez, dada la oferta que ofrece la universidad en movilidad con Bicipuma, servicio de préstamo de bicicletas y el Pumabus, servicio de transporte con autobuses de pasajeros; resulta complicado sustituir o añadir un vehículo eléctrico como medio de transporte de préstamo dentro de sus instalaciones, por lo que el usuario objetivo se redujo drásticamente, reduciendo la viabilidad de aplicar esta solución en este nicho.

Derivado de esto, se empezó a hacer investigación de los demás nichos que se habían descrito en la sección 1.5.1., con lo que se encontró que un requerimiento para iniciarla era tener la posibilidad de acceder al lugar donde se aplicaría la solución, saber la situación del nicho, conocer al usuario, saber su interacción con el medio de transporte y solucionar una problemática existente.

Por ello, fue necesario hacer una búsqueda de una compañía colaboradora que permitiera conocer el problema, poniéndose en contacto con una empresa de paquetería que buscaba mejorar su capacidad de entrega en la última milla o en el

último tramo del recorrido con la aplicación de un nuevo vehículo. En el siguiente capítulo se hablará a detalle de las necesidades que se plantearon.

CAPÍTULO 2

CICLO 1: USUARIO

Una vez definido el nicho, el cual sería paquetería, se aplicó la metodología de Diseño Centrado en el Usuario, la cual consiste en cuatro ciclos (sección 1.2); en este capítulo se narrará lo realizado en el primero, que básicamente es conocer al usuario y su problemática.

2.1. RETO

El primer punto de la metodología indica que se debe definir el reto, el cual fue propuesto por la empresa de paquetería colaboradora, de la cual se hablará más a detalle en la siguiente sección. El reto planteado por esta empresa se definió basado en la problemática y en las necesidades que externó al grupo de trabajo las cuales se pueden resumir de la siguiente manera: "Diseñar un Vehículo de Última Milla (VUM) eléctrico que permita optimizar las entregas, sobre todo para zonas de difícil acceso, con el objetivo de garantizar la calidad del servicio a los compradores".

2.2. USUARIO EN CONTEXTO

Seguido de definir el reto, se debe conocer al usuario en contexto. No obstante, antes de iniciar esta etapa, se debe conocer en primera instancia qué es un usuario, el cual define a la persona que tendrá interacción directa con el producto o servicio que se desarrollará o mejorará.

Otra persona importante que interviene en el proceso de diseño es el cliente, quien es la persona que adquirirá y proporcionará los recursos económicos para el desarrollo o mejora del producto o servicio, que en el escrito se usará como sinónimo colaborador. En ocasiones, el usuario y el cliente son la misma persona, pero para el caso de este trabajo son personas distintas.

Dada la importancia de conocer al usuario, se obtuvo información gracias a que la empresa con la que se colaboró dio las facilidades para conocer el proceso de entrega y las actividades que realizan los usuarios, de tal manera que se pudieran detectar las necesidades de ellos y contribuir a hacer más eficiente su tarea de reparto. Además, se conoció a los colaboradores de la empresa, ya que al ser los clientes, también era importante conocer sus necesidades, así como su apreciación respecto de las del usuario y contrastar ambos puntos de vista.

2.2.1. Colaborador

El colaborador del proyecto, a lo largo de la investigación dará realimentación sobre los hallazgos detectados, y quien al final adquirirá el producto para mejorar su servicio de reparto de paquetes. La empresa con la que se trabajó se llama “*Re! Corre*” (figura 2.1), la cual es mexicana dedicada al reparto de mercancías con recolección y entrega en el mismo día. Dicha empresa tiene actualmente dos estaciones donde les llega la mercancía que van a repartir, su horario de trabajo es de lunes a domingo de 7 a 16 horas y manejan otro horario de 9 a 18 horas, aunque en temporadas de alta demanda suelen trabajar en este último. Entregan en zonas de corporativos y populares en tres ciudades del país.



Figura 2.1 Logotipo de la empresa “Re! Corre” [28].

2.2.2. Observación con el usuario

Después de tener una breve entrevista con el colaborador, éste dio la oportunidad a cuatro miembros del equipo de tener acceso a su empresa para hacer observaciones del usuario y del proceso de entrega, para lo cual durante tres horas, cada miembro del equipo acompañó a una camioneta diferente a realizar entregas, por lo que en total se obtuvieron 12 horas de observación y entrevistas a 10 personas que trabajan en esta empresa en diferentes roles, como los conductores, ayudantes y gente encargada de la logística del llenado de las camionetas.

Para comenzar las observaciones se llegó al punto de inicio del proceso, el cual es una bodega donde se alojan los paquetes. Lo primero que se pudo observar es que el personal de reparto (conductores y ayudantes) esperan en el exterior de la bodega con camionetas de tipo *van* o *minivan*, éstas las recogieron previamente en una pensión donde la empresa de reparto las renta. El personal espera hasta que les den acceso a la bodega, mientras tanto conviven con sus compañeros, toman un pequeño desayuno ya sea que compraron en los alrededores o que trajeron de sus casas. Un dato importante que se notó es que la gran mayoría no cargaba mochila, si acaso alguna bolsa pequeña. Al preguntarle al personal encargado de la logística el motivo de esto, contestó que los conductores o ayudantes no tienen permitido ingresar a las camionetas con mochilas, ya que se corre el riesgo que se roben algún paquete.

Poco después, los conductores ingresan con las camionetas a la bodega, las estacionan, esperan que los encargados de la logística les asignen y acerquen estantes definidos para cada unidad, los cuales contienen los paquetes ya clasificados que repartirán en la ruta de cada uno de los vehículos, como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Preparación de los estantes con los paquetes que irán en la camioneta.

Un aspecto importante que se observó fue que el colaborador subcontrata a otra empresa para el reparto con motocicletas, las cuales tienen montadas unas cajas en la parte trasera, de forma que pueda repartir paquetes pequeños, en su mayoría sobres, aunque pueden llevarse alguna caja, siempre y cuando puedan asegurarla a su vehículo, como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3 Llenado de las motocicletas de reparto.

Después de definir los paquetes que irán en la camioneta, los conductores cuentan y colocan los paquetes de forma que se compruebe que está completo el lote; en caso de no coincidir, los sacan y vuelven a contar. Seguido de esto, los acomodan de forma que no se muevan colocados en la parte trasera de la camioneta (figura 2.4), destacando que no tienen ningún tipo de compartimento o medio de anclaje para las cajas o sobres que se ingresan en la zona de carga, la cual llega a la bodega totalmente vacía. Al término de esto, abren una aplicación de celular (figura 2.5) que es la que se encarga de informarles los destinos y rutas que deben seguir. Para ingresar a la aplicación, previamente se les dio un celular de la empresa junto con la clave que definirá el lote de paquetes que entregarán, una vez hecho esto, ingresan a las camionetas y se dirigen a la salida, donde se les asignará de forma aleatoria a un acompañante que irá con ellos como copiloto, haciendo la labor de lo que se nombrará como ayudante, quien sube a la unidad y se dirigen a su destino.



Figura 2.4 Parte trasera de la camioneta llena con paquetes.

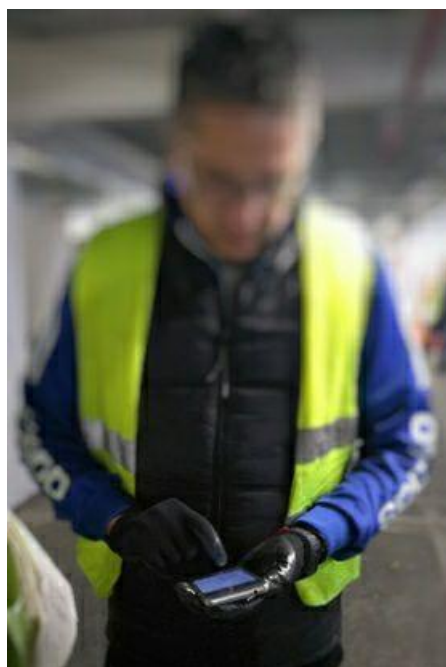


Figura 2.5 Conductor abriendo la aplicación Rabbit.

Para las observaciones en el recorrido, los integrantes del equipo iban a bordo de la camioneta en el asiento del copiloto junto con el ayudante y el chofer. En el recorrido se les hacían algunas preguntas, tomaban fotografías y se observó la forma en que realizaban su trabajo, evitando obstruirlo.

Al llegar a la zona destinada, seguían las indicaciones del GPS para llegar al domicilio donde se haría la entrega. Al arribar, se bajaban el chofer y el ayudante, el primero lo que solía hacer era abrir las puertas traseras de la camioneta, entre cerrarlas, buscar y tomar el paquete que se entregaría, cerrar las puertas y darle el paquete al ayudante. Mientras tanto, el ayudante tomaba el celular que les daba la empresa y que indicaba la ruta a seguir, de forma que pudiera acceder a la información que detallaba la forma en cómo se haría la entrega, como por ejemplo: la dirección y el nombre de la persona que recibiría el paquete, tocaba el timbre o la puerta del domicilio, tomaba el paquete y esperaba a que la persona abriera la puerta como se aprecia en la figura 2.6. Si la persona salía, entonces el ayudante daba el celular al destinatario del paquete para que firmara de entregado. Una vez hecho esto, ambos subían de nuevo a la camioneta, colocaban el celular en el

soporte que estaba en el tablero, volvían a mostrar la ruta de entrega en el celular y se dirigían al siguiente objetivo.



Figura 2.6 División de tareas al llegar al domicilio.

No obstante, podía ocurrir que la persona a la que se entregaría el paquete no abriera la puerta, lo que implicaba un protocolo a seguir. Primero, desde la aplicación se debía llamar al *call center* para que los enlazarán vía telefónica con la persona que solicitó la entrega, al contestar le notificaban que estaban fuera de su domicilio para hacer la entrega. En caso de que no estuviera, podían solicitarles que regresaran más tarde o que lo dejarán con otra persona y en consecuencia se pedía la firma del tercero. Este último caso sucedió en una entrega y se dejó el paquete con el conserje del edificio como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7 Entrega de paquete a un tercero.

Se detectó que entre cada entrega, tanto el conductor como el ayudante manejan mucho estrés, ya que corren el riesgo de no encontrar a la persona, lo que genera retrasos en el proceso de entrega y en consecuencia alarga su jornada de trabajo, ya que, si bien su jornada abarca 9 horas iniciando a las 7 de la mañana, pueden salir antes si entregan todos sus paquetes destinados para ese día. En caso de no lograr el objetivo, tienen la obligación de cumplir con la entrega de al menos el 98% de los paquetes que llevan consigo. La cantidad de paquetes promedio que entregan al día es de 70, pero pueden llevar hasta 150 según la demanda que haya.

Los usuarios entrevistados comentaron que entregan paquetes de distintos volúmenes y pesos y han llegado a entregar cajas cercanas a los 40 kilogramos. Sus destinos son variados, desde casas populares hasta unidades habitacionales y corporativos, en rutas predefinidas que abarca en promedio 50 km de recorrido por día.

Los conductores comentaron que en ocasiones no apagan la camioneta entre cada entrega para ahorrar tiempo, repercutiendo en un gasto adicional de combustible. Además, se observó que no ocupan cinturón de seguridad, seguramente por la misma razón ya que están subiendo y bajando constantemente del vehículo. En contraparte, una tarea que hacen recurrentemente y pierden tiempo es acomodar

los paquetes (figura 2.8), ya que conforme entregan paquetes, la parte trasera se vacía, por lo que acomodan los paquetes de manera que no se desacomoden tanto y pudieran dañarse, lo cual es complicado ya que no hay nada para sujetarlos.



Figura 2.8 Conductor acomodando los paquetes.

Asimismo, se notó que suelen batallar con las direcciones de los destinos, ya que en ocasiones los mapas no están actualizados, hay calles cerradas, estrechas o inclinadas, poniendo a prueba su habilidad al conducir. Finalmente, un punto a destacar es que comentan que no tienen horario de descanso, por lo que se han visto forzados a acostumbrar a su cuerpo para no ir al baño ni comer en toda la jornada de trabajo, ya que si lo hicieran perderían tiempo.

2.3. NECESIDADES

Empleando la técnica propuesta por Ulrich y Eppinger [29], se recopiló la información de las observaciones realizadas a los trabajadores, con el objetivo de transformar los enunciados que mencionaban los trabajadores de reparto en necesidades interpretadas. Para esto se detectó los usos típicos de la camioneta, lo que les gusta, lo que no les gusta y algunas sugerencias que ellos mencionaban.

En la tabla 2.1 se muestra esta información, donde se colocó una “x” cuando correspondía al chofer, al ayudante o al cliente.

Tabla 2.1 Interpretación de los enunciados del usuario/cliente.

Pregunta/ Sugerencia	Chofer	Ayudante	Cliente	Enunciado del usuario/cliente	Necesidad interpretada
Usos típicos de la camioneta	x	x	x	Necesito meter paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.	El Vehículo de Última Milla (VUM) tiene la capacidad de almacenar paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.
	x	x	x	Necesito transportar paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.	El VUM tiene la capacidad de transportar paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.
			x	Entrego paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.	El VUM permite entregar paquetes frágiles de diferentes tamaños y pesos.
	x			Manejo de manera continua durante 9 horas.	El VUM cubre una jornada de trabajo.
	x	x		No suelo utilizar el cinturón de seguridad.	El VUM cuenta con sistema de seguridad.
	x	x		Hago entregas en una ruta de 50 km diario.	El VUM cubre una ruta diaria.
	x			Acomodo los paquetes por tamaño	El VUM tiene el espacio para acomodar los paquetes.
	x			Dejo la camioneta prendida mientras hago la entrega.	El VUM se enciende o apaga fácilmente.
			x	No me gusta tener que gastar mucho en combustible.	La relación costo beneficio del VUM es alta
	x	x		Busco los paquetes por tamaño y número de orden.	El acomodo en el VUM permite la identificación de los paquetes.
x			Reacomodo los paquetes en cada entrega para evitar que se muevan.	El acomodo en el VUM permite la estabilidad de los paquetes.	
Que les gusta			x	Me gusta que quepan hasta 120 paquetes.	EL VUM cubre la demanda de paquetes.
	x			Me gusta que pueda tener la ruta a seguir a la vista.	El VUM permite ver la ruta a seguir fácilmente.
	x			Me gusta que pueda quitar el teléfono fácilmente del soporte.	El VUM permite desmontar el teléfono fácilmente de su soporte.
	x	x		Me gusta que, si me apuro, puedo salir temprano.	El VUM permite hacer entregas rápidas.
	x	x		Me gusta que no haya tráfico.	El VUM permite circular fácilmente en zonas con tráfico.
	x	x		Me gusta tener alguien con quien platicar.	El VUM permite tener interacción.
	x	x		Me gusta escuchar música.	El VUM procura hacer el viaje más ameno.

Que no le gusta	x	No me gusta que en las pendientes tengo que agarrar vuelo y no frenar para que la camioneta no se regrese.	El VUM opera en diferentes condiciones de terreno.
	x x	No me gusta tener que intercambiar el teléfono cada vez que hay una entrega.	No está relacionado con el vehículo.
	x x	No me gusta que mi refresco se caiga y se caliente.	El VUM tiene espacio para colocar bebidas sin derramarlas y mantenerlas frescas.
	x x	No me gusta que me prohíban llevar mochila porque no tengo donde guardar mis pertenencias personales	El VUM tiene espacio para guardar pertenencias personales de manera segura.
	x x	No me gusta que no hay donde poner mi lunch.	El VUM tiene espacio para guardar su refrigerio y mantenerlo comestible.
	x x	No me gusta la aplicación porque algunas veces marca mal el destino	No es relacionado con el vehículo.
	x	No me gusta que es complicado encontrar donde estacionar la camioneta.	El VUM se estaciona en espacios reducidos.
	x x	No me gusta que tenga que abrir y cerrar varias veces las puertas de la cabina del operador.	El VUM facilita el ascenso y descenso.
	x x	No me gusta tener que subir y bajar a cada rato de la camioneta.	El VUM facilita el ascenso y descenso.
	x	No me gusta que cada que busco un paquete tenga que cerrar la puerta para no llamar la atención.	El VUM permite la discreción del contenido.
	x	No me gusta que me salgan callos por manejar todo el día.	La ergonomía del VUM facilita su manejo por varias horas continuas.
	x	No me gusta que se me quemem los brazos.	EL VUM ofrece protección contra la insolación.
	x x	Me frustra no encontrar a la persona en casa.	No está relacionado con el vehículo.
	x x	No me gusta que haya poca descripción del domicilio.	No está relacionado con el vehículo.
	x x	No me gusta que no haya timbre.	El VUM puede notificar al cliente de su arribo.
	x	No me gusta que cuando tengo que llevar varios paquetes necesito ir y regresar a la camioneta varias veces.	El VUM permite entregar varios paquetes a la vez.
	x	No me gusta cuando llueve.	EL VUM ofrece protección contra la lluvia.
	x x	No me gusta tener que regresar al punto de entrega.	No está relacionado con el vehículo.
x x	No me gusta que debo cumplir con el 98% de las entregas.	No está relacionado con el vehículo.	
x	No me gusta asolearme, ni caminar.	El VUM facilita una gran aproximación a los puntos de entrega.	

Sugerencias	x x	Me gustaría que tuviera estéreo para escuchar música.	El VUM permite hacer el viaje más ameno.
	x x	Me gustaría tener donde poner mis bebidas.	El VUM tiene espacio para colocar bebidas sin derramarlas y mantenerlas frescas.
	x x	Ojalá tuviera un lugar para poner mi lunch.	El VUM tiene espacio para colocar mi lunch y mantenerlo fresco.

	x	Ojalá nos dieran una camioneta 4x4.	El VUM opera en diferentes condiciones de terreno.
	x x	Me gustaría que nos dieran un celular con la app a cada uno.	No tiene que ver con el vehículo.
	x	Ojalá nos prestaran un diablito para destinos con varias entregas.	El VUM facilita una gran aproximación a los puntos de entrega.

2.4. SOLUCIONES ACTUALES PARA PAQUETERÍA

Además de conocer cómo realiza su proceso de entrega la empresa colaboradora, es importante mencionar cómo realizan su proceso de entrega algunas de las empresas de paquetería en México. Si bien, muchas de ellas tienen una gran logística e infraestructura alrededor del mundo, sólo se destacarán los vehículos que ocupan para hacer entregas desde las bodegas o *checkpoints* a los domicilios particulares o corporativos.

Si bien algunas empresas ocupan camiones pequeños para hacer sus entregas, al menos las empresas de paquetería más populares en México como lo son DHL, UPS, FedEx y Estafeta utilizan camionetas como se aprecia en la figura 2.9, si bien hay gran variedad de modelos y tamaños, se caracterizan por tener una cabina en la parte frontal y en la trasera un área de carga.



Figura 2.9 Camionetas de diferentes empresas de paquetería: a) DHL [30], b) UPS [31], c) FedEx [32], d) Estafeta [33].

En los últimos años, las empresas de reparto han estado en la búsqueda de medios de transporte alternativos, ya que ha habido una mayor demanda de sus servicios originada por el incremento de comercio electrónico, aunada a las dificultades logísticas provocadas por el aumento en la población, de la flota vehicular, del costo de los combustibles fósiles y del aumento de los gases de efecto invernadero.

Un ejemplo de estos vehículos alternativos es el que está buscando utilizar DHL como se muestra en la figura 2.10, la cual es una bicicleta con un compartimento para paquetes en la parte delantera. Este vehículo se está probando en Alemania para envíos urgentes de paquetes pequeños y documentos.



Figura 2.10 Parcycle de DHL [34].

Siguiendo con la idea de vehículos pequeños, una alternativa fue el uso de triciclos como el que se muestra en la figura 2.11, los cuales son eléctricos y se implementaron en España en algunas ciudades para operar en zonas de difícil acceso o restringidas para vehículos a motor.



Figura 2.11 Triciclo de DHL [35].

Otro concepto que tuvo sus pruebas en Alemania y Países Bajos fue un vehículo de cuatro ruedas donde el conductor puede hacer las entregas pedaleando o asistido por un motor eléctrico como se puede ver en la figura 2.12.



Figura 2.12 Cubicycle de DHL [36].

Otra empresa que está haciendo lo propio, es UPS, que como se observa en la figura 2.13, que utiliza triciclos eléctricos para hacer repartos en Suiza con propósito de reducir las emisiones y la congestión de tráfico en las ciudades.



Figura 2.13 Triciclo de UPS [37].

Finalmente, otra empresa que está apostando en tener vehículos alternativos es Estafeta, la cual tiene un vehículo de dos ruedas eléctricas que ya hace repartos incluso en la CDMX como se aprecia en la figura 2.14.



Figura 2.14 Bicicleta de Estafeta [38].

2.5. FACTORES CRÍTICOS Y HALLAZGOS DEL USUARIO

A partir de las observaciones y entrevistas realizadas, se identificaron factores críticos y hallazgos, los cuales esencialmente nos permiten entender al usuario. A continuación, se resumen en dos categorías, los enfocados a las dificultades del trabajo y los que se refieren al ambiente del mismo.

2.5.1. Dificultades en el trabajo

- Uno de los problemas es encontrar donde estacionarse. Aunque se llegue al domicilio de entrega, muchas veces deben alejarse unos metros para estacionarse y descargar, lo que consume tiempo. Otras veces se estacionan en doble fila, lo que genera confrontaciones con otros conductores y problemas en las vialidades.
- Otra de las dificultades son la accesibilidad de algunas zonas y el nombre de calles mal escritos o, que incluso, han cambiado recientemente.
- También es difícil encontrar paquetes, pues se desordenan en el trayecto a otro destino y genera pérdida de tiempo realizar la búsqueda.
- El que la unidad pueda sufrir alguna avería durante la jornada también es un problema siempre latente.

- El personal de la camioneta no tiene un horario específico de trabajo, ya que varía si no termina las entregas. Tampoco cuentan con un lugar para tomar sus alimentos (desayuno, comida).
- El personal de la camioneta no tiene lugar ni tiempo para ir al baño.
- El chofer y el ayudante no tienen donde dejar sus pertenencias o su refrigerio dentro del vehículo (comida y bebidas).
- El personal de la camioneta gasta combustible al mantener el vehículo prendido casi todo el tiempo, lo cual repercute también en contaminación.
- Ni el chofer ni el acompañante usan cinturón de seguridad, para facilitar su ascenso y descenso continuo.

2.5.2. Ambiente de trabajo

- Los operarios se encuentran bajo constante estrés.
- Les preocupa mucho el manejo del tiempo en las entregas.
- Eventos externos como el tráfico, problemas con otros vehículos/personas, las condiciones climáticas, no encontrar a los clientes en el domicilio, no dar con el domicilio y otras cuestiones pueden empeorar el estrés.
- Cuando terminan sus entregas pueden salir del trabajo, sin necesidad de cumplir la jornada de 9 horas, lo cual es una motivación para ellos.
- Sólo hay hombres desarrollando todas las tareas de reparto.

CAPÍTULO 3

CICLO 2: EXPERIENCIA

Una vez que se conoció al usuario, se precisarán varios factores importantes que requiere la metodología de DCU, los cuales será definir a quién, en dónde y qué hacer para que mejore la situación del usuario.

3.1. REDEFINICIÓN DEL RETO

Primeramente, se redefinió el reto, ya que ahora se tiene más contexto de la situación del usuario quedando de la siguiente manera: "Diseñar un Vehículo de Última Milla (VUM) eléctrico que haga más eficiente la entrega de paquetes respecto a cómo se hace actualmente, sobre todo en zonas de difícil acceso, reduciendo tiempo y costos, a través de la generación de nuevas experiencias de uso".

3.2. JERARQUIZACIÓN DE NECESIDADES

Después de abstraer los comentarios de los usuarios a necesidades, se clasificaron en tres grupos, las necesidades relacionadas con el vehículo, las relacionadas con los paquetes y finalmente con el usuario. Seguido de esto, se le dio una ponderación respecto a su relevancia en la logística de entrega con el fin de sintetizar las necesidades que se buscaría resolver; en la figura 3.1 se observan las necesidades referentes al vehículo, destacando que las que se encuentran en círculo rojo son las necesidades que tienen una importancia mayor; las encerradas en amarillo las de media importancia y las que están en verde las de importancia baja.



Figura 3.1 Necesidades referentes al vehículo.

Por otra parte, respecto a las necesidades que se refieren a los paquetes, son mostradas en la figura 3.2, cuya importancia sigue el mismo código de colores antes descrito.

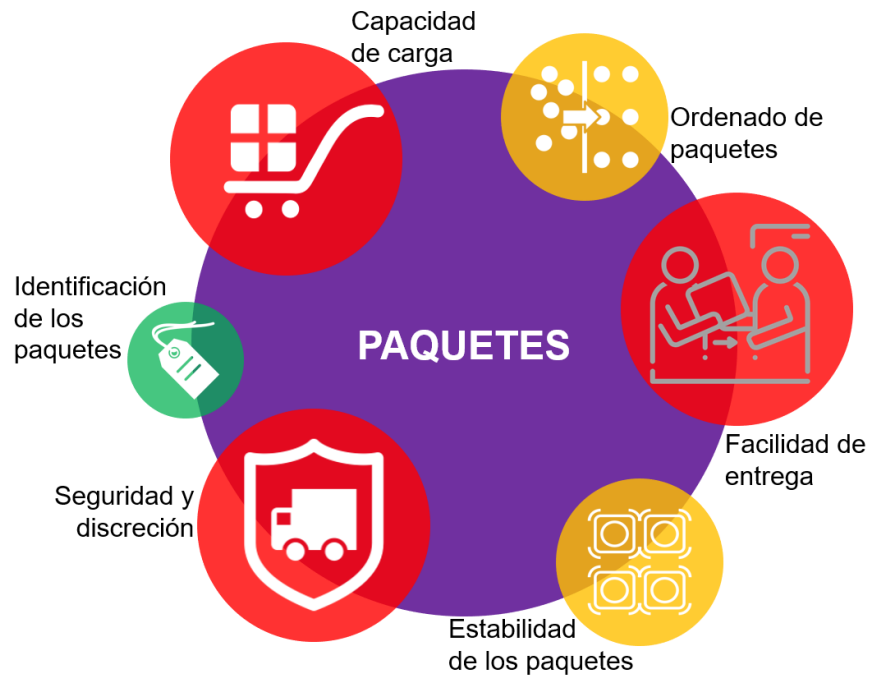


Figura 3.2 Necesidades referentes a los paquetes.

Por último, en la figura 3.3 se pueden observar las necesidades referentes al usuario, siguiendo el mismo patrón.



Figura 3.3 Necesidades referentes al usuario.

3.3. PROPUESTA DE VALOR

Una vez detectados los problemas a resolver, es importante la definición de la propuesta de valor, la cual será la o las características que tendrá el sistema que se diseñará y que harán que sea mejor que lo que se tienen actualmente o que algún posible competidor haya implementado.

3.3.1. Propuesta de valor para el cliente

Primeramente, se define cual es la propuesta de valor para el cliente, la cual se puede resumir con la siguiente frase: “al ocupar el VUM, la empresa colaboradora podrá aumentar la cantidad de entregas de paquetes, incrementado sus ganancias y la cobertura de entregas en zonas de difícil acceso”. Para detallar dicha propuesta, se definen algunas características que se ofrecerán con el producto que se generará, las cuales se enlistan a continuación:

- El ocupar un vehículo eléctrico permite que se pueda circular diariamente, además de no tener gastos administrativos de tenencia, entre otros.
- La empresa podría tener sus propios vehículos y ya no tendría que rentar los vehículos a terceros.
- Debido a que es un vehículo personal, ya solo se requiere un trabajador para hacer la entrega.
- El VUM puede circular por terrenos que una camioneta no, como calles estrechas o ciclovías.
- El VUM tiene una autonomía de 50 km o lo necesario para una jornada de 9 horas de entrega de paquetes.
- El VUM tiene capacidad de carga mayor a 50 paquetes.
- Al ser un vehículo eléctrico, la relación costo-beneficio es mayor, es decir, los gastos eléctricos comparado con gastos de combustibles fósiles, serían menores.

Como respaldo de este último punto, se apoyó de una calculadora de ahorro de combustible, la cual compara el uso de un vehículo eléctrico de la marca BMW (modelo i3) con un auto a gasolina [39]. Si bien estos valores nos dan una idea del ahorro que se tendría, se hará el ejercicio del cálculo respecto a nuestro escenario actual.

La empresa colaboradora ocupa *minivans* y *vans*, una de estas camionetas que ocupa es el modelo *Transporter* de *Volkswagen* la cual tiene un rendimiento en ciudad de 10.5 kilómetros por litro [40]. El precio del litro de los combustibles fósiles al día 23 de agosto de 2020 en la Ciudad de México son los mostrados en la figura 3.4 y dado que esta camioneta ocupa diésel, se ocupará el valor de \$19.426 por litro.

Precios promedio reportados de la Ciudad de México*		
Regular	Premium	Diésel
\$/litro	\$/litro	\$/litro
19.236	19.599	19.426

Figura 3.4 Precios de combustibles en la CDMX [41].

