



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MONOCICLO PARA MOVILIDAD URBANA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO

PRESENTA

LUIS RODRÍGUEZ SALAZAR

DIRECTOR DE TESIS

DR. ING. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMÍREZ
REIVICH



México D.F., 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México



Technische Universität München



AO

Tesis
MONOCICLO PARA MOVILIDAD URBANA
Por Luis Rodríguez Salazar

Audi
A la vanguardia de la técnica



Aclaración

El desarrollo del proyecto descrito en la presente tesis, fue posible gracias a la colaboración de varias personas pertenecientes a diferentes instituciones, las cuales se mencionan a continuación.

Asesores:

- **Dr. Ing. Vicente Borja Ramírez**, Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, UNAM
- **M.D.I. Luis Equihua Zamora**, Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, UNAM
- **Arq. Arturo Treviño Arizmendi**, Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, UNAM
- **Dr. Ing. Frank Diermeyer**, Instituto de Tecnología Automotriz, TUM
- **Dipl. Ing. Richard Eckl**, Instituto de Tecnología Automotriz, TUM
- **Diseñador Klemens Rosznagel**, Departamento de Investigación en Diseño, AUDI

Instituciones Participantes:

- **Centro de Investigaciones en Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura**, UNAM
- **Instituto de Tecnología Automotriz de la Universidad Tecnológica de Múnich**, Alemania

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que siempre he recibido, principalmente agradezco a mis padres, quienes me proporcionaron las herramientas, el tiempo y el espacio para lograr todas mis metas, transmitiéndome los valores que me definen el día de hoy a través de su ejemplo.

Agradezco a mi hermana por su cariño y su incomparable ejemplo de fortaleza.

Agradezco a quien me dio su amor incondicional en los momentos más difíciles y en los más felices.

También agradezco a mis maestros, los cuales me compartieron sus conocimientos y experiencias, contagiándome su pasión por la ingeniería, el diseño, la innovación y el desarrollo de México.

Finalmente, agradezco a mis amigos y compañeros, con los que compartí clases, tareas, exámenes y proyectos, pero sobre todo, momentos inolvidables que me acompañarán durante toda la vida.

Mi formación no hubiera sido la misma sin la participación de cada uno de ustedes.

Gracias a todos.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 EL EQUIPO	3
2 ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 ENFOQUE	7
2.2 TIPOS DE MONOCICLOS EN EL MERCADO	7
2.3 DEFINICIÓN DE DE LAS OPORTUNIDADES DE MERCADO	12
3 TRABAJO EN MÉXICO.....	13
3.1 PLAN DE TRABAJO	13
3.2 ENCUESTA	14
3.2.1 Observación de usuarios	14
3.2.2 Diseño de la encuesta	14
3.2.3 Aplicación de la encuesta.....	14
3.2.4 Procesamiento de os resultaos.....	15
3.2.5 Conclusiones.....	17
3.3 ESCENARIOS Y USUARIOS	18
3.3.1 Creación de los escenarios y descripción de los personajes.....	18
3.3.2 Selección de Personajes y Escenarios.....	22
3.4 PRIMEROS CONCEPTOS	23
3.5 PRESELECCIÓN DEL CONCEPTO	23
3.6 ASIGNACIÓN DE TAREAS	24
3.7 LISTA DE REQUERIMIENTOS	25
3.8 RETROALIMENTACIÓN DE AUDI	25
3.9 DIRECTRICES DE DISEÑO	26
3.10 SELECCIÓN DEL NOMBRE	26
4 TRABAJO EN AMBOS PAÍSES.....	27
4.1 TRABAJO DE LOS DISEÑADORES	27
4.1.1 Análisis de la Identidad de Audi.....	27
4.1.2 Simulador Ergonómico.....	32
4.1.3 Definición de la Posición.....	32
4.1.4 Propuestas	32
4.1.5 Concepto final	33
4.1.6 Producción	33
4.2 TRABAJO DE LOS INGENIEROS.....	40
4.2.1 Prototipo de función crítica.....	40
4.2.2 Componentes eléctricos y electrónicos	41
4.2.3 Construcción y optimización de las partes en CATIA V5.....	48
4.2.4 Chasis.....	50
4.2.5 Funcionamiento de los mecanismos plegables.....	50

4.2.6	<i>Diseño de la transmisión</i>	51
4.2.7	<i>Modelado del sistema y control</i>	51
4.2.8	<i>Programación</i>	63
5	ENSAMBLE FINAL EN MÚNICH	65
5.1	CONFIGURACIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS.....	65
5.2	AJUSTE DE LAS PIEZAS DE ALUMINIO.....	66
5.3	FIJACIÓN DE LAS PIEZAS.....	66
5.4	PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS PLÁSTICAS.....	66
5.5	AJUSTES DE LA FIBRA DE CARBONO.....	68
5.6	MODIFICACIONES A LA TIRA LED.....	68
6	PRESENTACIÓN FINAL GLOBALDRIVE EDICIÓN 2010-2011, MÚNICH, ALEMANIA	70
6.1	GLOBALDRIVE EDICIÓN 2010-2011.....	70
6.2	PRESENTACIÓN FINAL DEL A0.....	71
6.3	EXPERIENCIAS PERSONALES.....	73
7	RESUMEN Y PERSPECTIVAS	76
	APÉNDICE A - ESTADO DEL ARTE	78
	APÉNDICE B - ENCUESTA	82
	APÉNDICE D - PLANOS CONSTRUCTIVOS	85
	APÉNDICE E – ELECTRÓNICA	85
	APÉNDICE F - CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN	86

1 Introducción

1.1 Formulación del Proyecto

El programa globalDrive es una plataforma de desarrollo de proyectos organizada por el Instituto de Tecnología Automotriz de la Universidad Tecnológica de Múnich para la realización de proyectos estudiantiles internacionales.

Por medio de la colaboración de la Universidad Tecnológica de Múnich con universidades extranjeras, dentro de las cuales se encuentra la Universidad Nacional Autónoma de México, se conforman equipos estudiantiles de trabajo, con un enfoque bicultural y multidisciplinario. Al mismo tiempo, la Universidad Tecnológica de Múnich, proporciona el vínculo entre un patrocinador de la industria automotriz y los estudiantes internacionales, para que ocho estudiantes (cuatro alemanes y cuatro extranjeros) desarrollen un proyecto de interés para dicho patrocinador, en este caso Audi. Así mismo, el patrocinador proporciona los recursos económicos para la realización del mismo.

Fue así como Audi solicitó a un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad Tecnológica de Múnich, la creación de un transporte individual, eléctrico y de una sola rueda, dirigido a los clientes de Audi, con el fin de darles un transporte alternativo para las megaciudades del futuro haciendo sus viajes más fáciles a través de la ciudad.

“Vorsprung durch Technik” resume lo que Audi significa, *“Liderazgo a través de la tecnología”* es lo que la marca ha desarrollado desde sus inicios. La idea de construir los autos con la pasión, la calidad y la innovación respalda a Audi como uno de los principales fabricantes alemanes de automóviles premium. Desde sus primeros días, Audi ha innovando en el campo de los motores (creando el motor central trasero) y así como en mejoras en la estabilidad (creando en los años 80's su mundialmente conocido Quattro, un sistema de tracción en las cuatro ruedas). Hoy en día, Audi quiere mantenerse en la cima de la innovación y el liderazgo para entrar en nuevos segmentos de mercado. Un primer paso, es el presente Monociclo eléctrico. Este proyecto ofrecerá a los usuarios un transporte compacto para moverse por las congestionadas ciudades, conservando la identidad de Audi.

Audi quiere tener una opinión global de cómo será la forma de transporte en el futuro, y cómo se percibe el concepto de movilidad en otros países. Por esta razón se debe desarrollar un prototipo totalmente funcional que sea lo suficientemente innovador para confirmar la posición de alto liderazgo tecnológico de Audi.

1.2 Antecedentes

Desde tiempos remotos, los humanos han tenido la necesidad de transportarse y lo han hecho de muchas maneras diferentes para superar los problemas que implica el recorrer largas distancias y soportar las condiciones ambientales.

El lanzamiento de la bicicleta reinventó la forma en la que la gente se transportaba en aquella época, tan es así que en la actualidad se sigue utilizando en todo el mundo. Hoy en día el número de bicicletas es el doble en comparación con la cantidad de autos, y juegan un papel importante en la vida de muchas personas.

Actualmente 600 millones de automóviles en todo el mundo están quemando toneladas de combustible y el número de vehículos está aumentando de forma continua todos los días, así como los problemas de contaminación.

Por otra parte, la historia de la motocicleta empieza en la segunda mitad del siglo XIX. La motocicleta proviene de una bicicleta con las ruedas delanteras y traseras del mismo tamaño y un mecanismo de arranque de pedal para impulsar la rueda trasera. Hoy en día, las motocicletas pequeñas son bastante comunes en muchas ciudades de todo el mundo.

El monociclo es otro tipo de vehículo que se incorporó al campo del transporte desde el siglo XIX. Este tipo de vehículo no ha sido profundamente desarrollado debido a la complejidad de uso, ya que requiere de habilidad del usuario, el cual pedalea y mantiene el equilibrio mientras se encuentra sentado sobre una sola rueda. También existe una variante de la monociclo en la que el conductor se sienta dentro de la rueda para pedalear, lo que hace que sea más estable, pero menos maniobrable.

Con el desarrollo de controles electrónicos y de micro sensores, los vehículos eléctricos auto-balanceables ofrecen una solución real a los problemas de movilidad en las futuras megaciudades. Este tipo de vehículos son eficientes, maniobrables, pequeños y ecológicos (sin emisiones locales), debido a que utilizan componentes eléctricos. Casi todos los días se crean nuevos conceptos relacionados con éste tipo de vehículos auto-balanceables, y todos ellos tratan de resolver el problema de transporte ajustándose de la mejor manera posible al estilo de vida de los usuarios.

1.3 El Equipo



Universidad Nacional Autónoma de México

Estudiantes



Annwar Gil Huerta, Diseño Industrial



Luis Fernando Landaverde, Diseño Industrial



Luis Rodríguez Salazar, Ingeniería Mecatrónica



Ángel Antonio Sánchez, Diseño Industrial

Personal docente UNAM



Dr. Ing. Alejandro Ramírez Reivich



Dr. Ing. Vicente Borja Ramírez



M.D. I. Luis Equihua Zamora



Arq. Arturo Treviño Arismendi



Technische Universität München

Estudiantes



Chistina Frank, Ingeniería Mecánica.



Thomas Hierlinger, Ingeniería Mecánica



Alexander Mild, Ingeniería Mecánica



Maximilian Püshel, Ingeniería Mecánica

Personal docente TUM



Dr. Ing. Frank Diermeyer



Dipl. Ing. Richard Eckl

Representante de AUDI



Diseñador Klemens Rossnagel

2 Estado del Arte

2.1 Enfoque

Con el fin de generar una idea original y un buen producto para satisfacer las necesidades de los usuarios, fue necesario realizar una investigación sobre lo que ya existe en el hasta el día de hoy. De tal manera que el nuevo producto pueda llenar un vacío o un área de oportunidad que se haya descubierto. Después de una extensa investigación sobre los medios de transporte de una sola rueda, con o sin motor, fijos o plegables, se clasificaron los resultados en grupos para organizar toda la información y facilitar el análisis de la tecnología.

Las tecnologías analizadas fueron divididas en segmentos en función de su mercado, la potencia del motor y el ambiente en el que se desplazan, obteniendo los siguientes segmentos:

- I. Unidades Auto-balanceables
- II . Monociclos de alta velocidad
- III . Monociclos tripulados internamente
- IV . Monociclos pequeños de baja velocidad

Dicha investigación se realizó consultando páginas web, videos, imágenes, blogs especializados en transportes, etc.

2.2 Tipos de monociclos en el mercado

I. Unidades Auto-balanceables (UAB)

La unidades auto-balanceables son dispositivos ligeros y pequeños que se parecen a un monociclo mecánico convencional, sin embargo son accionados por un motor eléctrico y controlados por un sistema de auto-balanceo.

El ejemplo más destacado e ilustrativo de este segmento es el SBU V2.0, el cual está propulsado por un motor eléctrico sin escobillas DC, o también llamado "in-wheel" con accionamiento variable. La velocidad y la dirección se determinan por la dirección inclinada del controlador. El chasis del SBU V2.0 es un marco de aluminio 7005, utilizado también para fabricar marcos de bicicletas. La única suspensión es el neumático de 20" x 2.125". Puede viajar a una velocidad máxima de 16 Km/h y tiene una autonomía de aproximadamente 20 kilómetros.

Para recargar la batería de LiFePO4 38 a 4 voltios completamente, tiene que estar conectado durante dos horas. En total tiene una eficiencia del 85% que pueden ser incluso mejorada por un

sistema de frenado regenerativo que recupera y almacena la energía que normalmente se pierde cuando se desacelera o se viaja cuesta abajo.

De acuerdo a sus inventores, el SBU es fácil de aprender a operarse y de peso ligero, por lo que se puede llevar en un tren o por escaleras. Sin embargo, todavía tiene una imagen poco dinámica y no se aprecia su estilo. Por otra parte, no hay espacio para guardar equipaje o alguna de las pertenencias del usuario.



Figura 2-1: SBU V2.0 (<http://www.kaboodle.com>)

II. Monociclos de alta velocidad

Los monociclos alta velocidad son más parecidos a una motocicleta que a un monociclo convencional. Tienen manubrio, luces delanteras y traseras, y neumáticos anchos.

Los ejemplos más famosos son construidos por la Compañía Ryno. Hay tres tipos de aplicación diferentes previstas para su desarrollo:

- 1) Transporte urbano a baja velocidad
- 2) Deportivo
- 3) Gobierno / Industria

Hasta ahora, solo se ha construido la versión deportiva. Al igual que el SBU V2.0 utiliza baterías LiFePO4 para el almacenamiento de energía, las cuales le permiten a este tipo de monociclo desplazarse durante 48 kilómetros a 40 km/h sin necesidad de recarga. Si las pilas están vacías, solo se necesita de hora y media para en recargarse por completo. El motor y las baterías encajan en un neumático 25". En total, el prototipo pesa 56.25 kg.

En resumen, los monociclos de alta velocidad son más rápidos y logran mayores distancias sin necesidad de recarga, además de ser aptos para circular en las calles, por lo que pueden sustituir un auto o una motocicleta. Pero debido a que estos monociclos son muy pesados, no es posible utilizarlos como una extensión del automóvil o del transporte público.



Figura 2-2: Ryno (<http://rynomotors.wordpress.com>)

III . Monociclos tripulados internamente

Este grupo de monociclos contiene todo tipo de vehículos donde el conductor está sentado dentro de la rueda. La fascinación por los monociclos se remonta hasta 1915, cuando se patentó el primer vehículo de este tipo.

Hoy en día, Kerry McLean es el constructor más popular de monociclos. Les produce desde 1971. El cliente puede escoger entre la más pequeña que es accionado por un motor de cortadora de césped Briggs de 5 Hp y el modelo más grande que está propulsado por un motor V8 de Buick. Todos los paseos tienen licencia para la carretera en EE.UU. Su último modelo es propulsado por un motor de motocicleta de nieve refrigerado por agua de 40 Hp. El diámetro interior de la rueda es de 36 pulgadas con un neumático de tractor. Se controla con un embrague y un acelerador en el manillar izquierdo, y un freno hidráulico en el manillar derecho.

El giro se logra cuando el usuario se inclina ligeramente hacia afuera de la rueda. Está equipado con faros de halógeno, luces de freno y una matrícula.

Al igual que los monociclos de alta velocidad, el monociclo tripulado interiormente es una sustitución del auto o motocicleta. Es un vehículo pesado, pero es rápido y autónomo para las largas distancias, sin embargo, monociclos tripulados interiormente tienen una gran desventaja en comparación con los monociclos convencionales, ya que el tripulante tiende a girar junto con la rueda cuando se frena bruscamente, lo cual representa un grave problema para su conducción.



Figura 2-3: Kerry McLean in his largest monocycle (<http://www.gizmowatch.com>)

IV . Monociclos pequeños de baja velocidad

Los monociclos pequeños de baja velocidad son dispositivos de peso ligero y por lo tanto son los más portátiles. Están diseñados para entretener o para transportar a un usuario combinándolo con su auto o con el transporte público.

El representante más célebre de los monociclos pequeños de baja velocidad es el Honda U3- X. Está alimentado por una batería de iones de litio y pesa menos de 10 kg. Su sistema de conducción fue el primero del mundo capaz de realizar un movimiento de 360 grados ya que la rueda está conformada de muchas pequeñas ruedas que se pueden mover lateralmente. Sin embargo, ésta

tecnología sólo permite una velocidad máxima de 7 Km/h. Honda propone un precio de venta de \$660 USD y pretende venderlo como un accesorio para sus autos.

La característica más importante del U3- X, también podría considerarse su principal desventaja, ya que la implementación de diversas ruedas pequeñas montadas en una sola, permite una nueva sensación de conducción, pero debido a que ésta configuración es muy vulnerable a las características del terreno donde se desplaza, el monociclo sólo se puede conducir en una superficie perfectamente plana y en interiores, ya que no debe ensuciarse. Además, la velocidad desarrollada es demasiado baja. Por lo tanto, el U3- X es considerado un gadget en lugar de un medio útil de transporte.



Figura 2-4: Honda U3-X (<http://www.hybridcars.com>)

Otra variante dentro de este grupo es el modelo conocido como patineta o “skateboard” ya que existen muchos vehículos diferentes con un diseño similar al que se muestra en siguiente imagen, en su mayoría construidos en las universidades o por los ingenieros independientes. Un ejemplo es un proyecto de Agustín Rodríguez y Carter Márquez, Ingenieros Industriales en la electrónica de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba, España. Este proyecto final consistió en la creación de un vehículo eléctrico de una rueda que permitiera mover a una persona a más de 20 Km / h con un alcance de al menos seis kilómetros.

Al analizar este tipo de vehículos notamos que no son muy atractivos visualmente, y que además no pueden ir muy rápido debido al ángulo pequeño para inclinarse hacia adelante o hacia atrás y al tamaño de la rueda.

