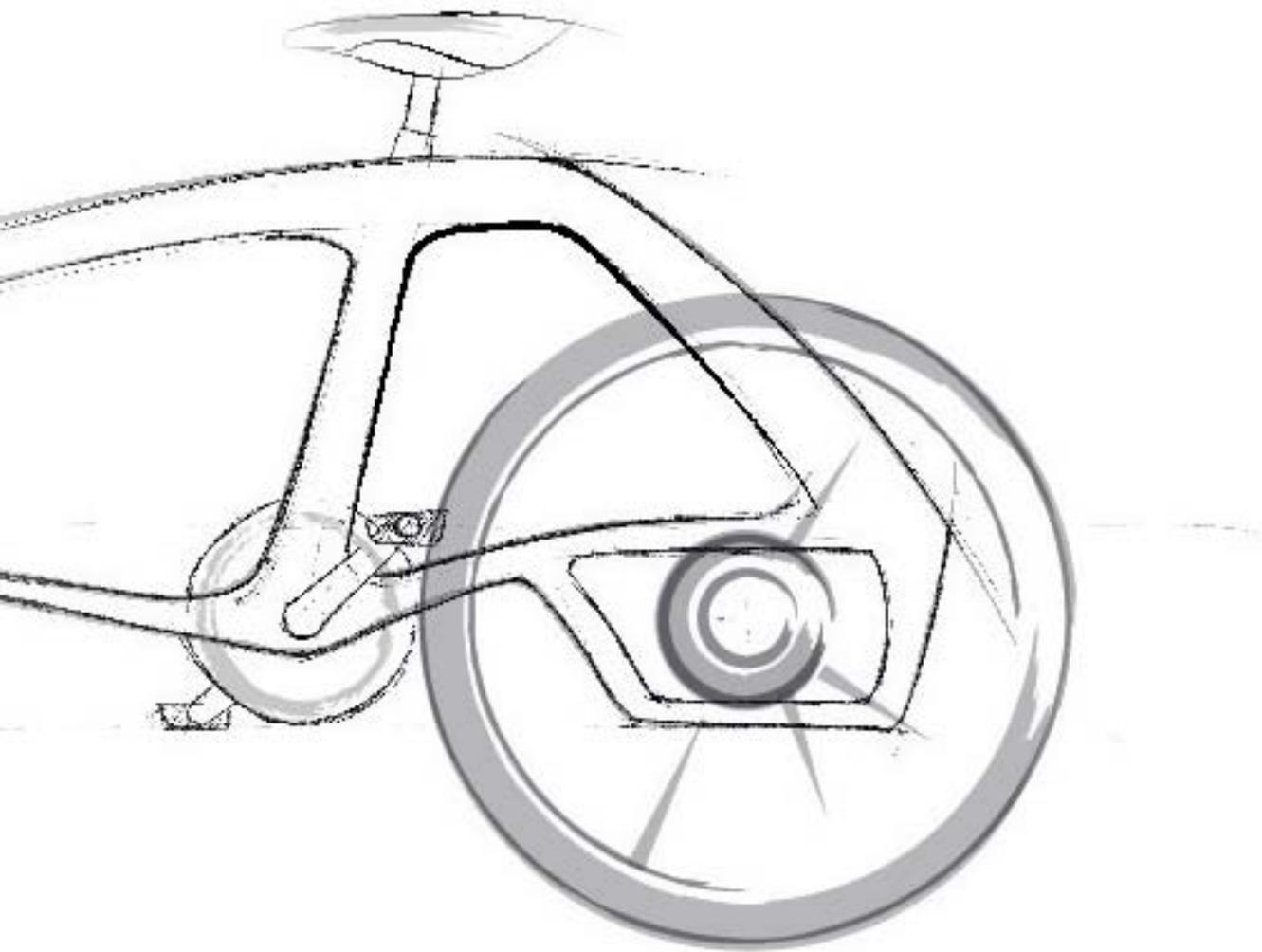


Diseño de un vehículo ultraligero de tracción humana con asistencia eléctrica



Yunuén G. Hernández López
Miguel Tentori Gómez

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Diseño de un vehículo ultraligero de tracción humana

Tesis profesional que para obtener el Título de Licenciado/a en Diseño Industrial presenta:

YUNUÉN GRACIELA HERNÁNDEZ LÓPEZ

en colaboración con JOSÉ MIGUEL TENTORI GÓMEZ.

Con la dirección del Arq. Arturo Treviño Arizmendi y la asesoría del Dr. Vicente Borja Ramírez., M.D.I. Luis equihua Zamora, Dr, Alejandro Ramírez Reivich y Dr. Marcelo López Parra.

Declaro que este proyecto de tesis es totalmente de nuestra autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra institución educativa. Y autorizo a la UNAM para que publique este documento por los medios que juzgue pertinentes.

México 2011



Diseño de un vehículo ultraligero de tracción humana

Tesis profesional que para obtener el Título de Licenciado/a en Diseño Industrial presenta:

JOSÉ MIGUEL TENTORI GÓMEZ.

en colaboración con YUNUÉN GRACIELA HERNÁNDEZ LÓPEZ.

Con la dirección del Arq. Arturo Treviño Arizmendi y la asesoría del Dr. Vicente Borja Ramírez., M.D.I. Luis equihua Zamora, Dr, Alejandro Ramírez Reivich y Dr. Marcelo López Parra.

Declaro que este proyecto de tesis es totalmente de nuestra autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra institución educativa. Y autorizo a la UNAM para que publique este documento por los medios que juzgue pertinentes.

México 2011

0 Resumen

El presente documento de Tesis presenta el desarrollo de un proyecto colaborativo entre la Universidad Nacional Autónoma de México y la Technische Universität München, patrocinado por el Dr. Ing. Frank Diermeyer, integrante del equipo de profesores del departamento de Fahrzeugtechnik (FTM) de la universidad de Munich y en el que la meta asignada fue el desarrollo de un vehículo ultraligero de tracción humana con asistencia eléctrica incluida.

Un equipo de estudiantes y profesores de ambas instituciones fue conformado para llevar a cabo el reto. El grupo estuvo conformado por dos estudiantes de la facultad de Ingeniería y dos más del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México y cuatro estudiantes del departamento de Fahrzeugtechnik München (FTM) por parte de la Technische Universität München.

El proyecto fue posible gracias al desarrollo de una metodología propia del equipo, basada en procesos de diseño y métodos comúnmente empleados en la industria automotriz. Dicho proceso de desarrollo implicó, en primera instancia, la recopilación de información en referencia a vehículos similares ya existentes, así como el estado del arte en tecnología, y las situaciones de México y Alemania en el uso de vehículos de tracción humana. El planteamiento de diversos escenarios y la selección de uno de ellos, fue la clave que hizo posible la creación de conceptos y la elección de uno de ellos para ser desarrollado a lo largo de seis meses de trabajo a distancia entre los integrantes de ambos países y culminar con la presentación de un prototipo funcional en las instalaciones de la Technische Universität München.

El proyecto desarrollado, denominado “Qx4”, es un vehículo de tracción humana con cuatro ruedas y suspensión independiente en cada una de ellas; además cuenta con la asistencia de un motor eléctrico programado para cumplir con cuatro modos distintos que ofrecen al usuario la posibilidad de elegir entre ellos de acuerdo a las circunstancias en las que se encuentre.

El cuadriciclo Qx4 es un proyecto prospectivo a un mínimo de 10 años, dirigido a personas de clase alta, en un rango de 25 a 40 años de edad, residentes de países desarrollados con infraestructura para vehículos alternos a un automóvil convencional. El usuario de éste será aquel que guste de una nueva experiencia de manejo, teniendo la posibilidad de practicar deporte con él (“Cross Country” o bien ciclismo convencional), o simplemente poder desplazarse de algún lugar a otro con o sin la asistencia eléctrica ofrecida.

Ser un vehículo de clase Premium implica la utilización de tecnología de punta en su fabricación; el marco estructural está planteado en fibra de carbono, logrando con ello una gran resistencia y ligereza. La aplicación de una suspensión multibrazo de fibra de carbono en este tipo de vehículo es un factor de innovación importante que aunado a las distintas modalidades del sistema de asistencia eléctrica, hacen de éste vehículo una opción atractiva y ecológica para usuarios que buscan una alternativa de transporte distinta a un automóvil tradicional.



Índice.

1. Introducción- Planteamiento del proyecto.	9
Noviembre del 2009 a Mayo del 2010.	12
Metodología: Proceso de desarrollo de producto (Modelo PEP).	14
Programa de trabajo: Diagrama de Gantt.	16
El equipo.	17
Objetivos del proyecto.	20
2. Metodología: Escenarios. ¿Qué son? ¿Por qué? - Fase estratégica.	21
Investigación y contexto.	25
Estado del arte en tecnología.	26
Análogos y homólogos.	
Eje y suspensión.	30
Asistencia eléctrica.	31
Modalidades en ciclismo de montaña.	33
Premisas ergonómicas.	35
Situación actual: México.	42
Situación actual: Alemania.	46
Observación de usuarios.	47
Encuestas.	
Preparación de encuestas.	47
Análisis de encuestas.	48
Creación de escenarios, redacción de ensayos.	50
Análisis y selección de escenarios.	54
Metodología: "Weighted Point Evaluation".	55
Conclusiones.	56

3. El concepto - Fase de definición. 59

Actividades y metodología.	61
“Design thinking”.	
Lluvia de ideas.	63
Preselección de conceptos.	67
Concepto “Organic”	
Concepto “Frame-Evolution”.	68
Selección del concepto inicial.	68
Distribución de tareas y calendarización.	69
Mind map.	

4. Del concepto al producto - Fase de realización. 71

Prototipos de función crítica.	74
Análisis de sistemas y requerimientos.	75
Diseño de marco: Análisis FEM.	77
Requerimientos sistema híbrido.	80
Requerimientos eje y suspensión.	83
Evolución.	89

5. Diseño final. 93

6. Presentación final. 99

En Alemania.	101
Metodología: Estructura de desglose del trabajo.	102
Construcción del prototipo.	103
Marco estructural.	
Análisis FEM.	104
Prototipo real del marco.	105
Sistema híbrido.	111
Sistema de eje y suspensión.	113
Sistema de frenos.	126
Sistema de dirección.	127
Ensamble del prototipo	132
Presentación del proyecto: 6 mayo 2010	134

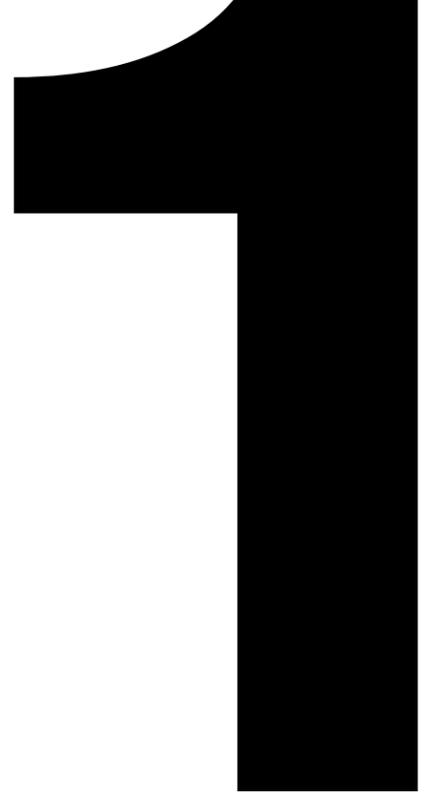
7. Reflexiones, conclusiones y aprendizaje. 137

8. Planos técnicos 145

9. Bibliografía 157

10. Anexos. 161

Planteamiento del proyecto.



1

Planteamiento del proyecto.

“El cuadríciclo como una nueva experiencia de manejo”.

Durante un periodo de ocho meses (octubre 2009-mayo2010) se desarrolló un trabajo interdisciplinario en el que participaron la Universidad Nacional Autónoma de México (representada por la Facultad de Ingeniería y el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial) y la Technische Universität München (TUM), representada por el Fahrzeugtechnik München (Departamento de Tecnología Automotriz de Múnich). El trabajo interdisciplinario se planteó el propósito de desarrollar un vehículo de tracción humana como alternativa de medio de transporte y objeto Premium, ofreciendo una experiencia de manejo atractiva. Aspectos como el mercado al que iría dirigido y la problemática a resolver quedaron abiertos para que el equipo involucrado planteara propuestas y trazara el camino a seguir, de acuerdo al estudio de estado del arte, tendencias y usuario meta.

El proyecto interdisciplinario culminaría con la presentación del trabajo realizado ante ejecutivos de Daimler Mercedes y algunos ejecutivos del departamento de marketing de Audi, así como a profesores, patrocinadores y directivos de ambas universidades participantes.

Sumado al trabajo enfocado en culminar un proyecto innovador y funcional, éste ofreció el enriquecimiento a través del intercambio cultural, académico y profesional. Además de enfrentar el reto del trabajo a distancia, con diferencia de horario, idioma y cultura, el equipo de trabajo se coordinó conjuntando las metodologías propias de cada universidad y la diferencia en los estilos de vida.

El presente documento describe el desarrollo y las diferentes etapas que se siguieron para lograr el diseño y realización del proyecto objetivo. Se mencionan los retos y problemáticas, así como metodologías, el proceso de diseño, los resultados que el equipo de trabajo concretó y las conclusiones del proyecto.

La realización de este documento de tesis tiene como fundamento el reporte final, que fue entregado a los profesores representantes de la Technische Universität München y de la Universidad Nacional Autónoma de México al término del proyecto.

De Noviembre de 2009
a Mayo de 2010...

El proyecto arrancó el 20 de Octubre cuando los estudiantes mexicanos y alemanes se presentaron a través de una videoconferencia inicial. Las siguientes dos semanas consistieron en establecer entregables y fechas críticas en el desarrollo del proyecto, así como el establecimiento de la forma de comunicación e intercambio de información. Sumado a esto, se realizó una investigación inicial del mercado, tendencias y estado del arte en vehículos de tracción humana y similares en México y en Alemania.

El 8 de noviembre de 2009 llegaron los estudiantes alemanes a



Figura 1: UNAM

México para conocer la contraparte mexicana personalmente, integrarse como equipo, y establecer las bases y criterios generales del proyecto. Durante dos semanas el equipo trabajó conjuntamente para delimitar el problema real con el objetivo de definir un concepto del producto. El primer equipo se enfocó en la planeación y de encuestas a usuarios mexicanos, para después realizar observaciones, analizar resultados y así poder abordar la creación de diferentes escenarios tanto en México como en Alemania. Al término de las dos semanas de trabajo, se definió un concepto final entre dos arquetipos para trabajar en la siguiente fase. El concepto elegido fue la base para la realización de prototipos, modelos virtuales asistidos por computadora, modelos a escala y en tamaño real.

En el mes de abril el equipo mexicano viajó a Múnich, Alemania, y en un periodo de dos semanas se coordinaron actividades para lograr ensamblar el prototipo final y preparar la presentación del proyecto.

El día 6 de mayo del 2010, el resultado final se mostró a través de una presentación y una posterior exhibición del prototipo en la Technische Universität München (TUM), Alemania.

El evento contó con la presencia de ejecutivos de los grupos automotrices Daimler-Mercedez y Audi, así como del equipo de



Figura 2: TUM.



profesores de las universidades involucradas¹ y los tres equipos pertenecientes a la división de proyectos de TUM “Global Drive 2010”.

Durante el desarrollo del proyecto, se emplearon una serie de metodologías utilizadas tanto en la industria como en el campo del diseño.

El presente proyecto se basó principalmente en dos metodologías:

El proceso de desarrollo de producto- (PEP Model²). empleado en la industria automotriz. Metodología que cubre desde la etapa estratégica hasta la producción del proyecto.

Creación de Escenarios. Metodología que abarca gran parte de la Etapa estratégica con el fin de sintetizar situaciones a futuro de oportunidad en el mercado.

A lo largo de este se mencionan otras metodologías que fueron empleadas durante los ocho meses de la duración del proyecto, a manera de herramientas con el fin de facilitar el proceso de desarrollo.

Metodología. Proceso de Desarrollo de Producto - PEP Model. En términos generales el

proyecto descrito en este documento se caracterizó por seguir una metodología empleada en la industria automotriz, el Proceso de Desarrollo de Producto, conocido internacionalmente como “Product Development Process”.

Dicha metodología resalta los puntos más significativos en una secuencia de pasos que deben ser cumplidos para lograr el desarrollo favorable de un producto hasta su lanzamiento al mercado.

De esta manera, toda acción se involucra desde la conceptualización del objeto hasta la producción y el proceso de ventas.

¹ Stanford University, EUA / Tonji University, China / Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM- México.

² PEP Model, por su siglas en Alemán para “Produktentstehungsprozess”, mejor conocido como Product Development Process en inglés.

Como una doctrina para la industria automotriz, el Modelo PEP describe cuatro fases importantes en el proceso de desarrollo de un producto:

- Fase estratégica >> Arranque del proyecto.

Contiene la idea del producto y planeación del proceso de desarrollo del producto.

- Fase de definición >>Decisión.

En esta etapa se concluye el proceso de planeación y se concreta el concepto del producto a desarrollar.

- Fase de realización >> SOP³.

Esta es la etapa de diseño, validación y desarrollo en serie del producto.

- Fase de producción >> Producción en serie >> Lanzamiento al mercado

Finalmente se da la orden de producción en serie para lanzar el producto a la venta.

En cada una de las cuatro fases principales se calendarizan fechas críticas dependiendo de la fecha de arranque de la producción (SOP- Start of Production); actualmente en la industria automotriz se requiere aproximadamente de sesenta y tres meses desde el arranque del proyecto hasta su lanzamiento al mercado como producto. Dicha Metodología es empleada como estrategia en el Departamento de Tecnología Automotriz de Múnich (FTM).

Como se dijo anteriormente, la El PEP Model en el proyecto. metodología que se siguió en el presente proyecto se basó en el proceso de desarrollo de producto (PEP- MODEL) de la industria automotriz. Se cubrieron las fases estratégica, de definición y de realización, dejando a un lado la fase de producción. El equipo fue el encargado de definir el concepto

³ SOP- Start of Production.

que se desarrolló a lo largo de todo el proceso, con la ayuda de herramientas de diseño, construcción, administración y de dirección de proyectos. Además, el equipo enfrentó el reto de realizar un prototipo funcional que convenciera a los líderes en la industria de la factibilidad de convertir el concepto en un producto real.

Fase estratégica: cubierta por los directivos del proyecto (profesores patrocinadores).

Fase de definición: abordada por los integrantes del equipo.

Fase de realización: abordada por los integrantes del equipo.

Fase de producción: no se abordó.

Programa de trabajo: Diagrama de Gantt.

El programa de trabajo conocido como diagrama de Gantt consiste en un mapa gráfico que muestra las actividades calendarizadas y las realizadas durante el periodo de trabajo y desarrollo de proyectos.

En el presente proyecto se planteó un diagrama de Gantt presentando puntos clave como el inicio y fin del proyecto, así como cada etapa y actividad dentro de ésta, el tiempo requerido para cada actividad y la relación con otras actividades.

Este tipo de programa es comúnmente utilizado para brindar información clara acerca del tiempo estimado y el tiempo real en cada tarea requerida durante el desarrollo de un proyecto.

Debido a la gran aceptación y fácil lectura que este programa ha ofrecido, la tabla de Gantt se ha convertido en uno de los más usados y eficientes esquemas de calendarización de proyectos dentro de la industria.

A continuación se muestra el diagrama de Gantt correspondiente al desarrollo del vehículo de tracción humana **Qx4** realizado por el equipo de Global Drive TUM-UNAM 2010 (fig .3).

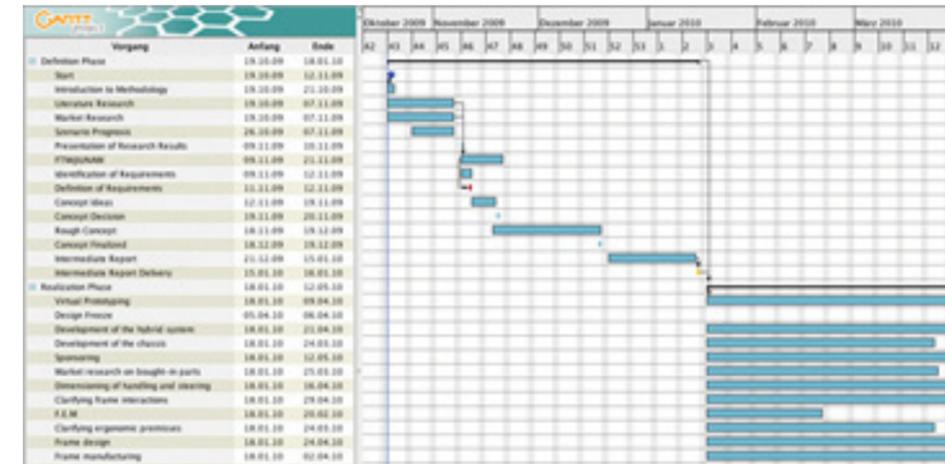


Figura 3. Diagrama de Gantt.

El equipo.

Un factor determinante en el desarrollo del proyecto fue, sin duda alguna, la conformación de un equipo que además de ser interdisciplinario, fuera intercultural.

La interacción entre dos disciplinas como lo son el Diseño Industrial y la Ingeniería, fortaleció el proceso creativo y la dinámica de trabajo entre los integrantes del equipo para poder lograr los resultados requeridos, afrontando el reto del trabajo a distancia desde dos países lejanos, tanto de idioma, cultura y horarios distintos.

El equipo se integró por ocho estudiantes, cuatro por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y cuatro más de la Technische Universität München (TUM), complementados por su respectivo equipo de profesores.

A continuación se presentan cada uno de los integrantes del equipo “Global Drive TUM-UNAM 2010”.

UNAM-México.

Dr. Alejandro Ramirez Reivich
UNAM-Ingeniería Mecánica



Arq. Arturo Treviño
UNAM-Diseño Industrial



Miguel Tentori
UNAM-Diseño Industrial
22 años



Yunuén Hernadez
UNAM-Diseño Industrial
23 años



Rodrigo Espíndola
UNAM-Ingeniería Mecánica
22 años



Ulises Gonzalez
UNAM-Maestría en Diseño Mecánico
24 años



TUM-Alemania.

Dr. Ing. Frank Diemeyer
TUM- Fahrzeugtechnik München



Dipl. Ing. Peter Burda
TUM- Fahrzeugtechnik München



Dominik Fries
TUM- Ingeniería en Organización Industrial
25 años



Jakob Kath
TUM-Ingeniería Mecánica
23 años



Andreas Wenzelis
TUM- Ingeniería Mecánica
23 años



Simon Schmeiler
TUM- Ingeniería Mecánica
24 años



Objetivos del proyecto.

A continuación se plantean los objetivos del proyecto como trabajo multidisciplinario, así como de titulación:

- Desarrollar un producto funcional, abordando retos técnicos que permitan la integración del diseño durante el proceso de desarrollo tecnológico en un vehículo de tracción humana como alternativa de transporte y/o producto recreativo.
- Lograr la construcción de un prototipo funcional de escala real, que compruebe la factibilidad del proyecto, habiendo superado el reto de la organización, coordinación, comunicación y trabajo a distancia entre los integrantes del equipo.
- Culminar el proyecto con la presentación del mismo en TUM, en Garching, Munich, de manera satisfactoria ante profesores y ejecutivos de empresas importantes en la industria automotriz; el día 6 de Mayo de 2010.
- Desarrollar una metodología de trabajo que integre el proceso de diseño, permitiendo la integración de dos disciplinas básicas en el desarrollo de producto (Ingeniería y Diseño Industrial). Además de coordinar la información y las actividades a realizar durante el periodo de desarrollo del proyecto, en un marco de trabajo a distancia para lograr resultados satisfactorios.
- Fortalecer la relación y cooperación en proyectos multidisciplinarios y multiculturales entre la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con universidades de alto prestigio a nivel Internacional como lo es la Technische Universität München (TUM).

Escenarios.



2

Metodología: Escenarios.

En el proceso de diseño, ¿Qué es un escenario?

es de gran utilidad la creación de escenarios, siendo éstos descripciones provisionales y exploratorias de un futuro o situación probable. Esta metodología fue desarrollada por Herman Kahn⁴ en los EE. UU.

Un escenario es un retrato significativo y detallado de un *plausible* (probable), *admisible*, *recomendable*, *coherente* mundo o situación futura. En él, se pueden ver y comprender claramente los problemas, amenazas y oportunidades que tales circunstancias pueden presentar. No es una predicción o un pronóstico específico, es la descripción de eventos y tendencias que pueden ocurrir.

Es por ello que la propuesta de situaciones y circunstancias que involucren el uso de un vehículo de tracción humana dentro y fuera de las ciudades en el futuro próximo, fue una herramienta sumamente útil para la identificación de oportunidades.

Se recurre a la creación de escenarios cuando se diseña ¿Por qué crear ESCENARIOS?

a futuro. El presente proyecto se planteó como prospectivo, y pretendió ser una alternativa en movilidad y experiencia de manejo en circunstancias que aún no se presentan, y que pueden ser extrapoladas en base a tendencias y situaciones actuales.

Crear escenarios que planteen las condiciones de vida, entorno y

⁴ Herman Kahn, (1922-1983) militar estratega y teórico de los sistemas empleados en la RAND Corporation, EE.UU.

costumbres de los posibles usuarios del vehículo a diseñar, es la mejor forma de visualizar actividades y forma de vida del usuario meta para el que se diseña. La creación de escenarios provee de una efectiva forma de comunicación y debate entre los integrantes de un equipo de trabajo.

La manera más eficiente para lograr un pronóstico claro es a través de textos descriptivos de una circunstancia. Cabe mencionar que los escenarios son meramente hipotéticos y no es posible determinar con exactitud la realidad en un futuro próximo. Sin embargo, los hechos, modos de vida y adelantos tecnológicos actuales brindan la pauta y marcan un camino a seguir en los próximos años.

¿Cómo se crea un ESCENARIO? La creación de un escenario, implica en primer lugar la investigación, recopilación de información, estado del arte y observación de los hechos actuales, seguido de un análisis para comprender los problemas y fenómenos relacionados con el caso estudiado; en esta ocasión, el uso de un vehículo de tracción humana dentro y fuera de las ciudades.

Además, un estudio directo de la situación real actual del lugar en el que el producto puede ser insertado, es imprescindible para lograr comprender el contexto en el que se desenvolverá el producto a desarrollar. Esto se logra a través de encuestas directas con personas en el contexto de estudio, en este caso la Ciudad de México. Con ello la formulación de preguntas básicas como ¿Con qué razones una persona utiliza una bicicleta? ¿Dónde se ocupa comúnmente una bicicleta? ¿Cuáles son los problemas de movilidad cuando se usa una bicicleta? ¿Cambiaría el usuario un automóvil por una bicicleta? Son indispensables para tener una visión general aterrizada del proyecto⁵.

Todo esto lleva a la etapa en las que se formulan preguntas acerca de las tendencias que seguirán las ciudades en vías de desarrollo y desarrollados (Cd. De México y Múnich en este caso). ¿Qué cambios habrá en la estructura de la sociedad y movilidad

⁵ La Ciudad de México fue la alternativa de contexto en país en vías de desarrollo y, dadas las circunstancias, las encuestas fueron realizadas en ella. Sin embargo, la recolección de información en ciudades de países desarrollados, como Múnich, fue considerada para la elección del contexto y mercado final.

en los próximos 10 años? ¿De qué manera se verá afectada la movilidad, el transporte y las actividades recreativas a través de los años?

El proceso para la creación de escenarios se puede dividir en cuatro grandes etapas. El proceso “Paso a paso”.

La primera de ellas es la **investigación**, que se divide en dos ramos:

Por un lado, la recaudación de información acerca del *estado del arte* en tecnología, tendencias en movilidad, transporte y recreación deportiva relacionada con vehículos de tracción humana y similares; así como datos relacionados con la situación de México y Alemania en materia de población, tendencias sociales y estadísticas relacionadas con el uso de estos vehículos en las ciudades. Por otro lado, la compilación de datos con base en la observación directa de personas mediante la realización y el análisis de entrevistas.

La segunda y más importante de las etapas fue la de **redacción de los ensayos**, donde la información recaudada fue aplicada en casos específicos planteando diferentes circunstancias posibles, de manera sencilla y comprensible.

Una tercera etapa fue la **selección de los escenarios** con mayor factibilidad de suceder gracias a una evaluación y retroalimentación efectuada por los diferentes miembros del equipo. Por último, la cuarta etapa consistió en la síntesis de los ensayos y **conclusiones** obtenidas de éstos con el fin de trabajar en propuestas conceptuales a partir de los escenarios elegidos.

Como primer paso en el proyecto fue necesario tener una idea general del estado del arte y de los productos, tecnologías y tendencias en el mercado actual y contar con los conocimientos generales o bien hacer un análisis e identificar oportunidades. Investigación y Contexto.

En este apartado se encuentra el acervo de información, resultante de la investigación realizada, un punto esencial para la elaboración de los escenarios planteados más adelante.

La información se expone en siete apartados para su mejor comprensión, desde una breve descripción de conceptos existentes, el estado del arte en tecnología utilizada en actualidad en los sistemas de eje, suspensión y asistencia eléctrica en vehículos de tracción humana y análogos, el planteamiento de premisas ergonómicas, y la situación del mercado actual en México y Alemania.

Estado del Arte en Tecnología.

Análogos y homólogos.

A continuación se presentan vehículos representativos ya existentes.

Mountain Quad. Este vehículo es un cuadríciclo recumbente (posición yacente, recostado), diseñado especialmente para ser utilizado en montaña, como su nombre lo indica. Al ser diseñado para manejarse en una posición recostada, dicho vehículo diseñado para terrenos irregulares no es un ejemplo totalmente homólogo, sin embargo las ventajas dinámicas que ofrece para su manejo y control lo hacen digno de ser estudiado.

Es un vehículo ultraligero y cuenta con cuatro suspensiones que trabajan independientemente en sus cuatro llantas. Por ello garantiza un movimiento y manejo seguro en terrenos irregulares. Siendo un vehículo diseñado para fines deportivos, no cuenta con espacio para carga de objetos ni personas adicionales.



Figura 4. Mountain quad.

El “Mountain Quad” cuenta con las siguientes características:

Vehículo ligero: La estructura está producida en aleación de aluminio y el peso total del vehículo es de 58 lbs (26.6 kg).

Sistema de dirección: Mountain Quad emplea un manubrio en forma de “U” que ofrece excelente ergonomía y control; es plegable en sus extremos para facilitar su transporte y guardado.

Tamaño del cuadro: Mountain Quad cuenta con un cuadro estructural estándar en su tamaño ya que el eje de los pedales es ajustable gracias a que se encuentra situado en un tubo telescópico. El vehículo es fácilmente ajustable a usuarios de 150 cm a 195 cm de estatura.

Sistema de frenos: Mountain Quad cuenta con frenos de disco hidráulicos con calibradores de pistón en sus cuatro llantas. Dos palancas son capaces de controlar el frenado, una para el sistema delantero, y la segunda para el trasero; con ello se optimiza el frenado de acuerdo a las condiciones de manejo.

Sistema de suspensión: El vehículo utiliza una suspensión independiente delantera, con resortes helicoidales a manera de amortiguadores, que permiten un recorrido de 6.35cm. La suspensión trasera consta de un eje sólido que tiene cierta libertad para maniobrar en terrenos irregulares, cuenta con amortiguadores ajustables de aire, ofreciendo un recorrido de 7.62 cm.

R-ONE.

Está diseñado para personas con discapacidad física que disfrutan del manejo en “Downhill”, en terrenos previamente preparados. Dicho concepto no se relaciona directamente con el vehículo a desarrollar, por ser un objeto a manera de aditamento para deportes paraolímpicos; por ello no cuenta con pedales o tren motriz como tal. La ventaja



Figura 5. R-ONE

principal de R-One es el contar con un sistema de dirección que facilita en un alto grado el manejo y control del vehículo. Además, el sistema de suspensión es altamente dinámico.

Al contar en su eje trasero con llantas de un diámetro más grande que aquellas en el eje delantero, y con una correcta combinación entre huella y cámara, las cualidades del vehículo se ven potencializadas. Asimismo el chasis o marco estructural es muy atractivo como arquetipo o modelo a seguir en vehículos análogos/homólogos.

ZEM 2-/4- Cycle.

Este es un vehículo que brinda la posibilidad de adecuarse para 2 a 4 personas, diseñado para paseos familiares o recreativos. En comparación con Mountain Quad (anteriormente expuesto), dicho vehículo cuenta con pocas características deportivas; sin embargo, la configuración del cuadro y el poder albergar de dos a cuatro personas son características dignas de analizar, además cuenta con un espacio para carga en la parte posterior.

A pesar de la disposición de los asientos, el chasis ofrece espacio suficiente para un motor eléctrico. El espacio entre el eje trasero y delantero es mayor que en vehículos previamente analizados. Es un vehículo más pesado, teniendo unos 40 kg en su versión para dos personas.

Algunos aspectos negativos del ZEM Cycle son el contar con dos ejes rígidos, suspensión de amortiguadores con elastómeros, la configuración del triángulo ergonómico y otros aspectos antropométricos.



Figura 6. ZEM-4Cycle.

Prueba de manejo de ZEM.

ZEM Cycle es un perfecto ejemplo de un vehículo alternativo para la ciudad. Por ello, se decidió analizar de manera más profunda y cercana el sistema completo por medio de una prueba de manejo. El vehículo puesto a prueba, contaba con espacio para cuatro individuos.

Después de la observación y experimentación con el vehículo, se presentaron las siguientes conclusiones:

VENTAJAS:

- A pesar de contar con un sistema de suspensión sencillo y barato, tiene un alto grado de confort en un terreno plano.
- Cuenta con cuatro palancas de cambio independientes.
- El manejo es perceptiblemente estable y seguro.
- El diseño de los rines en aluminio contrarresta las fuerzas laterales en las ruedas.

