



Centro de Investigaciones
de Diseño Industrial



VEHÍCULO ELÉCTRICO PERSONAL CON TECNOLOGÍA DE AUTOBALANCEO

2016

ALFONSO
GONZÁLEZ
FIGUEROA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Centro de Investigaciones
de Diseño Industrial



VEHÍCULO ELÉCTRICO PERSONAL CON TECNOLOGÍA DE AUTOBALANCEO

Titulación por actividades de investigación

Tesis Profesional que, para obtener el Título de
Diseñador Industrial presenta:

Alfonso González Figueroa

Dirección

Dr. Carlos Daniel Soto Curiel.

Asesoría de

Dr. Vicente Borja Ramírez,

M.D.I. Miguel de Paz Ramírez,

M.D.I. Mauricio Moyssen Chavez y

D.I. José Luis Alegría Formoso.

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX, 2016

*Declaro que este proyecto de tesis es totalmente de mi autoría
y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra
Institución Educativa y Autorizo a la UNAM para que publique
este documento por los medios que juzgue pertinentes.*

Coordinación de Exámenes Profesionales
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

El director de tesis y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar la tesis del alumno

NOMBRE GONZALEZ FIGUEROA ALFONSO No. DE CUENTA 305749565

NOMBRE TESIS VEHICULO PERSONAL CON TECNOLOGÍA DE AUTOBALANCEO

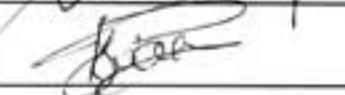
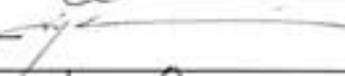
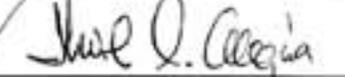
OPCIÓN DE TITULACIÓN ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de EL REPORTE DE INVESTIGACIÓN, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

Examen Profesional que se celebrará el día de de a las hrs.

Para obtener el título de DISEÑADOR INDUSTRIAL

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, D.F. a

| NOMBRE | FIRMA |
|--|---|
| PRESIDENTE DR. CARLOS DANIEL SOTO CURIEL |  |
| VOCAL M.D.I. MIGUEL DE PAZ RAMIREZ |  |
| SECRETARIO DR. VICENTE BORJA RAMIREZ |  |
| PRIMER SUPLENTE M.D.I. MAURICIO MOYSSEN CHAVEZ |  |
| SEGUNDO SUPLENTE D.I. JOSE LUIS ALEGRIA FORMOSO |  |

ARQ. MARCOS MAZARI HIRIART
Vo. Bo. del Director de la Facultad



CONTENIDO

| | |
|-----|--|
| 1 | INTRODUCCIÓN Actividades |
| 10 | DEFINICIÓN Objetivo / Alcances / Equipo de Trabajo |
| 13 | ANTECEDENTES El transporte y el paradigma del automóvil / Tecnologías actuales en la industria del transporte / Segway / Urbanización y motorización |
| 45 | INVESTIGACIÓN Sistema de control / Situación tecnológica actual / Etapa de Ingeniería / Primer etapa de diseño, bocetos / Construcción de Simulador y Prototipo / Ergonomía |
| 113 | PROPUESTAS Ideas y bocetos / Modo de uso / Materiales y procesos revisados |
| 145 | CONCLUSIÓN Propuesta Final / Definición por módulos / Costos / Últimas Palabras |
| 203 | ANEXOS |
| 231 | REFERENCIAS |
| 235 | PLANOS |

Agradecimientos y dedicatorias

A mis padres y mi hermano, a los que les debo todo y sin los que no sería lo que soy, gracias por su apoyo incondicional.

A Tan, que me ha dado muchos ánimos en todo sentido, muchas enseñanzas y muchos buenos momentos.

A mi familia entera, tíos, primos y sobrinos; y a los que se han ido sumando poco a poco.

A mis maestros queridos, que durante el transcurso de mi crecimiento me han enseñado tanto de la profesión, con felicitaciones y coscorriones. Gracias Carlos, Vicente y Miguel por su comprensión y paciencia; Mau Moy, Japi, y Lucho por sus pláticas y su guía.

A Arturo Treviño y Gerardo Guizar.

A dos grandes en particular, Fer Martín Juez y Susana Brun, de los que he aprendido infinidad de cosas.

A MACH por su cariño y su apertura siempre.

A la UNAM y al CIDI, por todos estos años de aprendizaje y maduración.

A tantísimos amigos que han estado ahí, en especial a Cuau, Sebas, Daniel, Diego, Emiliano, Dave, Joche, a los Lozas y a Lauro.

A toda la bandota montañista y escaladora.

A Eliud, Mele y Eduardo.

A Roberto Hegeler y MAGROUND.

Y finalmente, ¡a Los Mostachos y a los de la Manzanilla!

Ficha Técnica



La preocupación por el estado de la movilidad interurbana es el motor principal del desarrollo de este vehículo, así como las tecnologías actuales de autobalanceo que se encuentran hoy en día en constante evolución y mejora.