Dado que las rutas diarias que realizan son de 50 kilómetros en promedio y trabajan 365 días del año, el recorrido anual es de 18,250 kilómetros, con este valor se evaluará el costo por uso de diésel al año.

$$\text{Costo diésel anual} = \frac{\text{Distancia recorrida} \left[\frac{km}{año} \right] \cdot \text{precio diésel} \left[\frac{\$}{litro} \right]}{\text{rendimiento van} \left[\frac{km}{litro} \right]} = \left[\frac{\$}{año} \right]$$

$$\text{Costo diésel anual} = \frac{18,250 \cdot 19.426}{10.5}$$

$$\text{Costo diésel anual} = \$33,764$$

Por otro lado, si se ocuparan vehículos eléctricos el cálculo se haría diferente. Suponiendo que se evaluará el ocupar un vehículo similar al scooter Ninebot ES3

que se mostró en la tabla 2.1, el cual utiliza una batería de 36 V, la cual tiene una capacidad de carga de 10.30 Ah y la distancia que puede recorrer con carga completa es de 25 km, con lo que el consumo por carga sería:

$$\text{Capacidad por carga}[Wh] = \text{Voltaje}[V] \cdot \text{Capacidad batería}[Ah]$$

$$\text{Capacidad por carga}[Wh] = 36 \cdot 10.38$$

$$\text{Capacidad por carga} = \mathbf{0.374 [kWh]}$$

Teniendo en cuenta el valor de distancia recorrida de la *van* por año, se podría obtener la relación de cuántas veces se tendría que cargar la batería de 0 a 100% como se describe a continuación.

$$\text{Cargas por año} \left[\frac{1}{\text{año}} \right] = \frac{\text{Distancia recorrida van} \left[\frac{\text{km}}{\text{año}} \right]}{\text{Distancia recorrida por carga}[km]}$$

$$\text{Cargas por año} \left[\frac{1}{\text{año}} \right] = \frac{18250}{25}$$

$$\text{Cargas} = \mathbf{730 \left[\frac{1}{\text{año}} \right]}$$

Finalmente, el precio de la energía eléctrica es de \$0.831 por cada kilowatts- hora, dentro del rango de consumo básico doméstico [42], que al ser multiplicado por la capacidad de carga utilizada y a su vez, por la cantidad de cargas necesarias en un año, se podría obtener el costo de la electricidad en un año ocupada por vehículo con las mismas características que un *scooter*.

$$\text{Costo electricidad} = \text{Cargas} \left[\frac{1}{\text{año}} \right] \cdot \text{Capacidad - carga}[kWh] \cdot \text{Precio elect.} \left[\frac{\$}{kWh} \right]$$

$$\text{Costo electricidad anual} = 730 \cdot 0.374 \cdot 0.831$$

$$\text{Costo electricidad anual} = \mathbf{\$450}$$

Comparando el costo que se tendría en gasto de combustible ocupando los diferentes vehículos presentados, se ve una diferencia abismal, no obstante, hay

que considerar la capacidad de carga que tendría un vehículo con características similares a un *scooter*, el cual sería menor que la camioneta, pero aún así y considerando algunas otras variables, el VUM presenta una propuesta de valor con mucho potencial.

Este último punto no solo significaría un ahorro económico, sino una eliminación de los gases de efecto invernadero generados por la combustión de combustibles fósiles como la gasolina o el diésel, por lo que el VUM sería un vehículo ecológico que contribuiría a la reducción de la contaminación.

3.3.2. Propuesta de valor para el usuario

Si bien el cliente es el que obtendrá el producto a desarrollar, es importante definir la propuesta de valor para el usuario, ya que será la persona que ocupará el producto diario y en una jornada de trabajo. La propuesta se define de la siguiente manera: “al ocupar el VUM, el operador aumentará la eficiencia en la entrega de paquetes, logrando entregar en zonas de difícil acceso, reducirá el desgaste físico y se transportará en un vehículo con mayor comodidad”. Dentro de los aspectos destacables que el usuario obtendrá al utilizar el producto, serán los siguientes:

- Al utilizar el VUM, reduce el tiempo de entrega de paquetes.
- El VUM le permite la identificación de los paquetes, así como una fácil y rápida extracción.
- El encontrar lugar para estacionarse ya no es un problema.
- El vehículo permite que el usuario se proteja de las inclemencias del clima.
- El VUM le permite circular en zonas de difícil acceso, con tráfico y con espacio reducido.
- El vehículo es de fácil ascenso, descenso y conducción.
- El VUM cuenta con sistema de seguridad para proteger al usuario ante algún accidente.

- El vehículo cuenta con un espacio destinado especialmente para sus pertenencias, refrigerio o alguna bebida.

3.4. ESCENARIOS

Para este proyecto se propuso como escenario la Ciudad de México, que corresponde con las necesidades de la empresa colaboradora, y en general con las empresas repartidoras de paquetes en el contexto creciente del *e-commerce*, dado que la ciudad tiene el 22% del mercado, seguido del Estado de México con el 10% y Jalisco con el 9% [43].

La CDMX es el núcleo urbano más grande y el principal centro político, académico, económico, financiero, empresarial y cultural del país. Algunas cosas que se observaron en el recorrido en las camionetas fue que en algunas zonas hay calles con pendientes, con terracería, con empedrado y algunas con baches. Por otra parte, también los aspectos socioeconómicos de las colonias son relevantes, ya que hay zonas con un alto nivel adquisitivo, como condominios, y por el otro lado, también hay zonas inseguras.

Asimismo, es importante destacar que la mayor densidad de la población se encuentra en las alcaldías del lado norte de la CDMX (figura 3.5), mientras que las alcaldías que presentan la mayor densidad de corporativos son Cuauhtémoc (Insurgentes), Miguel Hidalgo (Polanco) y Álvaro Obregón (Santa Fe) [44]. Destacando que, en estas dos primeras alcaldías, está implementado el sistema de bicicletas del gobierno de la Ciudad de México (figura 3.6).

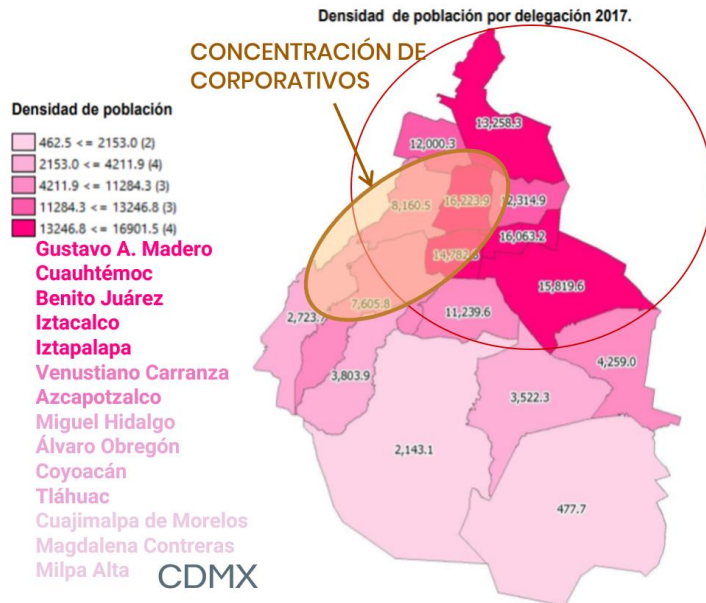


Figura 3.5 Densidad de población y de corporativos en la CDMX [45].

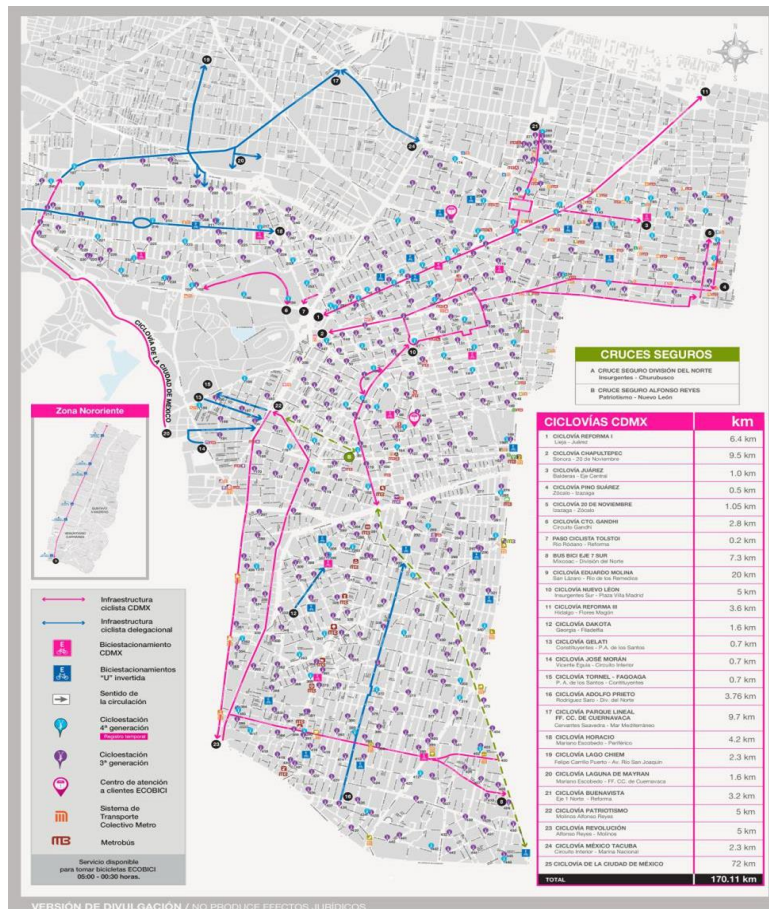


Figura 3.6 Mapa de infraestructura y equipamiento ciclista en la CDMX [46].

Esto se destaca porque en estas zonas existen problemáticas de movilidad, como en las grandes ciudades en diferentes países del mundo que, debido a la centralización de la población, aunado a que los grandes rascacielos y corporativos se encuentran en los centros de las ciudades, propician el acceso caótico a estas zonas, con tráfico concentrado y calles saturadas de peatones. Estas ciudades han buscado soluciones que reduzcan el impacto ambiental y optimicen la movilidad.

3.5. PERSONAJES

Esta es una técnica que consiste en “representar patrones de conducta y necesidades de usuarios reales a través de perfiles, los cuales se denominan personajes” [47], y sirven para describir en forma narrativa al o a los usuarios. En el caso del proyecto que se reporta, al personaje se le asignó un nombre propio ficticio, edad, profesión y en algunos casos una familia. A continuación, se describe en la figura 3.7 al personaje del proyecto, que engloba la mayor parte de las características que se notaron en las observaciones; este personaje puede ser el conductor o el ayudante, dado que sus características son muy similares.



Figura 3.7 Personaje del proyecto.

El personaje lleva como nombre Iván Carmona, quien es chofer repartidor, su principal trabajo es conducir la camioneta a los diferentes puntos de reparto, mide 1.70 m, tiene 26 años y es de complexión delgada. Iván vive en la zona oriente de la Ciudad de México y lleva 6 meses trabajando para la empresa colaboradora.

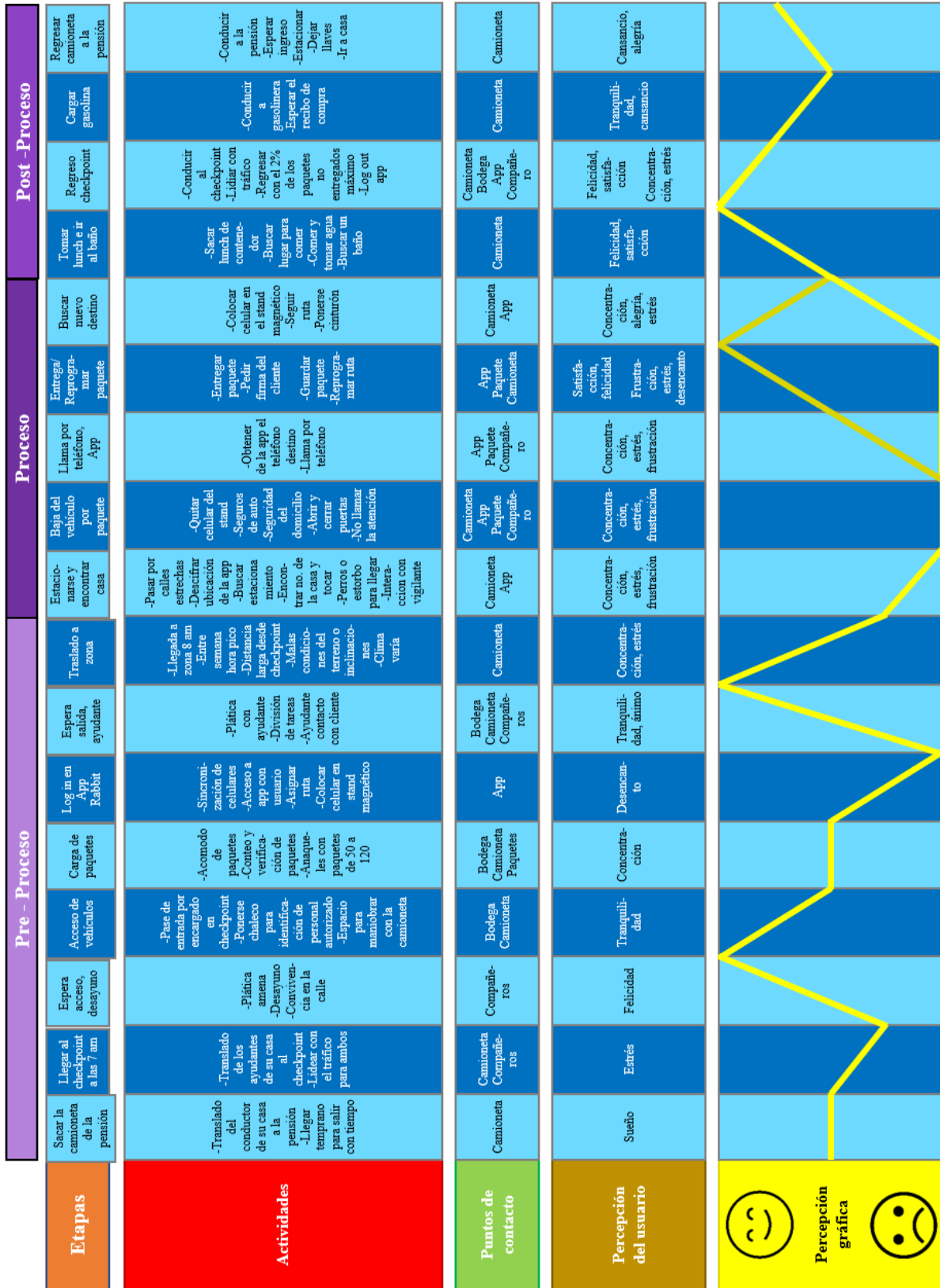
En su trabajo diario viste pantalón de mezclilla, botas, camisa de la empresa y “mangas” para evitar que el Sol le quemara los brazos. Entre las cosas que lleva consigo están: un celular que le indica la ruta de reparto, otro de comunicación con la empresa y uno propio, además identificación y llaves del vehículo.

Antes de ascender a chofer, Iván era ayudante repartidor, su principal trabajo era contactar y entregar el paquete a su destinatario, por lo que era más activo todo el tiempo, lo que le generaba fatiga al final de la jornada.

3.6. MAPA DE RUTA DEL USUARIO (CHOFER/AYUDANTE)

De estas observaciones y entrevistas a los trabajadores, se conoció el contexto en el que laboran y con esa información se realizó un Mapa de Ruta del Usuario (UJM, por sus siglas en inglés), la cual es una de las herramientas que utiliza la metodología DCU para sintetizar la información recopilada y consiste en "una tabla donde se muestran las secuencias de eventos y actividades, por los que transcurre un usuario con un producto [48]". Existen diversas plantillas para generar UJM, en el presente proyecto se ocupó el modelo Temkin [49], ya que se identificó la percepción del usuario y ésta se clasificó como placentera, neutra o desagradable. En la tabla 3.1 se observa el Mapa de Ruta del Usuario.

Tabla 3.1 User Journey Map del conductor/ayudante.



3.6.1. Pre-proceso

Como se observa en el UJM, se decidió clasificar la ruta que realiza el personaje en una jornada de trabajo en tres, siendo la primera el pre-proceso, para lo cual se apoyará visualmente de la figura 3.8, donde se ilustra que el punto de inicio del conductor (Julio) y del ayudante (Pablo) es su casa, de la cual se dirigen a diferentes destinos. Julio parte a la pensión para recoger la camioneta asignada, ya que en este lugar la empresa renta los vehículos, y dirigirse a la bodega o *checkpoint* (banderín azul), lugar donde se almacenan los paquetes que se entregaran ese día. Al llegar, se reúnen con sus compañeros para tomar un pequeño desayuno mientras les dan acceso a la bodega dónde se llenarán las camionetas con los paquetes; una vez que al conductor se le permitió el acceso, ingresa a la aplicación en su celular para seguir la ruta que los guiará en el reparto de los paquetes. Finalmente, el ayudante asignado sube al vehículo y se trasladan hasta la zona de entrega.

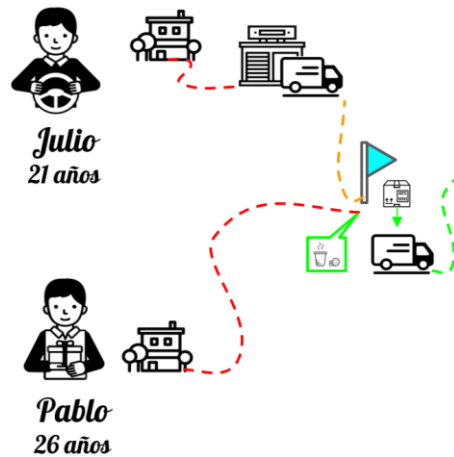


Figura 3.8 Descripción del pre-proceso.

3.6.2. Proceso

La siguiente clasificación fue nombrada proceso, la cual es la más importante, ya que al llegar a la zona de entrega, se dirigen al domicilio, donde buscan la casa y al encontrarla, se estacionan en un lugar disponible, bajan, seguido de esto el chofer saca el paquete de la zona de carga mientras que el ayudante toca el timbre o la

puerta y regresa para que se le dé el paquete. Como se ilustra en la figura 3.9, pueden ocurrir dos escenarios, el primero enmarcado en verde, en el que el ayudante encuentre al destinatario, le firme de forma digital en el celular y se le entregue su paquete, para proceder a la búsqueda del siguiente destino. Mientras que el segundo escenario, encerrado en rojo, describe que el ayudante al no encontrar al destinatario, abrirá la aplicación de la empresa que gestiona los envíos para solicitar el número del solicitante, se comunica con éste para que autorice entregar el paquete con un tercero o que se reagende para hacer la entrega ese mismo día. Esta situación se repite una y otra vez a lo largo de todo el día.

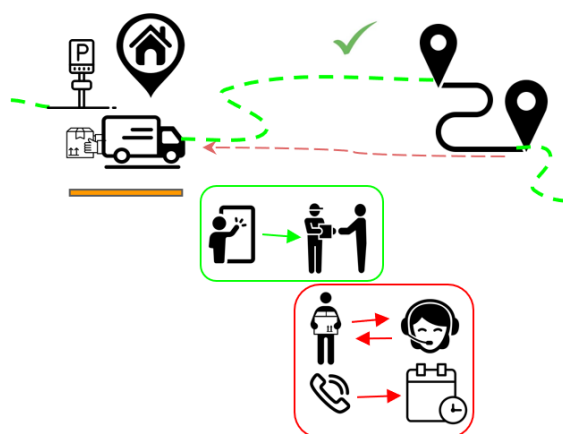


Figura 3.9. Descripción del proceso.

3.6.3. Post-proceso

Finalmente, en el post-proceso, cuando acaban de entregar los paquetes, independientemente de la hora, se dirigen al *checkpoint*, una vez ahí el ayudante puede irse a su casa, como se aprecia en la figura 3.10, mientras que el chofer debe ir a rellenar el tanque de gasolina, llevar la camioneta a la pensión y finalmente irse a su casa.

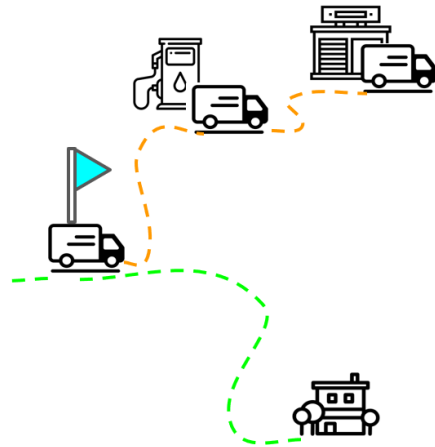


Figura 3.10 Descripción del post-proceso.

El uso de la herramienta UJM, permitió una sencilla visualización del tiempo y secuencia de las actividades desempeñadas por cada trabajador, mostrando la percepción de los trabajadores observados y evidenciaron áreas de oportunidad en su contexto. Entre estas oportunidades se identificaron varias referentes a la entrega de paquetes, pero también otras que están fuera del alcance planteado para el proyecto como problemas de logística, de la aplicación móvil usada para las entregas o de los hábitos de los trabajadores.

3.7. TENDENCIAS PRESENTE Y FUTURO

Es importante conocer las ideas y conceptos que se están creando en ámbitos de movilidad, ya sea enfocados directamente a paquetería o que pudieran aplicarse a este rubro; a continuación, se presentarán algunos.

Uno de los conceptos que se lanzó dada la gran popularidad que tomaron los drones, fue justo la entrega de paquetería por aire, como se muestra en la figura 3.11. *Amazon* inició su exploración de este tipo de entregas con su servicio de *Prime Air*, que si bien este servicio aún está en pruebas y uno de los retos que plantea es entregar paquetes de hasta 2.3 kilogramos, debe lidiar así también con las regulaciones para vehículos voladores que define la Administración Federal de

Aviación, al menos en Estados Unidos. Apenas el 1 de septiembre del 2020, casi 7 años después, dicha administración le permitió realizar pruebas [50].



Figura 3.11 Dron de Amazon [51].

Por otro lado, los robots autónomos parecen ser una tendencia a nivel mundial, ya que *DHL* desarrolló en 2017 en Alemania, el *PostBot*, el cual es capaz de cargar hasta 150 kilogramos, la propuesta de valor es servir como un vehículo que permita cargar cartas o correspondencia, logrando seguir al repartidor como se observa en la figura 3.12.



Figura 3.12 PostBot de DHL [52].

Otro robot que inició pruebas apenas en 2016, fue el de la empresa *Starship* (figura 3.13), el cual es un robot autónomo para entregas que puede cargar hasta 10 kg, navegando a 6 km/h e incluso con capacidad de subir pequeñas banquetas.



Figura 3.13 Primeras pruebas de Starship [53].

Otro robot desarrollado por otra empresa enfocada a la paquetería, es el nombrado *Same Day Bot*, el cual pertenece a la empresa *FedEx*, mostrado en la figura 3.14, el cual es capaz de navegar de forma autónoma hasta a 16 km/h, cargando hasta 45 kg. Además, es capaz de subir pequeños escalones, pasar baches, pasar sobre agua y subir calles con cierta inclinación, este fue probado en febrero de 2019.



Figura 3.14 Same Day Bot de FedEx [54].

Una empresa que ya había desarrollado un dispositivo para movilidad, que decidió aprovechar su experiencia para proponer un concepto de entrega fue *Segway*, el cual creó al robot *Loomo* (figura 3.15), incorporando un sistema de visión para navegar de forma autónoma, además que puede jalar un remolque para entregas.



Figura 3.15 Loomo de Segway [55].

Un robot que desafía el concepto de ruedas con chasis, es el que desarrolló *Continental*, el cual es un cuadrúpedo llamado *ANYmal*, pero no se queda con la idea de hacer reparto con un robot zoomórfico, sino que plantea que una camioneta autónoma se estacione, dejando salir varios robots los cuales se distribuyan a diferentes destinos para cumplir el objetivo, como se muestra en la figura 3.16.



Figura 3.16 ANYmal de Continental [56].

Finalmente, en un contexto completamente diferente a los robots de reparto, se encontró que la empresa Volkswagen, generó el concepto llamado Cargo e-Bike (figura 3.17), el cual es un vehículo de tres ruedas eléctrico, que en la parte delantera tiene una sección para la carga de hasta 210 kilogramos, llegando a una velocidad máxima de 25 km/h y hasta 100 kilómetros de recorrido.



Figura 3.17 Cargo e-Bike de Volkswagen [57].

3.8. DISEÑO DE EXPERIENCIAS

Después de entender cómo funciona la logística de reparto de la empresa colaboradora y, en general, para otras empresas con la investigación aquí mostrada, se generaron tres propuestas de experiencia que son posibles soluciones a la problemática de la última milla en diferentes contextos, de forma que se mejorara la forma de cómo se realiza actualmente.

3.8.1. Camioneta con VUM

Esta primera propuesta va enfocada a edificios y unidades habitacionales, ya que consiste en seguir utilizando la camioneta de reparto, pero en el área de carga además de tener paquetes, también tiene un VUM, manteniendo al chofer y al ayudante en sus funciones. Así como se ilustra en la figura 3.18, cuando los elementos involucrados llegan a la zona de reparto, el chofer se estacionaría, seguido de esto, bajarían el VUM del área de carga con los paquetes que entregarían, después, el ayudante se subiría en dicho vehículo e iría a los diferentes departamentos donde tenga entregas de forma que se puedan cargar varios paquetes a la vez, movilizarse rápidamente y sin esfuerzo. Al terminar, regresa a la camioneta, donde el chofer le ayudaría a meter el VUM a la *van* o en su defecto, cargarlo de más paquetes para continuar entregando. Esta acción se repetiría en

otras zonas donde se tenga acceso complicado hasta terminar de entregar todos los paquetes, antes de regresar a la bodega.

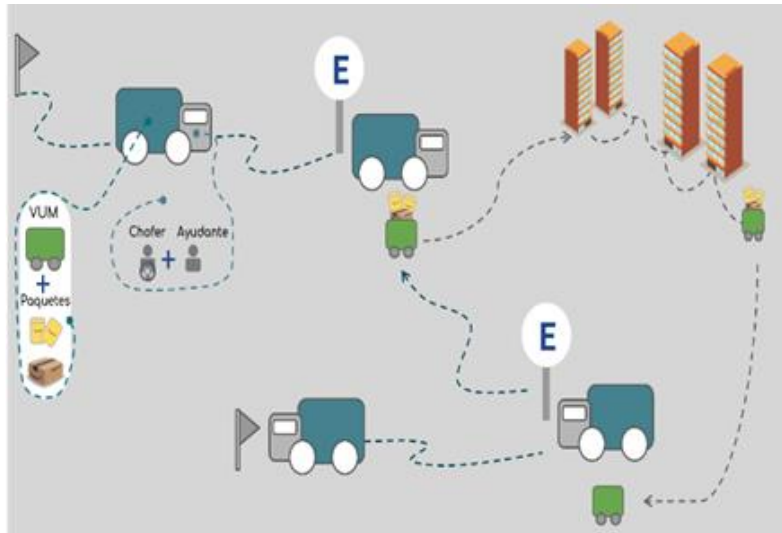


Figura 3.18 Primer modelo de uso propuesto.

3.8.2. VUM por la ciudad

Una segunda propuesta de solución es la que se muestra en la figura 3.19, donde se plantea dejar de usar las camionetas y únicamente usar los VUM en una jornada completa, de forma que éste transporte todos los paquetes saliendo desde el centro de distribución para visitar cada domicilio y regresar al punto de partida cuando termine de entregar la totalidad de paquetes. La ventaja de esta propuesta es que se elimina por completo la camioneta, propiciando una disminución significativa de gases de efecto invernadero, además que ya no se necesitaría que el chofer se quedará en la camioneta sólo para cuidarla mientras el ayudante realiza la tarea de entregar paquetes, generando una mejor productividad por parte de los trabajadores.

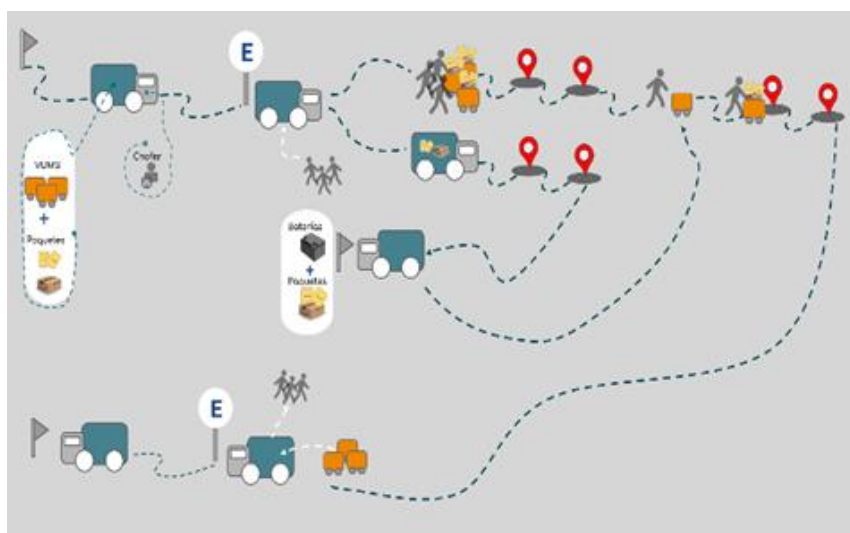


Figura 3.20. Tercer modelo de uso propuesto.

3.9. FACTORES CRÍTICOS Y HALLAZGOS DE LA EXPERIENCIA

Cabe mencionar que, debido a que se planteó un vehículo ligero, este podría ser usado por hombres y mujeres, sin distinción. No obstante, al plantearlo a los colaboradores de la empresa, mencionaron que esa idea no era viable, por la situación social de discriminación y falta de respeto social que sufre la mujer, que puede generar conflictos internos en el personal, y afectar directamente la eficiencia del sistema de reparto, por lo que se decidió mantener al personaje “Iván Carmona” como una persona del sexo masculino.

Por otro lado, para seleccionar el modelo de uso, se tomaron en cuenta los comentarios de los colaboradores. Se descartó el segundo modelo de uso, debido a la semejanza con lo que se hace actualmente con una motocicleta. Se consideró que el primer y segundo modelos son viables, pero se identificó que el tercer modelo es una extensión del primero, y sería viable a mediano o largo plazo, mientras que el primero lo sería a corto plazo. Así que se eligió el modelo de uso tres, que si bien es de mediano plazo, se tendría que pasar necesariamente por la solución uno. La principal ventaja de este modelo es la eficiencia de entrega, ya que son varios los VUM que distribuyen los paquetes y hay sincronización con la camioneta para

aprovechar el tiempo. Además, no se gasta energía de la batería para llegar a la zona de reparto, caso contrario al segundo modelo.

Otros aspectos importantes de la experiencia, en los cuales el usuario interactúa diariamente, también considerados en el diseño del VUM son: la facilidad de ascenso y descenso, ya que esta actividad la realizan al menos 50 veces al día y la procuran hacer lo más rápido posible; la forma de visualización del mapa de la ruta sin tener que cambiar entre aplicaciones o dispositivos; un sistema de seguridad sencillo que no lleve mucho tiempo o esfuerzo implementarlo.

CAPÍTULO 4

CICLO 3: PRODUCTO

4.1. ACTUALIZACIÓN DEL RETO

Seguido de la definición de la experiencia realizada en el ciclo anterior y después de tener una reunión con el colaborador, se buscó que el VUM satisficiera una necesidad específica la cual sería hacer entregas de paquetería en corporativos. Es así como, para este ciclo, el reto se actualizó como: “diseñar un vehículo de última milla eléctrico que haga más eficiente la entrega de paquetes, al permitir el acceso a corporativos y reduciendo así tiempo y costos de envío”.

