



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE CARGA LIVIANA AMIGABLE CON EL
MEDIO AMBIENTE, ECODISEÑADO Y DE BAJO COSTO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

MELISSA SOFÍA CARREÑO HITSCHFELD

PROFESOR GUÍA:
RUBÉN FERNÁNDEZ URRUTIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALEJANDRO CHACÓN AGUIRRE
ALEJANDRO SCHMAUK OELCKERS

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO INGENIERA
POR: **MELISSA SOFÍA CARREÑO HITSCHFELD**
FECHA: 2020
PROF. GUÍA: RUBÉN FERNÁNDEZ URRUTIA

DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE CARGA LIVIANA AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE, ECODISEÑADO Y DE BAJO COSTO

Ante la creciente preocupación por el cambio climático, las emergentes leyes que han nacido en pos de frenarlo y el transporte de carga en ciudad que hoy debe enfrentarse a largos períodos de tráfico vehicular, surge la necesidad de crear un vehículo de carga liviana ágil, de bajo costo, y amigable con el medio ambiente en todo su ciclo de vida.

En el siguiente trabajo de memoria se desarrolla el ecodiseño de un vehículo de carga liviana, donde, a través de dos análisis de ciclo de vida, se definen los requerimientos ambientales tales como la disminución del uso de metales. Además, a través de entrevistas a usuarios se definen los requisitos de diseño como por ejemplo la capacidad de circulación por ciclovías en son de evitar el tráfico vehicular.

De esta forma, nace un vehículo de carga trasera de 3 ruedas hecho principalmente de colihue (especie de bambú chileno macizo) con uniones de tejido de sisal cubierto por resina epoxy, con tracción a pedal y asistencia al pedaleo mediante motor eléctrico.

El diseño se desarrolla en el software de diseño Fusion 360 y se analiza estructuralmente en el software de análisis de elementos finitos Ansys. Frente a una falla en el eje trasero se realiza una mejora del diseño, que finalmente demuestra ser confiable.

Además, se realiza un análisis de ciclo de vida al vehículo diseñado el cual demuestra una mejora significativa en las emisiones con respecto a los modelos analizados anteriormente. Finalmente, la evaluación económica arroja un valor que no supera los 2.000.000 CLP.

*Para mis padres y hermanas,
quienes me inspiraron, guiaron y acompañaron.*

Agradecimientos

Para mi madre, quien hizo lo imposible para que yo obtuviera la mejor educación durante mi infancia y adolescencia, estoy segura de que sin su esfuerzo, yo no habría llegado hasta aquí. Para mi padre, quien, a través de sus sueños, trazó un camino para mis pasiones. Para mi hermana Mariana, quien desde que tengo memoria me enseñó cosas que no siempre entiendo en una primera instancia, pero que con el tiempo van tomando sentido. Para mi hermana Martina, quien me ha permitido amar incondicionalmente. A ellos les debo gran parte de este logro. José, no hay palabras para describir lo que ha significado tu ayuda y apoyo, no sólo en el ámbito académico, donde tantas veces dedicaste horas enteras en enseñarme cosas que para mi no siempre fueron fáciles de entender, si no también por todo el apoyo emocional que me has brindado a lo largo de los años soportando mi mal humor y mis frustraciones. Desde tus primeras lecciones de mecánica de sólidos, hasta toda tu ayuda a lo largo de este trabajo. A ti, porque sin ti no habría llegado hasta aquí (o al menos no todavía), y a tu familia que con el tiempo se convirtió en la mía, ofreciéndome el sostén y la compañía que a veces me faltó. Para mis amigos. Desde mi primera amiga incondicional, Roa; las palabras sobran. Mis primeras amigas de la u, Feña, Coni y Anto, y las que vinieron luego, Fani, Javi, Fer, Marce, Ro, Pauli y Vale; gracias por hacer este paso por la u un poco más ameno, las tardes de estudio se recuerdan como tardes de risas y buena compañía gracias a ustedes. Mis amigos de mecánica, Pancho, Yon, Caro, Panda, Jadue, Alfredo, Adrián, Ítalo y Tente, gracias por todos los buenos momentos, y por estar también en los malos. Gracias también a los amigos que estuvieron cuando los necesité, Monse, Vivi, Edu Muñoz, Feña Bradford, Rochi, Magda Tarud, Aline y Alexia. Les agradezco a todos y espero siempre ser para ustedes el mismo sustento que han sido ustedes para mí. Para quienes dedicaron tiempo de sus vidas en ayudarme a desarrollar este trabajo de memoria, Nico Campos, Papo y Jorge Garrido, muchas gracias por darme el impulso que muchas veces me faltó. Finalmente, para el profesor Rubén, quién me aceptó como alumna, y quien me llevó hasta Alejandro, a quien le agradezco profundamente por mostrarme un camino de la ingeniería mecánica que no conocía y que ha despertado una nueva motivación en mí, en una batalla que ya había dado por perdida. Por último, a mi ratoncito maravilloso, Tommy. Tus lamidos me ayudan a seguir todos los días.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcances	3
2. Antecedentes	4
2.1. Análisis de ciclo de vida	4
2.2. Desarrollo sostenible y Ecodiseño	6
2.2.1. Norma de Ecodiseño	8
2.3. Design Thinking	9
2.4. Vehículos de carga liviana	10
2.4.1. Soluciones en el mercado actual	10
2.4.2. Materiales posibles	17
2.4.3. Componentes de un vehículo de carga liviana	28
2.4.4. Sistema de tracción	40
2.4.5. Sistema eléctrico	41
2.4.6. Factor de seguridad	45
3. Metodología	46
3.1. Análisis de ciclo de vida	46
3.2. Design Thinking	49
3.2.1. Proceso de diseño	50
3.2.1.1. Dimensionamiento	50
3.2.2. Análisis estructural	51
4. Resultados	54
4.1. Análisis de ciclo de vida bici cargo	54

4.2. Análisis de ciclo de vida triciclo eléctrico	57
4.2.1. Criterios ambientales	61
4.3. Experiencia de los usuarios	62
4.3.1. Criterios de diseño determinados por el usuario	66
4.4. Proceso de diseño	66
4.4.1. Diseño CAD	72
4.4.2. Selección de componentes	76
4.4.3. Pruebas estructurales	78
4.5. Análisis de ciclo de vida y análisis económico	100
4.5.1. Análisis de ciclo de vida	100
4.5.2. Evaluación económica	103
5. Conclusiones	104
Bibliografía	106

Índice de Ilustraciones

1.1.	Ciclo de vida de un producto	2
2.1.	Bici cargo Bullit de la marca danesa Larry vs Harry	11
2.2.	Triciclo de carga frontal de la marca Lester Bikes	12
2.3.	Triciclo de carga trasera de la marca Lester Bikes	12
2.4.	Triciclo eléctrico de carga trasera de la marca Bayk	13
2.5.	Triciclo de carga eléctrico	14
2.6.	Triciclo de carga común en recolectores de reciclaje	15
2.7.	Bici cargo 2.7a UPS 4.1b DHL.	15
2.8.	Carro de carga Amazon Prime	16
2.9.	Bici cargo 2.9a Volkswagen 2.9b TRIPL.	16
2.10.	Resistencia y rigidez de diversos materiales utilizados en ciclismo	19
2.11.	Resistencia a la tracción y rigidez específica de diversos materiales utilizados en ciclismo	19
2.12.	Diagrama de Ashby Módulo de elasticidad-Densidad*huella de CO_2 *precio diferentes materiales	20
2.13.	Diagrama de Ashby Módulo de elasticidad-Densidad*huella de CO_2 *precio diferentes maderas	21
2.14.	Bicicleta de madera de la marca Material Bikes	22
2.15.	Bicicleta de madera de la marca Selva	22
2.16.	Bicicleta de terciado de la marca Sandwich Bikes	22
2.17.	Unión de tubos de bambú con tejido de cáñamo cubierto en resina epoxy	24
2.18.	Unión de tubos de bambú por piezas metálicas	24
2.19.	Bicicleta de colihue de la empresa Colihue Bambú	25
2.20.	Bicicleta echa de plástico reciclado de la marca Muzzicycles	26
2.21.	Bicicleta echa de plástico reciclado de la marca DutchFiets	26
2.22.	Cuadro de acero de una bicicleta tradicional	28
2.23.	Manillar común de una bicicleta tradicional	29
2.24.	Potencia común de una bicicleta tradicional	29
2.25.	Tubo de dirección de una bicicleta tradicional	30

2.26.	Dirección no roscada de una bicicleta	30
2.27.	Horquilla de una bicicleta sin suspensión	31
2.28.	Sillín y tija de una bicicleta	31
2.29.	Platos y biela de una bicicleta	32
2.30.	Piñón de una bicicleta	33
2.31.	Cadena de una bicicleta	33
2.32.	Pedal de una bicicleta	34
2.33.	Palanca y cable de cambio de una bicicleta	34
2.34.	Desviador delantero de una bicicleta	35
2.35.	Desviador trasero de una bicicleta	35
2.36.	Llanta de una bicicleta	36
2.37.	Buje de una bicicleta	36
2.38.	Rayos de una rueda dispuestos de forma cruzada	37
2.39.	Neumático y cámara de una bicicleta	37
2.40.	Freno de llanta tipo v-brake	38
2.41.	Freno de disco de bicicleta	39
2.42.	Comparación del impacto ambiental por 100 [km] recorridos con motor a combustión y motor eléctrico	40
2.43.	Motor de eje trasero	42
2.44.	Motor mid-drive	43
3.1.	Bici cargo utilizada para primer análisis de ciclo de vida	47
3.2.	Talla de bicicleta según estatura [30]	50
3.3.	Dimensiones de bicicleta según talla [6]	51
3.4.	Simulaciones estáticas 3.4a Caso 1: Usuario sentado en sillín 3.4b Caso 2: Usuario pedaleando parado.	52
3.5.	Simulaciones dinámicas 3.4a Caso 3: Bache en rueda delantera 3.4b Caso 4: Bache en rueda trasera.	53
3.6.	Simulación dinámica para giro del vehículo	53
4.1.	Impacto ambiental bici cargo según 4.1a etapa del ciclo de vida 4.1b materiales.	55
4.2.	Impacto ambiental bici cargo según 4.2a procesos de manufactura 4.2b fin de vida.	55
4.3.	Impacto ambiental triciclo eléctrico según 4.3a etapa del ciclo de vida 4.3b materiales.	57
4.4.	Impacto ambiental triciclo eléctrico según 4.4a proceso de manufactura 4.4b distribución.	58
4.5.	Impacto ambiental triciclo eléctrico según material en su fin de vida	58
4.6.	Comparación del pt total y kg de CO_2 equivalente para bici cargo y triciclo eléctrico	60

4.7.	Bici cargo de empresa movster siendo cargada con paquetes antes de salir a repartir	63
4.8.	Repartidor de frutas con su triciclo de carga	64
4.9.	Triciclo eléctrico cargado con mercancía	65
4.10.	Diseño 1 vista de perfil	68
4.11.	Diseño 1 vista desde arriba	68
4.12.	Diseño 2 vista de perfil	69
4.13.	Diseño 2 vista desde arriba	69
4.14.	Matriz de decisión entre 3 ideas de diseño	71
4.15.	Vista isométrica del diseño	72
4.16.	Vistas del diseño 4.16a desde el frente 4.16b desde atrás	73
4.17.	Vistas del diseño 4.17a desde el arriba 4.17b desde abajo	74
4.18.	Parte trasera del vehículo 4.18a reclinamiento de la base de carga gracias a bisagras 4.18b bisagras y eje trasero visto desde atrás.	75
4.19.	Pestillos de sujeción de plancha de carga	75
4.20.	Posicionamiento baterías y motor 4.20a vista desde arriba 4.20b vista lateral	75
4.21.	Comparación materiales y grosores para plancha de carga en base a contaminación asociada y factor de seguridad	77
4.22.	Accesorios para el vehículo 4.22a bloqueador de rueda delantera 4.22b canasto para manubrio	78
4.23.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 1	79
4.24.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 1, acercamiento	79
4.25.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 1	80
4.26.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 1, acercamiento	80
4.27.	Factor de seguridad del vehículo, caso 1	81
4.28.	Factor de seguridad del vehículo, caso 1, acercamiento	81
4.29.	Unión de acero con descansos para reforzar punto de alto esfuerzo	82
4.30.	Deformación sufrida por el vehículo, caso 1 reforzado	83
4.31.	Esfuerzos de von-Misses en chasis del vehículo, caso 1 reforzado	83
4.32.	Esfuerzos de von-Misses en pieza de unión, caso 1 reforzado	84
4.33.	Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 1 reforzado	84
4.34.	Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 1 reforzado, acercamiento	85
4.35.	Factor de seguridad en pieza de unión, caso 1 reforzado	85
4.36.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 2	86
4.37.	Esfuerzos de von-Misses en chasis del vehículo, caso 2	86
4.38.	Esfuerzos de von-Misses en chasis del vehículo, caso 2 acercamiento	87
4.39.	Esfuerzos de von-Misses en pieza de unión, caso 2	87

4.40.	Factor de seguridad chasis del vehículo, caso 2	88
4.41.	Factor de seguridad en pieza de unión, caso 2	88
4.42.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 3	89
4.43.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 3	90
4.44.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 3, acercamiento	90
4.45.	Factor de seguridad del vehículo, caso 3	91
4.46.	Factor de seguridad del vehículo, caso 3, acercamiento	91
4.47.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 4	92
4.48.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 4, acercamiento	93
4.49.	Factor de seguridad del vehículo, caso 4, acercamiento	93
4.50.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 4, rediseño	94
4.51.	Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 4, rediseño	95
4.52.	Factor de seguridad del vehículo, caso 4, rediseño	95
4.53.	Factor de seguridad del vehículo, caso 4, rediseño, acercamiento	96
4.54.	Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 5	97
4.55.	Esfuerzos de von-Misses en el chasis del vehículo, caso 5	97
4.56.	Esfuerzos de von.Misses en pieza de unión, caso 5	97
4.57.	Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 5	98
4.58.	Factor de seguridad en pieza de unión, caso 5	98
4.59.	Impacto ambiental triciclo colihue según 4.59a etapa del ciclo de vida 4.59b materiales.	100
4.60.	Impacto ambiental triciclo colihue según 4.60a proceso de manufactura 4.60b fin de vida.	101
4.61.	Comparación impacto ambiental total 4.61b bici cargo, triciclo eléctrico y triciclo de colihue eléctrico 4.60b bici cargo y triciclo de colihue sin sistema eléctrico .	102
4.62.	Evaluación económica	103

Índice de Tablas

2.1.	Ventajas y desventajas de un motor con escobilla	41
2.2.	Ventajas y desventajas de un motor sin escobilla	41
4.1.	Resultado análisis de ciclo de vida bici cargo	54
4.2.	Resultados análisis de ciclo de vida triciclo eléctrico	57
4.3.	Resultado análisis de ciclo de vida triciclo de colihue eléctrico	100

Capítulo 1

Introducción

La progresiva escasez de recursos naturales, junto con la alta contaminación asociada al uso de combustibles fósiles para la generación de energía, el calentamiento global, y la gran generación de residuos, ha despertado una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente. Esto ha dado paso a conceptos como el de desarrollo sostenible, ecodiseño, y economía circular.

En Chile, el año 2017 se produjeron 7.817.427 de toneladas de residuos municipales (de origen doméstico), y 13.881.974 de toneladas de residuos de origen industrial, donde más del 8% corresponden a la industria manufacturera. Además, Chile es el país de Latinoamérica que más basura genera al año, donde en promedio cada chileno produce 384 kilos de basura, y se recicla menos del 10% del total [15]. Chile cuenta hoy en día con la Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga a los productores a recuperar y valorizar un porcentaje de sus productos una vez que termine su vida útil [18].

La economía circular es un modelo de desarrollo que optimiza el uso de recursos gestionando una cantidad finita de flujos renovables y que busca dejar atrás el actual modelo que fomenta el consumo a corto plazo. Es decir, se quiere reemplazar el actual modelo de producir, usar y tirar, por uno en que la actividad económica se conciba como una tarea reparadora y regenerativa. Esto da paso al concepto de ecodiseño, cuyo objetivo es la inclusión del medio ambiente como factor para tener en cuenta a la hora de diseñar un producto, sin dejar de lado los factores de calidad y costos económicos. Para esto, es necesario tomar en cuenta el ciclo de vida de un producto, que consiste en el conjunto de etapas que abarca desde la extracción de sus materias primas, producción, comercialización, transporte, utilización, y finalmente la gestión final de sus residuos, buscando que éstos últimos puedan reintroducirse al ecosistema sin generar un impacto ambiental [5].



Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona (ICTA-UAB).

Figura 1.1: Ciclo de vida de un producto

1.1. Motivación

A partir de un análisis de ciclo de vida realizado a procesos de panaderías del país por la empresa Ecodiseño CL, se detectó que uno de los mayores impactos ambientales está dado por la distribución de sus productos, que se realiza en vehículos a combustión. En Chile, las emisiones de CO_2 , $MP_{2,5}$ y NO_x por vehículos comerciales en el 2017 fueron de 4.554.032 de toneladas [16].

Por otra parte, en Santiago Centro existe una restricción horaria para el tránsito de vehículos de carga según su fuente de energía, donde los vehículos eléctricos podrán cargar y descargar de lunes a sábado desde las 00:00 hasta las 16:30 del día siguiente, y desde las 20:00 hasta las 24:00. Domingo todo el día. Mientras que los vehículos a combustión que cumplan con los requisitos respecto a emisiones certificadas (deben contar con permiso transitorio), pueden cargar y descargar desde las 00:00 hasta las 7:00 del día siguiente y desde las 21:00 hasta las 24:00 de lunes a viernes. Sábados desde las 15:00 hasta las 24:00 [17]. Esto ha significado un problema para empresas que distribuyen carga en el centro de Santiago puesto que se han enfrentado a infracciones debido a la necesidad de distribuir en horarios restringidos.

Con todo lo anteriormente mencionado, para el siguiente trabajo de memoria, se ha propuesto diseñar un vehículo de carga liviana, cuya fuente energética sea de bajo impacto ambiental (dentro de las opciones existentes en el mercado); y que además sea ecodiseñado, es decir, se considerará el factor ambiental en el diseño del producto. Finalmente, como los potenciales consumidores del productos serán pequeñas y medianas empresas, se propone que

su costo de venta no supere los \$2.000.000 de pesos chilenos (CLP), y que su carga objetivo sea de 100 [kg]. Lo anterior se realizará con el apoyo del profesor guía Rubén Fernández, y el profesor co-guía, Alejandro Chacón, fundador de la empresa chilena Ecodiseño.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un vehículo de carga liviana cuya fuente energética sea de bajo impacto ambiental, que sea ecodiseñado y de bajo costo.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Registrar información sobre el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de dos o tres alternativas comparables en el mercado actual.
2. Definir los requerimientos ambientales del vehículo.
3. Definir los requerimientos de diseño del vehículo.
4. Diseñar el vehículo en Software CAD.
5. Analizar estructuralmente el modelo mediante software especializado.

1.3. Alcances

- Se realizará al menos un análisis del ciclo de vida (ACV) de una alternativa comparable en el mercado actual. Los análisis de los ciclos de vida para las otras alternativas podrán ser obtenidas a través de bibliografía.
- Se definirán los requerimientos ambientales y de diseño del producto.
- Se definirán los materiales y piezas a utilizar en los distintos componentes del vehículo.
- Se diseñará una estructura del prototipo.
- Se definirá el motor a utilizar, pero no se hará una indagación profunda sobre el sistema eléctrico asociado.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Análisis de ciclo de vida

Se han desarrollado múltiples herramientas de análisis ambiental para la realización de ecodiseño. Éstas consideran el producto como un elemento que se relaciona continuamente con el medio ambiente y cuya relación evoluciona dependiendo de la etapa en la que el producto se encuentre (fabricación, uso, desecho, etc.). Dichas herramientas permiten identificar y cuantificar el consumo de recursos y energía, y la generación de residuos y emisiones a lo largo de toda la existencia del producto.

Un análisis de ciclo de vida (ACV) corresponde a una herramienta de análisis cuantitativa y objetiva de la carga ambiental asociada a un producto, proceso o actividad. Actualmente, existen dos normas internacionales para la realización de un análisis de ciclo de vida: ISO 14040 (Principios y marco de referencia para el ACV), e ISO 14044 (Requisitos y directrices para el ACV).

El estudio incluye el ciclo completo del producto, tomando en cuenta las siguiente etapas:

- Extracción y procesado de materias primas
- Producción
- Transporte y distribución
- Uso
- Reutilización y mantenimiento
- Reciclado y disposición del residuo

Un ACV se realiza en 4 fases interrelacionadas, las cuales se describen a continuación:

1. Definición de objetivo y alcances del estudio: Esta sección incluye el modo en que se comunicarán los resultados. Se determina el alcance del estudio (el sistema a analizar, sus límites, los requisitos de los datos a utilizar). Se define la unidad funcional (aquella a la que van referida todas las entradas y salidas del producto).
2. Análisis del inventario: Cuantificación de las entradas y salidas (flujos) del producto a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye la energía y materias primas consumidas para su producción y funcionamiento, y las emisiones a la atmósfera, descargas de agua residual, residuos y subproductos.
3. Evaluación de impactos: Cuantificación y evaluación de los impactos ambientales basados en los resultados de la etapa anterior. Consiste en los siguiente pasos:
 - **Clasificación**: Los datos del inventario se clasifican en aquellas categorías de impacto ambiental a las que contribuyen.
 - **Caracterización**: Dentro de cada categoría de impacto, se consideran los diferentes grados de contribución al correspondiente impacto ambiental de cada uno de los datos considerados.
 - **Normalización**: Los resultados de la etapa anterior se dividen por el valor real de cada categoría de impacto localizadas en un área geográfica y espacio temporal determinados.
 - **Valoración**: Los datos son ponderados para obtener un único indicador de impacto ambiental.
4. Interpretación de resultados: Se identifican oportunidades para alcanzar mejoras en el proceso y así reducir los impactos ambientales asociados a éste. Se concluye incluyendo limitaciones y recomendaciones.

Actualmente, existen diversos softwares y herramientas para la realización de un análisis de ciclo de vida. Entre ellos se encuentran:

- Eco-It
- Ecoscan
- Simapro
- Team
- Idemat

Estas herramientas se basan en el uso de Eco-indicadores, que consisten en valores asociados al impacto de la actividad industrial sobre el medio ambiente, tomando en cuenta el impacto en el ecosistema, los recursos y la salud humana a nivel europeo. Consideran impactos tales como el efecto invernadero, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, la reducción de recursos naturales, la disminución de la biodiversidad, y el smog. Estos valores se ponderan por la cantidad o volumen de cada producto o proceso. Así, una forma de realizar un análisis de ciclo de vida, es conocer la producción, uso y desechos de un producto. Donde la **producción** contempla los materiales que conforman el producto, los materiales auxiliares que fueron necesarios para fabricar el producto (EPPs por ejemplo), y la energía utilizada en su producción. El **uso** considera la energía utilizada para su distribución y su uso, además de los materiales utilizados en su empaquetamiento. Finalmente, el **desecho** hace referencia al destino final del recurso, donde éste puede ser reutilizado, reciclado o tirado a un vertedero [5].

En particular, la base de datos de Idemat entrega la emisión de kilogramos de CO_2 equivalentes, y los eco indicadores ReCiPe o Punto/Milipunto (Pt), cuya unidad representa una centésima parte del impacto ambiental que genera un europeo promedio, de un producto o proceso en base a su peso o energía utilizada, por ejemplo. También existen otras unidades de medidas como [tkm] (toneladas por kilómetro) utilizada para calcular las emisiones en base al transporte de un producto según su peso y distancia recorrida.

2.2. Desarrollo sostenible y Ecodiseño

El desarrollo sostenible se define como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" [citeimperatives1987report](#).

Hace 30 años atrás, las medidas para mitigar el impacto medio ambiental en la fabricación de productos se centraba en atacar el proceso productivo y la correcta gestión de residuos, logrando un proceso más eficiente y responsable junto con la implementación del reciclaje y la reutilización. Si bien estas medidas han sido efectivas, dejan de lado el impacto asociado al uso del producto. Por ejemplo, un auto puede ser fabricado de forma eficiente, y sus componentes pueden ser reutilizados y reciclados cuando termine su ciclo de vida. Sin embargo, la mayor contaminación de un automóvil está asociada al uso de combustible fósil y los GEI que éste produce. Es por esto, que mediante la herramienta de ecodiseño, se busca una prevención medio ambiental en todo el ciclo de vida del producto o proceso.

Existe una extensa guía que detalla la metodología del ecodiseño, a continuación se resu-

mirán los 7 pasos a seguir para la aplicación de éste método.

1. Definir el equipo de trabajo: Cuando una empresa decide implementar el ecodiseño, es necesario formar un equipo de trabajo formado por expertos en el área de diseño, ingeniería y medio ambiente.
2. Análisis inicial: Se deberá hacer un estudio del producto referencia o del mercado. Es decir, conocer alternativas similares a lo que se quiere diseñar que existan en el mercado actual, y realizar un análisis de ciclo de vida de éstos bajo la metodología descrita anteriormente. No basta con conocer el únicamente el producto físico, si no que se debe tener una visión del sistema completo del producto. Esto puede incluir accesorios, herramientas o recursos que el producto use constantemente.
3. Requisitos ambientales (ecobriefing): El ecobriefing debe expresar de forma clara cuáles son los puntos críticos que se esperan minimizar mediante el ecodiseño, y en qué etapas del ciclo de vida se encuentran. Debe incluir una definición del contexto, del producto, de los objetivos y de los resultados esperados del proyecto.
4. Propuesta de mejora ambiental (estrategias de ecodiseño): Las estrategias de ecodiseño están orientadas a reducir el consumo de recursos y/o minimizar la generación de residuos asociados al ciclo de vida del producto. Las estrategias se agrupan en 8 bloques según la etapa del ciclo de vida sobre la que inciden principalmente.
 - **Desarrollo de nuevos conceptos**: Esto incluye la desmaterialización (reducción de recursos materiales utilizados), uso compartido del producto (maximizando el grado de utilización), y otorgarle multifunciones para evitar la necesidad de producir más productos.
 - **Reducción del consumo y diversidad de materiales**: Minimización de componentes cuya función no sea primordial, optimización de los materiales y reutilización de componentes.
 - **Selección de materiales de bajo impacto ambiental**: Utilización de recursos naturales, uso de materiales reciclados y reutilizados.
 - **Reducción del impacto de los procesos productivos**: Reducción del número de etapas productivas, reciclaje interno de los residuos de producción, y elección de procesos de producción más limpios (uso de energías renovables, procesos de optimización de aguas).
 - **Optimización de la distribución**: Reducción del volumen y del peso del producto, minimización del uso de envases y optimización de su volumen, utilización de materias primas de proveedores locales (para la minimización de transportes).

- **Reducción del impacto durante el uso:** Incremento de eficiencia energética, incorporación de sistemas de ahorro de energía y uso de energías renovables.
 - **Incremento de la vida útil del producto:** Eliminación de puntos débiles, elección de materiales adecuados, facilitar reparación y mantenimiento, y diseño de producto en módulos (posibilitando su adaptación en el tiempo).
 - **Optimizar los residuos en gestión final:** Utilización de materiales reciclables o biodegradables, utilización de la menor cantidad de materiales posibles, y creación de productos monomaterial.
5. Diseño y desarrollo: Esta etapa se centra en la generación de propuestas y su desarrollo. Las diferentes opciones se someten a un análisis ambiental, técnico, económico y social. Se presentan las diferentes alternativas conceptuales y se selecciona aquella más conveniente.
 6. Análisis del producto ecodiseñado: Una vez desarrollado el diseño del producto, se realiza un análisis sobre los beneficios obtenidos del ecodiseño. Se puede realizar una comparación con los productos en el mercado previamente estudiados. Se realiza una valoración de mejoras generales obtenidas a nivel técnico, económico y social, junto con una valoración de las mejoras ambientales, donde se detectan las etapas del ciclo de vida, y las estrategias de ecodiseño.
 7. Comunicación de las mejoras: Esto se puede realizar mediante diferentes documentaciones y mecanismos como lo son informes anuales, declaraciones ambientales del producto, ecoetiquetas, entre otros [5].

2.2.1. Norma de Ecodiseño

La norma UNE 150.301: 2003 Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño, tiene como objetivo “especificar los requisitos del proceso de diseño y desarrollo de los productos y/o servicios de una organización, que capaciten a ésta para establecer una sistemática de mejora continua de sus productos y/o servicios desde el diseño y desarrollo, a través de un sistema de gestión ambiental”. De esta forma, busca una mejora de los productos y/o servicios de una empresa de forma sistemática y global y no de forma aislada.

La norma es aplicable para toda empresa que diseñe y desarrolle productos o procesos.

Los requisitos de la norma ISO 14.006 2011/2020 se basan en las Normas ISO 9001 (Sistema de gestión de calidad) e ISO 14001 (Sistemas de gestión ambiental (SGA)), donde se

incorpora el concepto de mejora continua: **Planificación, Implementación, Comprobación y Acción correctiva** [5].

2.3. Design Thinking

No se debe olvidar que el ecodiseño es un proceso de diseño innovador, y que por tanto busca satisfacer a un usuario a través de soluciones creativas. Es por esto, que será útil conocer la metodología del "Design Thinking", junto a sus etapas de trabajo.

El diseño creativo se basa en 5 etapas elementales:

- Empatizar: Se debe entender y empatizar con las necesidades del usuario. Para esto, es útil observarlo en el contexto de sus vidas e involucrarse con él a través de preguntas clave. Se busca comprender las cosas que hace y por qué, sus necesidades físicas y emocionales.
- Definir: Consiste en determinar el desafío del proyecto basado en lo aprendido con el usuario.
- Idear: Es donde comienza el proceso de diseño y la generación de ideas. Se realiza una lluvia de ideas de donde surgen múltiples alternativas.
- Prototipar: Es la generación de elementos ilustrativos tales como dibujos y maquetas en orden de responder preguntas que entreguen la solución final. Debe ser un proceso rápido y barato.
- Evaluar: Consiste en pedir opiniones a usuarios y colegas sobre los prototipos realizados.

Para llevar a cabo estas 5 etapas existen diferentes métodos tales como entrevistas con usuarios, mapas de empatía, mapas de trayectoria, entre otro. Aquellos métodos que se utilizaron para el proceso creativo de este proyecto serán detallados en el capítulo de metodología [21].

2.4. Vehículos de carga liviana

2.4.1. Soluciones en el mercado actual

La creciente preocupación por el medio ambiente, junto con el alto nivel de congestión vehicular, y la evolución del mercado que tiende a la compra de productos on-line ha abierto paso a la creación de diversos vehículos de carga liviana que buscan ser amigables con el medio ambiente y que permitan realizar largos recorridos por la ciudad de forma rápida y segura. Se ha decidido dividir los tipos de vehículos en 3 categorías:

1. Vehículos a pedal. Vehículos de carga liviana cuyo único motor es el pedaleo del usuario. Dentro de sus **ventajas** se encuentra su bajo peso debido a la carencia de motor eléctrico (o a combustión), y con esto, su fuente de energía (baterías o estanque), su precio económico, y su baja contaminación asociada principalmente a su uso, pero también a su producción y fin de vida. También promueve la actividad física del usuario, lo que puede traer beneficios para su salud. Su principal **desventaja** radica en la limitación en su carga ya que el peso afectará directamente al usuario, además, de que éste enfrentará dificultades al moverse por altas pendientes. La velocidad del vehículo también depende del usuario, y por lo general no se alcanzan velocidades tan altas como las de un vehículo con motor. El usuario puede presentar cansancio, y su uso se verá limitado por su condición física.

Los vehículos más comunes en esta categoría son:

- **Bici cargo**. Bicicleta de dos ruedas con carga frontal. En la figura 2.1 se observa la bici cargo modelo Bullit de la marca danesa Larry vs Harry, cuyo peso parte de los 22 kg y cuya capacidad de carga es de 180 kg. El precio del modelo más básico es de 2.130 euros (1.940.000 CLP aprox.). También existe su versión con motor eléctrico cuyo valor comienza en los 4.400 euros (4.000.000 CLP aprox.). Sin embargo, la Bullit es sólo una de las muchas bici cargo que existen en el mercado, siendo uno de los modelos mejor evaluados gracias a su capacidad de carga y comodidad de conducción.