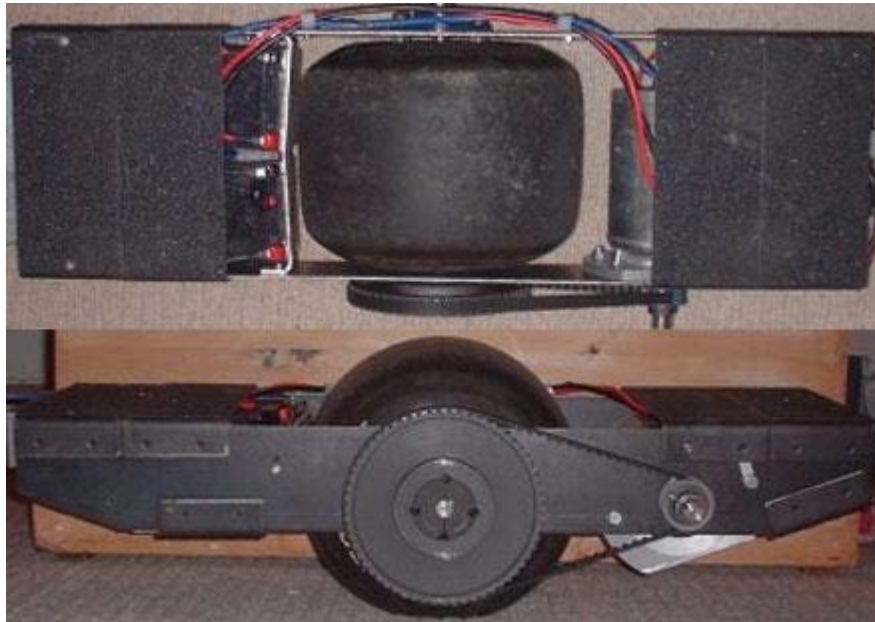


Figura 2-5: Skateboard type unicycle (<http://www.engadget.com>)

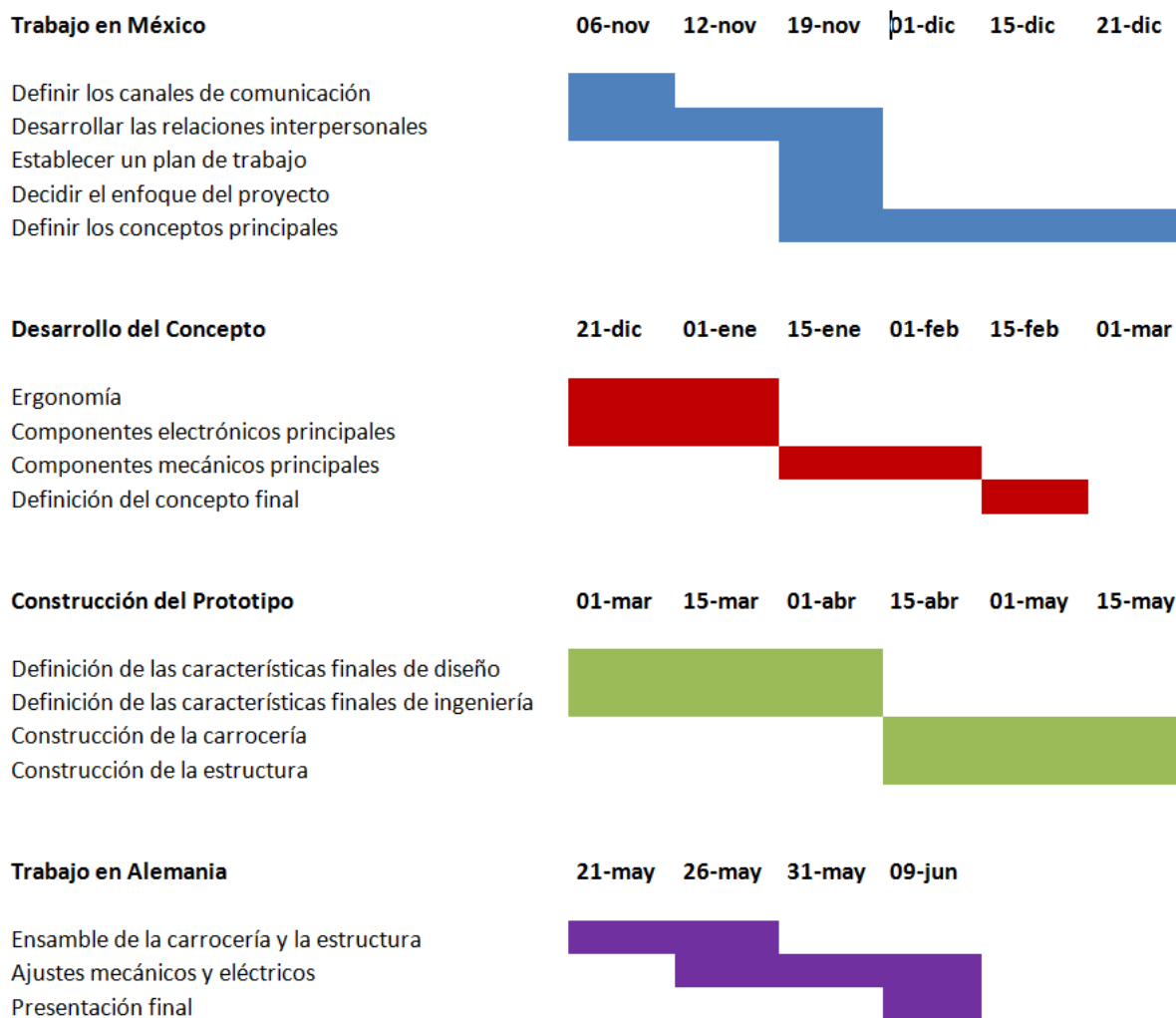
2.3 Definición de de las oportunidades de mercado

Después del análisis se encontró un hueco entre las unidades Auto-balanceables y los Monociclos de Alta Velocidad, en donde un vehículo de velocidad media podría encajar perfectamente. Un vehículo que no sustituya a un auto, sino un complemento para pasar por las zonas restringidas de la ciudad y que pueda ayudar a un usuario de Audi para llegar de forma rápida y con estilo a su trabajo después de usar el transporte público o su auto. Dicho vehículo debe ser portátil, plegable, ligero, lleno de dispositivos tecnológicos y que se pueda transportar fácilmente en la cajuela de un auto.

3 Trabajo en México

3.1 Plan de trabajo

Después de realizar la investigación respectiva al estado del arte, se procedió a calendarizar a grandes rasgos las actividades que debían ser realizadas, tal y como se explica a continuación:



3.2 Encuesta

3.2.1 Observación de usuarios

Cuando se desarrolla un proyecto el primer paso es encontrar una oportunidad de mercado alrededor de la cual el que el proyecto se puede desarrollar para asegurar su exitosa introducción en el mercado. Para ello, las encuestas pueden ayudar a conseguir una opinión de lo que la gente necesita y lo que la gente piensa acerca de la situación actual, lo que conduce al desarrollo de un producto exitoso.

Para tener una idea acerca de las preocupaciones de la gente en la movilidad urbana y su opinión acerca de un nuevo tipo de vehículo que coexiste con los medios de transporte existente de la ciudad, fue desarrollado un estudio teniendo en cuenta las características reales de transporte de la Ciudad de México.

3.2.2 Diseño de la encuesta

Para obtener datos útiles de las personas entrevistadas, la encuesta debe correctamente elaborada, teniendo en cuenta qué tipo de personas deben ser entrevistadas. Se deben definir las preguntas correctas para obtener las respuestas adecuadas. Por medio de una lluvia de ideas se identificaron los temas necesarios, relevantes e interesantes. Entonces, las preguntas específicas tuvieron que ser formuladas para evitar caer en las respuestas "sí/no" con el objetivo de obtener la mayor cantidad de datos y opiniones como fuera posible.

En este caso, las preguntas fueron separadas en cuatro grupos principales: Seguridad en el Transporte, Conductas de Viaje, Experiencias y Sentimientos, y Preguntas Específicas. Los grupos de personas entrevistadas incluyeron ciclistas, peatones, motociclistas y conductores de Segway. La lista de preguntas se puede encontrar en el Apéndice A.

3.2.3 Aplicación de la encuesta

Una vez que la encuesta fue completamente formulada, el siguiente paso fue la selección de los lugares donde se aplicó la encuesta. Los lugares públicos seleccionados fueron la Ciudad Universitaria, donde se podían encontrar los peatones, ciclistas y motociclistas, pero también centro comercial Perisur, donde se podrían encontrar los conductores de Segway, los conductores de automóviles.

Finalmente, se tomó la decisión de sustituir el centro comercial Perisur por la Avenida Reforma, donde la gente que se podía encontrar también cumplía con el perfil requerido. Las respuestas obtenidas de las diferentes personas entrevistadas eran muy parecidas en el sentido de que perciben a la ciudad de México como una ciudad insegura para desplazarse.

3.2.4 Procesamiento de los resultados

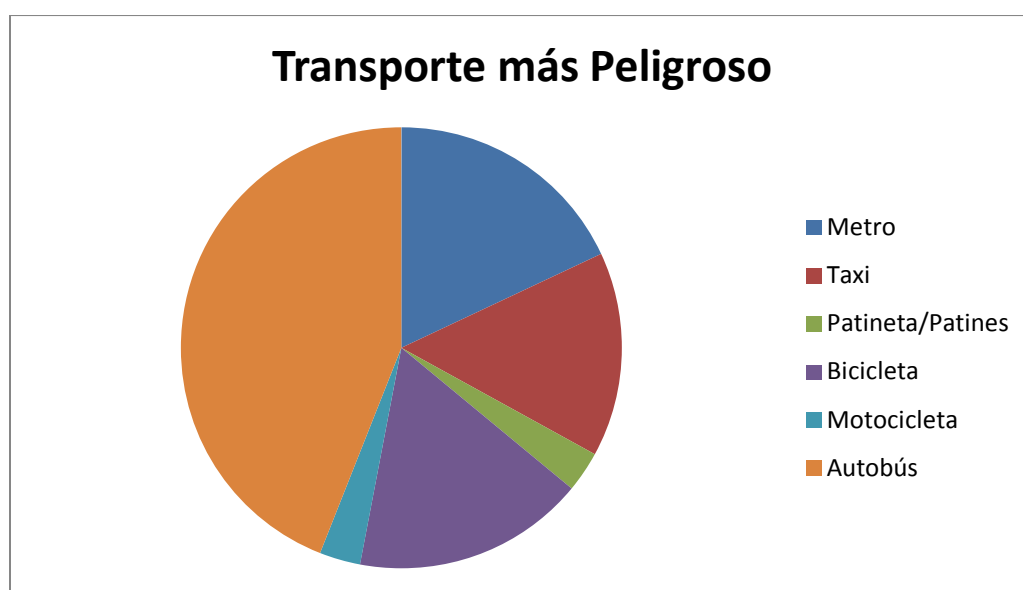
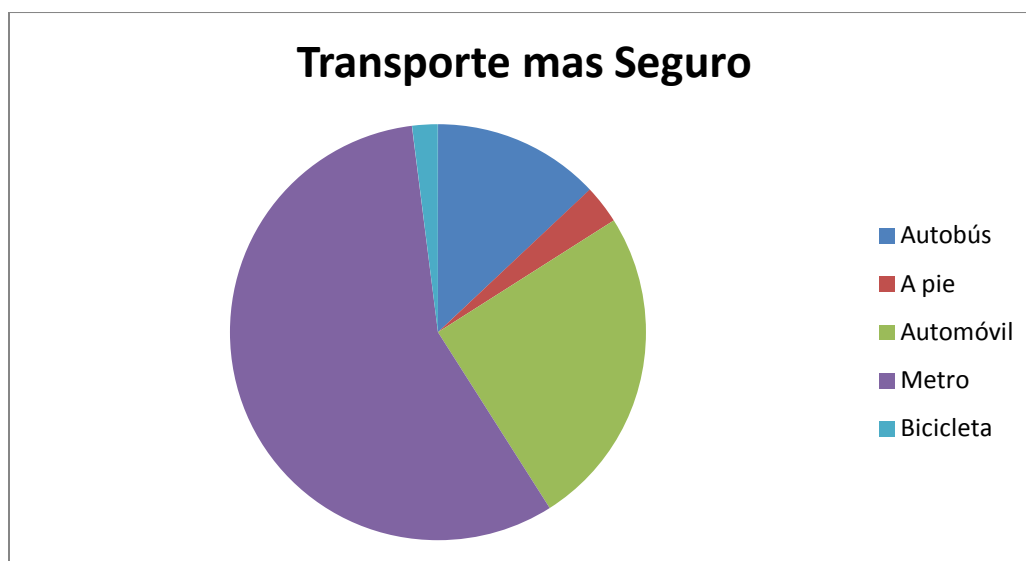
Los datos obtenidos por la encuesta fueron muy variados, por lo que sólo la información más relevante fue tomada en cuenta.

43 personas participaron en la encuesta, de entre 18 y 35 años de edad, dentro de los cuales se encontraban usuarios del transporte público, peatones y conductores de motos.

Los temas principales fueron:

I. Seguridad en el Transporte:

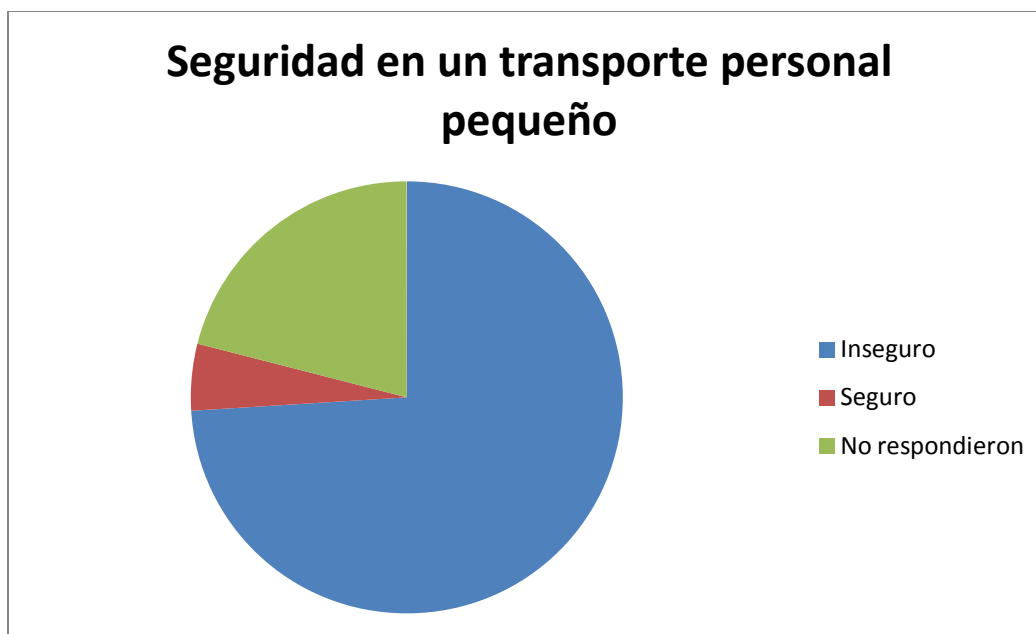
1. ¿Cuál crees que es el transporte más peligroso y el transporte más seguro?



2. ¿Qué piensa usted acerca de las condiciones de la calle en la Ciudad de México?



3. ¿Qué piensa usted acerca de la seguridad si usted conduce un pequeño transporte personal en el tráfico de México?



II. Conductas de Viaje

1. ¿Cuánto peso tiene que llevar con usted a la escuela / universidad / trabajo?

Los artículos más utilizados son mochilas, cuadernos y, a veces maletas deportivas.

El peso promedio del equipaje es de aproximadamente 6 kg

2. ¿Cuál es la velocidad más baja que usted aceptaría que le proporcionara un vehículo que sustituya caminar?

La velocidad más baja aceptada de un pequeño transporte personal sería de alrededor de 18 km/h en promedio.

3. ¿Cuánto tiempo pasas caminando por la ciudad?

El mexicano promedio camina 1 hora al día.

III. Experiencias y sentimientos

1. ¿Cómo te sientes cuando conduces una bicicleta en la Ciudad de México?

La mayoría de la gente se siente muy insegura debido a muchos conductores estresados y sin respeto a los conductores de bicicletas.

Inclusive no utilizarían sus bicicletas en las calles, solo lo harían en parques y universidades.

Sólo unas pocas personas se sienten libres conduciendo una bicicleta, ya que les gusta sentir la adrenalina y lo consideran un buen ejercicio.

2. ¿Cuánto dinero quieres gastar en un dispositivo de transporte eléctrico individual?

A la gente le gustaría invertir alrededor de MXN \$ 15.000 para adquirir un dispositivo de transporte eléctrico individual como un monociclo.

3. ¿Qué tan importante considera usted estos aspectos (diseño, precio, seguridad, calidad), si usted comprara un monociclo eléctrico?

La seguridad se considera como el aspecto más importante, seguido por calidad, precio y diseño.

3.2.5 Conclusiones

Existe la necesidad de un monociclo debido a que el tiempo promedio de caminata es de 60 minutos por persona al día.

Las condiciones de las calles en la Ciudad de México son malas en general. Además las calles están siempre muy llenas y los conductores de automóviles no respetan los conductores de bicicletas.

Siempre y cuando las condiciones de las calles mejoren y se creen carriles especiales para las bicicletas, un monociclo sería muy peligroso para conducir en las calles de la Ciudad de México, sin embargo, sería adecuado para ser utilizado en parques o en el campus universitario.

Los posibles usuarios de monociclo consideran la seguridad como una prioridad en el transporte.

3.3 Escenarios y usuarios

Un escenario es la descripción del entorno en el que un usuario o personaje realiza sus actividades cotidianas. Los escenarios suelen ser narrados como una historia que describe una o varias tareas en una situación específica desde el punto de vista de un personaje. En un proceso de desarrollo del producto, es muy importante saber acerca de las circunstancias que rodean al producto y del grupo objetivo de consumidores. Por lo tanto se llevó a cabo una investigación sobre las condiciones futuras de la Ciudad de México y Múnich para identificar las necesidades y restricciones que los usuarios tendrían utilizando un monociclo eléctrico. El proponer escenarios proporciona una forma eficaz de comunicar conceptos y debatir ideas con el solicitante del diseño. Un escenario hace que sea más fácil representar un contexto durante las actividades de diseño de una manera sistemática. Estos escenarios son fáciles de crear, fácil de usar, y capturan importantes detalles contextuales sobre el rango potencial de aplicación de un producto, lo cual es difícil de representar de otra manera.

3.3.1 Creación de los escenarios y descripción de los personajes

Con los resultados de la investigación sobre las condiciones futuras de la Ciudad de México y Múnich y los resultados de la encuesta, el equipo se dividió en parejas, para crear al menos dos escenarios, ya sea para la ciudad de México o Múnich. Para obtener una estructura similar en todos los escenarios se establecieron ciertas preguntas deberían ser respondidas en el escenario creado. Algunas preguntas importantes fueron "¿Qué edad tiene el usuario?", "¿Por qué él / ella usa el monociclo?", "¿Dónde él / ella usa el monociclo", "¿Cuál es la clase social del usuario?".

Personajes - Ciudad de México

Personaje #1 Estudiante en la ciudad de México

Juan Manuel es un estudiante de 25 años de Derecho en la UNAM que trabaja medio día en un despacho fiscal en el World Trade Center, se encuentra terminando sus estudios y vive cerca de San Jerónimo. Le gusta la música Pop y Electrónica, ir al cine y estar con sus amigos. Le gusta andar en bicicleta porque es divertida y es un buen ejercicio, pero no puede transportarse en ella al trabajo. Le gusta vestir bien y los gadgets.