4.2. NUEVA OBSERVACIÓN DEL USUARIO

Dado que el requerimiento del colaborador se delimitó un poco, se percibió que la información no era suficiente, a pesar de tener datos de cómo se realiza el proceso de reparto actualmente, ya que no se conocía al usuario que repartía paquetes en zonas corporativas, sólo en zonas habitacionales y condominios.

La investigación que se realizó, definió que las zonas corporativas tenían mayor concentración en las alcaldías Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Benito Juárez. Por tanto, se realizaron observaciones y entrevistas en corporativos ubicados en estas zonas, en las que se identificaron que hay al menos tres tipos de repartidores, por ejemplo, las empresas de comida que tienen sus propios repartidores, las empresas que prestan servicios a restaurantes para repartir comida y las empresas de paquetería. Además, se identificaron dos tipos de zonas de reparto, las que tienen un carril asignado para bicicletas y otras vialidades donde no se tiene este carril.

4.2.1. Zona con ciclovía

Una zona corporativa que cuenta con ciclovía en la Ciudad de México es la avenida Reforma, en la cual se seleccionó un edificio al azar para hacer observaciones. Para esto se eligió la Torre Reforma Latino, cuyo acceso se muestra en la figura 4.1.

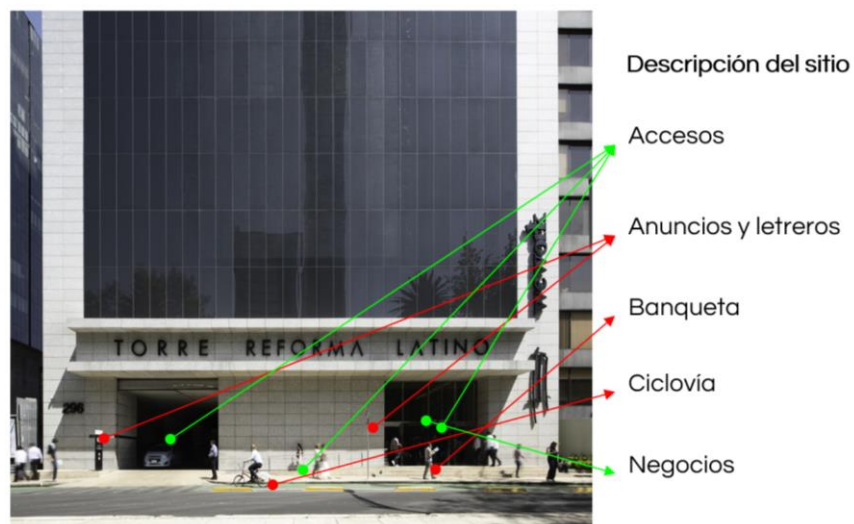


Figura 4.1 Descripción de la fachada de la Torre Reforma Latino.

En esta imagen se puede observar que se tienen dos accesos, uno para el estacionamiento de vehículos y otro para el acceso de los trabajadores; también se pueden observar anuncios y letreros de no estacionarse, así como indicativos del estacionamiento. Además, se cuenta con una banqueta amplia, y justo enfrente

ésta, la ciclovía. Dicha configuración se repetía en la mayoría de los edificios sobre esta avenida.

Un punto importante que se observó fue el cómo los repartidores estacionan sus vehículos de entrega; en la figura 4.2.a, se observa cómo los trabajadores de la empresa *DIDI*, estacionan su bicicleta en el poste de no estacionarse, para después encadenarla a éste y dirigirse al edificio a realizar su entrega, mientras que en la figura 4.2.b, se observa a un repartidor de *Domino's Pizza* haciendo la entrega con su motocicleta, pero éste espera al lado de su motocicleta, la cual está estacionada en el carril confinado de la ciclovía esperando a hacer su trabajo.



Figura 4.2 a) Repartidor encadenando su bicicleta al poste, b) repartidor con motocicleta estacionado a un costado de la ciclovía.

Con lo que respecta a las formas de reparto, se observaron al menos tres, siendo la primera, la entrega donde el repartidor espera que la persona solicitante que trabaja en el corporativo, descienda y salga del edificio a recoger su pedido (figura 4.3.a), para lo cual el tiempo de espera suele ser prolongado, alrededor de 10 minutos. Por otra parte, como se ilustra en la figura 4.3.b, el repartidor en motocicleta, ingresa al estacionamiento del edificio, espera alrededor de 3 a 5 minutos que lo dejen pasar, y todavía adentro le toma un tiempo adicional hacer la entrega, sin embargo, no se separa en ningún momento de su vehículo. Finalmente, otro caso mostrado en la figura 4.3.c, ilustra cómo el repartidor dejó estacionado su

vehículo cerca del corporativo y lleva consigo el paquete en las manos, dirigiéndose al *lobby* del edificio donde lo dejarán pasar.



Figura 4.3 Repartidor: a) esperando fuera del edificio, b) en motocicleta entrando por el estacionamiento, c) ingresando por el lobby a pie.

Además de las observaciones, se pudo entrevistar al personal de seguridad, quienes mencionaron que no se permite el acceso con cascos, vehículos o cualquier otro objeto que pueda ser usado como arma blanca. También comentaron que las mochilas de reparto, como las de *Uber Eats*, o paquetes voluminosos, no entran por el elevador de personal, si no por el montacargas. Para cualquiera de los casos, antes de ingresar, se debe pasar por un punto de revisión, en el cual deben registrarse las personas que ingresarán, y en algunos casos, pasar por el detector de metales si es que se cuenta con éste.

Otro dato de suma importancia fue saber que en esas zonas, empresas como *DHL*, *FedEx*, entre otras, tienen puntos de distribución cercanos, para facilitar su logística. Además, para tener acceso al edificio, es importante la presentación estética de lo que se va a ingresar, dado que al ser un ambiente corporativo, deben apeгarse al protocolo de formalidad.

Finalmente, dado que se está hablando de las zonas con ciclovía, es de suma importancia conocer los el documento “Lineamientos para la Operación de los Sistemas de Transporte Individual Sustentable (SiTIS) de la Ciudad de México” [58], el cual menciona los puntos que deben cumplir dichos vehículos para transitar en la CDMX, a continuación se resumen los más importantes:

- Velocidad máxima de 25 km/h.
- Tener un sistema de geolocalización.
- Deben estar equipados con luz roja trasera, luces delanteras y dispositivo acústico de advertencia, ya sea timbre o campana.
- Deben tener un sistema de frenado mecánico para emergencias, adicional al sistema de frenado electrónico.
- Deben contar con un sistema que permita mantenerlo de pie por sí mismo cuando esté estacionado.

4.2.2. Zona sin ciclovía

Por otro lado, se decidió hacer observaciones en zonas de corporativos donde no hubiera ciclovía para observar cómo son las prácticas, es por ello que se seleccionó ir a la zona de edificios que están sobre la avenida Insurgentes de la CDMX, en la cual se estudió la forma en cómo se hace el reparto, destacando que las observaciones se realizaron antes de la habilitación de ciclovía en la avenida. Para comparar ambos escenarios, se hizo especial énfasis en los accesos a los edificios, en cómo los repartidores estacionan sus vehículos y cómo reparten.

Con lo que respecta a los accesos de los edificios, se observó que tienen una configuración similar a los mencionados en la sección anterior, dado que cuentan con un acceso para personas y otro para vehículos, aunque no todos contaban con este último.

El segundo punto fue el más interesante, dado que al no tener un carril confinado, no se observó circulación de bicicletas o vehículos similares, pero en contraparte se observó circulación de camionetas de DHL o FedEx como se ilustra en la figura 4.4. Esta vialidad se compone de un carril destinado para la circulación del Metrobús y otros dos para vehículos en general. A pesar de esto, las camionetas de paquetería, se estacionaban en el carril de baja velocidad, que a pesar de que no demoraban demasiado tiempo detenidas, obstruían la circulación vial e infringían el reglamento de tránsito, para lo cual, sólo encendían sus luces intermitentes.



Figura 4.4 Camioneta repartidora estacionada sobre Insurgentes: a) DHL, b) FedEx.

Por otro lado, cuando los repartidores iban en motocicleta se daban dos situaciones, una similar a la anterior, donde se estacionaba en el carril de baja velocidad solamente encendiendo sus luces intermitentes (figura 4.5.a) o que se estacionaran sobre la banqueta (figura 4.5.b), si bien, no realizan obstrucción del tránsito vial, reducen el paso peatonal además de infringir con el reglamento de tránsito.



Figura 4.5 Motocicleta repartidora estacionada: a) sobre el carril de baja velocidad de la avenida Insurgentes, b) sobre la banqueta.

El personal de seguridad comentó cosas similares a las que se plantearon en la sección anterior para ingresar a estos edificios, como no pasar con objetos voluminosos, registro e identificación de las personas que acceden, pasar por el detector de metales, que los paquetes cumplan con los protocolos de formalidad, entre otros.

Si bien, sobre esta avenida de gran importancia no había tanta afluencia de vehículos de reparto cuando se hicieron las observaciones, se pudo observar que detrás de donde se encuentran plazas o restaurantes se estacionan varios repartidores de empresas de aplicación móvil, esperando tener un pedido para

entregar, el cual podría ser un nicho a explorar un poco más, dado que la afluencia de repartidores era destacable (figura 4.6).



Figura 4.6 Repartidores de comida esperando ser asignados a una entrega.

4.3. FUNCIONES DEL PRODUCTO

Con base en las observaciones generadas en este nuevo ciclo, se sintetizaron los repartos en dos opciones, los cuales tienen diferentes funciones a lo largo de cada proceso, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7 Diferentes funciones de las dos opciones de reparto.

Como se observa, ambas opciones tienen en común la parte inicial, en la que se tiene un vehículo de reparto en el cual el usuario irá a hacer las entregas. Al llegar

al destino, en la primera opción, el repartidor plegará el vehículo o hará alguna acción que le permita reducir su volumen, permitiéndole acceder al edificio donde realizará la entrega con el vehículo y los paquetes.

Por otra parte, está la opción donde al llegar al destino, el operador puede desarmar el vehículo, llevar consigo las piezas esenciales como la parte motriz y el módulo de energía, de forma que deje el resto del vehículo fuera del corporativo, disminuyendo la posibilidad que se lo roben al no tener tanto valor. Para ambas opciones, se procedería a entrar al inmueble con las piezas de valor y los paquetes para realizar la entrega, destacando que la forma de transporte de lo que llevaría con él sería cargándolo o arrastrándolo.

4.4. REQUERIMIENTOS

Una vez descritas las funciones que debía cumplir el vehículo, se realizó la definición de los requerimientos. Primeramente, se mostrarán los que deberían cubrir cualquiera de los dos casos y posteriormente se presentarán los que debe cubrir la primera opción, donde se deberá reducir el tamaño del vehículo e ingresar con él, y en segundo lugar, los que plantean desarmar el vehículo y dejarlo afuera del corporativo estacionado.

- Requerimientos generales:
 - El VUM tiene un costo máximo de \$30,000.
 - El VUM tiene un volumen de entrega de al menos 35 paquetes.
 - El VUM permite el fácil ascenso y descenso de su usuario.
 - El VUM cuenta con un sistema de señalización visual y sonora para comunicación vial.
 - El VUM permite una velocidad máxima de 25 km/h.
 - El VUM se compone de piezas comerciales.
 - El VUM soporta el peso de los paquetes y del usuario.
 - El VUM recorre una zona de corporativos.
 - El VUM cuenta con un soporte para teléfono celular.

- El VUM permite circular entre zonas con tráfico y ciclovías.
- El VUM transita por zonas de terreno irregular (desniveles de banquetas, topes y baches).
- El VUM es estable, con y sin carga, al circular y estar estacionado.
- El VUM es de fácil mantenimiento.
- El VUM permite la fácil reposición de sus componentes dañados.
- La apariencia del VUM armoniza en un ambiente corporativo.
- El VUM es eléctrico.
- El VUM es cómodo para el usuario.
- Requerimientos para acceder con el VUM.
 - El VUM dificulta la acumulación y transmisión de suciedad.
 - El VUM es ligero para su portabilidad.
 - El VUM permite ver los paquetes en su interior a la gente de seguridad.
 - El VUM es poco voluminoso.
 - El VUM no es considerado una amenaza para la gente del corporativo.
- Requerimientos para dejar al VUM fuera.
 - El VUM garantiza la seguridad de los paquetes.
 - El VUM tiene un sistema antirrobo.
 - El VUM se estaciona en lugares permitidos.

4.5. HOMÓLOGOS Y ANÁLOGOS

Una vez definidos los requerimientos, se realizó de nueva cuenta la búsqueda de soluciones análogas y homólogas, ahora con un enfoque en vehículos de una, dos y tres ruedas, que ofrecieran la posibilidad de modificar su estructura física y/o que permitieran ser cargados o arrastrados conteniendo paquetes.

Si bien se realizó una amplia búsqueda, ya que se estudiaron alrededor de 40 vehículos con diferentes características, en este trabajo no se abordará con detalle los productos encontrados. En la figura 4.8 sólo se presenta un vehículo en cada clasificación que se buscó, siendo el mostrado, el más destacado en su categoría,

haciendo énfasis que algunos ya están en comercialización y otros sólo en etapa conceptual.



Figura 4.8 Clasificación de vehículos según su número de ruedas: a) Audi monocycle [59], b) AIRA [60], c) Backpack Electric Scooter [61].

4.6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Una vez explorados los vehículos con diferente número de ruedas utilizados para movilidad y entrega, se realizó una lluvia de ideas, lo cual permitió generar un concepto de vehículo en el cual se sustentaría la solución. En primer lugar, se generó la propuesta de un “vehículo que a su vez es maleta”, y por otra parte, se pensó como segundo concepto un “vehículo que se convierte en maleta”.

Para apoyar al proceso de generación de conceptos, se fabricaron maquetas de opciones de vehículos en los que se combinaron varias configuraciones de número de ruedas, ubicaciones de la sección de carga de paquetes y diferentes formas de plegado. Se decidió realizar maquetas, dado que son “modelos a escala que

generalmente se utilizan para dar a conocer la forma del producto en detalle, sin necesidad de ser funcionales. Con ellos se puede obtener una retroalimentación [sic] de los usuarios sobre la apariencia y estética del producto” [62]. Algunas de estas maquetas se muestran a continuación.

4.6.1. Maqueta 1

Una de las primeras maquetas que se construyó, fue la que se muestra en la figura 4.9, en la cual se puede observar un vehículo de 3 ruedas con configuración delta, es decir, dos ruedas en la parte trasera y una delante. Se plantea que la rueda de enfrente sea la encargada de dar la dirección y las posteriores sean motrices.

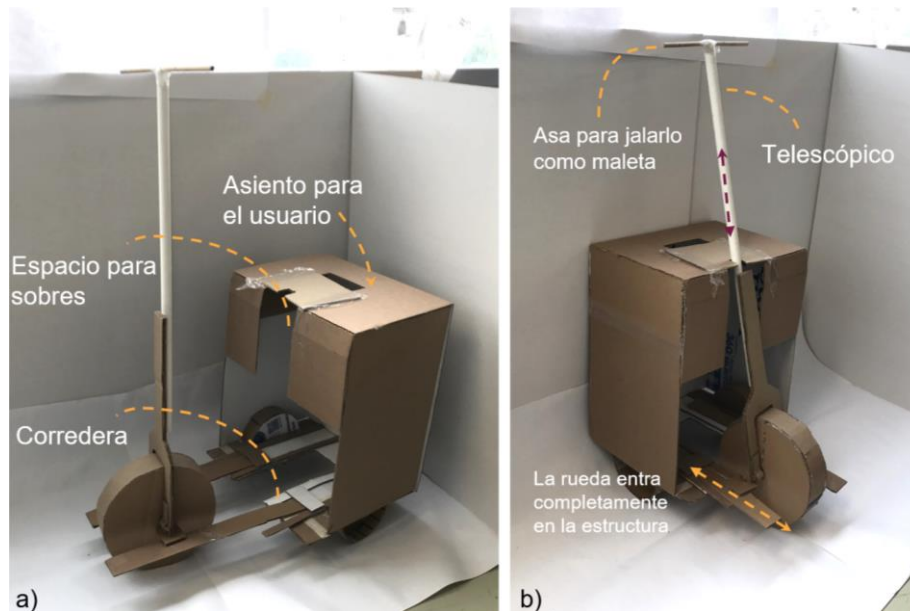


Figura 4.9 Maqueta de vehículo con tres ruedas en configuración delta a) modo vehículo, b) modo maleta.

Además, se puede observar que tendría un manubrio telescópico y el volumen de carga serviría para que el usuario pudiera sentarse (figura 4.9.a), este vehículo contaría con una corredera en la parte central de forma que la rueda delantera pudiera deslizarse hacia atrás y lograr que el vehículo se compactara, de tal forma que se redujera su volumen y pudiera ser jalado del mismo manubrio como maleta de viaje, apoyándose en las ruedas traseras (figura 4.9.b).

4.6.2. Maqueta 2

Por otro lado, se desarrolló una propuesta que de igual manera contemplaba un vehículo de tres ruedas, sólo que en este caso con una configuración *tadpole*, es decir, dos ruedas delante y una en la parte trasera.

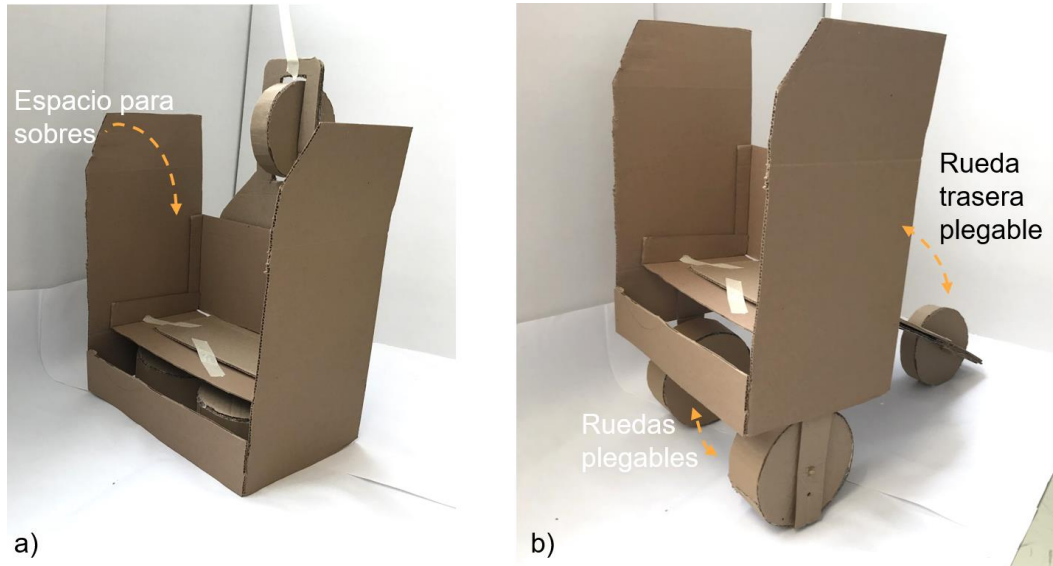


Figura 4.10 Maqueta de vehículo con tres ruedas en *tadpole* a) modo maleta, b) modo vehículo.

Lo que destaca de este vehículo es su sistema de abatimiento de ruedas delanteras (figura 4.10.b), las cuales se doblan hacia la parte central mediante un mecanismo de tipo bisagra. Además, se contempla que ambas ruedas delanteras sean motrices, es decir, tendrían un motor independiente, lo que permitiría que pudiera modificarse la velocidad de una rueda respecto a otra y con esto cambiar de dirección.

A su vez, en la parte trasera se contempla una rueda loca, que serviría como soporte de estabilidad y con ayuda de una plataforma, estaría unida a la sección de carga, además, tendría la función de soportar al conductor que iría de pie, de forma que cuando llegue al destino, haría los movimientos de plegado como se muestran en la figura 4.10.a y compactaría el manubrio telescópico de forma que pudiera cargar al vehículo en sus hombros en modo maleta con los paquetes.

4.6.3. Maqueta 3

En esta tercera maqueta, se ejemplificó también un vehículo con tres ruedas con configuración *tadpole*, la cual es muy similar a la mostrada anteriormente. Lo que la hace diferente es que las ruedas delanteras no son plegables, pero tendría motores independientes, de forma que se pudiera variar la velocidad de cada una y así cambiar la dirección del vehículo.

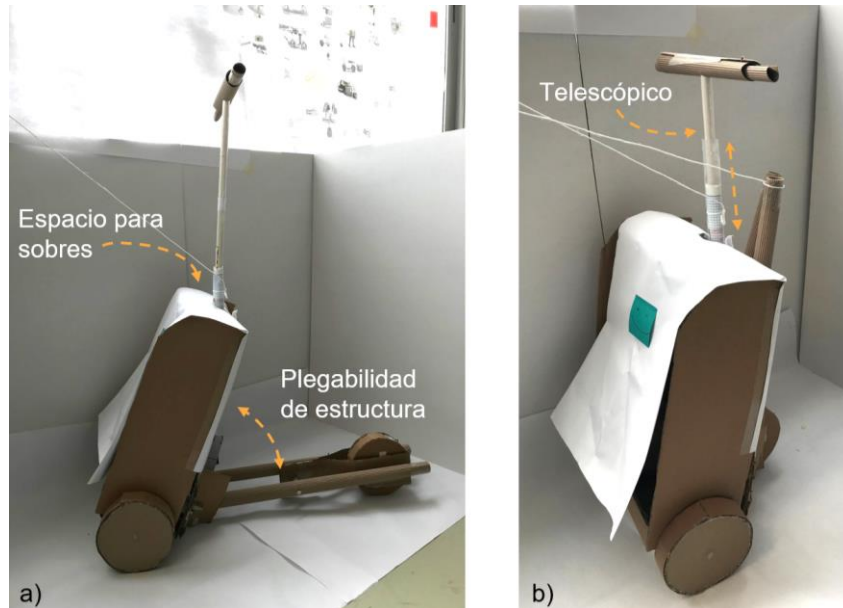


Figura 4.11 Maqueta de vehículo con tres ruedas en *tadpole* a) modo vehículo, b) modo maleta.

Con lo que respecta a la plataforma donde iría el usuario, se contempló que fuera más alargada para mayor comodidad del usuario y tendría dos articulaciones, la primera en la parte delantera, la cual se uniría con la sección de carga, como se muestra en la figura 4.11.a, y una en la parte media, de forma que esta última suba y permita un plegado en dos partes, para hacerlo más compacto; una vez en esta configuración, se jalaría del manubrio telescópico (figura 4.11.b).

4.6.4. Maqueta 4

Una alternativa más que se realizó en maqueta, fue un vehículo con tres ruedas también con configuración *tadpole* con rueda trasera motriz, con la diferencia que en ésta se contempla una zona de carga que en la parte central estaría ocupada por un mecanismo de plegado, la cual serviría para que la plataforma donde iría parado el usuario, se insertara con un movimiento de rotación y deslizamiento hacia la parte interna del compartimento como se muestra en la figura 4.12.

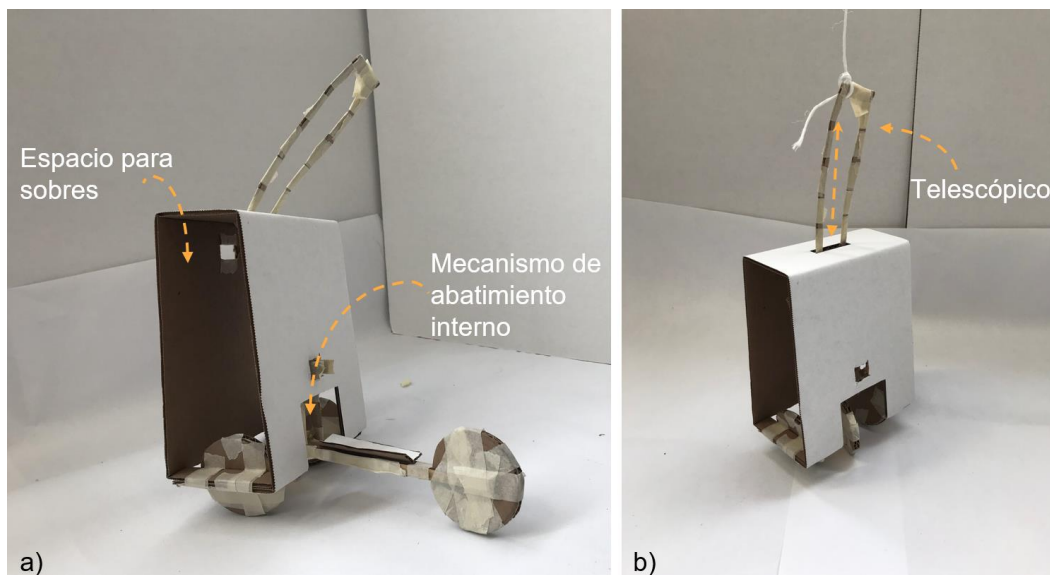


Figura 4.12 Maqueta de vehículo con tres ruedas en *tadpole* a) modo vehículo, b) modo maleta.

La ventaja de esta propuesta, es tener un sistema de abatimiento más discreto en el cual, en modo maleta (figura 4.12.b), se tendría a las tres ruedas concéntricas, permitiendo que con el manubrio telescópico, el vehículo en modo maleta pudiera ser jalado para entrar al edificio.

4.6.5. Maqueta 5

La quinta maqueta del concepto propuesto fue algo muy diferente, ya que ésta plantea que el vehículo sea de dos ruedas, destinando la rueda trasera como motriz,

mientras que la parte delantera se encargaría de brindar el cambio de dirección al vehículo mediante un manubrio telescópico.

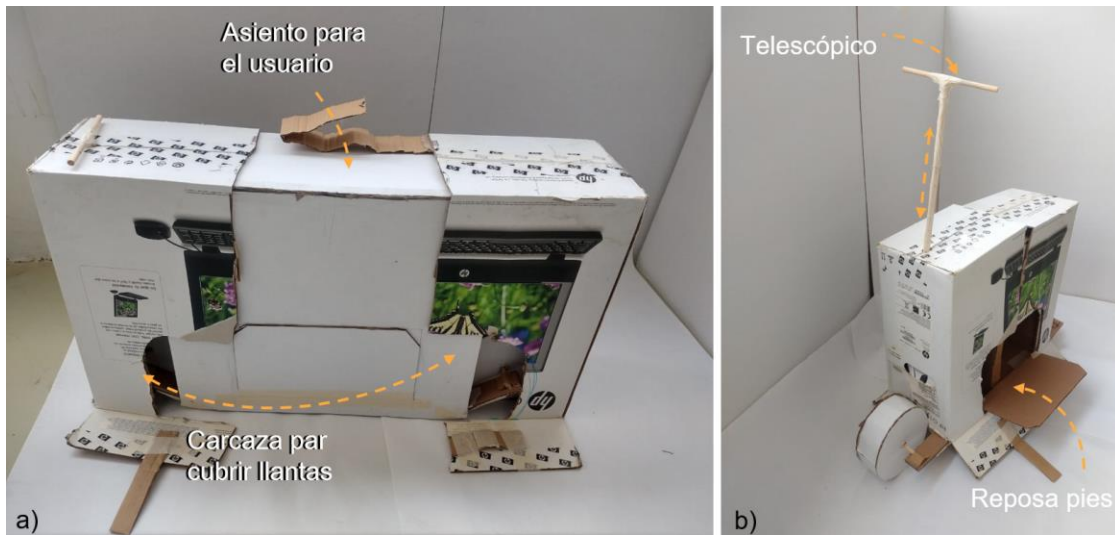


Figura 4.13 Maqueta de vehículo con dos ruedas a) modo maleta, b) modo vehículo.

Como se puede observar en la figura 4.13.b, esta idea contempla un reposa pies, mientras que en la parte central se encontraría el compartimiento para los paquetes, en el cual se sentaría el conductor mientras se dirige al destino de entrega. Cuando llega el usuario descendería del vehículo, deslizaría una segunda cubierta que tiene la función de cubrir las ruedas, levantaría los reposa pies para insertarlos en la parte inferior del compartimiento y el manubrio podría ser usado para jalar al vehículo en modo maleta o podría ser compactado con el mecanismo telescópico.

4.6.6. Maqueta 6

Finalmente, se generó un *render* que describe una última idea que se tuvo del concepto, en el cual se plantea un vehículo con tres ruedas en configuración delta, como se observa en la figura 4.14.

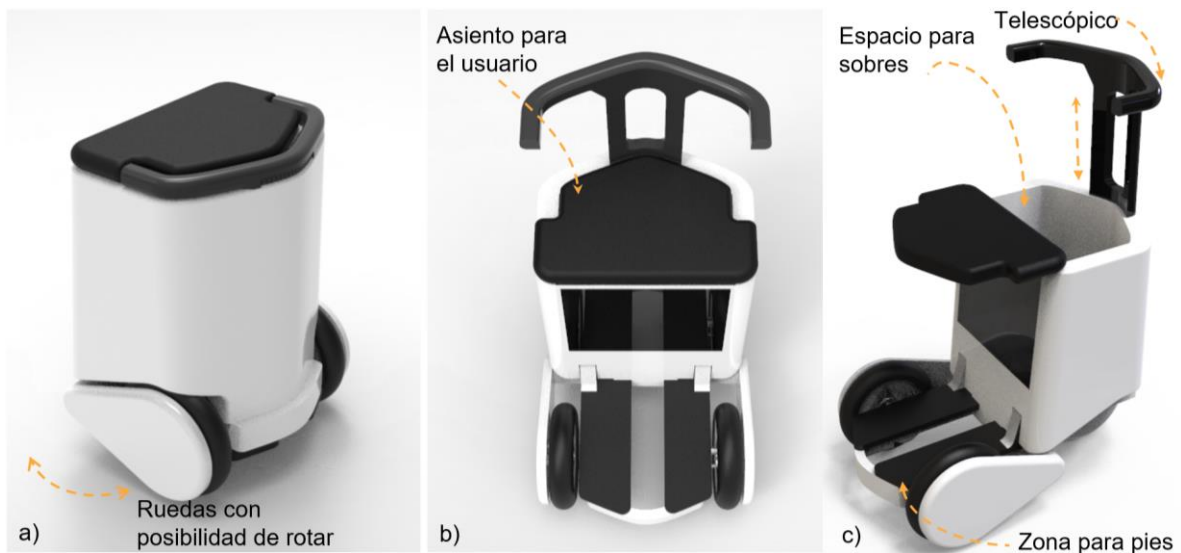


Figura 4.14 Maqueta de vehículo con tres ruedas en configuración delta a) modo maleta, b) modo vehículo, c) modo vehículo para extracción de paquetes.