Figura 2.1: Bici cargo Bullitt de la marca danesa Larry vs Harry

- **Triciclo de carga.** Existen de carga frontal y trasera, siendo los primeros los más comunes. Al igual que las bici cargo, existen múltiples fabricantes. En la figura 2.2 se observa un triciclo de carga delantera de la marca argentina Lester Bikes cuya capacidad de carga es de 100 kg, y su precio es de 36.628 pesos argentinos (ARS) (507.000 CLP aprox.). La figura 2.3 muestra un triciclo de carga trasera de la misma marca. Su capacidad de carga es de 120 [kg] y su precio es de 32.120 pesos argentinos (ARS) (445.000 CLP aprox.).



Figura 2.2: Triciclo de carga frontal de la marca Lester Bikes



Figura 2.3: Triciclo de carga trasera de la marca Lester Bikes

2. Vehículos con asistencia eléctrica. Conocidas también como *pedelecs* (en inglés *pedal electric cycle*), se tratan de bicicletas cuya asistencia del motor se activa cuando el usuario comienza a pedalear, y que cuando el vehículo alcanza más de 25 [km/h] (en algunos casos 32 [km/h], dependiendo del modelo), se desactiva la asistencia eléctrica. Dentro de sus **ventajas** se encuentra la posibilidad de recorrer mayores distancias y movilizar más carga sin que el usuario se canse demasiado. Además, como no dependen

únicamente del motor, en caso de quedarse sin batería puede continuar su recorrido. Dentro de sus **desventajas** se encuentra su peso y valor elevado asociados al motor y baterías. Además de poseer una mayor carga ambiental debido al uso de energía para su funcionamiento. A pesar de poseer motor eléctrico, si la energía no proviene de fuentes renovables, entonces existe un componente contaminante importante, además de la contaminación asociada a la fabricación y fin de vida de su motor y baterías. Por último, cabe destacar que su uso tiene asociado un gasto monetario debido a la carga del motor. Existen variedades de modelos, siendo comúnmente los mismos que los de los vehículos de carga a pedal, pero a los que se le agrega motor eléctrico. Algunos ejemplos de vehículos de carga con asistencia eléctrica son los siguientes:

- **Bici carga eléctrica.** Idénticas a las bicicleta cargo pero con la excepción de tener motor eléctrico. La marca italiana Riese & Müller ofrece modelos cuyo valor parte en los 6.119 euros (5.463.000 CLP aprox.), permite 200 [kg] de carga y pesa 35,5 [kg].
- **Triciclo eléctrico de carga trasera.** La marca alemana Bayk ofrece su modelo Bring que se observa en la figura 2.4. A diferencia de los modelos pasados, éste posee los pedales más adelante para que el usuario se pueda sentar más cómodamente. Pesa 160 [kg] y tiene una capacidad de carga de 330 [kg]. Su valor es de 9.900 euros (9.000.000 CLP aprox.)



Figura 2.4: Triciclo eléctrico de carga trasera de la marca Bayk

3. Vehículos de carga eléctricos. Vehículos totalmente eléctricos. Existen versiones con pedales que permiten el pedaleo con asistencia eléctrica pero que también pueden funcio-

nar sin la necesidad de pedalear. Sus **ventajas** son similares a las de un vehículo con asistencia eléctrica, mientras que dentro de sus **desventajas** está la alta dependencia de las baterías (en caso de no contar con pedales), y su peso que tiende a ser mayor a los vehículos con asistencia eléctrica ya que requieren motores más potentes y una mayor capacidad de almacenamiento energético. Al igual que el caso anterior, poseen una alta carga ambiental y su precio tiende a ser elevado. Los vehículos más comunes en esta categoría son:

- **Triciclo de carga eléctrico.** Conocidos en Chile como toritos, estos triciclos eléctricos fabricados en China han sido una solución para muchos comerciantes en el mundo. Existen diversos modelos, donde el más pequeño tiene una capacidad de carga de 300 [kg], y una independencia de 18 [km]. La empresa chilena SmartCargo vende el modelo más pequeño a 821.000 CLP.



Figura 2.5: Triciclo de carga eléctrico

Se puede observar que existen múltiples opciones para el usuario en lo que se refiere a la movilidad de carga liviana dentro del mercado. En Chile, estos vehículos han tomado un fuerte protagonismo, siendo los más utilizados las **bici cargo** (también en su versión eléctrica), y se pueden encontrar fabricantes que las vendan desde los 800.000 CLP, los **triciclos de carga** como el de la figura 2.6, muy comunes en recolectores debido a su bajo precio (existen desde los 70.000 CLP), y los **toritos** que han logrado valores accesibles debido a su importación desde China.



Figura 2.6: Triciclo de carga común en recolectores de reciclaje

Son incontables las empresas a lo largo del mundo que han optado por la fabricación y utilización de estos vehículos. Por ejemplo, las compañías de reparto como UPS y DHL (figura 2.7) poseen un servicio de delivery en bicicletas eléctricas de carga trasera en Nueva York y países de Europa, al igual que Amazon Prime, que reparte mediante carros que se enganchan a una bicicleta tradicional (2.8) [23].



(a)

(b)

Figura 2.7: Bici carga 2.7a UPS 4.1b DHL.



Figura 2.8: Carro de carga Amazon Prime

Incluso, la empresa de automóviles Volkswagen anunció el 2018 el lanzamiento de una bicicleta de carga frontal que soporta hasta 210 [kg] de carga (figura 2.9a) [25]. A ésta se le suman otros vehículos de carga frontal como el TRIPL que es 100 % eléctrico (figura 2.9b) [29].



(a)



(b)

Figura 2.9: Bici cargo 2.9a Volkswagen 2.9b TRIPL.

2.4.2. Materiales posibles

Gracias a su alta resistencia y durabilidad, el uso de metales es predominante en la fabricación de vehículos hoy en día, siendo el acero y aluminio los más comunes.

En el caso del acero, se usa un acero denominado *hi-tensile* (*hi-ten*) para las bicicletas de gama más baja, y acero cromolío (o cromoly) para aquellas de mejor calidad. El cromolío se trata de una aleación de cromo-molibdeno de alta resistencia y baja aleación. Dentro de las **ventajas** de utilizar acero, se encuentra su durabilidad y resistencia. Los marcos de acero resisten de buena forma los golpes, y si se protegen con pintura pueden durar muchos años. Además, es fáciles de soldar y suele tener un bajo costo. Sus principales **desventajas** son su peso, que tiende a ser elevado, y, que en caso de no recibir mantención o cuidado puede oxidarse.

Actualmente es el aluminio el material más usado no sólo en marcos si no que también en componentes de bicicleta. Generalmente se utilizan aleaciones 6xxx, cuyos principales aleantes son el magnesio y el silicio, siendo reforzado mediante un tratamiento térmico T6 (tratamiento de solución y envejecido artificial) para aumentar su resistencia a la tracción. La ventaja de esta aleación reside en su soldabilidad. También se usan otras series como el aluminio 7075 y el aluminio 2014, sin embargo son más difíciles de soldar por lo que tienden a ser componentes de una sola pieza. La principal **ventaja** del aluminio es su peso ligero debido a su baja densidad comparada con la del acero. Además, es un material maleable que permite conseguir diferentes grosores y formas, y es inmune a la corrosión. Sus **desventajas** son su menor resistencia a los golpes y su precio que tiende a ser más elevado. Además, en muchos casos es difícil de soldar.

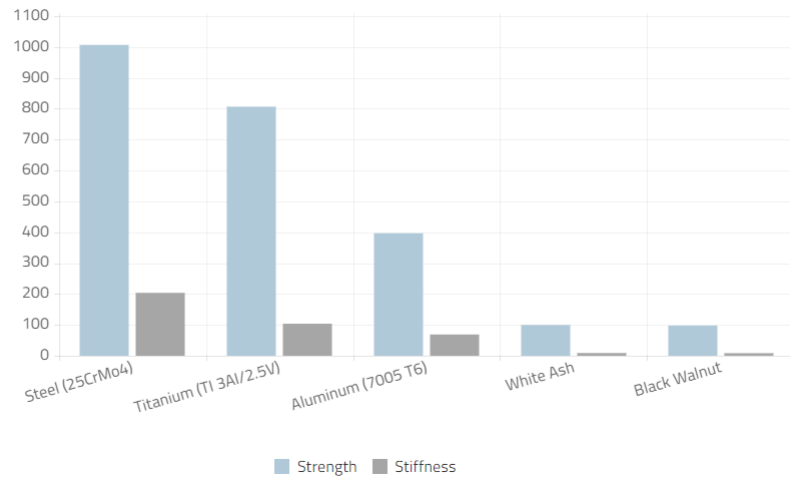
Finalmente, otros materiales que se utilizan en la industria son el titanio y la fibra de carbón, sin embargo su uso se limita principalmente a competencias debido a que permiten obtener muy bajos pesos pero a un precio muy elevado.

Todos estos materiales son muy eficientes en términos de resistencia, durabilidad, peso y costo, y es el motivo por el cual siguen siendo líderes en la industria. Sin embargo, no son materiales muy amigables con el medio ambiente debido a todos los procesos por los que deben pasar antes de ser utilizados. Deben extraerse las materias primas, reducirse, refinarse y transportarse para finalmente producirse el metal, que muchas veces debe pasar por nuevos tratamientos y procesos de manufactura. Todo esto tiene un costo energético y una emisión de gases de efecto invernadero importante. Es por esto, que han surgido ideas innovadoras

respecto a materiales para la fabricación de vehículos. Entre dichos materiales se encuentran:

- Madera. Existen diversas empresas y personas que han optado por la madera para la construcción de su bicicleta. Existen marcos de bicicletas de madera y terciado de diversas especies de árboles. La mayor **ventaja** que tiene un marco de madera por sobre un marco metálico es su flexibilidad. Esta característica del material permite una mayor absorción al impacto lo que resulta en una conducción más suave. Además, se trata de un material menos denso (dependiendo del tipo de madera, ésta tiene una densidad cercana a los $0,6 \text{ [g/cm}^3\text{]}$, en comparación a los $7,78 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ del acero) y por lo tanto más liviano. Finalmente, la madera tiende a tener un menor costo y dependiendo del tipo de madera, puede ser muy amigable con el medio ambiente ya que es un producto natural y biodegradable y debido a que su manufactura tiende a ser artesanal por lo que su consumo energético es menor. Por otra parte, las **desventajas** de la madera como material para una bicicleta son su baja resistencia a la tracción y rigidez. La empresa *Montauk Hardwood Bikes* [7] realiza una comparación entre la resistencia a la tracción y rigidez de diversos materiales comúnmente usados en marcos de bicicleta, y el resultado se observa en la figura 2.10. Mientras que el acero tiene una resistencia de 1080 [MPa] , tanto la madera de fresno como la de nogal tienen una resistencia cercana a los 100 [MPa] . Sin embargo, se comparan también la resistencia y rigidez específica del material. El resultado se observa en la figura 2.11. Mientras la resistencia específica del acero es $171,67 \text{ [MPa/g/cm}^3\text{]}$, la de la madera es $183,64 \text{ [MPa/g/cm}^3\text{]}$. Lo mismo sucede con la eficiencia a la rigidez. Esto indica que la madera tiene un gran potencial en términos estructurales, pero es necesario usar más material y trabajar con mayores diámetros. Otra desventaja de la madera, es que tiende a ser más sensible a las condiciones climáticas viéndose afectada por agua o incluso por altas temperaturas. Para evitar esto, se suele cubrir con un barniz, o se puede optar por maderas más resistentes como el terciado marino. Además, el trabajo en madera suele realizarse artesanalmente, por lo que es un proceso demoroso que dificulta la producción en masa y le otorga un alto costo a la mano de obra.

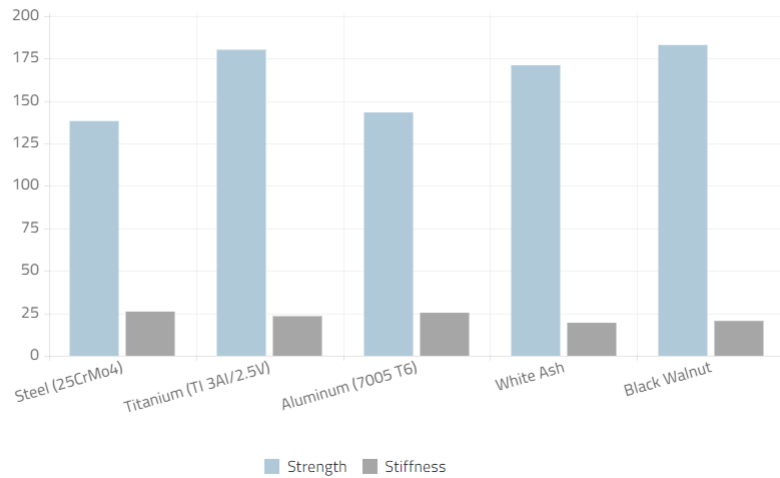
Strength (MPa) and Stiffness (GPa), Wood and Metal



Fuente: Estudio realizado por la empresa Montauk Hardwood Bikes

Figura 2.10: Resistencia y rigidez de diversos materiales utilizados en ciclismo

Strength Efficiency (MPa/g/cm³) and Stiffness Efficiency (GPa/g/cm³), Wood and Metal



Fuente: Estudio realizado por la empresa Montauk Hardwood Bikes

Figura 2.11: Resistencia a la tracción y rigidez específica de diversos materiales utilizados en ciclismo

En el diagramas de Ashby que se observa en las figura 2.13 se puede observar que el producto de la densidad por la huella de carbono y el precio de las maderas es significativamente menor al de los metales, siendo su módulo de elasticidad de éstos últimos no proporcionalmente mayor. En la figura 2.13 se observa que es el bambú la madera con uno de los mayores módulos de elasticidad y cuyo producto de la densidad por huella de carbono precio no es considerablemente mayor (incluyo podría ser igual que el del terciado).

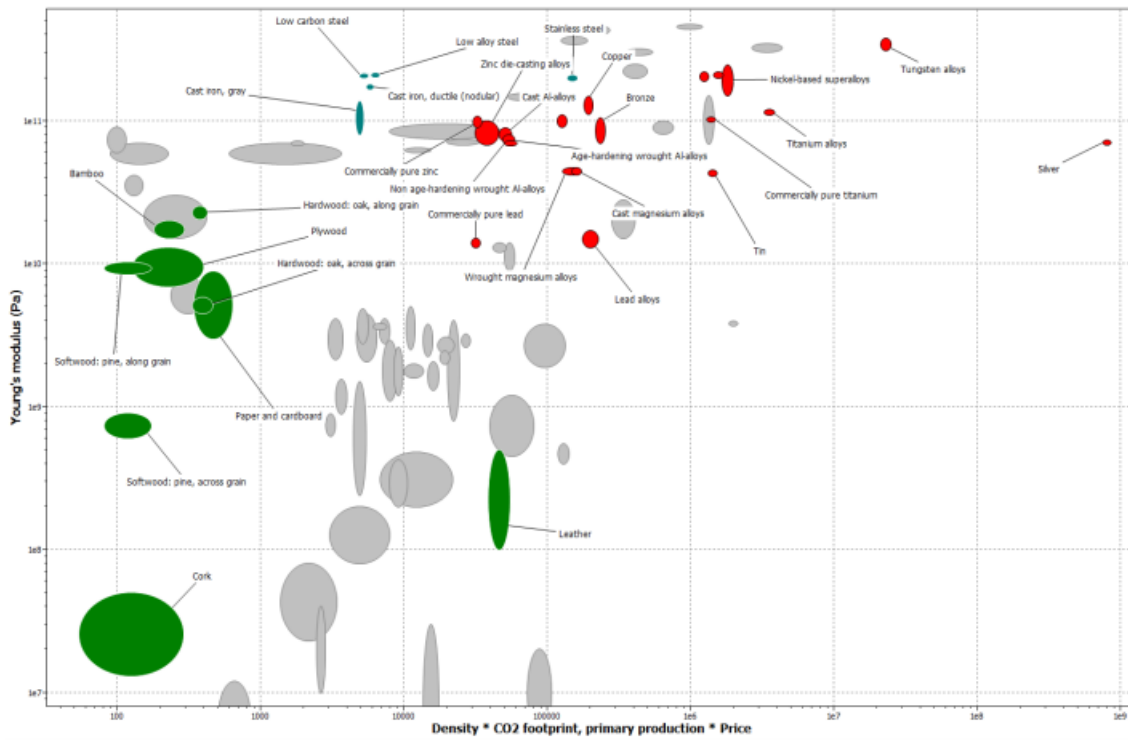


Figura 2.12: Diagrama de Ashby Módulo de elasticidad-Densidad*huella de CO_2 *precio diferentes materiales

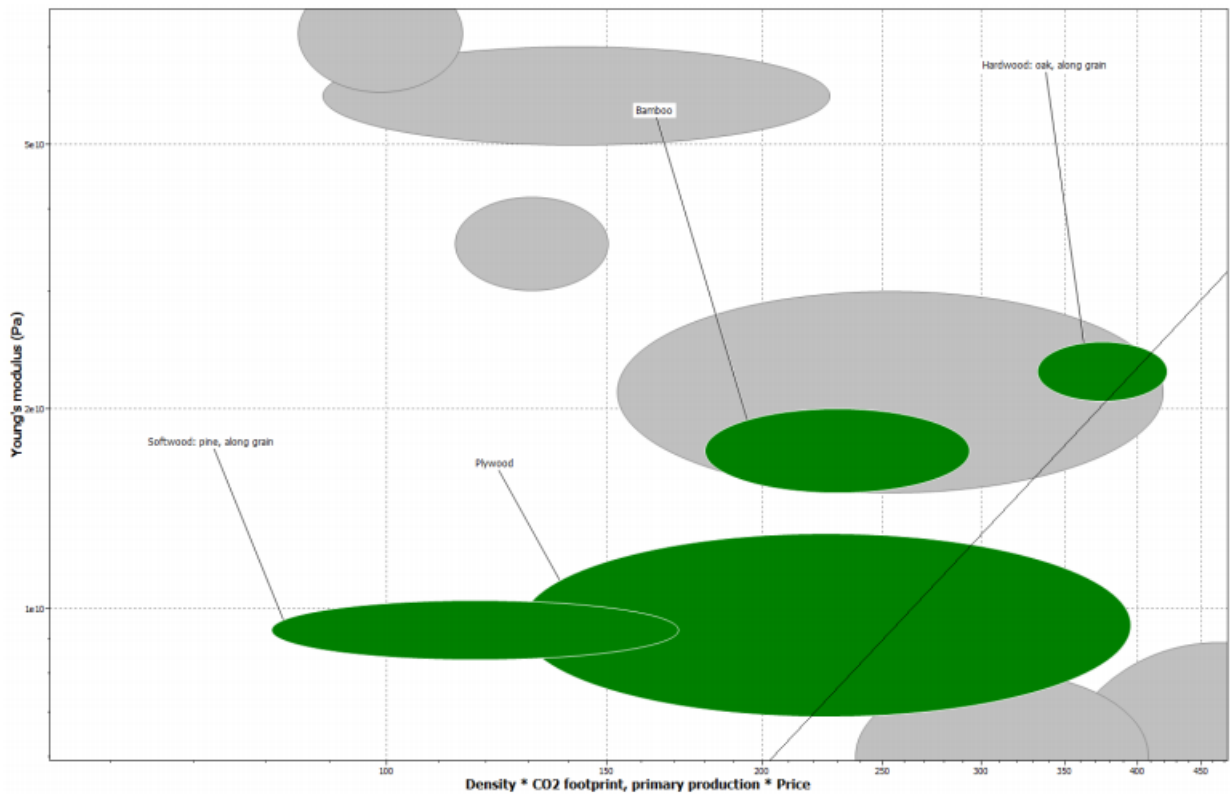


Figura 2.13: Diagrama de Ashby Módulo de elasticidad-Densidad*huella de CO_2 *precio diferentes maderas

Algunos ejemplos de bicicletas de madera son los de las empresas europeas Selva (fabricadas con madera de teca) y Material Bikes (hechas con madera de secoya, fresno y nogal), cuyos precios son 4.890 y 2.388 euros respectivamente (4.458.000 y 2.177.000 CLP aprox.). Sus pesos respectivos son de 11 y 13 [kg]. Sandwich Bikes ofrece bicicletas de terciado de haya cuyo valor parte en los 999 euros (910.000 CLP aprox.) con un peso de 17 [kg]. Se observa que tienen un precio muy elevado probablemente debido a los estudios previos que debieron realizarse y a la mano de obra asociada. En el caso de las Selva y Material Bikes, sus pesos son bastante bajos. Es importante destacar que el marco es el único componente de madera ya que el resto de los componentes son los de una bicicleta tradicional, que suelen ser de acero y aluminio. Las figuras 2.14, 2.15 y 2.16 muestran las bicicletas mencionadas.



Figura 2.14: Bicicleta de madera de la marca Material Bikes



Figura 2.15: Bicicleta de madera de la marca Selva



Figura 2.16: Bicicleta de terciado de la marca Sandwich Bikes

- Bambú/Colihue. Si bien se trata de otro tipo de madera, sus características difieren ligeramente con las bicicletas de madera tradicional. En el mundo, existen diversas empresas especializadas en la fabricación de marcos de bambú e incluso talleres para armarlos uno mismo. A diferencia de la madera, los marcos de bambú no se pueden hacer de una sola pieza, si no que a partir de la unión de barras de bambú. Hay diferentes alternativas para realizar esta unión. Mientras la mayoría de las empresas opta por un tejido de cáñamo o fibra de carbón cubierto por resina epoxy como el que se observa en la figura 2.17, otros fabricantes optan por una unión de acero rellena con resina como el de la 2.18. Ambos métodos otorgan una unión bastante fuerte, sin embargo, el tejido cubierto por resina tiende a tardar más tiempo en manufacturarse que la unión por metal. Además, es más fácil conocer la durabilidad de una unión por metal que aquella de tejido. No obstante, la unión por tejido es mucho más amigable con el medio ambiente. En el caso de Chile, existe una empresa que se dedica a la fabricación de bicicletas de colihue. Esto lo hace aún más limpio debido a que el colihue se cosecha en Chile y no existe un transporte asociado al material. Las **ventajas** de un marco de bambú son muy similares a las de madera tradicional. Al tratarse de un material flexible otorga una conducción suave, es amigable con el medio ambiente y es más liviano que el metal. Además, su resistencia específica a la tracción es mayor a la del acero. Al igual que la madera, su principal **desventaja** es el alto trabajo asociado a la fabricación del marco, lo que resulta en un elevado precio de la bicicleta. Existen talleres para fabricar uno mismo su marco de bicicleta de bambú, como también hay empresas que te facilitan todo el kit junto con un manual de construcción. El bambú tiende a ser sensible a la humedad por lo que conviene cubrirlo con resina. Finalmente, la durabilidad de un marco de bambú aún es un misterio ya que no existen bicicletas tan antiguas que hayan sido estudiadas. A diferencia del bambú, que por lo general es hueco, con distintos espesores de pared, el colihue es un material macizo.



Figura 2.17: Unión de tubos de bambú con tejido de cáñamo cubierto en resina epoxy



Figura 2.18: Unión de tubos de bambú por piezas metálicas

En Chile, la empresa Colihue bambú es quien se encarga de fabricar bicicletas de colihue. Ofrece la bicicleta armada desde los 520.000 CLP, o el marco (que puede ser con o sin horquilla de colihue) a partir de los 280.000 CLP. Además, ofrece talleres para armar tu propio marco de colihue a 250.000 CLP. En la figura 2.19 se observa una de las bicicletas de colihue de la empresa.

Los valores de resistencia mecánica obtenidos por Tomás Acevedo (creador de la empresa Colihue Bambú) del colihue chileno son los siguientes [20] [27]:

- Módulo de elasticidad: 15615 [MPa].
- Resistencia a la flexión: 182 [MPa].
- Resistencia a la tracción: 118 [MPa].
- Resistencia a la compresión paralela: 85 [MPa].

- Densidad: $0,62 \text{ [g/cm}^3\text{]}$
- Coeficiente de Poisson: 0,46

Es importante destacar que el colihue se trata de una barra que posee nudos, y donde la resistencia en los nudos puede ser menor que en el resto de la barra. Los datos presentados son un promedio de las propiedades a lo largo de toda la barra. Es por esto, que para realizar un estudio más preciso, sería conveniente obtener los datos de la resistencia en los nudos del colihue.

Con respecto al tejido para las uniones, a partir del mismo estudio por Tomás Acevedo, se concluyó que la fibra de sisal cubierta con resina epoxy resiste esfuerzos superiores a la resistencia del colihue. Con esto, se puede aproximar la unión a la de una soldadura.



Figura 2.19: Bicicleta de colihue de la empresa Colihue Bambú

- Plástico reciclado. Son pocas las empresas que se han atrevido a fabricar bicicletas de plástico debido a su fácil deterioro con el sol y su baja rigidez. Para que una bicicleta de plástico sea lo suficientemente rígida, deberá ser reforzada (con fibra de vidrio por ejemplo), y entonces ya no será reciclable. Una bicicleta de plástico no tendrá una durabilidad ni resistencia comparable con una de acero o aluminio. Sin embargo, existen empresas que han decidido comerciar bicicletas de este material. Se trata de Muzzicycles (Brasil) y DutchFiets (Holanda). El valor de estas últimas es de 987.60 euros (879.000 CLP aprox.) y su peso es cercano a los 18 kg. Las figuras 2.20 y 2.21 muestran las bicicletas de ambas compañías.



Figura 2.20: Bicicleta echa de plástico reciclado de la marca Muzzicycles



Figura 2.21: Bicicleta echa de plástico reciclado de la marca DutchFiets

Además de estos materiales, se han usado otros materiales amigables con el medio ambiente tales como cartón y nylon. Sin embargo, aún se trata de prototipos que no han sido ampliamente experimentados.

De los materiales vistos se puede concluir lo siguiente:

- El acero y aluminio han demostrado ser materiales confiables para marcos y componentes de bicicleta gracias a su alta resistencia y durabilidad.
- Todos los metales deben pasar por muchos procesos a lo largo de su ciclo de vida, lo que los convierte en materiales poco amigables con el medio ambiente.
- Tanto la madera como el bambú o colihue evidencian ser materiales suficientemente resistentes para su uso en cuadros de bicicleta, siendo su mayor ventaja su flexibilidad y origen natural, lo que los convierte en materiales menos contaminantes.
- La mayor desventaja de la madera y bambú vendría siendo la poca automatización asociada a la fabricación de marcos, lo que los convierte en productos costosos debido al lento proceso de producción.
- Hasta el momento, no existe evidencia concreta de que una bicicleta de plástico sea lo suficientemente durable y resistente.

2.4.3. Componentes de un vehículo de carga liviana

Para poder diseñar un vehículo de carga liviana, es necesario conocer los componentes de algunos modelos actuales, y en los cuales se basará el modelo a diseñar. La mayoría de los modelos vistos, usan todos los componentes de una bicicleta tradicional, que son los siguiente:

1. Cuadro. Consiste en el cuerpo de la bicicleta y en donde se sustentan el resto de sus componentes. Su forma dependerá del diseño y su material es comúnmente aluminio o acero. Previamente se discutió sobre materiales más amigables con el medio ambiente como madera o bambú. Generalmente, se compone de tres tubos: el tubo del sillín, y el tubo inferior y superior, además de los dos juegos de vainas, que son tubos más delgados que conectan el tubo del sillín, con el terminal donde se sujeta la rueda. Las dos vainas (superior e inferior) se conectan mediante un terminal denominado dropout. Un cuadro típico de bicicleta se puede observar en la figura 2.22.



Figura 2.22: Cuadro de acero de una bicicleta tradicional

2. Manillar. Consiste en el mecanismo de dirección de la bicicleta. Muchas veces soporta parte del peso del ciclista, y contienen las palancas de freno y las palancas de cambio. Existen diversos tipos de manillares para diferentes gustos. En la figura 2.23 se observa un manillar típico.



Figura 2.23: Manillar común de una bicicleta tradicional

3. Potencia o Tee. Es la pieza que une el manillar con el tubo de dirección y horquilla. Pueden variar en largos y en ángulos según la comodidad del ciclista. Se observa una potencia en la figura 2.24 [12].



Figura 2.24: Potencia común de una bicicleta tradicional

4. Tubo de dirección. El tubo de dirección es parte del cuadro, y es quién cubre los componentes de la dirección. El poste de dirección de la horquilla entra a través del tubo de dirección y se sujeta en el juego de dirección o headset. La figura 2.25 muestra un tubo de dirección en su interior.

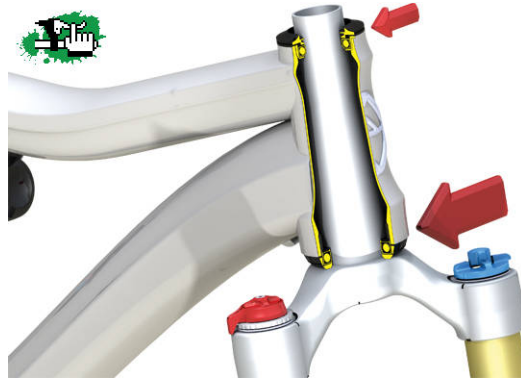


Figura 2.25: Tubo de dirección de una bicicleta tradicional

5. Dirección o Headset. Consiste en el conjunto de componentes que permiten la rotación del manillar. Los componentes del sistema de dirección varían según si se trata de un sistema roscado o no roscado [11].

- Dirección roscada (Threaded headset): El poste de dirección es presionado en el tubo de dirección mediante una serie de espaciadores y tuercas, las cuales se ajustan en la tuerca del poste superior. Sus tamaños comunes son 1", 1 1/8" y 1 1/4".
- Dirección no roscada (Threadless headset): En este caso, el poste de dirección de la horquilla es liso, y las tazas de dirección entran a presión y se mantienen en posición gracias a la potencia y espaciadores. En la 2.26 se observa una dirección no roscada.



Figura 2.26: Dirección no roscada de una bicicleta

6. Horquilla. La horquilla se une al cuadro a la potencia mediante su poste de dirección. Su función es sujetar y dirigir la rueda delantera. En el caso de las mountain bike, las horquillas suelen incluir suspensión. En la 2.27 se observa la horquilla de una bicicleta sin suspensión.



Figura 2.27: Horquilla de una bicicleta sin suspensión

7. Sillín y tija. El sillín es uno de los tres puntos de contacto del ciclista (junto con el manillar y los pedales) por lo que su peso no recae totalmente en él. La forma del sillín de bicicleta es estándar, sin embargo existen modelos más delgados y livianos y otros más acolchados. La tija del sillín es un tubo de aluminio o acero que une el sillín con el tubo del asiento perteneciente al cuadro de la bici. La tija puede ajustarse para adaptarse a la comodidad del ciclista según el largo de sus piernas. En la 2.28 se observa un sillín y tija de bicicleta.



Figura 2.28: Sillín y tija de una bicicleta

8. Sistema de cambios. El sistema de cambios de una bicicleta consiste en una serie de componentes que se explican a continuación. Algunos sistemas pueden variar con res-

pecto a otros (por ejemplo puede tener varios piñones y un sólo plato o viceversa), pero el sistema más común incluye lo siguiente [9]:

- **Platos y bielas:** Se ubican en el eje del pedal y son lo que convierte el pedaleo del ciclista en la rotación de la rueda trasera mediante la cadena. Están hechos comúnmente de aleaciones de aluminio o acero. Las bielas son el elemento de transmisión de la potencia desde los pedales hacia los platos. Se ubica una biela a cada lado de la bicicleta con un ángulo de 180° entre ellas y se conectan mediante un eje. Los platos son engranajes de distintos tamaños y número de dientes que, junto a los piñones, determinan la marcha de la bicicleta. Las bicicletas tienen entre uno y tres platos, donde el plato más grande se ubica en la parte más externa. Los platos y bielas se unen mediante una serie de tornillos. Este conjunto se observa en la figura 2.29.