DESVENTAJAS:

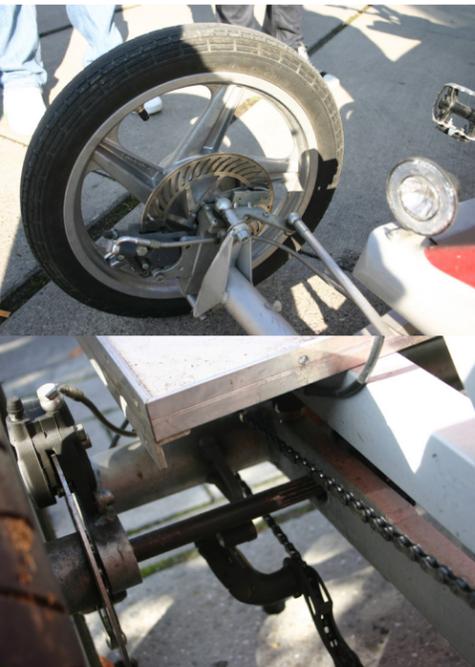
- Peso alto (60 kg).
- Sistema de suspensión anticuado.
- Pérdida de potencia constante causada por una constante fricción de frenado.
- Requiere de mucho esfuerzo humano para el control del vehículo y el pedaleo.
- No cuenta con un sistema de protección contra el clima, ni salpicaderas.
- El espacio para guardar objetos personales o cargas es mínimo, en comparación con el peso y dimensiones generales.



Figura 7: Detalle ZEM-Cycle.



Figura 8. Detalle 2 ZEM-Cycle.



- Al ser un vehículo ancho, no es posible manejarlo en carriles destinados al flujo de bicicletas, y al ser pesado y lento, no es conveniente su manejo en carriles compartidos con autos tradicionales.

Habiendo tomado estos vehículos como ejemplo, se encontraron que existen básicamente cuatro campos principales de conocimiento que deben ser considerados:

El diseño de eje y suspensión, la asistencia eléctrica, las diferentes modalidades en el ciclismo de montaña, y las premisas ergonómicas.

Los errores que se tuvieron en el cuadríciclo existente son de gran utilidad para tener en consideración dos premisas base:

- Ruedas grandes causan grandes esfuerzos laterales y momentos dentro de la suspensión.
- Trabajar simultáneamente el concepto del marco y la suspensión causa problemas al momento de adaptarlo a las cargas reales; por ello es importante trabajar en el diseño de un marco estructural teniendo en cuenta aspectos previos importantes en cuanto al sistema de eje y suspensión.

Asistencia eléctrica.

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de vehículos de tracción humana con asistencia eléctrica o con sistemas híbridos. Estos se pueden dividir en dos grandes grupos, los conceptos que brindan potencia adicional diseñada para bicicletas y los sistemas “hágalo-usted-mismo” que son más sofisticados.

Sistemas diseñados para bicicleta.

Eje y Suspensión.

Con respecto a este tema, se presenta a continuación una breve descripción del vehículo desarrollado durante años anteriores, por un equipo de estudiantes del departamento de FTM (Fahrzeugtechnik München) en TUM, con el fin de adquirir conocimientos en la construcción de suspensiones para cuadríciclos y definir, con ello, ciertas reglas generales.

El cuadríciclo existente se encuentra equipado con una suspensión de doble horquilla en los ejes frontal y trasero, ofreciendo características ajustables a la suspensión así como una gran tolerancia a diversos ángulos en la dirección. Las desventajas en este tipo de suspensión son, la dificultad que representa el montaje de los amortiguadores y el gran costo que implica su construcción, manufactura y reparación.

El usar una suspensión trasera de brazo arrastrante y una frontal de doble horquilla disminuye el esfuerzo al montar el amortiguador y baja los costos. Sin embargo, quita la posibilidad de ajustar el ancho del eje (track) y la inclinación de las ruedas (camber).

Es un sistema de “motor en rueda” diseñado sólo para bicicletas que funcionan a base de baterías; posee un sistema de recuperación, una unidad de control y lugar para montarlo. Sin embargo es muy caro (con un precio de 1300€) y con solo un motor provee 250W lo cual en el caso del cuadríciclo podría ser usado como un sistema de motor en el eje, aunque probablemente se necesitarían dos motores, ya que la potencia que produce no es suficiente.

Este concepto funciona de la misma manera que el anterior. Pero a diferencia de Bionx, se pueden usar diferentes controladores para regular la asistencia eléctrica, ya sea un pedal, una manija (como las motos) o ambas; haciendo el concepto más individual y multifuncional. En cuanto a desventajas, Schachner carece de fiabilidad y de un sistema de recuperación de energía.

Figura 10. Sistema BionX.



BionX.



Schachner.

Figura 11. Sistema Schachner.



Gruber Assist.

Éste es un concepto diferente, incluso en configuración. El motor se encuentra montado en el poste del asiento y tiene conversión directa a los pedales; esto brinda ventajas en cuanto a la seguridad, porque es prácticamente imposible de robar debido a su instalación. Su diseño es muy ligero y es posible tener un soporte independiente para dos ciclistas. El precio de "Gruber Assist" es de 2000€ ofreciendo sólo una potencia de 200W. Su desventaja es el gran ruido que produce debido a sus engranes.

Figura 12. Sistema Gruber Assist.

Sistemas "hagalo usted mismo".

A continuación se enlistan algunos aparatos cuyos motores podrían ser implementados en el cuatriciclo

- **Dynastarter** (combinación entre "starter" y un generador).
- Es un clásico "dinastarter" (generador encontrado en los autos) que produce 1100W; permite la recuperación y tiene un buen balance entre costo y desempeño debido a su bajo precio: 200€.
- **Motor de taladro DeWalt.** Este motor ofrece una potencia de 750W a precio muy accesible.
- **Podadora Bosch.** Por un precio de 360€ este motor ofrece 1700W de potencia.
- **E-Scooter.** Con una potencia de 1000W se puede comprar dicho motor por solo 320€.

Figura 13. Diferentes dispositivos eléctricos.



Las ventajas generales de los sistemas "hágalo-usted-mismo" son que brindan mucha potencia y son más costeables que los hechos sólo para bicicletas. Sin embargo, su montaje en un vehículo de tracción humana es más complejo debido a los ajustes que se requieren. Por todo lo anterior es difícil que se vuelvan una realidad para el sistema híbrido del cuatriciclo; además no existen controladores específicos para dichos motores, por lo que sería necesario un experto en ingeniería eléctrica para su desarrollo.

Modalidades en el ciclismo de montaña.

Dentro del mercado de las bicicletas, aquellas diseñadas para ciclismo de montaña son las que integran sistemas de suspensión eficientes. Por ello es de gran utilidad conocer a grandes rasgos las diferentes modalidades en este tipo de ciclismo, y con ello tener una idea de los requisitos generales que una bicicleta de suspensión debe cubrir para este tipo de actividad.

A manera de mención, las diferentes modalidades del ciclismo de montaña de competición son: Rally o Cross Country (XC), Descenso o Downhill, Marathón, Megavalanche o Freeride, Downhill Urbano, Dual Slalom, Four Cross 4X o Eliminator, Street o Urban, y Trial o Trialsin.

Las dos modalidades de ciclismo de montaña más comunes y por las que se rigen las características de las bicicletas empleadas en MTB (Mountain Biking), son:

Competencias en terreno ascendente y descendente. Rally o cross country (XC).

Suele disputarse en circuitos de 7.10 km de longitud en los que se efectúan varias vueltas. Todos los corredores parten al mismo tiempo. En cuanto a las bicicletas, las hay de doble suspensión y rígidas, todas con una geometría larga de ejes y un ángulo de dirección bastante vertical (más inestables), el ángulo del asiento se sitúa por encima para mejorar su pedaleo. El peso suele estar básicamente desplazado a la rueda delantera, optimizando el

pedaleo y la escalada. Por el contrario, son más exigentes al maniobrar cuesta abajo cuando el terreno es muy irregular (cuestas inclinadas, con escalones, piedras grandes, etc.).

Los materiales más utilizados son el carbono y aluminio. El recorrido de los amortiguadores delanteros no pasa de 100 mm, aunque mayormente por cuestiones de peso suelen ser rígidas.

Descenso o Downhill.

Es un recorrido cuesta abajo de dificultad técnica media y alta en el que los corredores luchan contra un cronómetro de manera individual. El ascenso se realiza por medios mecánicos (teleféricos, camiones, etc.). BICICLETAS: las bestias del MTB. Hay de doble suspensión y rígidas. En su geometría son las más largas, bajas en el centro de los pedales y con un ángulo de dirección más inclinado para su estabilidad. El material principal de fabricación es el aluminio, también hay modelos con algunas inserciones de carbono. Suelen tener tubulares de sección gruesa, con largos cordones de soldaduras, tijeras extra-reforzadas. El peso es secundario en esta modalidad, sacrificando unos gramos por una mayor fiabilidad.

Cada una de estas especialidades ha dado lugar a distintas tipologías de bicicleta. A grandes rasgos, y resumiendo, en rally se utilizan habitualmente bicicletas sin suspensión trasera, con suspensión delantera de poco recorrido y muy ligeras, en muchos casos por debajo de los 10 kg. En el otro extremo, las bicicletas de descenso usan cuadros muy reforzados y pesados, sistemas de suspensión trasera y delantera de largo recorrido, ruedas gruesas y pesadas, etc. Con bicicletas que rondan los 20 Kg, lo cual permite un pilotaje más agresivo y maniobras (saltos o peraltes) más arriesgadas.

Premisas ergonómicas.

Es importante mencionar que los datos presentados a continuación hacen referencia a vehículos tipo bicicletas y serán aplicados en el vehículo a desarrollar, por ser análogo y estar regido por las mismas reglas de manejo. Más aún, se consideraron datos y situaciones referentes al ciclismo de montaña.

El factor ergonómico al momento de manejar un vehículo tipo bicicleta, influye en el rendimiento y el confort del usuario. Si el confort es óptimo, el rendimiento será mejor. Por lo tanto, una correcta posición del cuerpo del usuario tendrá un efecto positivo en la fuerza que éste ejerce para mover el vehículo.

Por consiguiente, los principales aspectos de influencia ergonómica son:

- Geometría de la bicicleta (Triángulo ergonómico).
- La talla del marco de la bicicleta.
- Posiciones para montar una bicicleta.
- Fuerza del usuario y relación con la posición de manejo⁶.

Geometría de la bicicleta.

La “**geometría de la bicicleta**”, es clave para entender algunos ángulos y distancias que tienen un impacto directo sobre la posición del conductor y el comportamiento de la bicicleta cuando se usa.

Todos los elementos de la geometría de la bicicleta en la práctica se relacionan y se derivan del cuadro, ya que algunos de ellos pueden ser cambiados mediante el uso de diferentes componentes, la altura del asiento y manubrio. Los principales elementos de la geometría, se presentan en el texto y visualmente en la fig. 14 a continuación.

⁶ Consulta de información referente a la eficiencia y potencia de manejo en: http://www.biolaster.com/ciclismo/posicion_ciclista_bicicleta/posicion_ciclista_potencia

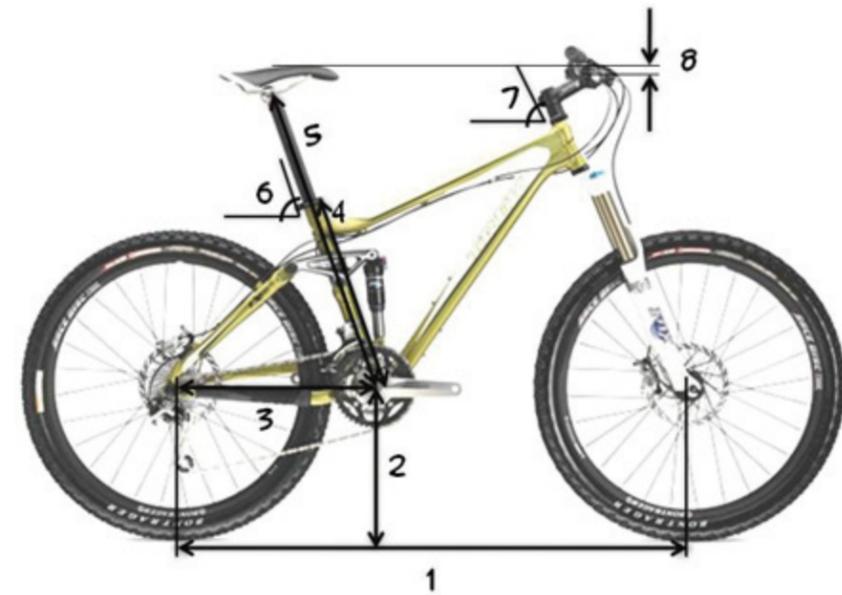


Figura 14. Geometría de la bicicleta.

1. Distancia entre ejes - Distancia entre los ejes delantero y trasero. Pertinentes a la realización de la bicicleta. En general, cuando la distancia entre ejes es mayor, se logra una mayor estabilidad y velocidad, pero disminuye su maniobrabilidad y viceversa.

2. Altura media de la caja de centros - Se mide verticalmente desde el suelo con el eje de los pedales (pero se debe considerar que en algunos casos la medición es hasta el borde inferior del tubo

del cuadro). Una mayor distancia al suelo, es una ventaja para la superación de irregularidades en el terreno, rocas etc., Sin embargo la estabilidad se ve reducida; una menor distancia proporciona una mayor estabilidad, especialmente en las curvas.

3. Longitud de la tijera trasera - Esta medida se refiere a la longitud de los tubos que unen el eje de pedales con el eje de la rueda trasera. Aparte de afectar a la distancia entre ejes, es una de las medidas que más afecta el comportamiento de la bicicleta. El tener tijeras cortas sitúa el peso más cerca del eje trasero mejorando la tracción en subida, haciendo que el vehículo pueda manejarse cuesta arriba de manera más eficiente, mientras que un vehículo con esta distancia más larga será apto para altas velocidades.

4. Longitud del tubo vertical - Es la distancia desde el eje de los pedales hasta el borde superior del tubo del asiento en el marco estructural.

5. Altura del asiento - Es la distancia desde el eje de los pedales de la base a lo largo de la línea del tubo vertical y el tubo telescópico del asiento. La distancia fundamental para lograr la posición correcta en la bicicleta y para evitar problemas en las rodillas, ajustable a

cada tipo de usuario.

6. Ángulo del tubo del asiento - Se refiere al ángulo entre el plano horizontal y el tubo telescópico del asiento el cual debe ser proporcional a la longitud efectiva de la tijera para una mejor distribución del peso, etcétera.

7. Ángulo de potencia (caster) - Es el ángulo entre el plano horizontal y la línea que pasa por el centro del tubo de la dirección; este es importante para el comportamiento de la bicicleta. En igualdad de condiciones, afecta a la distribución del peso y la longitud de distancia entre ejes. Pero el efecto más importante de cambio en el ángulo de dirección delantera de la bicicleta es, que un ángulo de gestión frontal más afilado conduce a una mejor maniobrabilidad en bajas velocidades. Aunque, este ángulo provoca que la conducción sea más difícil en un terreno accidentado y muy empinado. En pendientes menos pronunciadas, es estable, pero una maniobrabilidad rápida para evitar obstáculos es poco eficiente. Sin embargo, para cuestas con una gran pendiente, un ángulo menor en la dirección es lo más apropiado. Normalmente las bicicletas cuentan con un ángulo frontal de 70-72 grados. Las bicicletas de descenso traerán entre 65-69, llegando a 69-70. Se debe tener en cuenta también que las tijeras (horquillas) ajustables permiten cambiar el ángulo en la dirección, por lo general una pulgada (2,54 centímetros).

8. Altura del asiento al manubrio - Es la distancia que hay entre la altura del asiento y el manubrio. Esta distancia debe estar entre 2 y 3 cm por debajo del asiento. Los ciclistas a menudo hacen la diferencia más alta con la finalidad de colocarse más inclinados sobre el manubrio y lograr así una conducción más agresiva (mientras más abajo, más agresiva). Todo ello depende del tipo de pilotaje, del tipo de estilo que se practique y claro, de las preferencias personales, terreno, etc⁷.

⁷ Se puede consultar el documento traducido al español (colombiano) en: <http://calameo.com/books/0001485481be977ee0e7b>

Geometrías MTB.

Cada marca tiene sus proyectos y sus maneras de fabricar los cuadros y no todas las marcas fabrican bicicletas de cierta modalidad con las mismas geometrías MTB⁸, pero sí similares.

Las distancia entre eje trasero y eje de pedales:

Una distancia corta entre ejes proporciona más tracción, manejabilidad y sobre todo ayuda a realizar ciertas acrobacias, es decir, más ágil. Con distancias entre ejes mayores, la bicicleta será más estable en altas velocidades.

Altura del eje de los pedales: (entre la caja de centros y el suelo)

Esto es muy sencillo de entender: entre más baja sea la altura del la caja de pedales y el centro de gravedad, más estabilidad se tendrá. Por otra parte se tendrán más problemas con las piedras y en terrenos difíciles. Un eje de pedales alto va muy bien para bicicletas de Free-ride y DH ya que tienen que soportar bajadas en terrenos irregulares. Otra razón por la que la distancia tiene que ser alta, aparte del terreno, es que estas bicicletas cuentan con suspensión, por lo que los pedales no deben de tocar el suelo, ni amortiguando.

Medidas de alturas de eje de pedales típicas:

- Rígidas (XC/Rally) de 29 a 30 cm
- 4x/Dual/Dirt/Street , de 28 a 32 cm
- Doble (XC/Rally) de 30 a 32 cm
- Enduro, de 34 a 36 cm
- Free/DH de 35 a 37 cm

Caster o ángulo de dirección:

Este factor determina la agilidad de la bicicleta. Un ángulo más vertical permite un mejor manejo y mayor agilidad. Ángulos más “inclinados” o “tumbados” con respecto a la vertical ofrecen

mayor estabilidad pero pierden manejabilidad por lo que no son recomendables para zonas inclinadas, pronunciadas, escalones, etc. Por ello, en terrenos irregulares donde se requiere gran destreza las bicicletas con ángulos más verticales tienen un mejor desempeño.

Las bicicletas con ángulo vertical son mucho más manejables que otras con un ángulo más inclinado. Las bicicletas de Street suelen tener el ángulo más cerrado que las de Dirt Jump que lo tienen vertical prácticamente.

Ángulos de dirección típicos:

- Dual/ Free /DH: de 65 a 68 grados.
- Enduro: de 69 a 70 grados.
- XC: de 70 a 71 grados.
- Ángulo del tubo del asiento.

En bicicletas de XC/Rally el tubo del asiento suele estar encima de la caja de centros para facilitar así su progresividad y la efectividad de pedaleo. En bicicletas de DH/Free/enduro/Dual/Dirt/Street suele estar retrasado para no molestar y para adaptarse al tipo de conducción “de pie”⁹.

Talla del marco.

La postura del usuario (conductor) es un factor clave y depende directamente de ciertas características antropométricas; principalmente de la longitud pie-cadera, torso y longitud de brazo. Por consiguiente, para el diseño de un vehículo de tracción humana, fue necesaria la consulta de bases de datos que relacionaran medidas antropométricas con las dimensiones de los diferentes componentes en la geometría de una bicicleta.

⁹ Texto completo en: <http://mecanica-rotera.blogspot.com/2009/02/geometrias-en-mtb-y-modalidades.html>

⁸ MTB- Mountain Biking, ciclismo de Montaña

Una segunda alternativa es la consulta de las tallas y sistemas que existen actualmente en el mercado de bicicletas para conocer la talla del marco de acuerdo a la estatura del usuario. Sin embargo, es un hecho que no existe un sistema común de medidas de cuadros entre los distintos fabricantes. En cuanto a la talla del marco es muy difícil dar datos fijos que sean válidos para todas las personas, ya que las medidas corporales varían de unos a otros individuos. Una persona puede ser de idéntica estatura a otra, pero sus medidas de piernas, brazos, tronco, etc. son muy diferentes, por lo que dar unas pautas absolutas no es posible, ni recomendable. No obstante, es útil ofrecer datos únicamente de carácter orientativo para escoger una talla adecuada.

Para bicicletas de montaña, la medida más importante a tener en cuenta es la del tubo vertical, que es la que nos da el tamaño adecuado, ya que el largo va a depender del ángulo de la dirección ("caster" variación de 0° a 20°) y de que la bicicleta lleve manubrio de dos alturas o plano.

A continuación, y de manera muy general, se muestra la relación entre la estatura del usuario y la talla del marco (en pulgadas) que le corresponde, en bicicletas de montaña.

Altura del usuario (cm)	Talla en bicicleta de montaña
160-165	14"
165-170	16"-17"
170-175	18"
175-180	18"-19"
180-185	20"
185-190	20"-22"
190	22"

Tabla 1. Relación estatura-talla de bicicleta.

Posiciones en el ciclismo de montaña.

A continuación se muestra una imagen en la que se puede apreciar la posición tradicional del usuario sobre una bicicleta de montaña (fig. 15).

En el ciclismo de montaña, existen variaciones en la posición del usuario, dependiendo de las condiciones del terreno en las que se encuentre. Esto se debe a que el usuario debe distribuir su peso de tal manera que se busque la estabilidad en las diferentes condiciones de manejo¹⁰.

Enseguida se presentan de manera general las tres principales circunstancias y su relación con el peso del vehículo-usuario:

- Cuando el usuario se apoya totalmente en el asiento, la distribución del peso es de 40:60. Un 40% en el eje delantero y un 60% en el eje trasero.
- Cuando se maneja cuesta abajo, el usuario debe cargar su peso hacia el eje trasero. La pelvis debe encontrarse ligeramente detrás del asiento.
- Cuando se maneja cuesta arriba, el peso debe ser cargado hacia adelante levantándose del asiento, para recargar todo el peso en los pedales, y aplicar una mayor fuerza al pedalear.



Figura 15. Posición tradicional.

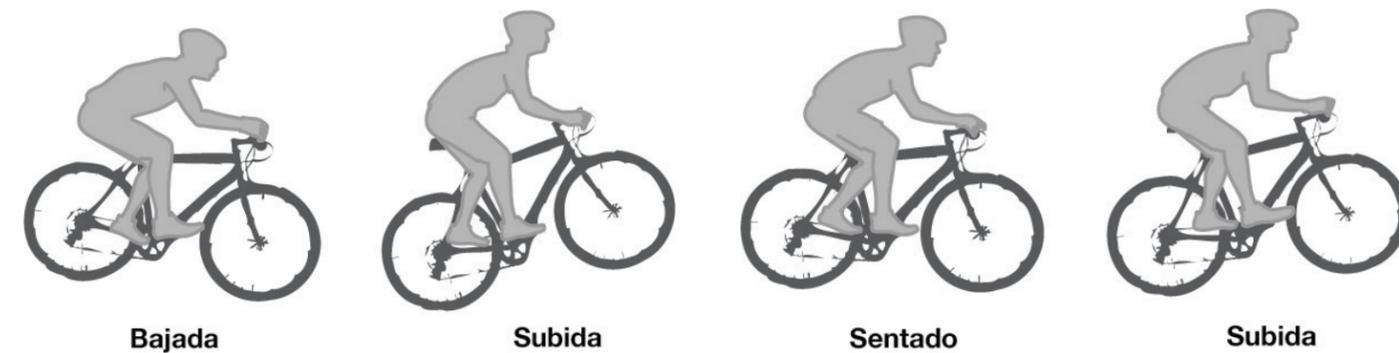


Figura 16. Distintas posiciones para equilibrar el centro de gravedad.

¹⁰ Consulta de videos demostrativos, en "Downhill biking", dinámica y posiciones en: http://www.ehow.com/video_2360955_basic-tips-steep-terrain-downhill.html

Defectos en la bicicleta y en la técnica de pedaleo.

Los defectos o inadecuados ajustes de la bicicleta pueden ocasionar lesiones por sobreuso debido a la reiteración del gesto cíclico; aunque históricamente tanto la técnica de pedaleo como la ergonomía de la bicicleta hayan evolucionado en busca de un mayor rendimiento, es inevitable que se produzcan lesiones.

La siguiente tabla muestra las posibles lesiones que causan los ajustes inadecuados, tanto en la bicicleta como en el pedaleo¹¹:

Defecto	Consecuencia
1. Cuadro de bicicleta largo.	Posición mas horizontal de ciclista que le obliga realizar una hiperlordosis.
2. Cuadro de bicicleta corto.	Posición mas vertical por parte del ciclista que puede generar lumbalgias.
3. Cuadro de bicicleta alto.	Hipertensión de las rodillas, lo que produce una sobrecarga en la musculatura interior.
4. Cuadro de bicicleta bajo.	Sobrecarga de la musculatura extensora, cuádriceps y aparato extensor.
5. Excesiva rotación interna del pie.	Sobrecarga de la musculatura externa, bicep y vaso externo.
6. Excesiva rotación externa del pie.	Sobrecarga de los tendones de la región interna de la rodilla y tendones de la pata de ganso.

Tabla 2. Consecuencias fisiológicas por defectos en bicicleta.

Situación actual: México.

Mercado de bicicletas en México.



Figura 17. Imagen del centro de la Cd. México.

De acuerdo con la investigación las estadísticas en México muestran.

- México es uno de los 10 países con más accidentes automovilísticos en el planeta (WHO-World Health Organization).
- Catorce personas mueren diariamente en accidentes que involucran automóviles en la ciudad.

(Secretaria de Seguridad Pública).

- Cada año hay 352 accidentes de bicicleta (INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- De acuerdo con el instituto, en la ciudad de México hay más de 100,000 viajes en bicicleta, el 57% debido a razones de trabajo.

Para poder explicar la situación del mercado de las bicicletas en México, es necesario presentar información específica acerca de la situación del país. México tiene una buena posición en cuanto al mercado de bicicletas, sin embargo no se compara con países europeos. La mayor parte de la población vive en la ciudad de México que oficialmente cuenta con 20 millones de habitantes. En las afueras de las ciudades las áreas son en su mayoría rurales y subdesarrolladas en cuanto a infraestructura se refiere. Normalmente los caminos se encuentran en malas condiciones. En las áreas urbanas la infraestructura se encuentra presente y desarrollada, especialmente en la ciudad de México. Ahí se encuentra establecido un sistema de caminos, autopistas y carreteras para cualquier tipo de vehículos motorizados, autobuses, camiones, autos, etc.

En la ciudad de México el tráfico es un problema grave causado por calles sobre transitadas. La ciudad tiene una superficie de 7,800 km², pero la densidad de la población es una de las más grandes de todo el mundo. A pesar de que hay bastante transporte público este se encuentra sobrepoblado por lo cual mucha gente prefiere usar el automóvil para transportarse de un lugar a otro. Debido a la densidad de población, el sistema de caminos colapsa diariamente en diverso puntos de la ciudad durante las horas pico. Las consecuencias de esto son embotellamientos, accidentes y serios problemas ecológicos. Una solución para mejorar la vialidad



Figura 18. Eco-bici. Alternativa de transporte en la Cd. México.

sería la sustitución de autos por bicicletas; esta opción es en cierto grado viable ya que en la mayoría de los autos se transporta una sola persona. Lamentablemente en México no se ha generalizado ni promovido el uso de la bicicleta debido a que prácticamente no hay caminos diseñados expresamente para su circulación por lo que comparten los carriles con autos, camiones, autobuses, transporte público, trailers, etc., lo cual resulta extremadamente peligroso.

Adicionalmente, la manera de manejar de los mexicanos difiere mucho de la que se observa en otros países como por ejemplo en Alemania en donde existe un respeto por el uso de este medio de transporte el cual ya está establecido, regulado y cuenta con la infraestructura necesaria. En nuestro país es común que no se preste atención ni se respeten las señales de tránsito; al mismo tiempo se carece de una cultura de vialidad lo cual desemboca en caos ya que provoca estrés y agresividad entre los automovilistas quienes conducen a un ritmo muy acelerado. Estas razones hacen que el uso de la bicicleta se presente como una alternativa muy poco atractiva y peligrosa. Si a esto le aunamos el alto grado de smog, una altitud de 2,300 m sobre el nivel del mar y las altas temperaturas, el manejar una bicicleta puede ser abrumador. Otro inconveniente que presenta México es que en las zonas rurales las distancias son muy largas, los caminos son pocos y se encuentran en malas condiciones.

En la ciudad de México se realizan 22 millones de viajes al día por diversas razones, pero solo un 1% de ellos se hacen en bicicleta. Esto se debe a que no hay una cultura en el ramo. Hoy en día se está tratando de introducir y educar a la población sobre el uso de este medio. Por eso se han iniciado, en ciertas zonas estratégicas de la ciudad, programas para el préstamo y renta de bicicletas para el transporte dentro de las regiones establecidas. Un claro ejemplo es la iniciativa que tomó la “Universidad Nacional Autónoma de México”, donde se prestan bicicletas a los alumnos para desplazarse dentro del campus. Además se ha declarado el domingo como el día para salir en bicicleta en familia por lo que se cierran avenidas importantes para que la gente salga a pasear. Pero la realidad es

que la ciudad no cuenta con las condiciones óptimas para que se logre implementar el uso de la bicicleta como una opción real de transporte.

Asimismo, a las afueras de la ciudad la gente usa la bicicleta con fines deportivos ya sea en fines de semana o después del trabajo ya que van a practicar campo traviesa o “downhill” (cuesta abajo). Sin embargo, este grupo de personas es tan reducido que no representa un nicho importante en el mercado. Otro aspecto digno de tomarse en cuenta y que representa una diferencia significativa entre los dos países es el precio de las bicicletas ya que en México la bicicleta promedio cuesta menos de 100€ mientras que en Alemania el precio es de 386€. De esta forma confirmamos que el mercado para este producto en México es pequeño y dirigido a ciertas actividades para los deportistas extremos.

A continuación se presentan más datos acerca de la situación actual en la ciudad de México.

- 22 millones de viajes principalmente por autobús, automóvil y metro se realizan dentro y alrededor de la ciudad de México.
- 64% de éstos con destino al trabajo o escuela.
- Cerca del 40% de los trabajos se localizan cerca del centro de la ciudad.
- La mayoría de los viajes realizados tienen una duración de 60 min.
- La mayoría de las personas viven aproximadamente a unos 3.3 km de una estación de metro.
- Únicamente un 1% de los viajes son hechos por bicicleta y la mitad de ellos dura solamente 15 minutos.

Figura 19. Un domingo en la Av. Paseo de la Reforma.



Situación actual: Alemania.

Mercado de bicicletas en Alemania.

Alemania es un lugar histórico en cuanto a producción y uso de bicicletas. Karl Drais, un barón alemán en Mannheim durante el siglo XIX, fue considerado el pre-inventor de la actual bicicleta. El visualizó el principio de las dos ruedas cuando construyó el “Draisine” que es considerado hoy en día como el precursor de las bicicletas. Cincuenta años después el principio de pedalear fue inventado por Pierre Lallement en Nancy, France. De aquí en adelante el desarrollo de estos vehículos empezó su desarrollo pasando por diversos pasos. El primero de ellos fue el Penny-farthing en 1870. A pesar de que el diseño permitía grandes velocidades debido a la gran rueda del frente acompañada con la alta relación en la transmisión, la maniobrabilidad era inestable y peligrosa. Después, los desarrolladores empezaron a crear bicicletas con las ruedas de un mismo tamaño y una transmisión con cadena independiente; configuración actual de las bicicletas, pero mucho más desarrolladas.

A principios del siglo pasado la gente en Alemania comenzó a utilizar la bicicleta como uno de los principales medios de transporte.

Hoy en día debido al eficiente sistema implementado para este tipo de transporte en este país, las bicicletas se usan diariamente con diversos propósitos.

En la publicación del 2009 de “Statistisches Bundesamt” se presentaron estadísticas acerca del mercado de las bicicletas en Alemania. De acuerdo al artículo, se produjeron 2.37 millones de bicicletas en Alemania, de las cuales se exportaron 0.92 millones a otros países, y adicionalmente se importaron otras 2.92 millones. Al juntar estas cantidades se llega a un total de 4.32 millones de bicicletas que fueron vendidas en Alemania sólo en el 2008, aumentando el número de bicicletas existentes en los hogares alemanes a 68 millones de piezas, que es una cifra alta comparándola con todo el mercado en Europa. En adición, las

estadísticas también ofrecen cifras interesantes acerca de los tipos de bicicleta más vendidos, entre los cuales destacan la bicicleta para ciudad y la llamada “Trekking”; seguidas por las deportivas, las bicicletas de montaña (MTB), todo-terreno y las de carreras que ocupan cerca del 30% del mercado alemán. Como dato interesante, la demanda de bicicletas eléctricas aumentó de tener un 1% en el 2006 a un 2.5% en el 2008, mientras que las deportivas se mantuvieron o descendieron un poco en algunos casos.

Observación de usuarios.

Metodología: Encuestas.

Para el diseño de Preparación de encuestas. las encuestas, el 10 de noviembre, el equipo llevó a cabo una lluvia de ideas* de las preguntas que serían aplicadas. La idea fue escribir tantas preguntas como fueran posibles considerando las tendencias, el mercado, y la información obtenida en la investigación. Posteriormente se organizaron y ordenaron las preguntas planteadas y fueron escogidas de tal manera que fueran capaces de brindar arrojar información útil de los ciudadanos mexicanos a encuestar. Las encuestas fueron aplicadas el 11 de noviembre en la Ciudad de México, en espacios abiertos, en zonas como la colonia Condesa y la Avenida Reforma, donde existe un mayor uso de bicicletas y una gran variedad de personas capaces de brindar información y puntos de vista con respecto al uso de un vehículo alternativo en la Ciudad de México.