En la figura 4.14. b, se puede apreciar que el vehículo tiene dos zonas negras entre las rueda traseras, donde el conductor colocaría sus pies y otra zona negra más arriba que tendría la función de ser la tapa del compartimiento para los paquetes y a su vez, ser un asiento para el usuario.

En la parte delantera, se contaría con una rueda motriz, que a su vez daría la dirección, y que contaría con un manubrio arqueado que podría meterse al compartimiento con un mecanismo telescópico, en la figura 4.14.c se puede observar cómo se tendría acceso al compartimiento.

Así también, en la figura 4.14.a, se muestra al vehículo transformado en contenedor. Para lograr esta configuración, las piezas que contienen a las ruedas traseras giran 180°, de tal manera que se coloquen en la parte inferior del contenedor de forma discreta, mientras que el manubrio estaría abatido.

4.7. SELECCIÓN DE CONCEPTO

Después de haber generado varios conceptos, se procedió a la etapa de selección, en la que se evaluaron las ventajas y desventajas de cada maqueta, destacando

que una de las características que influirán más en el diseño es el número de ruedas, por lo que en la tabla 4.1 se puede observar una matriz de decisión al comparar los vehículos con dos ruedas contra los de tres ruedas, con lo que se contempla tanto la configuración *tadpole* como la delta, para lo cual el tener un 5 asignado, significa que cumple mejor y si tiene un número 3, cumple en menor medida.

Tabla 4.1 Matriz de decisión del número de ruedas.

	Dos ruedas	Tres ruedas
Rápida respuesta al conducir	5	3
Menor número de componentes	5	3
Ligero	5	3
Económico	5	3
Estabilidad a condiciones adversas	3	5
Menor distancia de frenado	5	3
Menor mantenimiento	5	3
Menor gasto energético	5	3
Mayor aceleración y velocidad	5	3
Total	43	29

Como se puede apreciar, la que tiene mejor ponderación es usar dos ruedas y, en conjunto con lo mencionado por la empresa colaboradora, se requiere un vehículo compacto para ingresar al edificio, que propicie que los vehículos con tres ruedas fueran una opción menos viable que los de dos, ya que había una rueda menos de la cual preocuparse.

Además, se observó que las propuestas de vehículos con tres ruedas tienden a ser más inestables, debido a que el centro de masa tiende a estar hacia la parte de frontal o hacia la parte trasera, que genera un riesgo para la seguridad del usuario cuando haya cambios en la aceleración, mientras que, en los vehículos de dos ruedas, el centro de masa tiende a estar en el centro geométrico.

A pesar de que los vehículos de tres ruedas tienen buena estabilidad cuando están detenidos, al estar en movimiento se vuelven inestables, sobre todo en las curvas, ya que tienden a volcarse. Por otro lado, los vehículos de dos ruedas tienen un comportamiento distinto, ya que al estar detenidos, necesitan estar sujetos por el usuario para no caerse y al estar en movimiento, dando vuelta, pueden inclinarse para contrarrestar las fuerzas que intervienen.

Dado que el vehículo debe ser discreto al ingresar a los edificios, es fundamental que parezca lo menos posible un medio de transporte, es por ello, que se planea que parezca maleta, pero se debe tener en cuenta que lo hará muchas veces a lo largo del día, por lo que deberá hacerse con pocos movimientos para reducir el tiempo de ensamble y desensamble y a su vez, evitar el desgaste de los mecanismos.

Finalmente, independientemente de la configuración, debe cumplir con que tenga una capacidad de cargar al menos 35 paquetes, de los cuales se contemplan sobres de diferentes tamaños o lo equivalente al volumen de carga de una motocicleta de reparto.

4.8. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PRODUCTO

Como se pudo observar en la tabla antes mostrada, en caso de ocupar una configuración con 2 ruedas, se tienen mayores ventajas que si se usaran 3, por lo que se decidió usar un par de ruedas en el mismo plano, cuya carga esté en el centro del vehículo y tenga capacidad de carga de al menos 35 paquetes, principalmente sobres, y encima de este espacio de carga, podría ir el usuario sentado.

Además de esto, se hará un prototipo del concepto: “vehículo que a su vez es maleta”, dado que, si se considera que el vehículo cambie su estructura al retirar piezas, éste correría el riesgo de perder alguna luego de ser desensamblada, además del inconveniente del tiempo requerido para hacerlo en cada entrega.

Finalmente, se planteó que para lograr que el vehículo a su vez sea una maleta, sólo bastaría apoyarlo sobre la rueda delantera dejándola detenida y girar la estructura hacia delante 90°, de tal forma que sólo se tuviera que jalar o empujar para ingresar con los paquetes y hacer la entrega.

CAPÍTULO 5

CICLO 4: PROTOTIPO

5.1. ESTUDIO COMPARATIVO

Una vez definido el concepto de un vehículo que a su vez es maleta, se realizó un estudio comparativo de productos o conceptos que tuvieran dicho principio, de tal manera que se conociera cuáles serían los competidores directos. La búsqueda arrojó que existen algunos productos que ya están a la venta y otros pocos que se encuentran en etapa conceptual, destacando que la mayoría simplemente están pensados para un escenario de viaje, es decir, que el usuario es una persona que va a tomar un vuelo y mientras espera a abordarlo, se moviliza dentro del aeropuerto sobre su maleta de tal manera que le ayude a hacerlo de forma sencilla. En la figura 5.1 se muestran algunos vehículos que se encontraron con el principio de funcionamiento antes mencionado.



Figura 5.1 Vehículos que son maleta mostrados en ambas modalidades a) Smart Riding suitcase [63] , b) Lugoal [64], c) Quadra [65].

5.2. ESPECIFICACIONES OBJETIVO

Con los requerimientos planteados en el ciclo anterior y con los hallazgos encontrados del usuario, de la experiencia y del producto, se definieron las especificaciones objetivo, las cuales deberá cumplir el Vehículo de Última Milla. En la tabla 5.1 se muestran éstos, aunado a un intervalo para ser cumplido y la unidad en la se medirá.

Tabla 5.1 Especificaciones objetivo.

No.	Especificación	Intervalos	Unidades
1	Costo máximo	$C < 30,000$	MXN
2	Volumen de carga	$0.05 < v < 0.1$	m^3
3	Dimensiones máx.	80x190x210	cm
4	Velocidad máxima	25	km/h

5	Capacidad de carga	150	kg
6	Autonomía	10	km
7	Potencia	P > 250	W
8	Señalización vial	Obligatorio	-
9	Diámetro rueda	10	in

Para entender de mejor manera cómo se definieron dichas especificaciones, se detallará cada una de éstas a continuación, iniciando con el costo, que se estableció con base en la investigación de los diferentes vehículos que están en el mercado, enfocándose en *scooters* eléctricos, bicicletas eléctricas y motocicletas de gasolina, aunado a que sería un valor que el colaborador estaría dispuesto a pagar.

En relación con el volumen de carga, se comparó en primera instancia con el volumen que puede contener la caja de una motocicleta de reparto, la cual tiene 0.155 m³ de capacidad ya que sus medidas son de 50 cm x 50 cm x 62 cm. A su vez, se buscó un volumen que para un ambiente corporativo pudiera ser discreto y, a su vez, fuera amplio, para lo cual se concluyó que una buena alternativa sería una maleta de viaje, por lo que se investigaron las diferentes medidas comerciales [66] [67], encontrando que una dimensión adecuada para el vehículo sería un volumen mayor que una maleta mediana (0.05 m³) y menor a una maleta grande (0.01 m³).

Las dimensiones máximas que debía tener el vehículo debían ser las establecidas por la Instrucción 16/V-124 de la DGT española, la cual menciona que para vehículos del tipo B, el ancho máximo es de 0.8 m, 1.9 m de largo y 2.1 m de alto.

La velocidad máxima se definió que fuera de 25 km/h, de acuerdo con el reglamento de tránsito, para que el VUM tuviera la posibilidad de transitar por las ciclovías de la CDMX. Así pues, se tendría una clara ventaja sobre las motocicletas de reparto al movilizarse sobre estas vías que paulatinamente se están incrementando a la vialidad. Asimismo, el reglamento de tránsito especifica que cualquier vehículo que circule, debe tener elementos claros de señalización.

Con lo que respecta a la capacidad de carga, se contempla que el VUM pueda cargar al personaje, definido en el ciclo 2, cuyo peso es de 75 kg, no obstante, se pretende que pueda ser operado por usuarios de hasta 100 kg. Para cumplir dicha expectativa, el vehículo deberá soportar su propio peso, que se considera que sea poco más de 15 kg y no sobrepase los 50 kg que menciona la instrucción española antes mencionada. Desde luego, deberá tener la capacidad de contener los paquetes, los cuales se estima que tengan un peso máximo de 35 kg.

Con lo que se refiere a autonomía, se propuso que tuviera una distancia de recorrido de 10 km, ya que, según lo que comentó el colaborador, la distancia que recorrería el vehículo sería mucho menor que las camionetas, dado que estos se ocuparían para hacer entrega en corporativos y podría darse la situación que gran cantidad de paquetes se entreguen en una misma dirección, por lo que los 35 paquetes estimados, se podrían entregar en cuando mucho un par de cuadras, aun así, se contempla que pueda recorrer esa distancia para tener una amplia área de entrega. Con el estudio comparativo, se encontró que los *scooters* ocupados para movilidad, bajo ciertas condiciones pueden operar en promedio por 30 km con una batería cuya carga es de 10,000 mAh.

La potencia se estableció que fuera mayor a 250 W, ya que se encontró en el estudio comparativo que los *scooters* y bicicletas eléctricas tienen motores con dicha potencia, encargados sólo de transportar personas y dado que se cargará con el usuario y con paquetes de diferentes características, se contempla que tendrá que ser de un valor superior.

Finalmente, el diámetro de la rueda se definió de manera similar al anterior, se encontró que los vehículos tipo *scooter*, utilizan ruedas que rondan las 8 *in* para transitar en ciudades, además, se hallaron opiniones de usuarios de este tipo de vehículos con esta rodada que mencionaron que sí se sentían los baches, por lo que sugerían una rodada de al menos 10 *in*, que a su vez, seguía siendo un tamaño de rueda discreto.

5.3. VUMI 1

Una vez definidas las especificaciones a las que se querían llegar, se decidió iniciar con un concepto básico del “Vehículo de Última Milla innovador”, al cual se referirá indistintamente como VUMi por sus siglas. Para tener un mayor orden del diseño que se realizará, se decidió dividir al concepto en dos sistemas, el eléctrico/electrónico y el mecánico con diferentes subsistemas como se explicará a continuación.

5.3.1. Sistema eléctrico y electrónico

Este sistema fue uno de los más importantes y que había que definir incluso antes que el sistema mecánico, ya que este abarcaría el sistema motriz y el que proporcionaría la energía.

5.3.1.1. Subsistema motriz

En la búsqueda que se realizó durante todo el trabajo de investigación, se observó que muchos vehículos de este estilo tenían el sistema motriz muy similar, ya que ocupaban un motor que estaba directamente ensamblado en el rin de la rueda, lo cual permitía que el eje y el rin se quedaran fijos respecto a la estructura, mientras que la parte externa de la rueda, donde se encontraba el neumático, era el encargado de moverse y permitir que el vehículo estuviera en movimiento.

Esta tecnología fue bastante conveniente, dado que permitía ahorrar espacio, número de piezas y permitir una implementación más sencilla, ya que no se necesitaría una transmisión intermedia entre el motor y las ruedas, y por ende, tampoco un acoplamiento.

Antes de sólo implementarlo, es de suma importancia entender el funcionamiento de estos motores, encontrando en la investigación que son del tipo sin escobillas, por lo que se les conoce como *brushless* o BLDC (por sus siglas en inglés), se llaman

así justo porque no utilizan escobillas para conmutar la corriente que se suministra, como se hace en los motores convencionales con escobillas de corriente continua y que genera el campo magnético que permite que éste rote.

Los motores BLDC son un tipo de motor síncrono, lo que significa que el campo magnético generado por el estator y el generado por el rotor giran a la misma frecuencia. Existen varias configuraciones de motores *brushless*, los trifásicos son los más utilizados y a su vez, éstos se conforman de dos partes importantes, el estator y el rotor.

El estator consta de láminas de acero apiladas con devanados colocados en las ranuras que se cortan axialmente a lo largo de la periferia interior (figura 5.2). La mayoría de los BLDC tienen tres devanados conectados en configuración estrella, aunque también existen con configuración delta. Cada uno de estos devanados está construido con numerosas bobinas interconectadas para formar al devanado del motor. Se colocan una o más bobinas en las ranuras y se interconectan para formar un devanado. Cada uno de estos devanados se distribuye sobre la periferia del estator para formar un número par de polos.

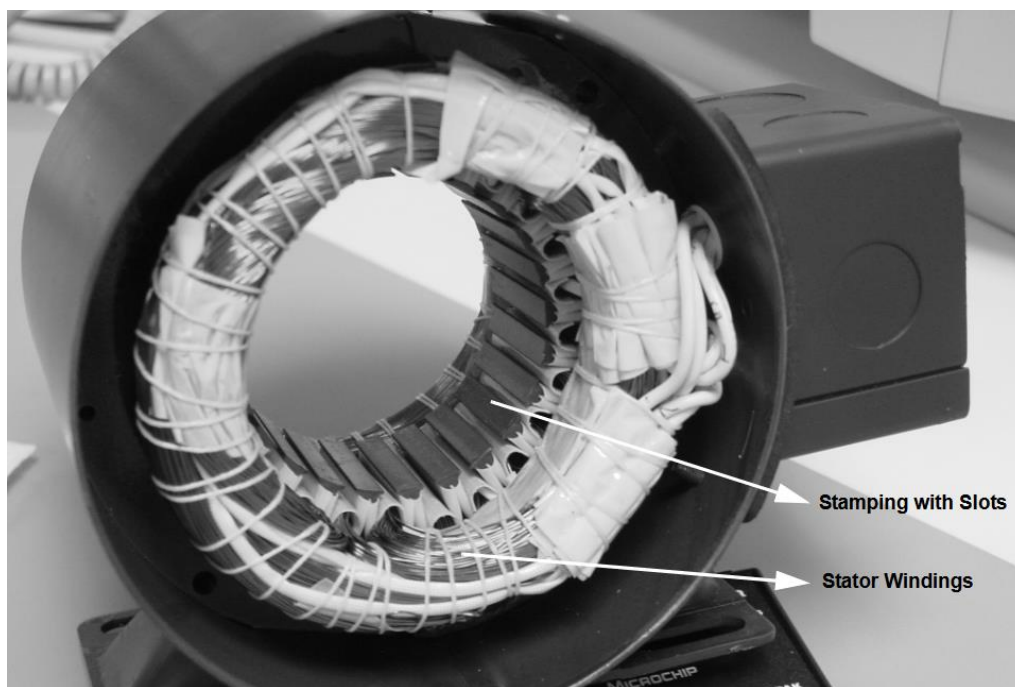


Figura 5.2 Estator de un BLDC [68].

Por otro lado, está el rotor, el cual contiene imanes permanentes y puede variar de dos a ocho pares de polos colocados alternadamente. En la figura 5.3 se puede apreciar cómo se conforma el motor, con el estator, el rotor y los sensores de efecto Hall colocados a la izquierda, los cuales se encargarán de enviar una señal para conocer si el motor está girando, a qué velocidad y en qué sentido.

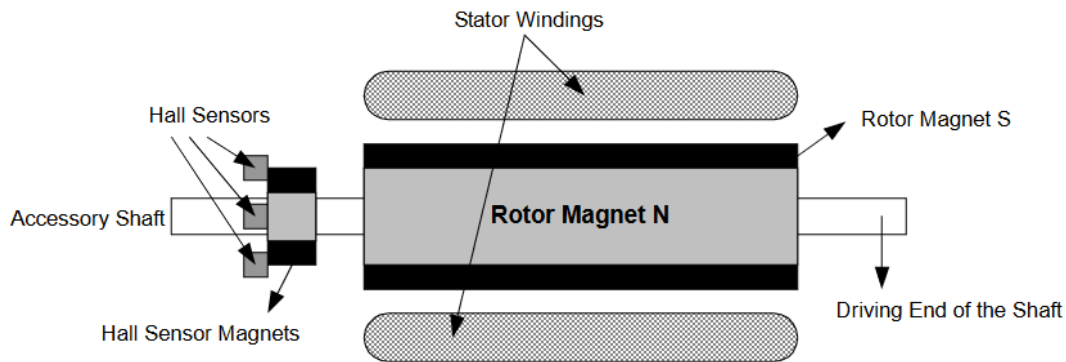


Figura 5.3 Sección transversal de un BLDC [68].

El principio de funcionamiento consiste en energizar las diferentes bobinas que se encuentran en el estator (conectados en configuración estrella) en diferentes secuencias, lo que provocará que los imanes permanentes sean atraídos debido al campo magnético, provocando el giro del eje. Cada secuencia de conmutación tiene uno de los devanados energizado a voltaje positivo (la corriente entra en el devanado), el segundo devanado está conectado a negativo (la corriente sale del devanado) y el tercero está en una condición no energizada. Para mantener el motor en funcionamiento, el campo magnético producido por los devanados debe cambiar de posición a medida que el rotor se mueve para alcanzar el campo del estator, lo que se conoce como "conmutación de seis pasos", la cual define la secuencia de activación como se muestra en la figura 5.4.

Una vez entendido cómo funcionan los motores *brushless*, se tomó como base los *scooters* eléctricos, teniendo en mente que el vehículo que se desarrollaría tendría cierta similitud con este tipo de vehículos de movilidad personal. Se observó que normalmente utilizan motores cuya potencia oscila entre 250 y 350 W, para cargar a una persona de hasta 100 kg, más el peso del propio vehículo que oscila alrededor

de los 10 kg. Debido a que VUMi además de la persona, también desplazaría a los paquetes y podría navegar sobre terrenos con pendientes, se consideró un motor de 500 W para tener una potencia de sobra en caso de ser necesaria.

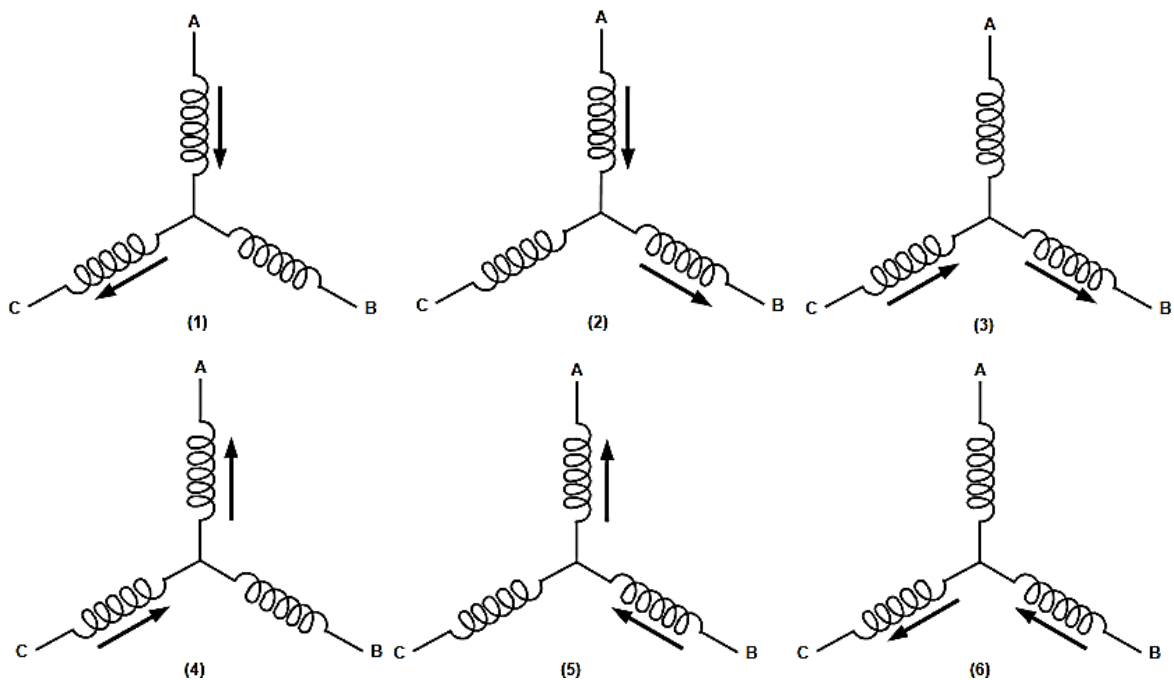


Figura 5.4 Conmutación de la corriente de seis pasos bobinas del BLDC: 1) entra por A y sale por C, 2) entra por A y sale por B, 3) entra por C y sale por B, 4) entra por C y sale por A, 5) entra por B y sale por A, 6) entra por B y sale por C [68].

Después de hacer una amplia búsqueda y bajo la especificación de utilizar ruedas de 10 in de diámetro, se encontró el motor que se muestra en la figura 5.5, destacando que tenía grandes ventajas, ya que su proveedor lo proporcionaba en paquete, el cual incluía un motor-rueda con neumático de 10 in con funcionamiento a 48 V y podría otorgar 500 W de potencia. Este motor podría llegar a desarrollar una velocidad de hasta 45 km/h.

El paquete incluía una rueda adicional del mismo diámetro sin motor, discos de frenado para ambas ruedas, *caliper* con el mecanismo de frenado, acelerador de gatillo con pantalla donde se muestra la velocidad a la que se va y finalmente, un controlador, encargado de proporcionar corriente al motor dependiendo de la señal que mande el acelerador.



Figura 5.5 Kit para el sistema motriz [69].

En dicho *kit*, se incluía el controlador o *driver*, que permitía controlar por el usuario la velocidad del motor de forma muy sencilla, ya que éste ya contaba con todo lo necesario para solamente conectar los dispositivos de entrada y salida. A continuación, en la figura 5.6, se muestra un pequeño diagrama de conexiones electrónicas simplificado en el que, en esencia, se tienen que alambrear tres elementos al controlador: la batería, el motor BLDC con el *encoder* y el acelerador con pantalla.

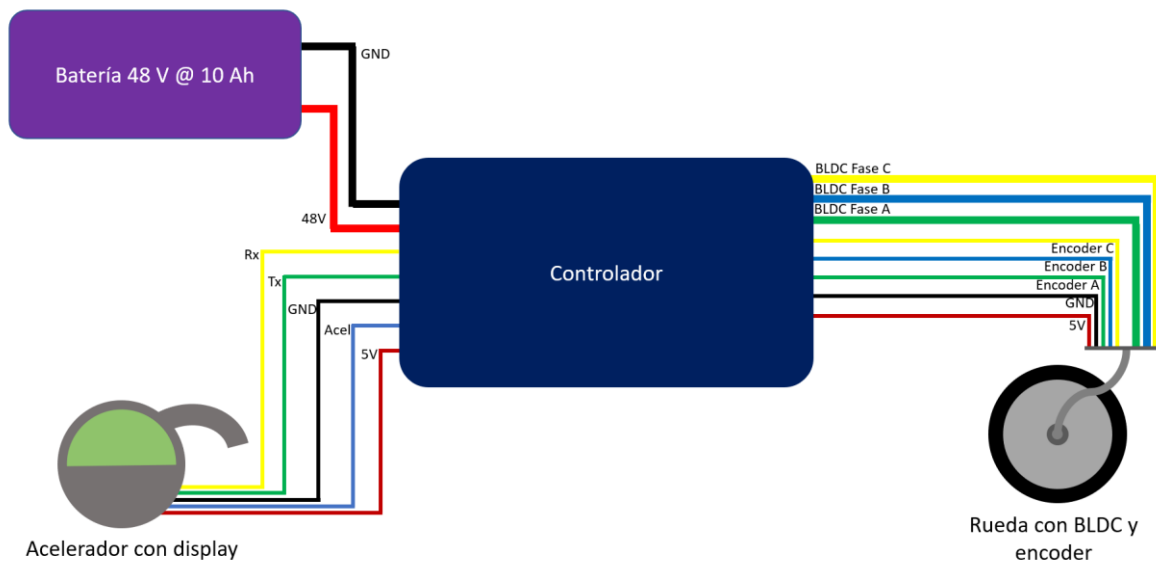


Figura 5.6 Diagrama eléctrico de conexión.

5.3.1.2. Subsistema de energía

Un punto clave para lograr el objetivo, es la fuente de energía. Como se mencionó, la solución será un vehículo eléctrico, por lo que se utilizará una batería. Si bien existe una amplia gama de tipos de baterías, la que se seleccionó fue una del tipo ion de litio (*Li-ion*). Según Micah Toll [70], las baterías ion de litio son muy comunes en los productos electrónicos de consumo ya que son más seguras que otro tipo de baterías de litio, tienen una mayor densidad energética en un pequeño volumen, al mismo tiempo que son ligeras.

Estas baterías pueden durar hasta 1000 ciclos de carga, pero esto varía por diferentes factores. El costo es relativamente accesible respecto a otros tipos y algo que contribuye a esto es su gran disponibilidad en la actualidad, ya que se utiliza en celulares, *scooters*, autos eléctricos, entre muchos otros dispositivos. Una de las formas más comunes en las que se puede encontrar este tipo de baterías es en celdas cilíndricas llamadas 18650, las cuales deben el nombre a sus dimensiones, ya que mide 18 mm de diámetro y 65 mm de largo.

La mayoría de las celdas *Li-ion* tienen un voltaje nominal de entre 3.6 V a 3.7 V, pero tienen un valor de carga completa de 4.2 V y un valor de descarga de 2.5 V. Si el valor de carga queda fuera de este rango ya sea en carga o descarga, puede afectar su tiempo de vida, es por ello que se requiere un sistema de gestión de baterías (BMS, *Battery Management System*), que se encarga de cortar la descarga cuando se llega a un valor de entre 2.7 V a 2.9 V por celda y la carga cuando se llega a valores entre 4.2 V y 4.4 V.

Dado que no se usarán valores de 3.7 V en los componentes, se busca armar arreglos de celdas ya sea en serie o en paralelo para lograr la capacidad de voltaje y carga que se necesita como se muestra en la figura 5.7, donde se observa que dos celdas conectadas en serie, proporcionarán 7.4 V, mientras que tres, otorgarán 11.1V (figura 5.7.a), con lo que respecta a la capacidad de carga de dos celdas en paralelo será de 7 Ah y mientras que de tres será de 10.5 Ah (figura 5.7.b).

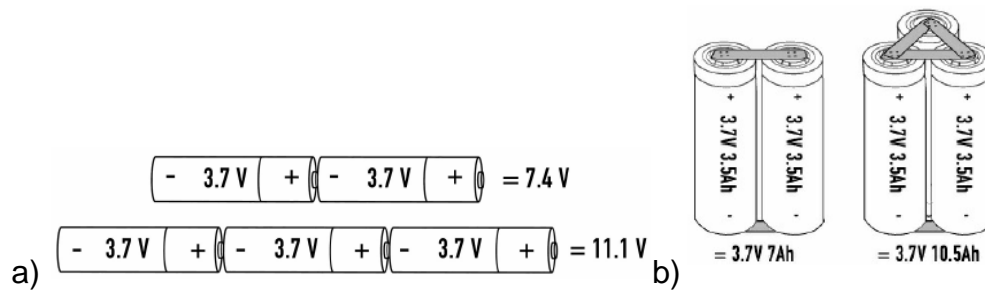


Figura 5.7 Celdas conectadas en: a) serie, b) paralelo.

Al tener conexiones en serie y paralelo, se produce una batería que se comporta como una celda única, que puede otorgar una intensidad de corriente a un determinado voltaje que, si bien cada celda se descarga en teoría de forma simultánea y balanceada, la variación en la resistencia entre cada una produce que haya variaciones en la cantidad de carga que tendrá cada una de las celdas; es por ello que se necesita un BMS, que aparte de limitar el valor de carga y descarga, se encargará que cada arreglo de baterías en paralelo se cargue y se descargue de forma uniforme, evitando sobrecargas o sobredescargas.

Para el proyecto se necesitaba un voltaje de 48 V, definido por el motor BLDC y una autonomía de 10 Ah, valor usado en *scooters* comerciales. Una opción fue obtener todos los componentes necesarios para armar el arreglo de 3 celdas conectadas en paralelos y a su vez, tener 14 grupos de celdas conectadas en serie (14s3p), adicional de añadir un BMS y todos los elementos necesarios. No obstante, por facilidad, se encontró un proveedor que ya proporcionaba la batería armada, además de proporcionar el cargador y un compartimiento donde se podía insertar la misma como se muestra en la figura 5.8.



Figura 5.8 Batería Li-ion de 48 V a 10 Ah [71].

5.3.2. Diseño del sistema mecánico

Una vez resuelto cómo se movería el vehículo, se enfocaron los esfuerzos en resolver cómo debería ser la parte física para cumplir su objetivo, cumpliendo las especificaciones antes mencionadas.

5.3.2.1. Estructura

Bajo el concepto de un vehículo que a la vez es maleta, se planteó un diagrama simple mostrado en la figura 5.9, para el cual se estimó que tendría las dimensiones de una maleta grande.

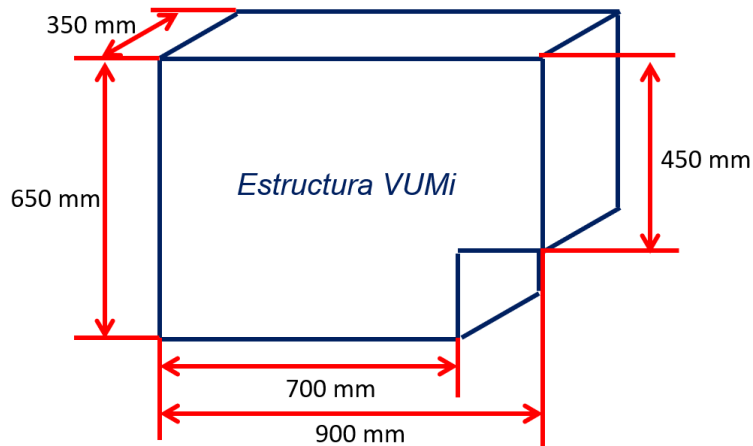


Figura 5.9 Dimensiones de la estructura de VUMi.