El proyecto planteado en este documento es el resultado de una investigación concerniente a temas de ingeniería mecatrónica, el *estado del arte* sobre los vehículos personales dentro de las ciudades y las tecnologías que están involucradas en ello; así también sobre desarrollo de nuevos materiales y tecnologías de producción.

El resultado fue un vehículo eléctrico prospectivo de uso personal, que en un contexto urbano redujera los costos energéticos y de desgaste socio-medioambiental que propician los vehículos de combustión interna, en específico del automóvil.

Una de las ventajas de este vehículo a diferencia de su principal competencia, *Segway*, es el de tener asiento y estribos que permiten a los usuarios tener una altura de visión similar a la que tienen estando de pie, otro de los beneficios es que cuenta con un área de carga inherente al cuerpo del vehículo, es decir que no tiene un accesorio extra para guardado, como lo suponen otros vehículos afines.

El mercado al que se dirige es de un nivel socio-económico menor al que esta dirigido el *Segway*, sin embargo se propone también que se pueda introducir como un vehículo de renta por parte de una iniciativa gubernamental o privada, como el sistema de bicicletas que tienen varios países.

En la asesoría del proyecto estuvieron siempre presentes el Dr. Carlos Soto Curiel y el Dr. Vicente Borja Ramírez, mismos que fueron guiándome principalmente durante el proceso de la propuesta de producción, junto con M.D.I. Miguel de Paz Ramírez, M.D.I. Mauricio Moysen Chavez y D.I. José Luis Alegría Formoso.

I

INTRODUCCIÓN

"[...] new vehicles will need to be designed specifically, from new perspectives of architecture, energy, ecology, city planning and urban design".

*"[...] los nuevos vehículos deberán ser diseñados específicamente, desde una nueva perspectiva de arquitectura, energética, ecológica, planeación y diseño urbano" en *Reinventing The Automobile, Personal Urban Mobility for the 21st Century*, MIT Press.*



Introducción

La necesidad de viajar y la creación de sistemas para trasladarse con mayor libertad de un punto a otro han formado parte de la historia humana desde siempre. Desde la invención de la rueda como hito histórico de locomoción, la domesticación de caballos y su consecuente sustitución por transportes mecánicos producidos en masa, el transporte personal, o público, es la respuesta a nuestro deseo de movernos, a nuestra curiosidad, a hallar nuevos recursos y a interactuar.

Dentro y fuera de las ciudades el transporte ha mejorado nuestra movilidad personal. El automóvil, en especial, nos ha ayudado a tener mejor acceso a trabajos, bienes, y servicios; sin embargo, en la búsqueda de una mejor movilidad hemos dañado nuestro medio ambiente, agotado algunos recursos naturales, perdido nuestro tiempo en el tráfico y creado diferencias sociales notables entre tener y no-tener.

El interés por cambios paradigmáticos para los vehículos de cuatro ruedas, la reducción en uso de materiales o aprovechamiento de los mismos y el desarrollo de nuevos principios tecnológicos como el de autobalanceo y baterías eléctricas han sido algunos de los temas centrales en materia de transporte para el siglo XXI.

La no tan reciente llamada de atención sobre los problemas ecológicos mundiales ha creado un clima donde los consumidores y productores han girado la vista hacia automóviles híbridos y los gigantes de la industria han empezado a replantear el automóvil por un transporte interurbano.