Se despierta 6:30 y sale de su apartamento con su Monociclo para ir al gimnasio de 7:00 a 8:00. Luego se ducha y viaja a su escuela. Durante la hora pico, él fácilmente se salta el tráfico para llegar temprano a la escuela. Se estaciona afuera del salón de clases junto a otros monociclos permitiendo que la escuela tenga más aéreas verdes. El día de hoy su segunda clase se encuentra al otro lado del campus, así que el viaja hasta ahí en su monociclo, llegando en 2 minutos, mientras que caminando le tomaría 15 minutos. El conduce su monociclo en el carril exclusivo para bicicletas mientras escucha música justo con sus otros amigos que también viajan en monociclo.

Cuando llega a su oficina se estaciona en el piso en donde trabaja y lo deja ahí hasta el término de su turno. Antes de salir del edificio enciende las luces del monociclo para garantizar un viaje

seguro, ya que es de noche y se dirige a la fiesta de uno de sus amigos. AL terminar la fiesta, decide tomar un taxi y colocar su monociclo en la cajuela del mismo. Cuando el llega a su casa, recarga la batería de su monociclo para las sorpresas del día siguiente.

Personaje #2 Administrador en la ciudad de México

Pablo Mendoza es un administrador que trabaja para el gobierno federal. Tiene 38 años y vive cerca de Reforma. Como él es un administrador, él piensa que ha encontrado una solución perfecta para ahorrar el pago de la gasolina, el impuesto y la verificación. Esta solución también permite ahorrar en el mantenimiento y reposición de refacciones. No le gusta estar atascado en el tráfico, ni en un espacio reducido dentro de un auto. Él tiene un auto, pero él sólo lo utiliza para el transporte de la familia ya que el centro de la ciudad se ha convertido en una zona de cero emisiones. En su lugar de trabajo, existen varios estacionamientos especiales para estacionar todos los monociclos. Él es un hombre muy respetado que le gusta invertir su dinero, además piensa que la imagen es muy importante y que debe reflejar ser una persona seria. Por esta razón se ha optado por comprar un vehículo Audi.

Escenario - Ciudad de México 2020

Escenario # 1: Ciudad de México 17 de septiembre 2021

El gobierno de la Ciudad de México ha iniciado varios programas para persuadir a las personas y las empresas a utilizar y desarrollar la tecnología eco amigable, porque la cantidad de contaminación aumenta cada año y el precio de la gasolina y el petróleo, también.

Las condiciones de la ciudad son precarias y peligrosas en muchos lugares, pero son de lujo y seguridad en otros. Las clases sociales están fuertemente divididas, sin embargo todos los habitantes tienen que hacer actividades todo el día a causa del trabajo.

Por estas razones, la mayoría de las personas utilizan sus computadoras portátiles y teléfonos celulares para tener un poco de diversión o para mantenerse en contacto con sus familias.

Hay 10 millones de personas que viven en la ciudad y nadie quiere tener más hijos.

La tendencia de la gente es la búsqueda de transporte individual, ya que los hace sentir libres y se adapta a cada situación en particular, pero sólo algunas personas pueden permitirse poseer un auto. El transporte público ha mejorado en muchos aspectos, incluidos el espacio y el tiempo de traslado.

Personajes - Munich

Personaje # 3: Sin Auto

Hugo tiene 24 años de edad, pesa alrededor de 95kg y en su tiempo libre le suele jugar en su PC. Él está conduciendo desde su casa a la universidad, no es dueño de un coche y que no puede costear uno. Por lo general, utiliza el metro, pero debe recorrer cierta distancia para ir de su casa al metro y del metro a la universidad, por lo que utiliza el monociclo. En la ciudad, tiene que poner atención y respetar las luces de tránsito, también tiene que tener cuidado con los peatones cuando se circula por los cruces. Durante el día él recorre a unos 3 km, y viaja en promedio a 10 km/h.

Personaje # 4: Con Auto

Moe tiene 22 años. En su tiempo libre le gusta hacer deportes como el snowboard y escalar. Él no sólo utiliza el monociclo para ir desde su casa a la universidad y de regreso, sino que también lo usa para divertirse. A veces se salta las clases para hacer su monociclo al aire libre durante unos 45 minutos. Por lo general conduce a la universidad en coche y cubre el trayecto desde el estacionamiento a la universidad en monociclo. Él quiere que su monociclo pueda moverse a 45 km/h, eso sería muy divertido. Él tiene padres ricos y se preocupa más por pasarla bien que por el dinero.

Personaje # 5: Pequeña distancia a la escuela

Sandy tiene 19 años, vive cerca de su preparatoria. Su familia pertenece a un nivel socioeconómico intermedio. Ella utiliza el monociclo para conducir a la escuela y para visitar a unos amigos que viven cerca de su casa. Normalmente ella usaría su bicicleta, ya que ella no tiene un coche, pero ahora usa el monociclo. Para distancias más grandes, puede usar el coche de sus padres. Durante el día recorre unos 20 km de monociclo. Como no es un adicta a la velocidad, no quiere ir demasiado rápido, pero como ella tiene que cubrir una gran distancia, ella quiere que su monociclo alcance 25-30 km/h.

Personaje # 6: El hombre de negocios

Barney de 35 años, es un hombre de negocios bien establecido, pero sigue utilizando el metro ya que no hay espacio para un coche cerca de su oficina. Como él quiere probar todos los nuevos gadgets en el mercado, compró el monociclo y se dio cuenta de que es perfecto para conducir a la oficina y presumir a sus compañeros de trabajo. Él se estaciona justo al lado de su escritorio en la oficina. Durante el día recorre 7 kilómetros en monociclo, mientras conduce a un restaurante para el almuerzo y lo utiliza para varias distancias cortas. Para presumir mejor, él quiere conducir su monociclo por lo menos a 20 km/h.

Personaje # 7: Cirujano

Bruce es un cirujano de 43 años que utiliza el Monociclo durante todo el día para conducir de una sala a otra visitando a los pacientes. Recorre unos 10 km al día, pero puede recargar las baterías durante sus descansos. Él usa el monociclo porque es más cómodo y más rápido que caminar ya que puede viajar a 10 km/h.

Escenarios de Múnich 2020

Escenario # 2: Zona de Cero Emisiones

Debido a un aumento de la contaminación del interior de la ciudad de Múnich, este círculo interior se ha transformado en una zona de cero emisiones. Sólo se permiten vehículos sin motores de combustión. Como consecuencia de ello, muchos de los vehículos eléctricos son utilizados por personas que viven y trabajan o estudian dentro de esta área. Debido a un bajo precio de 300 €, una distancia mínima de hasta 30 km y una velocidad máxima de 25 km/h, es muy popular entre los estudiantes y los empleados jóvenes utilizar un monociclo sobre los carriles para bicicletas. Incluso es posible subirlo por las escaleras y guárdelo en la oficina o departamento donde también se ve como un objeto decorativo de diseño. Los conductores monociclo son considerados como muy modernos y con clase, además las personas que viven fuera de ésta zona pueden aparcar sus coches en el nuevo parque y conducir en los nuevos estacionamientos ubicados en la frontera de la zona de cero emisiones y continuar su camino en su monociclo, ya que es pequeño, portátil y puede colocarse fácilmente en la cajuela del auto.

Escenario # 3: Aumento de la población

De los años 2011 a 2020 la población de Múnich se ha incrementado en un 40 %. Como resultado, las calles se han vuelto demasiado pequeñas debido a la gran cantidad de autos, por lo que el tiempo para llegar a un lugar dentro de la ciudad casi se ha duplicado. El transporte público ha incrementado sus precios significativamente. Por esa razón en especial las personas jóvenes que sólo tienen un ingreso bajo utilizan su monociclo para conducir en los carriles de bicicletas para llegar a la escuela o trabajo. Para reducir el tráfico en las principales calles los carriles bicicletas se hicieron más anchos y por lo que es posible conducir hasta 50 km / h. Como la gente está más consciente del medio ambiente prefieren utilizar los motores eléctricos en lugar de motores de combustión. Debido al hecho de que los costos entre los scooters y monociclos convencionales son muy similares, la gente prefiere comprar un monociclo. Aunque la autonomía de los monociclos es de 80 kilómetros, lo cual es muy similar a la de los scooters, los costes de mantenimiento del monociclo son 70% menores.

Escenario # 4: Lo más probable

La situación del tráfico será muy similar a la situación actual. La gente va al trabajo / escuela / universidad en coche o en transporte público. El monociclo es tan pequeño y ligero que se puede llevar y almacenarlo fácilmente bajo el asiento del transporte público o en la cajuela del auto. Después de que los usuarios lleguen a su estacionamiento o estación final del metro se transportan en monociclo a su destino final en el trabajo / escuela / universidad en el carril de bicicletas en vez de caminar. La distancia que recorren es de 1 a 2 km. La batería tiene una duración de hasta 10 km y viajan con una velocidad máxima de 25 km / h por seguridad. Si la batería está baja, se recarga en 1 hora. Debido a los costos de entre € 300 y € 500 y su muy bajo costo de mantenimiento es muy común ver una gran cantidad de personas utilizando un monociclo en la ciudad de Múnich.

3.3.2 Selección de Personajes y Escenarios

Para evaluar los escenarios se realizó una evaluación por medio de puntajes en donde, los criterios de evaluación fueron:

- A) Probabilidad de éxito en el mercado (3)
- B) Probabilidad de que el escenario suceda (5)
- C) Innovación (1)
- D) Las sensaciones del usuario (3)
- E) Impacto en las vidas de los propietarios (3)

El número entre paréntesis indica la ponderación de cada criterio, en donde (5) significa que el criterio es muy importante y (1) significa que el criterio no es tan importante.

La tabla 3-1 muestra la calificación final de la evaluación realizada.

		Pregunta					Σ	No.
		A	B	C	D	E		
Puntaje		3	5	1	3	3		
Personajes y Escenarios	P1	12	12,50	2,5	9,75	13,875	50,625	7
	P2	7,5	13,75	2,625	11,25	10,5	45,625	8
	E1	-	-	-	-	-	-	-
	P3	8,625	19,375	2,625	9,75	12	52,375	4
	P4	9,375	19,375	2,875	12,375	7,875	51,875	5
	P5	10,125	19,375	2,625	9,75	9,375	51,25	6
	P6	13,125	20	2,875	13,125	11,625	60,75	1
	P7	6,75	11,25	3,625	11,25	11,625	44,5	9
	E2	13,5	18,75	3,5	10,5	10,5	56,75	2
	E3	11,25	8,75	4	2,875	10,5	37,375	10
E4	9,75	21,875	2,375	10,125	9,375	53,5	3	

Tabla 3-1: Evaluación preponderada

En la tabla 3-1 se puede observar el personaje seleccionado resaltado en azul y el escenario seleccionado resaltado en rojo. Cabe señalar que el escenario #2 es un escenario típico que puede ocurrir tanto en Múnich como en la Ciudad de México.

3.4 Primeros conceptos

Después de establecer claramente el estado de la técnica, las encuestas y los escenarios, cada miembro del equipo tenía idea de cómo funcionan los monociclos motorizados, cuáles son las funciones básicas que necesitan y de qué manera se pueden construir. De esta forma se crearon muchas ideas las cuales se necesitan plasmar en papel. Así que, en la siguiente fase, cada miembro del equipo tenía la posibilidad de elaborar sus ideas y explicarlas después. Los resultados se describen en la siguiente sección.

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

3.5 Preselección del concepto

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

3.6 Asignación de Tareas

AL final del trabajo en México se asignaron las tareas para las siguientes fases del proyecto. Como se puede apreciar en la figura 3-8 las tareas fueron divididas en dos principales grupos; “Tareas de diseñadores” y “Tareas de Ingenieros” Así como el trabajo que tenía que ser realizado por cada integrante.

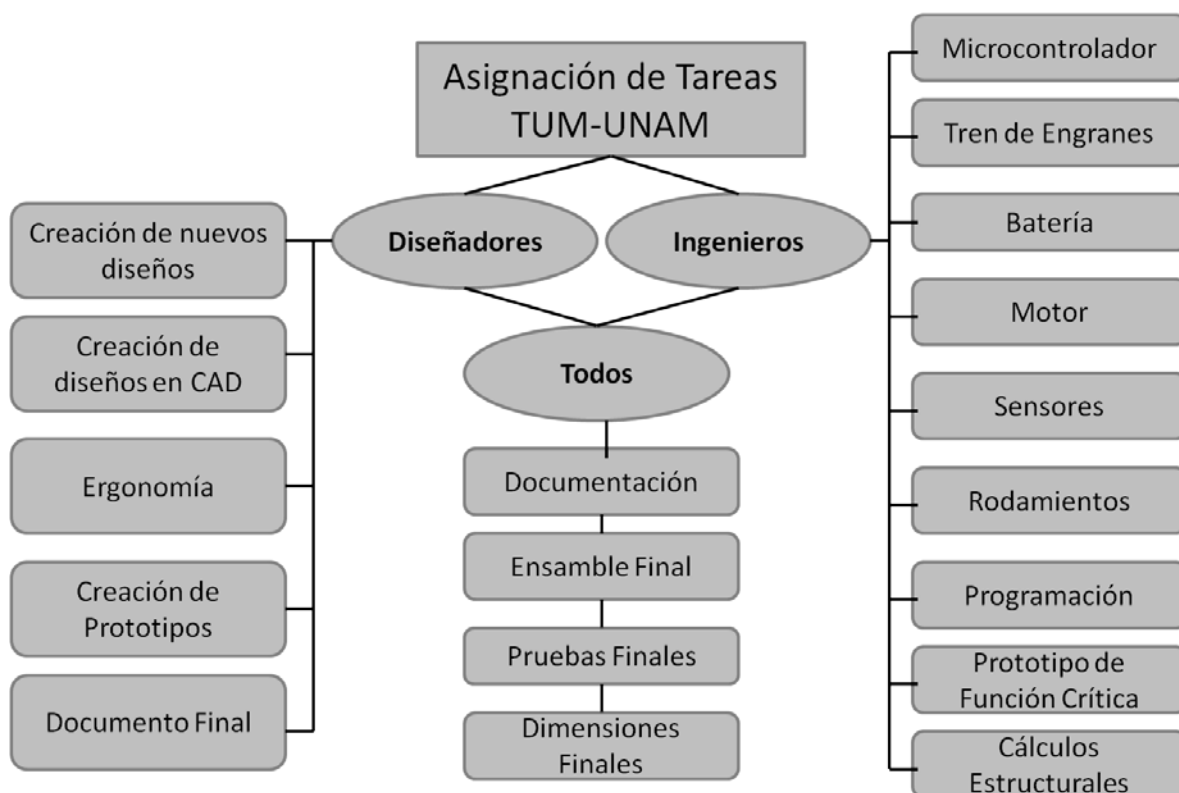


Figura 3-8: Asignación de tareas

3.7 Lista de Requerimientos

Adicionalmente se estableció una lista de provisional de requerimientos los cuales deberán ser considerados en las siguientes etapas del proyecto.

- El monociclo debe ser tan compacto como sea posible
- El monociclo debe ser a prueba de lluvia
- El monociclo debe tener claxon y luces traseras y frontales.

3.8 Retroalimentación de Audi

La primera videoconferencia con Audi tuvo lugar el 17 de Noviembre de 2010, en la sala de videoconferencia ubicada en la biblioteca de posgrado de ingeniería en la UNAM.

El Sr. Klemens Rossnagel es la persona a cargo del proyecto. Él trabaja en “Audi Design Research” y fue el encargado de proporcionar la retroalimentación.

En la videoconferencia se obtuvieron algunos puntos importantes que han de tenerse en cuenta durante todas las fases del proyecto:

- Audi está interesado en mantener su estatus de marca de primera calidad, por lo que el monociclo debe enfocarse en las personas que utilizan los vehículos del segmento premium.
- El monociclo debe ser ligero y portátil.
- Las líneas de Audi no son revolucionarias, sino evolutivas, no quiere estar al frente de las tendencias en estilo, pero mantienen los ángulo y toque clásico y moderno que será la identidad de la marca a través de los años.
- El usuario debe sentirse orgulloso de su monociclo. Él no debe sentirse estúpido mientras conduce.
- El monociclo debe ser desarrollado para un mercado global, para que se ajuste a la mayor cantidad de ciudades posibles.
- El monociclo debe desarrollarse bajo tres palabras clave que marcarán las directrices del diseño, las cuales se explicarán a continuación.

3.9 Directrices de Diseño

Hay tres palabras clave las cuales deben describir al monociclo a través de todo el desarrollo del producto. Ellas sirven como inspiración para brindarle una personalidad única, la cual distinguirá al proyecto después de todo. Para enfatizar las palabras clave cada una está ligada a una imagen como se presenta a continuación:

Fascinante	Intuitivo	Único
		
<p>(http://motor.terra.es)</p>	<p>(www.parasaber.com)</p>	<p>(www.fatgirl911.com)</p>

3.10 Selección del Nombre

Para hacer un poco más concreto el desarrollo del monociclo se ideó un nombre para el mismo. El modelo más pequeño de Audi es el Audi A1, y dado que el monociclo es mucho más pequeño, necesita un número menor, el cual es el número cero. Adicionalmente el número cero tiene una forma parecida a la rueda que conforma al monociclo. Por lo que al final se eligió el nombre de Audi A0.

4 Trabajo en Ambos Países

Después de que el equipo alemán regresó a Alemania, la siguiente fase del proyecto fue la determinación del concepto. Al final de esta fase, se debe tomar la decisión sobre el diseño del prototipo final. Para preparar esta decisión, los tres conceptos tuvieron que ser evaluados con diferentes criterios, así que la tarea principal en esta fase fue la de averiguar las características principales de cada concepto. Los diseñadores tuvieron que preocuparse por la ergonomía y el diseño, mientras que los ingenieros tuvieron que hacer frente a la operatividad básica y realización técnica.

4.1 Trabajo de los Diseñadores

4.1.1 Análisis de la Identidad de Audi



Audi

Vorsprung durch Technik

Figura 4-1: Audi – Vorsprung durch Technik (www.audi.com)

Audi siempre ha sido una marca que ofrece calidad, innovación y diseño de alta calidad y todo esto se puede ver reanudado en su lema "Vanguardia por medio de la tecnología".

¿Qué es lo que hace a un Audi ser un Audi?

Diseño fluido, lenguaje claro por fuera y por dentro, y el prestigio implícito, la exclusividad y deportividad siempre han sido características de Audi, como se puede ver en los ejemplos de la Figura 4-2.



Figura 4-2: Vista frontal de Audi (www.audi.com)

Características de Diseño de Audi

El proceso de diseño toma en cuenta un balance entre las metas de identidad, arte y atemporalidad para alcanzar la fascinación.



Figura 4-3: El nuevo A7 (www.audi.com)

Evolucionario, No Revolucionario

Audi tiene una larga tradición en el diseño. Cada nueva generación de Audi es una lógica, madura y bien lograda evolución de la anterior, lo que refleja la filosofía de Audi, que incluye líneas modernas y más agresivas, sin perder la clase, estética y fluidez. La evolución de Audi es constante y más rápida que la de sus competidores.