La configuración planteada se muestra en la figura 5.10, que como se observa, cuenta con cinco secciones para distintos propósitos, una para alojar el contenedor donde irán los paquetes, otra para guardar la batería, una tercera la destinada a la dirección y finalmente, dos secciones donde se colocarán las ruedas.

Asimismo, se investigaron cuáles eran los tipos de estructura más comunes para la construcción de vehículos, encontrándose que el tipo *space frame* era conveniente, dado que presenta una mayor facilidad de manufactura respecto a otros. Para construirla, se consideró utilizar perfil cuadrado de $\frac{1}{2}$ in de acero, ya que además de ser fácil de soldar, es económico y presenta buena resistencia para soportar las

cargas a las que estaría expuesto VUMi. En la figura 5.11 se muestran vistas de la estructura final.

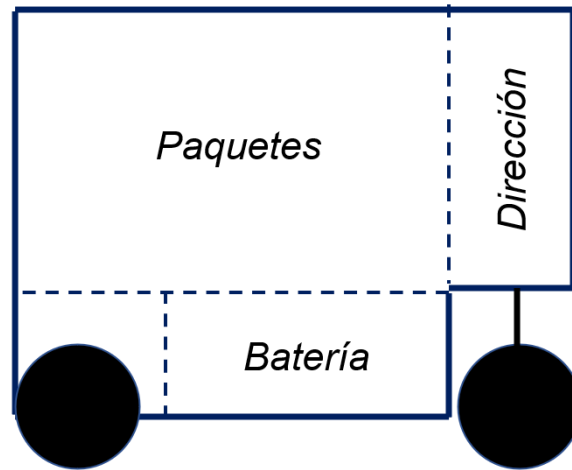


Figura 5.10 Compartimentos de VUMi.

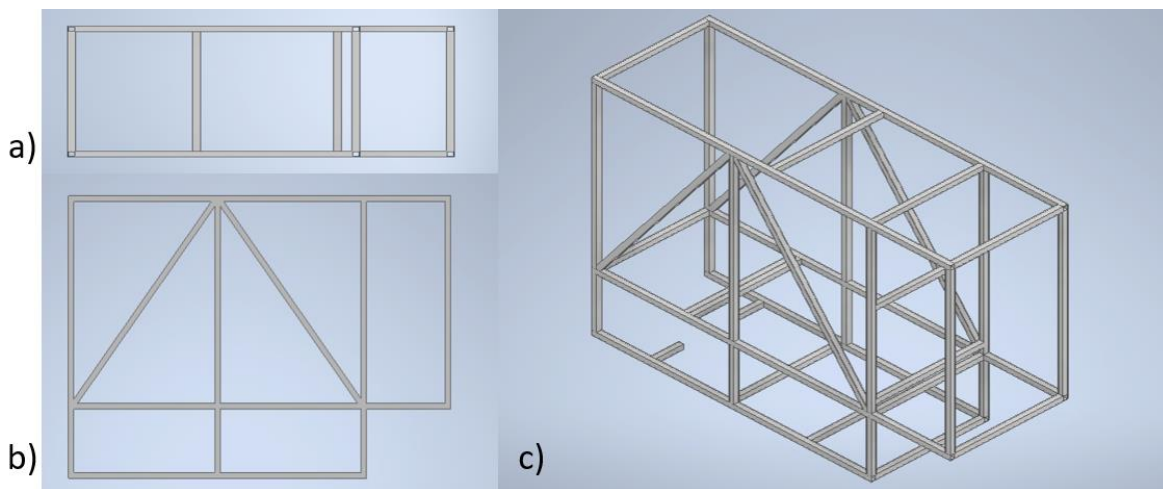


Figura 5.11. CAD de la estructura final: a) vista superior, b) vista lateral, c) vista isométrica.

Finalmente, a pesar que el *kit* para el sistema motriz incluía un eje para la rueda loca que iría colocada en la parte trasera del vehículo, se decidió diseñar y torneear un eje a la medida de la horquilla trasera, dado que la longitud de éste no se ajustaba al espacio disponible. El eje diseñado se muestra en la figura 5.12.

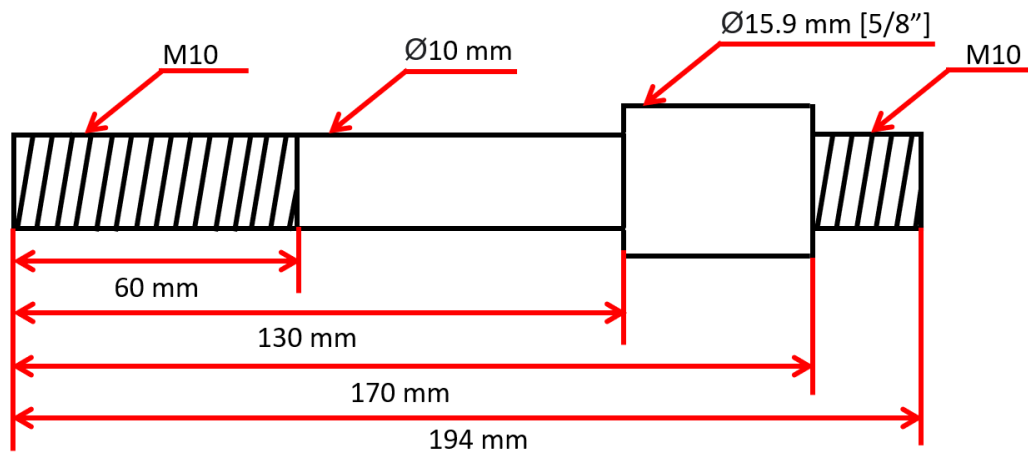


Figura 5.12 Dibujo del eje trasero.

5.3.2.2. Compartimento para paquetes

Un sistema que fue determinante para el diseño de la parte mecánica del vehículo fue la sección donde irían los paquetes, debido a que se tenía que cumplir con la especificación del colaborador, que mencionó que debía transportar al menos 35 paquetes, que se consideraron solamente sobres y paquetes pequeños, destacando que las cajas las seguiría entregando la camioneta.

Determinar el volumen que ocuparían los 35 paquetes era bastante difícil, ya que a pesar de considerar sobres pequeños, éstos podrían contener un sinnúmero de tipos de productos con diversas geometrías, básicamente cualquier artículo que se pudiera comprar en línea. Para intentar homogeneizar los paquetes y determinar el espacio que se necesitaría, se seleccionó un sobre con burbujas que se tenía de muestra cuyas medidas son 400 mm de alto, 250 mm de ancho y 13 mm de espesor. Se consideró colocar varios sobres de este tipo acomodados uno al lado del otro en el contenedor, el cual estaría dividido en dos secciones, como se muestra en la figura 5.13.

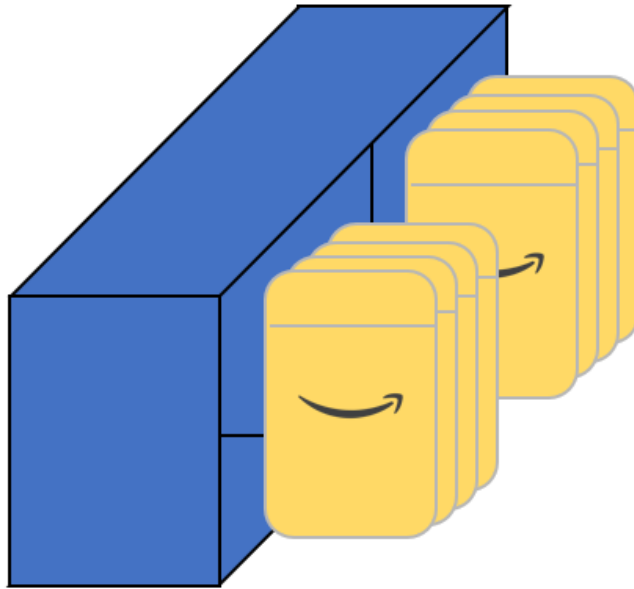


Figura 5.13 Forma de colocación de los Sobres en el compartimiento.

Una vez definido las dimensiones del sobre común a utilizar, se decidió prototipar un prisma rectangular hueco, de forma que se pudiera apreciar su funcionalidad. Para construirlo, se utilizó PVC espumado, dado que es un material de bajo costo y fácil de modificar para el propósito del prototipo.

Por otro lado, faltaba definir cómo saldría el compartimiento, por lo que se analizó la estructura para detectar por qué zonas podría ser extraído y por cuáles no sería posible. En la figura 5.14 se observan algunas zonas rojas en la estructura, las cuales simbolizan las caras de la sección de carga por las que no se podría extraer, debido a que las caras laterales del prisma tendrían que estar muy reforzadas para soportar el peso de la persona que iría montada sobre el VUM; la parte frontal tampoco podría ser usada ya que tendría el sistema de dirección, así como la parte inferior la cual tendría el sistema de energía. Por lo tanto, como únicas opciones quedarían la parte superior, dónde iría sentada la persona y la parte trasera del vehículo señaladas en azul en la misma figura.

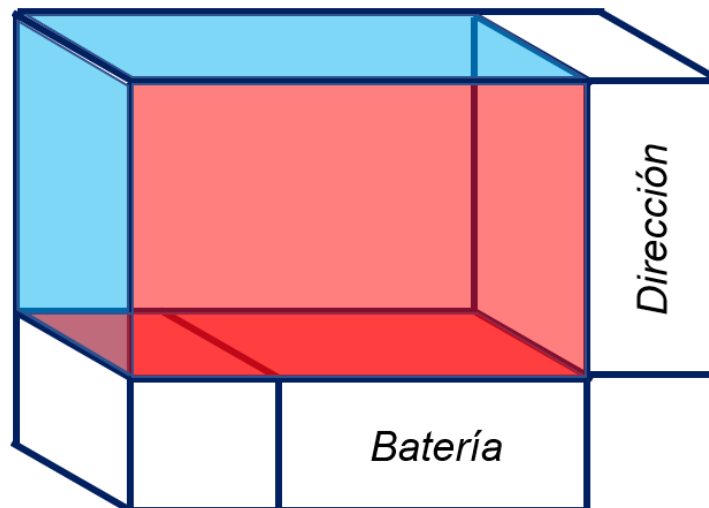


Figura 5.14 Zonas con posibilidades para la extracción del compartimento.

Para transformar al vehículo en maleta, se ideó una forma muy simple, se pensó en bloquear la rueda delantera y empujar el vehículo hacia delante, de forma que el vehículo girara 90° , quedando apoyado sobre su cubierta frontal. Para soportar el peso en modo maleta, se le añadiría un par de ruedas locas en esta sección que permitieran el desplazamiento de ésta, además, se tendría que bloquear el manubrio para evitar que girara y se atorara.

Una vez convertido el vehículo en maleta, se podría extraer el compartimento de la sección de carga por la parte superior, de forma que el usuario pudiera acceder a los paquetes sin necesidad de agacharse. En esta etapa del proyecto no se contempló resolver la forma en cómo el compartimento saldría, por lo que quedó pospuesto para una etapa futura del proyecto.

5.3.2.3. Dirección

El subsistema de dirección, implicaba utilizar una horquilla que se acoplara a la rueda delantera que se había seleccionado de 10 *in* de diámetro, la cual debía sujetarse a los extremos del eje de la rueda. La apertura de la horquilla debía ser de 110 mm de ancho y la longitud de poco más de 5 *in*, dimensión necesaria para permitir que la rueda pudiera girar libremente.

Por simplicidad de prototipado, se utilizó una horquilla de bicicleta que se tenía en el laboratorio, que si bien estaba diseñada para una rueda de bicicleta de 26 in, tenía la apertura requerida, por lo que se decidió añadirla a la estructura que se prototiparía. Los elementos ocupados son los que se muestran en la figura 5.15.



Figura 5.15 Bicicleta reciclada para el uso de las horquillas.

Otro punto muy importante fue definir el ángulo de avance o de caster que tendría, el cual se definió de 13° , de forma que permitiera girar con facilidad al solo inclinar el VUMi. En el trabajo dedicado a reportar más a detalle la parte mecánica [11], se abordó la justificación de este ángulo.

Una característica adicional que tendría el manubrio, fue que se contara con un mecanismo telescópico de tal manera que cuando el vehículo fuera convertido en maleta, se compactara y no estorbara al ser desplazado.

5.3.3. Manufactura

Una vez definido el diseño del vehículo, se procedió a la manufactura del primer prototipo. En la figura 5.16, se muestra parte del proceso de manufactura que los integrantes del proyecto realizaron.



Figura 5.16 Manufactura de la estructura.

Para la construcción de la dirección, sólo se unieron las horquillas con la estructura que ya se había armado, para lo cual se utilizaron unas pequeñas secciones de perfil que serían soldadas a la parte delantera de la estructura con el ángulo de avance ya definido (figura 5.17).



Figura 5.17 Horquilla delantera.

Finalmente, se integró el sistema mecánico con el electrónico, para lo cual se colocó la batería y el controlador en la parte inferior del vehículo y se acomodaron los cables para que no obstruyeran el funcionamiento y evitar accidentes. El VUMi 1 quedó concluido como se muestra en la figura 5.18.

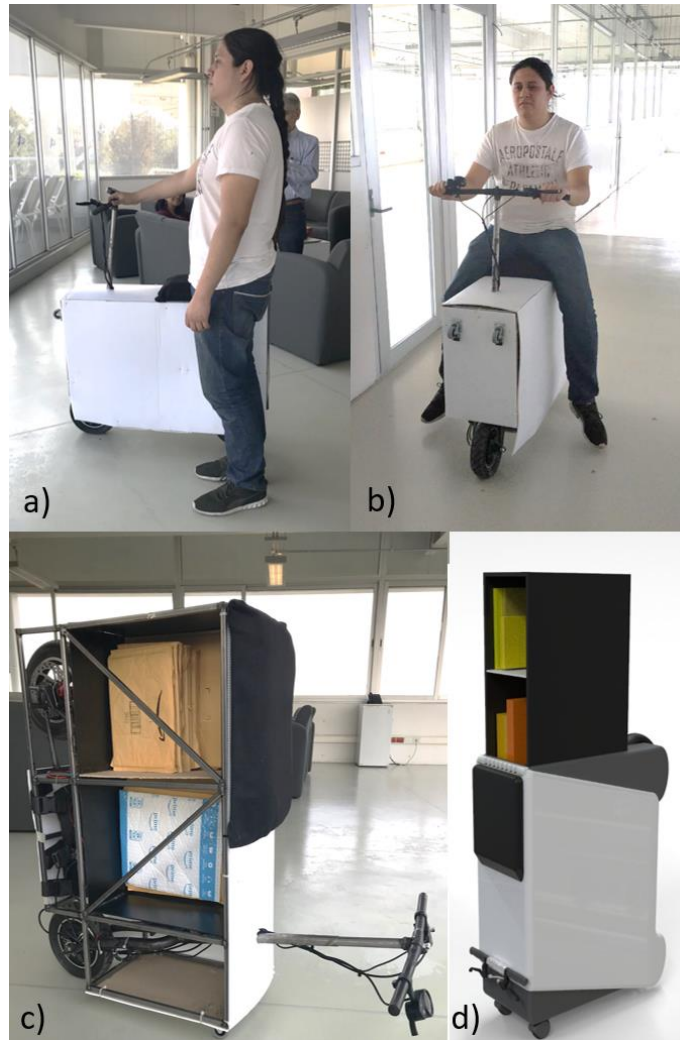


Figura 5.18 Prototipo VUMi 1 concluido: a) vehículo junto al conductor, b) vehículo conducido, c) modo maleta, d) render con extracción de compartimento.

5.4. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PROTOTIPO VUMI 1

En lo que respecta a las primeras pruebas de este prototipo, fueron en esencia del tipo funcionales, ya que se evaluó cómo funcionaba la parte electrónica y la

estructura del vehículo. Asimismo, varios colaboradores del laboratorio lo probaron y se tomó nota de sus opiniones para finalmente presentárselo a los colaboradores obteniendo las siguientes conclusiones.

Con respecto a los elementos electrónicos, se tuvo un buen funcionamiento, esto porque el motor se comportó de buena manera, ya que tenía la potencia para mover a una persona no importando su masa. Por otra parte, no hubo una gran descarga de la batería, según lo observado en el indicador de la pantalla, se descargó menos de la mitad de la carga. Finalmente, el acelerador, el cual era de gatillo, resultó muy intuitivo para todas las compañeras y compañeros que lo probaron y tenía una buena respuesta a las variaciones emitidas.

En cambio, en el sistema mecánico se tuvieron más aprendizajes. Primeramente, se detectó la necesidad de un reposapiés, el cual no se incluyó en el diseño en esta etapa de prototipado. Respecto al manubrio, a pesar de tener un funcionamiento adecuado, daba una sensación de tener mucha sensibilidad al ser girado, es decir que, a pequeñas variaciones de ángulo de rotación, se sentía un gran cambio de dirección del vehículo, esto debido al ángulo de avance que se implementó de 13° , por lo que sería una característica a resolver.

Asimismo, respecto a la estructura, a pesar de que tuvo una resistencia adecuada y no se detectó ningún problema, el ancho del vehículo no era cómodo, ya que todos los usuarios, inclusive los que tenían estatura similar a la del “personaje”, sentían molestia en los muslos al tener las piernas muy abiertas, a su vez que consideraban al vehículo alto, originando que al estar montados en el vehículo y detenidos, debían apoyarse con las puntas de los pies para no caerse, situación más evidente en los compañeros con menor estatura, por lo que era otra característica que debía corregirse.

Por otro lado, se tuvo una reunión con los colaboradores para presentarles el prototipo construido, el cual a pesar de tener todos los detalles antes mencionados, tuvo una gran aceptación, ya que comentaron que VUMi 1 tenía una gran capacidad de carga, aunque sugirieron que podría aprovecharse de mejor manera el espacio

de los compartimientos del vehículo para entregar más paquetes. Además, mencionaron que una vez concluido, ellos podrían ocuparlo para hacer las entregas en corporativos como habían planteado, a su vez que podría ser una gran opción para ser comercializado ya que presentaba características únicas respecto a otros vehículos, debido a que, estaba entre el tamaño de una bicicleta y una motocicleta.

Con todos estos hallazgos, se decidió hacer un rediseño del prototipo, para resolver las características que no se contemplaron en el diseño o que no se lograron de la mejor manera al cual se le nombró VUMi 2.



Figura 5.19 Equipo de trabajo que desarrolló VUMi 1.

5.5. VUMI 2

Esta segunda iteración tuvo varias modificaciones; primeramente, se realizó una disminución de las dimensiones de la estructura, tanto de alto, como del ancho del vehículo para que fuera más cómodo para el conductor. Además, se consideró un cambio en la dirección para tener un ángulo en avance de 16°, de modo que se tendría un giro menos brusco,

Al mismo tiempo, se decidió recubrir al vehículo con lámina de calibre 16 de forma que tuviera robustez y los paquetes estuvieran seguros. Para tener una buena unión del recubrimiento con la estructura, se decidió soldar mediante soldadura de punto, de forma que quedarán dos compartimientos, el primero, el que contendría al sistema de dirección con la batería y el segundo, el espacio destinado para guardar los paquetes (figura 5.20).



Figura 5.20 Espacio para paquetes en VUMi 2.

Se decidió pintar de blanco todo el vehículo, salvo el manubrio, para detectar las superficies de contacto o que tendrían mayor desgaste, es decir, aquellas zonas donde el operador manipularía el vehículo.

A su vez, una propuesta que surgió, fue que al tener un área plana en varias caras del vehículo, se podrían usar para pegar publicidad de la empresa colaboradora o, inclusive, obtener ganancias adicionales al colocar la publicidad de alguna marca comercial.

Finalmente, se colocaron los reposapiés para que el operador colocara los pies, seleccionando la parte delantera, de manera que el usuario estuviera sentado de forma cómoda, soldándolos en la unión de los perfiles, permitiendo un buen soporte como se ilustra en la figura 5.21.



Figura 5.21 Reposapiés colocados en la parte delantera.

En otro orden de ideas, se modificó el concepto de acceso a los paquetes, ya que se concluyó que tener un mecanismo para hacer que el compartimiento saliera, restaba espacio de carga y aumentaba su complejidad de implementación, por lo que se decidió eliminarlo de tal manera que la zona de carga contuviera a los paquetes.

Para acceder a lo que ahora sería el contenedor del vehículo, se decidió colocar dos tapas abatibles a la carcasa, la primera a la altura del asiento, de modo que se pudieran sacar los paquetes cuando VUMi 2 estuviera en modo vehículo (figura 5.22.a) y uno en la parte trasera, que al convertir al vehículo en modo maleta, estaría en la parte superior como se observa en la figura 5.22.c, y con ello se podría acceder a todos los paquetes.



Figura 5.22 a) Extracción de paquetes en modo vehículo por el asiento b) Convirtiendo al vehículo en maleta, c) extracción de paquetes en modo maleta por la parte superior.

Una modificación adicional que se implementó fue el reposicionamiento de la batería a la parte delantera, generando un pequeño compartimiento donde está el manubrio (figura 5.23), de tal manera que se pudiera ocupar la parte inferior del vehículo para guardar paquetes, con lo que se logró un aumento de un 16% en cuanto a la capacidad de carga de paquetes, pasando de 0.08 m³ a 0.093 m³.

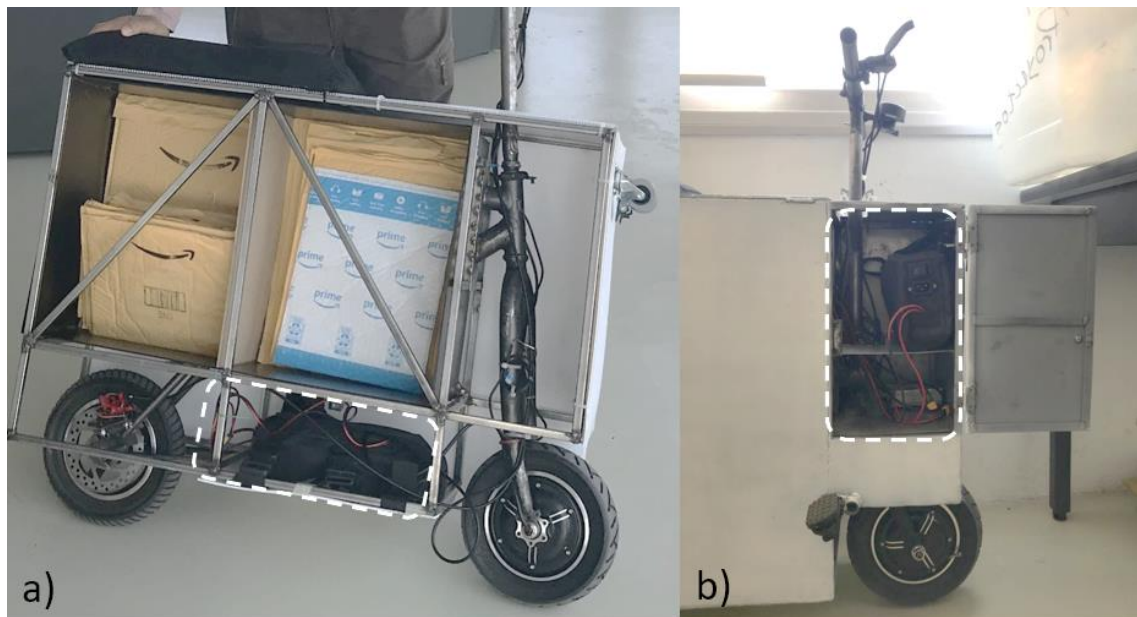


Figura 5.23 Reacomodo de la batería: a) VUMi 1, b) VUMi 2.

5.6. APRENDIZAJES Y HALLAZGOS DEL PROTOTIPO VUMI2

5.6.1. Primeras pruebas

Al haber concluido la segunda versión del prototipo, se hicieron algunas pruebas similares a las realizadas con la versión anterior, se probó que todo funcionara adecuadamente respecto a la parte motriz y eléctrica. Una vez verificado esto, se probó que una persona con características similares a las que tiene el “personaje”, pudiera trasladarse de mejor manera. Lo que se obtuvo fue que la altura era mucho más cómoda y a pesar que se disminuyó lo ancho del vehículo, seguía provocando incomodidad para la sección de los muslos, pero era menor, ya que al tener los reposa pies en esa posición, propiciaba que las piernas estuvieran más flexionadas (figura 5.24).



Figura 5.24 Conductor con piernas flexionadas y colocadas en los reposapiés.

Una vez realizadas las primeras pruebas, se decidió hacer algunas otras fuera del laboratorio para tener experiencia en diferentes escenarios. Se plantearon dos tipos de pruebas, las de capacidad por tipo de terreno y la de autonomía. En lo que respecta al primero, se probó que el vehículo pudiera pasar por topes vehiculares, utilizando un reductor de velocidad de plástico (figura 5.25.a) y, en segundo lugar, uno que estaba en una vialidad de Ciudad Universitaria (figura 5.25.b), logrando

pasarlos sin ningún inconveniente. Un punto que preocupaba era que pudiera pasar la parte inferior media del vehículo sin rozar con el tope, situación que VUMi logró ya que había buena separación del chasis respecto al pavimento.



Figura 5.25 VUMi 2 pasando tope a) del laboratorio, b) del campus universitario.

Otro tipo de terreno que se probó fueron los terrenos donde había muchas irregularidades o baches, para lo cual se detectaron varias zonas de CU para probar dicha situación. Una de las ubicaciones que se detectó fue frente a la Torre de Humanidades II, que tiene piso empedrado; si bien VUMi 2 logró movilizarse sobre estos terrenos, no era nada cómodo para el conductor, ya que se sentían mucho las irregularidades (figura 5.26.a). Por otro lado, se probaron secciones donde había pequeños baches y se notó que, si bien el vehículo lograba pasarlos, era una zona donde se debía ir con mucho cuidado, ya que dependiendo de la dimensión del bache, la rueda podría tener problemas para pasarlos (figura 5.26.b).

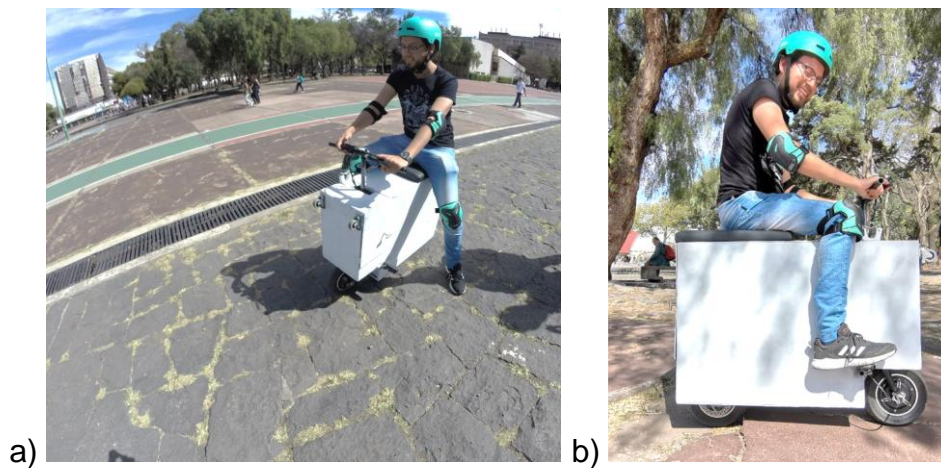


Figura 5.26 Vehículo sobre: a) empedrado, b) baches.

Adicionalmente, se probó al vehículo sobre pendientes de aproximadamente 15° de inclinación (figura 5.27), para lo cual necesitó tomar impulso para subirlas, ya que si estaba detenido sobre la misma era complicado hacerlo. A pesar de esto, se concluyó que tuvo un buen desempeño, ya que se esperaba que solamente pudiera movilizarse sobre terrenos planos.



Figura 5.27 VUMi 2 subiendo pendientes.

Posteriormente, se realizó una prueba para conocer si el vehículo tenía la capacidad de carga por arriba de lo esperado; para esto, dos miembros del equipo se subieron al vehículo (figura 5.28), quienes en conjunto tienen un peso aproximado de 150 kg, éste logró movilizarse sin problema. Esta prueba también sirvió para hallar que el espacio en la parte trasera del conductor podría ser aprovechado de mejor manera.



Figura 5.28 Dos personas sobre VUMi 2.

Finalmente, para probar la autonomía del prototipo, se realizó el recorrido por una sección de la ciclovía de Ciudad Universitaria, en la que algunas características de este trayecto es tener pendientes con diferentes inclinaciones, zonas de empedrado y zonas totalmente planas. Si bien estas características eran diferentes al escenario en el que sería aplicado el vehículo, permitía tener conocimiento del comportamiento del motor y la batería ante exigencias mayores a las que normalmente estaría siendo utilizado.

En la figura 5.29, se observa el recorrido que realizó VUMi 2, al cual se le dio seguimiento mediante la aplicación de celular de *Nike*, destacando que las zonas coloreadas en rojo el vehículo tenía una velocidad menor respecto a las verdes. Como dato final de autonomía que se obtuvo fue que puede recorrer una distancia de 11.15 km en un tiempo de una hora y media con la batería cargada totalmente.



Figura 5.29 Seguimiento del recorrido de VUMi 2.

5.6.2. Pruebas con usuarios

Tras concluir las pruebas de funcionamiento del vehículo, se prosiguió con las pruebas de funcionalidad con el usuario. Para lograr esto, se acordó con la empresa colaboradora la designación de una ruta de entrega de su flota dentro de Ciudad Universitaria. Esta ruta en la Universidad se decidió debido a que las características de entrega eran similares a las de las zonas de corporativos, ya que las entregas también se realizarían en edificios, los cuales cuentan con personal de seguridad y hay dificultad para estacionarse; por otro lado, el vehículo no contaba con faros para señalización vial como demanda el reglamento de tránsito de la CDMX, lo cual, pudo haber causado conflictos.

Para realizar este estudio, la empresa colaboradora proporcionó una *minivan* de entrega, un chofer junto con su ayudante y nueve paquetes de diferentes tipos dentro de los cuales había sobres, un par de bolsas medianas, una caja pequeña y una caja de un volumen considerable. El punto de encuentro fue sobre la Av. De los Insurgentes, justo frente al Estadio Olímpico Universitario, lugar donde había la posibilidad de estacionar la camioneta y un amplio andador para preparar la prueba, además de estar cerca de la ciclovía de la Universidad.

El día de la prueba se tuvieron varias complicaciones ya que no se había previsto que Seguridad UNAM solicitaría la documentación necesaria para realizarla, misma con la que no se contaba, por tal motivo no se pudo realizar como se tenía previsto. Aun así, se aprovechó para hacer otro tipo de estudios que se tenían planteados.