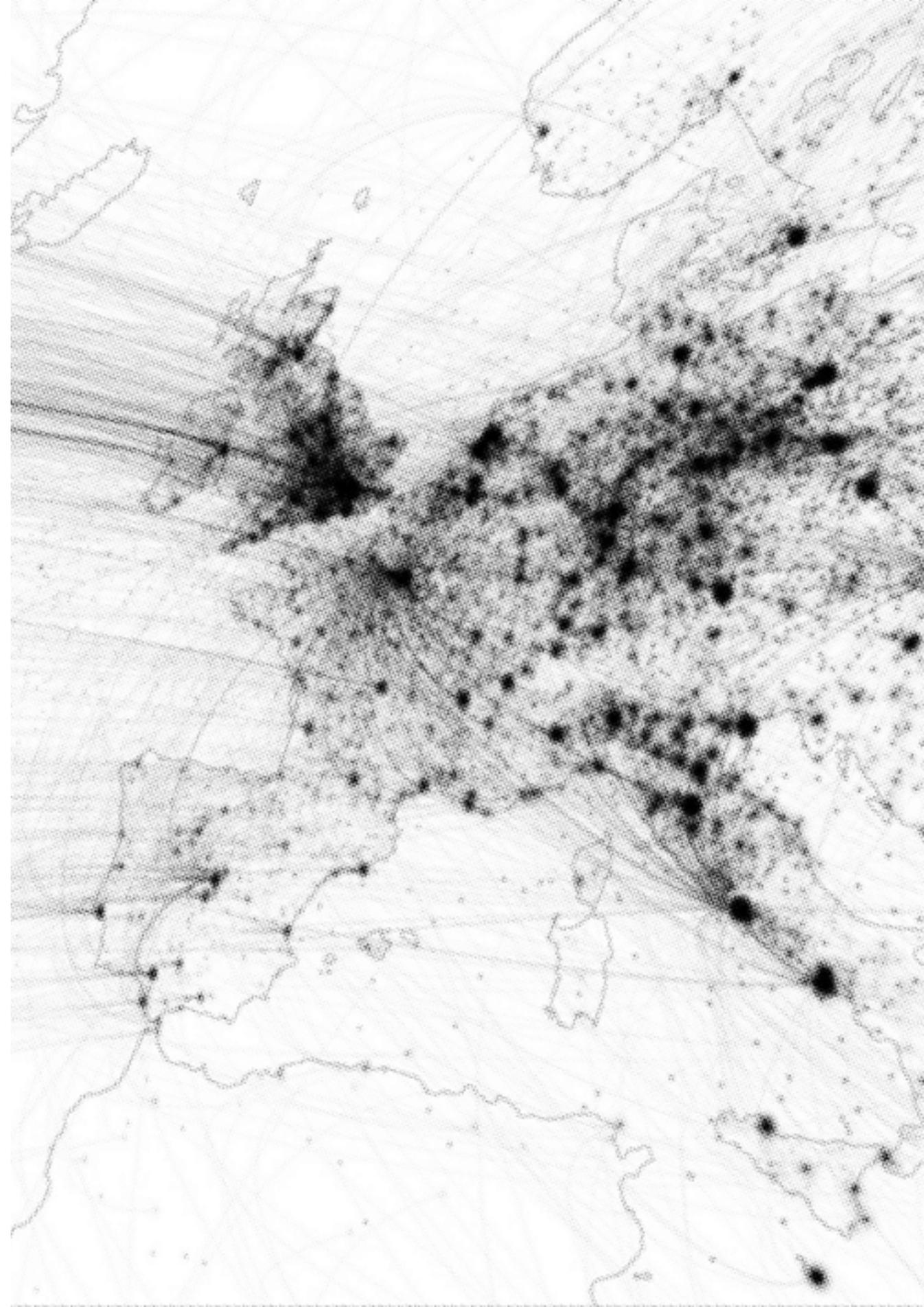
Como ejemplo de nuevas opciones de transporte el *Segway Personal Transporter* es un vehículo eléctrico personal de dos ruedas laterales que se maneja estando de pie y el cual mantiene balanceado al usuario gracias a varios dispositivos electrónicos. Inventado por Dean Kamen en 2001 me atrevo a decir que es un invento que revolucionará en un futuro próximo la manera en que pensamos los vehículos urbanos.

Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido es el nombre original del proyecto cuyo objetivo primario fue desarrollar un transporte personal para un contexto urbano, transitable para peatones o vehículos que compitiera en términos de mercado con el Segway y otros vehículos afines.

Este documento muestra el proceso de desarrollo del trabajo de un proyecto que se conformó de un equipo multidisciplinario, entre alumnos de la Facultad de Ingeniería y Diseño Industrial. Los ahora Maestros en Ingeniería Mecatrónica: Ricardo Vázquez y Alfredo Mariscal, principales autores de este proyecto, me invitaron a formar parte de su equipo de trabajo para el desarrollo de aspectos estéticos, productivos, ergonómicos y funcionales del vehículo. Durante mi formación profesional he tenido un especial interés por el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías; la investigación y la aplicación de éstas a distintas escalas y áreas del diseño, así como también los aspectos culturales y sociales en donde los objetos son fruto de un sinfín de vivencias.

Querer formar parte del cambio paradigmático de movilidad interurbana fue una de las motivaciones para mi participación dentro de este proyecto, así como la adquisición de un título profesional.

Quiero ser muy puntual y claro en que un solo producto es insuficiente para la resolución de problemas de movilidad en un contexto urbano este proyecto es una respuesta local y pertinente al análisis que derivó de él.



Actividades



Ricardo y Alfredo como parte de su investigación de maestría habían desarrollado prototipos a escala mismos que servían para corroborar sus hipótesis y obtener retroalimentación inmediata.

Considerando otro tipo de vehículos en el mercado o en etapa conceptual y el trabajo realizado anteriormente con otros diseñadores para el planteamiento de un vehículo, el factor determinante del diseño es que el usuario debiera ir sentado.

Se diseñaron encuestas electrónicas con la finalidad de conocer las preferencias de los potenciales usuarios referentes a los vehículos de transporte personal.

Se realizaron entrevistas verbales a usuarios de Segway, como transporte recreativo y turístico, para tener como base a este vehículo como punto de comparación contra nuestro diseño.

Observación de usuarios al interactuar con el vehículo Segway para analizar sus reacciones al manejar este vehículo en particular.

Se realizó un diseño conceptual con base en los requerimientos y especificaciones obtenidos. Después de presentar diferentes configuraciones se decide por una vía: el conductor del vehículo irá semisentado, esto significa que el conductor tendrá una altura de visibilidad cercana a la que tiene cuando está de pie ya que la altura de los estribos al suelo y la configuración ergonómica del asiento obligan a la columna del usuario a no encorvarse como cuando uno se sienta sobre un banco regular.