Un nuevo elemento ha formado parte del diseño característico de Audi. Las alas LED (véase la Figura 4-5) se convirtieron recientemente en una parte de las luces delanteras, las cuales están formadas por tiras de LEDs, dando un nuevo enfoque a la iluminación de Audi.



Figura 4-5: Nuevo diseño de luces LED de Audi

4.1.1.1 Análisis de las Líneas de Diseño de Audi

Para tener una idea de las líneas generales de Audi, se realizó un análisis de las mismas. Esto es muy importante para tener una idea de cómo modelar y diseñar el aspecto del monociclo posteriormente. Las principales líneas de diseño que se pueden ver en todos los modelos se destacan en rojo en los cuadros a continuación.



Figura 4-6: Vista lateral de las líneas generales de Audi

En general se observa un lenguaje familiar entre todos los autos, lo cual es el resultado de la evolución que Audi ha tenido a través de su historia. Estas líneas fueron cada vez más dinámicas que antes.

Las dos líneas ligeramente arqueadas a través de los hombros del auto a partir de las luces delanteras y que terminan en las luces traseras, dan una sensación de fluidez. Una curva inferior arqueada en dirección opuesta en la parte inferior de los autos determina dinamismo, y la línea del techo exterior es copiada por la silueta de la ventana, con las mismas proporciones, pero a escala. Estas líneas dan la idea de cómo fluye el viento a través del coche en un túnel de viento. El diseño de los guardafangos da musculatura al auto por lo que se aprecia estilizado, dinámico y agresivo, pero siempre elegante.



Figura 4-7: Vista Frontal de las Líneas Generales de Audi

La identidad de la parte frontal de los modelos de Audi consiste en tres elementos principales o bloques principales: la parrilla central, las luces delanteras en cada lado de la parrilla y la entrada de aire situada en la parte inferior. La parrilla está formada por una forma de "V", dada por las líneas de los costados que continúan en el cofre. La pequeña entrada de aire debajo de la parrilla hace hincapié en el aspecto deportivo de la marca.

La gran parrilla principal con las rayas horizontales da al carácter agresivo y vertical de los autos, en todos los modelos (excepto el R8) el logotipo viene dentro de la parrilla en una posición elevada. La línea superior de los faros se inicia desde la parrilla y crece en diagonal hacia los lados.

Líneas Generales Adicionales:

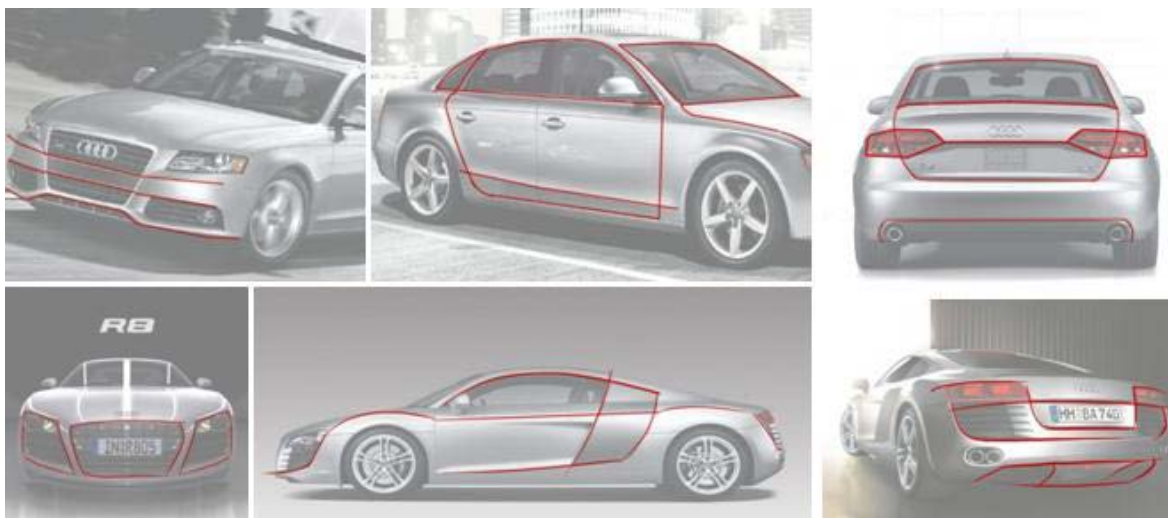


Figura 4-8: Líneas Generales Adicionales

Uno puede ver qué líneas de Audi, en continuidad con su diseño racional no dejan líneas muertas a la mitad de la carrocería. Cada línea nace en el elemento es transportada con gracia e intención a través del cuerpo y para finalizar en otro elemento, haciendo así una conexión entre ellos, una especie de bucle continuo y coherente.

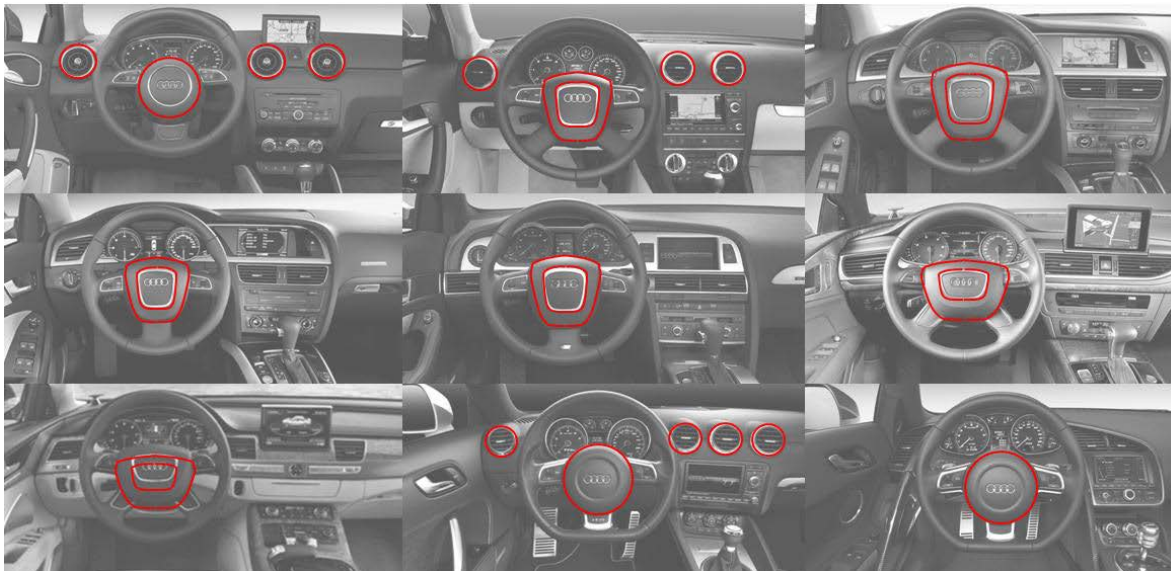


Figura 4-9: Vista interior de las líneas generales Audi

Las líneas principales más comunes pueden ser visualizadas en el volante, donde la forma de la parrilla es retomada para llevar al interior de los autos sedanes la marca Audi. En los autos deportivos el centro del volante es un círculo: en los segmentos intermedios (A4, A5 y A6) y los autos deportivos (R8), el panel central está distribuido en una forma más vertical que en los segmentos superiores (A7 y A8), distribuidos mas horizontalmente. En los autos deportivos (A1, A3, TT) los elementos principales son las ventilas, posicionando los otros controles en un nivel menor. Los materiales tienen superficies planas, líneas coherentes entre ellos y con el exterior, proporcionando un nivel premium debido a los detalles, colores y materiales.

Conclusión

Las líneas generales de Audi son totalmente racionales, llenas de simplicidad y elegancia, y atemporales.

4.1.2 Simulador Ergonómico

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.1.3 Definición de la Posición

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.1.4 Propuestas

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.1.5 Concepto final

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.1.6 Producción

Pensando en lograr las mejores características para A0, se consideraron muchos aspectos diferentes para optimizar su rendimiento durante la conducción teniendo en cuenta la comodidad y la apariencia a la vez. Por esta razón se requirieron varias partes diferentes para cumplir con todos los aspectos. Las piezas producidas para el monociclo se hicieron de una gran variedad de materiales y siguieron diferentes procesos de construcción.

Los materiales para las partes construidas en México eran de aluminio, fibra de carbono, PC-ABS, VeroBlack FullCure870, TangoBlack FullCure970 y plástico líquido llamado Crystal Clear 200.

Para la construcción de estas piezas se necesitaron algunos otros materiales. Respecto a las piezas de aluminio, la madera era necesaria como material de apoyo. Las piezas de fibra de carbono se realizaron en un molde especial de resina automotriz de poliéster y de fibra de vidrio, y el molde difusor de luz requirió de resina automotriz de poliéster y silicón.

4.1.6.1 Piezas de fibra de carbono

Las piezas de fibra de carbono dan más protección y estética a las caras exteriores de la carrocería, que son las zonas más expuestas y tienen un contacto frecuente con el usuario.

La fibra de carbono también conocida como fibra de grafito o CF, es un material que consiste en fibras extremadamente finas sobre 0,005-0,010 mm de diámetro. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales microscópicos alineados paralelamente a lo largo del eje longitudinal de la fibra. La alineación de cristal hace la fibra muy fuerte y ligera incluso si miles de fibras de carbono son retorcidos juntos para formar un hilo, que se puede tejer para conformar una tela para propósitos estructurales de construcción (figura 4-49).

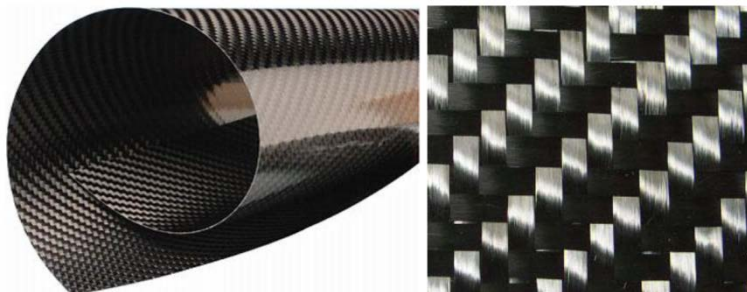


Figura 4-49: Presentación comercial de la fibra de carbono

Las propiedades de las fibras de carbono, tales como alta flexibilidad, alta resistencia a la tracción, el bajo peso, la tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica hacen muy popular en la industria aeroespacial, la ingeniería civil, militar, y los deportes de motor, junto con otros deportes de competición.

Las fibras de carbono generalmente se combinan con otros materiales para formar un material compuesto. Cuando se combina con una resina plástica y es moldeada se forma de fibra de carbono reforzado con plástico.

Para la preparación de las piezas de fibra de carbono primero se diseñó el molde positivo correspondiente en CAD. Tan pronto como se definieron las medidas, se construyó una plantilla acrílica para dar la forma adecuada a la pasta automotriz de poliéster. Después de lijar y aplicar varias veces más resina de poliéster se logró una forma lisa y continua necesaria para utilizarse como molde positivo (Figura 4-50).

El molde negativo (Figura 4-51) estaba hecho de fibra de vidrio y más pasta automotriz de poliéster para proporcionar la resistencia suficiente para un fácil manejo y para reducir cualquier posible deformación mientras se aplica la fibra de carbono.



Figura 4-50: Lijado del molde positivo

Al final se obtuvo un anillo de fibra de carbono grande con una superficie lisa (figura 4-52). Para dar una perfecta superficie brillante extra, se lijó y se pulió.



Figura 4-51: Molde negativo



Figura 4-52: Anillo de fibra de carbono

4.1.6.2 Piezas de aluminio

Para la estructura del monociclo, se consideró el uso de aluminio, ya que tiene la ligereza y la fuerza que necesitábamos para hacer una estructura portátil y resistente. También las piezas de aluminio proporcionan un aspecto atractivo para el usuario, dando la impresión de calidad y durabilidad al A0.

Una vez que todas las piezas de aluminio se han diseñado y optimizado, la producción se dividió entre los mexicanos y alemanes.



Figura 4-53: CNC (www.insidewoodworking.com)

4.1.6.3 Partes plásticas impresas

Después de haber hecho un análisis de la antropometría y la ergonomía que el Monociclo debe incluir, se hicieron dibujos de croquis para llegar a un enfoque que podría resolver las necesidades deseadas y que podrían alcanzar el consentimiento entre los miembros del equipo. Después de decidir un concepto final de cada parte, piezas sinterizadas fueron modelados en Rhinoceros exportados como archivos STL- y verificados en el software de impresión Z para asegurar que los volúmenes eran plenamente objetos cerrados. Se utilizaron dos máquinas para construir las piezas: la Objet Connex 500 (Figura 4-54) en donde se imprimieron las dos asas con su correspondiente botón y partes blandas del asiento, y la Fortus 900 (Figura 4-55) para la parte rígida de el asiento. Los materiales empleados para las manijas y botones estaban elaborados en VeroBlack FullCure870, para la parte de asiento blando se utilizó TangoBlack FullCure970, y para la parte asiento rígido se utilizó PC + ABS. Una vez que se imprimieron las piezas, se limpiaron en una máquina especial para lavar los materiales de soporte que evitan las piezas se colapsen durante la impresión (Figura 4-56).



Figura 4-54: Object Connex 500



Figura 4-55: Fortus 900

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-56: Piezas impresas

4.1.6.4 Difusor de luz

Para dar el efecto deseado en la iluminación (figura 4-57), se utilizaron franjas de LED (Figura 4.58), las cuales proporcionan la intensidad, el color y el bajo consumo de energía que se necesita y permitieron al mismo tiempo el efecto de una línea de luz continua a lo largo de la carrocería.



Figura 4-57: Luces del A1



Figura 4-58: Flanja LED

La forma redondeada de la carrocería y las curvas de las luces hizo necesario un difusor de luz que se le pueda ajustar a la pequeña abertura de la banda LED y que también podía ser fácilmente instalada en Múnich.

La solución fue utilizar un difusor translúcido flexible, que estaba hecho de plástico líquido claro. Eso permitió controlar la transparencia del difusor mediante la adición de la tinta blanca antes de la polimerización (Figura 4-59).

La cantidad de tinta blanca fue determinada experimentalmente utilizando directamente las franjas de LED que se utilizarían, teniendo en cuenta el espesor más pequeño del difusor y la distancia más corta entre el LED y el difusor. Se hicieron todas las pruebas de iluminación durante el día para asegurarse que proporcionaba una luz muy visible en cualquier momento.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-59: Difusor flexible translucido

El molde (Figura 4-60) estaba hecho de silicón para dar la mejor calidad de la superficie del difusor. Fue estructurado por resina de poliéster automotriz para dar suficiente dureza para el molde. Además se utilizó una gasa de algodón después de la aplicación de cada capa de silicón para dar resistencia mecánica y adherencia a la resina de poliéster automotriz.

El molde positivo (Figura 4-61) estaba hecho de tiras de madera que fueron finamente lijadas y preparadas para copiar las superficies más suaves posibles.



Figura 4-60: Molde del difusor



Figura 4-61: Molde positivo y negativo

4.2 Trabajo de los ingenieros

4.2.1 Prototipo de función crítica

4.2.1.1 Razones para construir un prototipo de función crítica

Con el fin de evaluar los tres posibles conceptos del monociclo en diferentes categorías como la operatividad, la manipulación, la realización de esfuerzos y la apariencia, se decidió construir un prototipo de función crítica. Este prototipo debe ser construido de una manera que permita probar todas las posiciones diferentes del conductor en los tres conceptos: de pie viendo hacia el frente, de pie viendo hacia un lado y sentado. Por esta razón, el simulador dispone de una rueda hueca, un asiento desmontable, una barra para el manubrio y una plataforma grande para probar todas las posiciones.

Además, este prototipo pretende ser la base técnica para el desarrollo del prototipo final, por lo que ya puede ser utilizado para manejarse y contiene todas las funciones básicas y los componentes de un monociclo eléctrico, probando así toda la electrónica y la transmisión. Otra tarea principal de este simulador es desarrollar el algoritmo de control.

4.2.1.2 Descripción del prototipo de función crítica

El prototipo se compone principalmente de una rueda, cojinetes grandes, un marco y una transmisión. Unido a la estructura hay un asiento y un manubrio. Todos los componentes electrónicos y la transmisión también están fijados a la estructura. Una placa de madera grande proporciona estabilidad y evita inclinarse excesivamente. Para evitar choques durante el desarrollo del control, el prototipo está equipado con ruedas laterales extraíbles. El modelo CAD y fotos del prototipo de función crítica se pueden ver en la Figura 4-62 y la Figura 4-63.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-62: Modelo en CAD del prototipo de función crítica

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-63: Prototipo de función crítica

4.2.2 Componentes eléctricos y electrónicos

Con el fin de estabilizar el monociclo, controlar el motor y proporcionarle energía, en general, para hacer funcionar el monociclo eléctrico, se utilizaron diferentes componentes eléctricos y electrónicos, en donde los más importantes son las baterías, el motor, el microcontrolador y los sensores. Para dar una primera impresión de cómo los diferentes componentes trabajan juntos, la Figura 4-64 muestra una visión general de las conexiones entre ellos. En la siguiente sección todos ellos serán descritos y explicados en detalle.

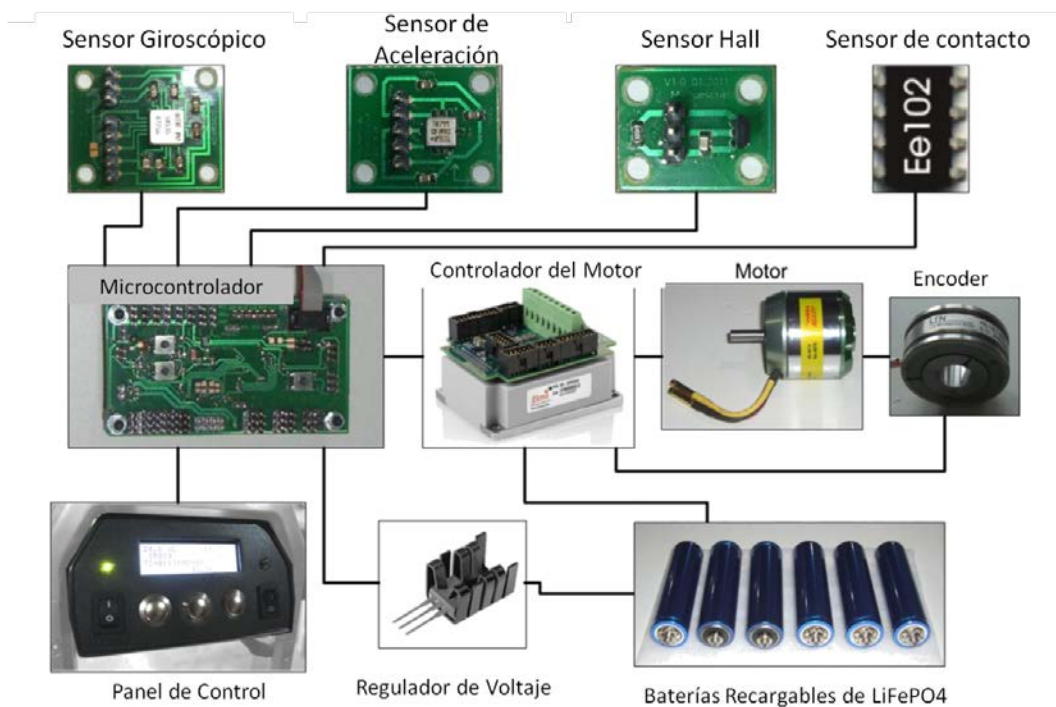


Figura 4-64: Esquema de componentes eléctricos y electrónicos

4.2.2.1 Motor y Controlador de Motor

Para equipar el monociclo con potencia suficiente se requiere de más de 1 kW (1,36 HP). Para tener la mayor libertad de movimiento y desplazamiento posible para el prototipo, era importante conseguir un motor pequeño y ligero.