Figura 22. realización de encuestas el 11 de noviembre de 2009.



Figura 20. Primeros conceptos de bicicleta. Paseo de la Reforma.



Figura 21. Múnich.

Análisis de encuestas.

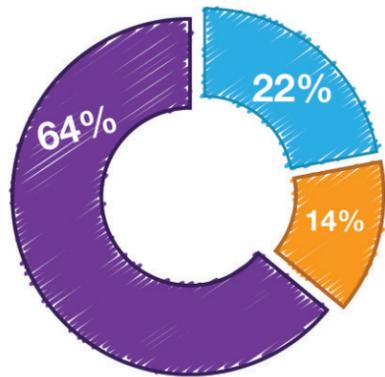
Fueron entrevistados cerca de 70 individuos, tanto usuarios como no usuarios de vehículos tipo bicicleta con el fin de contar con ambos perfiles y opiniones. Posteriormente las encuestas fueron analizadas y evaluadas.

A continuación se presentan los datos e información más relevante a manera de gráficas.

Como equipo, y a modo de estrategia, se tomó la decisión de mantener el enfoque en los puntos negativos mencionados por los encuestados, referentes al uso de una bicicleta en la Ciudad de México. De esta manera sería más fácil desarrollar los escenarios considerando siempre los problemas y necesidades del usuario.

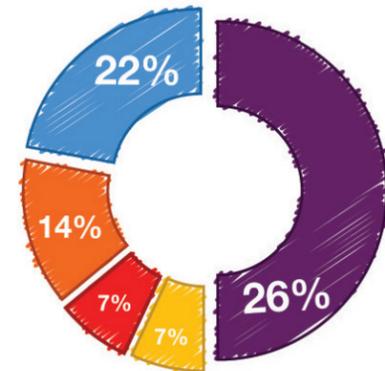
Abajo se muestran datos relevantes manifestados por los individuos encuestados. Las razones principales por las que la gente comúnmente no hace uso de la bicicleta en la ciudad de México son:

Gráfica 1.



- No tienen gusto por la bicicleta como medio de transporte alternativo.
- Consideran que es cansado manejar una bicicleta.
- Las personas no están acostumbradas a manejar una bicicleta en la ciudad

Los aspectos negativos que influyen en el uso de la bicicleta son:

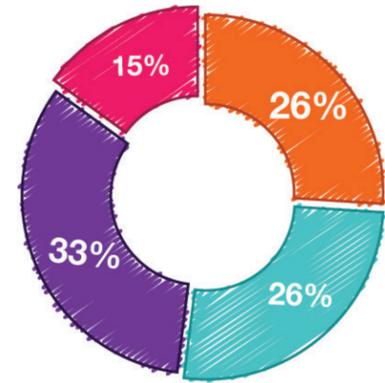


- No hay un espacio destinado exclusivamente al ciclista en la Ciudad de México.
- Los usuarios de automóviles no respetan a los ciclistas.
- Las personas se cansan fácilmente.
- El cuerpo se encuentra expuesto a accidentes.
- Condiciones climáticas.

Gráfica 2.

Frecuencia con la que la gente hace uso de la bicicleta:

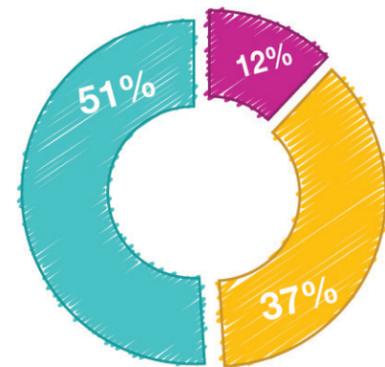
- Diario
- A veces
- Esporádicamente
- Nunca



Gráfica 3.

Las principales razones por las que se utiliza una bicicleta son:

- Fines deportivos / salud / entretenimiento.
- Transporte
- Negocio



Gráfica 4.

Escala de importancia en aspectos como:

- Calidad en el diseño
- Precio accesible
- Calidad en la manufactura y materiales.
- Seguridad
- Carácter /diseño deportivo.

Creación de escenarios.

Mediante una lluvia de ideas se desglosaron, a manera de ensayos, diferentes circunstancias y posibles situaciones a futuro para poder ser discutidas, evaluadas y elegidas. Cada ensayo pretendió plantear una situación realista y comprensible de lo que cada escenario proyectaba para un futuro próximo.

Redacción de los ensayos.

Para la redacción de los ensayos, se formaron pequeños equipos de dos personas (un integrante alemán y uno mexicano) con el fin de establecer al menos dos escenarios por equipo considerando los puntos de vista de ambas culturas, de manera tal que cada ensayo pudiera conducir a diferentes posibilidades para el desarrollo del proyecto.

A continuación, y a manera de resumen se muestran los diferentes escenarios planteados.

Diagrama 1. Creación de escenarios.



Escenario 1 y 3: Alemania y México - Compartiendo un vehículo

Con este escenario se analizó la posibilidad de contar con infraestructura en la ciudad para poder compartir un vehículo tipo bicicleta entre dos personas; especialmente en el centro de ciudades como Munich o México.

La idea es contar con lugares de estacionamiento en las calles del centro de la Ciudad para poder estacionar los vehículos. Los vehículos cuentan con un aditamento que les permite cargar sus baterías en los lugares en donde son estacionados. Cualquier hora del día es una buena opción para cargar baterías.

La gente que va al trabajo o bien, la gente que va de paseo por el centro de la ciudad puede hacer uso de un cuadríciclo gratuitamente, simplemente deben contar con un tarjeta especial para poder hacer uso de estos vehículos.

Estos vehículos cuentan con protección especial para las condiciones de clima inoportunas, tales como el exceso de sol o bien , la lluvia. Además, existe en ellos un espacio diseñado para colocar cosas (mochilas, bolsas, etc). Un sistema de GPS integrado es de gran ayuda para aquellos que no conocen su camino.

Escenario 2:

Por las mañanas el cartero llega Alemania -El correo llega. a la oficina de correos, donde un cuadríciclo y las cartas para entregar durante el día, le esperan. Las baterías del vehículo están totalmente cargadas, ya que se estuvieron conectadas durante toda noche. El cartero empieza su recorrido por las calles temprano; debe bajarse y subirse del vehículo frecuentemente, y el vehículo le ofrece facilidad para realizarlo. Este vehículo además, le ofrece la posibilidad de cargar un gran peso en él, ya que debe repartir un gran número de cartas diariamente.

Escenario 4:

México- Go-Quad-Kart. Un nuevo deporte es practicado con frecuencia en México. Los vehículos “Go, Quad-Kart” han reemplazado a los “Go-Karts” tradicionales.

Estos nuevos vehículos cuentan con un sistema de dirección ágil y de fácil maniobrabilidad. El manejo a grandes velocidades es toda una aventura. Además, estos vehículos pueden ser utilizados con toda confianza tanto en terrenos planos como irregulares. Esta experiencia es extremadamente atractiva y novedosa.

Escenario 5:

México- La ciudad extrema. Las calles de México son realmente difíciles de recorrer en vehículos tradicionales. EL tráfico es un problema cada vez más difícil de solucionar. Una bicicleta común no está hecha para ser utilizada en una ciudad como la de México. Sin embargo, un nuevo vehículo ha salido al mercado; con él es posible recorrer grandes distancias gracias a la asistencia eléctrica con la que cuenta.

Con este nuevo vehículo, el manejar por las calles de México ha dejado de ser un peligro ya que está especialmente diseñado para brindarle seguridad al usuario entre los automóviles.

Escenario 6:

México- Somos estudiantes. Un estudiante de universidad forma parte de un programa de transporte que la Universidad acaba de iniciar; consistente en ayudar a los estudiantes brindándoles un vehículo para uso personal. La universidad renta a los estudiantes estos vehículos por una cuota semestral accesible. El campus ha cerrado el acceso de cualquier vehículo que no sea un cuadríciclo de este tipo; fuera del campus estos cuadríciclos pueden ser utilizados sin ningún problema y restricción. El sistema de asistencia eléctrica con el que cuenta permite alcanzar velocidades de hasta 40 Km/h.

Las baterías pueden ser recargadas mediante el pedaleo o bien mediante conexión eléctrica. También cuenta con una protección para el viento removible, luces de freno en la parte trasera, un lugar especial para colocar objetos personales en su parte trasera, y la posibilidad de colocar un segundo asiento para un pasajero adicional. El vehículo puede ser bloqueado en su dirección y llantas para evitar que sea robado o utilizado por alguien más. Una tarjeta especial y un código de acceso de seguridad son necesarios para su libre utilización.

Escenario 7:

Alemania- Haciendo ejercicio. En este escenario se plantean la forma de vida de un profesional ingeniero de edad promedio de 30 años que gusta de usar un cuadríciclo con fines deportivos. Además de poder transportarse en él. Su vehículo cuenta con una interfaz capaz de mostrar el estado del vehículo. El motor puede trabajar como generador de energía, para poder ofrecer una rutina de entrenamiento mientras se pedalea. El vehículo cuenta con alta calidad, tecnología, seguridad, diseño, y cuestiones deportivas por un precio de 3,000 €. La tecnología con la que cuenta es muy avanzada, y por ser un vehículo deportivo no cuenta con un espacio para cargar objetos adicionales al peso del propio piloto.

Escenario 8:

México- Camino al trabajo. Un hombre de 35 años, que vive en el centro de la ciudad de México, necesita moverse de manera efectiva para llegar a su trabajo. Él cuenta con un departamento y un espacio especial para guardar un vehículo compacto. El confort y la seguridad son factores importantes en la elección de un vehículo. Además, siempre toma en cuenta el daño al ambiente cuando consume productos. Este hombre siempre busca un buen diseño y una experiencia de manejo agradable al momento de elegir un vehículo. El cuadríciclo que acaba de obtener, cuenta con elementos de seguridad que le permiten

dejarlo estacionado en cualquier en la calle sin ningún problema. El sistema híbrido es de gran ayuda para aquellos momentos en los que el piloto se encuentra cansado. El vehículo, además, puede ser utilizado como una bicicleta normal si se desea hacer un poco de ejercicio. Este nuevo cuadriciclo cuenta con faros de luz LED y su batería es fácilmente recargable.

Escenario 9:

Alemania -Vehículo Cross Country.

Este escenario plantea la vida de un hombre de 32 años al que le gusta practicar deportes y se siente altamente atraído por vehículos que ofrezcan una buena dinámica de manejo, no importando el monto de inversión que se deba pagar por ello. Se siente atraído por vehículos del tipo de una bicicleta que cuenten con un sistema de asistencia eléctrica ya que acostumbra entrenar en pistas algo irregulares y el manejo en ellas puede llegar a ser muy cansado. El cuadriciclo que ha adquirido cuenta con un sistema especial en el frenado que ayuda en la recarga de las baterías del vehículo, también puede ser compactado para poder ser transportados en espacios reducidos en vehículos como camionetas. El vehículo puede ser recargado también conectándose a la corriente eléctrica.

Análisis y selección de escenarios.

Metodología: "Weighted Point Evaluation".

Se realizó una lectura de los escenarios para todo el equipo. Todos fueron analizados y discutidos, considerando las fortalezas y debilidades de cada uno, con el fin de asignar un valor numérico con base en el método 5-3-1.

Con ello, tres fueron los escenarios pre-seleccionados. El criterio de evaluación se basó en los siguientes aspectos:

Aspectos:

1. Probabilidad de éxito en el mercado.
2. Probabilidad del escenario para hacerse realidad.
3. Dificultad técnica.
4. Innovación del escenario.
5. Gusto personal por el escenario.

-  **Escenario 1**
Compartiendo un vehículo
-  **Escenario 2**
El correo llega
-  **Escenario 3**
Compartiendo un vehículo
-  **Escenario 4**
Go-Quad-kart
-  **Escenario 5**
Ciudad extrema
-  **Escenario 6**
Somos estudiantes
-  **Escenario 7**
Haciendo ejercicio
-  **Escenario 8**
Camino al trabajo
-  **Escenario 9**
Vehículo Cross Country

Diagrama 2. Aspectos a calificar de los escenarios.

De esta manera los escenarios escogidos fueron:

"Weighted point evaluation"								
Aspectos	1	2	3	4	5	Σ	No.	
Peso	3	5	3	5	1			
Escenarios	1	11.67	19.44	13.00	16.67	3.71	64	3
	2	9.67	16.67	12.00	16.11	3.29	58	5
	3	9.67	14.44	11.67	16.11	2.71	55	6
	4	7.33	16.11	11.00	15.56	2.67	53	7
	5	8.33	15.56	10.00	16.67	2.43	53	7
	6	9.67	17.22	11.67	18.89	3.43	61	4
	7	11.67	19.44	11.33	21.11	4.14	68	1
	8	8.00	18.89	11.33	18.89	3.71	61	4
	9	11.00	18.33	11.33	21.11	4.29	66	2

Tabla 3. Weighted point evaluation.

Conclusiones. Después de elegir tres posibles escenarios, se llegó a algunas conclusiones y se acordaron las necesidades de los usuarios planteados en cada uno de los tres escenarios, con el fin de establecer un concepto de vehículo diferente correspondiente a cada escenario.

Nuevamente, se recurrió a la lluvia de ideas para la elección de los requerimientos que debía cubrir el vehículo de tracción humana a desarrollar por el equipo: las ideas fueron individualmente propuestas, escritas en Post-it's ® y adheridas a un pizarrón para poder ser analizadas por todos los integrantes y ordenadas de acuerdo a su importancia y factibilidad, y así poder desechar los de menor jerarquía y elegir así mismo los requerimientos factibles a ser cubiertos.

De esta manera las especificaciones de cada vehículo se enlistan a continuación:

Vehículo "Fitness".

Diseño y chasis.

- Protección para batería en el frente.
- LED al frente.
- Protección para viento removible (del manubrio a la cabeza del conductor).
- Sistema de LEDS en la parte posterior.
- Vehículo para una sola persona.
- Conductor en posición erguida.
- Posibilidad para adaptar salpicaderas.

Sistema de dirección y llantas.

- Llantas de diámetro pequeño ("zero bike" *).
- Rines/ rayos ligeros.
- Ángulo grande para el eje frontal (dirección).
- Tracción trasera.
- Suspensión independiente en el eje frontal.
- "Verbundlenker" (Eje semi-sólido) en el eje trasero.
- Sistema de frenado hidráulico.
- Suspensión lateral.

Asistencia eléctrica.

- Sistema híbrido en serie.
- Generador/motor ubicado en el eje de los pedales.

Transporte alternativo. Diseño y chasis.

- Espacios para guardar objetos personales.
- Asiento plegable en la parte posterior.
- Salpicaderas en llantas.
- Claxon.
- Luces frontales y traseras (LED).
- Asiento con soporte lumbar.
- Posición ligeramente acostada.

Sistema de dirección y llantas.

- Ángulo agudo en dirección.
- Llantas de diámetro pequeño.
- Rines/rayos ligeros.
- Suspensión independiente al frente.
- Estabilizador.

Asistencia eléctrica.

- Sistema de híbrido en serie tipo “plug-in”.
- Batería removible.
- Dos motores eléctricos.

Cross-country.

Diseño y chasis.

- Cuadro ultraligero de fibra de carbono.
- Cuadro estable.
- Minimalista y funcional.
- Diámetro de llantas grande.
- Vehículo para una sola persona.
- Posición erguida.
- Asiento ligero, discreto, deportivo.
- Sin salpicaderas.
- Sin aditamentos para accesorios/ objetos personales.
- Centro de masa bajo.

Sistema de dirección y llantas.

- Rines/rayos especiales para bicicletas deportivas.
- Diámetro en llantas grande.
- Sistema de dirección en el eje trasero.
- Sistema de manejo en el eje trasero.
- Suspensión independiente en cada llanta.
- Sistema de frenado hidráulico.

Asistencia eléctrica.

- Sistema Híbrido en serie tipo “plug-in”.
- Batería removible.
- Dos motores eléctricos.

El concepto.



3

El concepto.

Fase de definición.
Actividades y metodología.

Una vez seleccionados tres escenarios de los ocho planteados, se reconocieron las debilidades y fortalezas de cada escenario para poder sintetizar de manera rápida los posibles requerimientos para los primeros conceptos, y se tuvo una idea más clara de los retos de diseño a los que el equipo se enfrentaría más adelante.

Metodología: “Design Thinking”.

El Design Thinking se basa en el diseño a través de un proceso de pensamiento. Este término fue implementado por Tim Brown (CEO de la empresa de innovación IDEO). El “Design Thinking” se define como la disciplina que usa la sensibilidad y los métodos propios del diseñador para vincular las necesidades del usuario con lo que es tecnológicamente factible y lo que una estrategia empresarial puede convertir en oportunidades de mercado. Es una forma de generar y promover aspectos de innovación en el seno de la empresa, basándose en métodos de ingeniería y diseño, combinándolos con ideas de las artes, herramientas de las ciencias sociales y conocimientos del mundo empresarial. El proceso por sí mismo es un hilo conductor entre los distintos compañeros de equipo todos de diferentes ámbitos en torno a un objetivo común: productos diseñados para hacer más cómoda y mejor la vida de la gente.

Se centra en el proceso de diseño para dotar a las empresas con una metodología fiable para producir resultados innovadores en cualquier campo, centrándose la atención en la creación de innovaciones.

Este proceso de diseño sigue la siguiente relación de acciones:

1. Comprender: Definir el problema.
2. Observar: Crear empatía y salir con los usuarios.
3. Sintetizar: Establecer conclusiones y alternativas de solución.
4. Prototipar: Realizar bosquejos, croquis, modelos, "storyboard", puesta en escena, etc.
5. Reiterar: Probar y corregir las soluciones.
6. Implementar.



Diagrama 3. Metodología de Pensamiento de Diseño.

El Design Thinking aplicado al diseño de los modelos de negocio y al diseño de la estrategia para la empresa significa pensar desde el usuario-cliente y sus necesidades. La innovación y entrega de productos y servicios que crean valor para los clientes es un desafío que todas las empresas debieran cuestionarse permanentemente y el diseño es una parte fundamental de esa estrategia¹².

De ésta manera, el pensamiento de diseño actúa a través de un arduo proceso creativo de descubrimiento centrado en las personas y seguido por ciclos reiterados de creación de prototipos, pruebas y perfeccionamiento. Este proceso no obedece a una dinámica lineal y ordenada en la cual se siguen unos pasos previamente determinados, sino que es un sistema de espacios en los que se desarrollan una serie de actividades relacionadas.

El pensamiento de diseño no es sólo un método para crear objetos y servicios, sino que un proceso creativo de alta interacción, especialmente con los usuarios.

El proceso conocido como "Lluvia de ideas" (mejor conocido en inglés como "brainstorming") es un proceso didáctico y práctico mediante el cual se intenta generar creatividad mental respecto de un tema. Tal como lo dice su nombre, la lluvia de ideas supone el pensar de manera rápida y espontánea ideas, conceptos o palabras que se puedan relacionar con un tema previamente definido y que, entonces, puedan servir a diferentes fines, en este caso, la creación de conceptos.

La lluvia de ideas tiene como fin la recolección de ideas de todo tipo, importando así más la cantidad que la calidad de ellas.

Se pueden enumerar cuatro reglas principales que deben seguirse con el fin de estimular la creatividad durante una sesión grupal:

- Exponer el mayor número de ideas posible.
- No criticar las ideas expuestas.

¹² <http://consultores.innoves.es/consultas/design-thinking>

- Las ideas inusuales son bienvenidas.
- Combinar y mejorar ideas.

Lluvia de Ideas en el proyecto. Una vez expuestas todas las ideas posibles, se inicia el proceso de discusión y selección de los conceptos más interesantes; algunos conceptos pueden ser combinados, y por medio de sesiones de discusión las ideas más sobresalientes pueden ser mejoradas.

A continuación, se muestra una representación gráfica del proceso que sigue la Lluvia de ideas:

Durante la primera etapa del proyecto, se hicieron varias sesiones de lluvia de ideas (por ejemplo en la elección y conclusión de requerimientos, escenarios y conceptos finales). Con pequeñas variaciones en la forma de exposición de ideas, el fin último siempre fue la discusión y elección de las mejores y más adecuadas, después del análisis de las mismas.

Para el 16 de noviembre ya se tuvo una idea clara de los aspectos generales de cada uno de los tres escenarios escogidos. El siguiente paso fue plasmar todas las ideas que cada integrante tenía mediante varias sesiones de lluvias de ideas a través de dibujos.

La misión de cada integrante, sin importar las habilidades con las que contara o no para dibujar, fue la de plasmar en papel cuantas más ideas fueran posibles en cuanto a un vehículo de tracción humana como medio de transporte en ciudades o bien para fines deportivos en terrenos irregulares; la intención era plasmar conceptos.

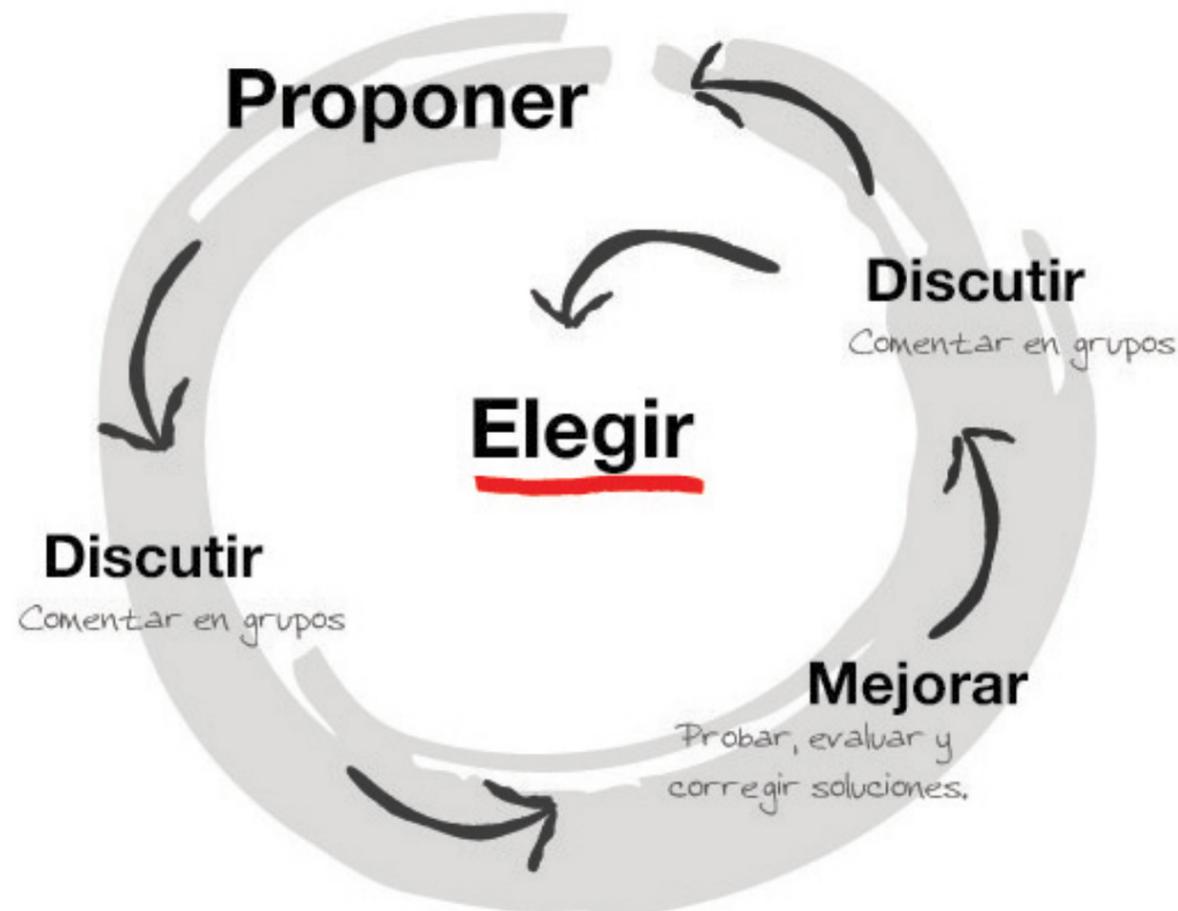
Al fin de una primera sesión, las ideas fueron pegadas en un pizarrón con el fin de ser observadas y discutidas por cada integrante.

Una vez observadas, cada integrante expuso sus propuestas en una breve explicación con el fin de resaltar los aspectos más importantes de la idea plasmada en cada papel.

Posteriormente, cada integrante colocó una marca sobre todas aquellas propuestas interesantes, desde un primer punto de vista subjetivo. Una sesión participativa prosiguió; en la que cada quien explicó el porqué de las elecciones que había efectuado.

Las ideas marcadas fueron separadas, y se llevó a cabo una segunda sesión de lluvia de ideas en dibujos. La idea de ello fue, por un lado mejorar aquellas propuestas seleccionadas, y por otro, dar paso a nuevas ideas que pudieran proponer algo interesante gracias a la primera observación de las propuestas.

Diagrama 4. Lluvia de ideas.



Cabe destacar que los integrantes podían auxiliarse de notas en Post-its ® si así lo consideraban, o si se veían limitados al momento de expresar una idea gráficamente. De esta manera se pudieron recolectar ciertos aspectos importantes a considerar en las propuestas, y fue posible la implementación y mejora de algunas de ellas.

Después, se realizó una segunda sesión explicativa. Se expusieron críticas constructivas y comentarios acerca de cada idea, y los puntos importantes se resaltaron en Post-its ® y de esta forma se destacaron las fortalezas y debilidades de cada propuesta. Nuevamente, se realizó una selección de las propuestas que el equipo consideró más interesantes.

La tercera sesión de lluvia ideas se realizó con modelos físicos, con la ayuda de material didáctico con el cual se pudieran construir vehículos a escala y en tercera dimensión de las propuestas elegidas. Nuevamente el fin fue mejorar e implementar las ideas ya existentes, sin limitar la aparición de nuevas ideas.

Esta tercera sesión de lluvia de ideas era indispensable para entender mejor las propuestas al enfrentar problemas que en dos dimensiones no habían sido identificados.

Una vez terminados todos los modelos físicos, se explicaron y discutieron en una mesa redonda. Al final los conceptos se dividieron en dos ramas:

- **“Frame evolution concept”** (se enfocaban en la innovación en el marco)
- **“Organic concept”** (la forma y el concepto se basaban en siluetas de insectos)

El siguiente paso fue perfeccionar y aterrizar ambos conceptos escogidos. El equipo de ocho integrantes fue dividido en dos grupos de cuatro y cada uno se dedicó a analizar y resolver en términos generales uno de los conceptos con el fin de justificarlos y poder

realizar una votación definitiva y seleccionar finalmente el concepto que sería desarrollado hasta mayo de 2010.

El equipo se apoyó de materiales para realizar modelos a escala de partes y/o el vehículo completo, así como de herramientas de modelado virtual como Rhinoceros 4.0® para poder comprender mejor problemas formales, espacios, y mecanismos de cada concepto de manera muy general.

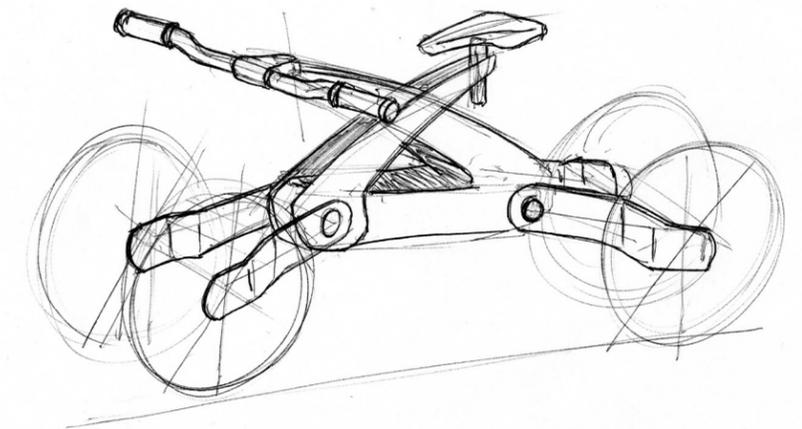
He aquí una breve descripción de ambos conceptos trabajados:

Preselección de conceptos.

El nombre de este concepto hace referencia a la configuración del cuadro estructural del vehículo propuesto. Análogamente el vehículo tenía la apariencia de un insecto.

La innovación en esta propuesta consistió en la posibilidad de tener la misma experiencia y beneficios de manejo que otorga una bicicleta de dos ruedas, en un vehículo de cuatro ruedas.

El reto consistía en integrar en el vehículo un sistema de dirección e inclinación, con suspensión de brazo trasera. Este tipo de suspensión (de brazo), le brindaría las cualidades formales y estéticas, además de las funcionales. El concepto, entonces, consistía en brindar al usuario una experiencia distinta de manejo y control del vehículo en curvas pronunciadas.



Frame evolution concept.



Figura 23. Concepto inicial.

Este concepto propone innovación formal y funcional en la configuración de su cuadro estructural; surgió con la idea de un “marco doble” de fibra de carbono, totalmente contrastante con la estética triangular y estructural de un marco de bicicleta tradicional; que integra un sistema híbrido para soporte al usuario que permite separar, visual y mecánicamente, la unión entre los pedales y el eje de tracción trasero; y además abriendo el concepto a diversos modos de manejo, .

Este concepto propuso dos tipos de suspensión. En el

eje delantero propone suspensión McPherson y en el eje trasero, suspensión de brazo.

Selección del concepto inicial.

Después de la presentación de los conceptos, se realizó un análisis acerca de los pro's, los contra's y la viabilidad de cada uno. Luego cada integrante aportó sus observaciones para llegar a una votación final basada en los puntos anteriores para la selección del concepto con el que arrancarían el proyecto. El concepto elegido fue:

- **Frame evolution concept.**

Distribución de tareas y calendarización.

Metodología: “Mind map”

Después de la selección de un concepto, se acordó cuál sería la distribución de tareas entre los miembros del equipo.

De esta manera, a cada integrante se le asignó una misión para enfocarse en la etapa de desarrollo del proyecto.

La representación gráfica de la distribución de tareas se hizo a manera de un “Mind Map” (Mapa Mental). Un mapa mental es un diagrama empleado para representar palabras, ideas, tareas o cualquier otro elemento derivado de una idea central o principal. Los mapas mentales son utilizados para generar, visualizar, estructurar y clasificar ideas, y como auxiliar en el estudio y la organización de información. (*Wikipedia: Mind Map*).

A partir de esta etapa, la coordinación y comunicación entre los miembros del equipo jugó un papel importante para el logro de un proyecto exitoso, ya que el proyecto se desarrolló a distancia desde diciembre del 2009 hasta abril del 2010.

Durante este periodo de tiempo, la comunicación fue efectuada de manera virtual; básicamente mediante juntas en videoconferencias semanales, complementadas con correos electrónicos, e intercambio de archivos principalmente.

Un elemento clave en el intercambio de archivos y recolección de información fue el uso de una red de acceso privado ofrecida por Cisco Systems®: CiscoAnyconnect VPN¹³ Client. Se creó una carpeta con el nombre de “Global Drive 2010” y en ella se podían cargar y descargar archivos con el fin de agilizar el intercambio de información durante todo el proyecto.

¹³ VPN- Virtual Private Network.

Del concepto al producto.



4

Del concepto al producto.

Fase de realización.

La primera imagen virtual del concepto sólo nos brindó una idea general de los puntos que necesitaban ser desarrollados en un futuro. El paso siguiente fue investigar, realizar prototipos virtuales y reales, evaluar los puntos críticos en el desarrollo de un vehículo para que se pudiera cubrir las necesidades para las que fue pensado y con esto haber desarrollado un vehículo exitoso para presentarse en el mes de Mayo en TUM, en Múnich.

El primer paso después de tener un concepto general a seguir, fue hacer correcciones. Esto implicó establecer los requerimientos básicos funcionales y productivos, así como los aspectos ergonómicos que un vehículo del tipo debe cubrir.

La recopilación de datos, parámetros de dimensiones y mecanismos a utilizar fue necesaria para empezar a desarrollar un vehículo innovador factible de ser construido. En una primera etapa, se realizaron Prototipos de Función Crítica (PFC's) virtuales, con el fin de representar simulaciones mecánicas, o ser sometidos a análisis de esfuerzos virtuales para la toma de las primeras decisiones importantes.

Posteriormente, se construyeron algunos simuladores físicos con el fin de afrontar dimensiones y problemas reales, y así prevenir algunos problemas en la construcción del prototipo final.

La construcción del diseño del marco elegido y el sistema de dirección fue realizada en México, por parte de los dos diseñadores (Yunuén Hernández y Miguel Tentori) y los dos Ingenieros (Rodrigo

Espíndola y Ulises Zavala). Los componentes debían ser enviados a Alemania con anticipación para arribar la segunda semana de abril.

La construcción de los mecanismos de suspensión y sistema híbrido se realizó por parte del equipo de TUM (Andreas Wenzelis, Simon Schmeiler, Jakob Kathes y Dominik Fries), con el fin de tener las diferentes partes listas para poder ensamblar el prototipo final una vez que la contraparte mexicana llegara a TUM en Alemania el 23 abril.

Se establecieron fechas críticas dentro del periodo de trabajo a distancia, con el fin de evitar problemas y retrasos en tiempo en el calendario de actividades.

El ensamble final fue realizado del 24 abril al 5 mayo, periodo de tiempo en el que el equipo mexicano estuvo en Alemania, coordinando actividades, terminando el prototipo y concluyendo con la presentación del vehículo frente a profesores, ejecutivos de Audi y Daimler Mercedes en TUM.

Prototipos de función crítica.

Los prototipos de función crítica son necesarios para poner a prueba aspectos y factores clave dentro de un concepto con el fin de comprobar el uso, la función, la viabilidad y el diseño del vehículo.