Se decide hacer un simulador ergonómico con el cual se hacen pruebas con usuarios dentro y fuera de CU con el cual el equipo se retroalimenta de la experiencia de los usuarios y se construye un prototipo funcional que incluyó circuitos, motores, pilas y una estructura rígida para consecuentes pruebas con usuarios.

Después de estas pruebas se realizan nuevamente conceptos del vehículo apegados a la realidad funcional, ergonómica, productiva sin, claramente, dejar de lado el aspecto estético. El objetivo primario del proyecto es la propuesta conceptual de un vehículo eléctrico personal de acuerdo a los análisis funcionales y ergonómicos del prototipo, y el cual se adapte a un nicho de mercado medio alto.



DEFINICIÓN

“La necesidad es la madre del ingenio”.*

*Moraleja en la fábula del cuervo y el jarro de Esopo.



Objetivo

Desarrollar el concepto de un vehículo eléctrico personal de dos ruedas paralelas sobre un eje colineal y tecnología de autobalanceo para trayectos de distancias cortas (de 5-10km) que haga competencia con el Segway.

Alcances

- Selección y desarrollo de una propuesta conceptual de diseño
- Implementar el sistema de control electrónico en un prototipo a escala real
- Analizar la situación de la vanguardia tecnológica actual y las problemáticas de transporte.
- Construir un simulador ergonómico
- Construir un modelo a escala real con la finalidad de probar que el controlador establezca el vehículo.

Equipo de Trabajo

El proyecto fue comenzado y desarrollado por dos alumnos de maestría en ingeniería mecánica durante un año, posteriormente se integraron tres alumnos de licenciatura (ingeniería mecatrónica, ingeniería mecánica y diseño industrial).

Los alumnos que participamos en el proyecto somos:

Alfredo Mariscal Castillo.- Posgrado en Ingeniería mecánica.

Ricardo Vásquez Leyva.- Posgrado en Ingeniería mecatrónica.

Hugo Vargas.- Ingeniería mecánica.

Ingrid Irani Ibarra Romero.- Ingeniería mecatrónica.

Alfonso González Figueroa - Diseño industrial.



ANTECEDENTES

La civilización occidental llevó el movimiento rotativo en el transporte a un elevado estado de desarrollo, convirtiéndolo en un objeto mítico fundacional de la civilización, casi tan importante, como el fuego.

Paráfrasis a Georges Basalla, 1988, p. 24-25.

El transporte y el paradigma del Automóvil



El transporte, en términos generales, tiene, y siempre ha tenido, un único fin: acortar el tiempo de viaje entre dos puntos; aunada a esta ventaja los primeros automóviles, hablo de finales de siglo XIX, crearon adeptos rápidamente ofreciendo beneficios como llegar a sitios donde otro tipo de transporte no podían, como el caso del ferrocarril, cargar equipaje y a más de una persona; sustituir a los carros de bestias de tiro eliminando también los problemas ambientales y de salud que provocaban; y empezaron a ser sinónimo de estatus social.

Distintos inventores en Estados Unidos y Europa a finales del siglo XIX implementaban en los primeros automóviles tres distintos tipos de motores: el eléctrico, el de vapor y el de combustión interna.

La llegada de la líneas de producción del *Ford Modelo T* en 1914 (fig 1.1) reducía los costos de fabricación de los automóviles impulsados por motores de combustión interna, derrotando irremediamente a los motores de vapor, y más adelante a los motores eléctricos por el mismo problema al que están constreñidos hasta hoy en día: la eficiencia de las baterías.¹

¹ George Basalla, *The evolution of technology*, Cambridge University Press, 1988; versión en español: La evolución de la tecnología, Madrid, Drakontos, 2011.



mundialmente, sin embargo, aún después de 40 años de la llegada del 'Movimiento en pro al medio ambiente' en la década de 1970, las condiciones ambientales continúan siendo alarmantes y las consecuencias de la explotación ambiental son obvias. Poco más de un siglo después de que el mercado masivo del automóvil se volviera una realidad, estos mercados buscan renacer creando vehículos de cero emisiones, desarrollando mejores motores eléctricos, mejorando la tecnología en baterías y explotando el campo de la *ciencia de los materiales*.

En 1963 Barbara Ward averiguó que en la ciudad de Los Ángeles, el 60% o 70% del espacio en la ciudad estaba dedicado a los autos. Este afán de trazar (por parte de una camarilla de 'expertos' en organización espacial) los centros urbanos a partir del espacio dedicado al tránsito vehicular no ha cambiado desde el estudio de Ward (fig. 1.2).³

El mercado automovilístico consume 18 millones de barriles de petróleo al día, un auto permanece estacionado la mayor parte del tiempo de vida, el número de ocupantes no siempre es el máximo sino el mínimo en la mayoría

³ Barbara Ward, *The menace of urban explosion*, en *The Listener*, vol. 70, Núm. 1807 (14 de noviembre de 1963), Londres, British Broadcasting Corporation.

Demostrado está que hemos resuelto como trasladarnos de una ciudad a otra con gran eficacia, a costa del deterioro medio ambiente en diferentes medios de transporte, pero hay uno solo que lo usamos tanto y para tantas cosas diferentes que se ha convertido en una adicción difícil de renunciar: el automóvil.