En la mayoría de los vehículos eléctricos pequeños se utilizan motores “in wheel”, pero el problema con este tipo de motores es que necesitan ser colocados en el centro de la rueda, lo que limita la libertad de diseño y posibles posiciones del usuario.

Para permanecer preferiblemente flexible y ligero al mismo tiempo, fue elegido un motor síncrono sin escobillas mucho más pequeño y más ligero que un motor “in wheel”. Dicho pequeño motor (el diámetro exterior es de aproximadamente un tercio de un motor “in wheel”) se puede montar en casi todas partes, e incluso permite configurar una rueda hueca en el monociclo.

La decisión recayó en un motor sin escobillas Outrunner porque gira mucho más lento que un motor Inrunner produciendo así un mayor torque. Esto ayuda a reducir la complejidad en la caja de transmisión.

Al final, se utilizó el motor Outrunner Roxxy BI 6362/10, el cual proporciona 250 revoluciones por voltio (figura 4-65). Con seis baterías recargables de LiFePO4 proporciona un máximo de 4.800 revoluciones y tiene una potencia máxima de 1,7 kW.



Figura 4-65: Motor Roxxy BI Outrunner 6362/10

Para poder utilizar el motor y para controlar la velocidad y el par, se necesita un dispositivo de control que convierte la tensión de CC de las baterías a las tres fases de CA para el motor sin escobillas.

Este controlador de motor tiene que proporcionar todo el tiempo una señal de tensión con la frecuencia adecuada, la tensión y la corriente correspondientes a la velocidad real del motor, a la posición angular del motor y a la señal de par del microcontrolador. Esta parte tiene una influencia muy grande en la estabilidad de todo el circuito de control del monociclo.

Por este motivo se optó por un controlador de motor de alta calidad perteneciente al sector industrial. Elmo Solo Guitar AR 45/60R (Figura 4-66) controla una corriente máxima de 45A y controla directamente el par. La comunicación se realiza a través del protocolo RS232 y todos los ajustes se pueden hacer con un software para PC suministrado por el fabricante.



Figura 4-66: Controlador Elmo Solo Guitar AR 45/60R

A medida de que el controlador del motor necesita una retroalimentación acerca de la velocidad y el ángulo del motor, se necesita un sistema de medición que se acople al motor. En este caso se utilizó un Encoder de la empresa LTN Servotechnik (figura 4-67).



Figura 4-67: Encoder LTN Servotechnik RE 15-1

4.2.2.2 Baterías

Para suministrar energía eléctrica al monociclo se emplearon baterías recargables, pero en primer lugar se tuvo que escoger el tipo de tecnología más adecuada para la aplicación. Los tipos de batería estándar para este tipo de aplicaciones son las baterías NiMH2 o de iones de litio. La densidad de energía específica de las baterías de iones de litio es de 90-110 Wh/kg mucho mayor que la densidad de energía de las baterías NiMH con 30–80 Wh/kg. Como el peso es muy importante para el monociclo se optó por utilizar las baterías LiFePO4 Li-ion.

Las baterías de LiFePO4 comparten una gran cantidad de ventajas y desventajas con otras baterías de iones de litio, pero tienen una ventaja clave, ya que poseen una estabilidad térmica y química superior. Eso proporciona mejores características de seguridad que otras baterías de iones de litio. Por esta razón también se utilizan con éxito en bicicletas eléctricas.

Para disponer de suficiente tiempo para probar la electrónica y el control, se deben recargar completamente las baterías, por lo que se necesita de alrededor de 200Wh en total. Debido a que el motor funciona mejor en un rango de entre 20V y 40V, se requiere al menos de seis baterías LiFePO4 con una tensión de aproximadamente 3,2 V cada una.

Después de comparar una gran cantidad de diferentes tipos de baterías y considerando que deben ser capaces de proporcionar cerca de 100 A, se tomó la decisión de utilizar baterías Headway 38120, las cuales se pueden ver en la Figura 4-68.



Figura 4-68: Baterías Headway 38120

4.2.2.3 Microcontrolador

Para la selección de un microcontrolador (Figura 4-69), se listaron los requisitos más importantes que tendría que cumplir dicho dispositivo. El controlador debe tener al menos diez canales de entrada analógicos y diez digitales para obtener las señales de todos los sensores y los interruptores. Tiene que haber una salida de datos en serie para controlar una pantalla, un bus de comunicación UART para controlar el motor y por lo menos ocho canales de salida analógica para utilizar las funciones de auto-prueba de los sensores y encender las luces principales, luces de advertencia etc. Además el microcontrolador necesita algunos temporizadores internos para crear señales PWM y hacer cálculos. Por último, pero no menos importante, tiene que ser lo

suficientemente rápido para ejecutar un filtro Kalman en tiempo real y calcular las variables de control.



Figura 4-69: Miroposador ATmega2560 (<http://atmega2560-16au.katalog-tme.pl>)

Finalmente, se eligió el microcontrolador Atmel AVR de 8 bits ATmega2560, el cual está equipado con 16 canales PWM, en total siete temporizadores, una memoria flash programable de 256 kBytes y una velocidad de hasta 16MHz. Este procesador proporciona canales de suficiente velocidad, de memoria y de reserva para todos los tipos de señales de entrada y de salida que se necesitan. Por lo tanto, se puede utilizar para el simulador función crítica, así como para el prototipo final.

El ATmega se coloca en una tarjeta de desarrollo (Figura 4-70), en el que todas las entradas y salidas se encuentran disponibles por medio de “headers”, permitiendo una fácil conexión entre componentes. Para la programación del microcontrolador, se utiliza una interfaz USB.



Figura 4-70: Tarjeta del microcontrolador e interfaz de programación

4.2.2.4 Sensores

Con el fin de detectar las variables para el circuito de control, se necesitan diferentes sensores: El sensor de aceleración para el ángulo de inclinación, el sensor giroscópico para la velocidad angular de la estructura y el sensor Hall para la velocidad de rotación de la rueda. Los requisitos generales para todos estos sensores son, que sean resistentes, pequeños y ligeros, y que funcionen con una tensión de 5V.

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.2.2.5 Panel de control

Pantalla

La parte central del panel de control es la pantalla. Se utiliza para mostrar datos importantes como velocidad angular, la velocidad, la potencia del motor o el estado de la batería de una amigable. El componente electrónico EA DIP204J-4NLW de la figura 4-76 es una pantalla en blanco y negro que encaja muy bien en esta aplicación. Está equipada con cuatro líneas, con 20 caracteres en cada una y es lo suficientemente grande para mostrar todos los datos importantes. Su control se realiza por SPI a través del microcontrolador.

Panel de control

El panel de control utilizado en el A0 se puede ver en la figura 4-77 y consta de la pantalla, dos interruptores, tres botones y dos LEDs. Un interruptor es el interruptor principal de la electrónica, el otro se utiliza para activar el motor encendido y apagado. Los LEDs se iluminan cuando los interruptores están encendidos. Con los tres botones se pueden seleccionar diferentes características del monociclo, por ejemplo la posición inicial de los sensores se puede ajustar o los parámetros de control se pueden cambiar. El botón central se utiliza para navegar a través del menú, los botones exteriores se utilizan para cambiar la configuración de la característica seleccionada.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-77: Panel de Control

4.2.2.6 Luces

Por razones de seguridad y por tener un aspecto atractivo, las luces fueron incluidas a lo largo de la carrocería del monociclo. Indican al usuario de que el monociclo se enciende, pero sobre todo sirven para llamar la atención de los peatones y conductores en la calle.



Figura 4-78: Tira LED

Las luces utilizadas son una tira de LEDs de alta intensidad (figura 4-78), y su principal característica es que cada LED está conectado a un circuito impreso común flexible que se puede cortar a cualquier longitud. Esto proporcionó la oportunidad de fijar la banda a lo largo de la forma redondeada de la carrocería y dar el efecto deseado.

Los LEDs de color blanco puro se utilizan para la iluminación de los lados de la carrocería y la parte delantera, mientras que la parte trasera estaba equipada con LEDs rojos (4-79).

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-79: Luces del A0

Cada LED incluye su propia resistencia ultra-pequeña que se encuentra soldada a la banda, por lo que ahorra espacio y permite la fijación de la banda dentro de un espacio muy reducido. La tira LED funciona con 12V que se pueden tomar directamente de las baterías.

4.2.3 Construcción y optimización de las partes en CATIA V5

4.2.3.1 Principios básicos de construcción

El objetivo principal de la construcción es asegurar que las partes puedan cumplir sus tareas sin fallar. Para alcanzar esa meta, el ingeniero de la construcción tiene que trabajar por la directriz de diseño enfocada en la mecánica de sólidos:

Un producto tiene que soportar las diferentes cargas a las que es sometido. Las más importantes son las siguientes: No debe romperse o fatigarse (fuerza), no debe deformarse (esto también incluye la estabilidad y el comportamiento de vibración) o desgastarse ni corroerse. Una pieza ideal es una pieza que tiene el mismo nivel de estrés en todas partes. Para llegar lo más cerca posible a este estado ideal, el componente tiene que ser construido de acuerdo al flujo de fuerza y a la resistencia.

Todas las directrices de la construcción se pueden resumir en tres palabras:

1. Claridad: división precisa de las partes y de las funciones, definición clara de la fuerza, materiales y fluidez, cálculos basados en puntos de referencia claves.
2. Simplicidad: el menor número de piezas posible (menor fuentes de defectos), interfaces claras, dividiendo las estructuras complejas en módulos claros y simplificados.
3. Seguridad: La seguridad de los componentes (resistencia y durabilidad), la seguridad funcional (la función se debe cumplir de manera clara y segura), incluyendo también la seguridad ambiental (la influencia del ambiente en el producto y la influencia del

producto en el ambiente), así como la seguridad operativa (durante la manufactura y el uso del producto).

Dado que el presupuesto era limitado uno de los objetivos principales era minimizar los costos de producción, por lo que se utilizaron algunos principios básicos para la reducción de costos como:

- Evitar tolerancias estrechas
- Evitar espesores grandes
- Evitar piezas caras y piezas que requieran lubricación
- Evitar montajes complicados
- Evitar demasiadas piezas exclusivas para el desarrollo

También los costos de materiales se mantendrán lo más bajo posible.

El último principio que fue considerado durante la construcción fue un diseño compatible con el montaje. Eso significa:

- El producto se estructura en bloques de montaje que se pueden montar por separado y que, posteriormente, se pueden montar simultáneamente.
- Las operaciones de montaje deben ser las menos posibles y las más simples posibles. El orden de las operaciones de montaje o desmontaje dependerá de la situación.

4.2.3.2 Construcción con CATIA V5

Para la construcción de las partes estructurales del monociclo se utilizó CATIA V5. Cuando se terminaron las partes, fueron enviadas a los talleres como archivos .igs o .step para ser procesados en una fresadora CNC, o bien se crearon dibujos técnicos impresos y se entregaron para el fresado de las piezas en las máquinas sin interfaz CNC. Todos los dibujos técnicos se pueden ver en el Apéndice D

Dibujos técnicos

Los principales lineamientos que se siguieron durante la construcción son:

- Desarrollar una estrategia de construcción antes de comenzar la construcción (organizar la fabricación para poder realizar ajustes y pruebas lo antes posible).
- Utilizar la simetría de las piezas para reducir tiempo de maquinado.
- Elegir las referencias adecuadas para el establecimiento de medidas.
- Establecer las medidas adecuadas desde el principio.

Después de la construcción de las piezas entre los diseñadores e ingenieros, se optimizó el peso de cada una de ellas. Como presupuesto y el tiempo era limitado, era necesario simplificar las partes al máximo para mantener horas de mecanizado al menor tiempo posible.

Durante la construcción y optimización del peso, se utilizó la herramienta de análisis de elementos finitos de CATIA. En general, el análisis por elemento finito es un método de cálculo numérico para

los problemas en cuanto a la mecánica de medios continuos. Se utiliza cuando se aplican esfuerzos estáticos y dinámicos o térmicos en las piezas que se requieren estudiar. Para estos cálculos, la pieza se divide en pequeños segmentos, llamados elementos finitos, por lo que el utilizar la retícula más pequeña y proporcionará mejores resultados en los cálculos, sin embargo, entre más pequeña sea la retícula los cálculos tardarán más tiempo.

Para un buen resultado, las piezas fueron calculadas en pequeños ensambles de 2 o 3 piezas utilizando una estructura parabólica de pirámides triangulares con una longitud lateral de 1 mm. Después de los cálculos, Catia permite mostrar la máxima tensión y movimiento de traslación de la pieza. La tensión máxima se comparó con la tensión de fluencia del material utilizado y la seguridad se calculó para cada pieza utilizada que no era una pieza estándar. Con el movimiento de traslación de corroboró la veracidad de los cálculos.

4.2.4 Chasis

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.2.5 Funcionamiento de los mecanismos plegables

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.2.6 Diseño de la transmisión

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

4.2.7 Modelado del sistema y control

Este capítulo describe los procesos utilizados para modelar matemáticamente el sistema y desarrollar un régimen de control para estabilizar el monociclo. La sección de modelado de sistemas describe la derivación de las ecuaciones de movimiento para representar la dinámica del sistema.

La sección de control se describe los pasos para desarrollar un sistema de control completamente funcional para el monociclo. El diseño del controlador es explicado y muestra los pasos a seguir para desarrollar el control deseado.

4.2.7.1 Modelado del Sistema

En esta sección, se deriva la dinámica no lineal del sistema monociclo. Las consideraciones empleadas en esta derivación y la definición de términos son descritas a continuación.

Después de esto, la dinámica del sistema se deriva y se establece una relación entre la corriente de alimentación eléctrica y el par producido por el motor.

4.2.7.1.1 Dinámica del sistema

Las siguientes consideraciones se han realizado en la derivación del sistema dinámico con respecto al sistema coordinado mostrado en la figura 4-94.

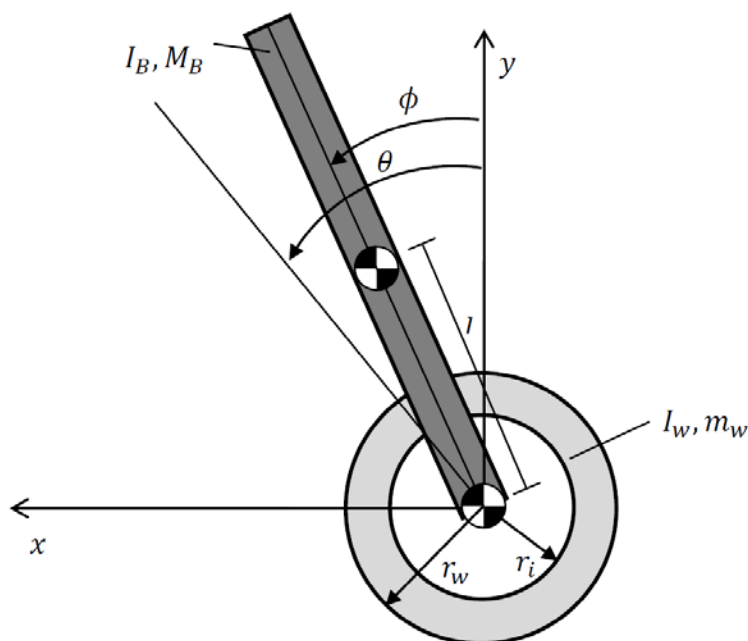


Figura 4-94: El sistema coordinado usado en la derivación del sistema dinámico

- El movimiento se restringe al plano x-y.
- Se utiliza una barra cilíndrica para modelar la estructura correspondiente al manubrio y el asiento, mientras que se utiliza un disco sólido para modelar la rueda.
- La fuerza fricción de coulomb producida entre los rodamientos y el contacto entre la rueda y el asfalto es despreciada, por lo que solo se considera la fricción viscosa.
- El motor es controlado por medio de un controlador electrónico por medio de corriente, de tal forma que la entrada de corriente se traduzca como un comando de torque.
- No existe pérdida de fricción entre la rueda y el asfalto.
- El modelado se define en términos de las coordenadas ϕ y θ , en donde:
- Φ es la rotación de la estructura con respecto al eje y.
- Θ es la rotación de la rueda con respecto al ángulo de la estructura.
- El origen del sistema coordinado derecho de se localiza en el centro de la rueda, como se muestra en la figura 4-94. La dirección positiva del eje x es hacia la izquierda, la dirección positiva del eje y es hacia arriba y la dirección positiva del eje z es hacia adentro de la hoja.
- Las dos dimensiones angulares ϕ y θ se considerarán positivas cuando la dirección de giro sea en sentido horario. El primer valor de la medición del ángulo de la estructura ϕ coincide con el eje y positivo y el ángulo de la rueda θ se mide con respecto a ϕ .
- De acuerdo con la figura 4-94, la tabla 4-2 define las constantes y variables usadas en el desarrollo del modelo matemático.