Los primeros prototipos de función crítica en el proyecto fueron propuestos virtualmente para ser sometidos a pruebas de esfuerzo físico virtuales, (FEM¹⁴Analysis) en Software de Unigraphics®, con el fin de conocer la reacción estructural de las propuestas, ante los esfuerzos y pesos a los que se enfrentarían en situaciones reales.

El poner a prueba los prototipos de función crítica virtuales es útil para poder verificar debilidades estructurales en el diseño del vehículo, y con ello se toman decisiones importantes en la elección de aquel modelo que será desarrollado y construido como prototipo real. El prototipo virtual final fue modelado y documentado en el programa CAD CATIA® V5 de Dassault Systèmes®, para tener un

¹⁴ FEM- por sus siglas en inglés, Finite Element Method (Análisis por Elemento Finito), técnica de simulación de esfuerzos por computadora. [Fuente: Wikipedia].

intercambio de archivos libre de variaciones y errores al momento de compartir archivos.

Se realizó una primera investigación **Análisis de sistemas y requerimientos.**

acerca de los mecanismos por parte del equipo de ingenieros alemanes, con el fin de conocer qué tipo de suspensión y componentes del sistema híbrido eran los más convenientes y estaban disponibles en el mercado. Algunos ajustes se realizaron después de someter las propuestas estructurales a pruebas mecánicas virtuales.

A continuación se presentan los análisis realizados sobre las primeras propuestas estructurales, así como los requerimientos referentes a los sistemas de suspensión e híbrido.

Diseño de marco Desarrollo de diseño.

En esta fase del proyecto, se desarrolló el diseño del marco estructural del vehículo. En primer lugar, el concepto elegido fue sometido a un análisis general como primer paso para identificar aquellos puntos que deberían ser modificados.

Después de una discusión entre los miembros del equipo, se acordaron los siguientes puntos para ser modificados:

Para evitar limitaciones y enriquecer el proceso se desarrollaron simultáneamente dos variaciones del concepto. Como primera idea, las dos variaciones integraron una suspensión delantera de doble horquilla y suspensión de brazo arrastrante en el eje trasero.

La primera variación estuvo basada directamente en la configuración



Figura 24. Puntos débiles en el concepto.



Figura 25. Punto debil en el concepto.

del concepto elegido. Las primeras modificaciones se basaron en los requerimientos manifestados por la ubicación de los mecanismos de suspensión, dirección y asistencia eléctrica, así como por factores ergonómicos y las dimensiones demandadas por ellos; siempre procurando conservar el concepto donde no existía conexión física aparente entre el eje de tracción (eje trasero) y el eje de los pedales.

Una segunda propuesta a manera de alternativa, se basó en el concepto principal, resolviendo los requerimientos de otra manera y sin seguir necesariamente la misma configuración estética y

estructural.

A continuación se presentan ambas propuestas:

Ambos modelos fueron realizados y presentados a manera de modelos virtuales, con el fin de comenzar a establecer parámetros dimensionales más reales, evitando confusiones en la interpretación de las propuestas. Además, las propuestas fueron sometidas a pruebas estructurales basadas en análisis FEM para determinar

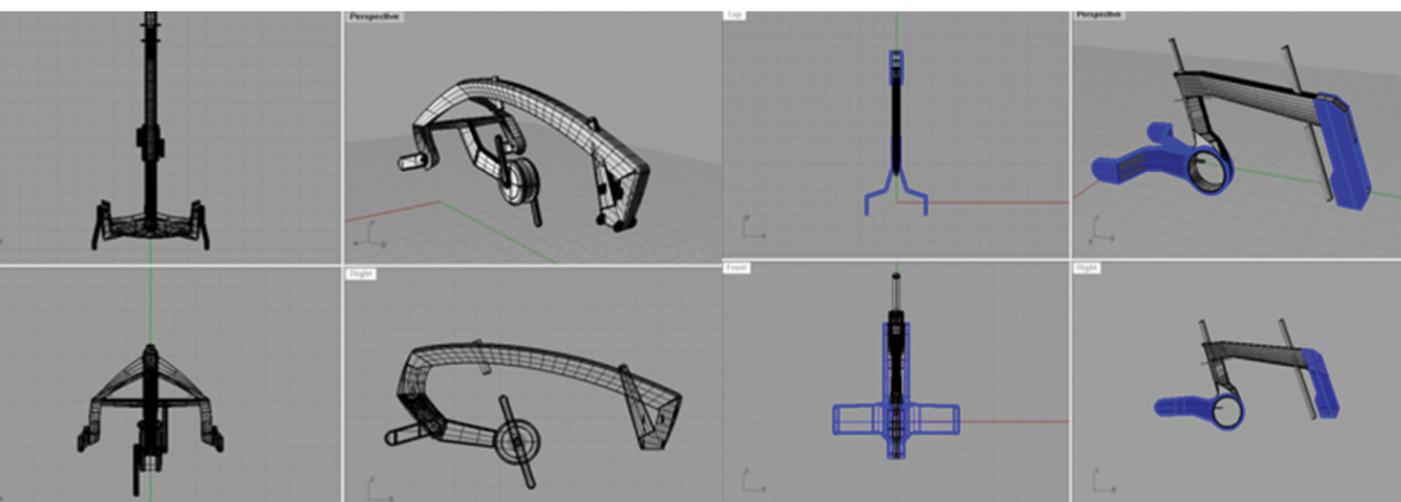


Figura 26. Primeras propuestas de diseño.

si el diseño y la configuración formal eran capaces de sobrellevar los esfuerzos a los que serían sometidos en condiciones reales; y con ello, conocer aquellos puntos críticos en el diseño del marco estructural. Dichas pruebas brindaron una pauta para identificar aquellos puntos que debían ser modificados en el diseño y determinar si el concepto inicial sería capaz de funcionar de manera adecuada estructuralmente.

Diseño de marco: Análisis FEM.

El análisis de elemento finito permite la revisión de estructuras, para conocer las reacciones que presentan ante los esfuerzos a los que son sometidos. Por ello, las primeras estructuras propuestas para el vehículo Cross-country fueron sometidas a este tipo de análisis. Con esto los diseñadores, tuvieron una idea más realista acerca de las dimensiones, proporciones y secciones del marco, así como los puntos críticos y donde se concentraban las fuerzas en él.

Con el propósito de obtener los mejores resultados en cuanto a diseño, ligereza y resistencia, se propuso el concepto del marco de fibra de carbono en una matriz de polímero lo cual lo haría muy resistente, ligero, inmune a la corrosión, rígido y fuerte. La fibra de carbono se utiliza para cuadros de bicicletas, raquetas de tenis, piezas automotrices, etc. El proceso de creación de piezas de alta resistencia es bastante complejo y de un alto costo, aparte de necesitar maquinaria especial. El prototipo se realizaría en talleres, por los integrantes del equipo y con la ayuda de herramientas básicas. Por ello se debió considerar que no era posible fabricar un prototipo que contara con las mismas facultades que aquellos productos en la industria de alta resistencia. Como primera idea, se propuso la integración de una estructura interior de aluminio recubierta con fibra de carbono, para asegurar resistencia del prototipo final.

Se realizaron análisis preliminares con el fin de dar una primera idea de lo que sucedía en el concepto inicial. En el primer análisis

se aplicaron cargas de manera muy general para obtener una perspectiva de los casos de carga y los puntos críticos. Cabe mencionar que el diseño y los sistemas involucrados aún no eran definitivos, por eso sólo se aplicaron ciertas fuerzas de manera preliminar para obtener una idea general y avanzar en el proceso.

Se realizaron dos análisis de elementos finitos. Unigraphics 6 ,NX 6 ® con el módulo NASTRAN fue el software que se utilizó para este trabajo.

El primer análisis se realizó de forma estática, considerando para ello propiedades promedio de la fibra de carbono. El marco se consideró como un sólido deformable.

El segundo análisis se hizo de un esqueleto de aluminio 2410, por medio de barras simples. Las cargas que se utilizaron en ambos análisis se muestran en el *Diagrama 5*. Tres cargas concentradas fueron colocadas durante el primer paso del análisis. Algunas cargas reales, pero de menor importancia fueron omitidas para tener una visión objetiva de los modelos. En ambos análisis, se utilizó un coeficiente de seguridad de dos, debido a la posibilidad abierta de utilizar un marco de fibra de carbono o aluminio y ya que las propiedades difieren entre ellos.

Se fijó un peso medio de 80 Kg, el cual se divide en tres cargas distribuidas en las esquinas del *triángulo ergonómico*, buscando una

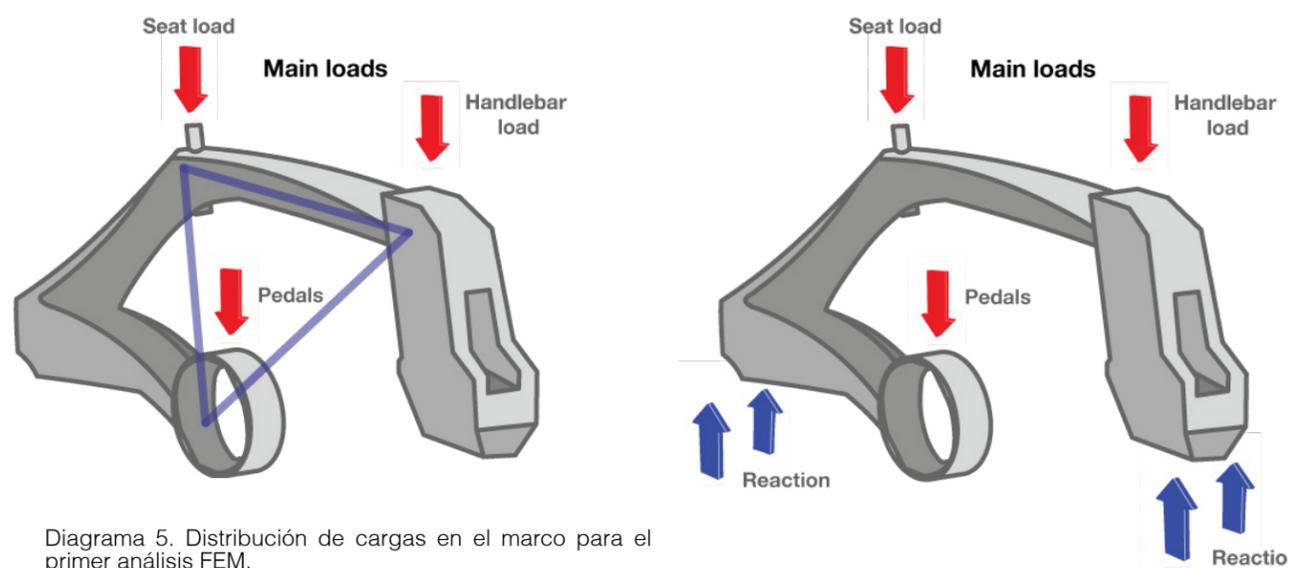


Diagrama 5. Distribución de cargas en el marco para el primer análisis FEM.

simulación realista del uso.¹⁵

Las restricciones de movimiento se colocaron en los puntos donde podría ser colocado el sistema de suspensión.

El diagrama de análisis de deformación se muestra en la figura 27. Es posible observar el área de mayor esfuerzo (en rojo) cerca del generador debido a gran la carga sobre los pedales.

En las siguientes tres imágenes se muestran diagramas de esfuerzos de tensión, ahí se señalan los puntos críticos para el primer marco. A través de esta simulación se pudo identificar el estado estructural del primer concepto, a fin de conseguir sugerencias de rediseño e ideas para ir evolucionando el mismo.

El siguiente modelo analizado fue una estructura tubular que representaba una especie de esqueleto interno y la idea era recubrirlo con un material ligero.

La figura 29 muestra el diagrama de deformación del esqueleto de aluminio. La zona más afectada es donde se encuentra el generador. Ambos diagramas (fig. 30 y 31), señalan que el soporte del generador es el punto crítico de la estructura diseñada.

La figura 30 muestra el diagrama de esfuerzos de Von Mises. Es evidente que el tubo que soporta al generador es el que se ve afectado de manera crítica.

La Figura 31 muestra el diagrama de reacciones. En la esquina inferior se muestra un punto débil donde la estructura probablemente se rompa.

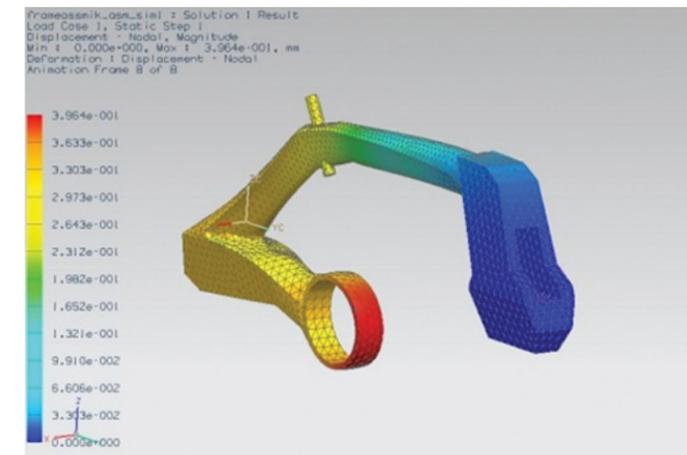


Figura 27. Diagrama de análisis de resistencia a la deformación del marco (Deformación máxima estimada 3.96 mm).

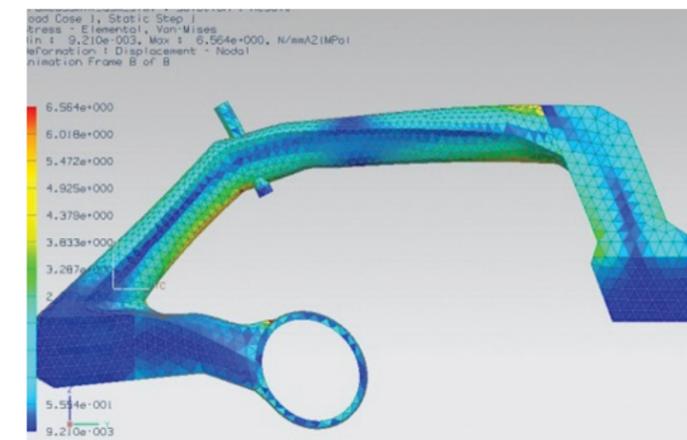


Figura 28. Diagrama de esfuerzos del marco. (Esfuerzo máximo registrado 6.56 MPa)

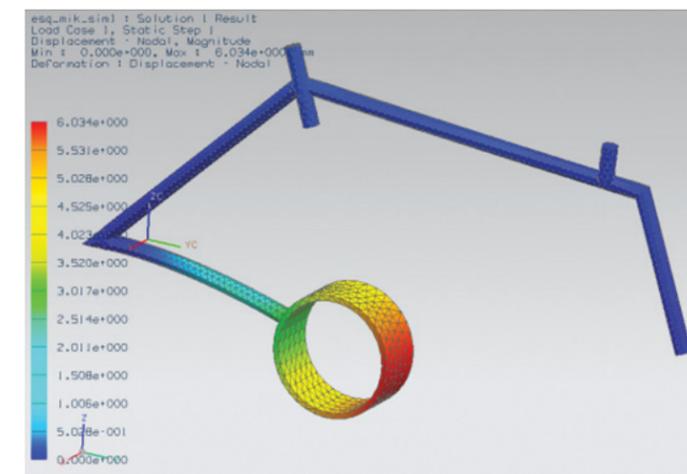


Figura 29. Diagrama de deformación del esqueleto.

¹⁵ Tomando como referencia información de "Size Germany " una compañía que recopila de datos antropométricos muy importante de Alemania

Estos análisis FEM muestran los puntos críticos en los modelos elaborados. En general los resultados muestran que el concepto del marco abierto presenta dificultades al no permitir que los esfuerzos se distribuyan eficientemente sobre toda la estructura.

El diseño final tuvo un análisis completo y formal con todas las cargas calculadas de manera confiable, las limitaciones reales, los coeficientes de seguridad y las propiedades finales del material.

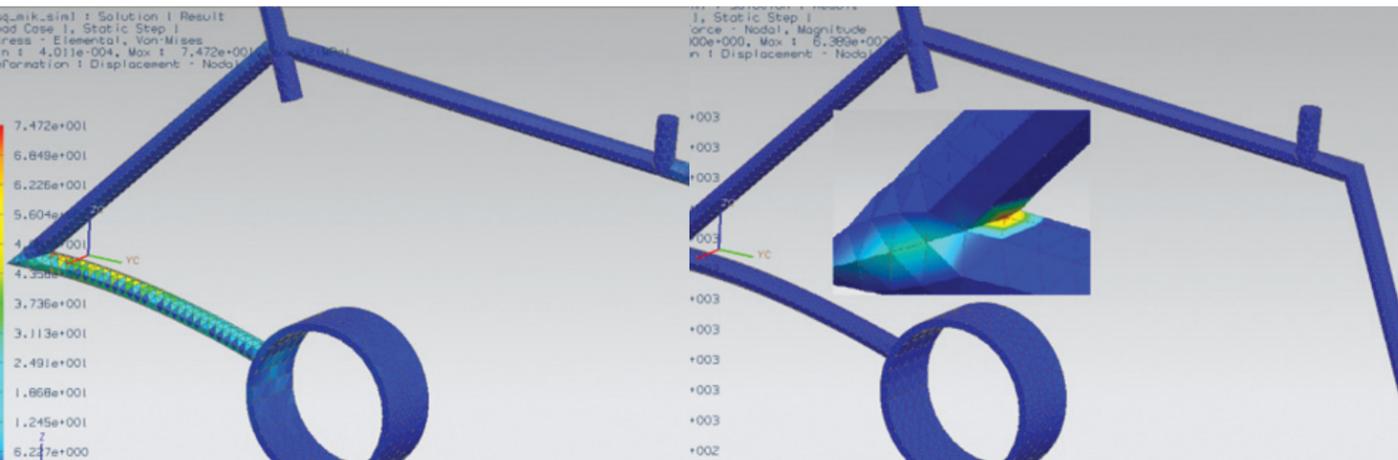


Figura 30. Diagrama de reacción a las cargas.

Figura 31. Diagrama de deformación del marco de aluminio.

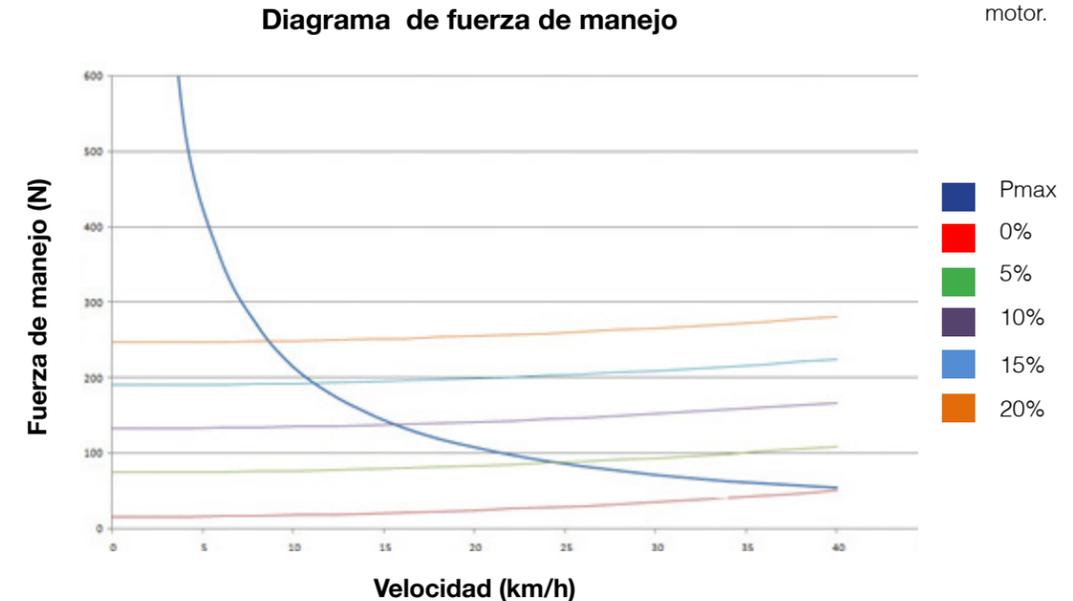
Requerimientos del sistema híbrido.

Motores.

Primero que nada es importante definir la potencia de motor requerida debido a que el concepto plantea un híbrido en serie y éste debe de proveer toda la fuerza para la aceleración y el manejo del cuadríciclo.

Por esta razón se realizó un diagrama de potencia del motor. Los valores utilizados en el diagrama pueden ser encontrados en libros. Por ejemplo el valor de c_w - espera ser 1.1, la superficie del usuario es de $0.42m^2$ y la resistencia al giro es aproximadamente de 16N (Mountainbike- Magazine). La masa estimada del usuario y de la bicicleta es de 120 kg. Y el resultado fue el siguiente diagrama (figure 5.24) que muestra la fuerza que genera el motor y las variantes para las diversas inclinaciones.

Gráfica 5. Diagrama de potencia de motor.



Un rápido análisis brindó una idea general de la fuerza necesaria. La potencia máxima de los motores de acuerdo con el diagrama anterior es de 600W. Este tipo de motores puede llegar a una velocidad máxima de 40 km/h en superficies planas. Para manejar a 40 km/h con rines de 26" se requiere que el motor tenga una velocidad de aproximadamente 320 RPM.

Se encontraron algunos motores eléctricos pequeños y baratos que ofrecen esta potencia, aunque tienen la desventaja de estar diseñados para velocidades cercanas a las 20,000 RPM y para poder convertirlas a revoluciones en rangos que puedan ser usados para el cuadríciclo se necesitarían muchos engranes y mecanismos; situación que se antepone al primer concepto donde no hay partes mecánicas.

Después de una exhaustiva investigación tomando en cuenta motores CD (Corriente Directa) y CA (Corriente Alterna) disponibles en el mercado, la decisión fue usar un motor "CD sin escobillas", "direct-drive" diseñado especialmente para bicicletas. Estos motores ofrecen la velocidad y potencia necesaria para el vehículo teniendo la cualidad de ser muy silenciosos y de mantenimiento sencillo; sin embargo, su peso es de 6kg.

Tomando todos estos puntos en consideración, se desechó la idea de usar motores de corriente alterna debido a la complejidad en la conversión de corriente y el control. Además, ninguno de los fabricantes de “Pedelec” (empresa que produce bicicletas eléctricas) usa motores AC.

Generador. Un generador es prácticamente lo mismo que un motor eléctrico, por esta razón para encontrar el generador más adecuado se tienen que definir las mismas características. Un análisis de bicicletas fijas puede ayudar para poder establecer la potencia máxima del generador. Las bicicletas fijas comunes pueden generar hasta 400W. En un entrenamiento, la frecuencia ideal oscila entre las 70 y 90 RPM. Lamentablemente, en el mercado es muy difícil encontrar generadores con estos atributos, en especial los generadores CD, porque han sido desplazados debido a que hay mejores generadores CA y con rectificadores más baratos. Un ejemplo de los motores CA dentro del rango requerido, son los generadores eléctricos de coches antiguos. Desafortunadamente, dichos generadores fueron diseñados para estar conectados a los motores de combustión interna que trabajan a velocidades mucho más altas de la que una persona puede pedalear. Una última opción es usar un motor eléctrico como generador, lo cual no representa un problema debido a que son construidos prácticamente de la misma manera. Por lo tanto, se decidió usar un tercer motor CD sin escobillas como generador para el cuadriciclo.

Baterías. Las baterías deben de proveer la corriente necesaria para los motores que se eligieron. Por lo tanto en un híbrido en serie la batería debe de tener una gran capacidad porque a diferencia de un híbrido en paralelo, es prácticamente imposible manejarlo con baterías vacías. Para averiguar qué tan grande debe de ser la capacidad de las baterías, se debe realizar un cálculo basado en el diagrama de potencia del motor. Los resultados fueron que en un rango de 60 km, una inclinación promedio de 1%, una velocidad promedio de 25 km/h y un porcentaje de soporte eléctrico de 150%, la capacidad de la batería debe de ser de al menos 320Wh.

Otro factor a considerar es el peso de las baterías. Existen acumuladores de Li-Ion, con un peso aproximado de 10g/Wh, y acumuladores de plomo, siendo estos últimos 3 veces más pesados. De tal manera que las baterías de Li-Ion serían más apropiadas para el cuadriciclo a pesar de ser mucho más caras.

Requerimientos de la suspensión.

Diferentes formas de construcción de ejes.

Un sistema de ejes debe de cumplir con diversos requisitos, que son:

- Un concepto coherente.
- Construcción de bajo peso.
- Masas bajas no suspendidas.
- Una alta rigidez.
- Buenas propiedades cinemáticas.
- Espacio adecuado para la absorción de impactos.
- Una aplicación adecuada de la fuerza sobre el marco.
- Un ángulo de paso pequeño al frenar o acelerar.

Cumplir todos los requisitos técnicos en un vehículo de propulsión en dos llantas es una tarea complicada. Se requiere de una gran cantidad de experiencia y conocimiento. Sin embargo, no todos los requisitos antes mencionados de un coche moderno deben encontrarse en el cuadriciclo. Por lo tanto, los requisitos con menor importancia (en comparación con los sistemas de automoción) son:

- Cambio del ángulo de convergencia (toe) y ángulo de inclinación (camber)/ajuste cinemático.
- Espacio adecuado (para almacenamiento)
- Dificultad de construcción/costos.

Selección de la suspensión.

Existen diferentes posibilidades para construir un sistema de ejes o suspensión; hay que distinguir entre ejes rígidos, ejes semisólidos y ejes independientes. A continuación se muestra una tabla con las diferentes posibilidades de construcciones de eje.

Si hablamos del cuadriciclo se pueden excluir algunos sistemas de suspensión, debido a restricciones técnicas. Por ejemplo, la de brazo y amortiguadores no es adecuada, porque básicamente se necesita un establo de montaje para el puntal y también un puntal lo suficientemente rígido que pueda soportar las fuerzas de flexión y esto implicaría una gran investigación para lograr la construcción. Además de que no hay partes apropiadas en el mercado por lo tanto su costo-beneficio se ve reducido. En resumen, las ventajas que ofrece dicha suspensión en los coches (en embalaje y gastos), no tienen relevancia si se trata de aplicar a un cuadriciclo. Se puede observar la misma situación con los otros tipos de suspensiones. A continuación se muestra una tabla comparativa entre los diferentes tipos de ejes ya mencionados:

Los criterios importantes a tomar en cuenta (criterios KO) son la adecuación y la posibilidad de integración en el concepto. Además la construcción del eje debe seguir un carácter innovador, desafiante y al mismo tiempo ofrecer la posibilidad de ajustar la cinemática.

Como se mencionó antes, no todas las especificaciones técnicas de un sistema de ejes en un automóvil, pueden ser transferidas fácilmente al cuadriciclo. Existen diferencias entre los tipos de aplicación, los requisitos para ajuste cinemática y las tensiones que ocurren durante el uso. Las razones son las siguientes:

Peso: Si se toma en cuenta un coche europeo de clase media con un peso 1400 kilogramos, un conductor de 75 kilos solo representa un 5% del peso total. Y aun teniendo el automóvil con su carga máxima (aproximadamente 450 kilogramos), el coche sigue siendo tres veces más pesado.

Por el otro lado, tomando en cuenta el cuadriciclo con un peso máximo aproximado 40 kilogramos, el conductor con 75 kilos es 187,5% más pesado que el vehículo. Teniendo así un 65% del peso total.

Es evidente que el peso juega un papel importante para el cuadriciclo. Las influencias en el peso se encuentran mucho más presentes en comparación con los automóviles. Si el conductor pesa sólo 55 kilogramos, la porción del peso disminuye a una tasa de influencia todavía elevada del 58%. Aún si el piloto es fuerte y por encima del promedio pesando unos 130 kilogramos, la parte de peso del ciclista aumenta hasta una tasa del 76%. Por lo tanto el sistema del eje tiene que lidiar con situaciones y casos de operación muy diferentes. Esto obliga a tener cierta flexibilidad en el ajuste del rango de los amortiguadores.

	Eje rígido	Eje semosólido	Suspensión de brazo semiarrastrante	Suspensión de doble horquilla	Suspensión multibrazo
Cinemática	pobre	por debajo del promedio	promedio	sobre el promedio	excelente
Esfuerzo	bajo	bajo	medio	alto	alto
Espacio requerido	alto (sentido vertical)	bajo	medio	alto	alto
Masas no suspendidas	altas	bajas	bajas	muy bajas	muy bajas
No. de partes	bajo	bajo	medio	alto	muy alto
Características de maniobrabilidad	efecto de copia	malo (se necesita dureza)	ajustable	ajustable	excelente
Esfuerzo sobre el marco	bajo	muy bajo	bajo	medio	alto
Otros	recorrido y camber fijos	estabilidad lateral mala, soporte complejo			

Tabla 4. Diferentes construcciones de eje.

Tipos de aplicaciones.

El auto mencionado de clase media, tiene que lidiar con diversos tipos de aplicación. Vacío o cargado al máximo, las temperaturas altas en verano de hasta 50 grados Celsius o bajas temperaturas de congelación en invierno hasta de -40 grados Celsius o velocidades de hasta 250 km / h. En todos los casos, el coche tiene que ser confiable y seguro.

El cuadríciclo no pretende ser una alternativa a un auto. Deberá ser un vehículo deportivo innovador e individual con alta dinámica de conducción. Por lo tanto el rango en tipos de aplicación es menor. Algunos requisitos que un coche debe cumplir, pueden ser descartados. El sistema del eje debe ofrecer ajuste a la cinemática, una conducción segura y estable. Sin embargo, la cinemática únicamente debe ofrecer la posibilidad de ser ajustada dentro de cierto rango y no incluyendo todos los parámetros que un sistema del eje de un auto moderno ofrece. Por ejemplo, ambos ángulos: de convergencia (toe) y de inclinación (camber) no deben de cambiar al amortiguar en la misma escala que en un automóvil.

Como se aclaró anteriormente, no todas las características específicas que ofrece un determinado sistema del eje en un coche se pueden transferir de forma idéntica al cuadríciclo. Por ejemplo, si cierto tipo de construcción de eje ofrece características positivas al estar montado en un auto, éste puede ser completamente neutral o hasta tener aspectos negativos al estar en el cuadríciclo por tal motivo sólo se describieron las características específicas de cada tipo de construcción del eje de acuerdo a las ventajas o desventajas que podría ofrecer al cuadríciclo.

Argumentos a favor del sistema multibrazo:

- Gran ángulo de giro.
- Espacio suficiente para el montaje de los motores eléctricos.
- Adaptable a diferentes conductores, debido a la posibilidad de variar la longitud de los brazos (posibilidad de tener puntos de fijación movibles en el marco).

- Posibilidad de calcular la resistencia (sólo hay fuerzas axiales en los brazos, no hay flexión ni torsión)
- Construcción ligera (sin componentes de gran tamaño sin sentido, debido al cálculo de la resistencia).
- Libertad cinemática que permite ajustar el torque de dirección al nivel deseado.
- Suspensión construida de piezas comerciales (exceptuando por ejemplo: el portador de la rueda), por lo que un reemplazo en caso de una avería mecánica será eficiente en cuanto a tiempo y costo.
- Tolerancias de fabricación (en ciertos rangos) insignificantes debido a la posibilidad de ajuste (a pesar de que la suspensión multibrazo por lo general es bastante sensible a las tolerancias)
- Mejoras cinemáticas en la suspensión que serán posibles gracias a los brazos con longitud ajustable, y tal vez con puntos de fijación movibles en el marco.
- Expresa innovación.

Argumentos en contra de una suspensión de doble horquilla:

- Horquilla con tamaño excesivo en el cuadríciclo existente, debido a la falta de cálculos necesarios de resistencia (casos de carga bastante complejos) y una constante falla de las piezas debido a una construcción poco favorable.
- Poca o nula adaptabilidad a los diferentes tipos de conductor (como se mencionó antes, la masa de los conductores puede variar mucho).
- Con el proceso disponible, la manufacturación sería muy cara si se respetan las tolerancias.

Evolución del cuadriciclo.

Después de decidir el concepto inicial, se concibieron las primeras ideas del diseño. Se tomó la decisión de trabajar en dos diseños el mismo tiempo, uno que fuera muy apegado al concepto principal y otro que tomara las ideas principales del concepto, pero que tratara de resolverlas de otra manera. Estas primeras ideas incorporaban una suspensión McPherson en el eje frontal y en el eje trasero una de brazos longitudinales. Una vez obtenidos estos diseños se hicieron los primeros análisis FEM para comprobar que los tuvieran las condiciones, proporciones y medidas adecuadas de acuerdo con todas las fuerzas involucradas en su uso y las propiedades del material.