En primer lugar, se solicitó a los trabajadores de la empresa que se subieran al vehículo y lo probaran, dando su opinión respecto a la facilidad de uso y la comodidad de la posición en la que estaban sentados (figura 5.30).



Figura 5.30 Pruebas de movilidad con VUMi 2.

Después se les solicitó que colocaran los nueve paquetes que traían en la zona de carga de la *minivan* al interior del VUMi 2, los cuales acomodaran de la mejor manera posible. Lo que se observó fue que al tener dos puntos de acceso al área de carga, pudieron ingresar y extraer con facilidad los paquetes. Después de varios intentos, lograron ingresar solamente ocho de los nueve paquetes destinados para la entrega, incluso la caja de mayor volumen (figura 5.31).



Figura 5.31 Acomodo de los paquetes dentro de VUMi 2.

Una vez concluida esta prueba, se prosiguió a detectar la mejor manera de cómo podrían subir y bajar a VUMi 2 dentro de la *minivan* (figura 5.32). Esto permitió

conocer la forma de cómo cargarían al vehículo y si era necesario que fuera manipulado por una o por dos personas. Asimismo, permitió visualizar que dentro de la camioneta habría la posibilidad de transportar de 3 a 4 vehículos con paquetes, bajo la propuesta de experiencia de “enjambre” planteada en el ciclo 2.



Figura 5.32 Acomodo de VUMi 2 dentro de la minivan.

Finalmente, se reportaron todos los hallazgos de los dos prototipos, se documentó y se les comunicó en una reunión a los colaboradores quienes dieron su realimentación al respecto. En la figura 5.33 se muestra una fotografía del equipo de trabajo con el que se cerró este ciclo.



Figura 5.33 Equipo de trabajo que desarrolló VUMi 2.

CAPÍTULO 6

CICLO 4.1: VEHÍCULO ELÉCTRICO NO TRIPULADO DE ÚLTIMA MILLA

6.1. REPLANTEAMIENTO DEL RETO

Se plantea que al VUM se le añadan tecnologías que permitan mejorar la eficiencia del proceso de entrega de paquetería. Para lograrlo, se implementará un sistema AGV (*Automatic Guided Vehicle*, por sus siglas en inglés) como una primera iteración, esto con la idea de tener un primer acercamiento con tecnologías revolucionarias que hoy en día se están desarrollando, como lo son los vehículos autónomos.

6.2. OBJETIVO

Diseñar y definir las modificaciones a nivel conceptual que necesita la plataforma del VUM para hacer la misma entrega de paquetes de forma no tripulada siguiendo una trayectoria.

6.3. PROBLEMÁTICA

Para la definición de los problemas, se retomaron varias de las que el vehículo de última milla debe cumplir, mencionadas en el tercer capítulo por el cliente, aunado a que al querer implementar el concepto de un sistema AGV, deberá cumplir otras que la misma tecnología y que el sistema implican, sin dejar de lado las que el sistema VUM ya cumplía. Dichos problemas se presentan a continuación:

- Los empleados no pueden acceder con mochilas a la bodega ni a la camioneta porque se teme que se puedan robar los paquetes.
- Se considera que los empleados podrían hacer mal uso del combustible del vehículo, ya sea porque se desvían de la ruta por intereses personales o porque reportan haber comprado una mayor cantidad cuando en realidad fue menos.
- En la solución planteada, el VUM no puede ir a una velocidad elevada, ya que es peligroso para los conductores, pues podría propiciar accidentes.
- No es conveniente que el VUM tenga piezas desmontables, ya que podrían ser robadas.
- El colaborador necesita mejorar la eficiencia del sistema de entrega.
- El colaborador necesita expandir su cobertura de entrega, sobre todo en zonas complicadas, para ser competitivo.
- El colaborador necesita disminuir costos a mediano y largo plazo.
- El nuevo sistema no debe generarle costos elevados de instalación y/o mantenimiento al colaborador.

Dados estos problemas, se puede pensar que al implementar algunas mejoras al Vehículo de Última Milla, éste puede mejorar su eficiencia, ahorrar costos y solucionar algunos posibles problemas relacionados con el conductor.

6.4. HIPÓTESIS

Al aplicar un sistema de guiado automático (AGV) al vehículo de última milla, se logrará tener un sistema más eficiente en una ruta controlada, que tenga la misma capacidad de hacer entregas que un VUM tripulado.

6.5. NECESIDADES

Para la definición de las necesidades, se hizo uso de los comentarios hechos por el colaborador, que si bien no van enfocados en el desarrollo de una nueva tecnología como lo es la aplicación de un sistema AGV, funcionan como punto de partida para generar las bases de una nueva área de investigación dentro del proyecto. Estas necesidades se mencionan a continuación:

- El VUM:
 - Opera como un AGV.
 - Detecta obstáculos a su alrededor.
 - Acelera y frena por sí mismo.
 - Controla la dirección por sí solo.
 - Se mueve a una velocidad segura.
 - Opera en la lluvia.
 - Comunica su ubicación exacta.
 - Sigue una señal que define su trayectoria.
 - Entrega el paquete sólo al destinatario correcto.
 - Detecta señalamientos de tránsito.
 - Comunica su nivel de batería.
 - Comunica la distancia recorrida.
 - Alerta si ha habido un problema en la entrega.
 - Notifica cuando ya dejó el paquete.
 - Puede entregar todos los paquetes.
 - Usa su energía de forma eficiente y correcta.

- En caso de no encontrar al destinatario, regresa los paquetes a la bodega.
- Tiene forma de comunicarse con las personas que están en su entorno.
- Puede cambiar entre el modo AGV y tripulado.
- Como AGV, no necesita instalación de aditamentos en la trayectoria.
- No genera costos elevados de mantenimiento.

6.6. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

Una vez definidas las necesidades, se deben identificar las funciones que tendrá este vehículo (figura 6.1), de forma que permita una interpretación precisa de lo que se debe realizar.



Figura 6.1. Funciones del vehículo.

Una vez identificadas cada una de las funciones, se clasificarán las necesidades detectadas o requerimientos en cada una de éstas. En la tabla 6.1, se muestran las funciones que deberá cumplir este vehículo modificado, donde las que aparecen en la columna de la izquierda son más importantes y las de la derecha lo son en menos.

Tabla 6.1 Clasificación y jerarquización de los requerimientos.

	Operación como AGV	Comunicación de datos	Eficiencia	Seguridad
1	Opera sin conductor	Ubicación	No necesita instalación de aditamentos en la trayectoria	Entrega el paquete sólo al destinatario
2	Cambia su velocidad por sí solo	Nivel de batería	No genera costos elevados de mantenimiento	Alerta si ha habido un problema
3	Controla la dirección por sí solo	Distancia recorrida	Usa energía de forma eficiente y correcta	Regresa los paquetes a la bodega si no se encontró al destinatario
4	Sigue una trayectoria	Paquete entregado	Entrega todos los paquetes	Comunica su ubicación exacta
5	Detecta obstáculos a su alrededor	Con las personas en el entorno	Tiene autonomía suficiente	Detecta señalizaciones de tránsito
6	Intercambia la modalidad entre AGV y tripulado		Opera aún con lluvia	Uso de energía de forma eficiente y correcta

Si bien la función de seguridad tiene gran importancia, no se abordará en esta tesis, ya que en el trabajo que se desprendió del proyecto central [12], se presenta un estudio de sistemas de antirrobo que deberá tener VUM en su siguiente etapa, los cuales podrían ser buen punto de partida para el estudio de cuáles podrían implementarse en el vehículo no tripulado.

6.7. VEHÍCULOS DE REPARTO NO TRIPULADOS

Para entender hacia dónde se dirige la tendencia de desarrollo en el ámbito de la paquetería no tripulada terrestre, a continuación se presentarán algunos de los vehículos que se han desarrollado.

6.7.1. Starship

Esta empresa con ya mucho recorrido en la carrera de desarrollo de robots de entrega, desarrolló un robot autónomo de seis ruedas que navega por las banquetas detectando obstáculos y personas, con el objetivo de hacer entregas de comida en

la Universidad de Milton Keynes [72]. Tiene un sistema en el que mediante una aplicación móvil se solicita el servicio, la persona que realiza el pedido puede ir monitoreándolo hasta que llega a su ubicación y sólo en ésta puede realizar la entrega.



Figura 6.2 Robot autónomo Starship [73].

6.7.2. Amazon Scout

Una de las empresas más grandes de paquetería en el ámbito mundial, está iniciando las pruebas con su robot autónomo Scout desde 2019, el cual es un robot de 6 ruedas que puede navegar por las banquetas y puede moverse aún con lluvia. Este pequeño vehículo podrá hacer entregas de paquetes pequeños, sin embargo, aún se encuentra en periodo de pruebas y necesita que una persona lo acompañe para que pueda auxiliarle en cualquier inconveniente que pueda tener.



Figura 6.3 Robot autónomo Scout [74].

6.7.3. Robby

Robby es otra empresa que está compitiendo por entrar en la pelea por desarrollar su propio robot autónomo. Ahora tienen un segundo prototipo el cual entregará paquetería e incluso comida en alianza con algunos restaurantes a algunas universidades. Este robot tiene seis ruedas, se desplaza sobre las aceras y puede pasar incluso por pequeñas irregularidades.



Figura 6.4 Robot autónomo Robby [75].

6.7.4. Kiwibot

La empresa Kiwi desarrolló un pequeño robot de cuatro ruedas autónomo llamado *Kiwibot*, tiene una dirección frontal tipo Ackerman y sensores que le permiten navegar por aceras a baja velocidad. Es usado principalmente para reparto de comida a universidades y es una solución de bajo costo. Este proyecto ya ha logrado hacer el reparto de un gran número de entregas, poco más de noventa mil [76].



Figura 6.5 Robot autónomo Kiwibot [77].

6.7.5. Eliport

Una empresa que intenta destacar es Eliport, ya que ha desarrollado un robot autónomo de 4 ruedas, el cual puede navegar en zonas peatonales y pretende hacer entregas con un valor agregado, ya que además de la entrega, propone tener un baúl preinstalado en la localización destino para realizar una carga y descarga sin interacción humana, mejorando la eficiencia del sistema de reparto, no obstante, sigue siendo un desarrollo en etapa conceptual.



Figura 6.6 Robot autónomo Eliport [78].

6.7.6. Postmates Serve

La empresa de reparto de comida a domicilio, Postmates, está en desarrollo de su robot autónomo de cuatro ruedas Serve, con capacidad de carga de 50 lb [79], el cual pretende entregar comida en ciudades viajando sobre banquetas y recientemente ha estado realizando pruebas en Los Angeles, ya que es una zona plana y con buen clima todo el año.



Figura 6.7 Robot autónomo Serve [80].

6.7.7. Marble

Otro proyecto nombrado *Marble*, surge a partir de estudiantes con experiencia en robótica que busca soluciones para la entrega de comestibles, comidas y paquetes mediante el uso de robots [81], por lo que han desarrollado un robot de cuatro ruedas que navega de forma autónoma sobre las aceras, el cual es de tamaño mediano y tiene un amplio compartimiento. Este ya se encuentra en fase de prueba de su prototipo.



Figura 6.8 Robot autónomo Marble [82].

6.7.8. TeleRetail ONE

La empresa *TeleRetail* ha estado desarrollando su robot autónomo de tres ruedas *ONE* en configuración delta, con tracción del tipo diferencial que puede viajar por las aceras y por las calles. Esta tecnología robótica permite su uso en ciudades, áreas rurales y en entornos industriales [83] ofreciendo una automatización logística local, permitiéndole que seleccione el origen y destino de su servicio de mensajería. Actualmente, se está ocupando para llevar herramientas a los trabajadores de una empresa con la que están colaborando.



Figura 6.9 Robot autónomo ONE [84].

6.7.9. Refraction AI REV-1

La empresa Refraction AI, ha desarrollado un robot autónomo con tres ruedas llamado REV-1, con configuración *tadpole*, es decir, dos ruedas adelante, donde se localiza la dirección y una rueda trasera donde se encuentra la tracción; siendo un vehículo diseñado para viajar tanto en la ciclovía como en vías automovilísticas. Además, es capaz de viajar en climas complicados, ya sea en lluvia o incluso en nieve. Tiene la capacidad de navegar a una velocidad máxima de 25 km/h con 80 lb de carga [85].



Figura 6.10 Robot autónomo REV-1 [86].

6.7.10. Nuro R1

Si bien, los robots mostrados anteriormente están pensados para navegar sobre aceras, a excepción de los últimos dos vehículos que pueden hacerlo por aceras o por las calles, otra idea que se está desarrollando es el uso de vehículos de reparto con navegación sólo por las calles, como un auto convencional. Nuro, una empresa estadounidense, con su modelo R1, fue la primera de reparto con vehículos no tripulados en hacerlo, reparte sobre todo productos de tiendas de consumo o supermercados y los lleva en sus dos compartimientos al consumidor a su domicilio [87]. Éste ha tenido mucho éxito y planea probar su modelo R2 próximamente.



Figura 6.11 Robot autónomo R1 [88].

6.7.11. Neolix

Un caso similar está ocurriendo en China, ya que la empresa Neolix está construyendo lo que ellos nombran “*robovans*” para satisfacer la alta demanda de entregas que surgen día a día, las cuales tienen capacidad de carga de 2.4 metros cúbicos. Estas camionetas incluso se encuentran en desarrollo ya en cadena de producción para lograr una gran flota de reparto. Según esta empresa, “la tarea es más sencilla que la creación de un coche completamente autónomo en el que viajen pasajeros” [89], esto porque sólo deben preocuparse por el entorno exterior. Además, se piensa que los vehículos de reparto pueden ser un paso lógico en la

evolución de vehículos autónomos, primero navegando en ambientes controlados, luego movilizándose en el tráfico y finalmente haciendo lo mismo, pero con personas a bordo.



Figura 6.12 Robot autónomo Neolix [90].

6.7.12. Mercedes-Benz Vans

Si bien la tendencia es desarrollar robots pequeños o automóviles autónomos para hacer los repartos, la automotriz Mercedes-Benz, se alió junto con *Starship* (primera empresa presentada) para crear un sistema de entrega al que le llaman “madre nodriza”, el cual es la misma idea que se planteó por este grupo de trabajo en el ciclo 2 de experiencia sólo que con un robot autónomo a bordo. Básicamente es el mismo robot móvil de *Starship* que sube por una rampa en la parte trasera de la camioneta *Sprinter* de la automotriz, conducida por una persona, formándose atrás de otro pequeño vehículo. Estos se alojan debajo de un estante en el área de carga de la camioneta esperando su turno y cuando éste llega, en la parte superior del estante se encuentran contenedores con el producto que entregará, el cual es colocado por el conductor del vehículo en el compartimiento de carga del robot, logrando así ampliar la cobertura y rapidez logística [91].



Figura 6.13 Sistema de entrega Mercedes-Benz con Starship [92].

6.8. DEFINICIONES IMPORTANTES

Después de conocer la gran variedad de vehículos que están en desarrollo para realizar entregas no tripuladas, surge la duda de si estos pueden ser considerados robots y, en dado caso, en que clasificación se encuentran.

Un robot es aquella máquina que puede realizar las tres primitivas de la robótica, las cuales son las siguientes:

- **Sensar:** Adquirir información del ambiente que sea útil en la toma de decisiones.
- **Planear:** Generar subtareas con base en la información detectada y/o en representaciones internas del ambiente.
- **Activar:** Modificar el ambiente con alguno de los dispositivos del robot encaminado al logro de un objetivo.

Mencionado esto, se confirma que si se aplicara un sistema AGV a VUMi, este se convertiría en un robot. Para distinguir el desarrollo del vehículo presentado a lo largo de la tesis con el que se planteará a continuación, se le denominará a partir de ahora Vehículo Eléctrico No Tripulado de Última Milla (VENTUM).

Para saber en qué clasificación se encontraría VENTUM, se hace referencia a [93] que menciona que los robots se pueden clasificar según su arquitectura como se muestra en la figura 6.14.

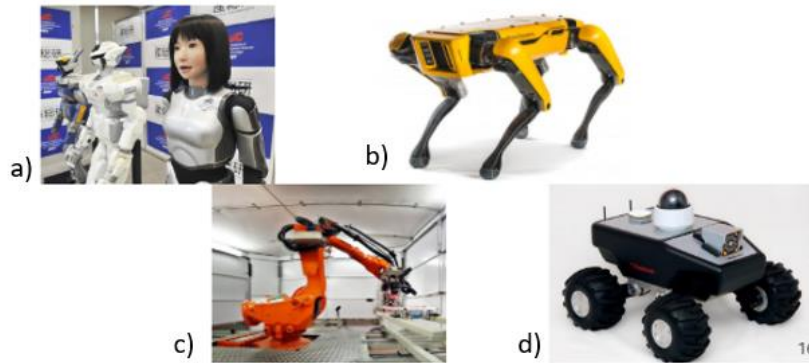


Figura 6.14 a) Andromed, b) zoomórficos, c) poliarticulados, d) móviles.

El vehículo VENTUM se encontraría dentro de la clasificación de robot móvil, a éste también se le podría clasificar como robot de servicio, ya que, según la Federación Internacional de Robótica, “son robots que operan de manera automática o semiautomática para realizar servicios útiles al bienestar de los humanos o a su equipamiento, excluyendo las operaciones de fabricación” [94].

Por otra parte, el principal problema de los robots móviles es generar trayectorias y guiar su movimiento a través de ésta, por lo que auxilian de la información proveniente del sistema de sensores, y mediante el sistema de actuado, modifican alguna característica de sí mismos para lograr desplazarse entre dos puntos cualesquiera del ambiente de trabajo de manera segura y sin colisiones, por lo que es de suma importancia la implementación de sistemas de control de trayectorias que permitan la mayor autonomía posible, no obstante, para que pueda ser considerado un robot autónomo debe realizar las siguiente funciones:

- Percepción: Relación del entorno con el sistema de sensado, sintetizando la información para generar mapas globales o locales.
- Razonamiento: Puede decidir las acciones requeridas en cada momento, según el estado del robot y el de su entorno para lograr su objetivo, es decir, puede

planificar trayectorias globales seguras y es capaz de modificarlas en presencia de obstáculos inesperados para permitirle cumplir su objetivo [95].

Una vez definido esto, se hace hincapié que el vehículo que se desarrollará no será autónomo, ya que no será capaz de generar mapas ni de planificar una trayectoria diferente si ocurre alguna perturbación. VENTUM seguirá una trayectoria de forma automática siempre y cuando ésta no esté interrumpida.

6.9. GENERACIÓN DE CONCEPTOS VENTUM

Ahora se generarán propuestas de solución que permitirán la modificación de VUMi, para hacer la implementación del sistema de guiado automático y con esto desarrollar a VENTUM. Para esto se plantea el desarrollo de cuatro sistemas en los que se tendría que intervenir, siendo tres de estos, los sistemas relacionados con las primitivas de la robótica; estos sistemas se presentan a continuación.

6.9.1. Sistema de estabilización a bajas velocidades

La plataforma que se diseñó a lo largo de la tesis, es un vehículo de dos ruedas que están sobre el mismo plano, que si bien esto tiene ventajas en cuanto a lo compacto que es el vehículo, implica que cuando está detenido, el conductor necesita tener al menos un pie apoyado en el piso, incluso a velocidades lentas. Si se piensa en desarrollar un vehículo no tripulado, se debe eliminar la necesidad de un humano para que no se caiga, y por lo tanto, sea estable cuando la velocidad tienda a cero.

De aquí surgen tres propuestas de solución, la primera es generar una base como la que se muestra en la figura 6.15, donde se muestra que se podría colocar en la parte inferior de VENTUM, cerca del centro geométrico, una estructura que contenga dos pequeñas ruedas concéntricas con cierta separación entre sí, cercana al ancho del vehículo, de forma que lo haga estable y a su vez no abarque más espacio del que ya lo hace el vehículo.

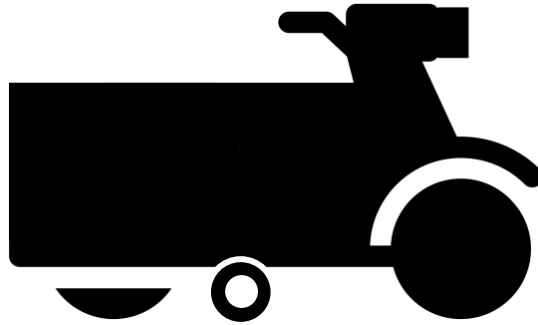


Figura 6.15 Estructura intermedia con ruedas concéntricas.

Por otra parte, se desarrolló una propuesta pensando en las bicicletas para niños o usuarios con nula experiencia en el uso de éstas, los cuales no tienen la habilidad para mantener el equilibrio al montarse en la bicicleta. Para esto se piensa poner algo similar a las ruedas de entrenamiento, que básicamente serían dos ruedas pequeñas acopladas al eje trasero, una de cada lado como se muestra en la figura 6.16.

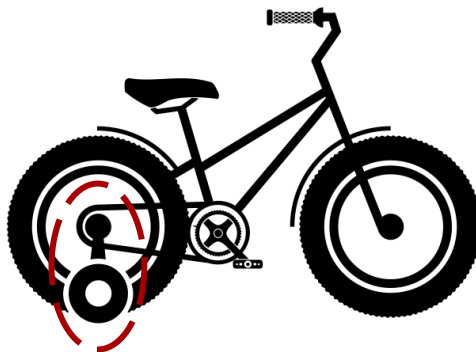


Figura 6.16 Ruedas de entrenamiento.

Una última propuesta que surge para solucionar este problema, es volver a la idea que se tenía al inicio del proyecto, poner una tercera rueda que dé la estabilidad; el diseño presentado tiene la ventaja que deja mucho espacio libre en la zona donde está la rueda, esto permitiría hacer las modificaciones necesarias para poner dos ruedas en el eje trasero (figura 6.17).

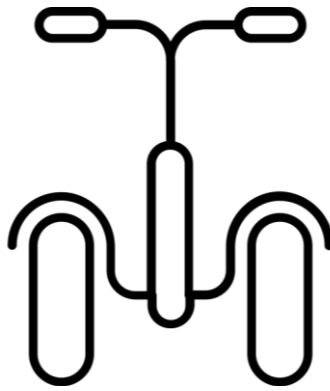


Figura 6.17 Tercera rueda auxiliar en el eje trasero.

6.9.2. Sistema de actuado

Por otro lado, una parte crucial para que el sistema AGV funcione, es que pueda cambiar su posición en el espacio. Para esto es necesario modificar la velocidad que este tendrá, identificando que para ser posible se necesitarían 3 subsistemas que son los que se presentan a continuación.

6.9.2.1. Subsistema de tracción

Este es uno de los sistemas que podría parecer más sencillo de solucionar, ya que como se describió en el capítulo previo, el vehículo ya cuenta con un kit que incluye un motor *brushless* junto con un controlador y una fuente de energía. Para que este pueda cambiar su velocidad, tiene un acelerador tipo gatillo que, al ser presionado, envía una señal electrónica que el controlador reconoce y traduce en una señal para el actuador.

Hacer que funcione sin operador, deja la opción de colocar un mecanismo actuado para presionar el gatillo, modulando el porcentaje que es presionado como lo haría el operador variando la aceleración (figura 6.18).

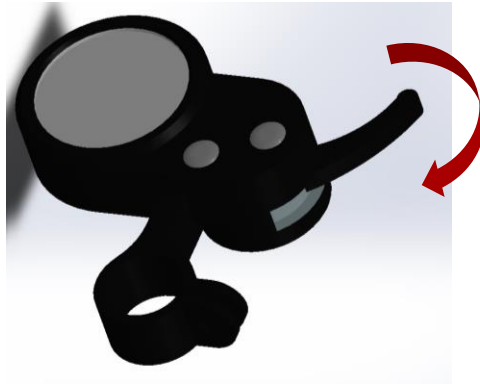


Figura 6.18 Mecanismo actuado para el gatillo acelerador.

No obstante, para evitar añadir un actuador más y un mecanismo adicional, una opción para resolver este problema es añadir una señal electrónica en paralelo que envíe la misma información al controlador como lo haría el gatillo.

6.9.2.2. Subsistema de frenado

Uno de los subsistemas más importantes que tendrá VENTUM es el de frenado, ya que de este dependerá la seguridad que el vehículo tendrá. Una propuesta es enviar una señal electrónica al controlador que permita que la rueda gire en sentido opuesto, es decir, que desacelere hasta lograr una velocidad igual a cero (figura 6.19).

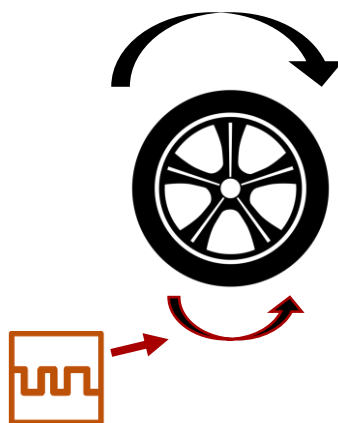


Figura 6.19 Principio de funcionamiento del frenado con señales electrónicas.

Una segunda idea es auxiliarse del *calliper*, un dispositivo ya implementado con fines de frenado, el cual necesitaría ser accionado emulando el movimiento que realizar el operador al presionar la palanca en el manubrio (figura 6.20). Para lograr dicho propósito, se tendría que diseñar un mecanismo actuado que permita su cierre y apertura, o una variante sería diseñar un mecanismo actuado que permita que el chicote sea jalado y soltado de forma que modifique qué tanto es sujeta la rueda trasera por las balatas del *calliper*, modificando la velocidad de la misma.

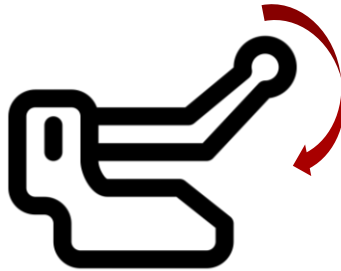


Figura 6.20 Mecanismo para accionar la palanca de frenado.

6.9.2.3. Subsistema de dirección

Para dirigir al robot VENTUM, se tendrá que modificar el ángulo de giro de la rueda delantera de forma similar a como lo hacía el operador. Para esto surgen dos propuestas, siendo la primera un sistema en el que se acople cerca de la parte fija del manubrio un motor con realimentación con una transmisión intermedia, como engranes, bandas o cadenas, de forma que al controlar la posición angular del eje del motor se controle la del manubrio, como se muestra en la figura 6.21.

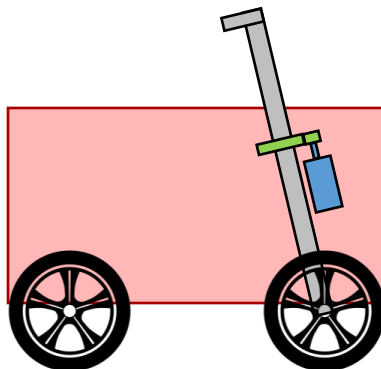


Figura 6.21 Actuador con transmisión acoplado al eje.

Por otra parte, para evitar la transmisión intermedia, podría eliminarse el manubrio y acoplar directamente un actuador rotacional concéntrico al eje del manubrio; de igual manera tendría que tener su realimentación para hacer un control de posición (figura 6.22).

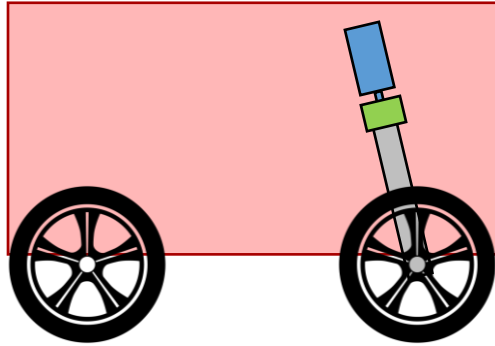


Figura 6.22 Actuador acoplado directamente al eje.

6.9.2.4. Subsistema de interacción externa

Uno de los subsistemas que quizás podrían no parecer tan importantes ya que no influye en el movimiento, es la interacción externa. Este buscaría solucionar la forma en cómo VENTUM se comunicará por medios visuales o auditivos con el exterior. Es por eso que debe darse la importancia necesaria. Algunas de las implicaciones que tendría es que las demás personas sepan qué acciones tomará el robot, cómo moverse, que está frenando, que virará hacia algún lado, que está solicitando que lo dejen pasar cuando hay un obstáculo en su trayectoria o que simplemente está entregando el paquete.

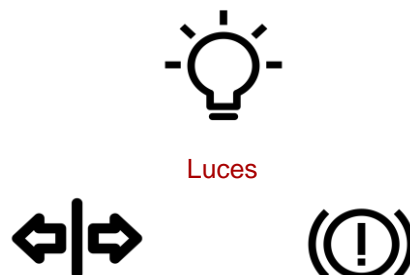


Figura 6.23 a) Frenado, b) virando a la izquierda/derecha, c) entregando un paquete.

Para lograr esto, deberá de controlar las luces que por reglamento tiene, tanto las luces rojas traseras, la luz de enfrente y las direccionales. Por otro lado, quizá sea necesario que tenga un altavoz para comunicarse y solicitar el paso o para interactuar con las personas al momento de entregar y guiarlas en el procedimiento de recolección de su producto. En la figura 6.23, se muestran algunas de las interacciones que tendría el vehículo con su entorno.

6.9.3. Sistema de sensado

Dado que el robot VENTUM deberá navegar sin la operación de un humano, se deberá emular su comportamiento, por lo que la utilización de un sistema sensorial permitirá reaccionar ante los cambios que el entorno pueda tener, como evitar colisiones, conocer si se está siguiendo la ruta definida y conocer si hay algo propio del robot que sea importante conocer. A continuación, se describen los sensores que se podrían utilizarse para las diferentes tareas.

6.9.3.1. Subsistema de guiado

Este subsistema, es uno de los que más importancia tiene dado que, al no ser un robot autónomo, no generará mapas de su entorno ni planificará trayectorias, pero sí será capaz de seguir una ruta definida, pero la cuestión es cómo podrá seguirla. Algunas de las formas comunes en que los robots AGV que son guiados en interiores [96] son las que se enlistan a continuación:

- Medios ópticos
 - *Láser*: el vehículo tiene montado un detector de láser, por lo que en el área en la que circulará se emite el haz directamente al vehículo o se implementan espejos para rebotar el haz. La desventaja es que se detecta el láser solo en una dirección y para que navegue por un área se deben colocar varios haces de laser o de espejos para que navegue en más de una dirección.