Figura 2.29: Platos y biela de una bicicleta

- **Piñón:** Los piñones se localizan en el eje de la rueda trasera y junto con el plato determinan la marcha de la bicicleta mediante la relación entre sus dientes. Existen bicicletas con hasta 12 piñones. Además, al tratarse de un piñón libre, permite que el eje gire libremente hacia un sentido, estando engranado en el sentido contrario. La consecuencia de esto es que el ciclista puede dejar de pedalear sin que la rueda se detenga [10].



Figura 2.30: Piñón de una bicicleta

- Cadena: Es quien transmite la fuerza del pedaleo hacia la rueda trasera. Está hecha de eslabones de acero al carbono. También existen correas dentadas de transmisión, cuyas ventajas son que no se oxidan, no necesitan lubricación, tienen una mayor duración, y son más silenciosas. Sin embargo, las correas dentadas no admiten desviador y no son desmontables como la cadena, por lo que requieren un cuadro capaz de acomodar la correa. La figura 2.31 muestra una típica cadena de bicicleta.



Figura 2.31: Cadena de una bicicleta

- Pedales: Se trata de uno de los tres puntos de contacto del ciclista con la bicicleta, y es donde éste aplica la fuerza para generar el movimiento de la bicicleta. Pueden ser de plástico, hierro, aluminio o fibra de carbono. La figura 2.32 muestra un típico pedal de plástico.



Figura 2.32: Pedal de una bicicleta

- Palanca de cambio: Se encuentran en el manillar y son quienes, mediante cables, envían la señal a los desviadores para realizar un cambio de marcha.
- Cable de cambio: Se trata de cables de acero cubiertos por un forro, que regulan la posición del desviador. La figura 2.33 muestra una palanca de cambio y su cable.



Figura 2.33: Palanca y cable de cambio de una bicicleta

- Desviador delantero: Consiste por una pieza metálica por donde circula la cadena y que va sujeta en el tubo del asiento de la bici. Se puede mover hacia los lados para desviar la cadena de un plato a otro mediante un cable accionado por la palanca de cambio. La figura 2.34 muestra un desviador delantero.



Figura 2.34: Desviador delantero de una bicicleta

- Desviador trasero: Su función es mover la cadena entre los piñones y mantener la tensión de la cadena. Se ubica en el dropout derecho de la bicicleta, y está conformado por dos poleas (polea guía y polea tensora), un brazo articulado y una jaula. La figura 2.35 muestra un desviador trasero.



Figura 2.35: Desviador trasero de una bicicleta

9. Rueda. La rueda de la bicicleta por su parte, también está compuesta por diversas piezas que se explican a continuación. Los tamaños de la rueda de bicicleta están estandarizados y se basan en el diámetro exterior del neumático y se mide en pulgadas (26", 28") o milímetro (650, 700) [22].
 - Llanta: Consiste en la estructura de la rueda, generalmente hecha de aleaciones de aluminio para lograr un bajo peso. En ella se asienta el neumático y es por donde se atraviesan los rayos de la rueda. Existen distintos tamaños y formas de llantas según el tipo de bicicleta. En la figura 2.36 se observa una llanta de aluminio.



Figura 2.36: Llanta de una bicicleta

- Buje o maza: Consiste en la parte central de la rueda de la bicicleta. Está compuesto por un eje, rodamientos y un cubo de buje donde se enlazan los rayos de la rueda. Muchos bujes tienen acoplamiento para frenos de disco, y comúnmente están hechos de aluminio. En la figura 2.37 se puede observar el buje de una bicicleta.



Figura 2.37: Buje de una bicicleta

- Rayos: Los rayos son barras de acero inoxidable que unen la zona central de la rueda con la zona perimetral, aportándole así rigidez a ésta. Existen dos posibles configuraciones para la disposición de los rayos, éstos pueden ir de forma **radial**, es decir, recorren la mínima distancia entre la llanta y el buje, o **cruzados** (tangencial al buje). Dispuestos de forma cruzada son más efectivos en otorgarle a la rueda rigidez torsional (aquella que aparece al frenar y al acelerar). El número de rayos también puede variar. En la figura 2.38 se observan rayos dispuestos de forma cruzada.



Figura 2.38: Rayos de una rueda dispuestos de forma cruzada

- Neumático: Consiste en una pieza toroidal de caucho que permite una adherencia y fricción adecuada con el pavimento. Dependiendo del tipo de bicicleta, el neumático podrá ser más ancho o más delgado y con más o menos dibujos para otorgarle más agarre a la rueda. El neumático protege a la cámara de elementos que puedan ocasionar un pinchazo. Existen neumáticos tubeless que no utilizan cámara de aire y que es un sistema donde la llanta y el neumático logran un sello hermético. Generalmente son más caras, y su montaje es más lento. También, existen alternativa en el mercado de neumáticos macizos que no utilizan aire.
- Cámara: Se ubica dentro del neumático y es quién almacena el aire de la rueda. Contiene una válvula para inflarla desde el exterior. Existen alternativas de líquidos sellantes que protegen a la cámara de pinchazos. En la figura 2.39 se observa un neumático junto a una cámara de bicicleta.



Figura 2.39: Neumático y cámara de una bicicleta

10. Frenos. Los sistemas de freno se clasifican en dos tipos: frenos de llanta y frenos de buje. El freno de llanta actúa por presión ejercida sobre ambos lados de la llanta, mientras que el freno de buje actúa por presión ejercida sobre éste. Los tipos de freno más comunes en bicicletas son [26]:

- Frenos v-brake: Son pastillas de goma o cuero que se montan sobre una zapata de metal y al apretarse ejercen presión sobre la llanta giratoria. Comúnmente se montan en ambas llantas de la bicicleta. Sus **ventajas** son su ligereza y relativamente bajo costo, mientras que su **desventaja** es que su desempeño se ve afectado por condiciones de lodo y humedad. Además, le ocasiona desgaste al aro, y en largos descensos puede ocasionar el pinchazo de la cámara por el excesivo roce. En la figura 2.40 se observa este tipo de freno.



Figura 2.40: Freno de llanta tipo v-brake

- Frenos de disco: Existen frenos de disco de accionamiento mecánico e hidráulico, donde este último ha tomado más fuerza en los últimos años. Al igual que el caso anterior, consiste en unas pastillas que presionan discos ubicados en los bujes de ambas ruedas. Sus **ventajas** son que ofrecen una mayor fuerza de frenado que el freno v-brake, además de que su desempeño no se ve afectado por factores climáticos. Sin embargo, dentro de sus **desventajas** se encuentra la dificultad de su ajuste, y su mayor costo y peso en comparación a los frenos v-brake. En la figura 2.41 se observa un sistema de freno de disco.

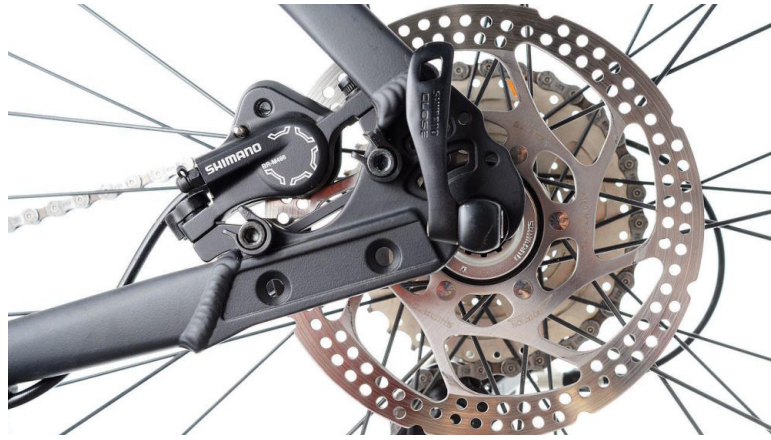


Figura 2.41: Freno de disco de bicicleta

2.4.4. Sistema de tracción

Está demostrado que el pedaleo es una de las formas más eficientes de transporte, pues al pedalear se usa aproximadamente la misma energía que para caminar, alcanzando velocidades hasta 3 veces mayores. Además, pedalear trae beneficios para la salud del usuario. Sin embargo, andar en bicicleta puede resultar agotador para quienes la utilicen como su herramienta de trabajo, para adultos mayores o para personas que movilizan carga. Es por esto, que muchas veces el usuario busca alternativas de asistencia al pedaleo. Actualmente, en Chile existe la asistencia al pedaleo mediante motores a combustión (denominados motores mosquito) y mediante motores eléctricos.

A continuación se realizará un breve análisis para determinar si es más limpio el uso de un motor eléctrico o un motor a combustión. Para eso, se determinará una distancia recorrida de 100 [km] para ambos motores.

Se consultó sobre el consumo de una serie de motores mosquitos donde aquel de menor consumo rinde 100 [km/L] [4], se asume una eficiencia del 100 %.

Si se utiliza un motor eléctrico que alcanza una velocidad máxima de 25 [km/h], entonces a las 4 [h] habrá recorrido 100 [km]. Si el motor es de 250 [W], requerirá 1000 [Wh] de energía para operar durante 4 [h]. Si se asume una eficiencia del 85 % para el motor y para la batería, entonces se tiene una eficiencia del 72,25 % del sistema total. Luego, se requieren 1,384 [kWh] de energía. La base de datos de Idemat contiene el eco indicador para el consumo energético de la red eléctrica chilena. A partir de eso, se obtiene lo observado en la figura 2.42

	Material o proceso	Cantidad	Unidad BD	Nombre BD	Kg-CO2-eq por unidad	Pt por Unidad	Kg-CO2-eq total	Pt total
100 km	Energía eléctrica	1,384	kWh	Electricity, production mix CL aprox	0,035	0,003	0,04846495	0,0044679
	Gasolina	1,5	kg	Idemat2012 Petrol including combustion	3,900	0,108	5,84966411	0,16215267

Figura 2.42: Comparación del impacto ambiental por 100 [km] recorridos con motor a combustión y motor eléctrico

Se observa que tanto el Pt total como los kilogramos de CO_2 equivalentes emitidos por el consumo de combustible son significativamente mayores que para el consumo de energía eléctrica, aún cuando se consideró una eficiencia del 100 % para el primer caso. En tanto, se estimó que el proceso más relevante en el caso de los motores correspondía al de su uso, mientras que en el uso de materiales o en su fin de vida deben presentar impactos similares.

Con este breve análisis se puede confirmar que el uso de un motor eléctrico pretende ser más limpio que el motor a combustión. Además, permite una mayor flexibilidad horaria en el tránsito del vehículo por el centro de Santiago según se vio en la introducción.

2.4.5. Sistema eléctrico

El presente capítulo tratará sobre los componentes presentes en el sistema eléctrico de una bicicleta.

1. Motor. El motor eléctrico convierte energía eléctrica en energía mecánica de rotación mediante campos magnéticos generados por sus bobinas. Puede funcionar por fuentes de corriente alterna (como la de la red domiciliaria) o corriente continua (como una batería). Los motores que funcionan con fuentes de corriente continua pueden ser con o sin escobilla. A continuación se observa una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de cada tipo de motor.

Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de un motor con escobilla

	Ventajas	Desventajas
Motor con escobilla	Bajo costo	Ruidoso
	Requiere controlador simple y de bajo costo	Menor eficiencia (~75 %) Requiere mayor mantenimiento

Tabla 2.2: Ventajas y desventajas de un motor sin escobilla

	Ventajas	Desventajas
Motor sin escobilla	Mayor eficiencia (~85 %) Requiere menor mantenimiento Silencioso Admite mayores velocidades	Alto costo Requiere controlador más complejo y costoso

Las bicicletas con asistencia eléctrica suelen utilizar motores de 250 [W] y alcanzar una velocidad de 25 [km/h]. Debido a que las bicicletas no tienen espacio de sobra para montar un motor, se han creado motores especiales para bicicletas ubicados en sus ruedas o pedales. Existen 3 diferentes tipos de motor para bicicleta:

- Motor en el eje: Consiste en un motor que se ubica al centro de la rueda. Sus principales ventajas son su bajo costo debido a su creciente popularidad, y su baja necesidad de mantenimiento. Tienden a provocar una inestabilidad en la bicicleta debido a su peso. Existen motores de eje delantero y de eje trasero, en el caso de los motores de eje delantero, su funcionamiento es independiente al del pedaleo ya que no existe una conexión con la cadena, por lo que la asistencia al pedaleo es mediante un sensor de cadencia (sensor que detecta la frecuencia de pedaleo) que no funciona con mucha precisión. Los motores de eje delantero suelen tener menor tracción debido a que la mayor parte del peso se encuentra en la parte trasera de la bicicleta. En la figura 2.43 se observa un motor de eje trasero.



Figura 2.43: Motor de eje trasero

- Motor "mid-drive": Es un motor que se ubica en la caja de pedaleo de la bicicleta y que se conecta directamente con la cadena, por lo que su funcionamiento es en conjunto con el del pedaleo. Su mayor ventaja es que está directamente conectado a los cambios de la bicicleta, por lo que se trata de un motor que incluye los mismos cambios de velocidades que el vehículo. En este sentido, un motor mid-drive podrá subir colinas con una mayores pendientes que un motor ubicado en el eje de la rueda, mientras se ubique en un cambio bajo, evitando su sobrecalentamiento. Además, su peso no provoca una inestabilidad a la bicicleta debido a que se encuentra en el centro. Sin embargo, tienden a ser sistemas más complicados al estar insertos dentro de la bicicleta, por lo que son más costosos. Además, al tratarse de sistemas más complejos, tienen mayores puntos de falla. Finalmente, los motores mid-drive someten a la cadena a mucho esfuerzo, por lo que ésta tiende a romperse. En la figura 2.44 se observa un motor mid-drive.



Figura 2.44: Motor mid-drive

2. Sistema de almacenamiento energético. Las baterías tienden a ser el punto crítico de un vehículo motorizado eléctricamente. Un alto almacenamiento energético trae consigo un elevado costo y un significativo aumento en el peso y tamaño del vehículo, por lo que es necesario buscar un balance entre estos factores. Las características importantes en la batería de un vehículo son principalmente su tensión y capacidad de carga. La tensión determina la cantidad de trabajo que puede realizar la batería. Las bicicletas eléctricas suelen usar baterías de 24[V] o 36[V], llegando algunas a alcanzar los 48[V], dependiendo del uso que se le dé al vehículo. La capacidad de carga determina por cuánto tiempo la batería puede suministrar carga. Este parámetro varía más entre las bicicletas eléctricas (sobre todo las de carga) pero puede ir entre los 15 [Ah] y los 60 [Ah].

Las baterías más usadas en vehículos eléctricos son las de plomo y las de litio, aún que estas últimas han tomado un mayor protagonismo en el último tiempo debido a que poseen una mayor densidad energética, es decir que puede almacenar mayor energía en menos espacio y en menor peso. Además, las baterías de litio son hasta un 30% más eficientes que las de plomo, su vida útil es hasta 3 veces mayor, y pueden cargarse en mucho menos tiempo. Sin embargo, las baterías de plomo son económicamente más accesibles, no obstante, gracias a la creciente popularidad de los vehículos eléctricos, las baterías de litio han reducido su costo significativamente en el último tiempo.

3. Sistema de control. Se trata del cerebro de la bicicleta. A través de la señal recibida (que puede venir por parte de un acelerador o el propio pedaleo), se encarga de entregar la energía desde las baterías al motor. Es importante que se configure el controlador según si será activado por un acelerador o por el pedaleo, en caso de ser lo segundo, se debe configurar la potencia que debe entregar según la fuerza ejercida por el usuario. Además, el controlador debe encargarse de no sobre estresar las baterías ni sobrecargar el motor.

2.4.6. Factor de seguridad

El factor de seguridad indica la capacidad en exceso que tiene un sistema por sobre sus requerimientos en base a los esfuerzos a los que será sometido. Es decir que una estructura con un factor de seguridad igual a 1 soportará solamente la carga para la que fue diseñada y no más. Muchas estructuras están sobredimensionadas para obtener un factor de seguridad alto y así asegurar que el sistema no falle en caso de cargas inesperadas ya que su falla podría tener consecuencias fatales. Sin embargo, el sobre dimensionamiento de una estructura significa un costo monetario excesivo y un uso de recursos extra. Es por esto, que los factores de seguridad se definen en base a las consecuencias que podría significar la falla del sistema, el costo monetario de sobre dimensionarlo, los requerimientos que podría tener el producto con respecto a su peso, el material utilizado (en caso de ser un material frágil, se utiliza un factor de seguridad mayor), etc. Por ejemplo, un estanque a alta presión tiene un factor de seguridad entre 3,5 y 4, mientras que los aviones tienen factores de seguridad entre 1,2 y 3 debido a que un peso demasiado elevado podría significar que el avión no despegue [19].

Un buen criterio para definir el factor de seguridad de un diseño es el siguiente:

- Factor de seguridad entre 1,2 y 1,5: Para materiales de alta confiabilidad que no están sometidos a esfuerzos excesivos ni condiciones ambientales extremas, y donde el peso es una variable importante.
- Factor de seguridad entre 1,5 y 2: Para materiales de alta confiabilidad que no están sometidos a esfuerzos excesivos ni condiciones ambientales extremas pero donde el peso no es una variable muy importante.
- Factor de seguridad entre 2 y 2,5: Para materiales comunes que no están sometidos a esfuerzos excesivos ni condiciones ambientales extremas.
- Factor de seguridad entre 2,5 y 3: Para materiales frágiles que no están sometidos a esfuerzos excesivos ni condiciones ambientales extremas.
- Factor de seguridad entre 3 y 4: Para materiales cuyas propiedades no son confiables, que no están sometidos a esfuerzos excesivos ni condiciones ambientales extremas, o para materiales de alta confiabilidad sometidos a esfuerzos excesivos o a condiciones ambientales extremas.

Capítulo 3

Metodología

En el capítulo de antecedentes, se resumen los pasos a seguir para realizar un análisis de ciclo de vida, junto con ecodiseñar y realizar un proceso de design thinking. En el siguiente capítulo, se detallarán los pasos concretos que se realizaron en el desarrollo del trabajo de memoria.

3.1. Análisis de ciclo de vida

Antes de comenzar la etapa de diseño, se realizaron dos ACV's de productos similares a lo que se busca diseñar con el objetivo de conocer los puntos débiles del producto en términos medio ambientales. Es decir, dentro de las etapas del producto, ¿qué es lo que tiene un mayor impacto para el medio ambiente y por qué? Sabiendo esto, se puede buscar la forma de atacar estas etapas. Por ejemplo, si se detecta un alto impacto asociado al transporte porque se trata de un producto cuyas materias primas vienen del extranjero, entonces se puede buscar una materia prima local, o en caso de que los materiales del producto no sean reciclables se puede buscar un reemplazo del material. Existen muchas formas de disminuir el impacto ambiental de un producto, y por eso es necesario conocer las oportunidades de mejora. El análisis de ciclo de vida se realizó con la base de datos de **Idemat** la cual entrega los kg de CO_2 equivalentes emitidos por la producción de un producto o proceso, junto con los eco indicadores ReCiPe o Punto/Milipunto (Pt), eco indicador que representa una centésima parte del impacto ambiental que genera un europeo promedio, tomando en cuenta múltiples factores tales como la emisión de gases de efecto invernadero, los daños a la salud humana, la destrucción de la capa de ozono, entre otros.

El primer producto analizado fue una bici cargo (figura 3.1) proporcionada por Sergio Guzmán (fabricada por él), quién aceptó que la bicicleta fuese desarmada para conocer sus componentes y peso de cada uno de éstos.



Figura 3.1: Bici cargo utilizada para primer análisis de ciclo de vida

Se desarmó la bicicleta para conocer cada uno de sus componentes, los cuales fueron pesados y se reconoció el material de cada uno de ellos, para identificar el eco indicador asociado a cada material, proceso de manufactura, distribución, uso y fin de vida del producto en la base de datos de Idemat. Para conocer cada una de las etapas se debió hablar con el fabricante y también asumir algunas cosas. Se asumió por ejemplo, un año de uso del producto. Los principales conocimientos de cada etapa se resumen a continuación:

- **Materiales:** Para los materiales se contó con la bicicleta para ser desarmada y pesada. Una vez obtenido el eco indicador de cada uno de los materiales, se debió considerar que cada uno de ellos pasó por un proceso de manufactura. Para efectos de las piezas, se consideró el eco indicador "proceso de manufactura en acero." "proceso de manufactura en aluminio", que es un indicador genérico que se pondera por el peso de la pieza. Esto, porque es una buena aproximación que ahorra el trabajo de analizar los proceso de manufactura de cada una de las piezas de la bicicleta. El peso de cada pieza debe ser ponderado por su eco indicador.
- **Procesos:** Para conocer los procesos asociados a la fabricación de la bicicleta se conversó con su dueño (y fabricante). Así, se supo el tipo de soldadura, los tiempos de mecanizado de las piezas y el tipo de pintura. Con los largos de los cordones de soldadura y la superficie pintada se pudo ponderar los eco indicadores asociados a la soldadura y pintura electrostática realizada en horno de curado por su metraje y superficie respectivamente. Con los tiempos de maquinado se pudo ponderar el eco indicador por los [kWh] consumidos en el proceso.

- **Distribución:** Nuevamente, para conocer la distribución asociada a la fabricación de bicicletas se consultó al dueño, quién informó sobre el recorrido realizado para la compra de piezas e insumos. Con la distancia y pesos de las piezas se usa el eco indicador asociado a la bencina que utiliza el vehículo. El eco indicador también depende del peso del producto trasladado y usa una unidad denominada tkm (tonelada por kilómetro).
- **Uso:** Afortunadamente, la bici cargo no utiliza energía en su uso diario, por lo que su contaminación estaría asociada principalmente a su mantención. Como el tiempo del análisis fue de un año de uso, se asumió únicamente la lubricación de la cadena, por lo que el eco indicador viene asociado al aceite utilizado.
- **Fin de vida:** Para hacer el análisis del fin de vida de un producto, es necesario conocer el porcentaje de reciclaje que existe en el país de cada material del producto. En el caso de Chile, los porcentajes de reciclaje de materiales son los siguientes [1]:
 - Acero: Se recicla un 82 % del total producido.
 - Aluminio: Se recicla un 40 % del total producido.
 - Plástico: Se recicla un 4 % del total producido.
 - Caucho: Se recicla un 23 % del total producido.
 - Bronce: Se recicla un 3 % del total producido.

De esta forma, el eco indicador para el reciclaje del producto será diferente que aquel para el desecho del producto, por lo que se deberá ponderar el peso total del producto por su porcentaje reciclado y su porcentaje desechado.

Una vez completa la tabla del ciclo de vida del producto, se realiza un análisis y jerarquización. Aquí, se comparan las etapas, identificando los puntos críticos del modelo. Los resultados obtenidos se encuentran en el capítulo de resultados.

El siguiente producto a analizar se trató de un torito eléctrico de la marca Boji que se muestra en la figura 2.5. Este análisis fue un poco menos preciso debido a que fue imposible encontrar uno para desarmar, y los datos obtenidos fueron gracias a que la marca Boji permitió tomar todas las medidas del vehículo y pesar las piezas que tenían para repuestos. Además, este producto cuenta con muchos aparatos electrónicos por lo que se debió asumir un porcentaje de peso correspondiente al plástico y otro a cables y circuito impreso de cada aparato. El proceso fue similar al anterior, sin embargo, como sólo se tenía el peso total del producto (entregado por fabricante), y no se contaba con una pesa industrial, el peso de la carrocería se debió calcular con las medidas obtenidas y la densidad de los materiales.

Además, este producto, al tratarse de un vehículo eléctrico, su uso si implica una carga ambiental, por lo que se debió asumir un tiempo de uso que se ponderó por el eco indicador de consumo eléctrico en Chile. Finalmente, como se trata de un producto traído desde China, se debió considerar el transporte en barco desde allá hasta el punto de venta. En el anexo se muestran las tablas con todos las etapas del producto y su eco indicador. Los resultados de este análisis se encuentran en el capítulo siguiente.

3.2. Design Thinking

El proceso de diseño requiere conocer las necesidades y dolores de los usuarios del producto. Es por esto, que se conversó con usuarios de bici cargo, triciclos de carga (típicos usados por recolectores) y triciclo de carga eléctricos (tipo toritos). Para esto, se preparó una encuesta adaptada a cada tipo de vehículo.

En el caso de las bici cargo, se conversó con dueños y trabajadores de la empresa muvs-mart (empresa dedicada a la repartición de paquetes en bicicleta, bici cargo y automóviles por Santiago). La empresa es carbono neutral, es decir que compensan la cantidad de carbono emitido por sus vehículos mediante la plantación de árboles al sur de Chile. También se siguió a una de sus trabajadoras usuario de una bici cargo a lo largo de sus horas de trabajo para conocer las dificultades con las que se enfrenta en su trayecto. Además de esto, se conversó con el dueño de la panadería Almita, que reparte sus productos en bici cargo, y con conocidos que utilizan este vehículo para el transporte de sus hijos o para hacer compras de supermercado.

Para los triciclos de la figura 2.6 (triciclo de recolector), se fue a la Vega central y a patronato a conversar con usuarios de este tipo de vehículos. Los principales usuarios fueron repartidores de frutas y verduras y vendedores ambulantes.

En el caso de los triciclos de carga eléctricos tipo torito, se entrevistó a vendedores ambulantes. Se conversó con un vendedor de libros que transporta sus libros a diario, con un vendedor de jugos naturales que va a la vega a comprar su fruta, y con un vendedor de un kiosco a las afueras de la (ex) estación de metro Baquedano que vende su mercancía desde el mismo vehículo.

A partir de los requisitos ambientales y de diseño, se comenzó por hacer una lluvia de ideas con elementos, materiales y formas que podría tener el vehículo. Conociendo las ventajas y desventajas de cada material y sistema de tracción (a pedal, con asistencia eléctrica, y 100% motorizados), y conociendo también las necesidades del usuario y las alternativas existentes en

Chile, se comenzó por hacer dibujos a mano alzada y maquetas en miniatura para encontrar una configuración adecuada de la carga y la posición del usuario. Después de definir una forma del vehículo en base a modelos existentes, el material y el sistema de tracción, es necesario definir las medidas, y configuración (posición de las baterías por ejemplo).

3.2.1. Proceso de diseño

El diseño del vehículo se realizó en base a modelos existentes y a los requisitos de diseño. Sin embargo, para la toma de algunas decisiones, se usó una matriz de decisión (por ejemplo, para decidir sobre una propuesta por sobre otra). Las dimensiones del diseño se hicieron en base a las dimensiones estándar de una bicicleta y se tomó como referencia la estatura promedio de los chilenos para la elección de la talla. Con respecto a la sección de carga, sus dimensiones se definieron a partir de las medidas de las ciclovías en Santiago y se tomó como referencia modelos existentes en el mercado, además de tomar en cuenta los requisitos de los usuarios. El cuerpo del vehículo se diseñó en el programa Fusion 360, donde además se diseñó algunas piezas complementarias al vehículo. Los componentes de la bicicleta como horquilla, freno de disco, y ruedas, se descargaron de la página GrabCAD y se ensamblaron al diseño.

3.2.1.1. Dimensionamiento

Las dimensiones de un marco de bicicleta tradicional se encuentran estandarizadas y dependen de la talla de la bicicleta. A su vez, la talla de la bicicleta depende fuertemente de la estatura del usuario. En Chile, la estatura promedio es de 165 [cm]. La figura 3.2 indica las tallas de bicicleta según la altura del usuario. La figura 3.2 muestra las dimensiones de un marco de bicicleta tradicional según la talla.

TÚ MIDES	TALLA CARRETERA (EN CMS.)	TALLA MONTAÑA (EN PULGADAS)	TALLA GENÉRICA
De 1,55 a 1,60	47-48-49	14-15	XS
De 1,60 a 1,65	49-50-51	15-16	S
De 1,65 a 1,70	51-52-53	16-17	S
De 1,70 a 1,75	53-54-55	17-18	M
De 1,75 a 1,80	55-56-57	18-19	M
De 1,80 a 1,85	57-58-59	19-20	L
De 1,85 a 1,90	59-60-61	20-21	L
+1,90	+61	+22	XL

Figura 3.2: Talla de bicicleta según estatura [30]

La figura 3.3 indica las dimensiones del marco de bicicleta según la talla. Para efectos de este trabajo, se diseñará una bicicleta de talla 52, en base a la altura promedio en Chile.

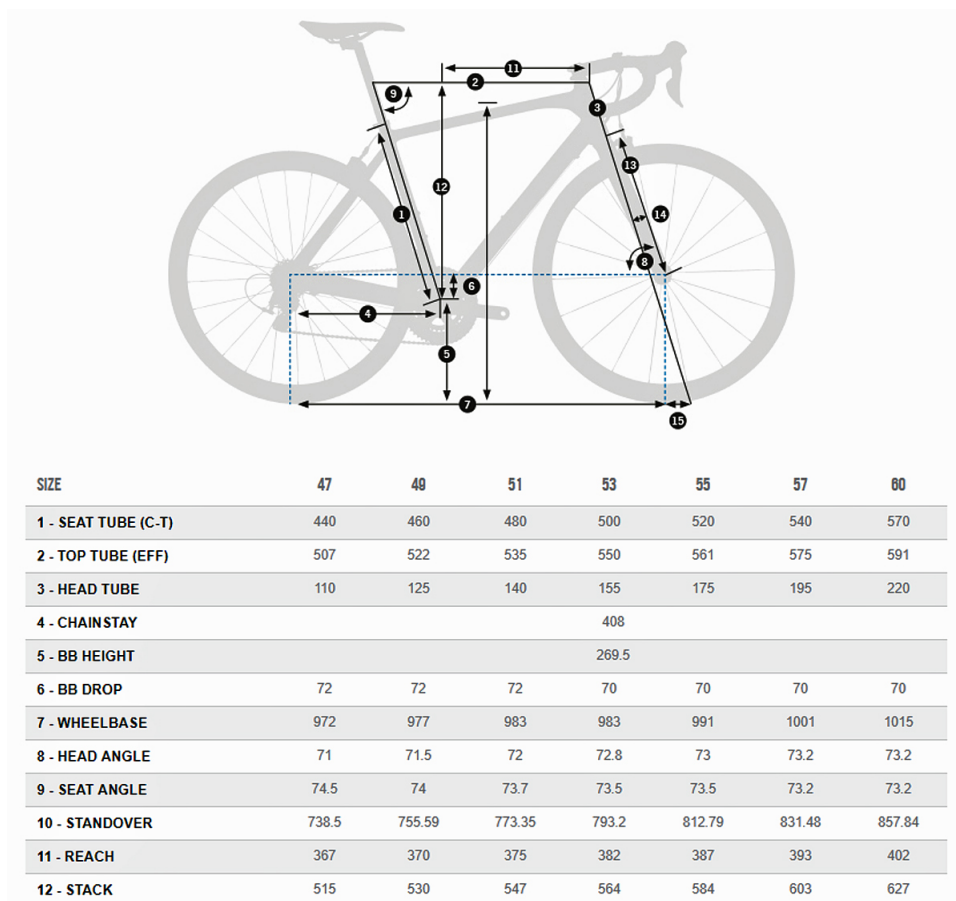


Figura 3.3: Dimensiones de bicicleta según talla [6]

Con respecto a las medidas de la sección de carga, éstas fueron definidas en base a los requisitos de diseño. No obstante, se tomó como referencia las dimensiones de las ciclovías de Santiago. En mayo del 2014, el gobierno anunció el nuevo plan de ciclovías, cuyo objetivo es mejorar las condiciones de seguridad y comodidad en la infraestructura de las nuevas ciclovías. Frente a esto, se definió un ancho mínimo de 240 [cm] para ciclovías bidireccionales, y de 180 [cm] para aquellas que sean unidireccionales. Sin embargo, si no existen las condiciones para dichas dimensiones, entonces el ancho mínimo será de 200 [cm] para ciclovías de doble sentido, y de 100 [cm] para aquellas de un sólo sentido [2].