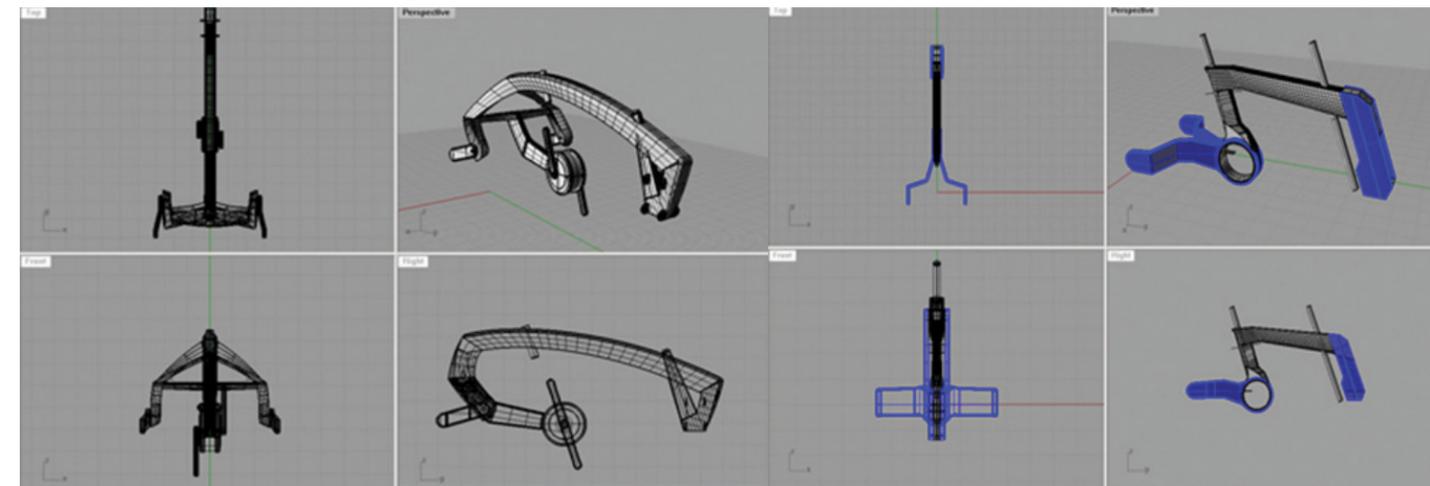


Figura 32. Primeras propuestas de diseño.

Después de analizar la suspensión, los resultados arrojaron que el mecanismo de suspensión que se había decidido no era la mejor solución para el concepto y la dinámica de manejo. Debido a esto la suspensión se reajustó para llegar a ser una de doble brazo multilink. Los diseños tuvieron que ser modificados para satisfacer los requerimientos de la suspensión. Mientras tanto se siguió trabajando con dos diseños a la vez para así encontrar más soluciones para las necesidades y problemas. Se realizaron análisis FEM para ver los puntos críticos dentro de la estructura.

Argumentos en contra de una suspensión de eje rígido:

- Pobre o sin ajuste.
- No expresa innovación.

Argumentos en contra de una suspensión semi-brazo de arrastre:

- Una gran variación del ángulo de inclinación (camber) al amortiguar.
- El ángulo de inclinación (camber) y el recorrido no son ajustables de manera independiente.
- Las fuerzas laterales provocan que la rueda tenga un ángulo de convergencia negativo (toe-out).
- Necesita brazos y uniones muy rígidas.
- Requiere de un análisis FEM.

Realización.

Para comenzar con la parte práctica, el primer paso fue realizar un prototipo virtual en el software Simpack¹⁶. Primero por lo que se construyó un modelo simple que presenta los puntos de apoyo de los brazos en la misma dirección en “z” y en “y”. Con este primer acercamiento se obtuvo información acerca de las fuerzas, pares y cambios de posición y la longitud de los brazos de forma sistemática. La geometría detallada de la suspensión y los casos de carga se fueron determinando paso a paso.

Debido a que la suspensión y las partes necesarias serían más específicas, se fueron agregando nuevos datos a Simpack en forma de restricciones matemáticas o libertades, con el fin de optimizar la suspensión, hasta estar lista para la producción.

Además, de tomar en cuenta toda esta información para el diseño del marco y su respectivo cálculo de acuerdo a las fuerzas involucradas, se llevó a cabo una investigación de las partes a comprar.

¹⁶ SIMPACK® - Software de concepción virtual y simulación multicuerpo. desarrollado por la empresa SIMPACK AG.



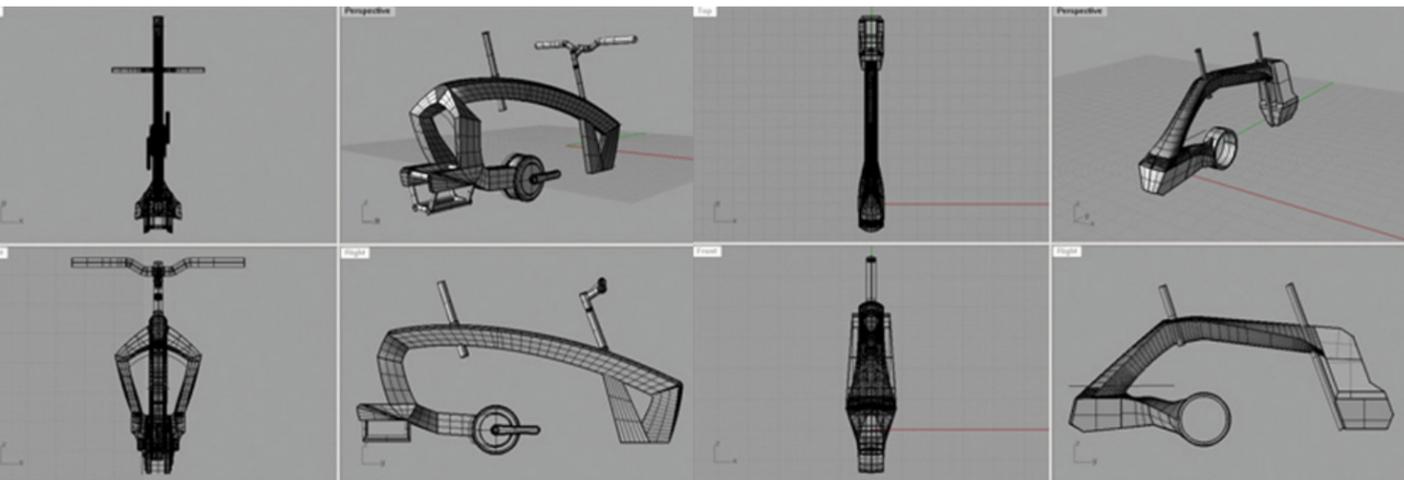
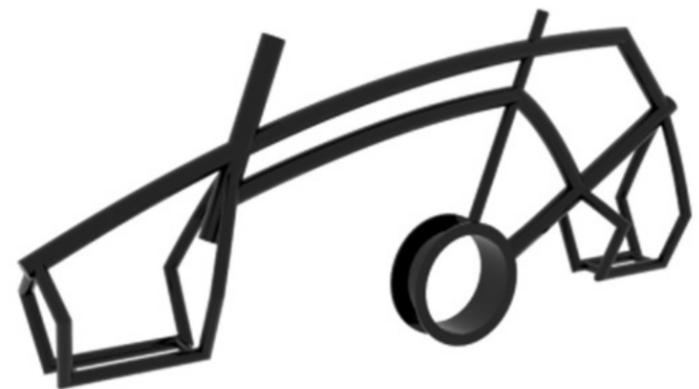


Figura 33. Segundas propuestas.

Figura 34. Primera propuesta en tubular de aluminio.



Los nuevos cambios afectaron las proporciones del diseño en fibra de carbono. Por lo tanto se decidió explorar el diseño usando tubos de aluminio. De aquí en adelante se decidió eliminar la propuesta alternativa y sólo una continuó evolucionando. Este diseño en aluminio trataba de mantener los principios básicos de los diseños previos buscando a su vez ser sencillo y deportivo.

El trabajo siguió enfocado simultáneamente en el marco y los sistemas involucrados; en este punto las dimensiones de la suspensión cambiaron, el marco tenía que ser más ancho para conectarse con la suspensión. En cuanto al diseño, éste buscaba una silueta continua y fluida que representara dinamismo y velocidad.

En el punto final del marco de aluminio, se tuvieron que hacer cambios en cuanto al sistema híbrido y a la suspensión. Para el sistema híbrido, el generador cambió su

Figura 35. Segunda propuesta en tubular de aluminio.

posición a la parte de atrás y no en el eje de los pedales. Debido a esto el marco tuvo que reajustarse para cumplir con estos requerimientos y también se decidió cerrar el clásico triángulo estructural tal como aparece en todos los marcos de bicicletas para una mejor estructura.

Con todos estos nuevos cambios y la experiencia adquirida, se retomó la idea de tener un marco de fibra de carbono ya que las nuevas medidas permitían manejar las secciones y superficies con este material de una mejor manera. Dichos cambios permitieron jugar más con las formas y secciones para tener un diseño más atractivo, también permitió una forma más fluida y mejor integrada, que expresaba agresividad, deportividad, velocidad y dinamismo. Se integraron de mejor manera los sistemas mecánicos y eléctricos. Este nuevo lenguaje ayuda a llamar la atención de la gente que gusta de los deportes extremos.

Figura 36. Tercera propuesta en tubular de aluminio.

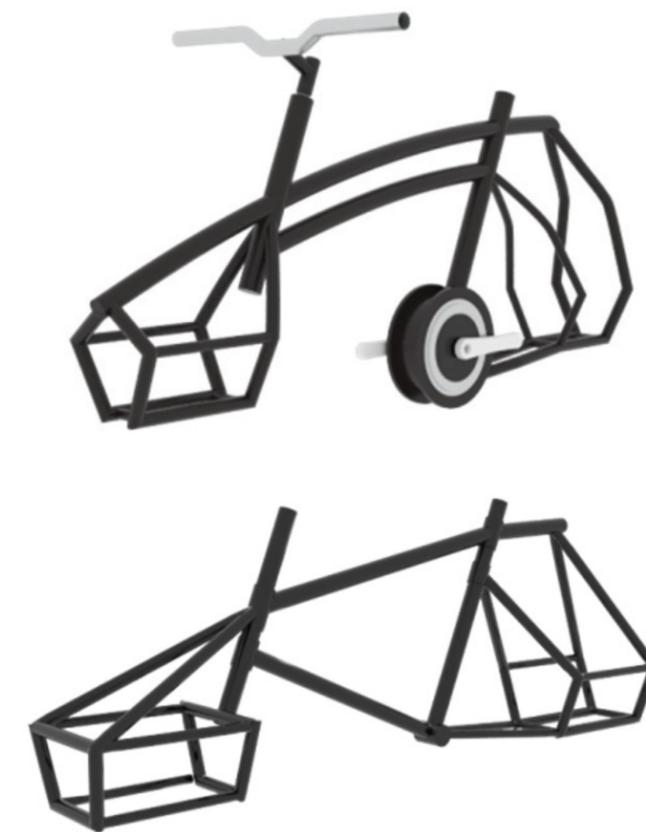


Figura 37. Diseño final en tubular de acero para marco funcional.



Diseño Final.



5

Diseño final.

Memoria descriptiva.

El cuadríciclo adoptó el nombre de Qx4 (“Q”- proveniente del término “Quadrad”¹⁷ y “x4” por contar con sistema de suspensión en sus cuatro llantas). El diseño final tiene como marco un solo cuerpo de fibra de carbono, con refuerzos de aluminio para los puntos de unión de la suspensión, sistema híbrido y dirección. El diseño consiste en dos líneas principales: la línea superior que es gruesa por ser la línea y estructura principal, hacia apuntando adelante y abajo para darle un carácter agresivo y veloz; mientras que la línea inferior que es más delgada y no resta jerarquía a la superior, cierra completamente la figura formando un triángulo para una mejor estructura que se abre al centro para llegar a las dimensiones necesarias para la suspensión y poder albergar los componentes del sistema híbrido.

Estas dos líneas se juntan en la parte frontal apuntando como una flecha, simulando la silueta ya sea de una persona o un animal preparándose para correr. Todos los elementos del diseño del marco tienen un propósito, se evitaron líneas y superficies que estuvieran sólo por decoración; el diseño enfatizó sus líneas en una estructura eficiente y resistente donde todos los sistemas se vieran integrados. El

¹⁷ “Quadrad”- en alemán, “cuadríciclo”.

Figura 38. Diseño final vista 1.



Figura 39. Diseño final vista 2.



triángulo que forma el marco lo hace muy resistente para terrenos difíciles donde se envuelven muchas fuerzas, esta forma conserva la idea de todas las bicicletas. El marco esta hueco lo que permite que los cables para el sistema híbrido y los frenos puedan ir en el interior al mismo tiempo alberga la batería lo que le da mucha limpieza al diseño.

El diseño final y los factores humanos.

Tomando en cuenta las premisas ergonómicas en la investigación, el diseño siempre trató de seguir ciertos lineamientos que hicieran posible el uso del vehículo de la mejor manera posible.

La geometría formada entre el tubo de la dirección, centro de pedales y asiento (distancias y ángulos de inclinación) se basa específicamente en los requerimientos de las bicicletas tipo Cross country o Downhill.

Una característica importante del vehículo Qx4, es la distancia entre el eje delantero y el centro de pedales. Esta distancia es algunos centímetros más larga que en cualquier bicicleta tradicional (2 ruedas). El factor que determinó dicha distancia fue la trayectoria que cubrían ambas llantas delanteras en curvas, creando un punto crítico de choque entre los pies del usuario en su recorrido por los pedales, y las llantas mismas. *Diagrama 7.* Cabe destacar que el ángulo correspondiente al tubo de la dirección perdió verticalidad ya que se tuvo que contrarrestar la distancia del eje de los pedales al eje delantero. Dicho ángulo es de 67° y se encuentra dentro del rango correspondiente a bicicletas de Downhill. El ángulo del tubular del asiento, es de 71° . Por otro lado, es fácil para una persona el subirse al vehículo gracias a que el travesaño superior lleva una trayectoria descendiente lo que hace que este se encuentre más abajo que en las bicicletas comunes generando así un espacio que hace el subirse al cuadriciclo sea una tarea más sencilla. Además, el vehículo, al contar con 4 ruedas, es más estable si se requiere apoyar un pie en un pedal para poder subirse y adoptar la posición de manejo.

Elemento de geometría	Especificaciones
1. Ángulo de dirección	67° , dentro del rango de bicicleta para "Crosscountry"
2. Ángulo de tubo de asiento	71°
3. Límite de tubo de asiento en cuadro	Esta línea nos muestra el límite de tubo del asiento en el marco con una distancia de 56 cm ; común para personas de entre 175 a 180 cm de estatura.
4. Travesaño de soporte principal	Del punto más alto del travesaño, un ángulo de -10° hacia el tubo de la dirección permite un mejor acceso al vehículo.
5. Recorrido real de pedales	Línea que nos muestra la distancia real del pie en su punto más bajo al suelo.
6. Recorrido del pie en pedales	Línea que nos muestra el recorrido del pie y nos permite conocer la tolerancia en distancia con las ruedas delanteras.

Tabla 5. Especificaciones ergonómicas del marco

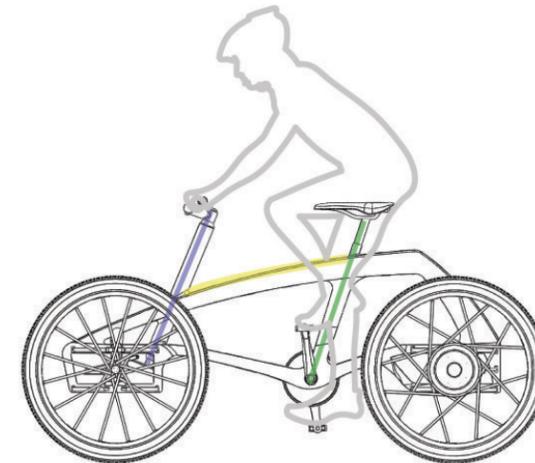


Diagrama 6. Ángulos del asiento, poste de la dirección y acceso a la bicicleta.

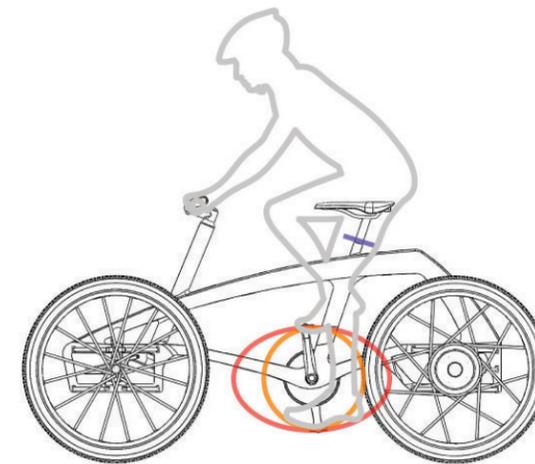


Diagrama 7. Recorrido de los pedales y pies.

Presentación Final.



6

Presentación Final.

En Alemania...

El proyecto se desarrolló a lo largo de ocho meses con el fin de ser presentado en las instalaciones de TUM ante los profesores, patrocinadores y directivos del departamento automotriz de FTM (Fahrzeugtechnik München), así como ante miembros directivos de marketing del grupo Daimler-Mercedes y Audi.

La presentación final tuvo lugar el 6 de mayo del año 2010 en Munich, Alemania, en las instalaciones del departamento de FTM-TUM y se contó con el apoyo de equipo audiovisual, prototipos y posters explicativos.

El periodo de dos semanas previas a la presentación del proyecto fue quizá la etapa más importante para poder mostrar la funcionalidad del vehículo diseñado. El equipo coordinó actividades durante este tiempo, para la preparación de una presentación interactiva y visual, así como Posters y modelos a escala, que sirvieron de apoyo para la explicación del proyecto.

El mayor de los retos fue entonces, la construcción y ensamble de un prototipo funcional para poder ponerse a prueba el día de la presentación.

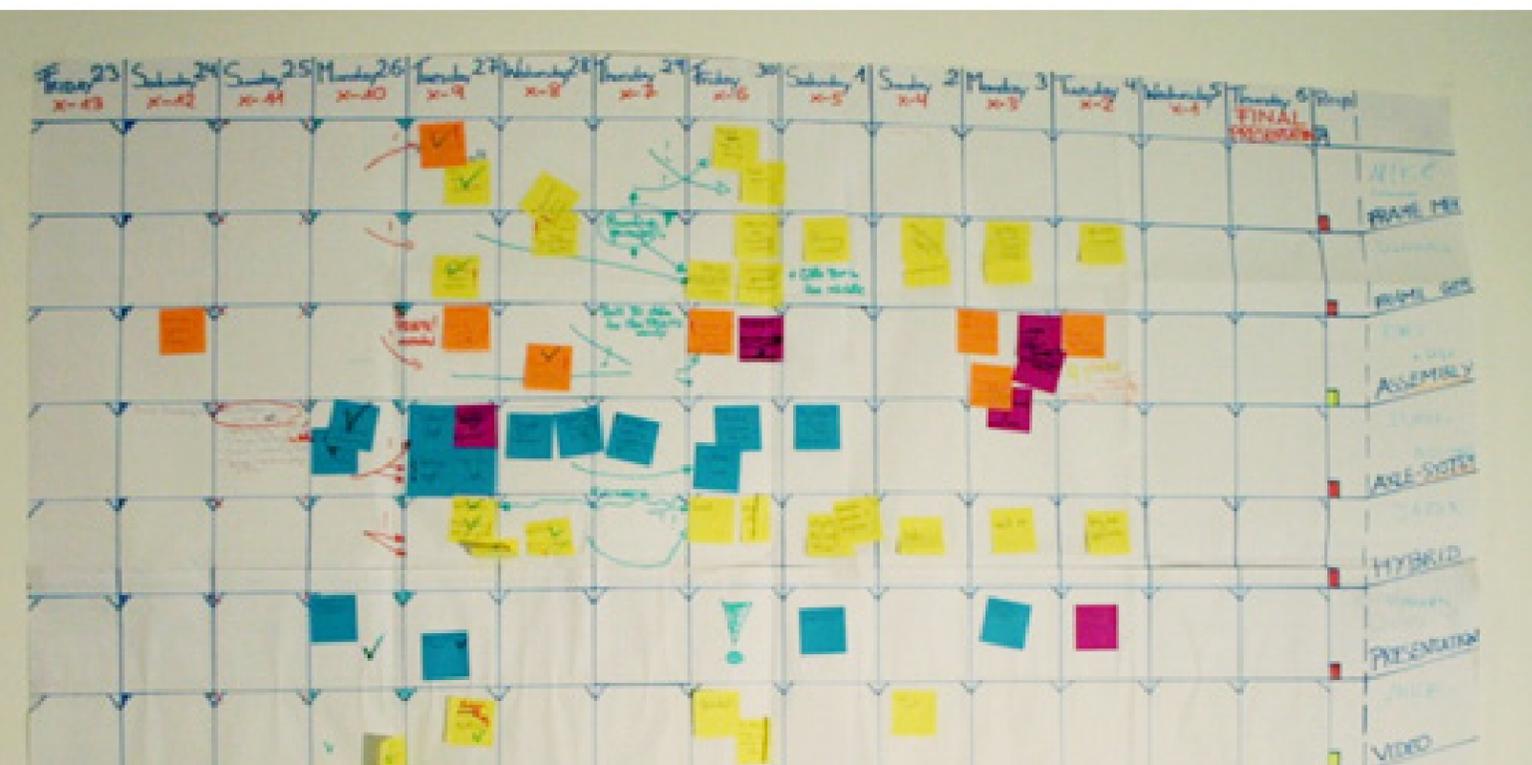
Una vez que el equipo mexicano arribó a Alemania, se realizó una planificación de actividades y tareas clave para poder coordinar y jerarquizar las actividades entre cada uno de los integrantes. El equipo entonces, se basó en la llamada "Estructura de descomposición de Trabajo".

Metodología: Estructura de desglose del trabajo.

La estructura de desglose del trabajo (EDT) es un método para trabajar donde se presenta a todos los integrantes del equipo las relaciones entre las tareas a realizar de un proyecto así como también las metas o el objetivo final. Es la recopilación gráfica de todos los elementos del trabajo de todo un proyecto durante un determinado periodo de tiempo. De esta manera el EDT se muestra como un detallado diagrama de Gantt. Por lo tanto, también contiene la distribución de todas las responsabilidades, los recursos requeridos y el tiempo disponible en cada etapa. El EDT sorprendentemente da una perspectiva general de las circunstancias para los miembros del proyecto. Una constante revisión ayuda a controlar el progreso en cada aspecto de un proyecto. Por lo tanto el EDT no es un programa de trabajo, ni un diagrama de organización, sino una segmentación o un desglose del proyecto en las actividades a realizar. Sin embargo es comúnmente presentada como una tabla o un diagrama organizacional.

El diseño de una estructura de desglose del trabajo se hace con la ayuda de todo el equipo por medio de una lluvia de ideas, todos los paquetes de trabajo y las tareas son recolectadas en una línea y luego son ligadas ya sea por sus relaciones o la dependencia entre ellas.

Figura 40. Diagrama de Gantt para las dos últimas semanas de trabajo.



Durante las últimas dos semanas de trabajo se utilizó el EDT para definir las actividades y alcances necesarios para la presentación. De manera de dar una perspectiva al equipo y garantizar un control de la evolución y el éxito del proyecto al final. *Figura 40.*

Dentro de este cuadro, se usaron post-its® de colores para dar la información exacta del progreso del proyecto permitiendo una lectura rápida y a simple vista.

Construcción del prototipo.

El diseñar un vehículo de tracción humana tipo cuadríciclo, factible de ser construido y puesto a prueba el día de la presentación en mayo de 2010, fue el mayor reto al que el equipo se enfrentó.

Para ello, las tareas fueron divididas entre México y Alemania; el trabajo debía ser coordinado y la comunicación altamente eficiente para poder lograr la organización entre los miembros del equipo. La realización de un prototipo real implicó la planificación de éste, y para ello se recurrió a la creación de Prototipos virtuales, bajo un mismo formato, con el fin de poder compartir archivos y realizar correcciones y/o ensambles, evitando incompatibilidades y complicaciones.

El programa CATIA V5® de Dassault Systèmes®, producto líder en soluciones de desarrollo en la industria automotriz y aeronáutica, fue empleado para realizar el modelo estructural del marco. CATIA V5® de Dassault Systèmes® y SIM PACK® Multi-Body Simulation software, se utilizaron en análisis de elemento finito (FEM) y simulaciones mecánicas en la suspensión respectivamente. Y un ensamble general del prototipo virtual con todas las partes integrantes, fue realizado en Solid Works® de Dassault Systèmes®.

El formato universal del que se hizo uso para poder compartir archivos fue el Standard for the Exchange of Product (STEP), diseñado para este tipo de necesidades y siendo un modelo de información de la International organization for Standardization (ISO) (Identificado como ISO 10303).

Marco estructural.

Prototipo virtual y análisis FEM.

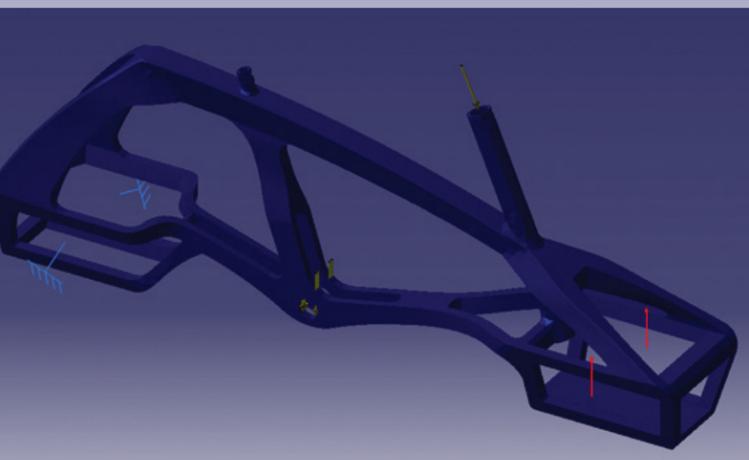
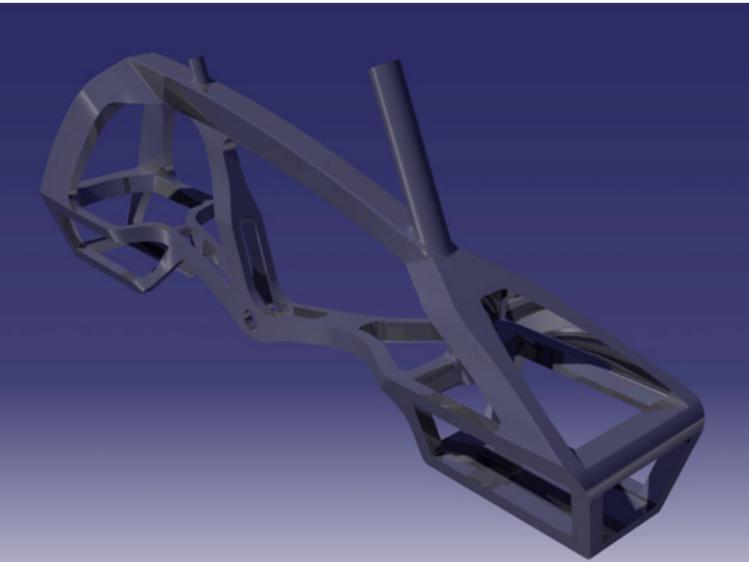


Figura 41. Cargas aplicadas al modelo.

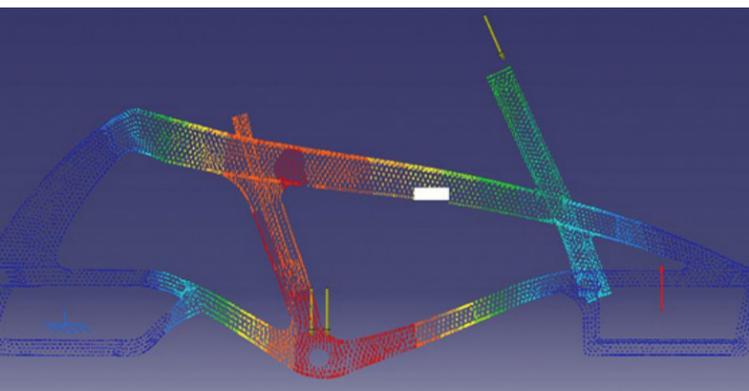


Figura 42. Tensiones producidas en la simulación.

La construcción del prototipo fue dividida en varias secciones: el marco estructural, el sistema de chasis y suspensión, el sistema híbrido y por último el sistema de dirección.

Las pruebas mecánicas virtuales fueron necesarias para poder determinar la construcción del prototipo de real del marco. El análisis se realizó en CATIA V5® de Dassault Systèmes® haciendo uso de su módulo de análisis FEM. El modelo utilizado se muestra en la figura 41.

El cuadro está propuesto completamente en fibra de carbono con algunas capas de Kevlar® como refuerzo en los puntos críticos. Todos los análisis se hicieron con las propiedades de un material isotrópico, pero en esta ocasión con las propiedades de dureza y de flexibilidad de los compuestos de fibra de carbono.

En la figura 42 se muestra las cargas utilizadas en la simulación.

Las siguientes imágenes muestran los resultados del análisis.

Se puede observar en las Figuras 42 y 43 los puntos críticos que se ven afectados por el peso del conductor, en estas partes es donde se reforzará con capas de Kevlar®.

Sin duda alguna, el marco estructural era aquel sobre el que serían ensamblados los mecanismos de suspensión, dirección, sistema híbrido, entre otros. Por ello fue necesario tenerlo construido antes del periodo de ensamble.

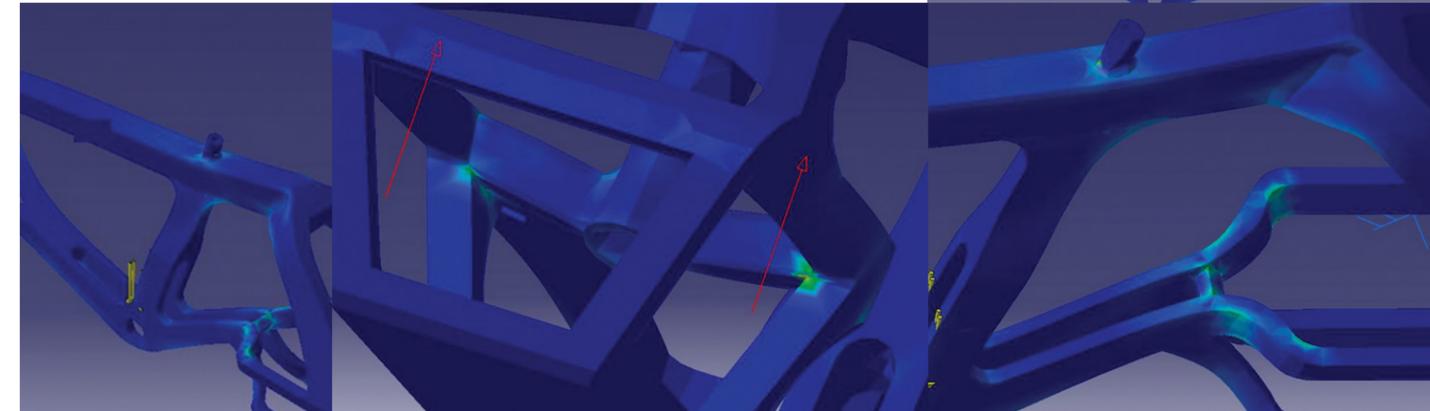


Figura 43. Vistas y detalles de los esfuerzos en el marco.

Prototipo real del marco estructural.

El equipo mexicano conformado por 2 diseñadores y 2 ingenieros, se dio a la tarea de construirlo con anticipación en talleres del CIDI-UNAM, para poder ser enviado en tiempo, y arribar así a Alemania para el 23 de abril del año 2010.

Se consideraron y se analizaron dos maneras de construir el prototipo del marco. La primera opción fue el construir un molde negativo para cada sección de un primer molde positivo para lograr obtener un buen acabado en toda la superficie. De esta manera, era posible evitar un exceso en las medidas en ciertas secciones. La segunda opción (y la más viable) fue el cubrir un modelo positivo súper ligero con varias capas de fibra de carbono, tomando en cuenta los refuerzos necesarios, e incluyendo la posibilidad de agregar insertos de aluminio donde se necesitara. La fabricación del prototipo corrió a cargo del equipo UNAM en la ciudad de México y el ensamble con el resto de los sistemas en Alemania.

El proceso. Debido a que se eligió la segunda opción de fabricación, se tuvo que encontrar un material muy ligero para la fabricación del corazón o la parte central donde se aplicarían las varias capas de fibra de carbono. En el mercado se encuentran diversos tipos de espumas de poliuretano, en este caso se necesitaba una espuma de baja densidad lo suficiente suave para que el proceso de esculpido fuera sencillo, resistente para que soportara la manipulación al aplicar la fibra y muy ligera para que no representara mucho peso en el prototipo.

Con el fin de simplificar y hacer de una manera más precisa el esculpido del marco, éste fue dividido en seis secciones. Después se imprimieron en escala natural las platillas de las diferentes secciones y se cortaron en estireno para así crear escantillones que permitirían cortar y esculpir la espuma.

Estos escantillones de estireno fueron primero cortados y luego se pegaron a la espuma con pegamento, una vez ya secos, se cortaron las secciones de manera general dejando una tolerancia de 2 cm con respecto al escantillón.



Figura 44. Corte de las plantillas en estireno.



Figura 45. Corte y esculpido de las secciones en espuma.

Con la ayuda de lijas, herramientas adecuadas y de los escantillones, se hizo un esculpido más detallado. Este proceso se siguió hasta llegar a la forma final de cada sección.



Figura 46. Unión de las seis secciones esculpidas.

El siguiente paso fue unir las seis diferentes secciones para formar un solo cuerpo. También se tomaron en cuenta los insertos necesarios para la dirección y un tubo para el ajuste del asiento. Se elaboró un marco especial que sostenía los insertos en su posición. Tan pronto estos fueron colocados en su lugar, se utilizó relleno plástico (DuPont NovoLite®) para unir con el marco de espuma y darle continuidad a la superficie.