- *Infrarrojo*: un modo común que se realiza es colocar una línea negra sobre el piso, sobre la cual se emite una onda infrarroja y haciendo uso de la diferencia de reflectancia en medios diferentes a la línea, se puede conocer cuándo se está sobre la línea, permitiendo un seguimiento.
- *Luz visible*: se emite una luz de forma que el vehículo la siga, esta forma de guiado presenta problemas ya que la iluminación ambiental podría provocar interferencias.
- *Análisis de imagen*: se implementan cámaras, las cuales podrían detectar alguna línea o identificador de color en contraste con el del entorno, que al ser detectados se le podría dar seguimiento. Este requiere un mayor procesamiento.
- *Cables en el piso*: se hace un surco en el piso y se instala un cable, por el cual se envían señales de radiofrecuencia y el vehículo al detectarlas, buscará hacer un seguimiento de éstas. Se puede cambiar la frecuencia emitida para modificar alguna orden que se le dé al vehículo, como cambios de velocidad o giros.
- *Cinta magnética*: similar al efecto de seguimiento de línea por sensor infrarrojo, se pondría una cinta con propiedades magnéticas sobre el piso, de forma que pueda detectar el campo magnético y dar seguimiento.

La mayoría de las mencionadas son utilizadas en plantas industriales, donde se tiene control total de lo que hay dentro y del tránsito en ésta, por lo que la implementación en las calles para entrega de paquetes resultaría bastante complicada. En [97], se encontraron algunas formas en las que se puede implementar el guiado de vehículos AGV en exteriores, siendo el caso de VENTUM.

La primera propuesta es utilizar un dispositivo que emite una señal a baja frecuencia que permita una localización geográfica, este puede ser uno que use alguna de las tecnologías como *GPS*, *GLONASS* o *Galileo*. Para conocer la ubicación, se triangula la información proporcionada por los satélites que rodean el globo terráqueo, obteniendo valores de longitud y latitud normalmente a baja frecuencia. Uno de los sistemas que más se está usando últimamente es el DGPS (*Differential Global Positioning System*), que permite conocer la ubicación con buena precisión,

ya que la ubicación del objeto en movimiento es corregida con la ubicación de una estación fija de referencia (figura 6.24.a).

Por otra parte, un sensor que permita saber si el vehículo se está moviendo y en qué dirección, resulta muy conveniente, para lo que se podría implementar una *IMU* (Unidad de Medición Inercial, por sus siglas en inglés), la cual “es un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato, usando una combinación de acelerómetros y giroscopios” [98], permitiendo saber si hay algún cambio angular o traslacional en algún eje coordenado, emitiendo tres valores del giroscopio y otros tres del acelerómetro con una alta frecuencia.

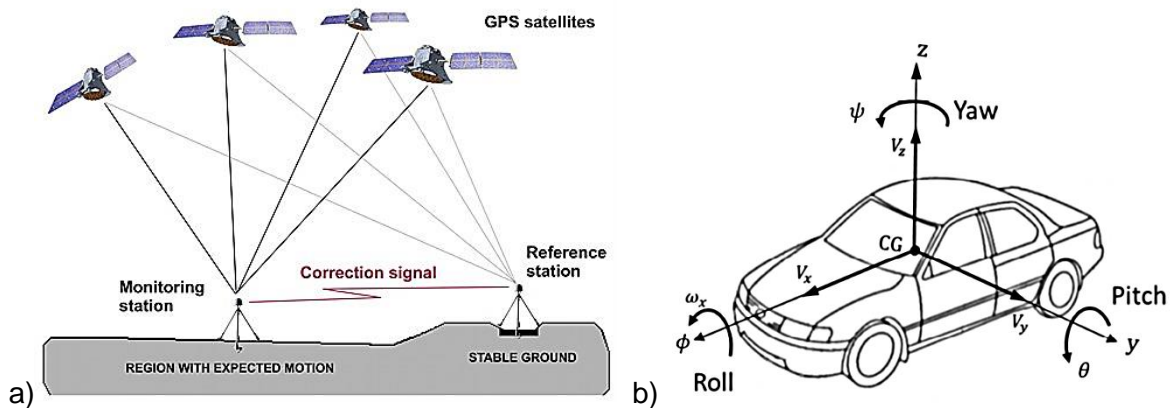


Figura 6.24 a) Principio de funcionamiento DGPS [99], b) Vehicle Axis System [100].

Otra propuesta para conocer la ubicación en el espacio de VENTUM es por medio de la odometría, la cual es “la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación. Se basa en la información sobre la rotación de las ruedas para estimar cambios en la posición a lo largo del tiempo” [101]. Para lograr esto se necesita esencialmente dos cosas, un *encoder*, el cual dará realimentación de las revoluciones de las ruedas y las convertirá en una señal eléctrica de alta frecuencia; por otra parte, se necesita conocer la cinemática del robot, es decir, el modelo matemático que describirá al robot respecto a un sistema de referencia fijo.

6.9.3.2. Subsistema de detección de obstáculos

Para evitar que el robot colisione, es necesario saber cuándo algo o alguien se atraviesa en el camino de VENTUM mientras sigue su ruta, siendo capaz de detectarlo y reaccionar cuando suceda. Se proponen varias tecnologías, una de ellas es utilizar algún tipo de sensor ultrasónico, el cual es un pequeño sensor que emite una onda de ultrasonido, la cual chocará con el objeto próximo, rebotando y que será captada de regreso.

Para medir la distancia al objeto, se calcula el tiempo que le tomó a la onda en hacer el recorrido de ida y vuelta y se compara con la velocidad del sonido (figura 6.25.a). Estos sensores son económicos, sin embargo, el problema es que se debe usar un sensor por cada dirección que se quiera detectar, además que no tienen mucho alcance de detección, lo que podría disminuir su efectividad.

Una segunda propuesta es la implementación de otro tipo de onda que maneja el mismo principio que la onda ultrasónica, solo que la onda que emite es una infrarroja, que tiene un espectro de onda mayor al de la luz visible.

Para su implementación, se deberá emitir una luz infrarroja y determinar si el rebote de ésta indica que hay alguna presencia en la dirección en la que el fototransistor se encuentra (figura 6.25.b). Al igual que el anterior, podría ser complicado su implementación ya que solo indicaría la presencia en una dirección en el espacio y su comportamiento puede tener variaciones debido a la luz del entorno.

Una propuesta que deriva de la anterior, es implementar un sensor LIDAR (*light detection and ranging*), el cual es un “sensor óptico activo que transmite rayos láser hacia un objetivo mientras se mueve a través de rutas. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor. Estos receptores registran el tiempo preciso desde que el pulso láser dejó el sistema hasta cuando regresó para calcular la distancia límite entre el sensor y el objetivo” [102].

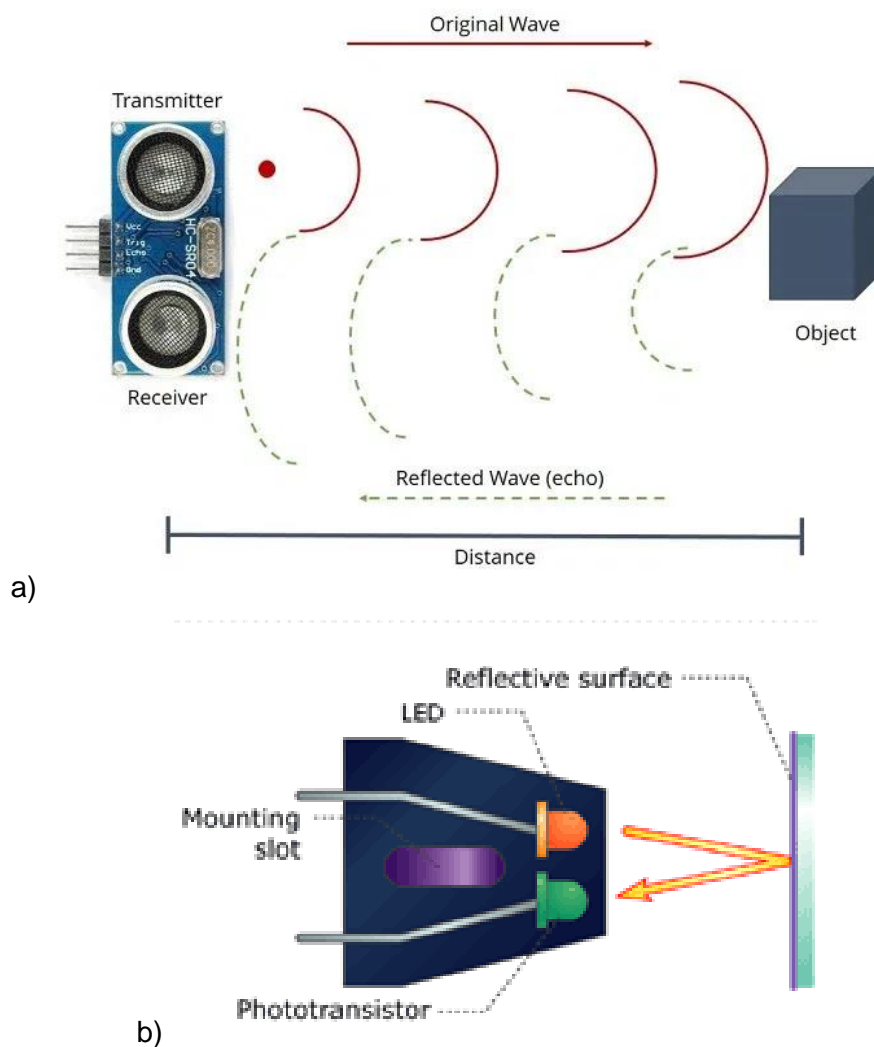


Figura 6.25 a) Sensor ultrasónico, b) sensor infrarrojo.

Si bien, es el principio de funcionamiento de la propuesta anterior, tiene la gran ventaja de tener un buen alcance de detección y obtiene datos de los 360°, permitiendo conocer todo lo que hay a su alrededor; este se utiliza ampliamente en vehículos autónomos como el que se muestra en la figura 6.26. Su información se auxilia con la proporcionada por un sensor que da su posicionamiento global y otro que mide la inercia.

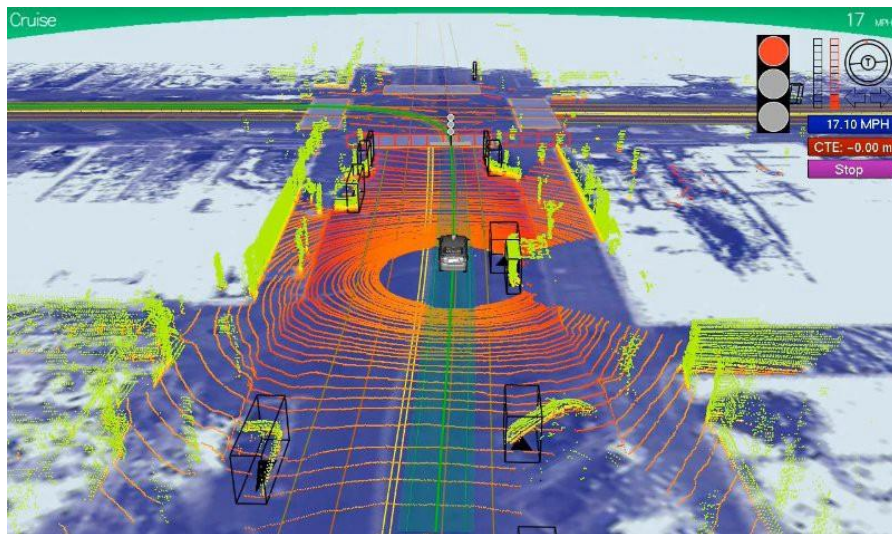


Figura 6.26 Implementación de un sensor LIDAR en un vehículo autónomo [103].

Finalmente, una última propuesta es la utilización de cámaras de video, que son transductores ópticos y ayudan a percibir imágenes como las que pueden captar los humanos. Existe una gran variedad de cámaras con diferentes características que se podrían emplear, ya que hay varias resoluciones de video, varios tipos de lentes, incluso hay algunas que son estereoscópicas, térmicas o que pueden detectar profundidad. Independientemente de las características que tenga la cámara, arrojarían una gran cantidad de datos, los cuales requerirían una unidad de procesamiento con cierta capacidad, lo que podría complicar la tarea.

6.9.3.3. Subsistema propioceptivo

Dado que VENTUM, será un vehículo no tripulado, es de suma importancia saber su propio estado en todo momento, de forma que se sepan datos básicos que ayuden a que el sistema sea confiable y seguro. Uno de los sistemas indispensables es un sensor que mida el nivel de carga de la batería, esto para saber si tiene la suficiente autonomía para realizar sus entregas o para llegar al punto de partida y recargarse.

Por otra parte, una forma para conocer que no está ocurriendo ningún problema, como que el robot se haya atascado con algo, es medir la corriente del motor, de

forma que, si consume más corriente de la habitual, quizá es debido a que hubo algún problema.

Otro sensor para conocer si ha habido un problema, puede ser un sensor de temperatura, que determinará si ésta se ha incrementado, lo que podría significar que algún componente electrónico está teniendo problemas.

Finalmente, un sensor que permita conocer si el compartimiento de carga está lleno o vacío, podría servir para fines de seguridad de la entrega, no obstante, no se considera esto ya que no es objetivo de este trabajo como se mencionó anteriormente.

6.9.4. Sistema de procesamiento

Este sistema será el que permita procesar los datos obtenidos por los sensores para transformarlos en información valiosa y, a su vez, en este se programarán los algoritmos necesarios para que los actuadores sean accionados. Para este sistema se pueden utilizar desde dispositivos como un microcontrolador, que “es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos” [104], existe una amplia variedad de dispositivos según las capacidades que se necesiten, pero la estructura básica de estos se muestra en la figura 6.27.a.

Por otro lado, un dispositivo menos popular pero igual de potente o aún más, es el FPGA, el cual es una matriz de compuertas programables (del inglés *Field-Programmable Gate Array*). Es un dispositivo que internamente se compone principalmente de cables, compuertas lógicas, biestables, y puertos de entrada y salida. Todo ello sin conectar, como una plantilla en blanco, hasta que se les carga una secuencia binaria, el cual es un archivo generado a partir de la descripción del circuito [105]. Dentro de un FPGA se pueden implementar microprocesadores, sistemas de procesamiento digital de señales, codificadores de video, tarjetas de red [106]. En la figura 6.27.b se muestra una idea básica de su estructura; cabe

mencionar que las conexiones que se puedan hacer dependerán de la cantidad de compuertas y registros que se tengan dentro de estas, por lo que podría ser un sistema tan pequeño o tan grande como se necesite.

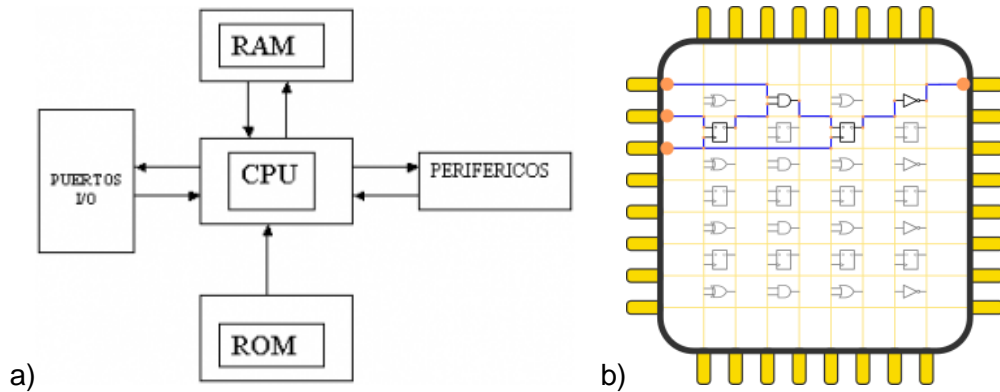


Figura 6.27 a) Estructura de un microcontrolador [104], b) Estructura de un FPGA [105].

6.10. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Dadas las propuestas de solución, se decidió elegir las que cumplieran de mejor manera los objetivos y requerimientos, luego de establecer que se decidió añadir una rueda adicional al eje trasero del VENTUM para que fuera estable cuando su velocidad fuera igual o cercana a cero, dado que la implementación era muy sencilla y aún se contaba con espacio en esa sección como se muestra en la figura 6.28.

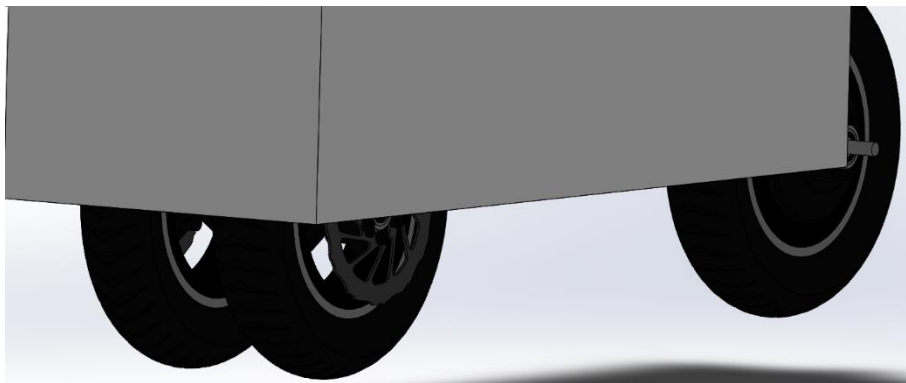


Figura 6.28 Sistema de estabilización.

Respecto al sistema de actuado, para la tracción se decidió implementar una señal en paralelo a la del gatillo acelerador, y de esta forma, se evitaría tener otro actuador que consumiera carga energética adicional y que pudiera aumentar costos.

Bajo la misma idea, para el subsistema de frenado se pondría una señal que iría al controlador del motor, de tal forma que envíe una señal de desaceleración, y con esto se evitaría la implementación del mecanismo y sistema de actuado para este fin.

Por otra parte, para el subsistema de dirección, a pesar de considerar un motor con control de posición y transmisión intermedia implicaría añadir más piezas, la otra opción implicaría una modificación mayor de la plataforma ya construida, ya que se debería eliminar el manubrio y buscar una forma de acoplarlo a la dirección. En la figura 6.29 se muestran los subsistemas seleccionados para que se pueda hacer el actuado del VENTUM.

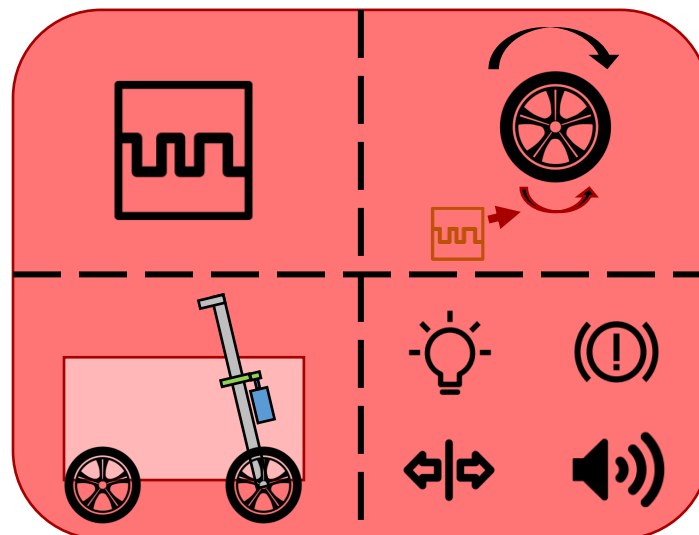


Figura 29 Sistema de actuado seleccionado.

En lo que respecta al sistema de sensado, en particular para la detección de obstáculos se decidió ocupar un sensor *LIDAR*, ya que este permitiría realizar una detección alrededor del vehículo en todas direcciones y con gran alcance. No se eligen el sensor ultrasónico ni el infrarrojo ya que sólo proporcionarían lecturas en una dirección y con poco alcance. A su vez tampoco se seleccionó la cámara de

video, debido a que el procesamiento de los datos obtenidos implicaría una complejidad mayor.

Respecto a la selección del sistema de guiado, si bien, las tres propuestas parecen buenas alternativas, según lo mencionado en [97] para la selección de los sensores se sugiere centrarse en la integralidad, es decir, si hay una falla de alguno de éstos, debe ser identificada y tratada de manera segura. Una forma para lograr esto es emplear sensores con principios físicos muy diferentes y, por lo tanto, modos de falla diferentes e independientes, por ejemplo, utilizar una pareja de dispositivos en la que un sensor sea de baja y otro de alta frecuencia.

Una posibilidad es el uso de un GPS (baja frecuencia) y una IMU (alta frecuencia), la implementación de estos dos sensores es conveniente ya que son los que habitualmente se utilizan junto con el LIDAR. No obstante, dado que hay que hacer el sistema confiable, puede resultar conveniente implementar la odometría, tomando la lectura de la rotación de la rueda delantera, siendo ventajoso ya que el mismo *kit* electrónico implementado ya tiene un *encoder* y solo se tendría que obtener esa información y traducirla en datos útiles. Por otra parte, el modelo cinemático de un vehículo de tres ruedas (triciclo) está ampliamente documentado. De [107] se obtiene este modelo y las ecuaciones que describirían el movimiento de VENTUM. En la figura 6.30 se muestran los elementos que compondrían el sistema de sensado.

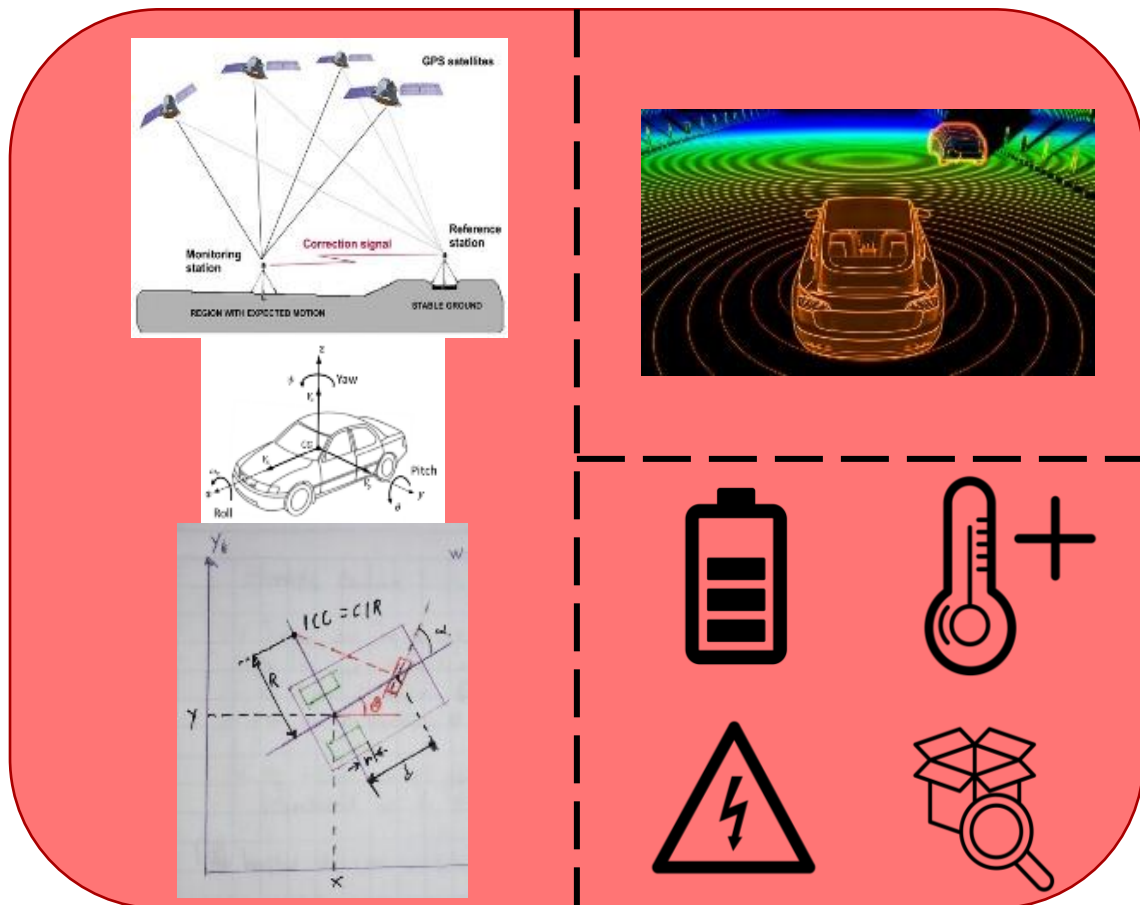
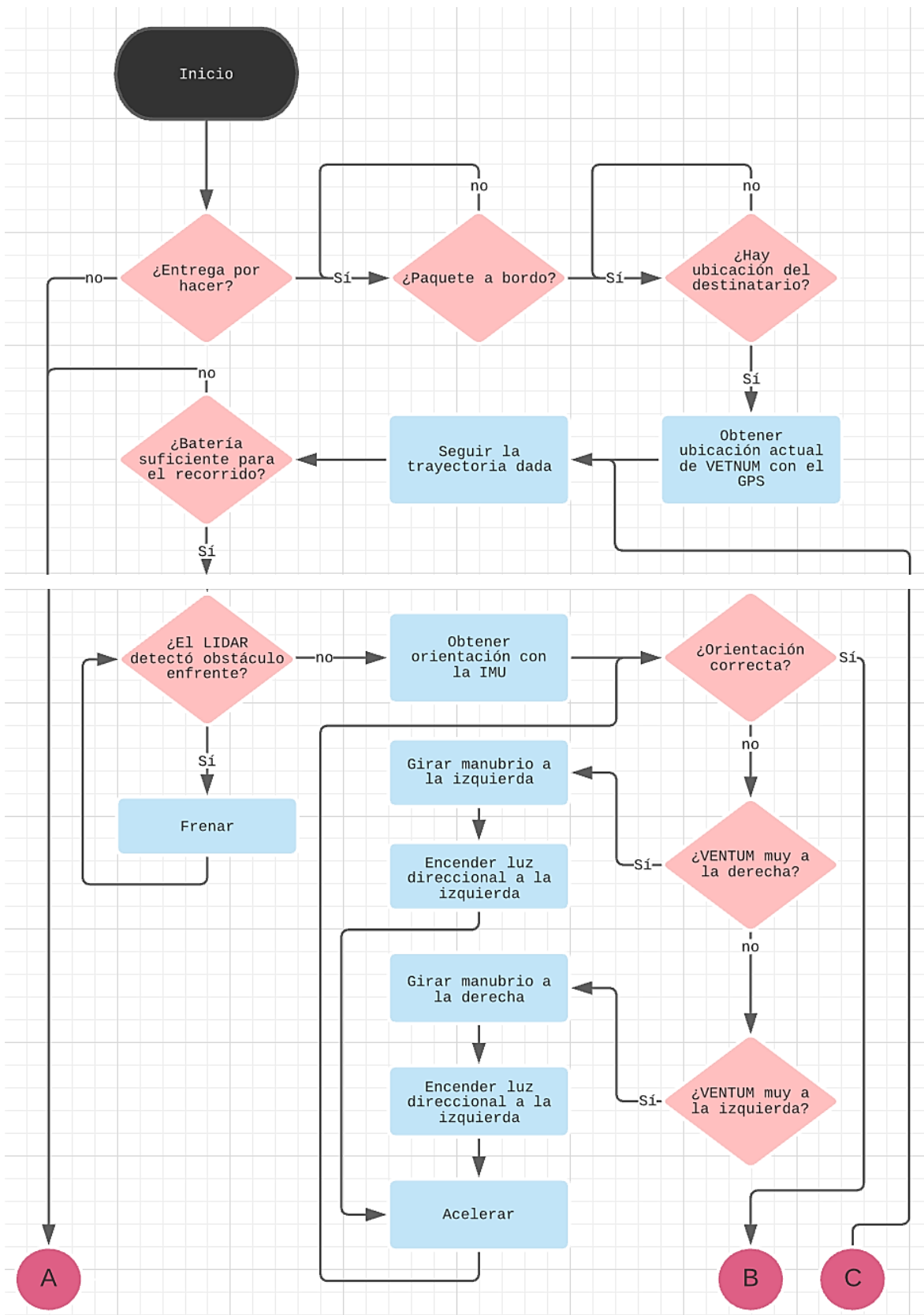


Figura 6.30 Sistema de sensado seleccionado.

Como último punto a resolver sería el sistema de procesamiento, el cual se podría detallar una vez que se definan tanto los modelos comerciales de los sensores como de los actuadores.

En la figura 6.31 se plantea el diagrama de flujo que describiría el funcionamiento de VENTUM para realizar una entrega; si bien es una propuesta, es un primer paso para generar el algoritmo que se deberá implementar y después se evalúe si es más conveniente implementarlo en un microcontrolador o en un FPGA.