3.2.2. Análisis estructural

Con respecto a las pruebas estructurales, éstas se realizaron en el software de análisis de elementos finitos Ansys, donde se definió el material colihue con las propiedades vistas en antecedentes. Sin embargo, el colihue se trata de un material anisotrópico y la complejidad de estudio de estos materiales supera los conocimientos que se poseen, y su estudio exceden los alcances de este trabajo. Es por esto, que se estudió como un material isotrópico, que se trata de una buena aproximación debido a que las barras de colihue en el vehículo se

someten principalmente a esfuerzos de compresión y tracción en su eje longitudinal y no en el eje transversal.

Para el análisis estructural, se consideraron 2 casos estáticos: el primero consistió en las fuerzas ejercidas por el usuario pedaleando sentado con 100 [kg] en la zona de carga, y el segundo caso considerando al usuario pedaleando de pie y con 100 [kg] en la zona de carga. En ambos casos se definió un apoyo fijo en ambas ruedas traseras y un apoyo deslizante en la rueda delantera. Los dos casos se grafican en la figura 3.4 [14] [13].

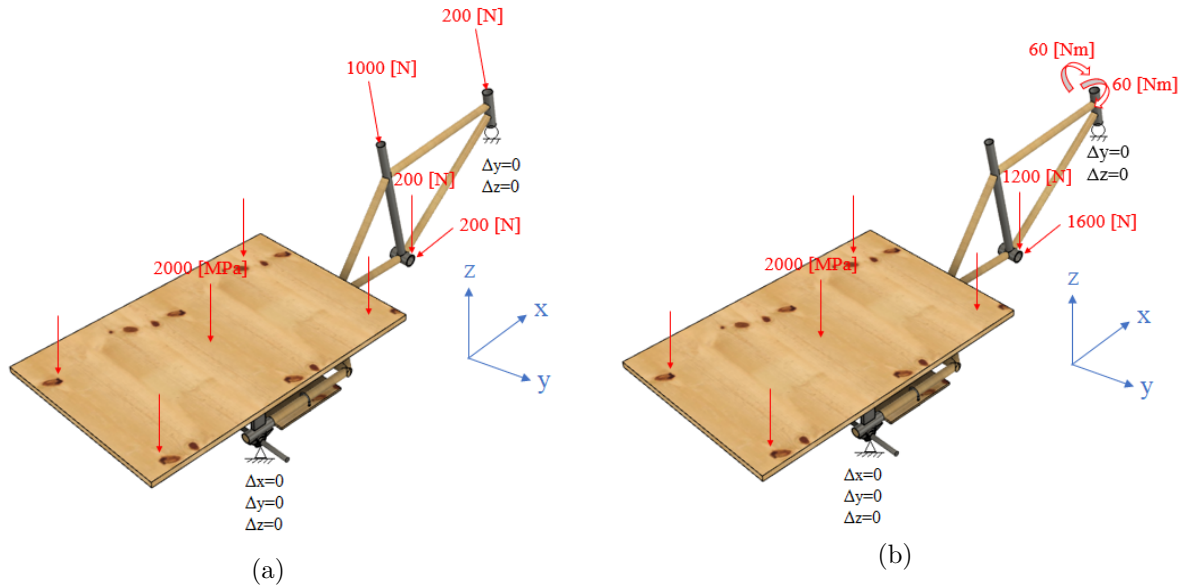


Figura 3.4: Simulaciones estáticas 3.4a Caso 1: Usuario sentado en sillín
3.4b Caso 2: Usuario pedaleando parado.

Además, se analizaron 3 casos dinámicos: los dos primeros se trataron de esfuerzos en las ruedas delanteras y traseras para simular un bache, y el tercero se basó en la toma de una curva. Para este último, se estimó una fuerza ejercida en el centro de gravedad del vehículo mediante la ecuación $F = \frac{W V^2}{g R}$, donde F corresponde a la fuerza centrífuga, W al peso total del vehículo, V la velocidad tangencial y R el radio de curvatura. Los valores asignados fueron los siguientes:

- $W = 300 \text{ [kg]} = 3000 \text{ [N]}$
- $V = 10 \text{ [km/h]} = 2,778 \text{ [m/s]}$
- $g = 9,8 \text{ [m/s}^2]$
- $R = 3 \text{ [m]}$
- $F = 790 \text{ [N]}$

Las distintas situaciones se observan en las figuras 3.5 y 3.6 [14] [3].

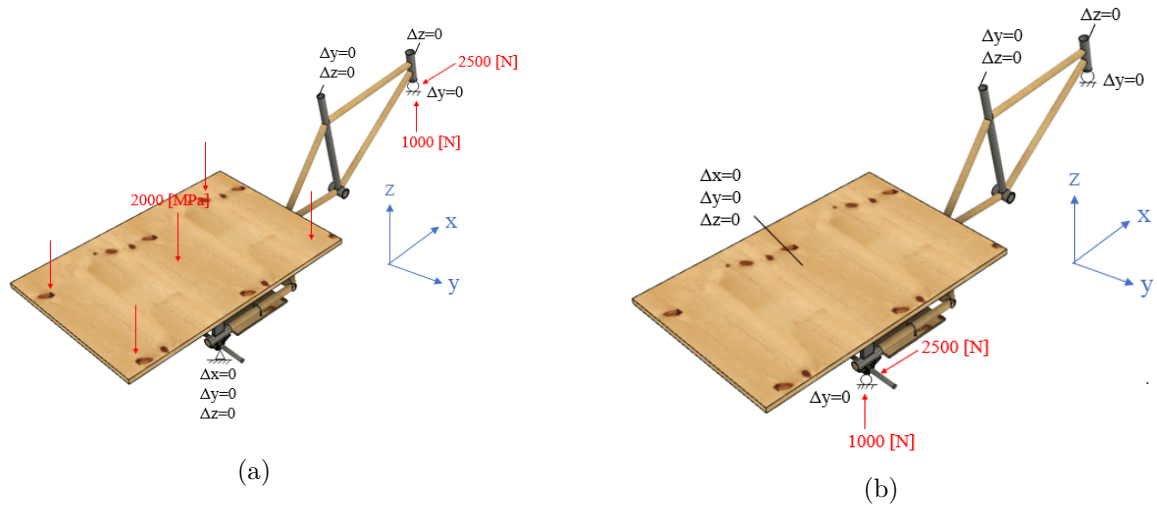


Figura 3.5: Simulaciones dinámicas 3.4a Caso 3: Bache en rueda delantera 3.4b Caso 4: Bache en rueda trasera.

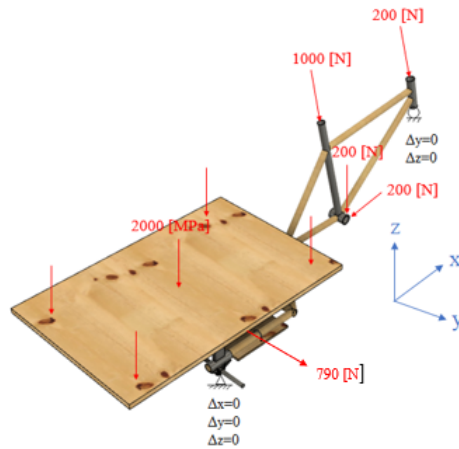


Figura 3.6: Simulación dinámica para giro del vehículo

Además, se obtuvo la carga límite que se puede montar en la zona de carga, donde se incrementó la presión ejercida en la zona de carga, hasta obtener un factor de seguridad menor a 1 en alguna zona del vehículo.

Sin embargo, antes de obtener resultados se debió llegar a una convergencia de la malla. Para esto, se refinó la malla hasta obtener un esfuerzo máximo y factor de seguridad constante en los puntos de mayor esfuerzo. Una vez convergida la malla, se pudieron analizar todos los casos descritos.

Capítulo 4

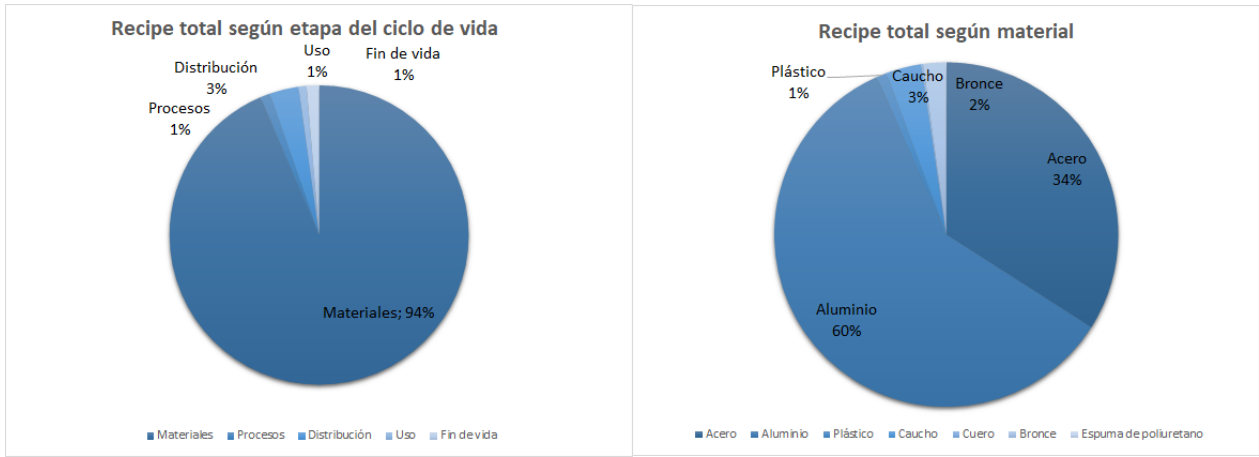
Resultados

4.1. Análisis de ciclo de vida bici cargo

La tabla 4.1 resume el impacto ambiental según etapa de ciclo de vida para la bici cargo. Los gráficos de impacto ambiental asociado a las distintas etapas del ciclo de vida de la **bici cargo** se observan entre la figura ?? y ??.

Tabla 4.1: Resultado análisis de ciclo de vida bici cargo

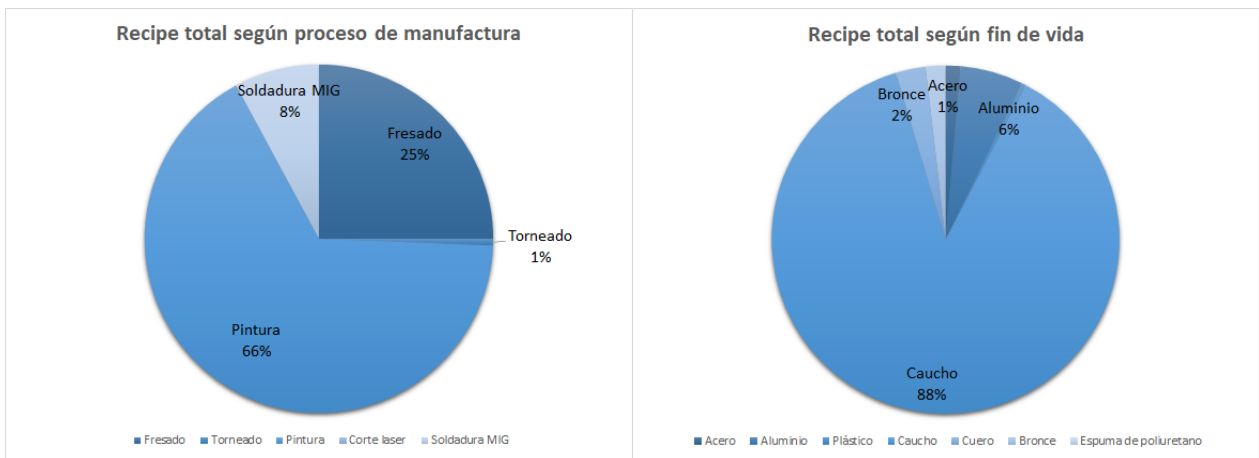
Etapas ciclo de vida	Kg-CO2-eq total	Pt total
Materiales	125,221	12,645
Procesos	6,119	0,144
Distribución	3,293	0,424
Uso	0,456	0,116
Fin de vida	4,816	0,564
TOTAL	139,905	13,893



(a)

(b)

Figura 4.1: Impacto ambiental bici cargo según 4.1a etapa del ciclo de vida 4.1b materiales.



(a)

(b)

Figura 4.2: Impacto ambiental bici cargo según 4.2a procesos de manufactura 4.2b fin de vida.

Los principales hallazgos del análisis de ciclo de vida de la bici cargo son los siguientes:

1. La etapa más crítica es la de materiales, seguida por el fin de vida.
2. Los materiales con mayor carga ambiental son el acero y aluminio. Se observa que el eco indicador del acero es considerablemente menor que el del aluminio (0,289 vs. 0,606 por unidad), sin embargo el acero tiende a ser más pesado, y como el eco indicador se pondera por el peso de la pieza, el impacto del acero es alto (aun que menor que el del aluminio).
3. El caucho también presenta un alto impacto ambiental.
4. Dentro de los procesos de manufactura, la pintura es aquel con mayor impacto debido al alto consumo energético asociado al horno de curado. Le sigue el proceso de fresado.
5. En el fin de vida se observan valores negativos debido a que el reciclaje de un producto a veces "suma puntos".
6. El mayor impacto en la etapa de fin de vida viene dado por el caucho, seguido por el aluminio.

4.2. Análisis de ciclo de vida triciclo eléctrico

La tabla 4.2 resume el impacto ambiental según etapa de ciclo de vida para la bici cargo. Los gráficos de impacto ambiental asociado a las distintas etapas del ciclo de vida del **triciclo eléctrico** se observan entre la figura ?? y 4.5

Tabla 4.2: Resultados análisis de ciclo de vida triciclo eléctrico

Etapa ciclo de vida	Kg-CO2-eq total	Pt total
Materiales	404,719	53,607
Procesos	162,757	16,562
Distribución	39,481	4,583
Uso	61,640	5,757
Fin de vida	4,647	7,607
TOTAL	668,597	88,115

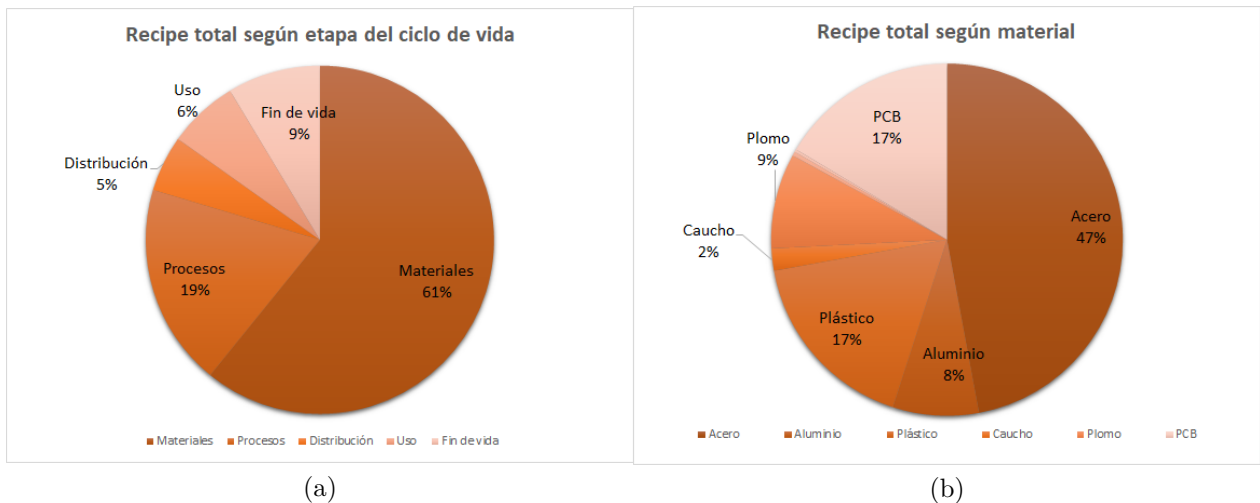


Figura 4.3: Impacto ambiental triciclo eléctrico según 4.3a etapa del ciclo de vida 4.3b materiales.

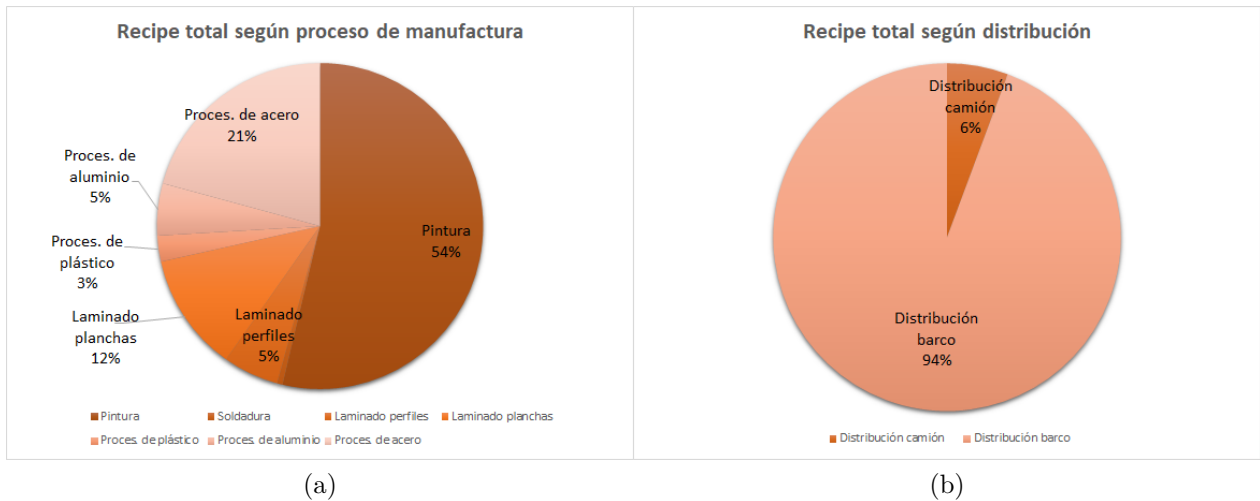


Figura 4.4: Impacto ambiental triciclo eléctrico según 4.4a proceso de manufactura 4.4b distribución.

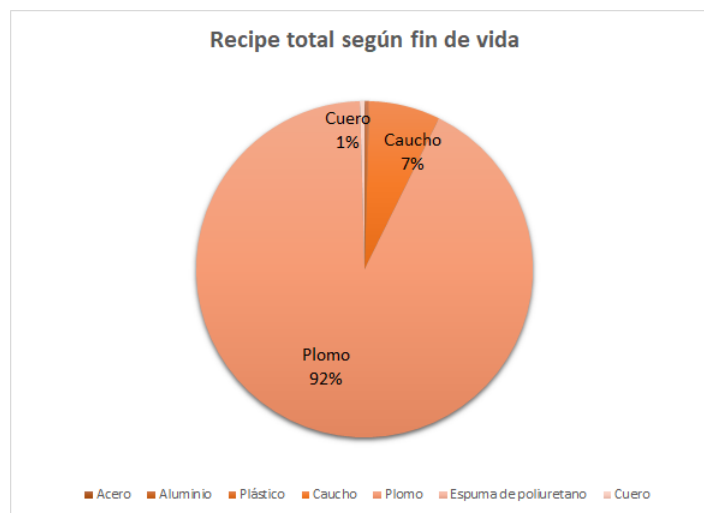


Figura 4.5: Impacto ambiental triciclo eléctrico según material en su fin de vida

Los principales hallazgos del análisis de ciclo de vida del triciclo eléctrico son los siguientes:

1. La etapa más crítica es la de materiales, seguida por los procesos de manufactura.
2. El exceso de acero en la carrocería del vehículo lo convierte en el material con mayor impacto ambiental, seguido por el plástico y el PCB (printed circuit board).
3. Debido a que la carrocería va completamente pintada con pintura de automóvil, el impacto ambiental del proceso es muy alto. Además, todos los procesos asociados a metales tienen una alta carga ambiental.
4. El viaje en barco desde China a Chile muestra un impacto mucho mayor en comparación al viaje en camión desde el puerto de Valparaíso a Santiago.
5. El mayor impacto en la etapa de fin de vida viene dado por el plomo (aún cuando su porcentaje de reciclaje en Chile es de 80 %). Esto debido a su elevado peso.

A continuación, se observa un gráfico comparativo de los análisis de ciclo de vida de la bici cargo y el triciclo eléctrico.

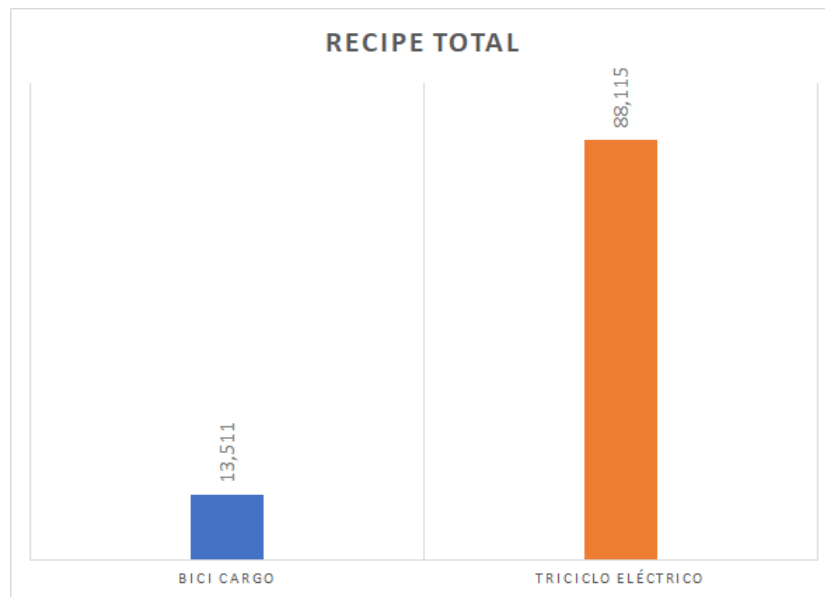


Figura 4.6: Comparación del pt total y kg de CO_2 equivalente para bici cargo y triciclo eléctrico

Se puede observar que el impacto ambiental del triciclo eléctrico es muy superior al de la bici cargo. Esto debido principalmente al sistema eléctrico que posee, y al exceso de metal que utiliza en el chasis y base de carga.

4.2.1. Criterios ambientales

A partir de los análisis de ciclo de vida realizados, nacen los requisitos ambientales del vehículo a diseñar, y son los siguientes:

1. Disminuir en lo más posible el uso de materiales (desmaterialización).
2. Priorizar materiales livianos y de bajo impacto.
3. Priorizar materiales de extracción y producción local.
4. Diseñar un producto duradero que no requiera reemplazo en un corto período de tiempo.
5. Evitar el uso de metales. Preferir el uso de acero (en una cantidad moderada) por sobre el uso de aluminio (tanto como por su eco indicador, su porcentaje de reciclaje en Chile, y el eco indicador de su fin de vida).
6. Evitar procesos de manufactura asociados a metales.
7. Evitar el proceso de pintura.
8. Priorizar materiales con alto porcentaje de reciclaje en Chile.
9. Evitar materiales electrónicos que requieran PCB.
10. Disminuir el uso de caucho, o buscar su eventual reutilización (proponer programa de devolución de neumáticos y cámaras para buscarles otro uso).
11. Buscar alternativas de almacenamiento energético (ion-litio por ejemplo).

4.3. Experiencia de los usuarios

De las entrevistas realizadas a usuarios de **bici cargo**, se rescataron las siguientes prioridades y observaciones:

1. Que pueda circular fácilmente y por el costado de los automóviles (o en ciclovías) para no verse afectado por el tráfico.
2. Que la carga vaya segura. Esto se refiere a que la carga no se caiga al andar, y que al dejar la bicicleta desatendida (como lo hacen los trabajadores de muvsmart al entregar un paquete), la carga no se pueda robar.
3. Gran capacidad volumétrica (mayor a la actual).
4. Que la capacidad sea flexible, es decir, que no se vea limitada por un cajón, si no que productos puedan desbordarse del espacio de carga.
5. Posibilidad de recorrer largas distancias y con pendiente sin la necesidad de usar un automóvil.
6. La carga suele amarrarse con cámaras de bicicleta viejas.
7. En el caso de la repartidora de muvsmart, existe una dificultad a la hora de cargar todas las cajas.
8. En el caso de la repartidora de muvsmart, el mayor tiempo perdido en la repartición de paquetes era al amarrar la bici con u-lock al realizar cada entrega.

La figura 4.7 muestra una bici cargo de muvsmart siendo cargada con paquetes.



Figura 4.7: Bici cargo de empresa mvster siendo cargada con paquetes antes de salir a repartir

En el caso de los usuarios de **triciclos de carga** se rescató lo siguiente:

1. Transportan mucho peso (superior a 200 kg).
2. Pagaron menos de 100.000 CLP por su vehículo.
3. Les preocupa la resistencia de sus ruedas porque las sienten frágiles.
4. Les preocupa que la carga se moje con lluvia.
5. Estacionan todas las noches su vehículo en una bodega cercana que les cobra 4.000 CLP semanalmente.

En la figura 4.8 se observa a un repartidor de fruta en la vega con su triciclo de carga.



Figura 4.8: Repartidor de frutas con su triciclo de carga

Para los usuarios de **triciclo de carga eléctrico** tipo torito, se destacan las siguientes observaciones:

1. Es prioridad conocer la carga de la batería en tiempo real para poder planificar sus viajes.
2. La vida útil de sus baterías es inferior a un año, y cada vez que deben cambiarlas gastan aproximadamente 350.000 CLP.
3. Les gustaría una mayor autonomía.
4. Transportan mucha carga (mayor a 200 kg).

En la figura 4.9 se observa el vehículo del usuario que se pone como kiosco a las afueras de la (ex) estación de metro Baquedano.



Figura 4.9: Triciclo eléctrico cargado con mercancía

4.3.1. Criterios de diseño determinados por el usuario

A partir de la observación y de las entrevistas realizadas, se establecen los siguientes requerimientos de diseño:

1. Que pueda transitar por ciclovía y por costado de autos.
2. Que exista la posibilidad de asegurar carga de caídas y robos.
3. Que la capacidad de carga sea flexible.
4. Que exista una asistencia eléctrica para facilitar el transporte de carga.
5. Que sea accesible económicamente.
6. Que tenga bajo costo de mantención.
7. Que aguante harta carga (> 100 kg).
8. Que usuario conozca el porcentaje de carga eléctrica del vehículo.
9. Que exista un sistema de bloqueo para evitar robo de la bicicleta.
10. Que sea ergonómico (adaptable a medidas del usuario para brindarle comodidad)
11. Que tenga un bajo impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

4.4. Proceso de diseño

Para el proceso de diseño, se estudiaron muchas alternativas existentes tanto en Chile como en otros países, profundizando en sus ventajas y desventajas, y acercándolas a las condiciones tanto climáticas como de infraestructura y oferta que existe en el país.

Se debieron tomar muchas decisiones tales como la posición de la carga, el tipo de tracción del vehículo, tipo de dirección del vehículo, etc. Las primeras decisiones tomadas fueron las siguientes:

- El vehículo será de carga trasera. Dentro de los usuarios de vehículos de carga, hay quienes prefieren la carga delantera para poder observar constantemente su producto (o en mucho casos, a sus hijos), y otros que prefieren la carga trasera debido a que permite un mayor volumen y una mayor maniobrabilidad. La decisión de la carga trasera se basa en otorgarle mayor estabilidad al vehículo con ayuda de la horquilla, y para permitir un mayor volumen de transporte sin perjudicar la visión del usuario.

- El vehículo contará con 3 ruedas. Si bien cada rueda posee un impacto ambiental no despreciable (tanto por la llanta como por el neumático y cámara de caucho), una tercera rueda le otorgará estabilidad al conductor y permitirá que el vehículo lo utilicen personas de todas las edades, ya que para conducir un vehículo de dos ruedas se requiere mayor agilidad y equilibrio,
- La tracción del vehículos será mediante pedales con asistencia eléctrica. El motivo de esta decisión se debe a que un vehículo de carga a pedales sin motor supone mucho esfuerzo físico para el usuario, impidiéndole muchas veces llegar a lugares con mayor pendiente y haciendo su recorrido más lento. Por otra parte, un vehículo eléctrico sin la posibilidad de pedalear, limita al usuario en caso de quedarse sin batería, además de que requiere un motor más potente (y por lo general más caro), acompañado de un almacenamiento energético mayor (lo que implica un mayor peso y costo del vehículo).
- El material utilizado para el chasis del vehículo (cuadro y base para carga) será colihue. Esta elección se basa en que el colihue es de producción local, ahorrando un proceso de distribución, además de poseer las siguientes características positivas para el medio ambiente [8]:
 1. Es una de las plantas con mayor capacidad de absorción de CO_2 en el mundo.
 2. Hay una alta disponibilidad de colihue en el sur de Chile.
 3. Es un recuperador de suelos. Protege organismos nutriendo la tierra y generando biomasa.
 4. Es de rápido crecimiento. Tarda 4 años en alcanzar su máxima capacidad estructural.

Según lo discutido en antecedentes, la resistencia específica a la tracción sería de 190 [MPa/g/cm³], superando a la del acero (130 [MPa/g/cm³]).

Además, al tratarse de un producto artesanal, no pasará por mucho procesos de manufactura que utilicen energía. Las uniones serán por tejido y recubrimiento de resina.

- La carga será recubierta mediante telas de material reutilizado. Esto protegerá la carga de la lluvia y caídas. Además, podrá ajustarse mediante amarras según el porcentaje de carga del vehículo. Al no usar una caja de carga, se permite el desborde de productos que a su vez pueden ser sujetos con la tela.
- Existirá un sistema de bloqueo del vehículo (por definir), para inhabilitar su uso en caso de dejarse estacionado.
- El ancho del vehículo no superará los 800 [mm] de ancho ya que el supuesto ancho de las ciclovías de Santiago es de 1000 [mm].

A partir de las decisiones tomadas, se proponen 2 diseños del vehículo.

1. **Diseño n°1:** Consiste en una bicicleta tradicional con carga trasera y de pedaleo asistido. El diseño se observa en las figuras 4.10 y 4.11.