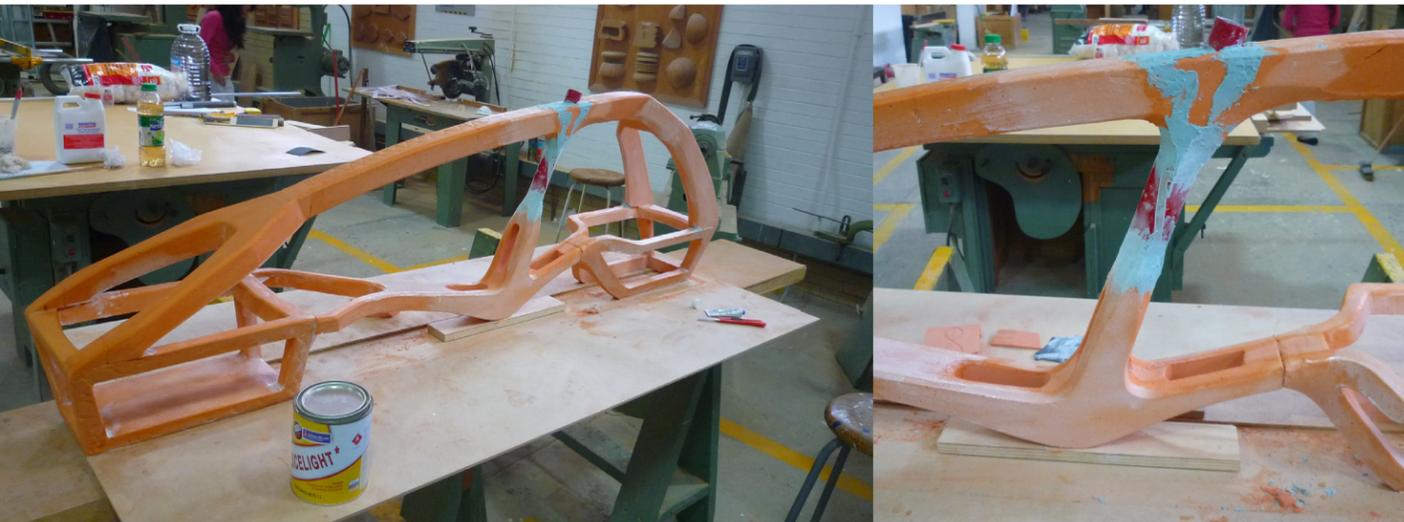


Figura 47. Unión con tubos de aluminio para dirección y asiento.

Ya teniendo el marco completamente ensamblado, se cubrió con una pasta hecha con Resistol blanco y blanco de España, para reforzar, rigidizar el material y que resistiera los procesos posteriores. Después se hicieron los espacios que contendrían los refuerzos de aluminio para el eje de los pedales y la dirección. Estos refuerzos fueron cortados en CNC en una placa de aluminio de 8mm.



Figura 48. Aplicación de blanco de España para rigidizar la espuma.

El siguiente paso fue colocar las capas de fibra de carbono. Como base, en las partes críticas las primeras capas fueron de Kevlar® como refuerzo. Primero se cortaron patrones que siguieran la forma del marco para cubrir por secciones, después se preparó cierta cantidad de resina epóxica con su respectiva cantidad de catalizador. Una vez hecha correctamente la mezcla, la resina fue

aplicada con ayuda de una brocha a la fibra y a la superficie donde iba a ser colocada por separado; luego la fibra fue colocada en el marco, después con ayuda de las manos y una brocha se dejó perfectamente fija y en su lugar, evitando burbujas de aire.



Figura 49. Aplicación de los refuerzos en Kevlar.

Se aplicaron de 2 a 3 capas de Kevlar en los puntos críticos, así como en los espacios que contendrían los refuerzos de aluminio para que fueran las fibras las que los contuvieran y no se viera involucrada la espuma. Después de las capas de Kevlar, se siguió el mismo proceso pero ahora con la fibra de carbono, sin dejar ningún lugar descubierto y con menos capas, y también intercalando las direcciones de las fibras para que estas trabajaran de la manera más óptima.



Figura 50. Aplicación de las capas en fibra de carbono.



Figura 51. Aplicación de la última capa de fibra y de resina epóxica para el acabado final.

Se necesitaron de 4 a 5 capas para lograr una estructura fuerte con la fibra de carbono, la capa final se aplicó hasta la llegada del marco a Alemania.

Para lograr un acabado final de mejor calidad, la última capa de fibra de carbono fue aplicada, y cubierta con una cinta especial para lograr un mejor acabado en la superficie. Como paso siguiente se cubrió el marco con una bolsa plástica sellada y luego fue sometida a una bomba de vacío durante 12 horas para sacar burbujas de aire y cualquier exceso de resina. Para finalizar el marco se tenía que alcanzar un mejor acabado en toda la superficie, para eso se retiró la cinta especial y se lijaron ciertos detalles para dejar todo listo para el acabado brillante.

Sistema híbrido.

Aplicación y control del sistema.

Como se mencionó antes, la decisión fue hacer un serial híbrido, usando motores eléctricos sin escobillas para bicicleta de la marca "Crystalite". Con este tipo de híbrido se introduce una característica única en el mundo de las bicicletas, la fuerza y velocidad en los pedales es completamente independiente del terreno. Por eso es posible implementar nuevas e innovadoras cualidades que ofrecen una completamente nueva experiencia de manejo. A continuación se presentan las modalidades que posibilita el concepto del serial híbrido.



Figura 52. Motor eléctrico "Crystalite".

Modos de manejo.

En este modo se elige primero el tipo de entrenamiento, donde la intensidad puede ser constante o variable dependiendo de lo que busque el usuario. Debido a que el serial híbrido es independiente del terreno, es posible simular montañas o hacerlas "planas" virtualmente. Seleccionando este modo se puede tener una sesión de fitness al aire libre. Aparte de esto se le pueden implementar más herramientas para el entrenamiento. Por ejemplo, un control dependiente de la cadencia para un entrenamiento más eficiente, un control de velocidad que cuando el usuario este pedaleando de la mejor manera sea recompensado con la velocidad máxima en su rango de pedaleo. En conclusión esta modalidad ofrece sesiones de entrenamiento muy eficientes disfrutando al mismo tiempo del aire libre.

Este modo es prácticamente el mismo que el de entrenamiento, la diferencia es que los motores no son encendidos. De esta manera el cuadríciclo sustituye completamente a una bicicleta de entrenamiento fija. Esto hace a este vehículo un objeto multipropósito, y también le da un lugar en la casa para aprovechar el espacio.

Modo fijo.

Modo mecánico. Este modo está pensado para ofrecer completamente la sensación de estar manejando una bicicleta normal. Se pueden escoger entre las diferentes velocidades virtuales y hasta implementar de una manera fácil una transmisión variable, así como diferentes cantidades de soporte eléctrico. Para asegurar que la experiencia es prácticamente idéntica a la de una bicicleta mecánica, los motores giran con la velocidad del generador multiplicada por la relación de la transmisión virtual. La potencia de los motores es medida y el generador demanda la misma cantidad dividida por un factor seleccionable que determina la cantidad del soporte eléctrico.

Modo emergencia. Este modo no está disponible para su selección, se activa automáticamente cuando las baterías se encuentran bajas con un 40% de energía para asegurar que el usuario llegue a su destino. Cuando está activa esta modalidad la energía generada siempre será mayor de la que se envía a los motores.

En muchos casos la cantidad de energía consumida será mayor que la generada. Debido a esto el concepto híbrido también ofrece la característica de ser “plug-in”. En otras palabras se puede cargar en cualquier contacto eléctrico. Las diferentes modalidades de manejo en combinación con la cualidad de tener “plug-in”, hacen al cuadríciclo muy conveniente para diversos propósitos. Por ejemplo este vehículo ofrece un entrenamiento eficiente como a su vez una alternativa de transporte; cuando se va al trabajo se puede elegir ir con un gran soporte eléctrico, así uno llega relajado y sin sudar, como la batería se descargó el cuadríciclo se deja cargando en cualquier enchufe; Ya al salir del trabajo las baterías estarán cargadas y el usuario puede elegir la opción para su entrenamiento preferido, para ejercitarse mientras regresa a casa. Y todo esto combinado con una gran dinámica de manejo.

Configuración electrónica.

En este apartado se explica la configuración electrónica nombrando los diferentes componentes así como las funciones que desempeñan dentro del sistema. Como ya se ha explicado anteriormente el cuadríciclo cuenta con tres máquinas; una funciona como generador y las otras dos, como motores. Los motores necesitan dos controladores que transformen la corriente directa de la batería a una corriente trifásica que dependa de la velocidad (como se explicó en requerimientos de los motores). Y por otro lado, el generador funciona de manera opuesta: un circuito de carga transforma la carga trifásica generada a corriente directa. Está claro que sólo con esta configuración no es posible crear las diferentes modalidades de manejo. Por esta razón se necesitan un micro-controlador y algunos sensores. El micro-controlador manipula la velocidad angular de los motores y el torque del generador. Para seleccionar los diferentes modos de manejo así como el soporte eléctrico deseado se necesita un HMI.

Sistema de ejes y suspensión.

Sistema de ejes.

El SIM PACK® fue utilizado Software principalmente para la simulación y el dimensionamiento de la cinemática y la resistencia del cuadríciclo. Como se explicó previamente, SIM PACK ® es un software para la simulación general de multi-cuerpos, utilizado para ayudar a los ingenieros en el análisis y diseño de sistemas mecánicos y mecatrónicos. Este software es utilizado principalmente en la industria automotriz, ferroviaria, de motores, turbinas eólicas, y la industria aeroespacial. Dentro de todas las industrias se utiliza desde el diseño de un solo componente hasta el análisis de un sistema completo. Además de tener dinámica interna y control de ellas, SIM PACK ® también toma en cuenta cualquier influencia externa en el sistema, por ejemplo perturbaciones del suelo y la carga aerodinámica. A pesar de que SIM PACK ® es una herramienta

relativamente compleja y difícil de trabajar, fue la herramienta de software preferida por la libertad de diseño que ofrece.

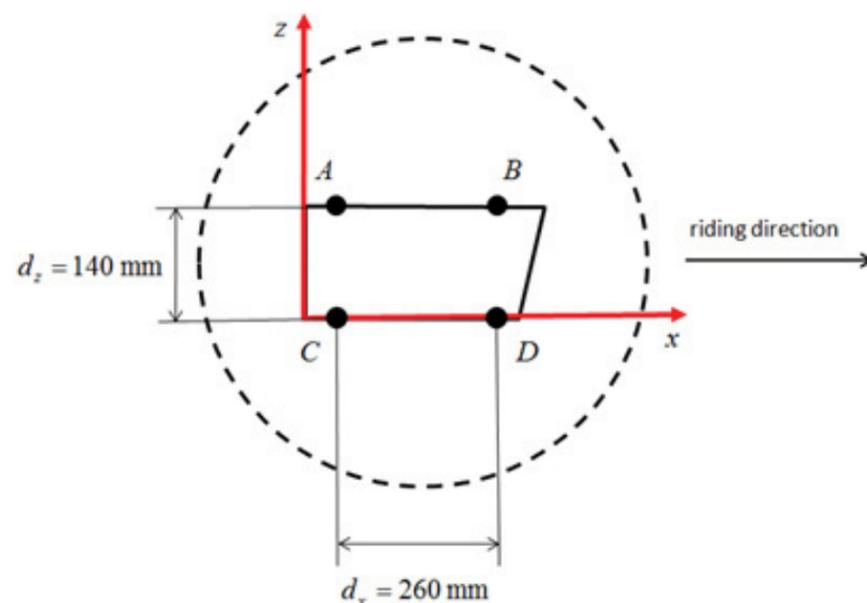
Construcción del modelo en Simpack®.

En la fase de realización, se hizo un primer prototipo virtual en SIM PACK ®. La idea fue construir un modelo sencillo que mostrara las principales características del comportamiento del eje.

Se realizó un primer prototipo del eje desde que se definieron las primeras posiciones de los puntos superiores e inferiores de montaje. Como introducción a las medidas y las dimensiones, es necesaria una aclaración: al mencionar la palabra “caja” se hará referencia a las partes rectangulares en la parte frontal y trasera del marco.

El sistema de coordenadas tiene como origen la esquina inferior izquierda de la caja frontal. Las direcciones de los ejes x-,y- y z- son las mismas que se encuentran en libros automotrices. Donde el eje x- tiene una dirección longitudinal, el eje y- lateral y el eje z- vertical. Los puntos de fijación de los brazos fueron nombrados A, B, C y D. Las distancias entre estos puntos, dadas por la dimensión de las caja son $d_1 = 140\text{mm}$ y $d_2 = 260\text{mm}$.

Diagrama 8. Puntos de fijación de la suspensión en el marco.



Del lado del soporte de las ruedas los puntos correspondientes son llamados **AA, BB, CC y DD**. La posición de cada punto de montaje (por ejemplo, las distancias y la altura entre los puntos de montaje) afectan la conducta posterior del eje. Para un diseño inicial se decidió un ensamble simétrico para tener un ajuste neutral básico.

El eje trasero se planteó como un eje de cinco brazos y el delantero como un sistema de doble horquilla con brazos inferiores abiertos. Por esto el eje trasero se diseñó primero. Con este primer modelo en SIM PACK ®, los parámetros más importantes para la manipulación y el control de la cinemática del eje se identificaron. Los siguientes parámetros fueron usados principalmente para adaptar el eje a las diferentes restricciones y para alcanzar un comportamiento cinemático favorable.

a, b, c y α, β

d, e, f, g y δ

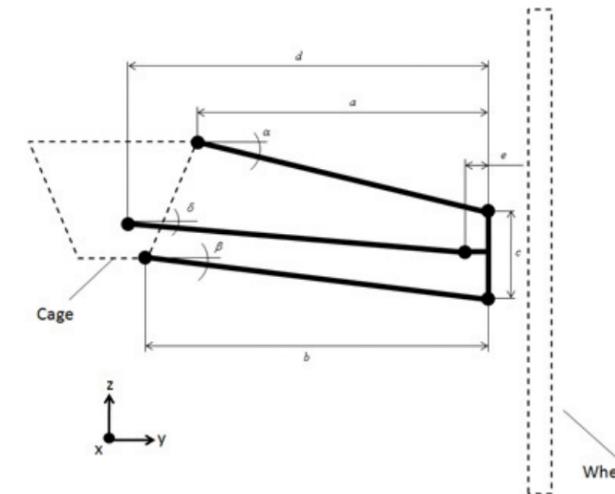


Diagrama 9. Longitud de los brazos de la suspensión.

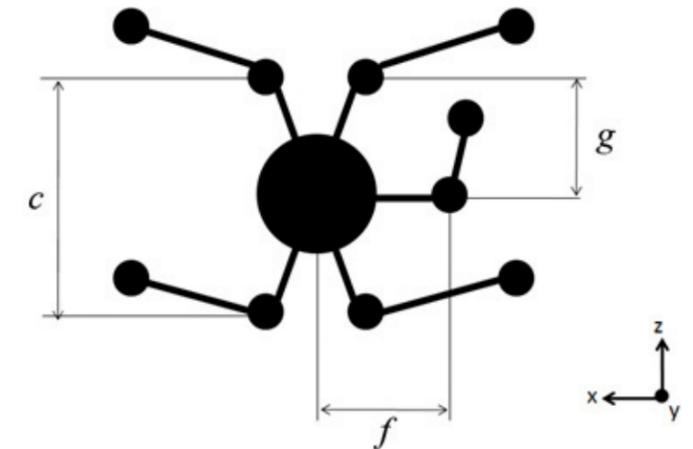


Diagrama 10. Chasis de la suspensión.

Un hecho notable fue que el ajuste inicial se comportó de manera aceptable aunque sólo en cierto rango vertical. Al simular un ciclo completo del eje (del centro al punto más alto luego al punto más bajo y de regreso al centro) el comportamiento cinemático del eje empezó en áreas superiores o inferiores. Al amortiguar, el soporte de la rueda se obtuvo un ángulo de convergencia (toe) extremadamente positivo y el ángulo de inclinación (camber) tomo un valor muy negativo. Esta distintiva variación cinemática dentro del eje no es aceptable. Dentro de un vehículo de propulsión humana es muy

importante que la resistencia al giro sea mayormente pequeña en casi cualquier situación de manejo. Por lo tanto el ángulo de convergencia (toe) debe de ser prácticamente constante.

Al variar todos los parámetros de manera estructurada, se encontró que el quinto brazo, en particular, es el mayor responsable de la variación del ángulo de convergencia (toe). En especial la altura del punto de montaje de parte del marco (determinada por los parámetros δ y g) era crucial en este contexto. Pero también la longitud de dicho brazo (determinado por el parámetro d) es muy importante debido a que determina el ángulo con el que la variación del ángulo de inclinación (Camber) empieza. Además, la variación de los parámetros demostró que los cambios en el ángulo de inclinación (Camber) dependen en su mayoría de la relación entre la longitud y del ángulo de los brazos superiores e inferiores (determinados por los parámetros a , b , c , α y β).

Una gran ventaja fue el cambio en el ángulo de inclinación (Camber) registrándose en áreas de gran desviación de la rueda, donde el eje montado no debe de llegar, esto debido al ya conocido y limitado rango en los ángulos de los extremos de las barras y el rango máximo en la suspensión de los amortiguadores. Por eso sólo había que enfocarse en una desviación vertical total del soporte de las

ruedas de aproximadamente 120mm. Por consiguiente, se varió la posición del quinto brazo sistemáticamente hasta que se logró una primera configuración satisfactoria.

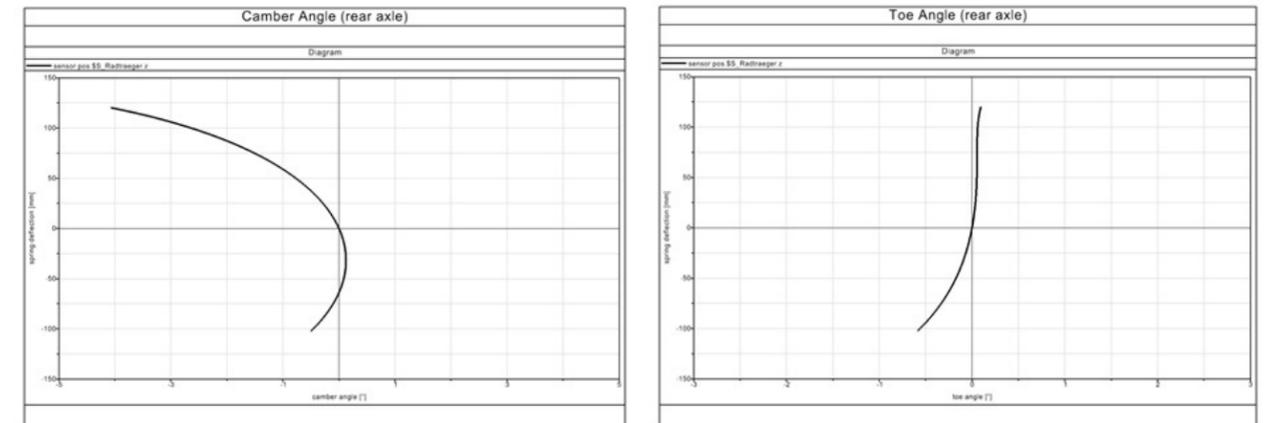
Al lograr una solución realista y satisfactoria el eje se reflejó hacia el otro lado, garantizando un ensamble completamente simétrico.

El eje delantero se construyó tomando como base la configuración del eje trasero, pero teniendo brazos superiores fijos, con el fin de evitar la interferencia entre los amortiguadores y el sistema de dirección.

Debido a que el eje delantero tiene aproximadamente las mismas medidas que el trasero, a excepción de algunos pequeños ajustes realizados debido al sistema de dirección, se tienen prácticamente las mismas características cinemáticas en ambos ejes.

En los siguientes diagramas se muestra la cinemática del eje trasero. El diagrama del ángulo de convergencia (toe) presenta el prácticamente un ángulo constante (que puede ser ajustado por separado) si se desvía. El diagrama del ángulo de inclinación (Camber) enseña el comportamiento clásico conocido tanto en coches como en cuadríciclos, para un mejor manejo de las fuerzas laterales (especialmente al girar en esquinas).

Gráficas 6 y 7. Ángulos "toe" y "camber".



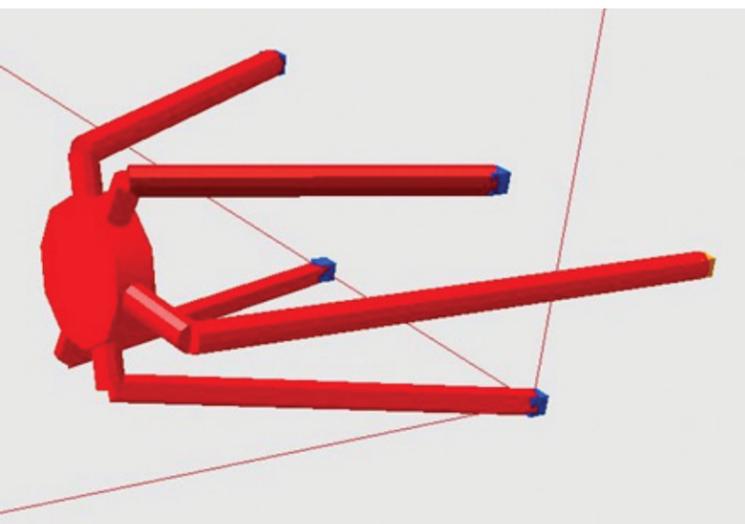
Dimensiones principales.

Las medidas principales se derivaron de los dos cuadríciclos ya existentes. La distancia entre los ejes afecta a la deportividad y al confort en la conducción, además de que determina el radio mínimo de giro y por lo tanto la agilidad. El ancho del eje es la variable más importante para poder definir la velocidad máxima en curvas, debido al hecho de que el centro de gravedad no puede bajarse (la posición del conductor tiene que ser en posición vertical).

De esta manera, se eligieron las siguientes medidas:

- Distancia entre ejes -: 900 mm
- Ancho del eje -: 900 mm

Figura 53. Modelo del chasis en Simpack.



El ancho del eje es ligeramente menor en comparación a los cuadríciclos existentes, debido a que se busca un carácter más deportivo y una mayor velocidad en curvas.

Después de un análisis de mercado en la búsqueda de soluciones para los amortiguadores se supo con certeza que se debían utilizar los amortiguadores para las bicicletas de montaña. Esta clase de amortiguadores han sido probados en cuanto a funcionalidad, fidelidad y adaptabilidad. Además de que son ligeros y estables, y muchos productores ofrecen una amplia gama en el mercado.

Amortiguadores. Los amortiguadores pueden dividirse en dos tipos, de acuerdo a lo que usan para amortiguar. Unos son los que utilizan un resorte de acero y los otros son los que son de aire.

Los amortiguadores con resorte de acero brindan una amortiguación estática que sólo puede ser adaptada a los diferentes tipos de usuario al reemplazar el resorte por uno más blando o uno mucho más rígido. Solo el vaivén y la fuerza de la amortiguación pueden ser ajustados. Sin embargo, si se adapta de manera correcta al usuario éstos ofrecen una respuesta muy buena.

A diferencia de los de resorte, los amortiguadores de aire ofrecen una mejor adaptabilidad. El rango de amortiguación puede ser fácilmente ajustado al incrementar o disminuir la presión de aire. Para esto se puede montar una bomba de aire muy fácilmente en la válvula en la parte superior del amortiguador. Debido a esto, los amortiguadores de aire ofrecen una amplia gama de ajuste y de uso.

Una característica que tienen en común ambos modelos es que el sistema del amortiguador es resuelto por un sistema de amortiguación hidráulica de rebote y de compresión. La válvula de compresión es mayormente estática con un rango de fábrica que va de medio fuerte a suave para garantizar una

respuesta suave al conducir sobre colinas y agujeros. La válvula de rebote ofrece la opción de ajustar la relación del flujo. La relación estática de compresión es importante debido a que la fase del rebote es responsable, en su mayoría, de mantener fuera de contacto las molestas oscilaciones del vehículo. La adaptabilidad ofrece la posibilidad de ajustar esta relación al usuario para lograr de una manera satisfactoria la separación de las oscilaciones del conductor.

Regulaciones.

Para la elección de los amortiguadores, los siguientes requerimientos se tomaron en cuenta:

El cuadríciclo es un vehículo ultra-ligero. Como se mencionó previamente, el peso de la carga varía en un rango muy amplio. Un peso máximo estimado de 40 kg puede crecer hasta 100 kg -140 kg en función del peso del usuario. Por lo tanto el chasis debe ser ajustable a los diferentes casos de carga para lograr ofrecer siempre las mejores condiciones para el ciclista.

Un amortiguador de aire ofrece en este caso las mejores características.

Recorrido del amortiguador.

Para lograr unas condiciones óptimas de trabajo, un amortiguador de una bicicleta de montaña debe de ofrecer un vaivén o recorrido suficiente para cualquier situación posible en la que el amortiguador será usado.

Es importante que la presión de la cámara de aire, se adapte a cada usuario para que el amortiguador sólo use un 15% de su recorrido al momento que el conductor este sentado de manera estática. Así el 85% restante deberá cubrir el vaivén que demanden las condiciones de trabajo. En el mercado hay amortiguadores disponibles que ofrecen un recorrido desde 30mm hasta 70mm. Para el cuadríciclo sería conveniente escoger amortiguadores con un recorrido aproximado de 60mm para tener un amplio grado de adaptabilidad.

Figura 54. Amortiguador mecánico y de aire.



Ajuste de los amortiguadores.

El diseño del marco permite sólo unas cuantas posiciones para el montaje de los amortiguadores. Todas ellas tenían en común que sin importar donde se eligiera montar el amortiguador en el soporte de las ruedas, los amortiguadores debían medir al menos 300mm. Pero en los amortiguadores de las bicicletas de montaña habituales en la mayoría de los casos sólo tienen una longitud de entre 150 mm - 210 mm. Así que se examinó de nuevo el mercado para encontrar una solución. Gracias a una sugerencia, se encontró el Sistema-LRS (Low Ratio Suspension). Las bicicletas de suspensión completa que usan este sistema, tienen el amortiguador montado de una manera poco común, entre la rueda delantera y trasera por debajo del asiento, pero al lado de la rueda trasera. Esto junto con un amortiguador largo puede alcanzar una tasa de casi 1:1,2 entre el recorrido del amortiguador y el de la rueda. Las características antes mencionadas permiten un comportamiento mucho mejor del amortiguador y en conjunto de la bicicleta de montaña. Al mismo tiempo, el Sistema-LRS brinda una solución para la suspensión del cuatriciclo. LRS tiene amortiguadores que están disponibles en diferentes longitudes que van desde los 300 mm hasta los 350 mm, llegando así a la longitud necesaria para el cuatriciclo.



Figura 55. Vistas de los amortiguadores del sistema LRS. modelo PRION.

Debido a los requisitos necesarios y las circunstancias del mercado, no se encontraron muchos modelos de amortiguadores disponibles. Algunos de ellos fueron fácilmente excluidos. Al final, el modelo PRION® hecho por GermanA® fue el elegido al ser el más adecuado de acuerdo con el proceso de comparación. Es un amortiguador de aire disponible en 320 mm y 340 mm de longitud, encajando perfectamente en las especificaciones para el eje trasero y delantero. Para garantizar un montaje en posición recta el amortiguador está equipado con cabezas de balón en ambos extremos. Así permitiendo que el amortiguador solo se enfrente a fuerzas unidireccionales garantizando una mejor funcionalidad y un largo ciclo de vida. En el lado izquierdo se puede ver la rueda de ajuste en un color rojo y la válvula de aire para la adaptabilidad de la relación de amortiguación de rebote a las diferentes condiciones de operación y los diversos tipos de usuario. Para finalizar, el modelo PRION 320® fue utilizado para el eje delantero y el modelo PRION 340 para el eje trasero.

Puntos de anclaje y giro del chasis.

La tarea de los puntos de fijación es la de conectar los brazos de la suspensión con el marco y con el soporte de las ruedas. Esto es muy importante, ya que la conexión debe ser muy resistente, precisa y confiable.

En el sector automotriz, la conexión está construida principalmente por los conocidos “rod end” o “Heim’s” (o rótulas de dirección) o amortiguadores de goma. Para el cuatriciclo los amortiguadores de goma podrían ser posibles pero difíciles de adaptar. La razón es que la goma tiene una característica propia de oscilación que puede ser útil, pero a la vez perjudicial. El cálculo de estas oscilaciones, es bastante difícil debido a que se desconocen muchas variables: la rigidez del marco, la rigidez del punto de montaje, la gran cantidad puntos de apoyo (hasta 10 puntos de montaje por rueda), las divergencias en las condiciones de trabajo del cuatriciclo, etc. Los amortiguadores de goma tendrían que ser encapsulados de forma

Figura 56. Punto de fijación: Amortiguadores de goma.





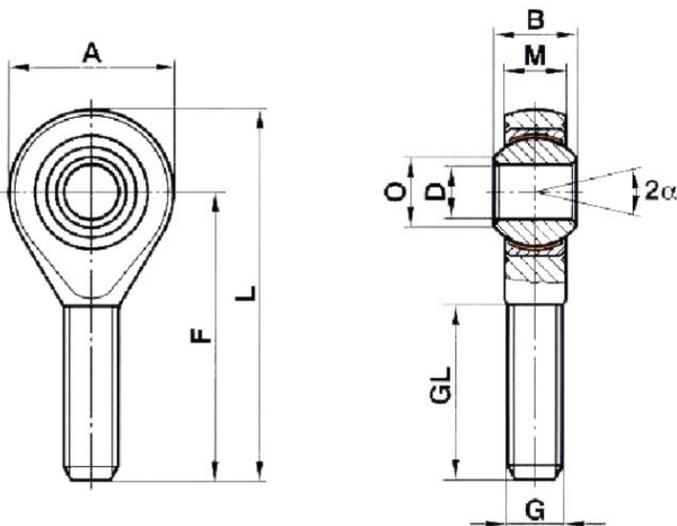
Figura 57. Rótula de dirección o "Rod End".

costosa para poder controlar de una manera precisa las oscilaciones.

Las rótulas de dirección (rod ends) también son utilizadas en la industria automotriz y son más fáciles de usar. La cámara de la articulación se fabrica con toda precisión para el ensamble sea perfecto. Además se encuentran disponibles en una gran variedad de tamaños, combinaciones de materiales, en variados diseños y modelos.

La decisión fue usar las rótulas de dirección para el cuadríciclo. Se eligieron partes de la marca FLURO-Gelenklager GmbH, fabricante de alta calidad de rodamientos y articulaciones. Debido a la condiciones en las que operara el cuadríciclo se decidió utilizar una rótula especial llamada "GARSW series" para áreas con grandes fuerzas de compresión y tensión. Como ventaja adicional de este modelo es que es anti-corrosivo lo que asegura un uso inofensivo en la naturaleza del cuadríciclo. El ya mencionado modelo en su tamaño "M6" acepta una fuerza estática radial de hasta 8.8 kN lo que equivale a casi 900 kg. Lo cual es suficiente para las áreas de aplicación del cuadríciclo. La rótula en este mismo tamaño ofrece un ángulo de desviación α de aproximadamente 13° de cada lado, lo que al final representa un ángulo total de 26°. En cuanto al ángulo estático de los brazos en contra de la línea horizontal (β , quod vide), un ángulo de aproximadamente 17° está disponible para la desviación al conducir sobre terreno irregular.

Figura 58. Diagrama de la rótula de dirección.



Teniendo en cuenta que el brazo más corto del eje delantero es de 235 mm, el resultado es un viaje vertical potencial de la rueda de $z_{wt} \approx \sin(17^\circ) \cdot 235 \text{ mm} = 69 \text{ mm}$. Esto asegura que el amortiguador limite la deformación máxima debido a su vaivén máximo de 65 mm y no las rótulas. Por lo tanto un colapso de las rótulas, por exceder el ángulo máximo de flexión, es imposible.

Tubos de fibra de carbono.

Con el fin de lograr un eje muy ligero y rígido, se tomó la decisión de usar tubos de carbono para la construcción del chasis. Al usar tubos de fibra de carbono se garantizaba la resistencia requerida y la rigidez, y a su vez había una ganancia en cuanto a ligereza.

Debido a sus características técnicas, los tubos de fibra de carbono tienen muchas aplicaciones tecnológicas en la industria y en la medicina.

- Hasta un 80% más ligero que el acero.
- Hasta 400% más duro que el aluminio
- Resistencia a la corrosión química y a la vibración.
- La temperatura hasta cerca de 110° C.

Los tubos de fibra de carbono utilizados fueron fabricados con diez capas unidireccionales, rematados con dos capas a 45° grados, con el objetivo de soportar cargas en diferentes casos y direcciones.

Figura 59. Brazos de suspensión de tubos de fibra de carbono.



Proceso de fabricación.

La técnica utilizada para la realización y construcción del chasis fue tomada de proyectos de vehículos para carreras de fórmula 1 realizados por estudiantes. Hay insertos para conectar mecánicamente las rótulas (rod ends) con los tubos de fibra de carbono.

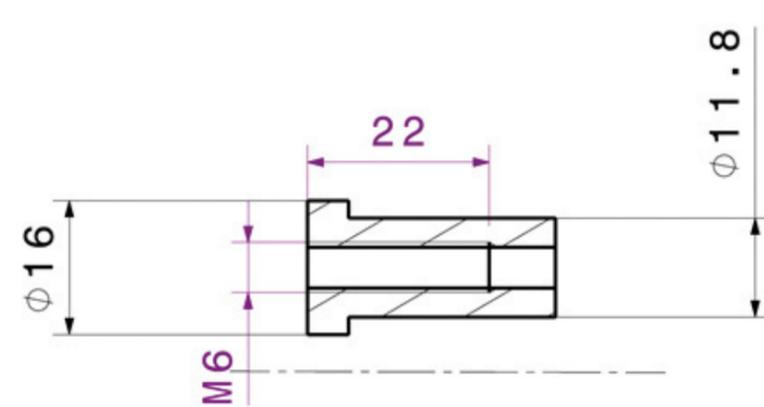


Figura 60. Insertos de aluminio.