Nota: La presente tabla se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Tabla 4-2: Constantes y variables utilizadas

Las ecuaciones de Euler-Lagrange que describen el modelo dinámico en términos de energía están dadas por:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = F_i$$

Donde el lagrangiano \mathcal{L} es la diferencia de la energía cinética (T) y la energía potencial (U) del sistema:

$$\mathcal{L} = T - U \quad (5-2)$$

Las coordenadas generales q_i son en este caso θ y ϕ , y las coordenadas F_i son las fuerzas generalizadas:

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \theta \\ \phi \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

La energía cinética y la energía potencial de la rueda y de la estructura son T_w , U_w y T_b , U_b respectivamente.

$$T_w = \frac{1}{2}m_w x_w^2 + \frac{1}{2}I_w \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2}m_w (r_w \dot{\theta})^2 + \frac{1}{2}I_w \dot{\theta}^2 \quad (5-4)$$

$$U_w = 0 \quad (5-5)$$

$$T_B = \frac{1}{2}I_B \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}M_B (\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2) = \frac{1}{2}I_B \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}M_B (r_w^2 \dot{\theta}^2 + 2r_w \dot{\theta} l \cos \phi \dot{\phi} + l^2 \cos^2 \phi \dot{\phi}^2 + l^2 \sin^2 \phi \dot{\phi}^2) \quad (5-6)$$

$$U_B = M_B g l \cos \phi \quad (5-7)$$

Por consiguiente, la ecuación de Lagrange que se obtiene es:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}m_w r_w^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I_w \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I_B \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}M_B (r_w^2 \dot{\theta}^2 + 2r_w \dot{\theta} l \cos \phi \dot{\phi} + \cos^2 \phi \dot{\phi}^2 + l^2 \sin^2 \phi \dot{\phi}^2 - M_B g l \cos \phi) \quad (5-8)$$

$$= \frac{1}{2}m_w r_w^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I_w \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I_B \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}M_B (r_w^2 \dot{\theta}^2 + 2r_w \dot{\theta} l \cos \phi \dot{\phi} + l^2 \dot{\phi}^2) - M_B g l \cos \phi$$

$L(q') = \dots$ es el vector que describe la fricción viscosa, lo cual nos lleva a la expresión de las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange expresadas como:

$$\mathbf{M}(q)\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(q, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{G}(q) + \mathbf{L}(\dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5-9)$$

En donde la matriz de la masa $M(q)$, el vector de efectos centrífugos $C(\dot{q}, q)$ y el vector de fuerzas gravitacionales $G(q)$, son mostrados respectivamente en las ecuaciones (5-10)-(5-12).

$$M(q) = \begin{bmatrix} I_w + r_w^2(m_w + M_B) & M_B r_w l \cos \phi \\ M_B r_w l \cos \phi & I_B + M_B l^2 \end{bmatrix} \quad (5-10)$$

$$C(\dot{q}, q) = \begin{bmatrix} -M_B r_w l \sin \phi \dot{\phi}^2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5-11)$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} 0 \\ -M_B g l \sin \phi \end{bmatrix} \quad (5-12)$$

La ecuación (5-11) puede expresarse como:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I_w + r_w^2(m_w + M_B)} \left(\tau - M_B r_w l \cos \phi \ddot{\phi} + M_B r_w l \sin \phi \dot{\phi}^2 - (\mu_\theta + \mu_\phi) \dot{\theta} \right) \quad (5-13)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{I_B + M_B l^2} \left(-M_B r_w l \cos \phi \ddot{\theta} + M_B g l \sin \phi \right) \quad (5-14)$$

Las ecuaciones (5-9), (5-13) y (5-14) respectivamente, no son lineales, por lo que son linealizadas alrededor del punto $\phi = 0$ con:

$$\sin(\phi) = \phi$$

$$\cos(\phi) = 1$$

$$\dot{\phi}^2 = 0$$

Después de linealizarlas, las ecuaciones del sistema son:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I_w + r_w^2(m_w + M_B)} \left(\tau - M_B r_w l \ddot{\phi} - (\mu_\theta + \mu_\phi) \dot{\theta} \right) \quad (5-15)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{I_B + M_B l^2} \left(-M_B r_w l \ddot{\theta} + M_B g l \phi \right) \quad (5-16)$$

4.2.7.1.2 Dinámica del sistema electromecánico

En la dinámica del sistema electromecánico se estableció una entrada el torque del motor como una entrada del sistema. Sin embargo, en la práctica, el torque es controlado por el controlador del motor por medio de corriente, en donde existe una relación lineal entre la corriente suministrada al motor y el torque resultante:

$$\tau = k_M i$$

Donde τ es el torque del motor, $k_M=0.035$ (Nm/A) es la constante de torque del motor e i es la corriente suministrada al motor.

4.2.7.2 Variables de estado

El vector x del estado del sistema consiste de tres estados $\dot{\theta}$, ϕ y $\dot{\phi}$:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix}$$

Por consiguiente, la forma lineal del estado del sistema se obtiene de la ecuación 5-23.

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(I_B + M_B l^2)(\mu_\theta + \mu_\phi)}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} & -\frac{M_B^2 r_W g l^2}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} \\ 0 & 0 \\ \frac{M_B r_W l(\mu_\theta + \mu_\phi)}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} & \frac{(I_W + r_W^2(m_W + M_B))M_B g l}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{I_B + M_B l^2}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} \\ 0 \\ \frac{M_B r_W l}{I_W(I_B + M_B l^2) + I_B r_W^2 m_W + M_B(m_W r_W^2 l)} \end{bmatrix} \tau \quad (5-17)$$

Una vez utilizadas las constantes de la tabla 4-2 en la ecuación 5-17, se obtiene la forma final del estado del sistema.

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,03139 & -22,21 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,009176 & 7,769 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,1013 \\ 0 \\ -0,0296 \end{bmatrix} \tau \quad (5-24)$$

Y

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (5-25)$$

Este sistema fue implementado en Matlab/ Simulink para crear una simulación numérica de la dinámica del sistema. La figura 4-95 muestra el circuito abierto del sistema en Simulink con la forma del estado del sistema desde su salida.

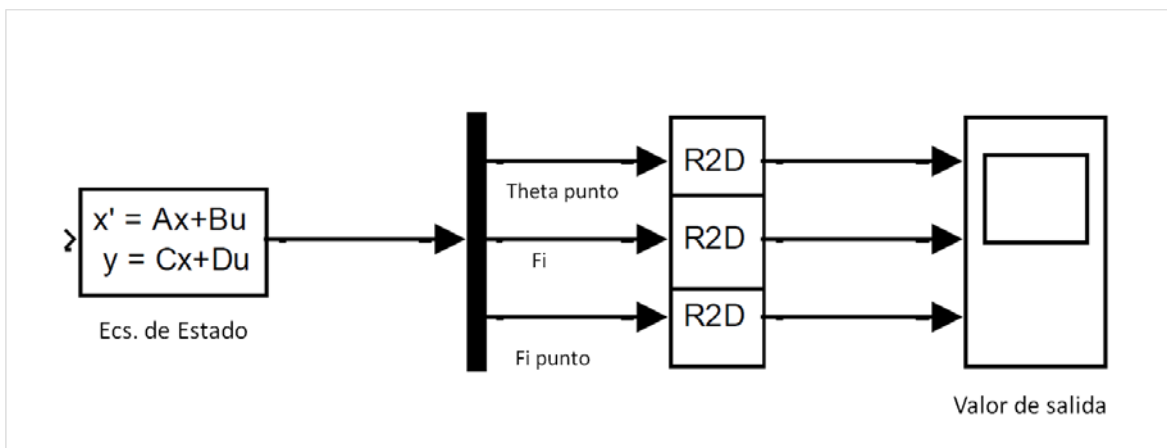


Figura 4-95: Circuito abierto del sistema del monociclo

Después del estado inicial de $X_0 = (0, \pi/180, 0)$ que significa que la estructura tiene un ángulo inicial ϕ de 1° con respecto a la vertical, en donde el sistema es altamente inestable, como se puede observar en la figura 4-96.

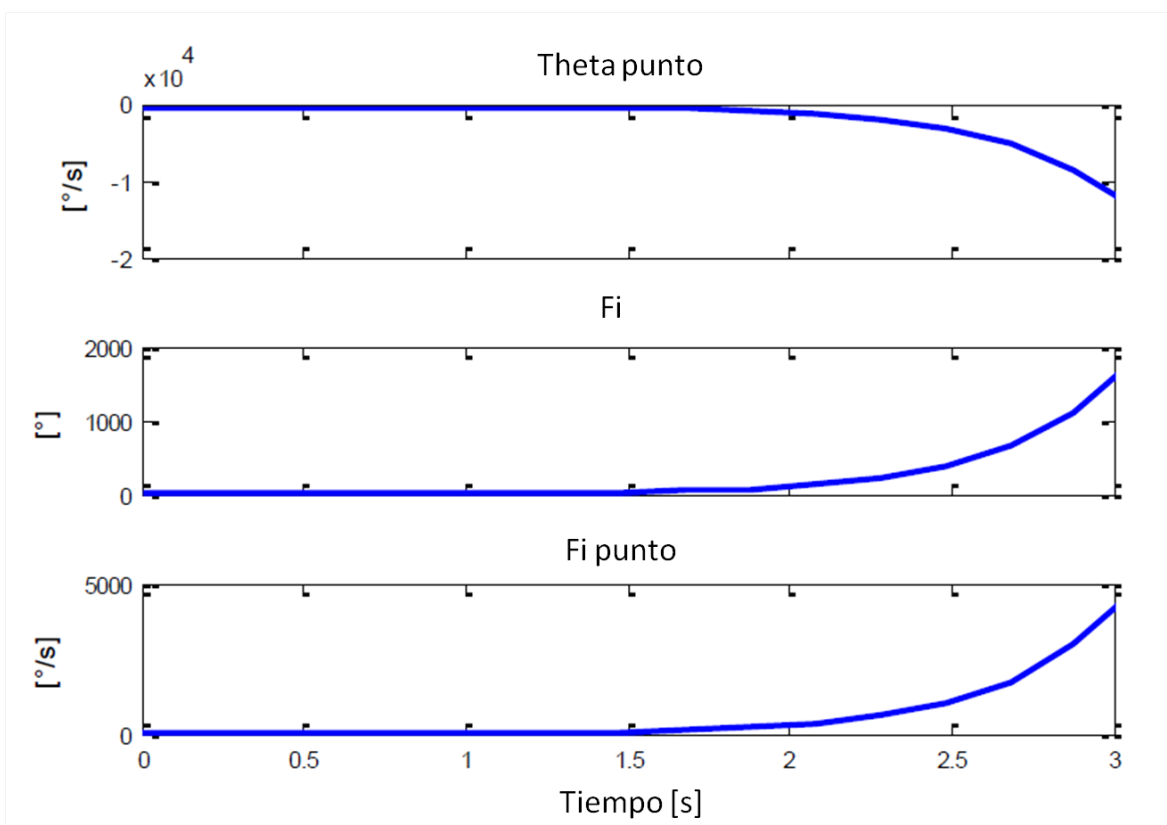


Figura 4-96: Respuesta inicial de estado altamente inestable

Lo cual muestra que el sistema requiere de un control sofisticado para hacerlo estable.

4.2.7.3 Sistema de control

El sistema de control es necesario para mantener la posición angular de la estructura, ϕ , en cero. Ya que solo se requiere controlar un estado, no se requiere de un sistema de varias entradas y salidas, por lo que se implementó un control PID.

Por lo tanto el estado del sistema fue simulado considerando una retroalimentación en Simulink. La Figura 4-95 muestra el modelo de Simulink. El bloque del retenedor de orden cero representa los cálculos discontinuos del microcontrolador, los cuales están hechos con una frecuencia establecida. Los bloques de ganancia rojos incluyen los valores del control PID.

Un aspecto importante del presente esquema es la ausencia de derivación antes del bloque de ganancia rojo "D", debido a la medida directa de la velocidad angular de la estructura. Los bloques de ganancia grises describen la constante del torque del motor y la relación final de transmisión obtenida. La saturación (bloque azul) es necesaria debido a que todos los motores tienen un límite de torque.

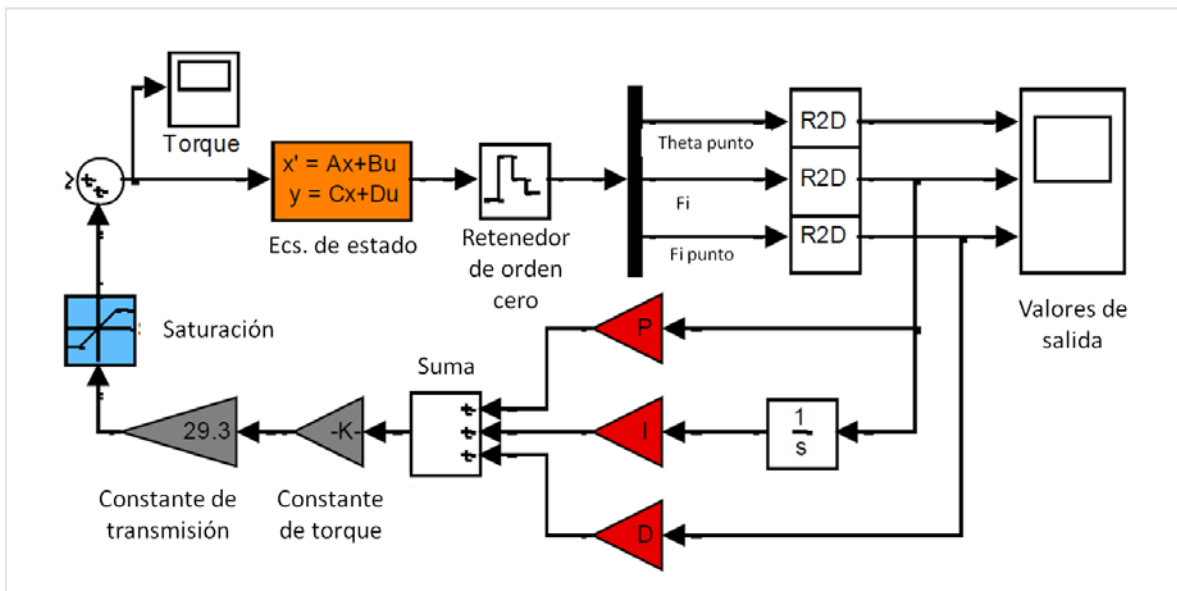


Figura 4-97: Sistema cerrado

El sistema de Simulink ilustrado en la figura 4-97 permite recibir ganancias los valores para las ganancias de P, I y D por medio de una simulación, en donde además es posible obtener la respuesta del sistema deseada. La figura 4-98 muestra una buena respuesta del sistema después de un estado inicial $X_0=[0,10^\circ,0]$.

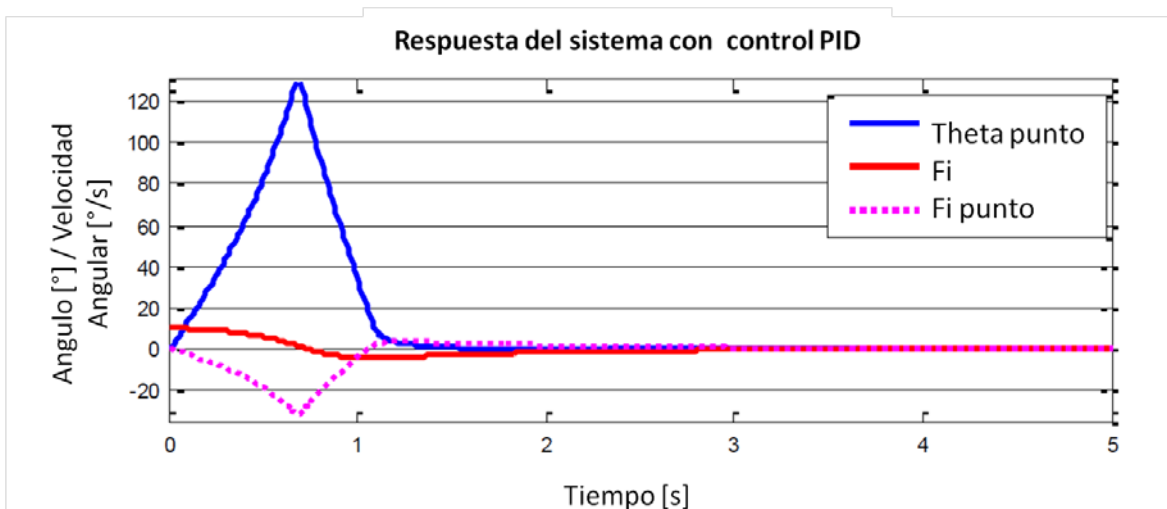


Figura 4-98: respuesta del sistema con un valor inicial de la estructura de 10°

4.2.7.4 Datos de los sensores

Como ya se ha mencionado, hay tres sensores diferentes para medir los datos. Estos son; el acelerómetro para medir el ángulo de inclinación de la estructura, el giroscopio para medir la velocidad angular de la estructura y un sensor Hall para medir las revoluciones del motor por minuto. La figura 4-99 muestra una visión general de dichos sensores.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 4-99: Sensores del monociclo

En general los sensores presentan un problema para mostrar el comportamiento exacto del monociclo, ya que los datos que recopilan son propensos a ruido en la medición y/o ruido en el procesamiento, por lo que los datos deben ser filtrados.

4.2.7.4.1 Datos sin filtrado

En la figura 4-100 se puede apreciar la medición del ruido del acelerómetro, manteniendo el acelerómetro inmóvil, sin embargo no se puede apreciar un valor constante en el ángulo medido. Sin embargo la desviación estándar calculada es de 0.1016° , lo cual es una desviación bastante pequeña.

La medición del ruido del giroscopio también es bastante pequeña, con una desviación estándar de $0.0289^\circ/\text{s}$.

Adicionalmente el giroscopio no es propenso a procesar el ruido, mientras que el acelerómetro es muy propenso.

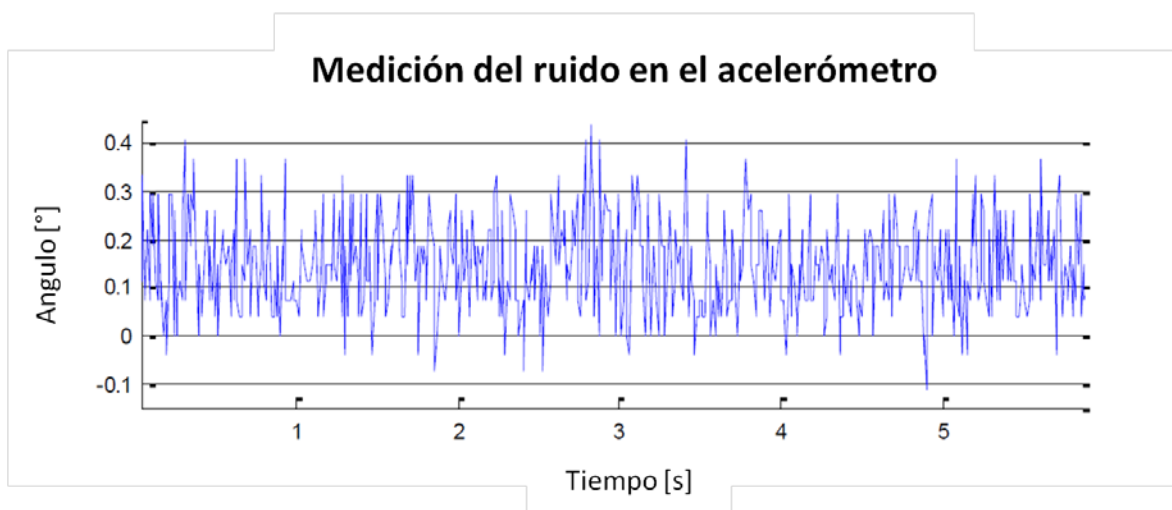


Figura 4-100: Medición del ruido en el acelerómetro

4.2.7.4.2 Datos filtrados

Para filtrar el acelerómetro y el giroscopio y generar una fusión entre ambos sensores, se utilizó un filtro Kalman. En la figura 4-101 se puede apreciar un esquema de funcionamiento del mismo.