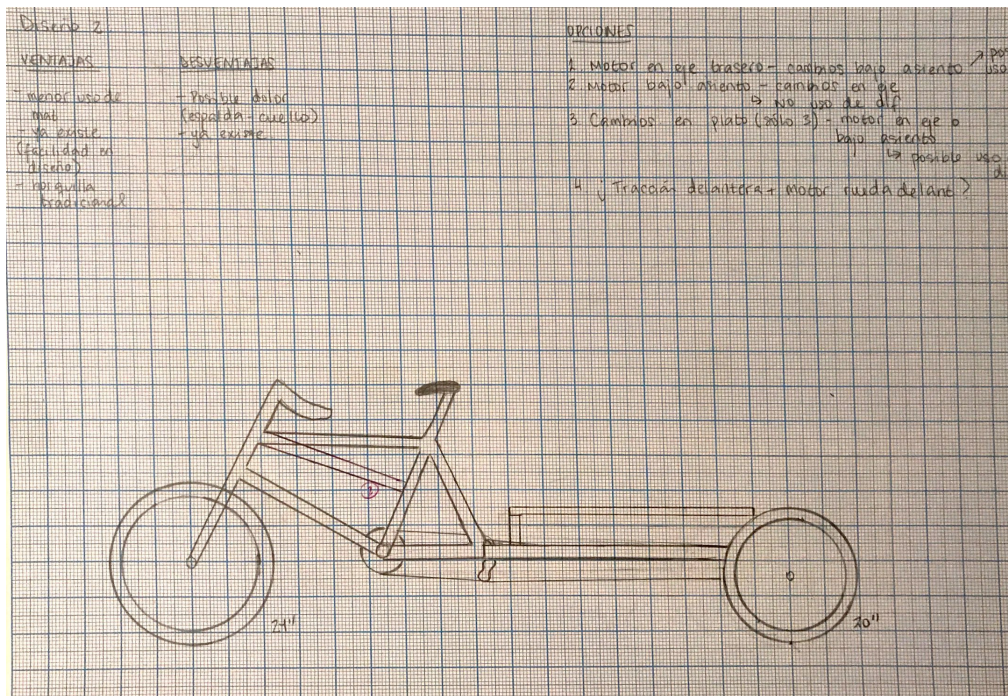


Figura 4.10: Diseño 1 vista de perfil

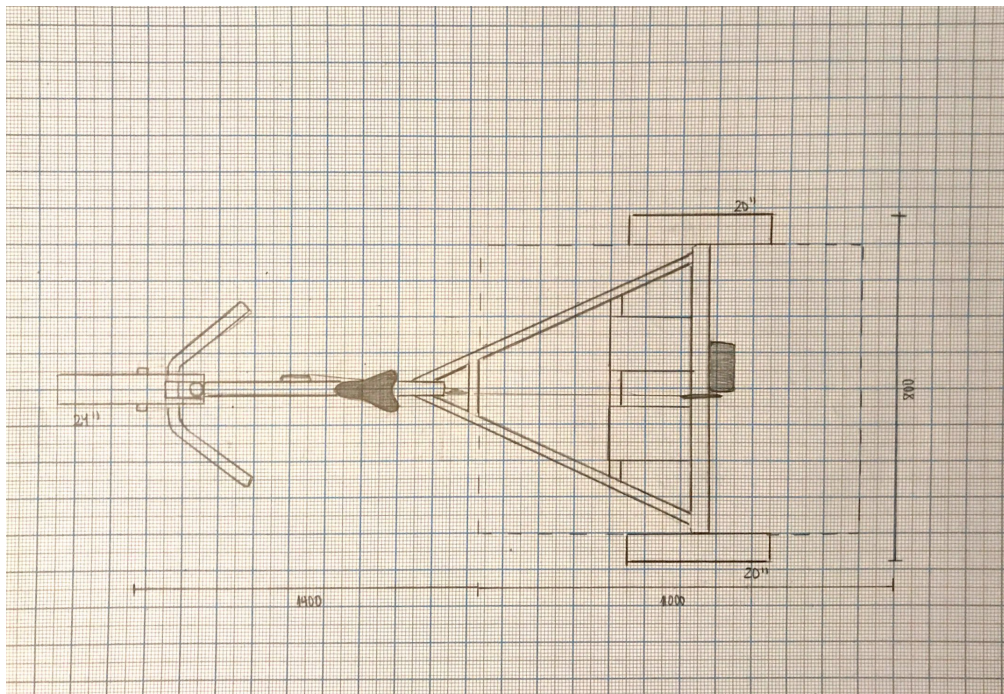


Figura 4.11: Diseño 1 vista desde arriba

2. **Diseño n°2:** Basado en el vehículo Bring de la marca Bayk, consiste en un vehículo de carga trasera con pedaleo asistido por un motor eléctrico, donde el usuario adopta una posición más reclinada que una bicicleta tradicional, otorgándole un pedaleo hacia adelante. El diseño se puede observar en las figuras 4.12 y 4.13.

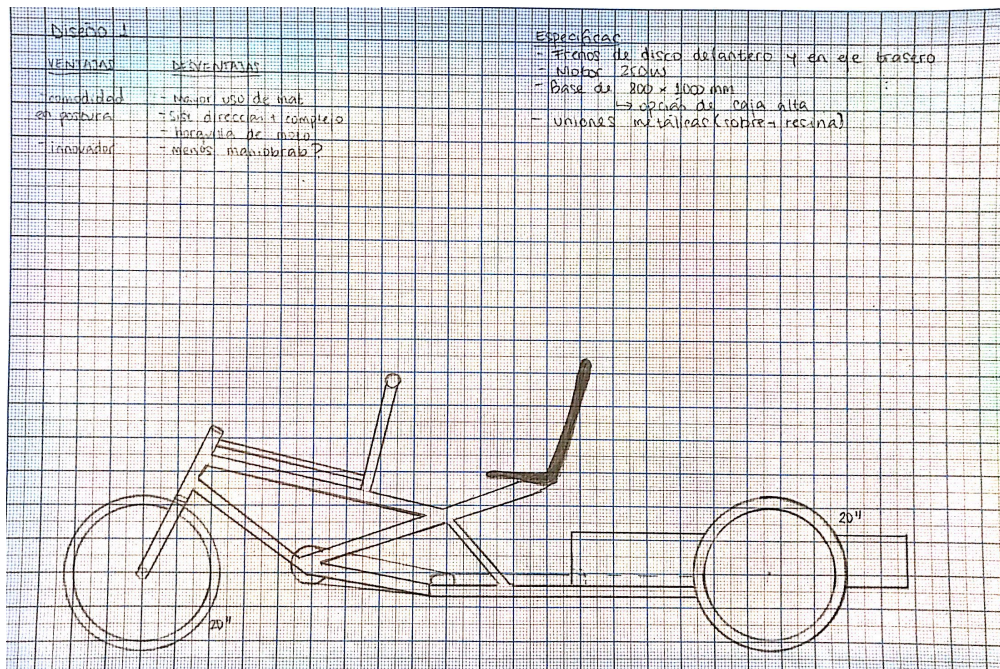


Figura 4.12: Diseño 2 vista de perfil

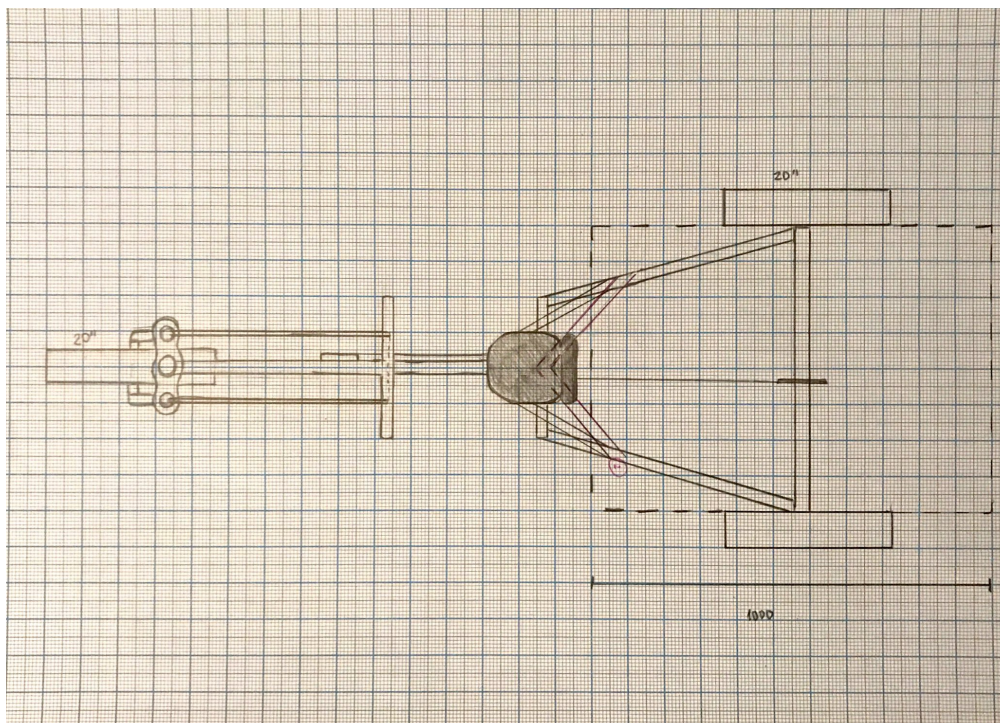


Figura 4.13: Diseño 2 vista desde arriba

Para tomar la decisión del diseño estructural del vehículo, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Material predominante de la estructura.
- Tipo de tracción (a pedal, con pedaleo asistido o 100 % eléctrica).
- Tamaño del motor.
- Velocidad máxima que permite el motor.
- Batería.
- Independencia de las baterías.
- Número de cambios o velocidades del vehículo.
- Capacidad de la carga.
- Dimensiones del vehículo.
- Cantidad de material requerido.
- Método y material de unión de las partes.
- Maniobrabilidad del vehículo.
- Estabilidad (con carga llena y vacía)
- Campo de visión
- Comodidad del usuario.

A partir de estos criterios, se crea una matriz de decisión, la cual se observa a continuación:




	Diseño 1: Bicicleta cargo tradicional con carga trasera	Diseño 2: Bicicleta cargo reclinada con carga trasera	Diseño 3: Scooter cargo con carga delantera (diseño en desarrollo)
Imagen referencial			
Materiales predominantes	Colihue para el cuadro, terciado para la caja de carga	Colihue para el cuadro, terciado para la caja de carga	Terciado principalmente
Tipo de tracción	Asistencia eléctrica (pedaleo + motor)	Asistencia eléctrica (pedaleo + motor)	Eléctrica
Motor	250 W	250 W	500 W mínimo
Velocidad	Hasta 25 [km/h]	Hasta 25 [km/h]	hasta 23 km/h
Baterías	48 [V] 15 [Ah]	48 [V] 15 [Ah]	48 [V] 15 [Ah]
Independencia	72 [km]	72 [km]	33 [km]
Número de cambios	1 x 3	1 x 3	2 velocidades
Capacidad de carga (mm)	650 [mm] (ancho) x 1000 [mm] (largo)	650 [mm] (ancho) x 1000 [mm] (largo)	650 [mm] (ancho) x 1000 [mm] (largo)
Dimensiones [mm] (largo)	800 [mm] (ancho) x 2400 [mm] (largo)	800 [mm] (ancho) x 3000 [mm] (largo)	800 [mm] (ancho) x 1500 [mm] (largo)
Número de neumáticos	3	3	3
Uso de material	Medio	Alto	Alto
Uniones	Tejido y resina	Tejido y resina	Pegamento
Maniobrabilidad	Buena	Media	Media
Estabilidad	Media	Alta	Media
Campo de visión	Medio	Malo	Bueno
Comodidad	Media	Alta	Alta
Puntaje	4	2	0

Figura 4.14: Matriz de decisión entre 3 ideas de diseño

Las celdas verdes le suman un punto al diseño, mientras que las rojas le restan un punto. Las celdas amarillas no restan ni suman.

Con la matriz de decisión lista, se obtiene que el diseño más conveniente en términos de sostenibilidad, comodidad y resistencia es el diseño n°1. Es importante destacar que el diseño n°2 posee una mayor estabilidad cuando la zona de carga está vacía, sin embargo, éste posee un menor campo de visión que el diseño n°1, entre otras desventajas que posee el segundo diseño frente al primero. Teniendo esto, se comienza el diseño CAD en el software Fusion 360 de la estructura. Con respecto al factor de seguridad objetivo, y considerando que el ecodiseño apunta a una desmaterialización, es decir, a un uso no excesivo de materiales, se define un factor de seguridad objetivo entre 1,5 y 2. Si bien el colihue no es un material confiable como el acero, no se trata de un material frágil ni poco explorado ya que hoy en día son múltiples las empresas que ofrecen bicicletas de bambú y colihue y que han demostrado fabricar productos confiables en base a múltiples testeos previos. Además, el vehículo no será sometido a condiciones ambientales extremas ni a esfuerzos excesivos, por lo que también será necesario establecer una carga y peso del usuario máximo. Finalmente, una falla de la estructura difícilmente podría significar un accidente fatal debido a las bajas velocidades a las que circula el vehículo, y sería de fácil arreglo.

4.4.1. Diseño CAD

Para el diseño de la estructura, se utilizó el software Fusion 360 en base a las dimensiones de una bicicleta tradicional vistas en antecedentes, y el espesor de los tubos de acero se definió de 1,5 [mm]. El diámetro de las barras de colihue es de 28 [mm] a priori. El ancho de la sección de carga se definió en base al ancho de las ciclovía de Santiago, donde el ancho mínimo corresponde a los 1000 [mm]. El eje trasero entonces, se define con un largo de 800 [mm] para asegurar el correcto tránsito, y con esto la base de carga se establece de 650 [mm] de ancho. El largo se hace tomando en cuenta que los usuarios buscan transportar el mayor volumen posible, pero sabiendo que un vehículo demasiado largo no les permitirá maniobrar correctamente el vehículo. De esta forma, se establece 1000 [mm] de largo para la zona de carga, donde el eje con las ruedas se ubicó a $2/3$ de la distancia total a partir del punto de unión entre la bicicleta y la zona de carga. Con esto, se obtiene un mayor volumen de carga en comparación a una bici cargo (cuya zona de carga es de 710 [mm] x 450 [mm]), y a un triciclo de carga (cuya zona de carga es de 600 [mm] x 720 [mm]). A continuación se presentan las vistas del diseño.

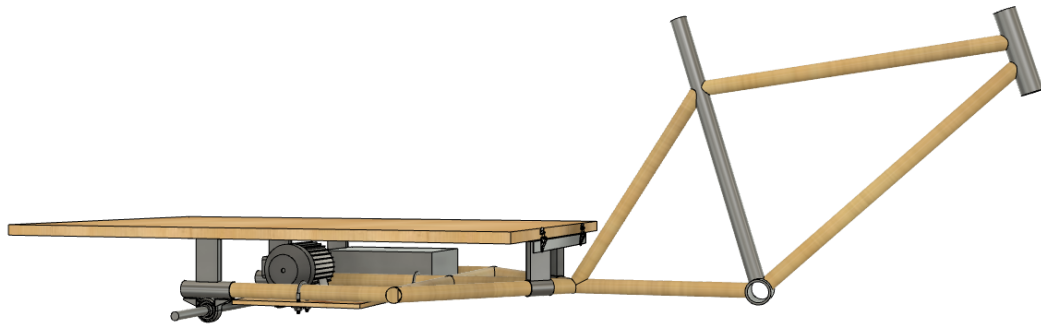
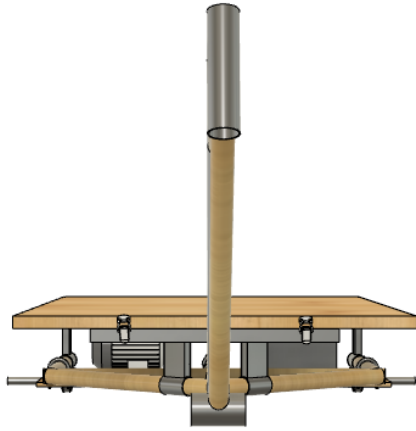
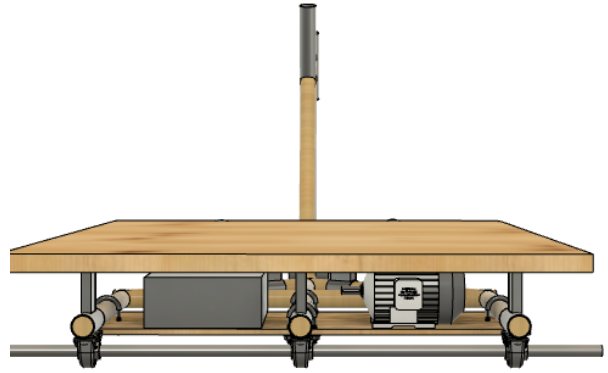


Figura 4.15: Vista isométrica del diseño



(a)



(b)

Figura 4.16: Vistas del diseño 4.16a desde el frente 4.16b desde atrás



Figura 4.17: Vistas del diseño 4.17a desde el arriba 4.17b desde abajo

El eje con las ruedas traseras se unió al chasis mediante rodamientos que van soldados en un cilindro de acero inoxidable que rodea las barras de colihue y que se unen a ellas mediante resina epoxy. A estos mismos cilindros se les une mediante soldadura por el otro lado unas estructuras encargadas de elevar la carga y que llevan soldadas unas bisagras que se apernan a la base de carga del vehículo. Esto, para que la base de carga pueda reclinarsse hacia atrás y así tener un fácil acceso a la batería y motor. Desde el eje opuesto de la base de carga, ésta se bloquea mediante pestillos. Todo esto se observa en las figuras 4.18 y 4.19.

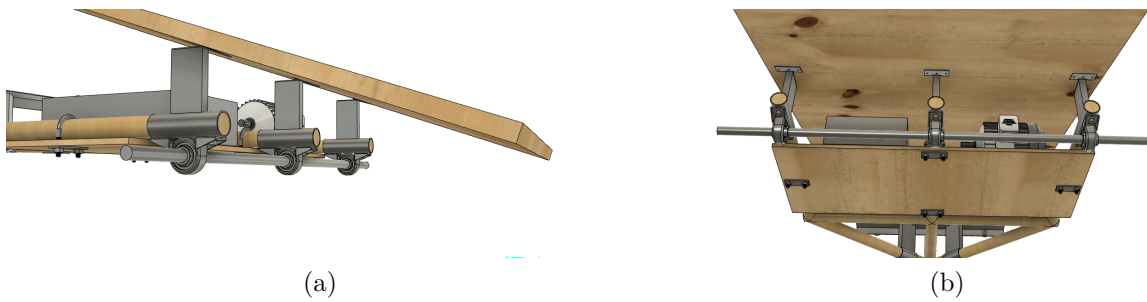


Figura 4.18: Parte trasera del vehículo 4.18a reclinamiento de la base de carga gracias a bisagras 4.18b bisagras y eje trasero visto desde atrás.



Figura 4.19: Pestillos de sujeción de plancha de carga

El tubo del sillín es de acero recubierto en pintura de poliuretano. Esto debido a que en él se debe insertar la tija del sillín, por lo que para utilizar colihue habría que perforarlo y esto podría perjudicar sus propiedades mecánicas.

La batería se ubicó entre la base de carga y el chasis del vehículo y se soporta en una base de terciado. El motor va a un lado de las baterías y se une con el eje mediante un piñón y una cadena. Esto se observa en la figura 4.20

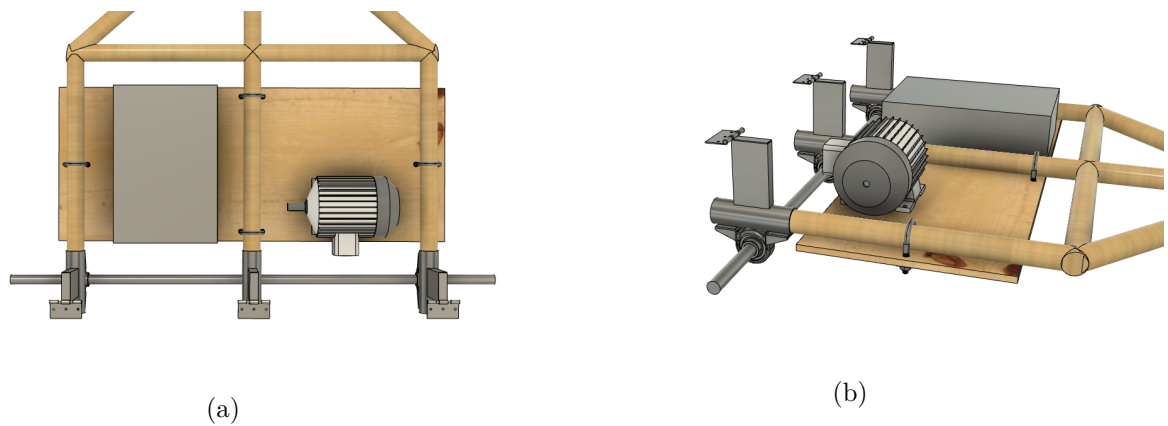


Figura 4.20: Posicionamiento baterías y motor 4.20a vista desde arriba 4.20b vista lateral

4.4.2. Selección de componentes

A continuación se presenta la selección de componentes del vehículo y su justificación. Esto para los componentes para los cuales existen múltiples opciones y no para componentes más bien estandarizados.

1. Horquilla: Se opta por una horquilla con amortiguación para soportar mejor las cargas del vehículo y brindarle comodidad al usuario.
2. Sistema de cambios: Se optó por agregar solamente 3 velocidades en el plato. Esto debido a que los cambios permiten al usuario trasladarse con más facilidad en diferentes pendientes, sin embargo, con la ayuda del motor se estima que no requiera más de 3 opciones de velocidades y agregar cambios en el piñón acomplejan el sistema, lo que podría conllevar una mayor mantención, y aumenta la probabilidad de que la cadena se salga o se atasque. Sin embargo, se agregó un tensor de cadena en la parte trasera del vehículo, antes de llegar al eje de las ruedas traseras.
3. Ruedas: Se utilizan 3 ruedas de 20". Las ruedas de 20" son las más pequeñas de las bicicletas para adulto y se tomó esta decisión para minimizar la cantidad de caucho y para mantener la carga lo más cercana al suelo posible para darle más estabilidad al vehículo.
4. Frenos: Se optó por frenos de disco hidráulico para lograr un mejor frenado (sobretudo debido al peso del vehículo). Habrá un freno en la rueda delantera y un freno en el eje trasero. Si bien se puede poner un disco en cada rueda trasera, no hay mucha diferencia y de esta forma se utiliza menos material.
5. Motor: Si bien existen motores eléctricos adaptados para bicicletas como los motores en el eje y los motores "mid-drive", se optó por un motor eléctrico tradicional debido a que en el caso de un vehículo de carga, existe el espacio para montar un motor eléctrico pequeño. Estos motores, al ser más comunes, es más fácil de realizarles mantención o incluso reemplazarlos de ser necesario. Además, se escogió un motor de 250 [w] sin escobilla debido a su mayor eficiencia y su menor mantenimiento.
6. Baterías: Se escogieron baterías de ión-litio debido a su mayor eficiencia y vida útil. La batería elegida es de 48 [V] y 15 Ah, y tiene una llave para prenderla y así evitar que sea robada. Además, irá rodeada por un seguro para evitar que se desplace con el movimiento y para evitar su robo.

Además de los componentes, se debieron tomar decisiones de diseño tales como los elementos presentes en el eje de las ruedas traseras. Se evaluó la posibilidad de incluir un diferencial

en el eje, sin embargo, un diferencial pequeño para triciclo de carga tiene un costo elevado y no es de reemplazo fácil en caso de falla. Es por esto, que se optó por dejar una rueda fija al eje con un piñón libre y la otra rueda libre para que tome una velocidad diferente en caso de viraje. Esto implica que haya tracción en una sola rueda y existe la posibilidad de que el vehículo tienda a virar, sin embargo, se espera que debido al tamaño pequeño del vehículo esto no suceda. Además, el eje también deberá tener dos piñones libres más; Uno para conectar el motor con el eje y el otro para conectar la cadena de los pedales. También se ubicará en el eje el freno de disco, y los rodamientos que unen el eje al chasis.

Respecto a la base de carga, se optó por dejar una base plana cubierta con lona reutilizada para no limitar el espacio de carga. Sin embargo, existe la posibilidad de agregar barandas a la base o bien convertirla en una caja cerrada. Ésta será de terciado marino de 12 [mm] de grosor, cuya decisión se tomó en base a un análisis rápido de comparación entre la contaminación asociada a planchas de diferentes grosores de aluminio y terciado marino, tomando en cuenta su factor de seguridad al aplicarle la carga objetivo. Los resultados de esto se observan en la figura 4.21.

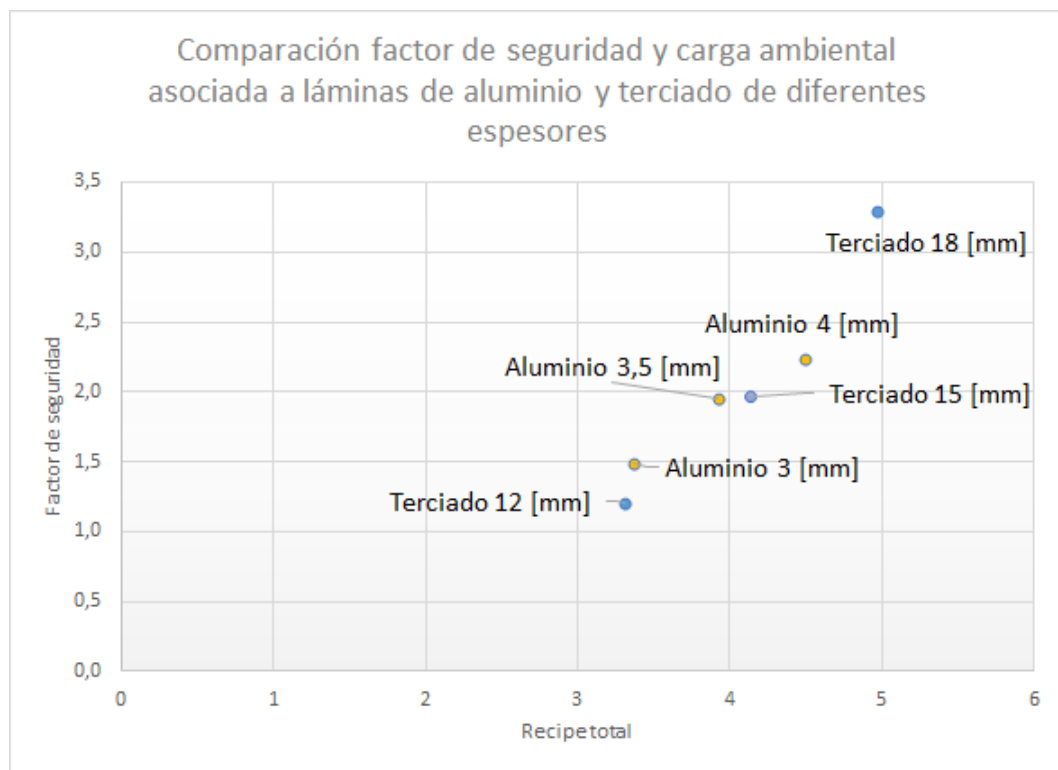


Figura 4.21: Comparación materiales y grosores para plancha de carga en base a contaminación asociada y factor de seguridad

Se optó por la plancha de terciado de 18 [mm] debido a que su factor de seguridad es el más alto (mayor a 3). A pesar de que su carga ambiental, también es la mayor, las pruebas realizadas para la tabla se hicieron de forma independiente al resto del modelo, y que, al incluirse la tabla a las simulaciones de la estructura total, su factor de seguridad disminuyó en pequeña medida. Todas las otras alternativas muestran un factor de seguridad cercano o inferior a 2, por lo que al ingresarse en la simulación del modelo completo, éstas iban a disminuir y se obtendría un factor de seguridad muy pequeño.

Además, para la comodidad del usuario se incluyó un bloqueador de rueda delantera para permitir dejar el vehículo desatendido sin el riesgo a ser robado y una canasta delantera para que el usuario pueda transportar objetos personales, como los que se observan en la figura 4.22.



Figura 4.22: Accesorios para el vehículo 4.22a bloqueador de rueda delantera 4.22b canasto para manubrio

4.4.3. Pruebas estructurales

Las pruebas estructurales se realizaron en el software de análisis de elementos finitos Ansys. Para esto, se insertó el diseño realizado en Fusion 360 y se establecieron las condiciones de borde y esfuerzos para distintos casos. Las uniones se simularon como soldaduras ya que el colihue falla antes que la unión hecha por tejido de sisal y resina. Para el análisis de sensibilidad, se refinó la malla en las zonas críticas del diseño hasta llegar a una diferencia de un 2% entre la última malla y la anterior en el esfuerzo de von-Mises, resultando de un tamaño de 0,0009 [m].

1. **Caso 1:** A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de esfuerzos para el caso 1 correspondiente al de una persona pedaleando sentada con una carga de 100 [kg] en la zona de carga. Se observa la deformación, esfuerzos equivalentes y factor de seguridad del vehículo ante las fuerzas descritas en antecedentes.