Estos insertos fueron adheridos a los tubos mediante un proceso especial. De acuerdo con las instrucciones del fabricante del pegamento era importante lijar y limpiar las superficies de los tubos de carbono y de los insertos, donde el pegamento sería aplicado.

En los insertos, el área fue devastada por medio de un chorro de arena (sandblast), mientras que los tubos de carbono fueron desbastados con lijas (grano 160).

De acuerdo con las especificaciones técnicas, la resina epóxica cuenta con una resistencia a la tensión, a temperatura ambiente, de 30 MPa, (para pegar aluminio). Con la siguiente geometría: $F_{max} = 55,6 \text{ kN}$. 55,6 kN es un valor de fuerza excedido en un factor de 10 con el fin de simular el peor de los casos.

Figura 61. Materiales utilizados en la construcción de eje y suspensión.



Ajustabilidad.

El eje es altamente ajustable ya que fue construido con un sistema de cinco brazos, en tubos de fibra de carbono con insertos y rótulas. Además, cada brazo cuenta con cuerda derecha en un extremo, y con cuerda izquierda en su extremo opuesto, permitiendo así el ajuste de cada tubo y por lo tanto de todo el sistema con la simple acción de girar los tubos. Los

tubos cuentan con tuercas en sus extremos con el fin de evitar su desajuste por el uso del vehículo.

El sistema de eje puede ser ajustado en los siguientes aspectos:

- Recorrido de la suspensión (track).
- Angulo de inclinación (camber).
- La inclinación del eje de la dirección (caster).

Construcción en CAD.

La construcción virtual del sistema de chasis y suspensión fue necesaria para la visualización de un prototipo efectivo y funcional. Para ello fue utilizado el software ofrecido por Dassault Systemès®: CATIA V5®.

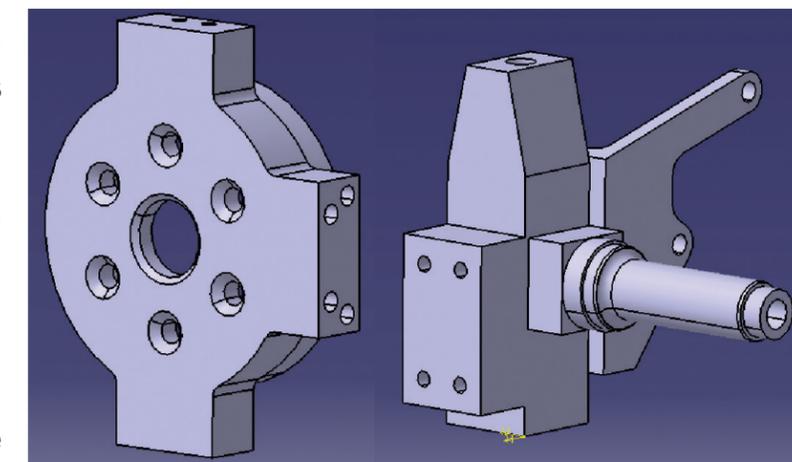
La primera pieza que juega un papel importante en el chasis de la suspensión, es denominada "tronco", y lleva a cabo el papel de conectar los brazos de la suspensión con las llantas, además de contrarrestar las fuerzas ejercidas por los brazos. La propuesta del modelo virtual de los denominados troncos, ofrece cualidades tales como:

- Facilidad de reemplazo de partes que se rompan.
- Variedad de configuraciones en el ajuste de los brazos

La posibilidad de ajustar los brazos de diferentes manera da paso a distintas conductas de la suspensión, y por lo tanto, de la experiencia de manejo del vehículo. Los troncos de la suspensión trasera difieren de aquellos de la suspensión delantera, sin embargo, ambos tipos de piezas son similares en la zona central en la que es posible montar adaptadores modulares.

Los troncos traseros están diseñados para restringir ciertos movimientos del chasis, ya que las llantas traseras integran motores. Los troncos delanteros deben permitir el montaje y funcionamiento correcto del sistema de frenos de disco. Se tuvo que

Figura 62. Tronco trasero (izq.) y tronco delantero (der.) en CAD.



tener especial cuidado durante la construcción virtual y real, ya que las distancias entre cada componente juegan un papel importante para el correcto funcionamiento del sistema.

Una pieza más fue la denominada “eje zurdo”. Ésta puede ser comparada con aquellas utilizadas en bicicletas de montaña con horquillas de un sólo brazo.

El vehículo Qx4, al no contar con horquilla que soporte a la llanta en sus dos lados, requiere de una pieza resistente que sustituya la función de una horquilla. En la *figura 62* se puede observar el tronco delantero con el “eje zurdo” y sujetador de sistema de frenos.

Sistema de frenos.

A pesar de que el sistema híbrido de asistencia eléctrica ofrece la posibilidad de desacelerar el vehículo, fue necesaria la implementación de un sistema de frenos alternativo en el eje delantero.

Además, el sistema de frenos fue especial, ya que, a diferencia de las bicicletas tradicionales, el vehículo cuenta con dos llantas delanteras.

El mercado ofrece sistemas que consisten en dos discos de frenos y soportes, un pistón hidráulico, y una sola palanca de freno. Se pudo haber usado una combinación de dos sistemas de frenos independientes, uno por llanta; sin embargo, el frenado no sería simétrico, causando desestabilidad en el vehículo. Por ello se eligió un sistema de frenos gemelo (en paralelo).

El sistema de frenos elegido fue el que ofrece la marca Magura®, su nombre es “Magura Big Twin”. Éste consiste en dos discos de 180 mm de diámetro que aseguran el frenado y la estabilidad del vehículo. Su montaje es similar a aquel de los sistemas de frenos de disco tradicionales.

Figura 63. Sistema de frenos.



Sistema de dirección.

Este sistema se diseñó bajo el sistema de Ackerman. Este sistema es útil para calcular la relación que existe entre las dos llantas delanteras del vehículo como se muestra en la ecuación 1.

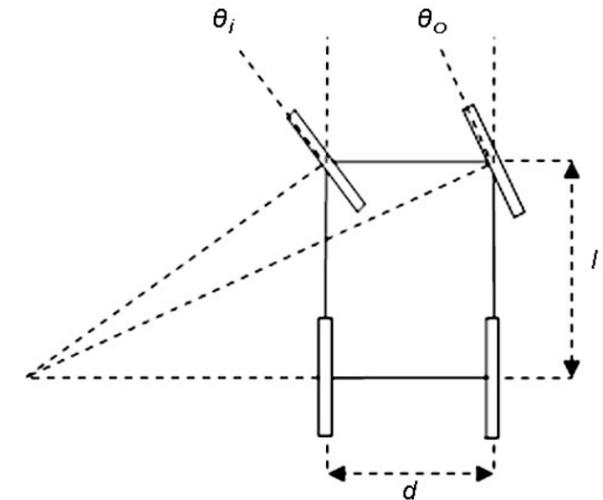
Figura 64. Diseño Ackerman.

$$1. \quad \cos \theta_o - \cos \theta_i = \frac{d}{l}$$

Donde:

θ_i = Ángulo de la llanta interior.

θ_o = Ángulo de la llanta exterior.



No obstante, esta relación no es suficiente para calcular la conducta del sistema de dirección en relación con la dirección real del vehículo. Para ello es necesario hacer una analogía, simulando un vehículo de 3 ruedas. En este tipo de vehículo, la dirección de la única llanta delantera es la dirección que adopta el vehículo.

Entonces, es posible calcular el ángulo que adoptaría cada llanta externa, en función de la llanta intermedia, como se muestra en la ecuación 2 y 3.

Figura 65. Analogía con un vehículo de tres ruedas.

$$2. \quad \cos \theta_o = \cos \theta_c + \frac{d}{2l}$$

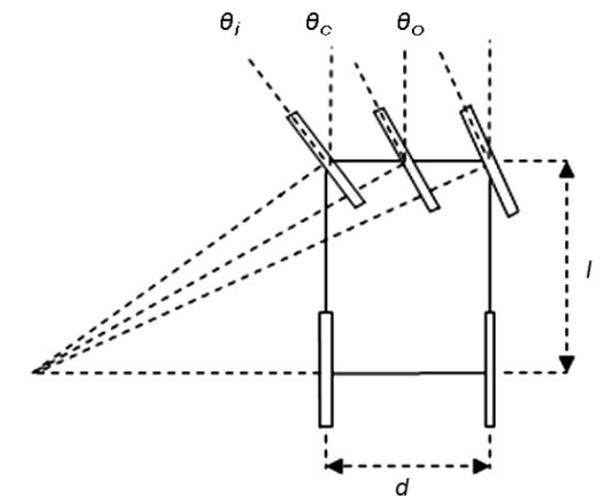
$$3. \quad \cos \theta_i = \cos \theta_c - \frac{d}{2l}$$

Dónde:

θ_i = Ángulo de la rueda interior.

θ_c = Ángulo de la rueda de dirección.

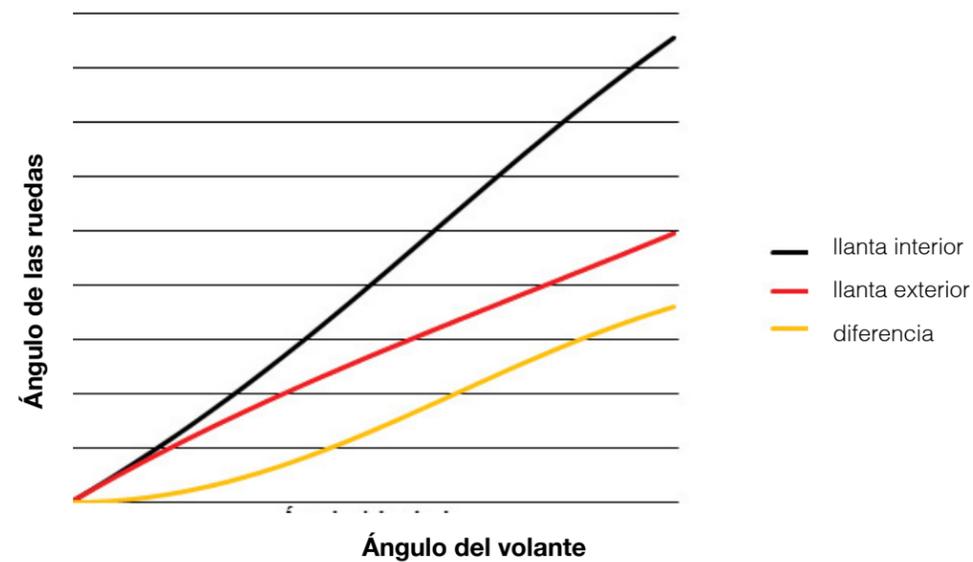
θ_o = Ángulo de la rueda exterior.



$l = 1200$ mm, $d = 930$ mm (datos reales del cuadríciclo).

Con estas dos ecuaciones, es posible conocer la conducta del sistema de dirección. Dicha conducta es expresada en la *gráfica*

Gráfica 8. Comportamiento de la dirección.



Por consiguiente, para poder comenzar con el diseño del sistema de dirección, fue necesario conocer las dimensiones del marco estructural del cuadríciclo, así como las dimensiones del sistema de suspensión. Tales datos se muestran en el *diagrama 11*.

Con lo anterior, fue posible proponer configuraciones distintas en las dimensiones de los brazos de la dirección para lograr la mejor propuesta del sistema de dirección. Dicho proceso fue desarrollado en 4 etapas:

1. Se dibujaron las configuraciones de los distintos componentes de la dirección para poder conocer las dimensiones de cada brazo. Un esquema general se muestra en el *diagrama 12*.
2. Una primera simulación dinámica fue realizada en el software de Mathematica 7.0 ®. El diagrama 13 muestra la configuración de los componentes de la dirección, realizadas en Mathematica 7.0 ®.

Diagrama 11. Vista superior del sistema de la dirección.

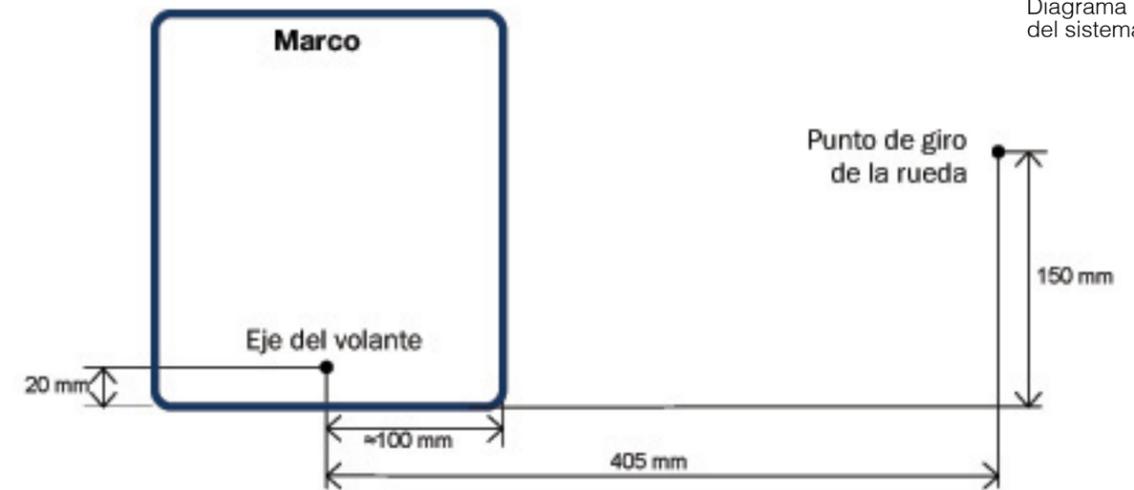
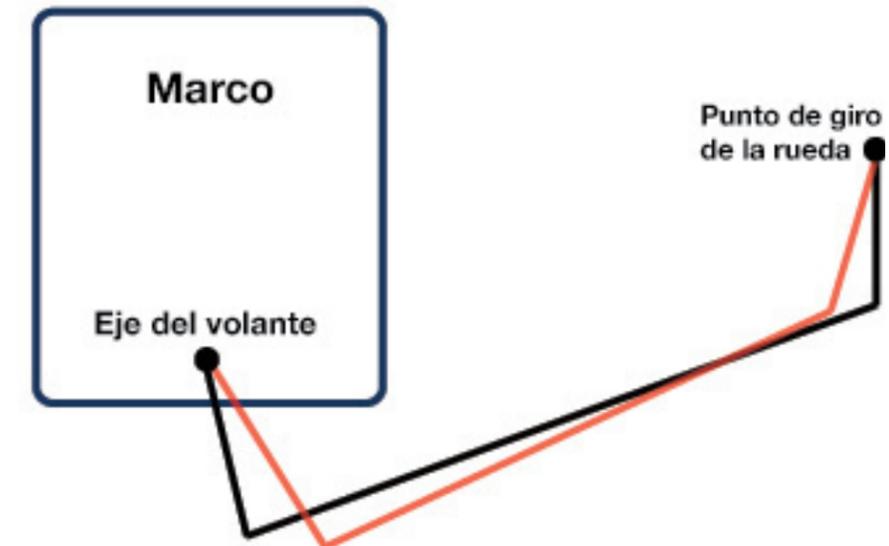


Diagrama 12. Configuración de dos palancas.



Las propuestas de las configuraciones más importantes y sus respectivas conductas son mostradas en la gráfica 9. Es importante mencionar que la altura del centro de gravedad en el cuadríciclo es alta, considerando las dimensiones y el peso promedio del conductor; por lo que es necesario tener especial cuidado en seleccionar la configuración de los sistemas de dirección y suspensión para que éstos reduzcan el riesgo de volcadura, en curvas pronunciadas. Por ello se eligió una configuración que

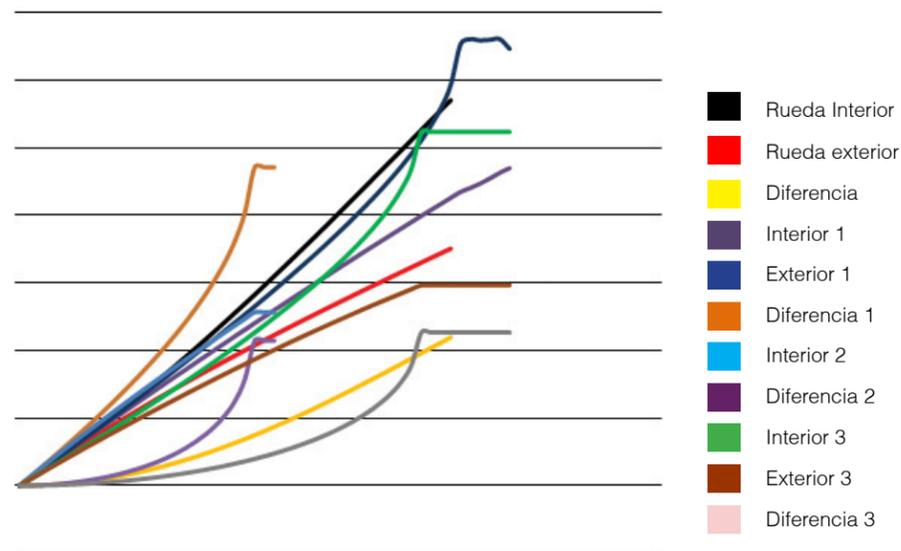
favoreciera un efecto de subviraje¹⁸, con el objetivo de brindar mayor seguridad al conductor en curvas pronunciadas, ya que en el subviraje, causado generalmente por un giro abrupto, las ruedas delanteras comienzan a patinar antes que las traseras, por lo que si se presiona ligeramente el freno, la transferencia de pesos del eje trasero al delantero ayudará a aumentar la fuerza de fricción en este eje para mejorar la situación.

Como se puede ver en la gráfica, el sistema elegido fue el correspondiente a los datos representados por las líneas café (para la llanta externa) y verde (para la llanta interna).

La configuración elegida para el cuadríciclo se muestra en el diagrama 13.

Las dimensiones del sistema de dirección elegido se muestran en el diagrama 14.

Gráfica 9. Selección de la mejor dirección.



¹⁸ El subviraje es un fenómeno que se produce durante la conducción de un vehículo que provoca que el giro real del mismo sea menor al que teóricamente debería inducir la posición de las ruedas delanteras.

Como se mencionó con anterioridad, el prototipo fue realizado en partes separadas. El ensamble del vehículo fue una tarea compleja; ésta fue la etapa en la que las partes diseñadas y construidas

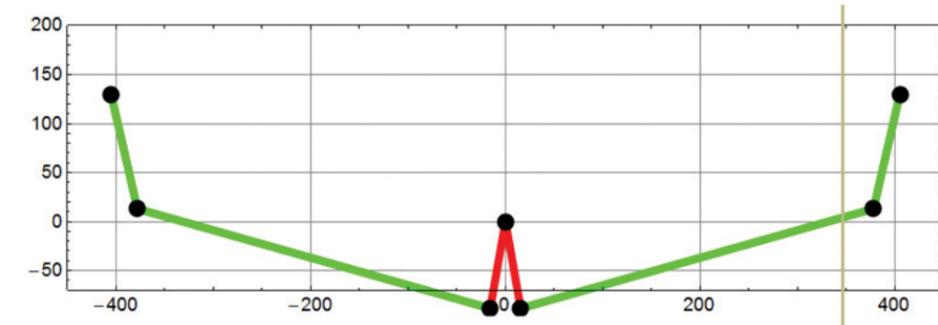


Diagrama 13. Sistema de dirección elegido.

formaron parte de un todo.

Algunos de los puntos en los que se presentaron dificultades durante

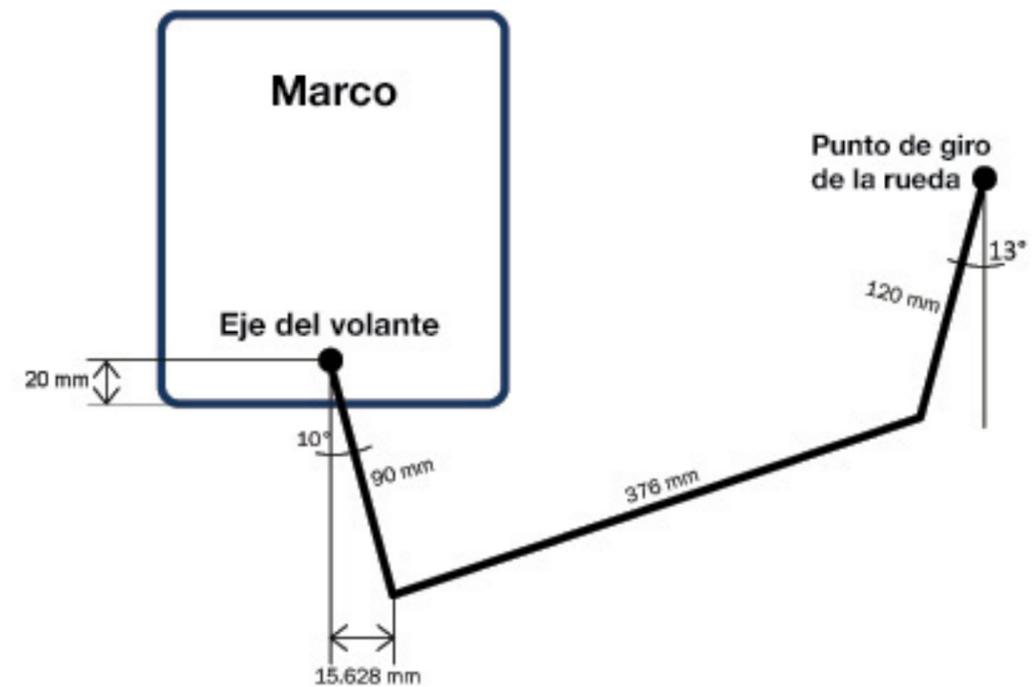


Diagrama 14. Dimensiones del sistema elegido.

el ensamble fueron los siguientes:

Atornillar los extremos de los brazos de fibra de carbono, ajustar cada uno de los brazos a los “truncos de los ejes” y al marco, con

Ensamble del prototipo.

la ayuda de soportes para asegurar su correcta posición.

Montar los frenos en los rines de las llantas de manera que quedara totalmente centrado y correctamente espaciado del “eje zurdo”.

Coordinar distancias y tolerancias entre el eje, el brazo de dirección y el tronco del eje en las llantas delanteras.

Montar las llantas traseras (con los motores integrados previamente) y ensamblarlas sobre el “tronco” trasero y atornillar para ajustar.

Colocar los controladores y baterías en la caja delantera. Organizar controladores en el manubrio y coordinar cables.

Algunas correcciones fueron trabajadas sobre cada una de las partes del prototipo durante la primera semana de estancia del equipo mexicano en Alemania.

Surgieron complicaciones en tiempo, ya que el marco aún necesitaba ser mejorado en su superficie y ajustes importantes en los puntos de contacto con la dirección fueron acordados de último momento.

Desafortunadamente el marco de fibra de carbono no contó con las características necesarias en sus puntos de apoyo con la suspensión y ya contaba con un peso excesivo y aún más si se tomaba en consideración que los motores y las baterías no habían sido agregadas.

Con todo ello en consideración, y con el objetivo de asegurar un prototipo funcional, al final del proyecto se decidió utilizar un marco estructural de aluminio, planeado para ensambles previos en prototipos de función crítica.

Dicho marco fue construido con tubos

de aluminio de calibre de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1 in., y expresaba los mismos elementos estructurales que el marco original de Fibra de carbono; con lo cual se probó la eficiencia del diseño estructural, a pesar de contar con secciones más delgadas.

Con ello, fue posible la adecuación de todos los mecanismos sobre el cuadro estructural de una manera precisa y sin mayor complicación.

El marco de fibra de carbono, sin embargo, fue mostrado en la presentación y exhibición de resultados a manera de propuesta estética.

Figura 67. Prototipo funcional ensamblado.



Figura 66. Últimos días de trabajo en el ensamble del prototipo.



Presentación Final 6 de mayo 2010.

El ensamble total del vehículo se logró unas horas antes de la presentación.

Después de varios incidentes y contratiempos se logró el armado de un vehículo funcional con un sistema de suspensión efectivo y capaz de ser impulsado con asistencia eléctrica con facilidad gracias a la ligereza del marco estructural.

Habiendo cumplido ocho meses de trabajo arduo, y en su mayoría, a distancia; el día de la presentación final llegó.

El reto principal se logró, se construyó un prototipo funcional, a pesar de los diferentes contratiempos que se presentaron a lo largo del proyecto.

La oportunidad de presentar ante importantes ejecutivos de empresas como Daimler- Mercedes y Audi, así como a directivos y profesores del departamento automotriz FTM- TUM y profesores anfitriones de la UNAM, se llevó a cabo el día 6 de mayo de 2010. El evento tuvo lugar en el taller del departamento de FTM-TUM.

El Profesor director del Departamento de FTM, Bernd Heiβing inauguró el evento dirigiendo algunas palabras al público presente, seguido de un discurso breve por parte del director de los Proyectos

Global Drive y director patrocinador del proyecto Qx4 presentado en este documento, el Dr. Ing. Frank Diermeyer. Acto seguido, cada uno de los equipos participantes en Global Drive 2010 realizó la presentación de su proyecto¹⁹, apoyándose de material audiovisual (videos, imágenes, animaciones, etc.), mostrando el producto final a manera de prototipos parciales o totalmente funcionales.

Una vez presentados todos los proyectos, se realizó un convivio en el que se ofrecieron diferentes platillos y cerveza de origen Alemán, y se tuvo la oportunidad de compartir experiencias y anécdotas con los invitados.

El público presente tuvo la oportunidad de visitar los espacios de exhibición de cada proyecto, en los que se colocó el material de apoyo (posters, modelos a escala, prototipos, videos, etc.) con el fin de brindar explicaciones detalladas, responder inquietudes y en general recibir comentarios acerca de cada uno de los diferentes proyectos expuestos.

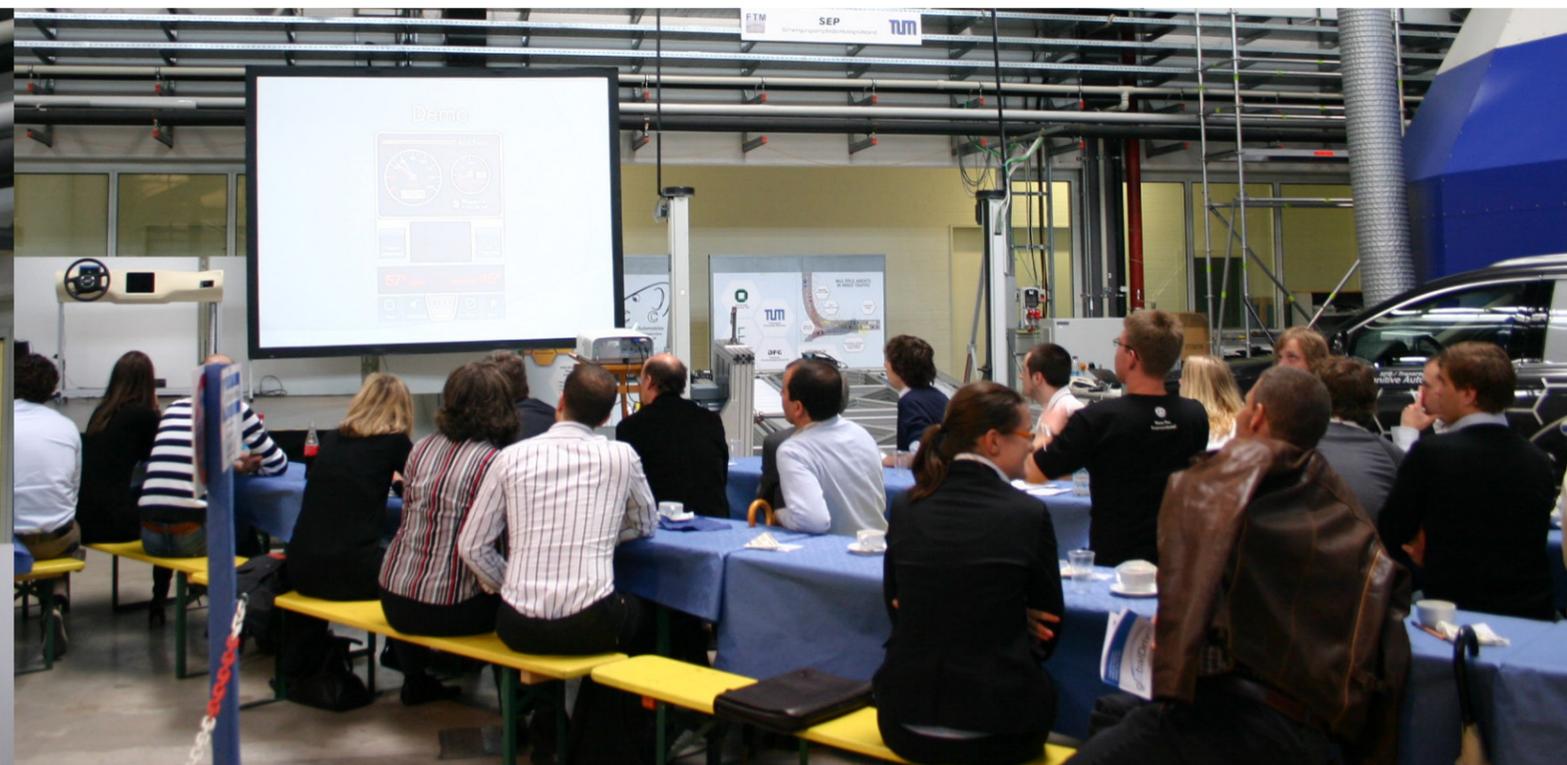
Algunas imágenes de la exposición del Qx4 pueden ser observadas a continuación.

¹⁹ Tonji University, China- TUM, Germany: Trends for Premium cars in China from a young generation's view.

Standford University, USA- TUM Germany: Life with an electric vehicle in 2020.
UNAM, Mexico- TUM, Germany: Ultra-light vehicle with electric traction.

Figura 69. Instalaciones de FTM, en TUM el día de la presentación.

Figura 68. Día de la presentación, 6 de mayo de 2010.



Reflexiones, conclusiones
y aprendizaje.

7

Reflexiones y aprendizaje.

Experiencias, trabajo en equipo, procesos empleados.etc.

Después de haber

cumplido con la compleja tarea de desarrollar un vehículo ultraligero de tracción humana con asistencia eléctrica durante un periodo de ocho meses de trabajo a distancia, se pudo reflexionar acerca de la realización del proyecto.

El presente y último capítulo tiene como finalidad comparar los objetivos generales iniciales con los resultados obtenidos al término del proyecto.

Además, se plantean los puntos que no se pudieron desarrollar de una manera óptima, así como aquellos aspectos de los que no se tenía absoluta consciencia hasta antes de construir el prototipo; o bien, factores interculturales y determinadas circunstancias y obstáculos; todo ello con el fin de reflexionar y aprender de los errores cometidos.

En primera instancia, se analiza si se lograron los objetivos planteados en un principio.

Es posible afirmar que el objetivo principal del proyecto el cual consistió en fortalecer

Figura 70. Días de trabajo en TUM.



la relación entre la Technische Universität München (TUM) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se cumplió satisfactoriamente gracias a la integración del equipo que comenzó a lograrse desde el momento en el que la parte alemana del equipo realizó su visita a México. El equipo en sus dos partes mostró gran apertura y disposición para convivir y realizar actividades recreativas. Además, se planeó una actividad denominada “Mouse trap car”, que consistió en la construcción de un carro impulsado por la fuerza de una ratonera para realizar competencias de velocidad y distancia. Con ello, la convivencia entre los integrantes del equipo alemán y mexicano se vio favorecida desde un principio, dejando a un lado los paradigmas interculturales y construyendo incluso la amistad en el equipo.

En cuanto al segundo objetivo del proyecto, efectivamente se logró un trabajo basado en metodologías que conjuntaron la disciplina del diseño y la ingeniería en un marco de trabajo a distancia a pesar de la diferencia de idioma, confusiones, y malos entendidos por la diferencias culturales. Cabe mencionar que siete de los ocho meses de trabajo fueron a distancia, situación que hizo aún más difícil el intercambio de información, y la correcta retroalimentación entre

ambas partes del equipo. Además, la diferencia de horarios entre México y Alemania, fue otro punto que implicó un reto; teniendo en cuenta que los horarios de trabajo efectivo estaban desfasados y en muchas ocasiones se necesitaba discutir puntos críticos que surgían durante las horas de trabajo en uno u otro país y el equipo debía esperar al día siguiente o bien coordinar citas para poder discutir y llegar a acuerdos. Cada integrante debía ser muy cuidadoso en saber expresar y comunicar información clave para el avance del proyecto a distancia. En varias ocasiones se crearon malentendidos al no saber comunicar con claridad aquellos puntos importantes para lograr avances efectivos. Un malentendido importante, quizá el más significativo, fue el generado por la falta de comunicación y organización en la distribución de los recursos económicos dando lugar a retrasos en la construcción del prototipo del marco estructural en México.

El desarrollo de un producto funcional y además la construcción de un prototipo de escala real, fueron quizá los objetivos que implicaron un reto mayor ya que se tuvo que lidiar con datos técnicos reales que tendrían un impacto determinante en el correcto funcionamiento del prototipo en caso de no estar claros o ser modificados por alguna

Figura 71. Sesiones de discusión de ideas. TUM @ UNAM.



Figura 72. Lluvia de ideas. TUM @ UNAM.



razón. Sin embargo, a pesar de retrasos en tiempo, malentendidos importantes y errores por falta de experiencia en la construcción de un cuadríciclo, se logró el ensamble final de un prototipo funcional para ser presentado en TUM ante los profesores y directivos de las empresas de Audi y Daimler- Mercedes, 3 horas antes de la presentación final.

Es importante mencionar que a pesar de haberse planteado como un proyecto prospectivo, el desarrollo del vehículo y su diseño, siempre estuvieron limitados por la producción de un prototipo estrictamente funcional que sería llevada a cabo por los integrantes del equipo.