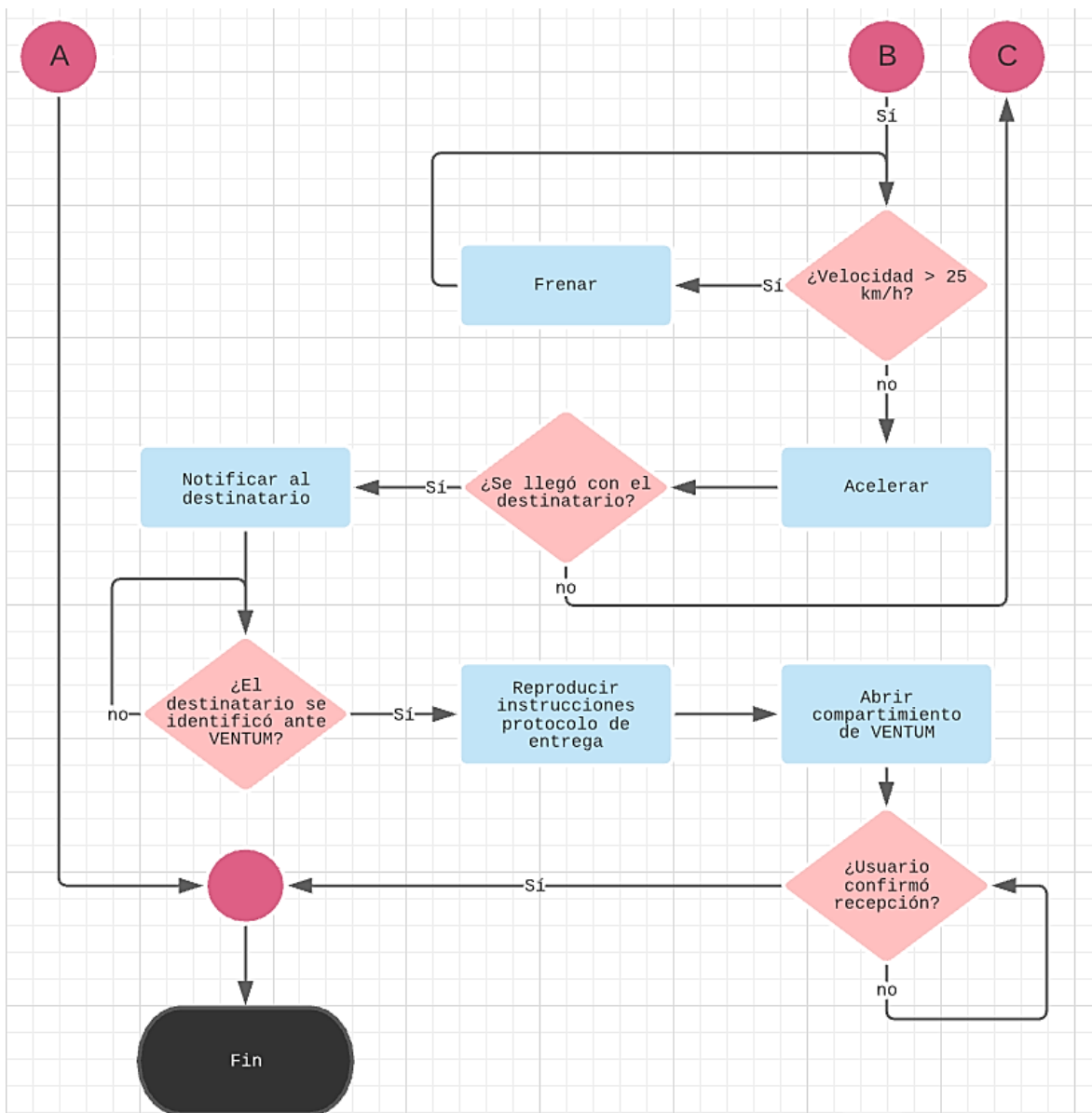


Figura 6.31 Diagrama de flujo del funcionamiento de VENTUM.

Para concretar las propuestas presentadas en esta sección, en el diagrama de la figura 6.32 se presentan los cuatro sistemas propuestos con las tecnologías que se podrían implementar para que VENTUM cumpliera su propósito de reparto de manera autoguiada.



Figura 6.32 Síntesis de los sistemas implementados en VENTUM.

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró desarrollar un vehículo personal eléctrico, realizando el diseño, la fabricación, las pruebas de un prototipo y la propuesta de un vehículo guiado automáticamente.

Gracias a la solución generada VUMi, se podrá tener un gran impacto económico, ecológico y social que repercutirá no sólo en la industria de paquetería, sino en la solución del problema de movilidad en megaciudades.

Para el desarrollo del vehículo fue de suma importancia la implementación de la metodología de Diseño Centrado en el Usuario, ya que con ésta se pudieron definir los requerimientos y modalidades de uso de un Vehículo de Última Milla (VUM) enfocado a resolver los desafíos que enfrenta la industria de la paquetería y logística ante el gran crecimiento del comercio electrónico en el ámbito global. Cabe señalar que las primeras etapas de diseño dieron dirección y optimaron el desarrollo del producto o servicio, por lo que fue de vital importancia invertir el suficiente tiempo e intelecto en éstas para evitar desperdicios en etapas posteriores.

Asimismo, haber tenido contacto con el usuario y con el cliente, permitió generar un prototipo que realmente pudiera satisfacer las necesidades planteadas al inicio del proyecto y las que se fueron actualizando en cada ciclo.

Por otro lado, a pesar de que el concepto de vehículo que es maleta fue una gran propuesta que le agradó al cliente, al buscar validar dicho concepto con el usuario, y según su experiencia, comentó que sería altamente probable que no lo dejarían entrar al edificio con todo y vehículo. En consecuencia, recomendó buscar alternativas para cumplir el objetivo de hacer entregas en corporativos sin ingresar con éste. Derivado de esta preocupación, una parte del proyecto se dedicó a investigar el sistema antirrobo y se planteó que, en una versión posterior, el vehículo solamente sea un medio de transporte y se quede afuera del edificio mientras el usuario hace la o las entregas.

A pesar de que el concepto ofrecía características únicas para hacer las entregas respecto a las motos o *minivans*, no tuvo los resultados esperados por los protocolos de acceso a corporativos. No obstante, el funcionamiento del VUMi 2 fue muy bueno, dado que el motor *brushless* que se seleccionó tuvo un desempeño satisfactorio en las condiciones de terrenos para el que fue diseñado. Asimismo, la batería ofreció autonomía para recorrer la distancia especificada de 10 km, y el volumen del compartimento de carga ofreció buenas prestaciones a pesar que es un poco menor que el de una motocicleta.

Referente a la propuesta presentada del vehículo no tripulado VENTUM, se generó una propuesta conceptual de las modificaciones que el prototipo VUMi necesitaba para ser guiado automáticamente. Sin embargo, debido a la contingencia sanitaria del COVID-19 y el confinamiento que éste provocó, no se pudo realizar la construcción de algún simulador, maqueta o prototipo que pruebe que la propuesta presentada tiene potencial para llegar a una implementación en un ambiente real en el escenario planteado.

No obstante, este desarrollo es un primer paso rumbo a la investigación de vehículos autónomos de reparto, ya que se plantearon las tecnologías que se podrían utilizar para lograr que VENTUM pudiera movilizarse de forma auto guiada. No obstante, habrá que desarrollar el diseño a detalle de cada uno de los cuatro subsistemas, realizar pruebas y obtener los hallazgos que den pie a mejorar el concepto.

Si bien aún falta trabajo por hacer, se logró establecer las bases para un proyecto de investigación que podría culminar en la entrega de paquetes de manera autónoma en el futuro. A lo largo de esta pesquisa, se encontró que los vehículos de reparto autónomo son un punto de desarrollo previo al de pasajeros autónomos, ya que en los primeros, el interés principal está enfocado en la navegación y la llegada exitosa a un punto, mientras que el segundo demanda un paso más, debido a que el foco de atención está, además de lo anterior, en el pasajero.

Finalmente, gracias al trabajo realizado, se logró publicar y hacer una ponencia del trabajo aquí presentado en el XXVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM [108], asimismo, se consiguió registrar el modelo de utilidad de la invención titulada “Vehículo eléctrico de movilidad personal para entrega de mensajería y paquetería” ante el Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual (IMPI) registrado con el número de expediente MX/u/2020/000454.

TRABAJO A FUTURO

Como trabajo a futuro, hay varias actividades que falta por hacer, en primer lugar, se deben validar las capacidades de la estructura y optimizarla para reducir costos, complejidad de manufactura y la fabricación de varias unidades. Asimismo, se debe hacer un diseño a detalle de la dirección, en la que involucre la fabricación de todas las piezas que la conforman, de tal manera que se prescindiera de ocupar una horquilla reciclada de una bicicleta.

Por otro lado, según la recomendación del colaborador, es conveniente incrementar el volumen de carga para tener cuando menos 0.01 m^3 , de tal forma que pueda ser equiparable con la capacidad de almacenaje de una motocicleta o inclusive, tener mayor espacio sin incrementar mucho las dimensiones de VUMi, ya que un aspecto que destaca, es que no es ni una bicicleta ni una moto, sino algo intermedio, lo cual da pauta a un nuevo tipo de vehículo.

Con lo que respecta a la parte electrónica, debido a que tuvo un buen funcionamiento, no es necesario hacer modificaciones. No obstante, es

indispensable hacer la instalación de las luces trasera y delantera, de forma que cumpla con el reglamento de tránsito de la CDMX y pueda movilizarse por la ciudad.

En otro orden de ideas, se debe seguir el desarrollo de la propuesta VENTUM, lo cual implicará hacer el diseño a detalle de cada uno de los sistemas planteados, de forma que se puedan definir los dispositivos comerciales que tendrá, así como su integración con el vehículo. Una vez validados y probados, se deberá trabajar en los algoritmos que permitan el guiado automático tomando como punto de partida el diagrama de flujo presentado al final del capítulo 6.

Finalmente, un punto que se deberá resolver es la seguridad de VENTUM, dado que al transitar por las calles sin supervisión humana, podría ser susceptible a ser robado, aunado a que el escenario donde operaría sería la CDMX, la cual tiene altos índices de inseguridad.

A pesar de dicho inconveniente socio-cultural, es importante seguir la línea de investigación en este campo, ya que como probó la situación vivida por el confinamiento y pandemia originada por el SAR- COV 2, la limitada interacción entre personas así como el aumento del comercio electrónico, mostró la necesidad de usar vehículos como VENTUM, que serían de gran utilidad para el reparto de comida, medicamentos y demás paquetes. Los retos son muchos, sin embargo vale la pena continuar refinando este tipo de pesquisas, porque la utilidad es múltiple para muchas áreas, no solamente de paquetería como se reportó en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] N. Unidas, «Población,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html#:~:text=Se%20espera%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,de%2011.000%20millones%20para%202100..> [Último acceso: 20 junio 2020].
- [2] «"Megaciudades", un reto de futuro,» Iberdrola, 12 noviembre 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/megaciudades-nucleos-urbanos>. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [3] A. Chesterton, «How many cars are there in the world?,» Cars Guide, 6 agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.carsguide.com.au/car-advice/how-many-cars-are-there-in-the-world-70629>. [Último acceso: 29 junio 2020].
- [4] INEGI, «Total nacional de vehículos,» [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>.
- [5] H. C. Vargas Osorio, Diseño mecánico de un prototipo de vehículo eléctrico de péndulo invertido, CDMX: Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2013.
- [6] I. I. Ibarra Romero, Mando para un vehículo eléctrico de péndulo invertido, CDMX: Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2013.
- [7] A. González Figueroa, Vehículo eléctrico personal con tecnología de autobalanceo, CDMX: Tesis de licenciatura, Diseño Industrial, UNAM, 2016.
- [8] P. Águila Flores, “Cuadriciclos ecológicos, CDMX: Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2012.
- [9] L. L. E. N. M. T. P. T. H. Barrera Hernández Cristóbal Alejandro, Diseño de vehículo eléctrico alternativo, CDM: Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2016.
- [10] L. B. V. J. J. D. García Esteban, Diseño de Vehículo Eléctrico Plegable, CDMX: Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2018.
- [11] I. D. Martínez Cortés, Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema mecánico, CDMX: Tesis UNAM, 2021.

- [12] M. E. López Torres, Vehículo personal para entregas de última milla y su sistema antirrobo, CDMX: Tesis UNAM, 2020.
- [13] M. E. d. I. Bicicleta, «Por una movilidad sostenible, segura y saludable,» 10 septiembre 2018. [En línea]. Disponible en: <http://asociacionambe.es/wp-content/uploads/2018/09/VMP-y-DGT.pdf>. [Último acceso: 30 junio 2020].
- [14] Segway, «Ninebot One S1,» [En línea]. Disponible en: <https://www.segway.com/ninebot-one-s1>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [15] O. Wheel, «One Wheel Pint,» [En línea]. Disponible en: <https://onewheel.com/products/pint>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [16] Segway, «Segway Drift W1,» [En línea]. Disponible en: <https://www.segway.com/segway-drift-w1>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [17] Segway, «Ninebot S,» [En línea]. Disponible en: <https://www.segway.com/ninebot-s>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [18] Segway, «Ninebot Kickscooter by Segway ES3,» [En línea]. Disponible en: <https://www.segway.com/kickscooter-es3>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [19] Xiaomi, «Mi electric scooter,» [En línea]. Disponible en: <https://www.mi.com/mx/mi-electric-scooter>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [20] EBT, «Erste Infos: Neuer Egret Ten V4 36V soeben erschienen,» [En línea]. Disponible en: <https://escooter.blog/2020/02/24/erste-infos-neuer-egret-ten-v4-36v-soeben-erschieden/>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [21] Altriders, «Mercane WideWheel Review,» 26 febrero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://altriders.com/mercane-widewheel-review/>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [22] M. Wheels, «Mercane Wheels Transboard,» [En línea]. Disponible en: <https://www.mercanewheels.com/project-1>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [23] S3TR, «Streeter,» [En línea]. Disponible en: <http://www.s3tr.hr>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [24] N. Pena, «DC-Tri: The First Truly Universal Stand-Up Electric Trike,» 13 julio 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.hi-techchic.com/dc-tri-the-first-truly-universal-stand-up-electric-trike/>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [25] H. C. Lift, «DDM,» [En línea]. Disponible en: <http://www.hitcarlift.com.ar/servicios/vehiculos-electricos/transporte-de-personas/transporte-unipersonal.html>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [26] Halfbike, «Halfbike,» [En línea]. Disponible en: <https://halfbikes.com/>. [Último acceso: 2020 julio 2020].
- [27] Kickstarter, «Me-Mover,» [En línea]. Disponible en: <https://www.kickstarter.com/projects/memover/new-compact-step-driven-vehicle-its-your-move>. [Último acceso: 1 julio 2020].

- [28] «Re! Corre,» [En línea]. Disponible en: <http://recorre.mx/>. [Último acceso: 1 marzo 2019].
- [29] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario*, McGraw Hill, 2004.
- [30] E. Baltazar, «DHL se prepara para la entrega de los 900,000 mdd del e-commerce,» 18 Septiembre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.altonivel.com.mx/empresas/negocios/dhl-se-prepara-la-entrega-los-900000-mdd-del-e-commerce/>.
- [31] E. Torres, «MERCEDES-BENZ ENTREGA 60 CAMIONETAS A UPS MÉXICO,» 28 Febrero 2013. [En línea]. Disponible en: <http://t21.com.mx/terrestre/2013/02/28/mercedes-benz-entrega-60-camionetas-ups-mexico>.
- [32] P. Automotriz, «FedEx renueva su flota para una operación eficiente,» 6 octubre 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.portalautomotriz.com/noticias/servicios/fedex-renueva-su-flota-para-una-operacion-eficiente>.
- [33] R. T21, «ESTAFETA NOMBRA NUEVO DIRECTOR DE OPERACIONES,» 4 mayo 2015. [En línea]. Disponible en: <http://t21.com.mx/logistica/2015/05/04/estafeta-nombra-nuevo-director-operaciones>.
- [34] C. d. suministro, «DHL Express prueba el uso de bicicletas para el reparto urgente de paquetes y documentos,» 5 septiembre 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/dhl-express-prueba-el-uso-de-bicicletas-para-el-reparto-urgente-de-paquetes-y-documentos/>.
- [35] M. C. Fernández, «DHL apuesta por la sostenibilidad con un servicio de entregas ecológicas en bicicleta,» 7 febrero 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.interempresas.net/Smart_Cities/Articulos/168744-DHL-apuesta-por-la-sostenibilidad-con-un-servicio-de-entregas-ecologicas-en-bicicleta.html.
- [36] Iberobike, «La bicimensajería ya forma parte de la expansión estratégica de DHL,» 8 marzo 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberobike.com/la-bicimensajeria-ya-forma-parte-de-la-expansion-estrategica-de-dhl/>.
- [37] C. d. suministro, «UPS comienza a probar el uso de bicicletas eléctricas en Suiza,» 9 julio 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/ups-comienza-a-probar-el-uso-de-bicicletas-electricas-en-suiza/>.
- [38] E. Torres, «Estafeta inicia servicio en bicicletas,» 13 junio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://heraldodemexico.com.mx/mer-k-2/301416/>.
- [39] E. Drive, «Conoce los beneficios para los vehículos electrificados en México,» [En línea]. Disponible en: <https://www.chargenow.mx/incentivos-para-vehiculos-electricos-en-mexico/>. [Último acceso: 26 agosto 2019].
- [40] A. Cosmos, «Especificaciones técnicas del Volkswagen Transporter,» [En línea]. Disponible en: <https://www.autocosmos.com.mx/catalogo/2019/volkswagen/transporter/cargo-van-puerta-trasera-lateral-doble-aa/164520>. [Último acceso: 23 agosto 2020].

- [41] P. Intelligence, «Inteligencia de Mercado,» [En línea]. Disponible en: <https://petrointelligence.com/precios-de-la-gasolina-y-diesel-hoy.php>. [Último acceso: 23 agosto 2020].
- [42] Infobae, «En 2020 las tarifas eléctricas aumentarán más que en 2019,» 3 enero 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/mexico/2020/01/03/en-2019-aumento-48-la-tarifa-electrica-en-2020-subira-a-5/#:~:text=Datos%20de%20la%20Comisi%C3%B3n%20Federal,el%20rango%20de%20consumo%20b%C3%A1sico..> [Último acceso: 23 agosto 2020].
- [43] R. Riquelme, «14 datos sobre el comercio electrónico en México,» *El Economista*, 19 noviembre 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/empresas/14-datos-sobre-el-comercio-electronico-en-Mexico-20161119-0007.html>. [Último acceso: 27 noviembre 2020].
- [44] A. Valle, «La carrera por ser el mercado de oficinas más grande de la CDMX,» *Expansion*, 18 enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://expansion.mx/empresas/2018/01/18/la-carrera-por-ser-el-mercado-de-oficinas-mas-grande-de-la-cdmx>. [Último acceso: enero 2019].
- [45] «Densidad de población por delegación,» Salud CDMX, 2016. [En línea]. [Último acceso: enero 2019].
- [46] «Mapa de infraestructura y equipamiento ciclista,» SEDEMA CDMX, [En línea]. Disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/images/archivos/movilidad-sustentable/movilidad-en-bicicleta/plano-ciclovias/infraestructura-ciclista-existente.pdf>. [Último acceso: enero 2019].
- [47] L. B. V. P. W. G. D. M. M. Gómez, «Diseño de nuevos productos con un enfoque orientado al usuario,» de *Memorias de Congreso: XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Cd. Obregón, Sonora, México, 2009.
- [48] F. E. Y. G. A. B. V. Márquez, «Mapa de Viaje de Usuario, técnica del proceso de diseño para entender las interacciones del usuario con el producto y su entorno,» de *Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Cuernavaca, Morelos, México, 2017.
- [49] M. S. J. A. K. & L. A. Stickdorn, «This is service design thinking: Basics, tools, cases,» Hoboken, New Jersey, 2011.
- [50] Proveedores, «Luz verde a Amazon para probar su servicio de entrega con drones en EE.UU.,» 1 septiembre 2020. [En línea]. Disponible en: <https://logistica.cdecomunicacion.es/noticias/proveedores/39988/luz-verde-a-amazon-para-probar-su-servicio-de-entrega-con-drones-en-ee-uu>. [Último acceso: 3 septiembre 2020].
- [51] R. Garrido, «Los drones repartidores de Amazon más cerca de la realidad, solicitan realizar pruebas en sus instalaciones,» 11 julio 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/investigacion/los-drones-repartidores-de-amazon-mas-cerca-de-la-realidad-solicitan-realizar-pruebas-en-sus-instalaciones>.
- [52] Proveedores, «PostBOT: el robot con el que DHL pretende agilizar sus entregas,» 23 octubre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://logistica.cdecomunicacion.es/noticias/proveedores/23879/el-robot-con-el-que-dhl-pretende-agilizar-sus-entregas>.

- [53] F. Retail, «Metro Group empieza a probar robots de reparto,» 9 julio 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.foodretail.es/retailers/Metro-Group-empieza-probar-reparto_0_1015998392.html.
- [54] E. Pinedo, «FedEx presenta SameDay Bot, su robot repartidor autónomo,» 27 febrero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://hipertextual.com/2019/02/fedex-robot-autonomo-repartidor>.
- [55] RobotXperience, «Robot de entrega de Loomo desde Segway,» [En línea]. Disponible en: <https://robots.nu/es/noticia/robot-de-entrega-de-loomo-desde-segway>. [Último acceso: 5 marzo 2019].
- [56] Anybotics, «Robotic Package Delivery with ANYmal,» 31 enero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.anybotics.com/robotic-package-delivery-with-anymal/>.
- [57] A. Pérez, «Volkswagen Cargo e-Bike: la bicicleta eléctrica para repartos,» 29 noviembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://ecoinventos.com/volkswagen-cargo-e-bike/>. [Último acceso: 17 enero 2019].
- [58] «Aviso por el que se da a conocer los lineamientos para la operación de los sistemas de transporte individual sustentable de la ciudad de México por personas morales,» 26 marzo 2019. [En línea]. Disponible en: https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/cb5bd8fb286f1cab199c05fef8bb5e1d.pdf. [Último acceso: 14 septiembre 2020].
- [59] T. Troy, «Audi monocycle,» Yanko Design, 18 agosto 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.yankodesign.com/2011/08/18/audi-monocycle/comment-page-1/>. [Último acceso: 12 noviembre 2020].
- [60] M. Studio, «AIRA - A Sustainable Delivery Scooter,» Behance, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.behance.net/gallery/77064617/AIRA-A-Sustainable-Delivery-Scooter>. [Último acceso: 14 noviembre 2020].
- [61] R. Digiorge, «Concept Vehicles - Vehiculos Conceptuales,» Coroflot, 8 marzo 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.coroflot.com/RoberDigiorge/Concept-Vehicles-Vehiculos-Conceptuales>. [Último acceso: 14 noviembre 2020].
- [62] E. O. A. B. V. Tobilla, «Método para validar conceptos de productos usando simuladores y prototipos,» de *Memorias de Congreso: XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, San Luis Potosi, México, 2011.
- [63] L. L. Sets, «Multifunction Rideable Smart Luggage Set Telescoping Handle Carry-On Luggage Bag Travel Bags Electric Suitcases,» Amazon, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Multifunction-Rideable-Luggage-Telescoping-Suitcases/dp/B07K48JNSN?th=1>. [Último acceso: 14 noviembre 2020].
- [64] R. Huen, «E-Vehicles Collection 2014 - 2018,» Behance, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.behance.net/gallery/68054021/E-Vehicles-Collection-2014-2018>. [Último acceso: 14 noviembre 2020].

- [65] S. Sheth, «Why carry your suitcase when your suitcase could carry you?,» Yanko Design, 27 febrero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.yankodesign.com/2019/02/27/why-carry-your-suitcase-when-your-suitcase-could-carry-you/>. [Último acceso: 14 noviembre 2020].
- [66] L. M. Voyages, «Medidas de Maletas,» 10 junio 2012. [En línea]. Disponible en: <http://lemoniq.blogspot.com/2012/06/medidas-de-maletas.html>. [Último acceso: 20 diciembre 2019].
- [67] Overstock, «How to Choose Luggage Sizes When Flying,» 3 marzo 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.overstock.com/guides/how-to-choose-luggage-sizes-when-flying>. [Último acceso: 21 diciembre 2020].
- [68] P. Yedamale, «Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals,» 28 julio 2003. [En línea]. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>. [Último acceso: 24 agosto 2020].
- [69] A. Bike, «Kit de conversión eBIKE,» Aliexpress, [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32948196212.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.3e9d2e0eV8R4uP>. [Último acceso: noviembre 2018].
- [70] M. Toll, DIY Lithium Batteries How to Build Your Own Battery Packs, EUA, 2017.
- [71] Electropedaleo, «Baterías,» [En línea]. Disponible en: <https://www.electropedaleo.com.mx/baterias/>. [Último acceso: 15 noviembre 2019].
- [72] «Starship,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.starship.xyz/>. [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- [73] I. A. Hamilton, «Los inversores están apostando 85 millones de dólares a que los estudiantes hambrientos normalizarán estos robots de entrega de comida a domicilio,» Business Insider, 26 agosto 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.businessinsider.es/carrera-robots-entrega-domicilio-starship-technologies-480485>. [Último acceso: 17 mayo 2020].
- [74] B. Fox, «Amazon's Scout robots: That's no cooler, that's your Prime delivery,» Cnet, 10 junio 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.cnet.com/news/amazons-scout-robots-thats-no-cooler-thats-your-prime-delivery/>. [Último acceso: 17 mayo 2020].
- [75] «Robby technologies,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://roby.io/>. [Último acceso: 2020 mayo 17].
- [76] «Food delivery robots for business,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.kiwibot.com/>. [Último acceso: 18 mayo 2020].
- [77] G. Fournier, «Les robots Kiwibots étaient pilotés par des colombiens sous-payés,» Siècle Digital, 3 septiembre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://siecledigital.fr/2019/09/03/les-robots-kiwibots-etaient-pilotes-par-des-colombiens-sous-payes/>. [Último acceso: 18 abril 2020].
- [78] «Eliport,» 7 Abril 2020. [En línea]. Disponible en: <https://eliport.com/>. [Último acceso: 18 mayo 2020].
- [79] «Postmates Serve,» 10 enero 2029. [En línea]. Disponible en: <https://serve.postmates.com/>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [80] L. Yvkoff, «For Postmates' Robot Fleet Supervisors, The Hardest Part About Working From Home Is Slow Internet,» Forbes, 30 mayo 2020. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.forbes.com/sites/lianeyvkoff/2020/05/13/for-postmates-robot-fleet-supervisors-the-hardest-part-about-working-from-home-is-slow-internet/#240e098c76e6>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [81] «Team — Marble,» 2020. [En línea]. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [82] M. Chua, «Marble’s Delivery Robots Started Delivering Food On The Streets Of SF,» Shouts, 18 abril 2017. [En línea]. Disponible en: <https://mikesounds.com/yelp-eat-24-delivery-robot-by-marble/>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [83] «Teleretail,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://teleretail.com/>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [84] «TeleRetail Delivery Robot a Mobile Shopping Trunk,» The Robot Report, 16 marzo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.therobotreport.com/teleretail-delivery-robot-mobile-trunk/>. [Último acceso: 19 mayo 2020].
- [85] «Refraction AI,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://refraction.ai/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [86] «Driverless robots in Ann Arbor seek piece of food-delivery pie,» Self Driving Cars 360, enero 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.selfdrivingcars360.com/driverless-robots-in-ann-arbor-look-for-piece-of-food-delivery-pie/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [87] «Nuro,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://nuro.ai/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [88] L. Ramos, «El envío de comestibles en vehículos autónomos ya es una realidad,» Noticias motor, 1 septiembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://noticias coches.com/noticias-motor/envio-de-comestibles-en-vehiculos-autonomos/303645>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [89] Alvy, «Las «robofurgonetas» chinas de Neolix,» Seur, 19 julio 2019. [En línea]. Disponible en: <https://blog.seur.com/robofurgonetas-neolix/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [90] «Neolix,» 5 noviembre 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.neolix.ai/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [91] «Vans & Robots - Small delivery robots out of the Sprinter,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/transporter/vans-robots-small-delivery-robots-out-of-the-sprinter/>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [92] «Mercedes-Benz Vans invests in Starship Technologies, the world's leading manufacturer of delivery robots,» Daimler, 13 enero 2017. [En línea]. Disponible en: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Mercedes-Benz-Vans-invests-in-Starship-Technologies-the-worlds-leading-manufacturer-of-delivery-robots.xhtml?oid=15274799>. [Último acceso: 20 mayo 2020].
- [93] Y. M. Sagua Alanguía, «Clasificación de los Robots,» Robotica Puno, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://roboticapuno.blogspot.com/2013/01/clasificacion-de-los-robots.html#comment-form>. [Último acceso: 15 abril 2020].
- [94] R. B. C. A. C. Araci, «Robots de servicio,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 5, nº ISSN: 1697-7912, pp. 6-13, 2008.

- [95] I. Bambino, Una Introducción a los Robots Móviles, 2008.
- [96] N. D. Tillett, «Automatic Guidance Sensors for Agricultural Field Machines: A Review,» *Journal of Agricultural Research*, vol. 50, pp. 167-187, 1991.
- [97] E. M. , D.-W. H. Nebot, «A high integrity navigation architecture for outdoor autonomous vehicles,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 26, pp. 81-97, 1999.
- [98] «IMU,» Vistronica, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/imu/>. [Último acceso: 18 abril 2020].
- [99] «Differential Global Positioning Systems (DGPS),» OGS Europe, [En línea]. Disponible en: repository.cgseurope.net/eng/cgseurope/knowledge-repository/key-reports/monitoring/2/2/2.aspx. [Último acceso: 18 abril 2020].
- [100] M. B. M. X. M. D. T. A. Kissai M., «Adaptative Roboust Vehicle Motion Control for Future Over-Actuated Vehicles,» *HAL Archives ouvertes*, vol. 7, pp. 2-32, 2019.
- [101] «Odometría,» Real Academia de Ingeniería, [En línea]. Disponible en: <http://diccionario.raing.es/es/lema/odometría>. [Último acceso: 18 abril 2020].
- [102] Esri, «¿Qué son los datos LIDAR?,» ArcMap, 9 octubre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>. [Último acceso: 23 abril 2020].
- [103] O. Cameron, «An Introduction to LIDAR: The Key Self-Driving Car Sensor,» Voyage, 9 marzo 2017. [En línea]. Disponible en: <https://news.voyage.auto/an-introduction-to-lidar-the-key-self-driving-car-sensor-a7e405590cff>. [Último acceso: 4 septiembre 2020].
- [104] «¿Qué es un microcontrolador?,» Electrónica Estudio, 2019. [En línea]. Disponible en: www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador. [Último acceso: 26 abril 2020].
- [105] X. Crespo, «Qué es una FPGA y por qué jugarán un papel clave en el futuro,» Planeta Chatbot, 18 enero 2017. [En línea]. Disponible en: planetachatbot.com/qu%C3%A9-es-una-fpga-y-por-qu%C3%A9-jugar%C3%A1n-un-papel-clave-en-el-futuro-e76667dbce3e. [Último acceso: 26 abril 2020].
- [106] «¿Qué es una FPGA?,» VHDL, 7 junio 2019. [En línea]. Disponible en: <https://vhdl.es/que-es-una-fpga/>. [Último acceso: 28 abril 2020].
- [107] L. D. O. F. M. M. Kallasi F., «A novel calibration method for industrial AGVs,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 94, pp. 75-88, 2017.
- [108] S. L. M. M. I. B. V. T. A. R. A. Hernández, «Diseño de un vehículo eléctrico de última milla para la entrega de paquetería,» de *Memorias del XXVI Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Morelia, Michoacán, México, 2020.
- [10] «Vehículos de Movilidad Personal,» Conducción responsable, 6 enero 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.conduccionresponsable.com/vehiculos-de-movilidad-personal/>. [Último acceso: 8 octubre 2018].