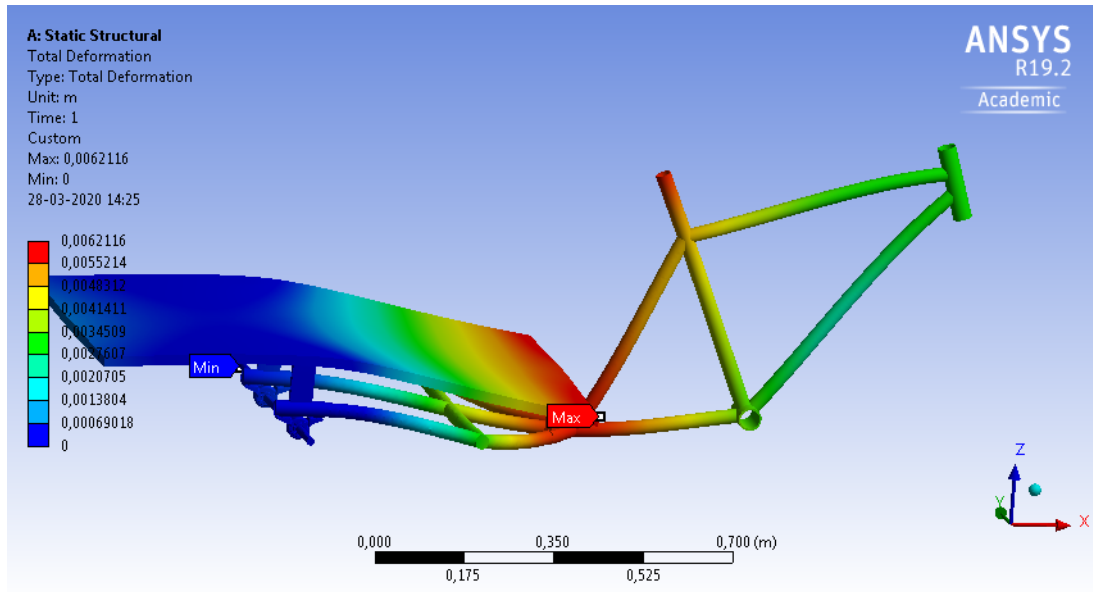


Figura 4.23: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 1

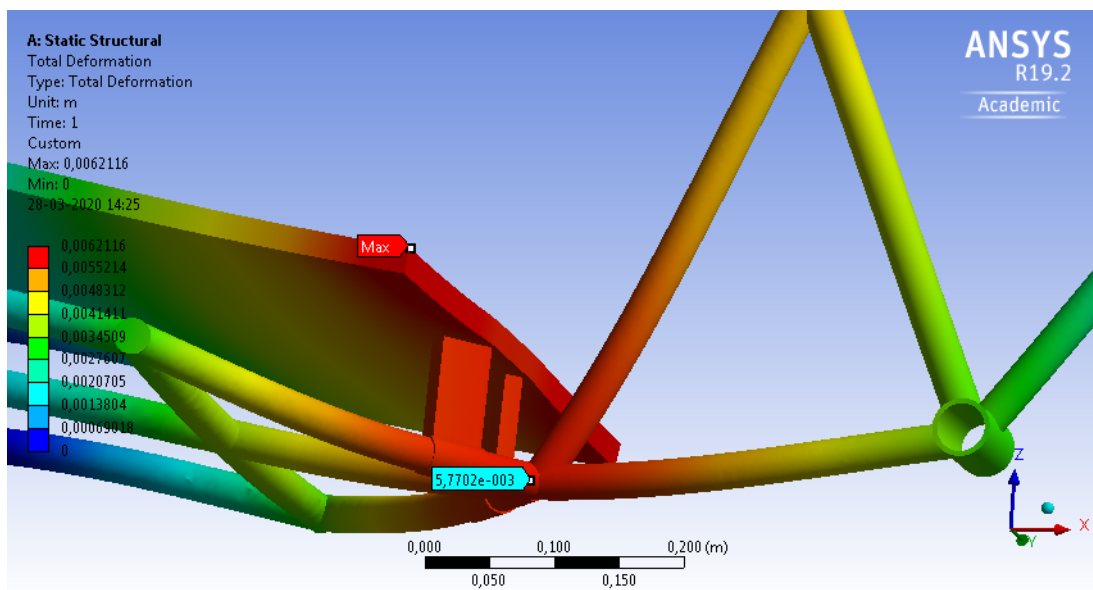


Figura 4.24: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 1, acercamiento

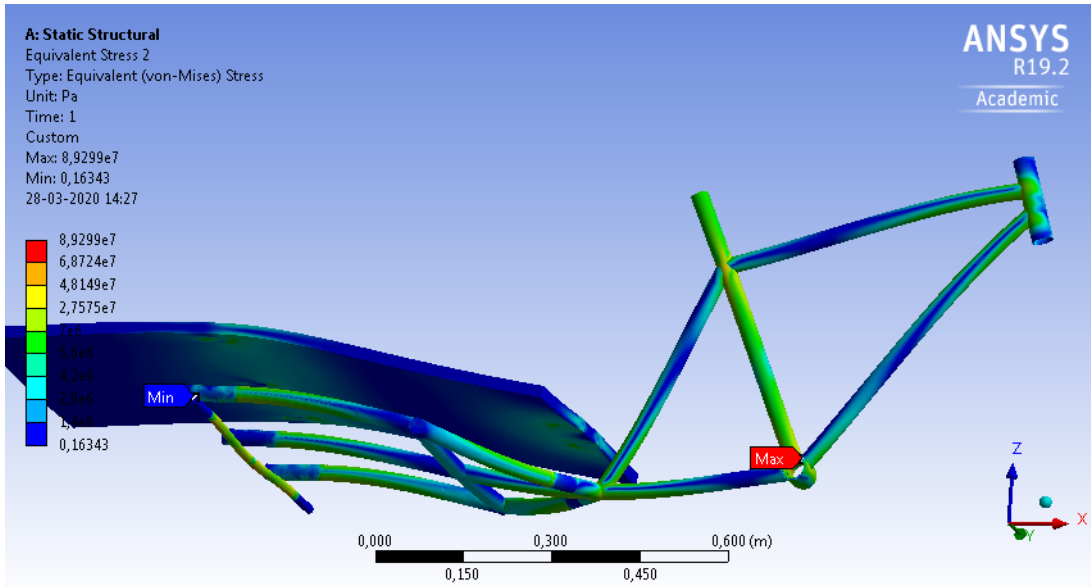


Figura 4.25: Esfuerzos de von-Mises en el vehículo, caso 1

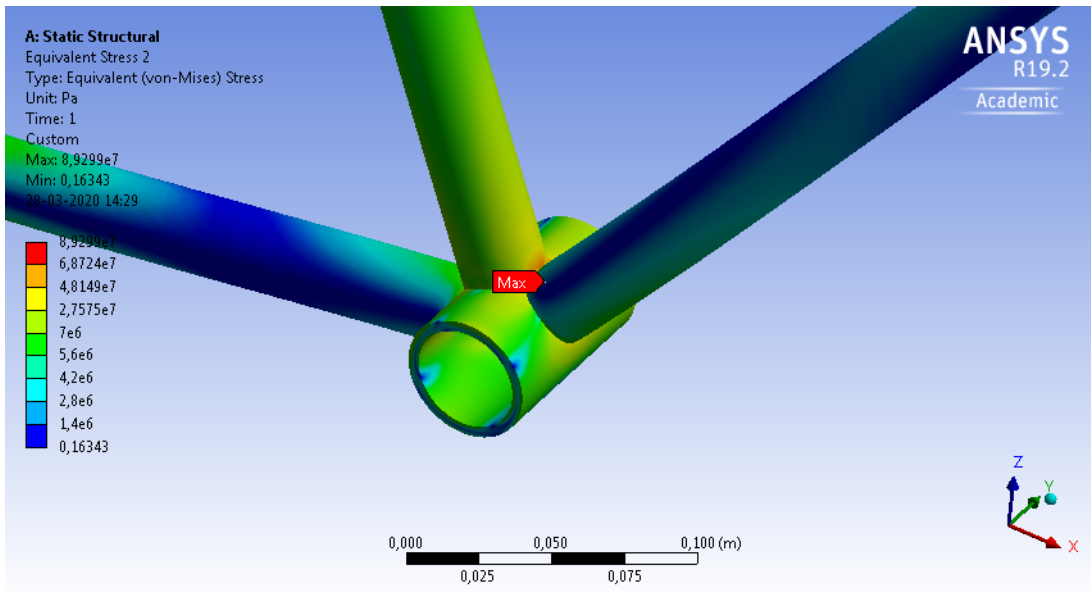


Figura 4.26: Esfuerzos de von-Mises en el vehículo, caso 1, acercamiento

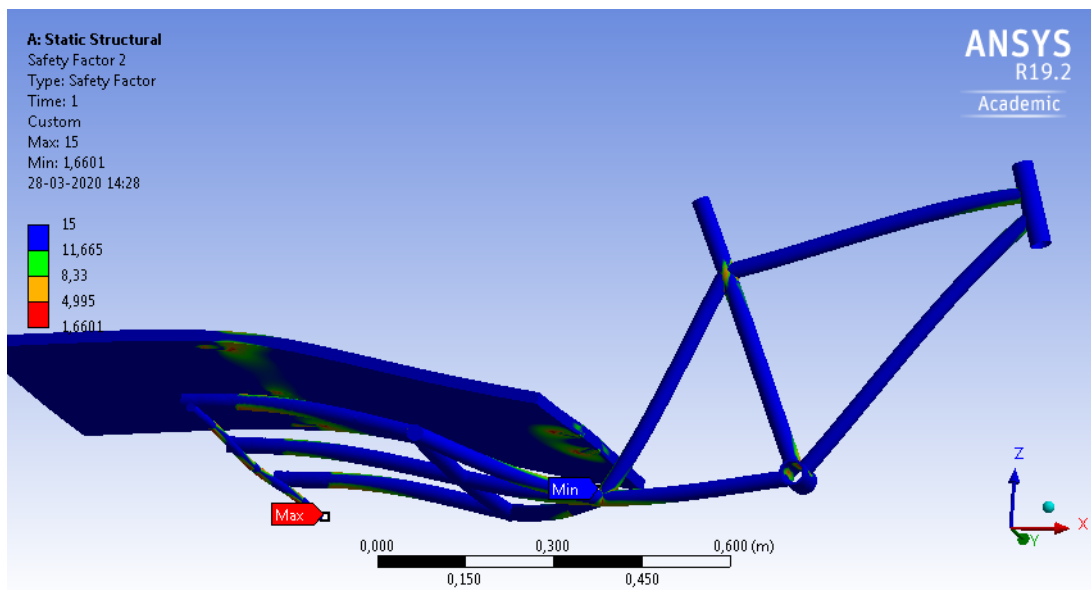


Figura 4.27: Factor de seguridad del vehículo, caso 1

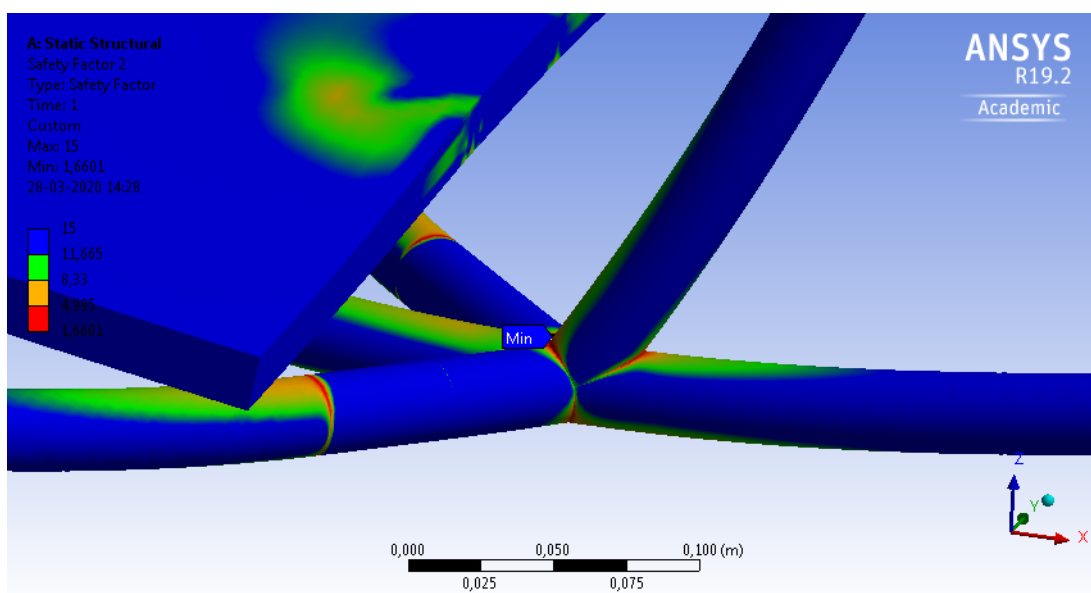


Figura 4.28: Factor de seguridad del vehículo, caso 1, acercamiento

Se observa que la deformación máxima ocurre en la esquina de la base de carga y corresponde a 6,21 [mm]. La ubicación de la deformación máxima se debe a que se genera un gran esfuerzo en la zona de unión entre el marco de la bicicleta y la zona de carga, lo que genera un desplazamiento de la base de carga. Los mayores esfuerzos los sufre principalmente el marco de la bicicleta, en particular, el eje de la caja de pedaleo y se debe a que este punto soporta la carga del pasajero y el apoyo de los pies. Los esfuerzos no superan los 90 [MPa], lo que es consistente con los esfuerzos sufridos por un

marco de bicicleta [31] [24]. Es de esperarse que el factor de seguridad mínimo no ocurra en el mismo punto que el esfuerzo máximo debido a que el esfuerzo máximo ocurre en la caja de pedaleo que es de acero y tiene propiedades diferentes al colihue. Respecto al factor de seguridad, el valor mínimo corresponde a 1,66 y se ubica precisamente en la unión entre la zona de carga y el marco de la bicicleta. Si bien 1,66 es un factor de seguridad aceptable, se decide por reforzar la zona mediante una pieza de acero con descansos como la que se muestra en la figura 4.29.

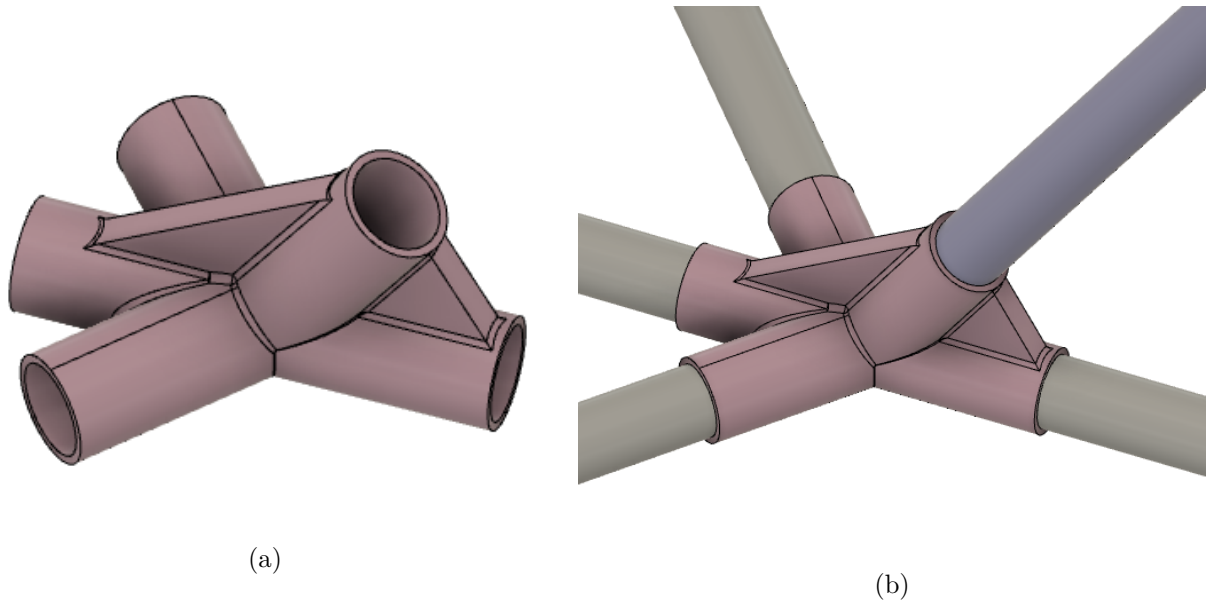


Figura 4.29: Unión de acero con descansos para reforzar punto de alto esfuerzo

Los resultados para el caso 1 con la nueva pieza se observan a continuación. Es importante destacar que la malla para este caso nunca convergió. Los resultados se acercaron a un valor pero no se logró una diferencia menor a la de 8% entre un valor y el anterior. Esto se puede explicar por el número de componentes que posee el vehículo que no permitieron seguir refinando la malla porque el software Ansys fallaba cuando ésta era demasiado fina, o bien por la presencia de "stress singularities." singularidades de estrés, que ocurren cuando existe ángulo en 90° en un componente, uniones muy abruptas o condiciones de contacto entre componentes mal definidas [28].

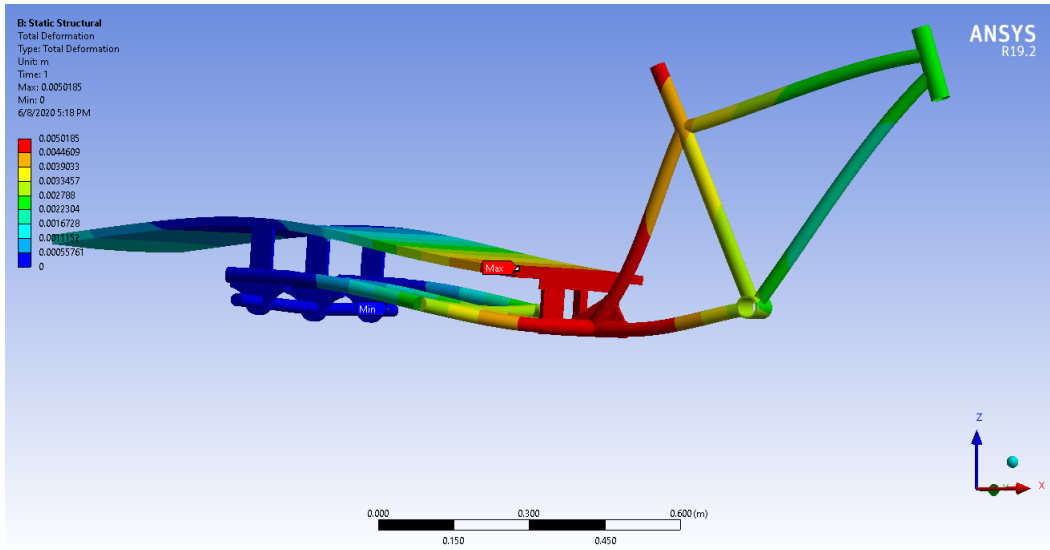


Figura 4.30: Deformación sufrida por el vehículo, caso 1 reforzado

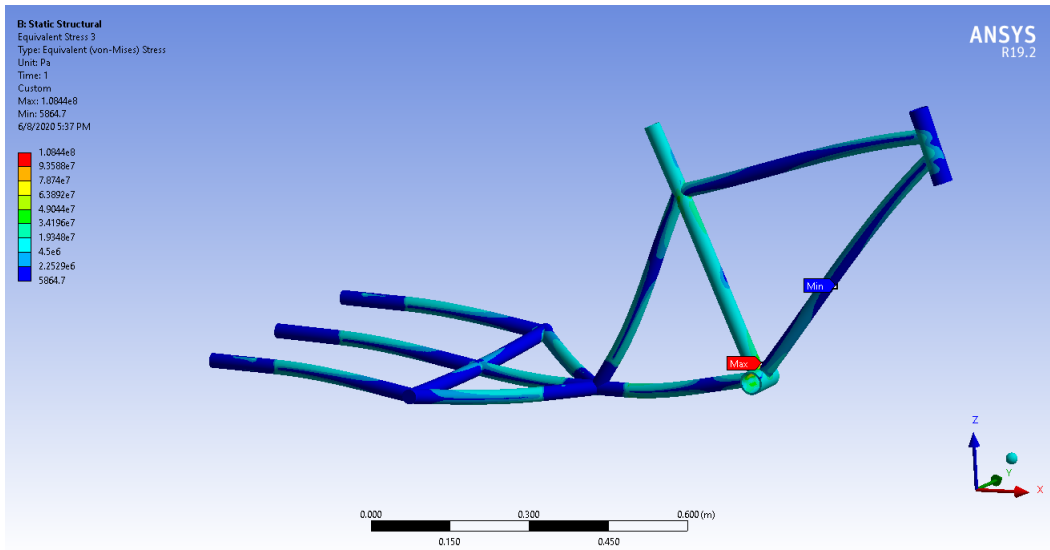


Figura 4.31: Esfuerzos de von-Mises en chasis del vehículo, caso 1 reforzado

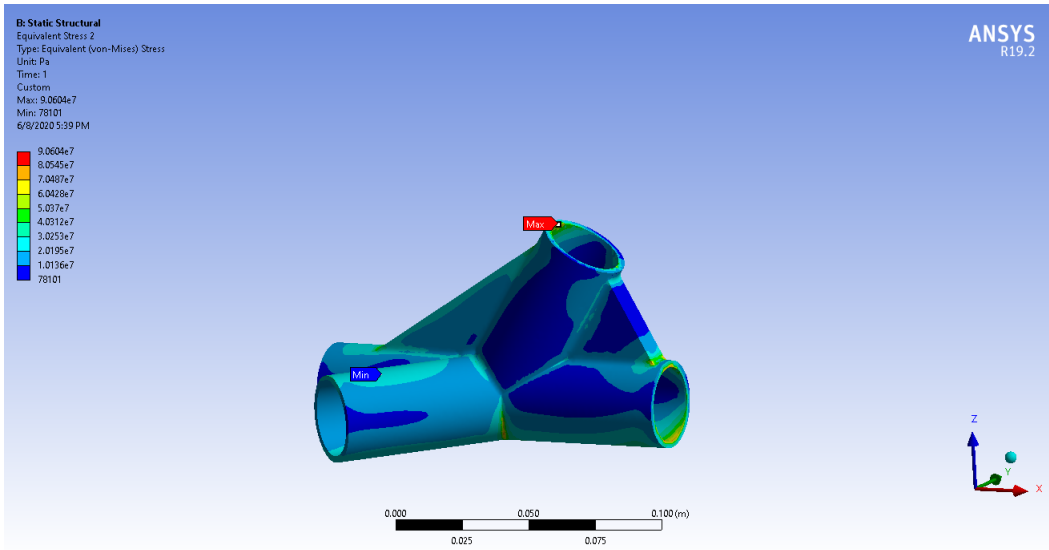


Figura 4.32: Esfuerzos de von-Misses en pieza de unión, caso 1 reforzado

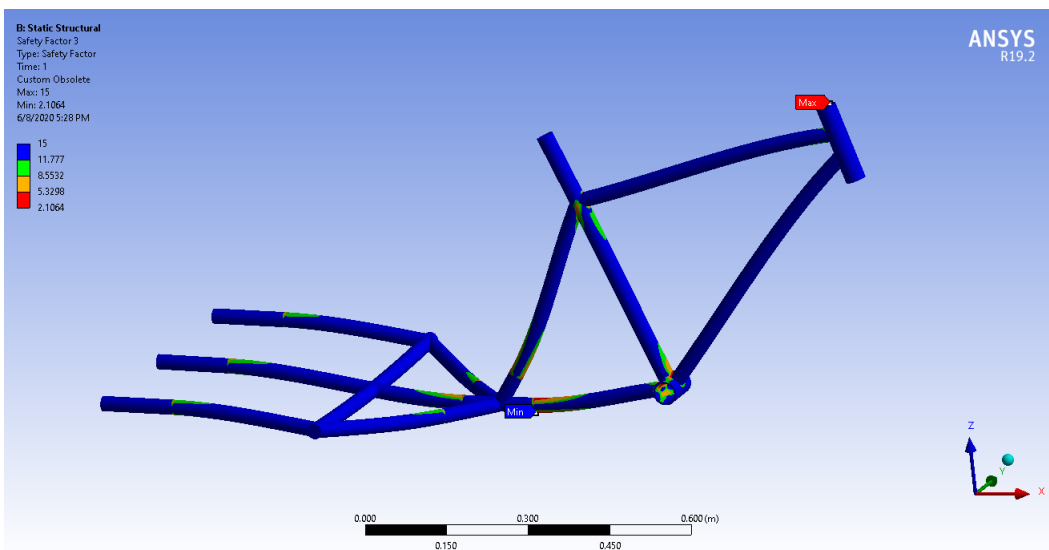


Figura 4.33: Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 1 reforzado

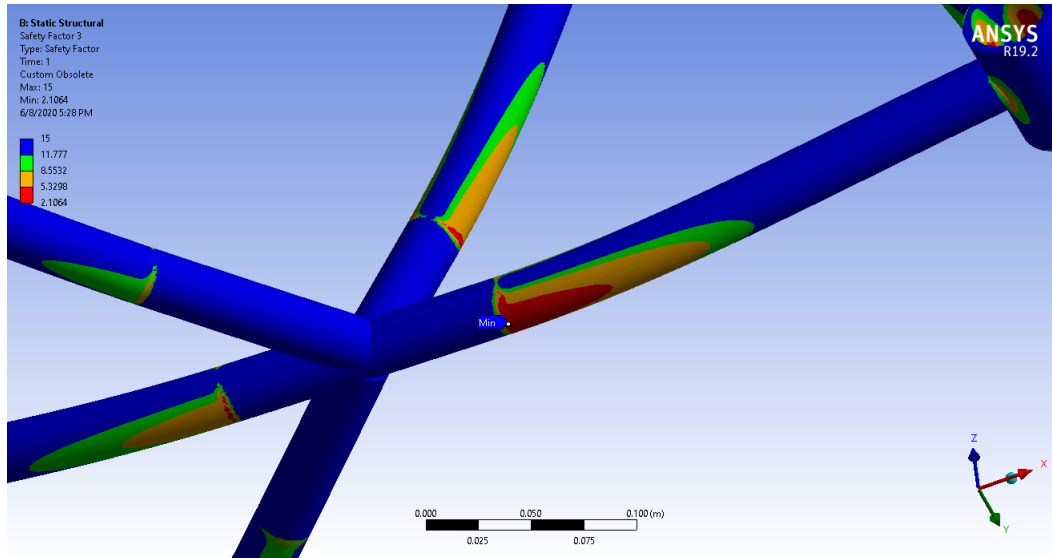


Figura 4.34: Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 1 reforzado, acercamiento

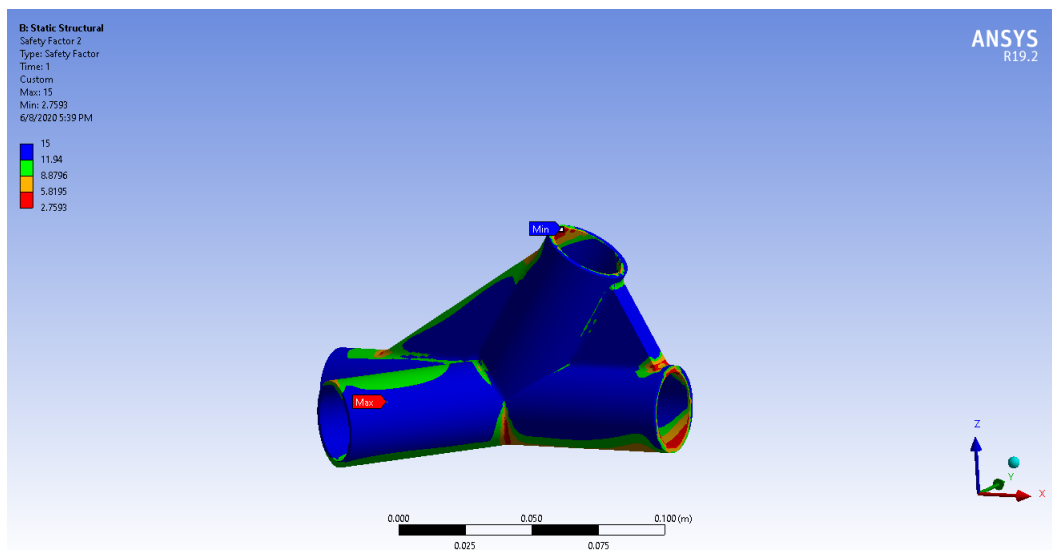


Figura 4.35: Factor de seguridad en pieza de unión, caso 1 reforzado

Se puede observar que los resultados mejoraron. Si bien el esfuerzo máximo aumentó (de 90 [MPa] a 180 [MPa]), la deformación máxima es de 5[mm] en la misma zona anterior (versus 6,21 [mm]), es decir que ahora la bicicleta de se deflecta menos en la zona de unión. Además, el factor de seguridad mínimo ahora corresponde a 2,1 mostrando una mejora significativa frente al 1,66 anterior. Sin embargo, en esta ocasión el factor de seguridad mínimo se encuentra en la barra horizontal y es precisamente donde topa con la unión de acero. Por otra parte, la unión de acero muestra un factor de seguridad mínimo de 2,759, que es más que suficiente para una pieza de acero.

2. **Caso 2:** A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de esfuerzos para el caso 2 correspondiente al de una persona pedaleando parada con una carga de 100 [kg] en la zona de carga. Se observa la deformación, esfuerzos equivalentes y factor de seguridad del vehículo ante las fuerzas descritas en antecedentes.

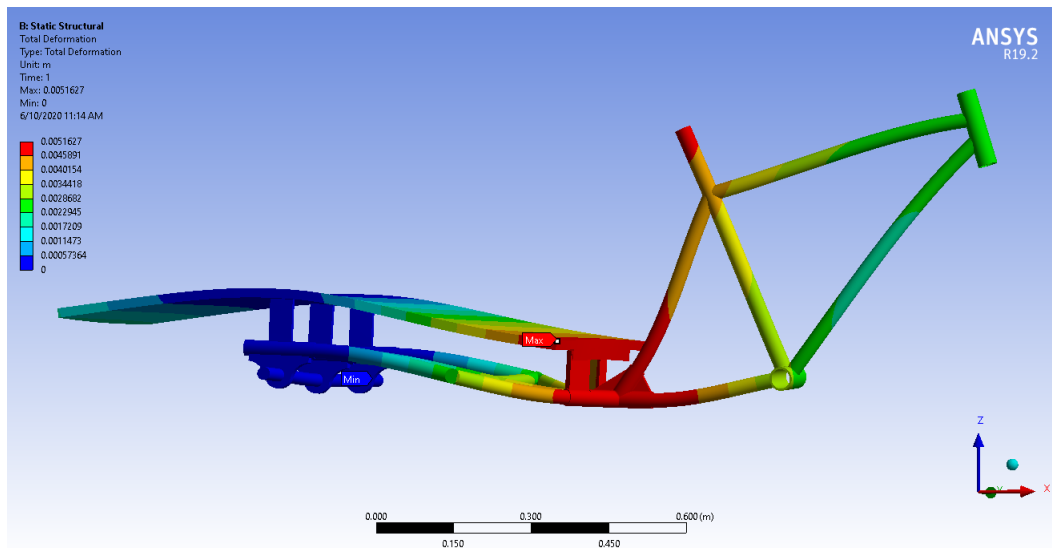


Figura 4.36: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 2

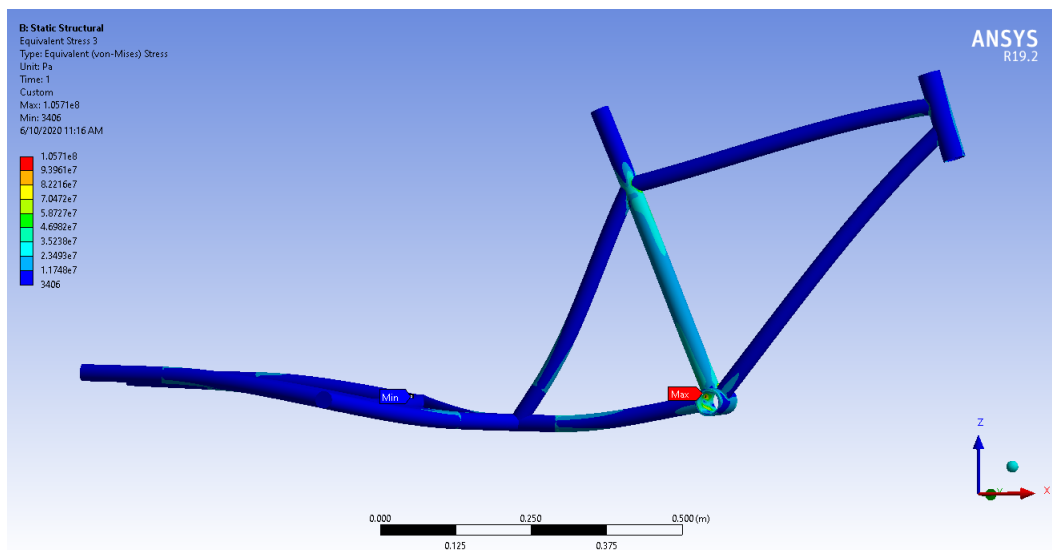


Figura 4.37: Esfuerzos de von-Misses en chasis del vehículo, caso 2

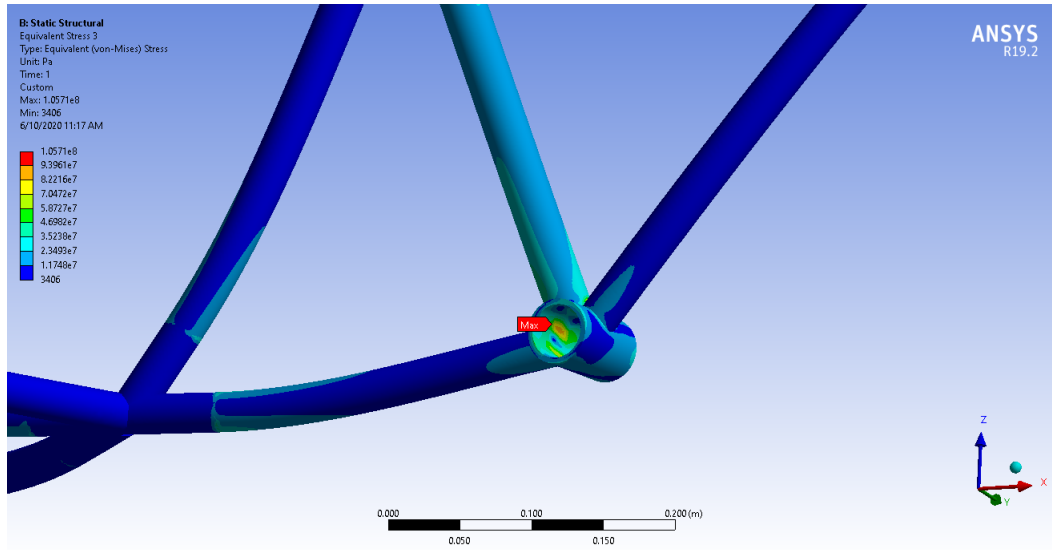


Figura 4.38: Esfuerzos de von-Misses en chasis del vehículo, caso 2 acercamiento

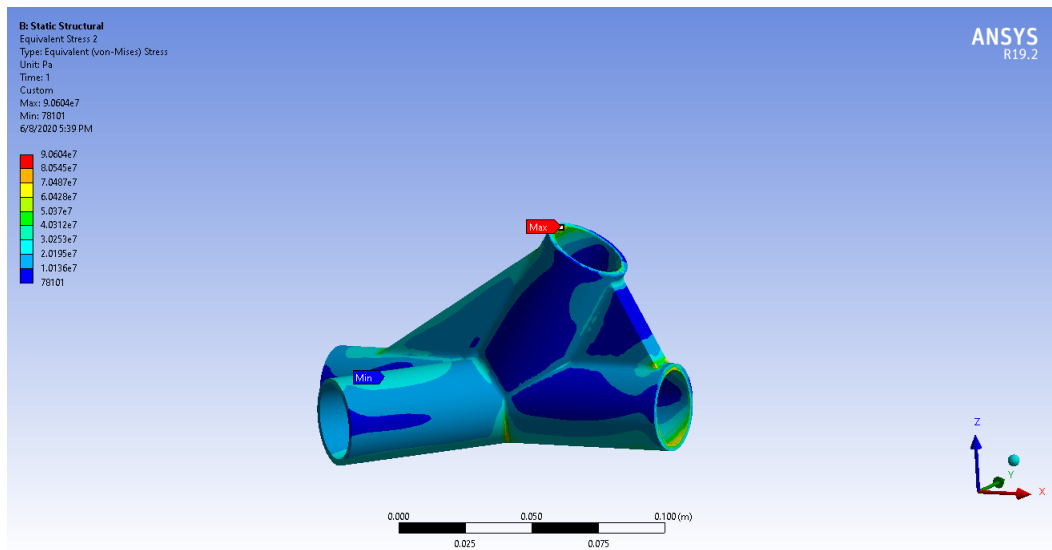


Figura 4.39: Esfuerzos de von-Misses en pieza de unión, caso 2

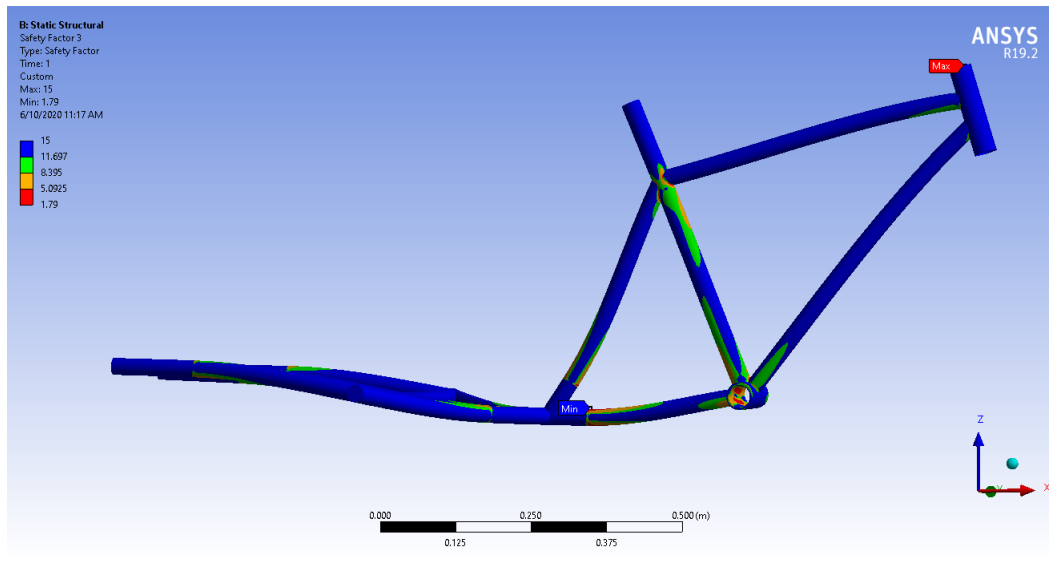


Figura 4.40: Factor de seguridad chasis del vehículo, caso 2

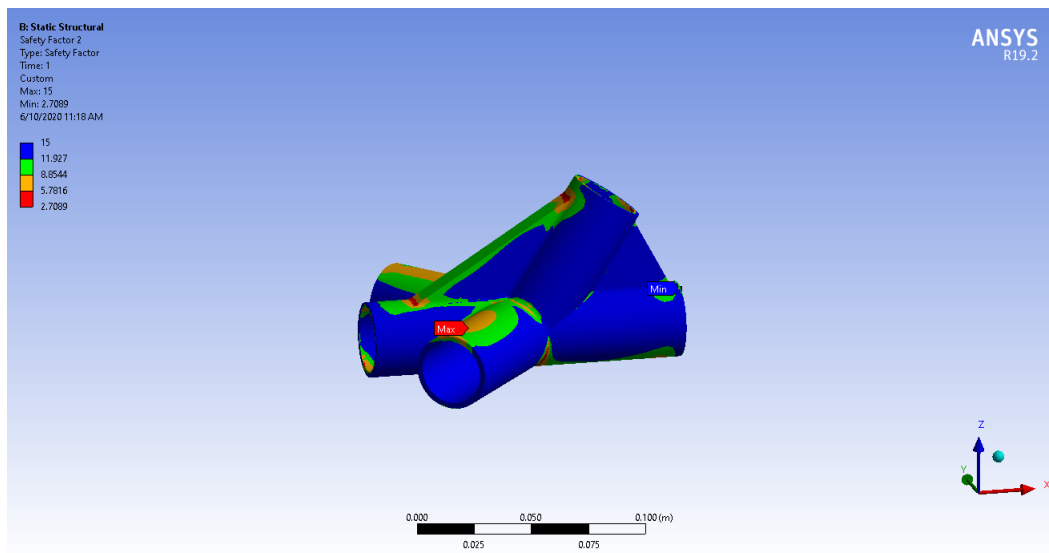


Figura 4.41: Factor de seguridad en pieza de unión, caso 2

El caso 2 entrega resultados muy similares al caso 1, donde la deformación y esfuerzo de von-Mises máximos se ubican en los mismos puntos que en el caso anterior, al igual que el factor de seguridad mínimo. Sin embargo, la deformación máxima en este caso corresponde a 5,1 [mm], el esfuerzo máximo es de 157 [MPa] y el factor de seguridad es 1,79.