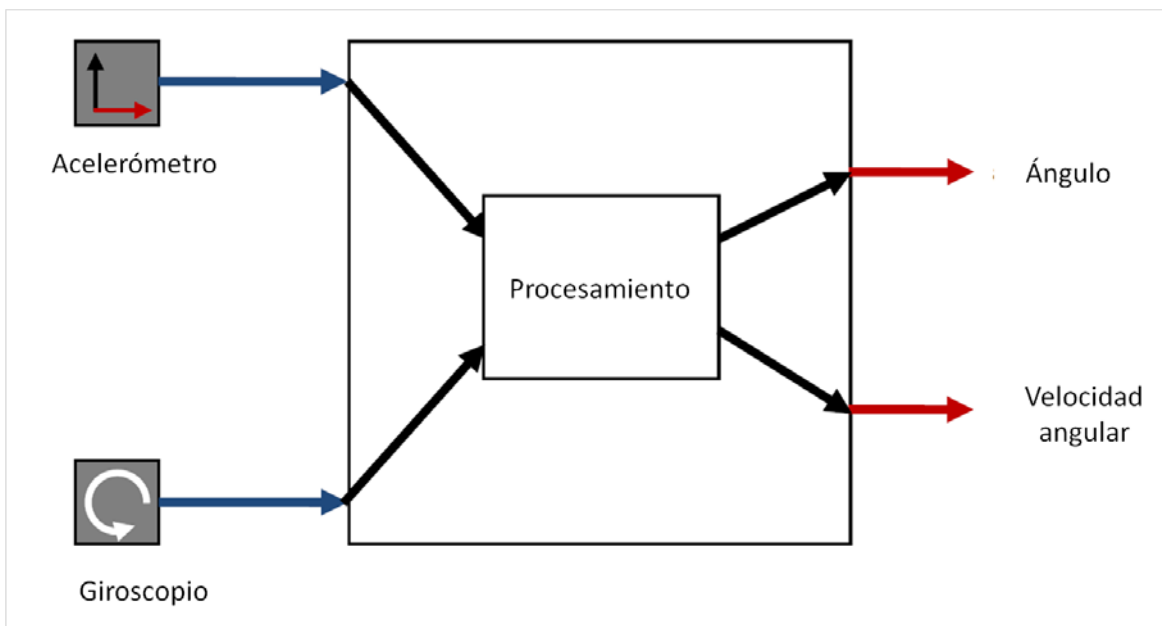


Figura 4-101: Fusión del sensado por medio del filtro Kalman

Con el filtro Kalman, el ángulo de inclinación ϕ de la estructura se filtra significativamente, como puede apreciarse en la figura 4-102, en donde la línea azul representa la medición sin filtrado y la línea roja representa la salida del filtro Kalman.

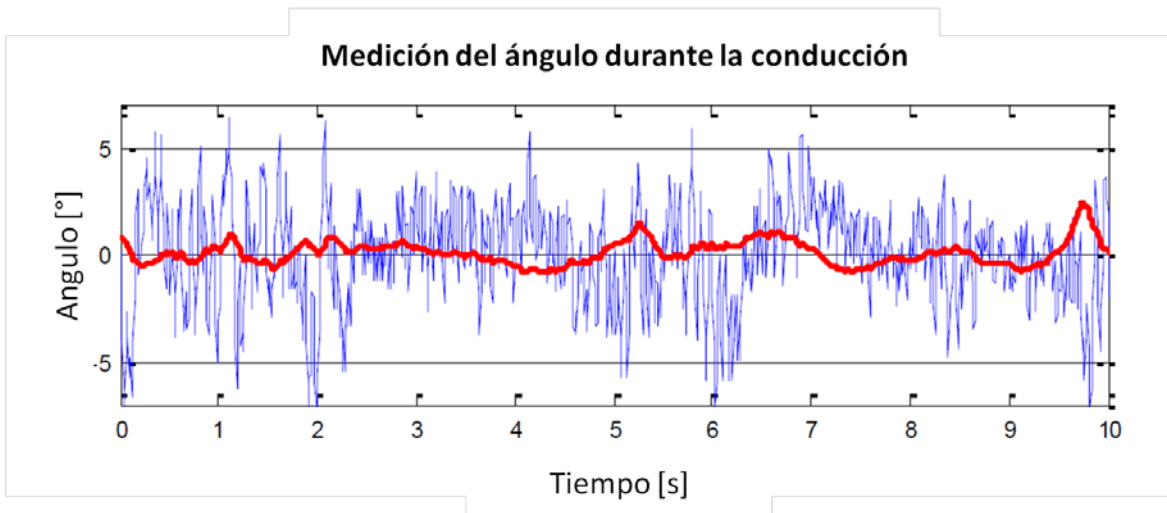


Figura 4-102: Ángulo medido durante la conducción del monociclo

Es importante mencionar que el monociclo no podría ser conducido sin antes filtrar las señales del acelerómetro y el giroscopio, ya que como se puede ver en la figura 4-102 el efecto del ruido generado sería bastante inconveniente en el procesamiento de la señal.

Una vez filtradas ambas señales, el siguiente paso fue implementar el algoritmo de control PID en el microcontrolador.

4.2.8 Programación

Para asegurar un adecuado y rápido desarrollo de la programación del monociclo, se escogió el lenguaje “C” para la programación del microcontrolador, ya que además de ser un lenguaje de programación poderoso con muchas funciones, es posible obtener códigos compactos y de rápida ejecución.

A continuación se describirán las funciones más importantes utilizadas para la programación del monociclo.

4.2.8.1 Lectura de la información de los sensores

Sensores como el sensor giroscópico ADXRS620 y el sensor de aceleración ADXL203 utilizados en el prototipo, transmiten una señal de salida de entre 0 y 5 volts, por otra parte el microcontrolador cuenta con algunas entradas que pueden medir este rango de voltaje por medio del Convertidor Analógico-Digital (ADC). Por lo que es posible leer los datos como un valor de 8 o 10 bits. En nuestro caso, nosotros utilizamos una señal de 10 bits, mientras que se leía múltiples veces por ciclo de reloj para aumentar la precisión del control.

Esto se logró por medio de la función “unit16_tADC_Read_More(char_adc_chanel, unit8_t_read_count)”.

Debido a que el ADC solo puede convertir un voltaje de una entrada, es necesario programar a l microcontrolador cual entrada debe usar a continuación. Esto se logra por medio del registro ADMUX.

La función “void switch_adc_chanel(char_adc_chanel)” cambia los bits del registro ADMUX para asegurar que el canal deseado va a ser leído.

4.2.8.2 Procesamiento de datos

4.2.8.2.1 Frecuencia de control

Un microcontrolador tiene varios temporizadores internos, los cuales cuentan cada ciclo máquina. El monociclo utiliza un timer de 16 bits, el cual puede contar 65535 ciclos. Debido a que esto no es suficiente para capturar 10ms de datos, los cuales se establecerán como la frecuencia de control, fue necesario implementar un preescalador.

EL bit CS21 en el registro del TCCR3B es cambiado a “1”, lo cual activa el preescalador de 8, lo que significa que cada 8 ciclos máquina el temporizador se incrementará en “1”.

EL registro OCR3A establece una salida de comparación, ya que cuando el temporizador alcanza el límite de comparación, el código principal se pausará y se ejecutará una rutina de interrupción. En este caso, dentro de la rutina de interrupción, el temporizador se reiniciará en cero, y la bandera de la frecuencia de control tomará el valor de 1.

Para asegurar que el control corre con la frecuencia establecida, el ciclo principal espera el cambio de la bandera de control para posteriormente correr todos los algoritmos de control. Por lo que el ciclo principal siempre estará sincronizado a la frecuencia de control.

4.2.8.2.2 Filtros y límites numéricos

Después de numerosas pruebas y análisis de los datos obtenidos, se escogieron diferentes filtros para aumentar el desempeño del control, como por ejemplo el cambio de datos sin filtrar, entre dos ciclos de control, proveniente del sensor de aceleración, está numéricamente delimitado a un valor teórico posible para reducir fallas ocasionadas por vibración o por ruido.

Además, la aceleración total está numéricamente delimitada por la aceleración terrestre. Estos datos pre filtrados son procesados con el filtro Kalman descrito en el apartado de control.

4.2.8.3 Salida de datos

4.2.8.3.1 Despliegue información en la computadora personal

Para lograr afinar los algoritmos de control, los filtros y asegurar una conducción suave y segura, fue necesario realizar un gran número de pruebas, para lo cual se requirió almacenar la información proveniente de los sensores.

En un principio, el almacenamiento de los datos provenientes de los sensores fue realizado con la memoria EEPROM interna del microcontrolador. El problema con este procedimiento es que el espacio de almacenamiento es limitado, por lo que no es posible recolectar varios datos al mismo tiempo.

Posteriormente se utilizó la comunicación RS232 para enviar los datos directamente a la PC, por lo que la cantidad de espacio disponible para el almacenamiento de datos aumentó drásticamente. Para usar el menor tiempo posible se escogió la velocidad de 500000 bits/s, lo cual se realizó en la inicialización de cada canal. El envío de bits se realiza por medio de la siguiente función:

4.2.8.3.2 Envío de comandos al microcontrolador

La parte más importante para poder controlar el monociclo es por medio de comandos enviados al microcontrolador.

Al principio esto se realizó con una señal PWM, permitiendo e interrumpiendo rápidamente el voltaje suministrado, controlando la duración de cada fase, controlando así la rotación del motor. Con el controlador del motor final, fue además necesario enviar los datos por medio del protocolo RS232, a diferencia de que el controlador del motor requiere de una velocidad fija de transmisión de datos de 19200 bits/s.

5 Ensamble Final en Múnich

Para la construcción del monociclo en Múnich se designaron diferentes tareas a cada miembro del equipo para poder terminar el monociclo para la presentación final. Las tareas a realizar se establecieron de acuerdo a las habilidades de cada persona y al plan de trabajo.

Adicionalmente, también se tenía que elaborar el video para la presentación, así como los posters para la exhibición posterior a la presentación (Figura 5-1). Además se tenía que diseñar y acondicionar el espacio para la exhibición.



Figura 5-1: Diseño de la presentación y los posters

5.1 Configuración de los componentes eléctricos

Nota: El presente apartado se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

5.2 Ajuste de las piezas de aluminio

Las últimas piezas ajustadas del monociclo fueron las piezas de aluminio manufacturadas en el taller de TUM, con lo que pudo realizarse el ensamble final.

Durante el ensamble de las piezas se hizo evidente que algunas de las tolerancias no fueron las que se le solicitaron al taller por lo que se procedió a limar y lijar cada una de las piezas correspondientes para obtener la forma y dimensión diseñada, en particular, se realizaron ajustes en los brazos telescópicos y en los mecanismos de sujeción. Fue de vital importancia mantener las tolerancias para que las piezas pudieran cumplir con su función de manera adecuada.

Desafortunadamente, las piezas fueron entregadas bastante defectuosas lo cual implicó bastante trabajo para su ajuste. Una vez que las piezas eran ajustadas se montaron en el monociclo por medio de tornillos, pegamento o soldadura.

5.3 Fijación de las piezas

Debido a que las piezas plásticas que conformaban el asiento, habían sido elaboradas en impresión 3D, no existía una hoja de especificaciones que nos permitiera determinar el mejor pegamento para adherir ambas superficies, por lo que se probaron diferentes pegamentos hasta encontrar el que proporcionara los mejores resultados.

La soldadura de los brazos telescópicos con el anillo de la rueda no representó ningún problema debido a que el aluminio seleccionado fue seleccionado para este propósito, la soldadura de las piezas fue realizada en el taller de manufactura de TUM. Una vez enfriadas las piezas de aluminio se procedió a ajustarlas por medio de una lijadora para eliminar la soldadura de unión que impide el correcto funcionamiento de las piezas o que les proporciona un acabado no deseado.

5.4 Preparación de las piezas plásticas

Una vez obtenidas las piezas plásticas, fue necesario darle los toques finales a la carrocería del monociclo. Las cubiertas de la rueda fueron elaboradas en impresión 3D por lo que necesitaron de diferentes ajustes antes de montarlas en la estructura del monociclo, por lo que se lijaron las superficies comenzando con lijas de 180 hasta 1500 para proporcionar el acabado deseado. Así mismo se limaron las orillas para ajustarlas correctamente a la estructura.



Figura 5-4: Ajuste de las cubiertas

Este ajuste fue de gran importancia para poder obtener un acabado uniforme y de alta calidad, sin embargo tuvo que ser realizado completamente a mano, como se puede apreciar en las figuras 5-4 y 5-5. Después se aplicaron varias capas de sellador para uniformizar las superficies. Posteriormente se lijaron nuevamente las imperfecciones más pequeñas con lijas de 800 a 1000 para obtener la apariencia deseada, y se aplicó una capa de promotor de adhesión para la mejor fijación de la pintura.



Figura 5-5: Lijado de las cubiertas

Para lograr la mejor calidad en la pintura de las cubiertas se aplicaron cinco capas de pintura automotriz y se lijaron nuevamente las pequeñas imperfecciones, para posteriormente aplicar dos capas de laca protectora. Finalmente se pulieron las cubiertas con cera para autos, proporcionándoles brillo y uniformidad.

5.5 Ajustes de la fibra de carbono

Adicionalmente a las piezas de plástico, las piezas de fibra de carbono también necesitaron ser ajustadas para que lucieran uniformes y acopladas a las piezas de plástico.



Figura 5-6: Piezas de fibra de carbono

Desde un principio se estableció que las piezas de fibra de carbono se construirían con dimensiones mayores a las requeridas por el diseño de tal forma que pudieran ser ajustadas en Alemania durante el ensamble final. Una vez que las cubiertas estaban listas, se procedió a ajustar las piezas de fibra de carbono presentándolas sobre las cubiertas para obtener la apariencia deseada. Los ajustes se relazaron con una herramienta rotativa portátil marca Dremel (Figura 5-6). Una vez ajustado el tamaño de las piezas de fibra de carbono, se procedió a lijarlas y a pegarlas en las cubiertas.

5.6 Modificaciones a la tira LED

La tira LED es flexible en la dirección en la que se enrolla, lo cual permite que se introduzca fácilmente en la rendija lateral de las cubiertas, sin embargo las curvas frontales y posteriores del monociclo son bastante pronunciadas para doblar la tira, y la dirección en la que tienen que ser deformadas se dificulta en gran medida ya que no están hechas para deformarse en dicha dirección.

Por esta razón fue necesario dividir la tira de LED's en secciones para soldarlas siguiendo un patrón curvo (Figura 5-7) para asegurar que ensamblaran correctamente en las rendijas de las cubiertas sin que se vieran desde la parte exterior. De esta manera se alcanzó el objetivo de luz indirecta que se planteó en un inicio.

Para conectar cada terminal se removió la capa aislante lijándola en sus extremos de cada sección y se soldó cuidadosamente en la pista correspondiente.



Figura 5-7 : Soldadura de las secciones de LED's.

La línea luminosa del A0 se dividió en dos tiras LED's para permitir que ambas carcasas fueran desensambladas fácilmente en caso de tener que arreglar alguna falla o para realizar mantenimiento a las partes eléctricas.

6 Presentación Final globalDrive Edición 2010-2011, Múnich, Alemania

6.1 globalDrive edición 2010-2011



Figura 6-1: Estudiantes participantes en el globalDrive 2010-2011

En la edición 2010-2011 del globalDrive edición 2011, las universidades extranjeras invitadas a colaborar con la Universidad Tecnológica de Múnich, fueron: la Universidad de Sao Paulo representando a Brasil, la Universidad Tongji representando a China, la Universidad Tecnológica de Nanyang representando a Singapur, y la Universidad Nacional Autónoma de México representando a México. Con lo que se conformaron cuatro equipos multidisciplinares, cada uno integrado por cuatro estudiantes alemanes y cuatro estudiantes extranjeros. Así mismo cada uno de los equipos contó con el apoyo y la supervisión de un patrocinador de la industria automotriz, así como un tema diferente para desarrollar.

De esta manera, el Instituto Tecnológico Automotriz, prepara a los alumnos internacionales para trabajar en un ambiente global y multicultural.

6.2 Presentación Final del A0

El 9 de Junio de 2011, se llevó a cabo la presentación final de todos los proyectos desarrollados en el programa globalDrive edición 2010-2011. Los cuatro equipos de estudiantes internacionales estaban listos para mostrar a los asistentes la conclusión de 8 meses de trabajo, investigación y desarrollo de cada uno de los temas que les fueron asignados.

La audiencia estuvo integrada por patrocinadores, directivos industriales, medios de comunicación, personal docente, compañeros amigos y familiares.



Figura 6-2: Escenario para la presentación final

A las 10 de la mañana, el Dr. Markus Lienkamp dio la bienvenida a todos los asistentes a la presentación, para posteriormente ceder la palabra a Richard Eckl, estudiante de doctorado, coach del equipo Aleman- Mexicano y organizador del evento, quien fue el presentador de cada uno de los equipos participantes.

El primer equipo en presentar su desarrollo fue el equipo Alemán-Singapurenses, con el proyecto titulado “Bike to go”, el cual se centró en el desarrollo de una bicicleta eléctrica, ligera y que podía ser doblada por la mitad para su almacenamiento y transporte. El desarrollo incluyó gran detalle y una excelente manufactura en fibra de carbono. Su funcionamiento también fue de gran calidad, ya que se realizó una prueba de funcionamiento durante la presentación. El resultado fue bastante admirable, lo cual se reflejó en las preguntas y los aplausos de los asistentes.

El segundo desarrollo en presentarse fue el proyecto del equipo Alemán-Chino titulado NEMO, el cual se enfocó en el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles exclusiva para usuarios Audi: Dicha aplicación le permite a los usuarios ingresar a una red social exclusiva para usuarios Audi, tener acceso a una agenda inteligente que les facilita la planeación de sus actividades diarias, y un planeador de rutas para compartir tu auto con otros usuarios Audi y así reducir el número de autos circulantes en la ciudad. El proyecto causó gran interés en la audiencia y captó la atención debido a la gracia y entusiasmo de los expositores.

Posteriormente, se realizó una pausa de 20 minutos antes de continuar con la presentación de los proyectos restantes.

Después de la pausa, fue el turno del equipo Alemán-Mexicano. La presentación comenzó con una breve explicación de la problemática que existe en torno a la movilidad urbana, relatando las actividades que realiza una persona todos los días, y haciendo énfasis en las incomodidades originadas al desplazarse por la ciudad. Luego se plantearon todas las ventajas que un transporte eléctrico, personal y portátil podría brindarle a la misma persona que se describió en un principio. Fue entonces cuando hizo su entrada Thomas Hierlinger (uno de los integrantes del equipo) a bordo del A0, dirigiéndose hacia el escenario a través de la explanada. Es ese momento la audiencia recibió al A0 con una gran ovación y poniéndose de pie, los comentarios y las fotografías comenzaron a fluir inmediatamente, todos querían ver el A0 funcionando.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 6-3: Presentación final del A0

Una vez que el A0 fue colocado sobre el escenario, el equipo comenzó a detallar sus características principales y el proceso de desarrollo, para finalizar con una invitación a toda la audiencia a observar de cerca A0 una vez concluidas todas las presentaciones.