El pináculo del automóvil tuvo sitio en Estados Unidos, donde el negocio de las carreteras, llantas, petróleo y el desarrollo de las primeras líneas de producción traerían grandes beneficios políticos, sociales, medioambientales y económicos.²

Hoy en día el auto sigue siendo uno de los transportes más preponderantes

² Íbid.

(Izquierda) Fig. 1.1 Henry Ford manejando el modelo T.
(Abajo) Fig 1.2 Cementerio de automóviles



de los casos; crean graves deterioros medio ambientales y sociales, como es el estrés y la aspiración por uno a pesar de tener ante él una, o varias, necesidades prioritarias. En reducidas cuentas se ha vuelto el transporte personal más numeroso pero más ineficiente de todos (fig. 1.3). Las otrora ciudades se pensaban desde una perspectiva peatonal en dónde los recorridos se harían a pie, la planificación y el desarrollo urbanístico se concebían para las personas no para los autos, entonces ¿por qué las ciudades se han hecho esclavas del automóvil?, ¿por qué los urbanistas piensan en las vías de comunicación antes de pensar en las personas? (fig. 1.4), ¿por qué hoy en día no podemos desplazarnos a cortas distancias en menor tiempo, usando transportes propios a las dimensiones personales y teniendo un impacto ambiental menor al actual?, ¿qué necesitamos para mejorar la movilidad interurbana? La dirección de las respuestas a la pregunta de cómo mejorar la movilidad interurbana, deben ser atendidas cada vez más frecuentemente por grupos multidisciplinarios y menos desde disciplinas únicamente proyectuales; y deben centrarse



Fig. 1.4 Peatones cruzando una calle por el paso de cebra.

Fig. 1.3 Cientos de autos permanecen estacionados la mayor parte del tiempo de vida útil.



urgentemente en reducir impactos medioambientales y sociales. Procesos de producción, vida y reuso de vehículos públicos y privados; la relación entre las personas y sus ciudades (hábitos, creencias y comportamientos), la situación espacial, momentos históricos, etc., son sólo algunos puntos que se deben observar de la problemática de movilidad urbana. Sin embargo la transición entre la movilidad actual y la que está en desarrollo tardará tiempo en concretarse y en establecerse, mientras tanto surgirán infinidad de propuestas y conceptos.

Tecnologías actuales en la industria del transporte y en desarrollo



El I-Real (izquierda) es un concepto de vehículo personal hecho por Toyota, planeado para que saliera a la venta en 2010. Es un vehículo eléctrico de 3 ruedas, para un pasajero y funciona con baterías de litio.

En el modo de baja velocidad, el vehículo está casi erguido y se mueve a la velocidad y a la misma altura visual que una persona a pie, sin utilizar mayor espacio. En el modo de alta velocidad, el Toyota se inclina longitudinalmente, moviendo su única rueda trasera hacia atrás para aumentar estabilidad y de este modo puede llegar a alcanzar los 30 km/h. En las vueltas se inclina hacia los lados para evitar que se vuelque.

Se controla por dos joysticks, uno en cada mano, cualquiera de estos controla el I-Real, así es que es indiferente el manejo para diestros o zurdos. Se empuja el joystick hacia adelante para ir adelante, izquierda para ir a la izquierda, derecha para ir a la derecha y atrás para detenerse. Sensores perimetrales detectan cuando una colisión con un objeto o persona es inminente, y advierte al usuario emitiendo sonido y vibraciones.

Recientemente la mejora en baterías hizo que se volviera a tomar en consideración al motor eléctrico como una plataforma clave para el desarrollo de nuevos vehículos, esto ha creado una ola de conceptos que parecen haber tomado ingredientes basados en la motocicleta, bicicleta y monociclo.

La rápida y creciente revolución electrónica-digital (figs. 2.1 y 2.2) ha facilitado tareas y simplificado sistemas analógicos. El más claro y sencillo ejemplo puede ser visto en las