3. **Caso 3:** A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de esfuerzos para el caso 3 correspondiente al de un impacto en la rueda frontal del vehículo, con una carga de 100 [kg] en la zona de carga. Se observa la deformación, esfuerzos equivalentes y factor de seguridad del vehículo ante las fuerzas descritas en antecedentes. Cabe destacar que para el caso 3 y 4, se deben cambiar las condiciones de borde del vehículo, fijando el punto del sillín y la base de carga, por lo que los puntos de máximo esfuerzo pueden variar.

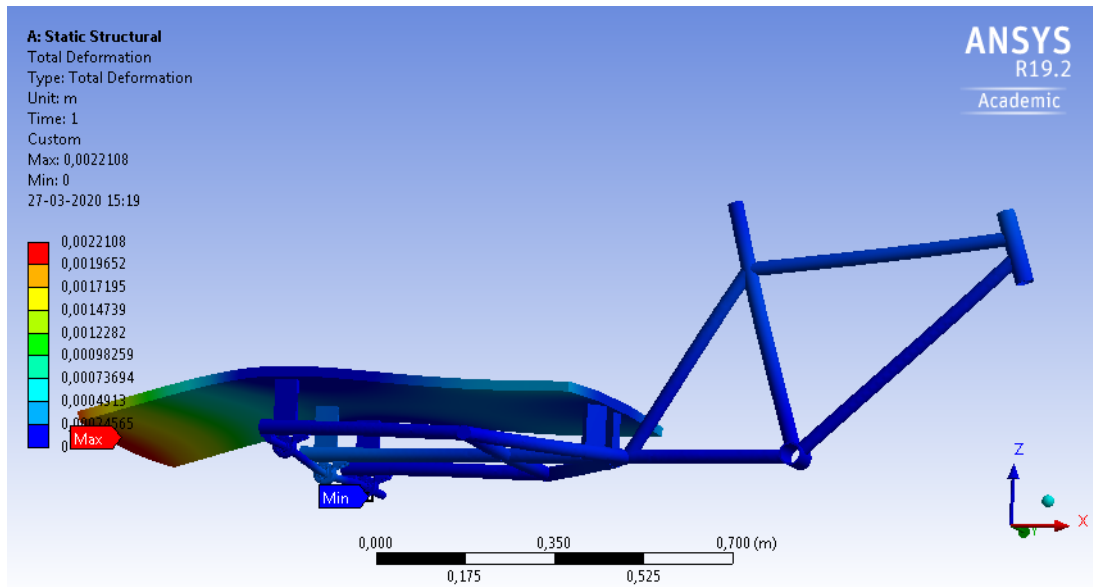


Figura 4.42: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 3

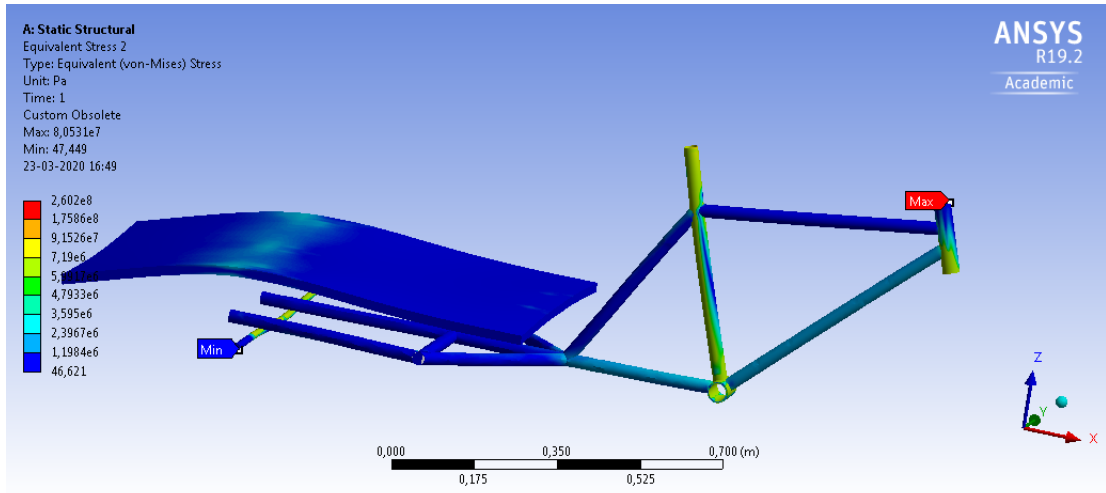


Figura 4.43: Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 3

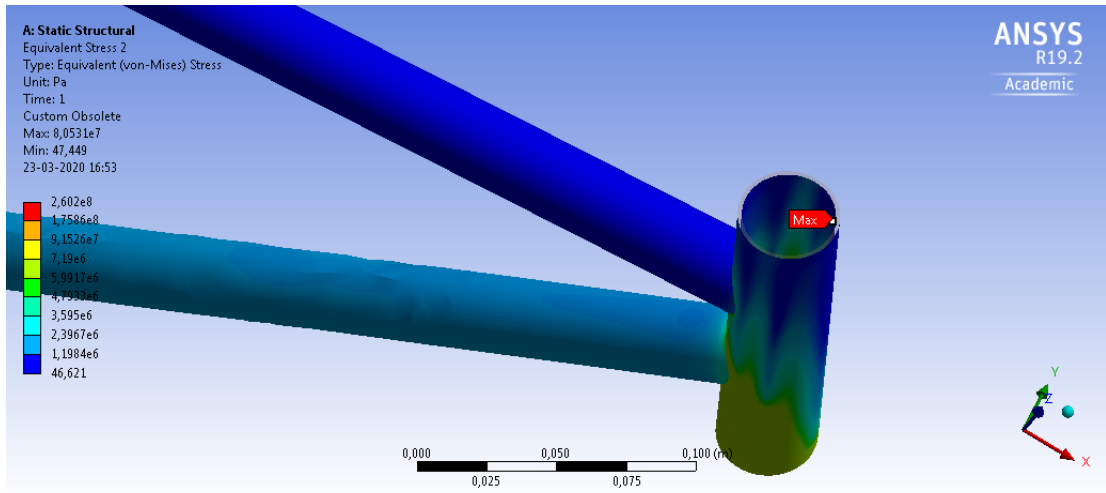


Figura 4.44: Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 3, acercamiento

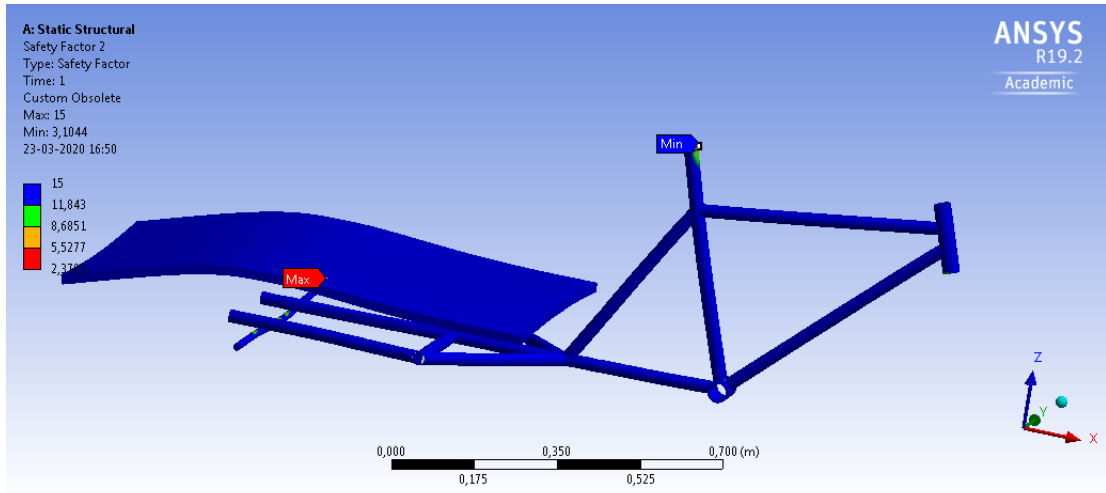


Figura 4.45: Factor de seguridad del vehículo, caso 3

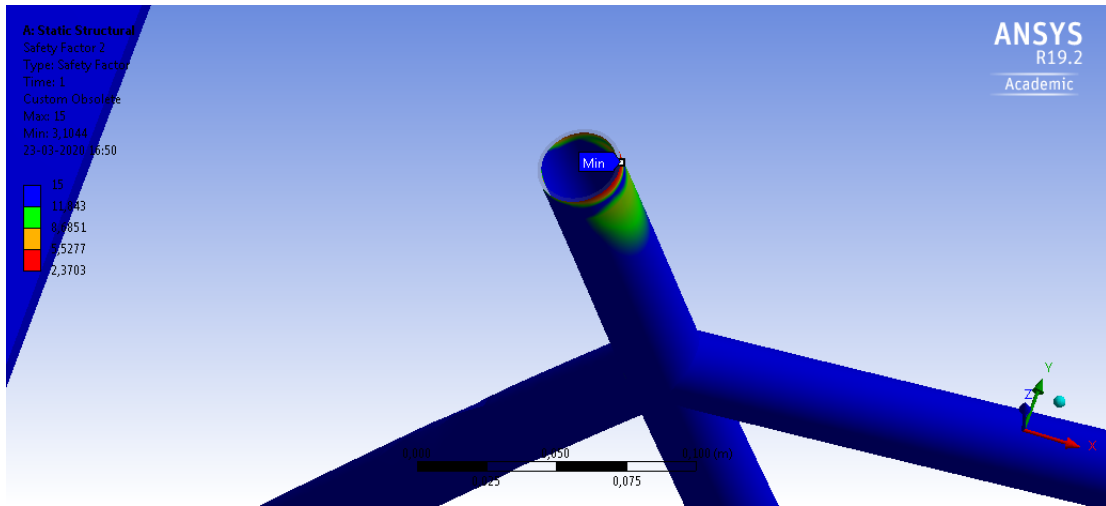


Figura 4.46: Factor de seguridad del vehículo, caso 3, acercamiento

Para el caso 3, la deformación máxima ocurre en el extremo de la base de carga y es de 2,21 [mm]. Esto ocurre probablemente, porque al fijar el tubo del sillín, no se aplica la carga correspondiente al peso del usuario, por lo que no se observa deformación en el punto de unión entre la zona de carga y el marco de la bicicleta. El esfuerzo máximo se ubica en la parte superior del tubo que tiene inserta la dirección y es de 80 [MPa]. Esto se debe probablemente a que el impacto ocurre en el extremo contrario del tubo y la zona superior impacta con el manubrio. Finalmente, el factor de seguridad mínimo es 3,1 y está en la zona superior del tubo del sillín. Esto se explica mediante el impacto del tubo con el sillín.

4. **Caso 4:** A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de esfuerzos para el caso 4 correspondiente al de un impacto en la rueda trasera del vehículo. Se observan los esfuerzos equivalentes y factor de seguridad del vehículo ante las fuerzas descritas en antecedentes.

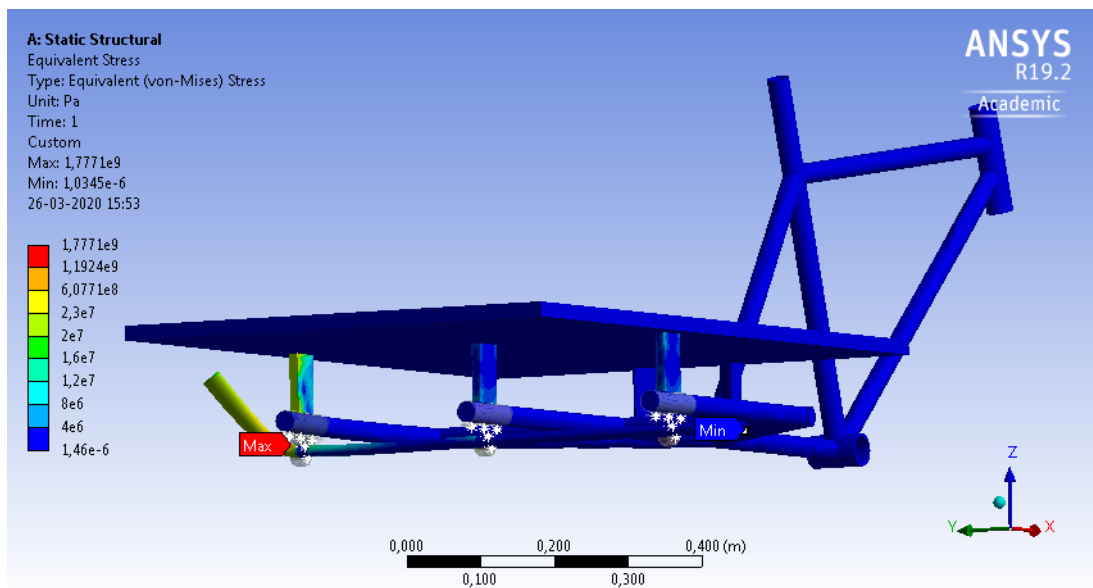


Figura 4.47: Esfuerzos de von-Mises en el vehículo, caso 4

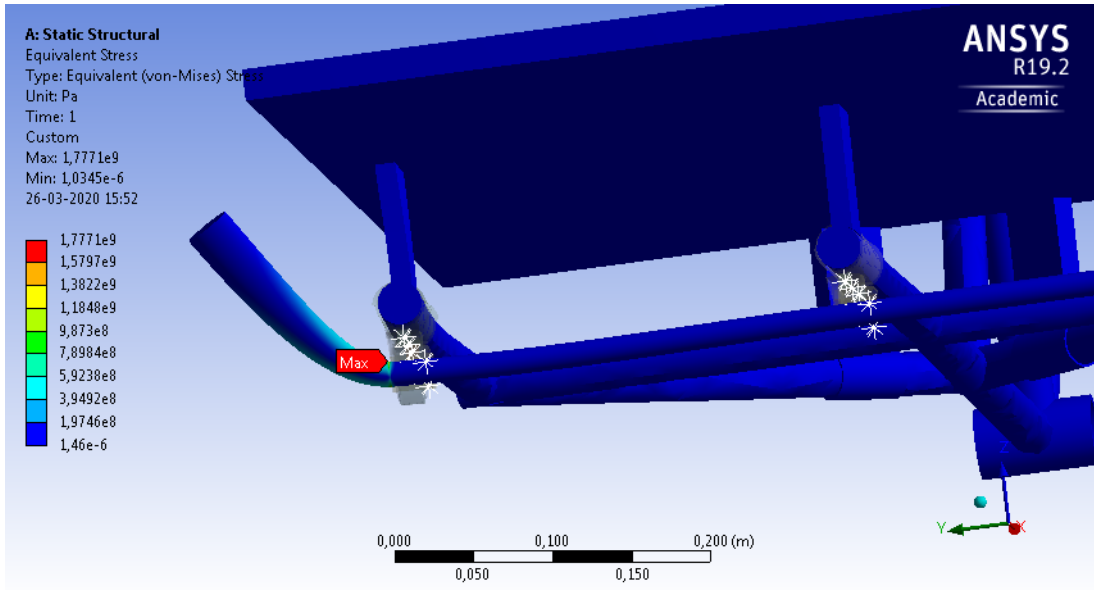


Figura 4.48: Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 4, acercamiento

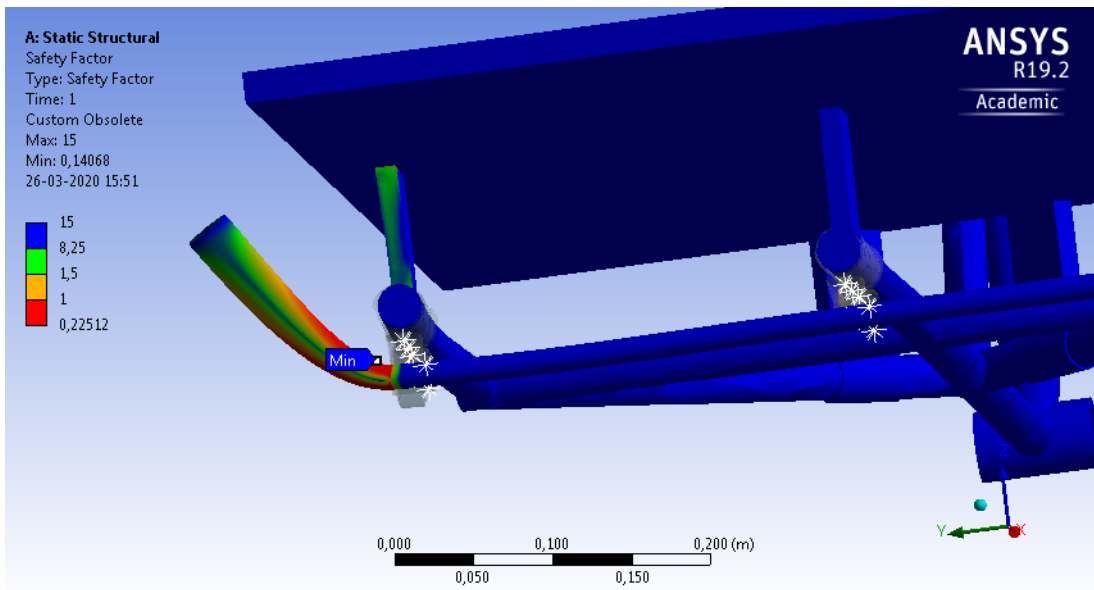


Figura 4.49: Factor de seguridad del vehículo, caso 4, acercamiento

Se puede observar que para este caso, el vehículo falla en la zona del eje trasero, pues el factor de seguridad en la zona de contacto con el rodamiento es de 0,14. Si bien las fuerzas aplicadas son exageradas, y se cuenta con la presencia de las ruedas que amortiguan el impacto que no se está considerando en las simulaciones, el factor de seguridad obtenido es demasiado pequeño por lo que es necesario hacer un reajuste al diseño. El diámetro del eje en esta simulación es de 5/8", es decir, de 15,875 [mm]. Como se depende de los rodamientos disponibles, se ajustó el eje a un diámetro de 1", es decir, de 25,4 [mm]. A continuación, se presentan los resultados para el caso 4 con el reajuste de diseño.

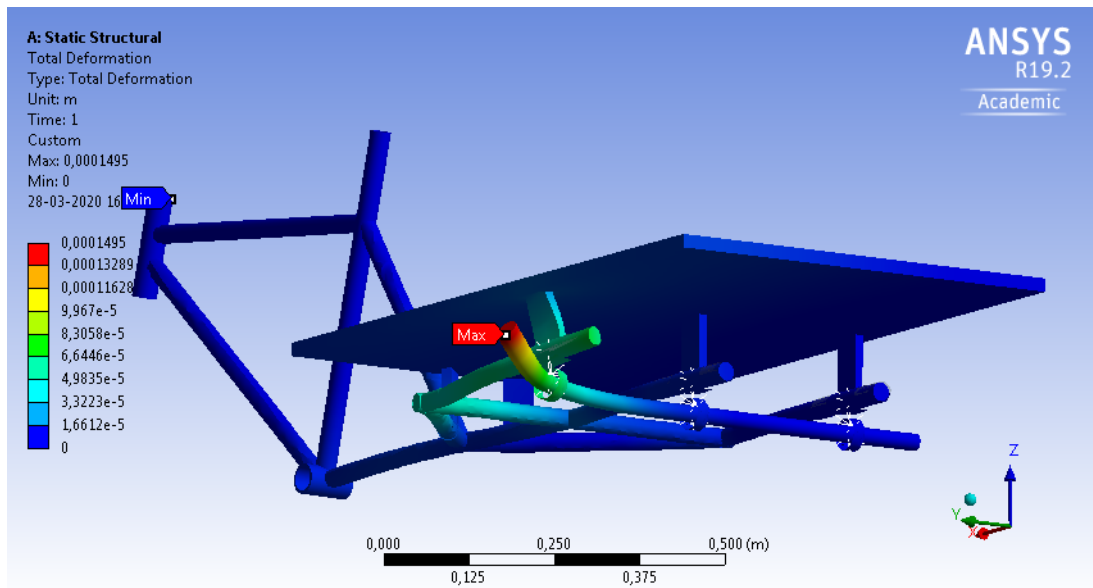


Figura 4.50: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 4, rediseño

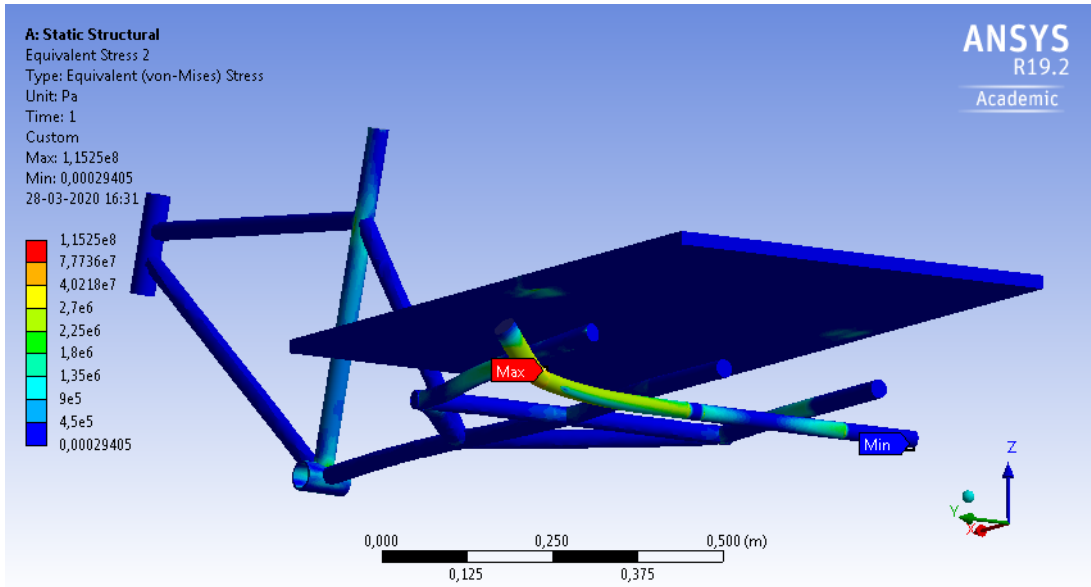


Figura 4.51: Esfuerzos de von-Misses en el vehículo, caso 4, rediseño

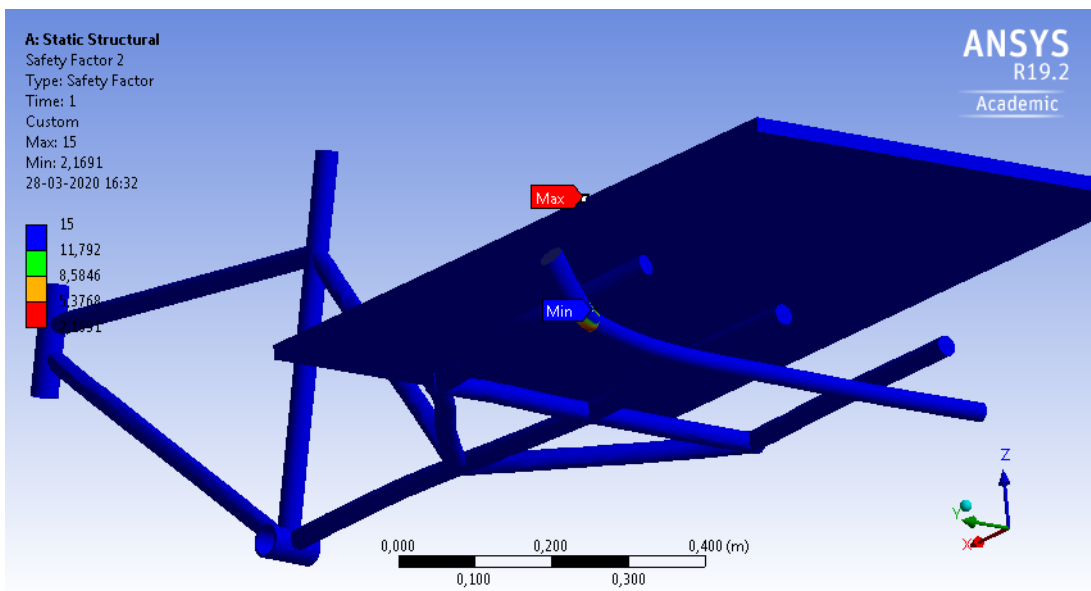


Figura 4.52: Factor de seguridad del vehículo, caso 4, rediseño

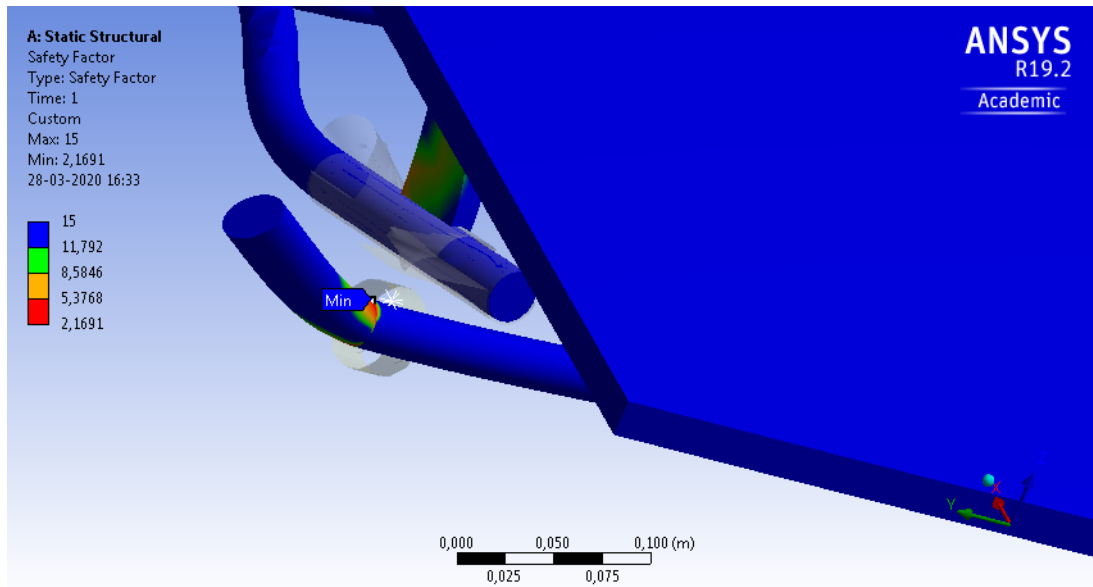


Figura 4.53: Factor de seguridad del vehículo, caso 4, rediseño, acercamiento

Con el ajuste del diámetro del eje se observan deformaciones inferiores a 1 [mm], y un factor de seguridad mínimo de 2,16, por lo que el reajuste de diseño otorga una mayor confiabilidad al vehículo. El esfuerzo máximo corresponde a 115 [MPa], lo que se encuentra en el rango aceptable según los esfuerzos sufridos por una bicicleta [31] [24]. Sin embargo, con este reajuste de diseño será necesario encontrar mazas de ruedas traseras con un diámetro interior equivalente, al igual que el frenos de disco y los piñones que irán en el eje.

5. **Caso 5:** A continuación se presentan los resultados de las simulaciones de esfuerzos para el caso 5 correspondiente al de una fuerza lateral aplicada en el centro de gravedad del vehículo equivalente a la fuerza centrífuga que nace ante el giro del vehículo. Se observan los esfuerzos equivalentes y factor de seguridad del vehículo frente las fuerzas descritas en antecedentes.