Finalmente el equipo Aleman-Brasileño presentó su desarrollo "iHMI" el cual era una interfaz internacional hombre-máquina, la cual permitía que los conductores pudieran tener acceso a diferentes funciones durante su condición a través de un panel interactivo y una pantalla ubicada en el volante. Las funciones incluían juegos de esparcimiento, seguridad, agenda, etc. La presentación causó bastante interés en la audiencia y finalizó el ciclo de presentaciones.

Al final se invitó a los asistentes a observar detalladamente cada uno de los proyectos en su stand de exposiciones correspondiente. Fue entonces cuando varias personas del público se acercaron al A0 para observarlo a detalle y hacer las preguntas sobre su funcionamiento.

Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 6-4: El diseñador Klemens Rossnagel con el A0

El director de diseño de Audi, Klemens Rossnagel, quien propuso el tema a desarrollar, calificó al A0 como un excelente trabajo que superó sus expectativas, también mencionó que estaba completamente satisfecho con los resultados obtenidos, lo cual fue bastante gratificante para cada uno de los integrantes del equipo y cerró con broche de oro nuestra participación en el globalDrive 2010-2011.

6.3 Experiencias personales

Personalmente, este proyecto representó la etapa más importante en mi desarrollo académico y profesional, ya que me enfrenté a un reto planteado por la industria Automotriz, utilizando todas mis habilidades personales y mi conocimiento adquirido durante mi carrera académica.

Desde un inicio, el simple hecho de saber que yo podría participar en un proyecto universitario internacional, vinculado con una empresa tan reconocida como Audi, me pareció una oportunidad increíble que no podía desaprovechar, lo que me llevó a inscribirme como aspirante en la clase de “Diseño del Producto”. El proceso de selección fue bastante difícil por lo que tuve que enfocar todos mis esfuerzos para lograr ser seleccionado. Sin embargo, una vez aceptado como parte del equipo, tuve que esforzarme aún más para poder superar todos los retos que el desarrollo del proyecto implicó.

Durante el desarrollo del proyecto existieron diversos factores que influyeron en mayor o menor medida en el resultado exitoso del producto final, sin embargo, considero que el factor más importante fue la integración del equipo, y con esto me refiero al compañerismo entre cada uno de los miembros del equipo, tanto mexicanos como alemanes.

La constante comunicación, el respeto y la confianza entre todos los miembros del equipo, permitieron que pudiéramos enfocarnos en un solo objetivo, desarrollar un monociclo eléctrico innovador, pero también permitió que todo el equipo se pudiera adaptar a las situaciones imprevistas que fueron presentándose a lo largo de todo el desarrollo.

Mi aprendizaje durante el desarrollo de proyecto fue mayor de lo que me imaginé, ya que puse a prueba mis conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante mi carrera académica, sin embargo, el trabajar con diseñadores mexicanos y con ingenieros alemanes me permitió desarrollar al máximo mis capacidades para trabajar en equipo. De manera similar, el desarrollar un producto para una marca tan prestigiosa como Audi, me mostró las necesidades, prioridades y exigencias de una empresa internacional de vanguardia tecnológica.

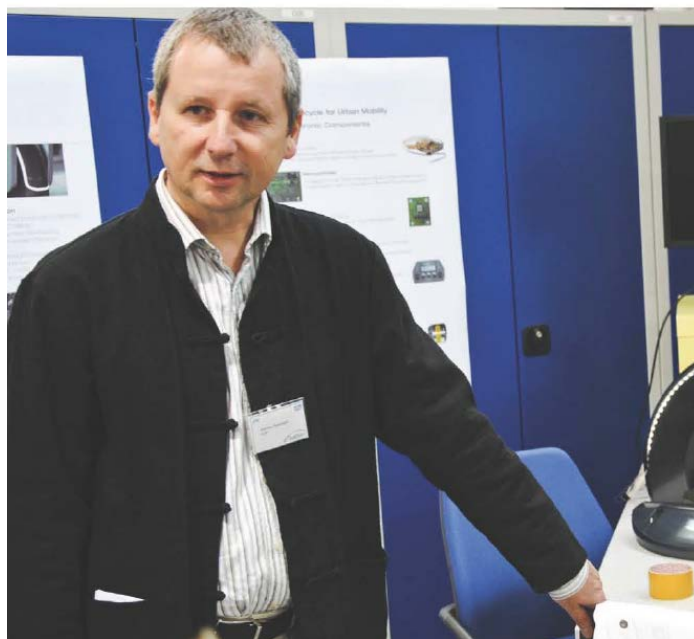


Figura 6-5: El diseñador Klemens Rosznagel en la exposición del A0

Adicionalmente de la enorme satisfacción que obtuve al concluir exitosamente este proyecto, y de todo el aprendizaje obtenido, también tuve la fortuna de ganar la amistad de mis compañeros de equipo mexicanos y alemanes, la cual espero que me acompañe durante toda la vida.



Figura 6-6: El equipo en Múnich, Alemania

Por todo lo anterior, considero que este tipo de proyectos son indispensables para la formación de cualquier universitario, particularmente, de cualquier ingeniero, ya que brindan la oportunidad de poner a prueba nuestros conocimientos, nos preparan para trabajar exitosamente en la industria, pero sobre todo, nos dan la oportunidad de lograr metas que jamás imaginamos, mostrándonos todo lo que somos capaces de lograr.

Es de vital importancia que la UNAM continúe realizando este tipo de trabajos en colaboración multidisciplinaria con empresas, pero más recomendable aún, sería que estas colaboraciones se incrementaran de tal manera que pudieran llegar a la gran mayoría de los estudiantes, e inclusive, que la simple colaboración en uno de estos proyectos fuera considerada como una opción de titulación dependiendo del resultado obtenido. De esta forma, la UNAM verdaderamente garantizaría la formación de profesionistas capaces de desarrollar tecnología.

7 Resumen y perspectivas

Las características de A0 fueron creadas para satisfacer todas las necesidades de un usuario AUDI, esto significa que el monociclo debe ser visualmente y tecnológicamente atractivo para todos, pero al mismo tiempo debe representar exclusividad y elegancia en cada detalle.

Para lograr todos estos objetivos el proyecto se basó en una investigación previa para conocer el estado del arte de los monociclos, identificando las oportunidades de mercado y las características más importantes que se deben considerar para el desarrollo. Adicionalmente, las encuestas a usuarios, los simuladores ergonómicos, y el prototipo de función crítica, proporcionaron información muy importante para fundamentar las decisiones más importantes como la mejor posición de conducción y las funciones que el monociclo debe incluir. Finalmente una inmersión detallada en los valores de Audi y sus características estéticas, marcaron la pauta para dirigir el desarrollo del A0.

Una vez definido el panorama tecnológico y el concepto principal, los siguientes pasos se enfocaron en el diseño y la producción de las partes necesarias para la realización del A0. Esto incluyó el uso de CAD, CAM y FEA para todas las partes estructurales y las cubiertas plásticas. Adicionalmente, el conjuntar los elementos mecánicos y eléctricos adecuados, con el software, el control y el correcto modelado del sistema, fue la pieza clave para lograr un vehículo auto-balanceable confiable, seguro y maniobrable. Por otra parte, la adaptación de métodos de manufactura a las necesidades del proyecto permitió producir las piezas especiales requeridas.

Durante el desarrollo del prototipo cada miembro del equipo se especializó en un aspecto en particular, pero todas las decisiones importantes fueron tomadas con el consentimiento de todos, fundamentadas con investigación y experimentación. Esto permitió que el equipo se sintiera cómodo con la dirección del proyecto, pero principalmente esta fue la clave para desarrollar un producto que requería de participación multidisciplinaria e interdisciplinaria.

Finalmente, después de 8 meses de trabajo continuo, se logró presentar un prototipo que tiene todas las características que se propusieron alcanzar para obtener un producto atractivo y funcional. Todo el equipo se esforzó al máximo para lograr el mejor resultado posible durante cada etapa del desarrollo.

Actualmente, el problema del transporte se ha acentuado cada vez más debido al incremento de la población en las grandes ciudades y la falta de espacios para estacionar los vehículos. Adicionalmente, todas las personas quieren aprovechar al máximo su tiempo para ser más productivos o bien para disfrutar más tiempo de sus actividades de esparcimiento. Es por esta razón que el A0 fue concebido, ya que el A0 permite llenar el hueco faltante en las necesidades de transporte actual y del futuro.

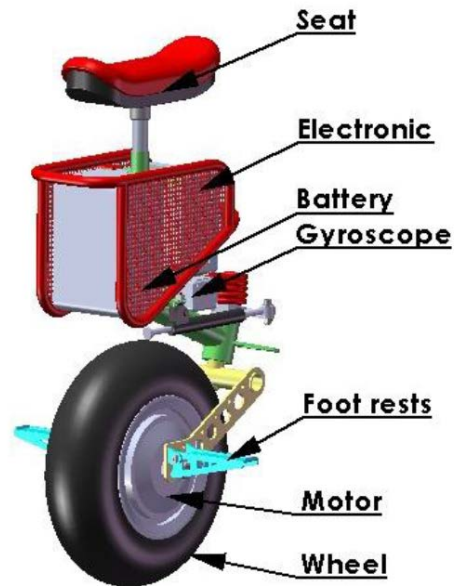
Nota: La presente figura se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Figura 7-1: A0

Apéndice A - Estado del Arte

1.- Unidades autobalanceables



Enicycle (<http://enicycle.com>)

2.- Monociclos de alta velocidad



Bombardier Embrio (concept, not realized) (<http://www.trendhunter.com>)



Hornet (concept, not realized) (<http://www.hardwareSphere.com>)

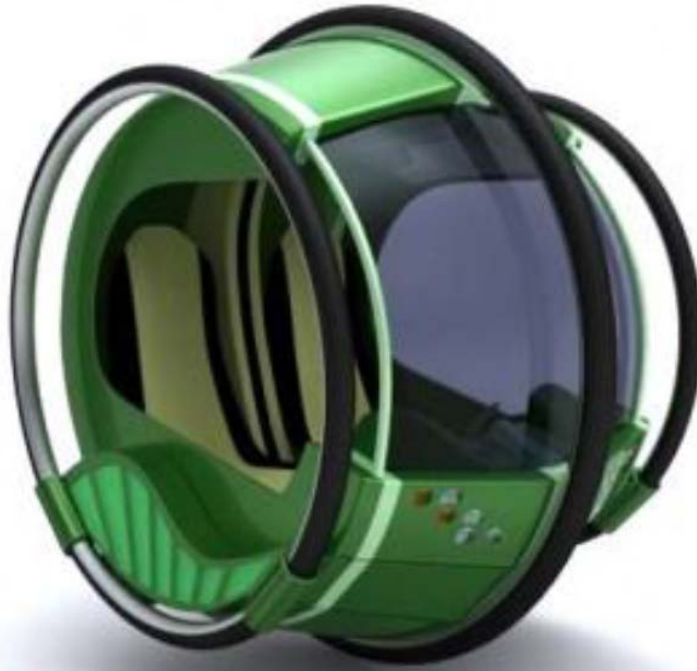
3.- Monociclos de ruedas grandes



WheelSurf (<http://giantmag.com>)



Restored 1924 Circus monowheel (<http://www.impactlab.net>)



eRinGo (concept, not realized) (<http://electricnick.com>)

4.- Monociclos pequeños de baja velocidad



iSlide (<http://www.engadget.com>)

5.- Otros monociclos



Orbis (concept, not realized) (<http://psipunk.com>)

Apéndice B - Encuesta

1.- Costumbres e el transporte

- 1.1 ¿Que tan lejos o cuánto tiempo tardas en transportarte de tu casa hasta la escuela/trabajo?
- 1.2 ¿Cuánto peso debes cargar cuando te diriges a la escuela /trabajo?
- 1.3 ¿Qué tan seguido utilizas un medio de transporte diferente a tu auto?
- 1.4 ¿Cuánto gastas en transportarte diariamente?
- 1.5 ¿Tienes problemas para encontrar lugares de estacionamiento en tu escuela/trabajo?
- 1.6 ¿A dónde te transportarías si contaras con un transporte personal?
- 1.7 ¿Cuál es tu transporte diario y por qué lo usas?
- 1.8 ¿Cuál es la velocidad mas baja a la que estarías dispuesto a transportarte utilizando un vehículo en vez de caminar? (Caminamos a 4km/h y corremos a 10Km/h)

2 Seguridad en el transporte

- 2.1 ¿Qué opinas de a cerca de la seguridad del transporte que tu utilizas?
- 2.2 ¿Cuál consideras que es el transporte más peligroso y el más seguro?
- 2.3 ¿Qué opinas a cerca de las calles en la ciudad de México?
- 2.4 ¿Qué piensas a cerca de la seguridad con respecto a los vehículos pequeños que transitan en las calles de la ciudad de México?
- 2.5 ¿A qué velocidad viajarías cómodamente en un transporte personal pequeño?
- 2.6 ¿Cómo te sentirías si manejaras un transporte personal pequeño en la banqueta en lugar de en la calle?
- 2.7 ¿Qué características de seguridad consideras de debe tener un transporte personal pequeño?

3 Experiencias y sentimientos

- 3.1 ¿Cuál es tu opinión acerca del transporte público?
- 3.2 ¿Cuánto dinero estas dispuesto a gastar para adquirir un transporte eléctrico individual?
- 3.3 ¿Qué tan importante es la velocidad de diferentes vehículos para ti?
- 3.4 ¿Qué le modificarías a una bicicleta o a una motocicleta para mejorarla?
- 3.5 ¿Cuánto tiempo usas para desplazarte en la ciudad a pie?
- 3.6 ¿Cómo te sentirías si fueras un conductor atorado en el tráfico, mientras observas un vehículo eléctrico que se desplaza libremente por la banqueta?
- 3.7 ¿Qué reacción esperarías de tus amigos si te vieran conduciendo un vehículo innovador?
- 3.8 ¿Qué tan importante es el tamaño de un vehículo individual?

4 Preguntas generales

- 4.1 ¿Te sientes seguro cuando usas tu vehículo?
- 4.2 ¿Qué es lo que no te gusta de tu vehículo?
- 4.3 ¿En algunas ocasiones te gustaría que tu vehículo fuera más pequeño?
- 4.4 ¿Qué te gusta de tu vehículo?
- 4.5 ¿En qué caso cambiarías tu motocicleta por un vehículo de una sola rueda?

Apéndice C

Simulador Ergonómico – Tablas de resultados

1 Ambos pies dentro de la rueda:

	Feet distance	Handle Hig	Arm angle	Leg angle	Handle angle
1	21.1	89.8	11	5.1	103
2	16.6	83	15.7	4.2	104
3	18.6	101	20	4.9	96
4	28	85	15	14	84
5	19.6	115	24	5	111
6	19	126	18	12.3	109
7	20	88	46	6.6	98
8	21	90	11	5	107
9	18.9	86.4	13.4	4.7	103.5
10	17.6	92	17.9	4.6	100
11	23.3	93	17.5	9.5	90
12	23.8	100	19.5	9.5	97.5
13	19.3	120.5	21	8.7	110
14	19.5	107	32	9.5	103.5
15	20.5	89	28.5	5.8	102.5
16	19.9	88.2	12.2	4.8	105.3
17	18.2	89.2	15.6	4.6	101.8
18	20.5	92.5	17.7	7	95
19	23.6	96.5	18.5	9.5	93.8
20	21.6	110.3	20.3	9.1	103.8

2 Ambos pies fuera de la rueda

	Feet distance	Legs angle	High	Arm angle	Handle high	Arm angle
1	59.7	76.3	165	171	85.3	101
2	55.7	76	170	134	94.9	84.6
3	60.7	73.4	165	156	99.1	89
4	55.9	80.4	148	124	80.6	97.3
5	57	80.5	179	131	106.7	89
6	61.3	74.1	181	135	113.7	101
7	56.2	74.1	156	133	93.7	83.1
8	55.5	81	169	163	87.4	103
9	57.7	76.2	167.5	152.5	90.1	92.8
10	58.2	74.7	167.5	145	97	86.8
11	58.3	76.9	156.5	140	89.9	93.2
12	56.5	80.5	163.5	127.5	93.7	93.2
13	59.2	77.3	180	133	110.2	95
14	58.8	74.1	168.5	134	103.7	92.1
15	55.9	77.6	162.5	148	90.6	93.1
16	56.6	78.6	168.3	157.8	88.8	97.9
17	58	75.4	167.5	148.8	93.6	89.8
18	58.3	75.8	162	142.5	93.4	90
19	57.4	78.7	160	133.8	91.8	93.2
20	57.8	78.9	171.8	130.3	101.9	94.1

3 Un pie afuera y un pie adentro de la rueda

	Feet distance	Handle high	Arm angle	Legs angle	Handle angle
1	42	88	20	16	104
2	46.8	96	46	16	101
3	41	102	42	15	109
4	44	85	27	25	82
5	44.6	114	23	16	112
6	41.2	121	21	11.5	96
7	46	111	59	17.2	96
8	43	90	15	18	104
9	44.4	92	33	16	102.5
10	43.9	99	44	15.5	105
11	42.5	93.5	34.5	20	95.5
12	44.3	99.5	25	20.5	97
13	42.9	117.5	22	13.8	104
14	43.6	116	40	14.4	96
15	44.5	100.5	37	17.6	100
16	43.7	91	24	17	103.3
17	44.2	95.5	38.5	15.8	103.8
18	43.2	96.3	39.3	17.8	100.3
19	43.4	96.5	29.8	20.3	96.3
20	43.6	108.5	23.5	17.1	100.5

4 De pie

	High	High handle	Arm angle
1	173	102	140
2	172	98	153
3	176	94	155
4	157	98.6	133
5	189	125	155
6	190	111	139
7	160	96.2	122
8	173	103	141
9	172.5	100	146.5
10	174	96	154
11	166.5	96.3	144
12	173	111.8	144
13	189.5	118	147
14	175	103.6	130.5
15	166.5	99.6	131.5
16	172.8	101.5	143.8
17	173.3	98	150.3
18	170.3	96.2	149
19	169.8	104.1	144
20	181.3	114.9	145.5

Apéndice D - Planos Constructivos

Nota: El presente Apéndice se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Apéndice E - Electrónica

Nota: El presente Apéndice se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

Apéndice F - Código de Programación

Nota: El presente Apéndice se mantiene en calidad de confidencial, ya que contiene información detallada que no puede ser divulgada públicamente, debido a los convenios de confidencialidad establecidos con Audi.

Para mayor información, favor de consultar el documento completo que se encuentra en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM, bajo el resguardo del Dr. Ing. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.