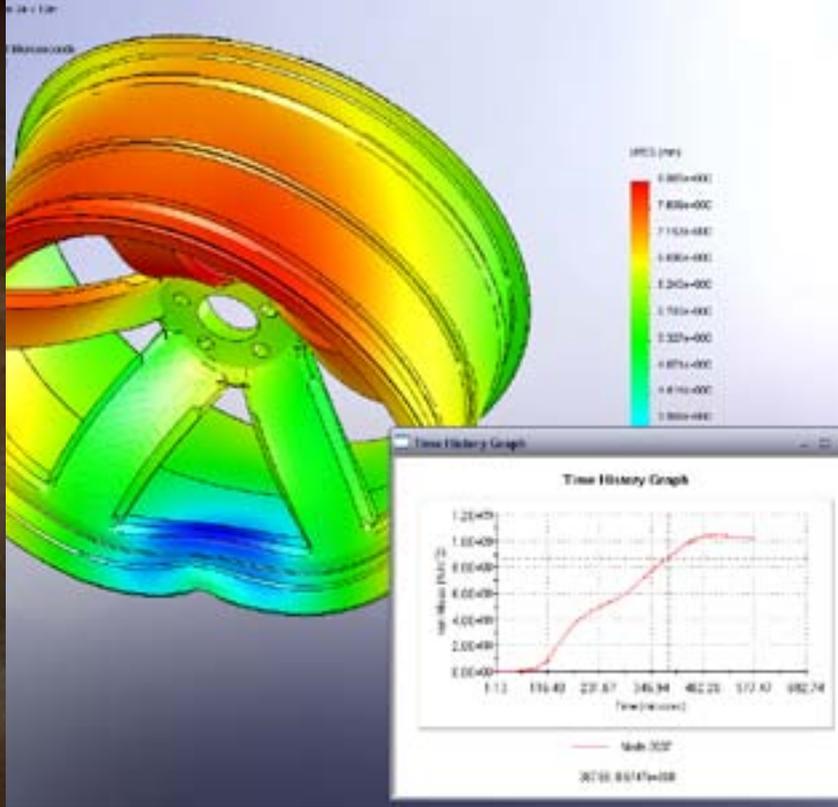
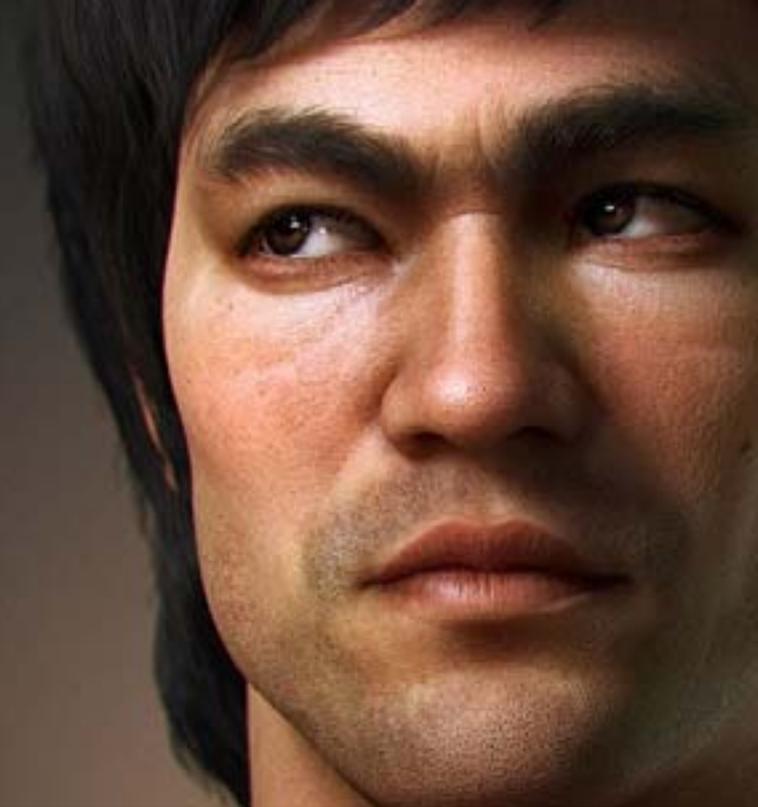


Fig . 2.1 Render fotorealista de Bruce Lee por el artista visual Alexander Beim.
Fig. 2.2 Análisis de esfuerzos en Solidworks sobre una rin.

computadoras. Recordemos como hace sólo unas décadas eran literalmente mobiliarios de oficina que ocupaban cuartos enteros y las tareas que llegaban hacer nos parecen ahora irrisorias. En cambio hoy existen televisores de hasta 4.9 mm. de espesor (Sony Bravia X900C) y, casi, cada uno de nosotros lleva una computadora personal en su bolsillo.

Con ello ha venido también un impresionante avance en tecnologías inalámbricas, como Bluetooth 4.2, red de comunicación móvil 4G y WiFi, que permiten cada vez con más velocidad y exactitud la interacción entre dispositivos electrónicos que progresivamente se vuelven más complejos y nos facilitan nuestro día a día.

A pesar de que el automóvil no ha sufrido mayores cambios desde su invención, esta revolución tecnológica trae consigo cambios sustanciales en materia de producción, seguridad y experiencia de uso, cada vez es

más fácil hacer análisis y visualizaciones de todo tipo. Simulaciones de colisiones y esfuerzos estructurales, cálculos de materiales, visualizaciones de terminados reales, etc. que llevan a las empresas a trasladar los costos de producción a áreas de investigación.

Drive By-wire (conducción por cables), es una propuesta tecnológica en el campo automotriz en la que se elimina o sustituye elementos mecánicos por componentes electrónicos, hecho que ofrece ventajas como la reducción de peso, optimización de material y espacio, ahorro económico, entre otros. El chasis del concepto *AUTOmomy* (Fig. 2.3) es el ejemplo de *Drive By-wire* en donde se integran baterías, motores y circuitos electrónicos en una base a la cual se le puede montar cualquier tipo de envoltente, el espacio dedicado históricamente para un motor en las partes delantera o trasera se eliminan dando mayor capacidad de carga.