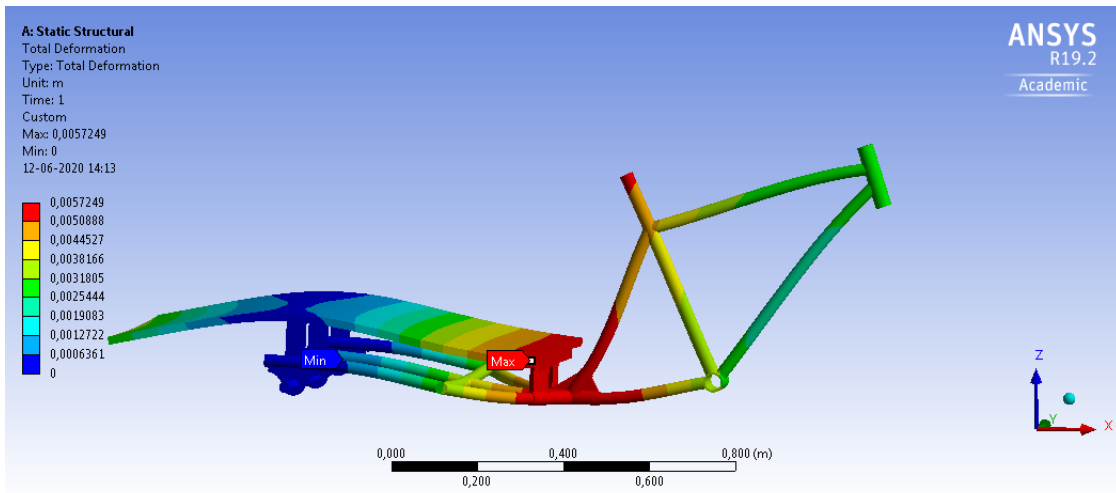


Figura 4.54: Deformaciones sufridas por el vehículo, caso 5

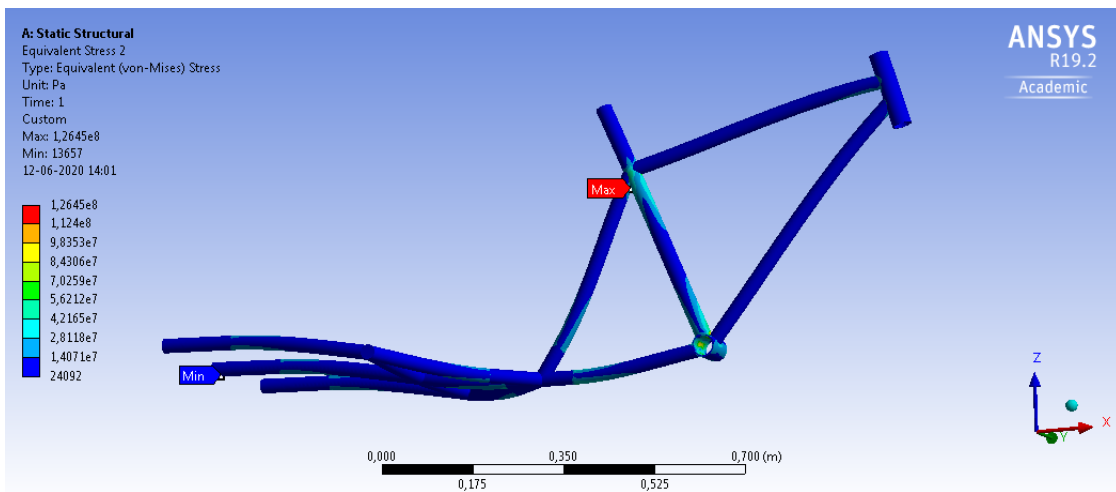


Figura 4.55: Esfuerzos de von-Misses en el chasis del vehículo, caso 5

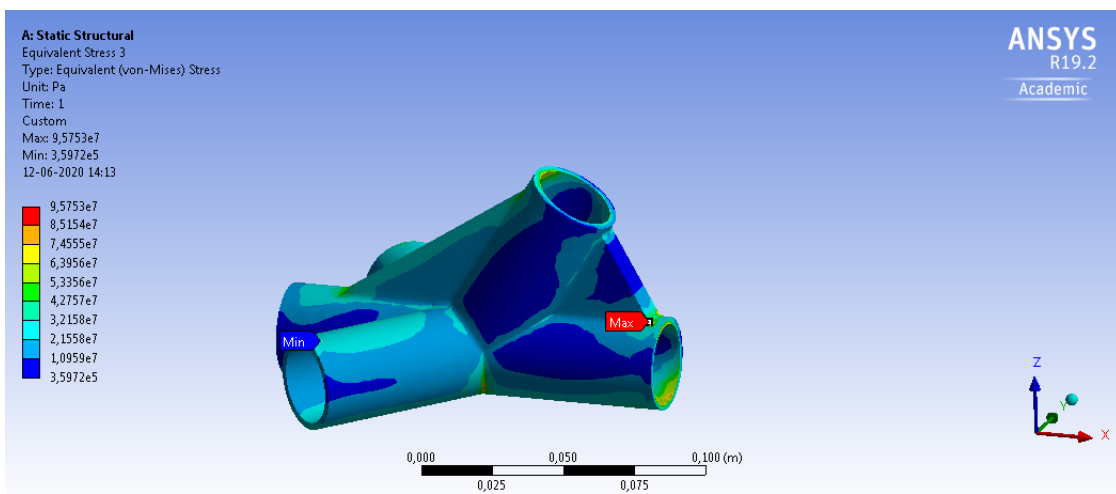


Figura 4.56: Esfuerzos de von.Misses en pieza de unión, caso 5

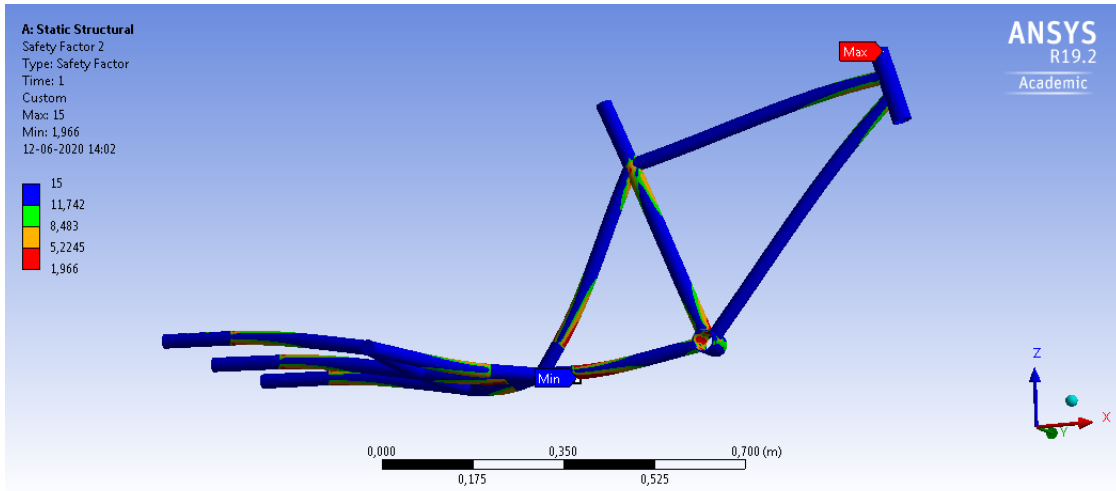


Figura 4.57: Factor de seguridad en chasis del vehículo, caso 5

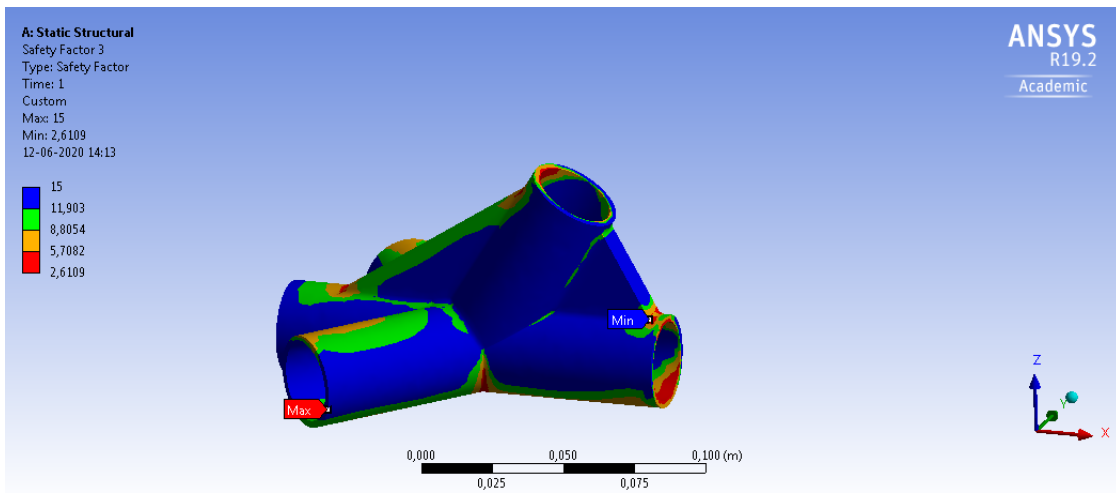


Figura 4.58: Factor de seguridad en pieza de unión, caso 5

Se puede observar que los resultados son muy similares a los del caso 1, donde la deformación máxima ocurre en el mismo punto y es de 5,7 [mm]. El esfuerzo máximo ocurre en el punto de unión del tubo del sillín con el resto del marco, que se trata de otro punto de acumulación de esfuerzos para bicicletas tradicionales. El factor de seguridad mínimo para el chasis del vehículo ocurre en el mismo punto que para los casos 1 y 2 y es de 1,96. En el caso de la pieza de unión el factor de seguridad mínimo es de 2,61. Es importante mencionar que existe una estabilidad rollover correspondiente a la estabilidad del vehículo frente a la posibilidad de darse vuelta. En el caso de este triciclo de carga, es muy poco probable que se dé vuelta ya que las ruedas deslizarán antes de que esto suceda gracias a la fricción lateral de las llantas [13].

Las pruebas estructurales realizadas en el software de análisis de elementos finitos Ansys confirman que el diseño no entrega un factor de seguridad inferior a 1,5 para el transporte de un pasajero de 100 [kg] y una carga de 0,002 [MPa] distribuida en la zona de carga, equivalentes a 130 [kg]. El punto más frágil de la estructura era la zona de unión entre el marco de la bicicleta y la zona de carga ya que en él se concentran el peso del usuario y el peso de la carga, motivo por el cual se reforzó mediante una pieza de acero, lo que entregó mejores resultados. Para lograr una mayor confiabilidad del vehículo es recomendable realizar pruebas estructurales físicas como también realizar un estudio del colihue para determinar sus propiedades en todas sus direcciones. Además, en caso de buscarse un mayor factor de seguridad, se podrían utilizar barras de colihue con un mayor diámetro (sin embargo esto podría ser redundante ya que el factor de seguridad mínimo ocurre en un solo punto y casi en la totalidad del vehículo es mayor a 8), o bien se podría intentar distribuir los pesos en más puntos del vehículo y no en un solo punto.

4.5. Análisis de ciclo de vida y análisis económico

4.5.1. Análisis de ciclo de vida

La tabla 4.3 resume el impacto ambiental según etapa de ciclo de vida para el triciclo de colihue diseñado. Los gráficos de impacto ambiental asociado a las distintas etapas del ciclo de vida del triciclo de colihue eléctrico se observan entre la figura ?? y ??.

Tabla 4.3: Resultado análisis de ciclo de vida triciclo de colihue eléctrico

Etapa de ciclo de vida	Kg-CO2-eq total	Pt total
Materiales	151,9791028	23,871
Procesos	35,027	3,290
Distribución	1,779	0,158
Uso	31,048	0,269
Fin de vida	10,056	0,802
TOTAL	229,8885583	28,38938332

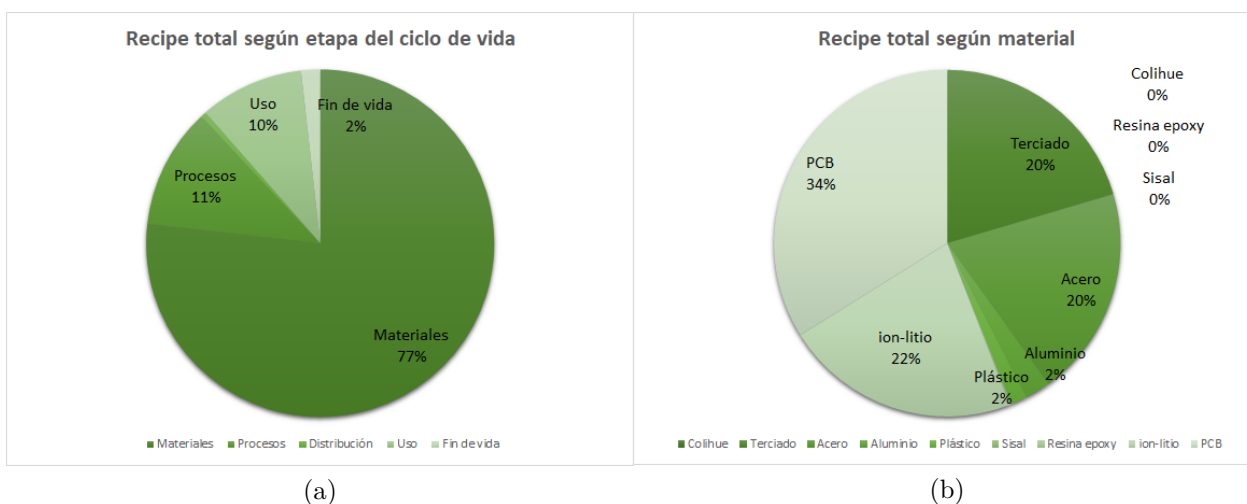


Figura 4.59: Impacto ambiental triciclo colihue según 4.59a etapa del ciclo de vida 4.59b materiales.

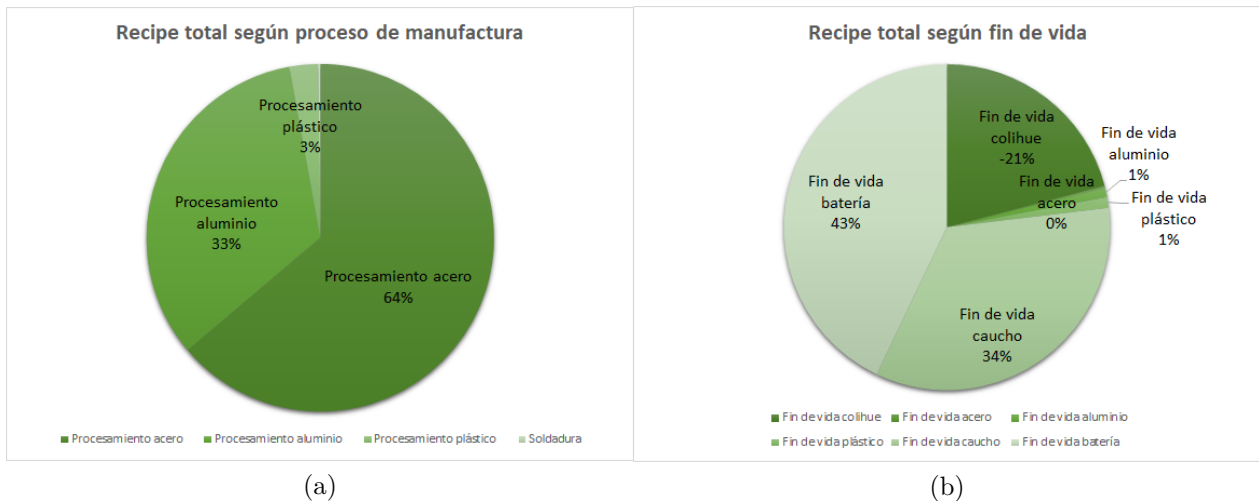


Figura 4.60: Impacto ambiental triciclo colihue según 4.60a proceso de manufactura 4.60b fin de vida.

Al igual que en los casos anteriores, el mayor impacto ambiental del producto viene dado por su uso de materiales, seguido por los procesos de manufactura. Del gráfico ?? se observa que el material más contaminante resulta ser las PCB (printed circuit board) presentes en el circuito eléctrico, seguido por las baterías de ión litio y el terciado marino de la base de carga y baterías. Respecto al uso de colihue, se puede observar que presenta un 0% de contaminación con respecto a los otros materiales, al igual que la resina epoxy y la cuerda de sisal, por lo que pareciera ser un acierto considerando que además ha demostrado ser suficientemente resistente. Nuevamente, el procesamiento de aceros es lo más contaminante en este ítem. Las baterías de ion litio son las que presentan una mayor contaminación en su fin de vida, lo que es esperable debido a que aún no existe un organismo encargado del reciclaje de éstas en Chile. Sin embargo, se espera que su vida sea mayor a las de las baterías de plomo. Nuevamente el caucho presenta un alto impacto ambiental, sin embargo, hoy en día existen muchas empresas que están reutilizando cámaras de bicicleta para fabricar diversos productos. El colihue representa un valor negativo en el fin de vida ya que su desecho no contamina, más bien se considera como un reingreso del producto al ecosistema.

A continuación se observa un gráfico comparativo entre el impacto ambiental de los 3 vehículos analizados.

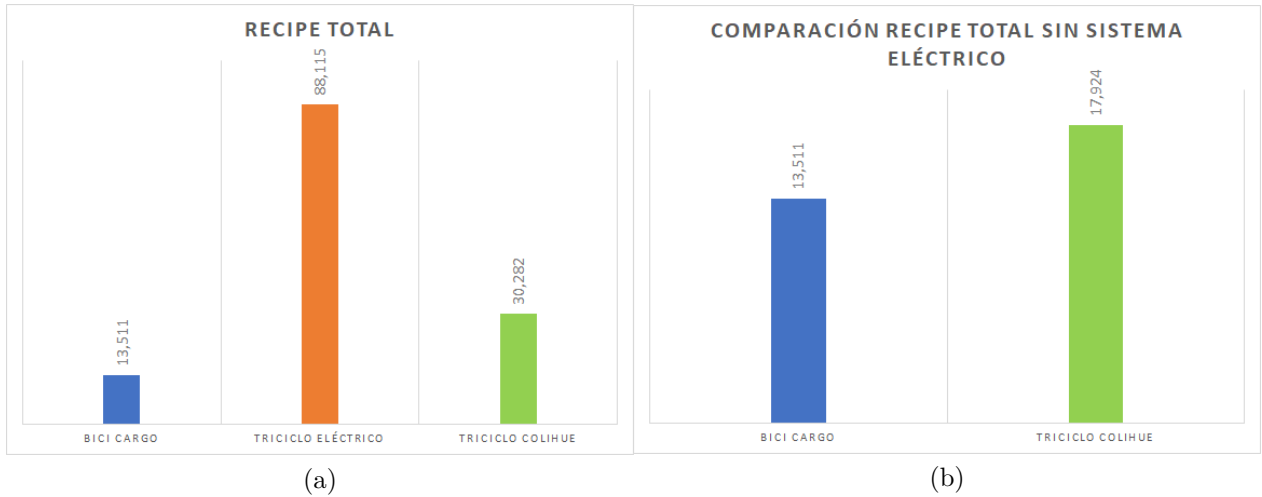


Figura 4.61: Comparación impacto ambiental total 4.61b bici cargo, triciclo eléctrico y triciclo de colihue eléctrico 4.60b bici cargo y triciclo de colihue sin sistema eléctrico

El gráfico 4.61a muestra el recipe total de cada vehículo. El triciclo de carga eléctrico marca Boji es quien presenta los valores máximos, mientras que la bici cargo muestra los mínimos valores. Con esto se concluye que el vehículo diseñado presenta una mejora significativa en relación al triciclo de carga eléctrico marca Boji, sin embargo, era de esperarse que sus emisiones sean mayores a las de la bici cargo al tratarse de un vehículo más grande, de 3 ruedas y eléctrico. Por otra parte, el gráfico 4.61b compara la bici cargo y el triciclo de colihue, sin incluir su sistema eléctrico. Se puede observar que el impacto ambiental del triciclo de colihue sigue siendo levemente mayor al de la bici cargo. Esto se debe a que se trata de un vehículo más grande, que posee 3 ruedas, y cuyo eje de acero sólido aporta un gran impacto. Sin embargo, posee una mayor capacidad de carga.

4.5.2. Evaluación económica

En la figura 4.62 se muestra el resultado de las cotizaciones realizadas para los componentes y mano de obra de la bicicleta.

Producto o proceso	Valor (CLP)
Colihue	\$ 36.000
Eje acero	\$ 33.000
Tubos 1,5 [mm]	\$ 13.920
Planchas 1,5 [mm]	\$ 37.990
Terciado marino	\$ 14.200
Bisagras (2)	\$ 4.800
Rodmientos (3)	\$ 38.000
Anillos sujeción (4)	\$ 13.600
Volante	\$ 30.000
Desviador delantero	\$ 26.000
Cadena	\$ 40.000
Manilla de cambio	\$ 18.800
Eje de motor	\$ 8.400
Tensor de cadena	\$ 3.300
Piñones (2)	\$ 1.500
Pedales	\$ 8.400
Cables de transmisión	\$ 1.200
Freno hidráulico delantero	\$ 23.990
Freno hidráulico trasero	\$ 23.990
Cable de freno hidráulico	\$ 19.000
Rotores de freno (2)	\$ 26.000

(a)

Mazas (3)	\$ 69.000
Ruedas (3)	\$ 104.970
Manubrio	\$ 6.100
Potencia	\$ 14.990
Tubo sillín	\$ 8.990
Dirección	\$ 2.990
Horquilla	\$ 33.990
Resina epoxy	\$ 9.990
Cuerda de sisal	\$ 4.110
Sillín	\$ 14.290
Puños manubrios	\$ 17.990
Wheellock	\$ 14.900
Canasto delantero	\$ 15.600
Batería	\$ 330.000
Motor eléctrico	\$ 48.000
Sistema de control	\$ 70.800
Luces	\$ 37.200
Corte tubos	\$ 7.072
Soldadura	\$ 9.300
Fabricación bicicleta	\$ 500.000
TOTAL	\$ 1.742.372

(b)

Figura 4.62: Evaluación económica

La evaluación económica arroja un valor total de la bicicleta de 1.742.272 CLP. Como se propuso, el valor total del vehículo no supera los 2.000.000 CLP, siendo incluso inferior y dejando un margen para ganancias. Cabe destacar que la cotización de productos se realizó como una persona particular, sin embargo, es posible conseguir precios inferiores en caso de fabricar el producto en una mayor escala.

Capítulo 5

Conclusiones

A partir de los análisis de ciclo de vida realizados a la bicicro y al triciclo de carga eléctrico, se logró reducir el impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto diseñado mediante el reemplazo de una estructura metálica unida por soldadura, por una estructura de colihue (especie de bambú chileno macizo) con uniones de tejido de sisal reforzada con resina epoxy. Además, el uso de baterías de litio en reemplazo a las baterías de plomo utilizadas por el triciclo de de carga eléctrico, aseguran un mayor rendimiento junto con una vida hasta 3 veces mayor. Esto alivia la preocupación de los usuarios quienes debían reemplazar su juego de baterías una vez al año por un costo de 350.000 CLP. Según el análisis económico realizado, las baterías de ion litio no debieran superar los 300.000 CLP ni requerir un recambio antes de los 2 años de vida. Cada componente del vehículo diseñado puede ser repuesto en caso de falla, incluso las barras de colihue como las uniones de tejido pueden ser reemplazadas, lo que promete una larga vida a la bicicleta de carga.

El análisis de ciclo de vida del producto demuestra una mejora significativa con respecto al triciclo de carga eléctrico marca Boji, donde su recipe total corresponde solamente al 32 % de este último. Sin embargo, su impacto es levemente mayor que el de la bici cargo, lo que es consistente debido a su tamaño superior y asistencia eléctrica. El recipe total del triciclo de colihue es un poco más del doble que el de la bici cargo, lo que se explica por su mayor capacidad volumétrica y su motor, batería y accesorios.

El sistema de pedaleo asistido con motor eléctrico asegura un apoyo para que el usuario no se canse demasiado frente al transporte de carga, sin embargo, en caso de quedarse sin batería, éste podrá continuar su camino mediante un pedaleo sin asistencia. Las 3 ruedas aseguran estabilidad estática para el pasajero, sin embargo, conviene comprobar la necesidad de un diferencial en el eje trasero, aún que la tracción en una sola rueda no debería presentar mayores problemas para un vehículo pequeño. Además, la carga trasera permite el transporte de un gran volumen sin perjudicar la visión del pasajero. Con respecto a los requisitos de

diseño, se logró aumentar la capacidad volumétrica de carga con respecto a la bici cargo, y se definieron las medidas en base al tamaño de las ciclovías de Santiago para que el vehículo pueda transitar por ellas y [evadir] el tráfico vehicular.

Si bien no es posible eliminar en totalidad el uso de metales en el diseño debido principalmente a los componentes de una bicicleta tradicional que tienden a ser de acero o aluminio, se disminuye su uso al máximo.

Con respecto al valor final del producto, éste no supera los 2.000.000 CLP propuestos e incluso deja un margen de ganancias de aproximadamente 250.000 CLP en caso de venderse a ese precio.

Con respecto a las pruebas realizadas, éstas confirman que luego del rediseño del eje trasero y al reforzamiento con la pieza de acero, la estructura asegura ser confiable, considerando además, que todas las cargas aplicadas fueron sobredimensionadas (peso del usuario = 100 [kg], transporte de 130 [kg] de carga). Sin embargo, es importante especificar las cargas máximas admitidas. Un aspecto de mejora, podría ser la inclusión de amortiguamiento, ya sea mediante resortes amortiguadores o amortiguadores de hoja en caso del transporte de una mayor carga. Además, si se desea realizar pruebas estructurales con resultados más precisos es necesario conocer las propiedades mecánicas del colihue en todas sus direcciones, por lo que habría que realizar ensayos de tracción. Finalmente, las pruebas estructurales realizadas en el software de elementos finitos sirven exclusivamente de guía para conocer los puntos críticos, debido a que es necesario hacer pruebas físicas del vehículo para asegurar su capacidad estructural real.

Finalmente, y a modo de conclusión, se lograron los objetivos propuestos para el trabajo de memoria, obteniendo un diseño confiable de un vehículo de carga liviana con un menor impacto ambiental que el de sus pares a lo largo de todo su ciclo de vida, un mayor volumen de carga y con un costo no superior a los 2.000.000 CLP.

Bibliografía

- [1] VV AA et al. *Reciclado y tratamiento de residuos, Capítulo 3*. Editorial UNED, 2008.
- [2] admingr. Conoce los nuevos estándares para el diseño de ciclovías. URL <https://www.eldesconcierto.cl/2014/09/23/conoce-los-nuevos-estandares-para-el-diseno-de-ciclovias/>.
- [3] Ekuase Austin, Aduloju Sunday Christopher, Ogenekaro Peter, Ebhota Williams Saturday, et al. Determination of center of gravity and dynamic stability evaluation of a cargo-type tricycle. *American journal of mechanical engineering*, 3(1):26–31, 2015.
- [4] Cristian Barraza. Motor mosquito 2t 48cc. URL <http://www.cristianbarraza.cl/2016/01/motor-moskito-2t-48cc.html>.
- [5] Diana Tomey Beatriz Aylagas. Guía de introducción práctica al ecodiseño. 2008.
- [6] Juiced Bikes. Frame geometry and size guide, . URL <https://www.juicedbikes.com/pages/crosscurrent-frame-geometry>.
- [7] Montauk Hardwood Bikes. Can a wood bike be light, strong and stiff?, . URL <https://www.montaukhardwoodbikes.com/can-a-wood-bike-be-light-strong-and-stiff>.
- [8] R Campos, W Peñaloza, Fondo de Fomento al Desarrollo Científico, G Kahler, et al. Bambú en Chile. 2003.
- [9] Cesia Castillo. Conoce el sistema de cambios de tu bicicleta, . URL <https://labicikleta.com/conoce-sistema-cambios-bicicleta/>.
- [10] Cesia Castillo. ¿cuál es la diferencia entre la rueda libre y el cassette?, . URL <https://labicikleta.com/cual-es-la-diferencia-entre-la-rueda-libre-y-el-cassette/>.
- [11] Cesia Castillo. Conoce el sistema de dirección de la bicicleta, . URL <https://labicikleta.com/conoce-sistema-direccion-la-bicicleta/>.
- [12] Cesia Castillo. Potencias: tipos, medidas y cómo elegir la correcta, . URL <https://labicikleta.com/potencias-tipos-medidas-elegir-la-correcta/>.
- [13] Derek Covill, Steven Begg, Eddy Elton, Mark Milne, Richard Morris, and Tim Katz. Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries. *Procedia Engineering*,

72:441–446, 2014.

- [14] Derek Covill, Philippe Allard, Jean-Marc Drouet, and Nicholas Emerson. An assessment of bicycle frame behaviour under various load conditions using numerical simulations. *Procedia engineering*, 147:665–670, 2016.
- [15] Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Disposición a suelo, . URL <https://retc.mma.gob.cl/disposicion-a-suelo/>.
- [16] Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Emisiones al aire, . URL <https://retc.mma.gob.cl/emisiones-al-aire/>.
- [17] Ilustre Municipalidad de Santiago. Decreto n°1.044, sección 2da. 2013.
- [18] Ministerio del Medio Ambiente. Ley de fomento al reciclaje. URL <https://retc.mma.gob.cl/disposicion-a-suelo/>.
- [19] Isaac Elishakoff. *Safety factors and reliability: friends or foes?* Springer Science & Business Media, 2012.
- [20] José Tomás Acevedo Frías. Colihue, el acero vegetal. 2016.
- [21] Felipe González. Mini guía: una introducción al design thinking.
- [22] Jesús Guevara. Aros de bicicleta: la guía completa. URL <https://labicikleta.com/aros-de-bicicleta-la-guia-completa/>.
- [23] Winniw Hu and Mathew Haag. Park it, trucks: Here come new york’s cargo bikes. URL <https://www.nytimes.com/2019/12/04/nyregion/nyc-cargo-bikes-delivery.html>.
- [24] jmalik. Structural analysis of a bicycle frame. URL <https://www.simscale.com/forum/t/structural-analysis-of-a-bicycle-frame/77549>.
- [25] Anna Marti. Esta nueva bicicleta eléctrica de volkswagen está ideada para llevar cargas de hasta 210 kilogramos con cero emisiones. URL <https://www.xataka.com/vehiculos/volkswagen-cargo-e-bike-caracteristicas-ficha-tecnica>.
- [26] José Luis Ramirez. Frenos de bicicleta: v-brake vs disco. URL <https://labicikleta.com/frenos-bicicleta-v-brake-vs-disco/>.
- [27] ANIL Shastry and SUJATHA Unnikrishnan. Investigation on elastic properties of bamboo and behavior of bamboo reinforced concrete beams. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 10(02):204–312, 2017.
- [28] SimutechGroup. Singularities. URL <https://www.simutechgroup.com/tips-and-tricks/fea-videos/337-ansys-workbench-tips-tricks-singularities>.
- [29] TRIPL. Tripl. URL <https://tripl.com/models/tripl/>.
- [30] Tuvalum. Cómo elegir la talla de bicicleta correcta. URL <https://tuvalum.com/blog/>

[como-elegir-la-talla-de-bicicleta-correcta/](#).

- [31] Jose Antonio Ribeiro Vargas. Bamboo bicycle—feasibility study for design and manufacturing using rapid prototyping processes for a bamboo bicycle frame. 2014.

ANEXOS

Anexo A: Render triciclo de colihue eléctrico,
vista isométrica frontal



Anexo B: Render triciclo de colihue eléctrico, vista isométrica trasera



Anexo C: Render triciclo de colihue eléctrico, vista trasera



Anexo D: Planos estructura triciclo de colihue