En este aspecto, fue notoria la diferencia en la manera de trabajar de la parte mexicana y la alemana; ambas partes durante el periodo de arranque y conceptualización se encontraban motivados por encontrar soluciones innovadoras en forma y función, sin embargo, las limitaciones técnicas por parte del equipo alemán, y en general por parte de la parte de ingeniería, salieron a la luz pronto y el concepto inicial tuvo que ser ampliamente modificado, con el propósito de lograr la funcionalidad de la propuesta evitando cualquier factor que implicara un riesgo en ello.

Debido a esto existieron ciertos desacuerdos, e incluso desmotivación por parte del equipo mexicano en ciertas etapas del proyecto: sin embargo siempre se llegó a acuerdos, tratando de solucionar y comunicar opiniones, para lograr los objetivos prioritarios.

A pesar de todos los obstáculos que en algún momento se presentaron, el equipo concluyó el proyecto con una sensación satisfactoria después de las dos semanas de trabajo arduo, logrando presentar un prototipo funcional con un periodo de tiempo tan limitado para el tipo de producto que representaba.

Reflexiones sobre errores técnicos y pasos al futuro.

Es necesario resaltar que el periodo de tiempo para cubrir el desarrollo de un vehículo ultraligero de asistencia eléctrica fue escaso, si consideramos la innovación demandada y la falta de soluciones existentes. Por consiguiente no fue posible plasmar cada detalle en el prototipo funcional.

A continuación se presentan los puntos que por falta de tiempo presentaron ciertas deficiencias y de acuerdo a ello se plantean propuestas factibles de ser implementadas en un futuro con el fin de mejorar el proyecto.

Algunos ajustes en el software, relativos al sistema de asistencia eléctrica no lograron ser desarrollados por su complejidad y la falta de pruebas de manejo previas.

En una etapa avanzada del proyecto, se reconoció que el microcontrolador no sería capaz de desempeñar todas sus funciones en buena calidad. Por ello, el sistema híbrido debe ser desarrollado en un futuro, utilizando un controlador de mayor potencia, susceptible de ser ajustado con los códigos necesarios para cada prueba de manejo. Algunos otros componentes físicos, como sensores de

Figura 73. Imagen del equipo en TUM, el 6 de mayo de 2010.



corriente y voltaje y un sensor de ángulo de dirección deben ser implementados. Los sensores de corriente y voltaje son necesarios para mejorar el funcionamiento de los modos de manejo, y el sensor de ángulo en la dirección sería instalado para implementar el torque y mejorar la dinámica de manejo, sobre todo en curvas.

Para mejorar la estética, enfatizar la idea de un sistema híbrido y una mejor integración del diseño, se debió diseñar un generador eléctrico de rotor interno a la medida. Además, se recomienda el uso de controladores más avanzados para hacer posible la reposición de energía, así como el manejo del vehículo en reversa, para maniobrar fácilmente.

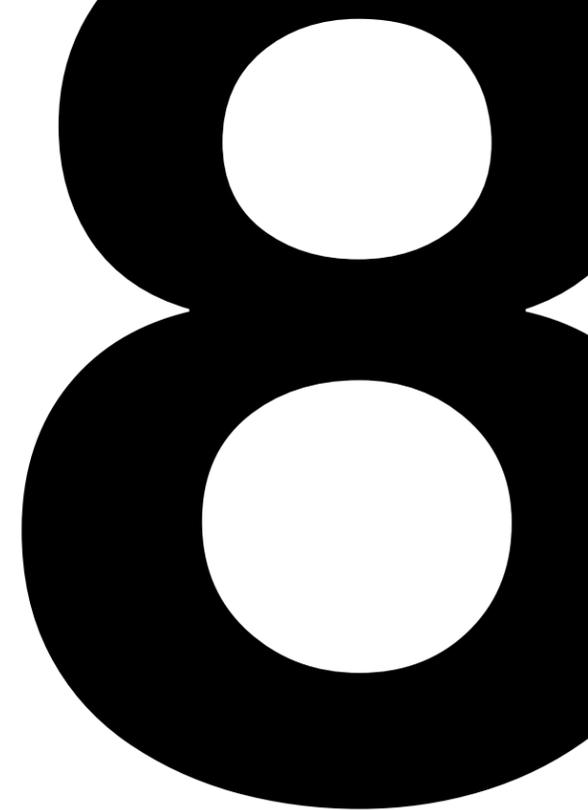
En un futuro, la HMI²⁰ debe ser rediseñada no sólo para facilitar el cambio en los modos de manejo, sino también para brindar información acerca del nivel de entrenamiento y el estado del sistema. Por otra parte, un sistema GPS basado en la trayectoria de las llantas y cadencia podría incluso ser implementado.

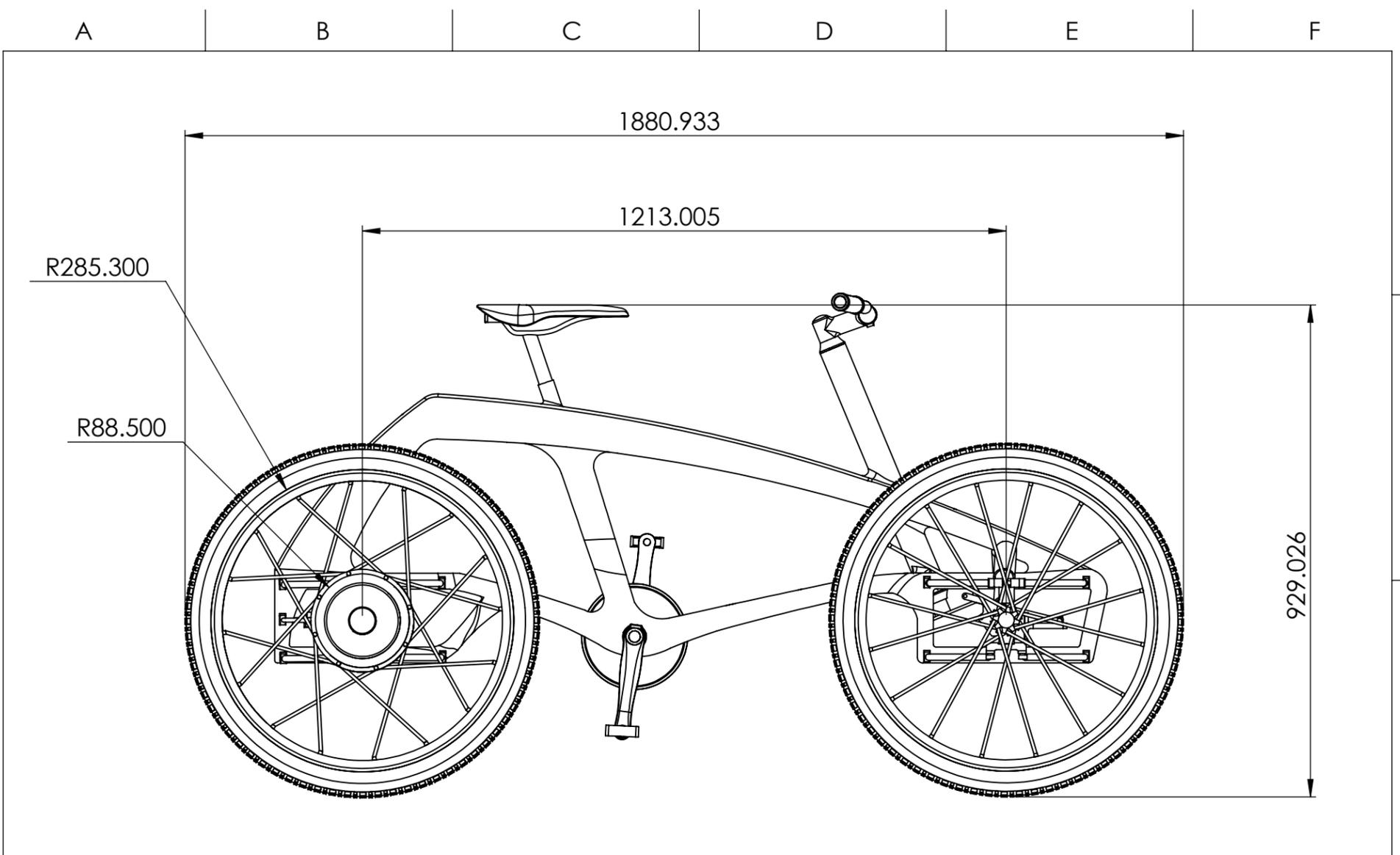
Para resumir, es necesario recalcar que el sistema híbrido requiere seguir siendo desarrollado en un futuro. Sin embargo con la construcción del prototipo funcional se demostró que es posible construir un sistema híbrido en serie para el impulso de un cuatriciclo. Al mismo tiempo, las pruebas de manejo permitieron experimentar una nueva forma de manejo en vehículos del tipo, siendo éste uno de los principales objetivos del proyecto.

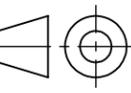
Aunado al producto final del proyecto, la experiencia ganada gracias al trabajo interdisciplinario e intercultural en el que se intercambiaron maneras de pensar y formas de ver el mundo fue muy enriquecedora ya que nos permitió formarnos un panorama mucho más amplio que nos ha abierto la mente y nos ha hecho más tolerantes hacia nuevos y diferentes puntos de vista. Al mismo tiempo, mejoramos nuestras habilidades para trabajar en equipo, a pesar de las diferencias culturales, de idioma y de idiosincrasia; y ha sido todavía más grato el hecho de haber creado grandes lazos de amistad que durarán por años.

²⁰ HMI ("Human Machine Interface" o Interfaz de usuario).

Planos técnicos.





Miguel Tentori Yunuén Hernandez	CIDI-UNAM	Fecha: 15/03/11	Escala: 1:10
quad		Carta	
Vista Lateral.		Cotas mm	1 / 5

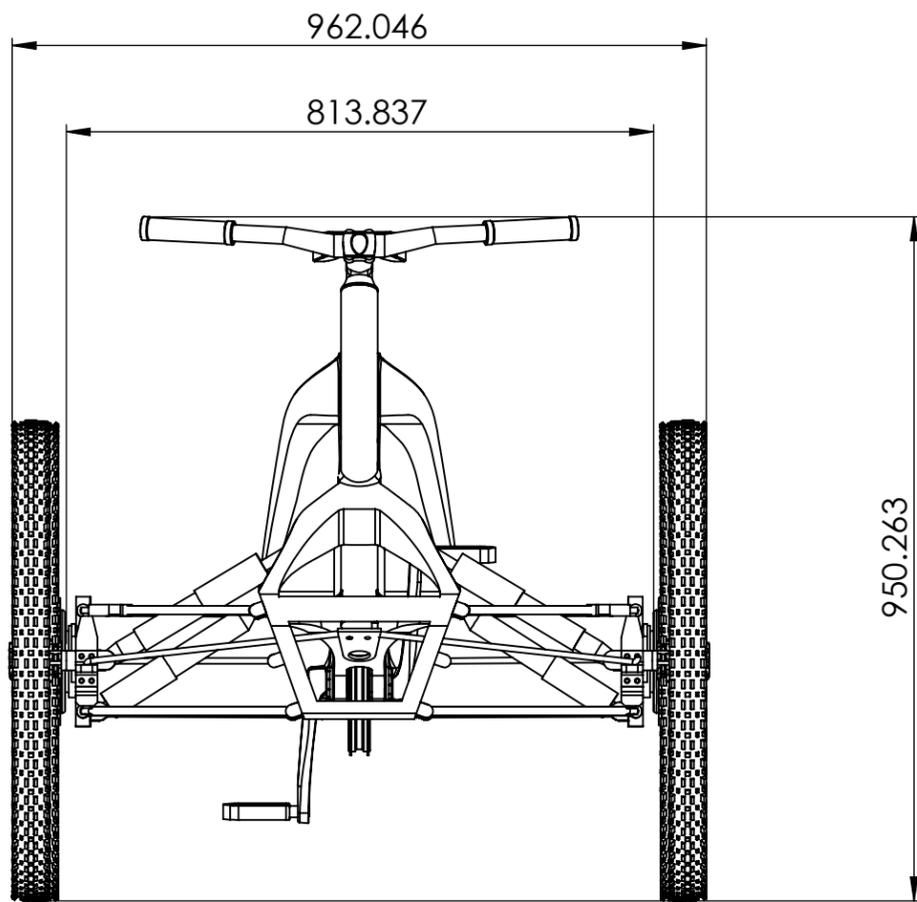
1

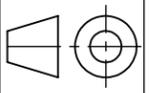
2

3

4

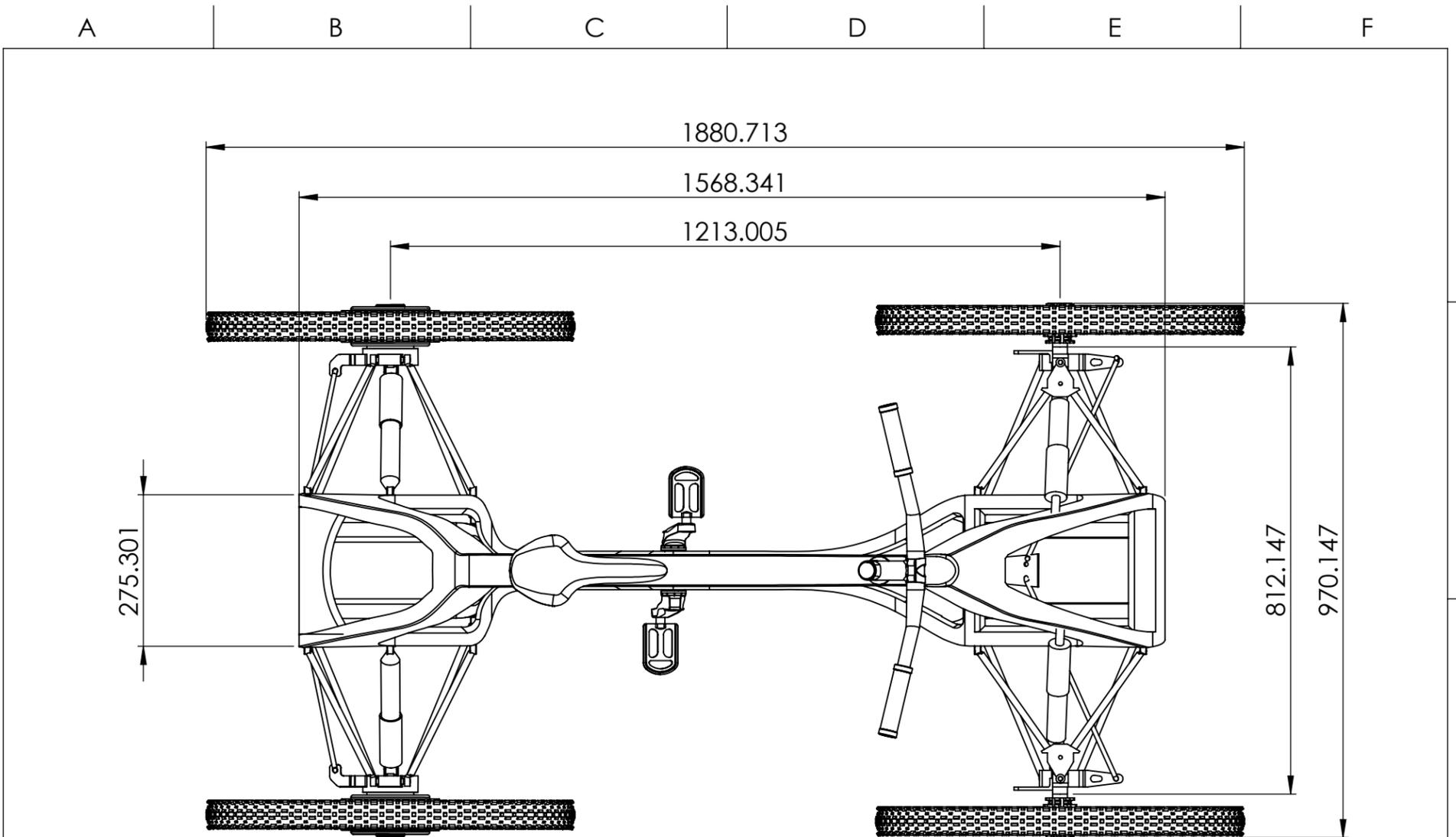
A | B | C | D | E | F



Miguel Tentori Yunuén Hernandez	CIDI-UNAM	Fecha: 15/03/11	Escala: 1:10
quad		Carta	
Vista Frontal.		Cotas mm	2 / 5

1
2
3

4



Miguel Tentori
Yunuén Hernandez

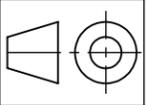
CIDI-UNAM

Fecha:
15/03/11

Escala:
1:10

quad

Carta

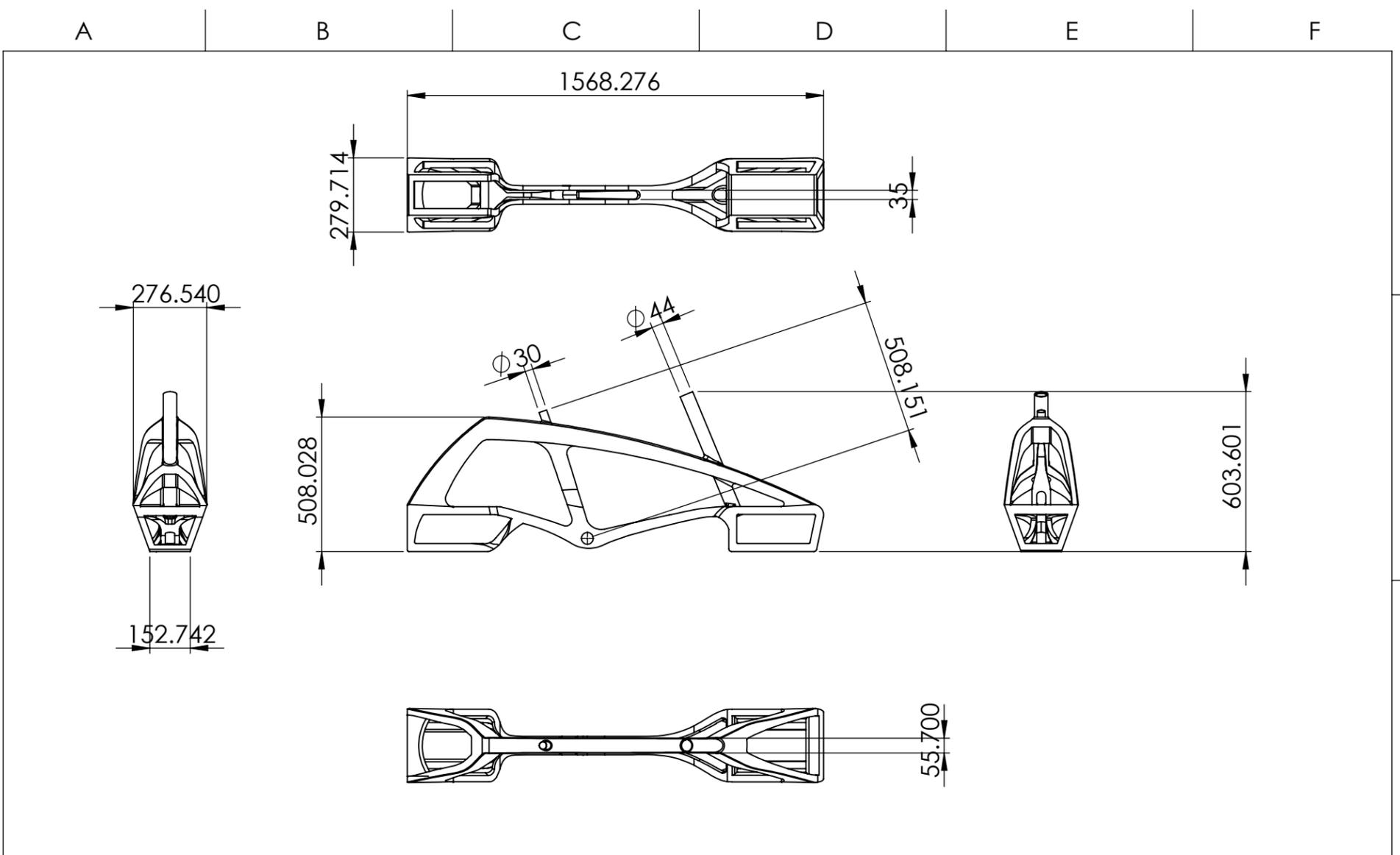


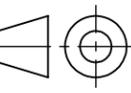
Vista Superior.

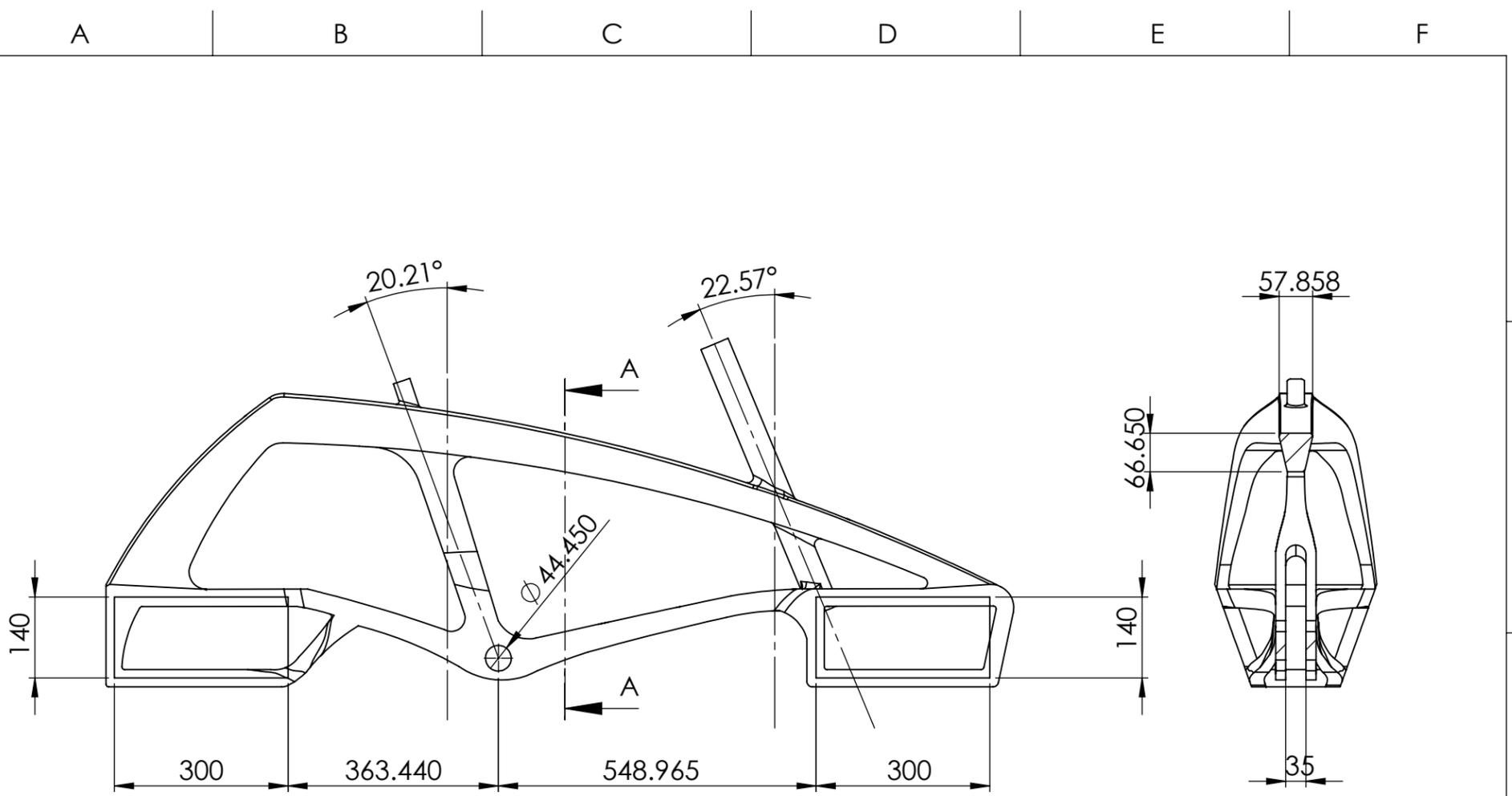
Cotas
mm

3 / 5

1
2
3
4



Miguel Tentori Yunuén Hernandez	CIDI-UNAM	Fecha: 15/03/11	Escala: 1:20
frame		Carta	
Vistas Generales.		Cotas mm	4 / 5



SECTION A-A

Miguel Tentori Yunuén Hernandez	CIDI-UNAM	Fecha: 15/03/11	Escala: 1:10
frame		Carta	
Detalles Técnicos.		Cotas mm	5 / 5

Bibliografía



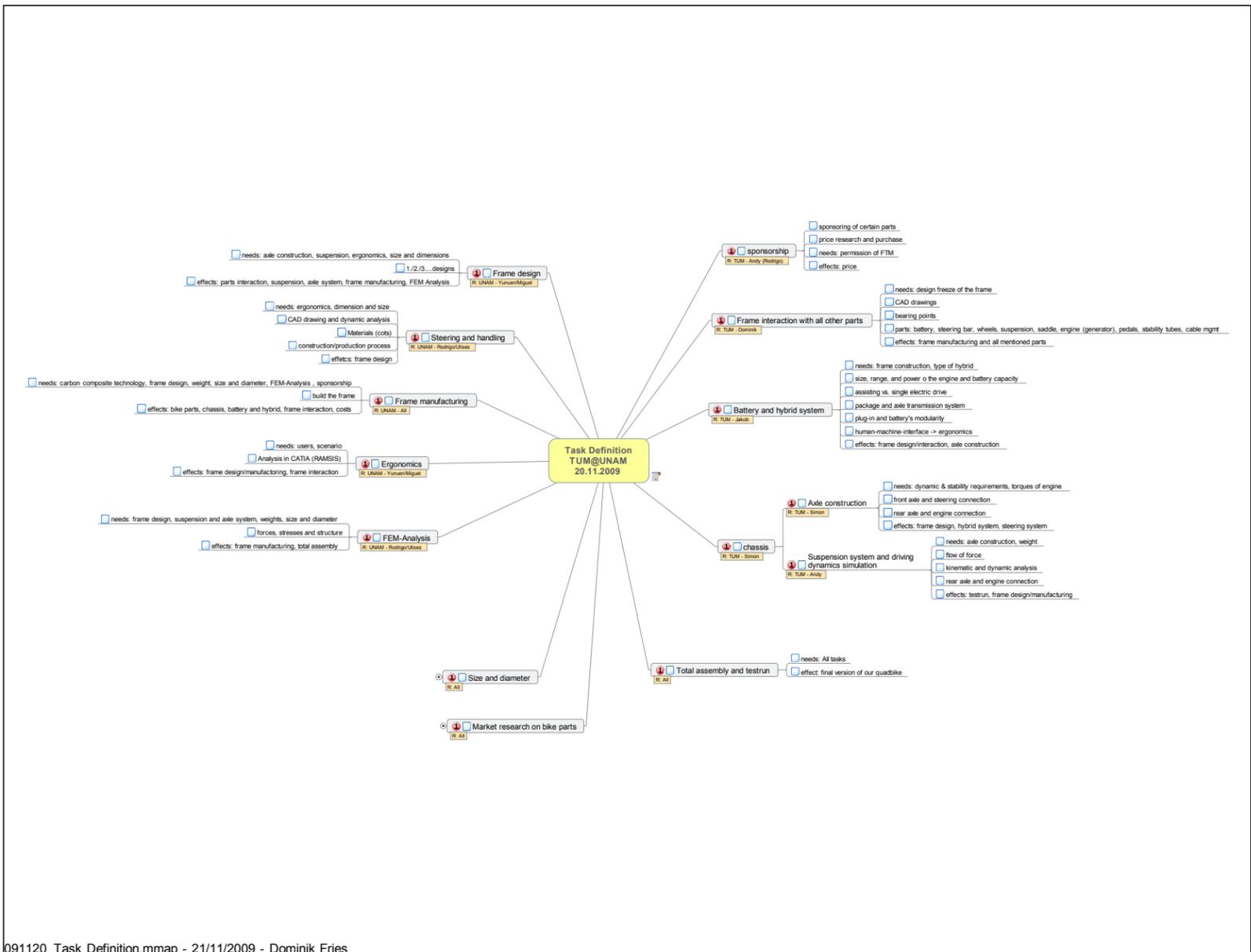
9

Referencias bibliográficas.

- [1] http://www.biolaster.com/ciclismo/posicion_ciclista_bicicleta/posicion_ciclista_potencia
- [2] <http://mecnica-rotera.blogspot.com/2009/02/geometrias-en-mtb-y-modalidades.html>
- [3] <http://www.scribd.com/doc/9775703/Bicimontana-Tips-Para-Tamano-de-Bicicleta>
- [4] http://www.ehow.com/video_2360955_basic-tips-steep-terrain-downhill.html
- [5] <http://www.efdeportes.com/efd108/analisis-de-las-lesiones-mas-frecuentes-en-mountain-bike-mtb.htm>
- [6] BROWN, Tim, *How to deliver on a great plan, Design Thinking - Harvard Business Review*, IDEO, Harvard University, Cambridge - Massachusetts, USA, June 2008.
- [7] Mc GrawHill Company, *The power of design*, Business Week, USA, May17, 2004
- [8] Horst Geschka, Martina Schwarz-Geschka, *Einführung in die Szenariotechnik*, Geschka & Partner Unternehmensberatung, Darmstadt, 1990
- [9] Enno Wolf, Christopher Zerres, Michael Zerres, *Szenario-Technik*, Studentensupport, Hamburg, 2004
- [10] SOTOMAYOR ILERA, Raúl, DÍAZ GUTIERREZ, Citlali, *Movilidad en la ciudad del Futuro 2030*, Universidad Nacional Autónoma de México-Technische Universität München, Mayo 2009

Anexos.

10



Team members






Dominik Fries - 25
TUM-Industrial Management & Engineering



Miguel Tentori - 22
UNAM- Industrial design



Simon Schmeier - 21
TUM- Mechanical Engineering



Yunuen Hernandez - 23
UNAM- Industrial design



Andreas Wenzels - 23
TUM- Mechanical Engineering



Ulises Gonzalez - 21
UNAM- Upgrade Mechanical design



Jakob Mathis - 23
TUM- Mechanical Engineering



Rodrigo Espindola - 22
UNAM- Mechanical Engineering






Project Evolution



CONCEPT PHASE

Research

A general research in state of the art was necessary to give an ample panorama of the circumstances in Mexico and Germany to find problems and ideas on market opportunities.



Survey making and evaluation

The second phase of the process was the survey organization and realization to get some real data of people's thoughts and needs in Mexico City.



Scenarios

Developing scenarios was helpful in identifying important aspects on how the user interacts with the product in the real world that were probably of identified and considered otherwise.



Different scenarios in Germany and Mexico were raised to get a precise image of how the target user will act or look like. Strong scenarios were chosen to start the concept finding process.

Concept finding

Brainstorming took place to collect as many ideas as possible for a fruitful concerted discussion. All relevant ideas were discussed and summarized into main concepts to choose from.




REALIZATION PHASE

Once the concept was developed and discussed, evaluations and corrections must be reached and discussed to have a feasible real product.



A research of parameters in dimensions and mechanisms is needed to start developing a feasible innovative design. General approach about function and production requirements, and ergonomics research had to be done. A task distribution was accomplished so that every member could focus on a special assignment.



Frame and steering system were done in Mexico, and Hybrid and suspension systems were built in Germany. All the parts were assembled in Germany during the final phase of the project.





Qx4 advantages

Avoids Soaring oil prices

Fast transportation

Great drive experience

No Air pollution

Stability

Innovative hybrid and suspension systems

Noise pollution comes down

Cycling is health

Relaxing / extreme driving

Hybrid system

The Qx4 concept is equipped with a serial hybrid to gain certain features which are unique in the world of bikes. More precisely these features are a special fitness mode that combine the training advantages of a stationary bike and the driving experience of a quabike.

Home Mode

The Home Mode is similar to the Fitness Mode but without activating the engines. In this mode you can use all the features of the Qx4 as a stationary bike.

The biker's force is mechanically transmitted to the generator via the pedals.

The generator charges a battery which supplies the power for two in-wheel engines. In case of generating less power than necessary, the battery can easily be recharged at home. .

Fitness Mode

If Fitness Mode is selected the generated amount of power is constant once it is chosen. Because of the serial hybrid the generated power is independent from the terrain. Thus it is possible to simulate hills or to „flatten“ them virtually. With selecting this mode you can do your fitness exercises outdoors.

Gear Mode

The Gear Mode is implemented to offer the bike-a-like feeling of an usual drive train. Virtual gears can be chosen and even a continuously variable transmission is imaginable. Different amounts electrical support can be chosen as well.

Axle and suspension system



A five-link-axle-system offers a big range of possible adjustability. Thanks to its variety of displaceable parameters the whole chassis can be adapted to different operating conditions properly.

Due to using both, a right-hand-thread and a left-hand thread per carbon link, each lever can autonomous be varied in its length, offering the mentioned great adjustability of the whole axle system.

The bearing points are based on ultra resistant rod ends from motor sports. Offering a wide turning range and a stiff head the mounting orientation can be adapted to different working conditions.



The shock absorbers with the length of 320 and 340 mm are special bike parts which enable a wide range of spring stiffness based on air-springing. The pressure in the air chamber can be increased up to 2 MPa (20 bars) by filling the chamber via the valve. This feature additionally supports the adjustability of the innovative axle system.

The ultra light system offers resistant and light-weight carbon fibre links with special structure. Built up by ten unidirectional and two 45 degree top layers the links can carry a high amount of forces.