Al día, la mayoría de los autos tienen componentes electrónicos y son controlados por computadoras. Si se quiere aumentar la velocidad, no es el acelerador que actúa directamente sobre la bomba de gasolina y el

Fig. 2.3 Chasis del concepto *AUTOmomy* (debajo) con el primer cuerpo propuesto para él.



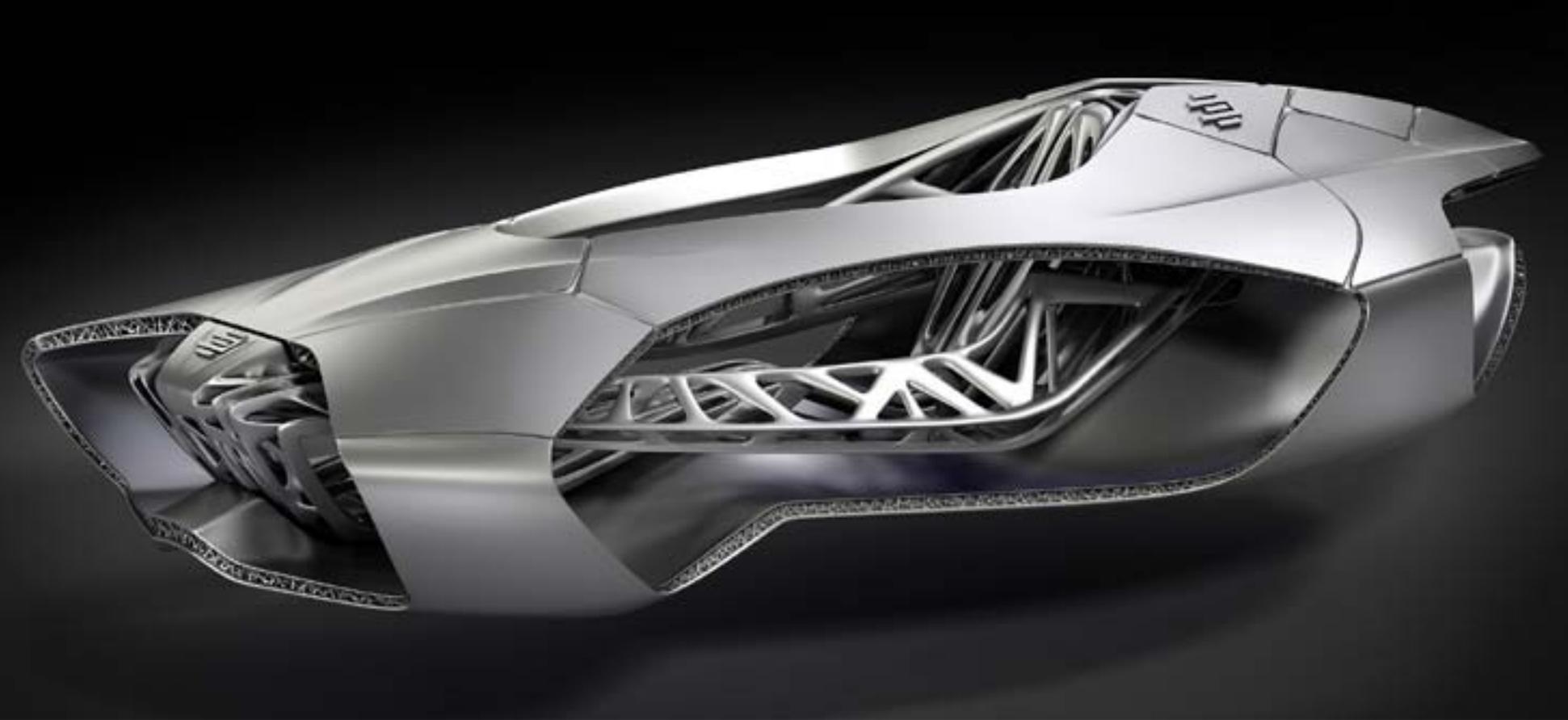


Fig. 2.4 El prototipo Genesis está basado en el caparazón de una tortuga.

motor, sino que esta acción es filtrada a través de un sistema computadorizado. La compañía alemana EDAG ha sido la primera en probar que se pueden imprimir autos. El concepto Genesis (fig. 2.4) fue presentado en el Génova Motor Show en 2014. La estructura interior del modelo fue construida en plástico por un robot, y el exterior se muestra como una especie de estructura en metal o aluminio para darle más rigidez a la estructura interior, que, mencionan, pudo haber sido hecha en fibra de carbono, para que fuese más liviana y resistente. EDAG demuestra que es posible construir autos con la tecnología de impresión en 3D, y es que, el chasis no está compuesto de varias partes pequeñas ensambladas unas con otras, promoviendo en un futuro menores pasos en producción ensamblando elementos de mayor tamaño y de gran resistencia. Aun así imprimir en estos tamaños está a años de la realidad productiva debido principalmente a costos, pero el diseño es la punta de flecha en una carrera para crear objetos más grandes y complejos en una sola operación. Segway y Ford han estado trabajando en el desarrollo de una propuesta vehicular para dos personas con el mismo principio que el Segway. Forma parte de las primeras propuestas viables y en vías de producción donde los componentes digitales y electrónicos rigen el

funcionamiento completo del vehículo. El primer prototipo que desarrollaron fue PUMA en 2011, y evolucionó hasta llegar al concepto EN-V (fig. 2.5). Creo fielmente que en al menos dos décadas no tendrán cabida los mismos tipos de vehículos ni la infraestructura que conocemos ahora. La impresión en 3D deja entrever hacia donde se dirige la siguiente revolución tecnológica. Con ésto la industria dejará de ser la única fuente de producción de productos, pero también permitirá la producción de diseños caprichosos a cualquier escala.

Fig. 2.5 El binomio Segway-Ford probó un exitoso concepto: EN-V.



Segway

Segway PT (*Personal Transporter*) es el primer vehículo personal en el siglo XXI que puso en tela de juicio el presente y el futuro del transporte personal en las ciudades.

Dean Kamen, inventor del primer vehículo eléctrico autobalanceable en dos ruedas *Segway*, creó un verdadero cambio paradigmático sobre el transporte personal, y es que pesando menos de 35 kg., con 1 servomotor por rueda, un complejo sistema electrónico, y superando la velocidad por tres veces a la de una persona a pie, constituye un hito importante en la historia del transporte.

Kamen preocupado por el *statu quo* en las ciudades, en específico el tránsito de las personas hacia sus destinos, la pérdida de tiempo en transporte público-privado, el estrés de los usuarios, el desgaste medio ambiental, entre otros problemas; decide en 2001 lanzar una propuesta al mercado donde los usuarios se sintieran libres de recorrer varias calles que tomarían tiempo valioso caminando pero sin hacer uso de sus automóviles, ya que piensa que " *el gran deterioro urbano de las ciudades está en el tránsito a corta distancia [sic]*".⁴ Micro-computadoras, sensores, y motores eléctricos en la base del Segway PT son los principales responsables de mantener al aparato en posición vertical.

El conductor le ordena al Segway a ir adelante o atrás cambiando la posición del peso hacia adelante o detrás del eje de las llantas.

El vehículo utiliza sensores giroscópicos y acelerómetros para detectar la variación angular de estos cambios y mantener el balance. Se mueve hacia adelante o hacia atrás dependiendo sea necesario para mantener el ángulo completamente vertical. Durante el proceso, el conductor establece y mantiene una velocidad deseada dependiendo de la ubicación y el

⁴ Conferencia "To Invent is to Give" en TED Talks, Dean Kamen 2002.





tiempo en que mantiene su peso fuera del eje principal. Para manejar y girar, el primer modelo de Segway tenía del lado izquierdo del manubrio un solo puño giratorio que el usuario giraría hacia adelante para ir a la derecha y hacia atrás si quería ir a la izquierda.

En los modelos actuales el manubrio entero se gira en sentido horizontal a partir de un eje en la base, haciendo su manejo más cómodo que de la manera antes mencionada (fig. 3.1).

El Segway no tiene frenos así es que la manera en que el vehículo responde a los giros es variando la velocidad en cada rueda, así es que estando parado puede girar 360° sobre su mismo eje. Encarrerado y a una buena velocidad los giros no sólo dependen de que tanto se incline el manubrio a diestra o siniestra también depende de la ubicación del peso del conductor en la base. El Segway puede alcanzar un tope de velocidad máximo de 20 km/h. y para evitar accidentes, cuenta con una especie de llave con la que el vehículo se enciende la cual puede programarse para limitar el máximo de velocidad,



Izquierda, Fig. 3.1. Policía montado en un Segway haciendo sus rondines en Vilna, capital de Lituania. En la UE estos vehículos son usados con fines recreativos; no son usados comúnmente como medio de transporte. Su uso en las calles está permitido en casi todos los países Europeos pero con algunas restricciones, como en el caso de Alemania donde en algunas regiones se requieren incluso placas para transitar. Arriba, Fig. 3.2. Tour guiado en la Ciudad de Washington, EEUU.

evitando accidentes con personas con reflejos lentos o niños no menores a 13 años. En varios países de la Unión Europea, en Asia, EEUU y Canada, se han aprobado leyes para el tránsito en calles, vías ciclistas, y banquetas pero aun así su mayor uso sigue siendo recreativo, turístico y como asistencia en vigilancia (fig. 3.2). En el parque de Chapultepec existe una visita guiada en Segway que ofrece la empresa que dura aproximadamente hora y media, los integrantes del equipo fuimos en ocasiones distintas a esta guía con la intención de saber como era la sensación de usar uno de estos vehículos. Como es un vehículo novedoso en su manera de manejar todos coincidimos en sentir desconfianza al montarlo y avanzar los primeros metros, pero, después de una clase impartida por los guías, todo queda relativamente bajo control. También se notó que tras la primer media hora de uso, las pantorrillas o los pies tenían una fatiga notable, no podía ser el terreno semi-irregular por el que nos manejábamos ya que también se preguntó a personas de seguridad en Plazas cuál era el tiempo mínimo en el que se empezaba a sentir fatiga en las extremidades bajas y fue la misma respuesta. En cuanto al manubrio la sensación de seguridad en el giro podría mejorarse, cuando uno da un giro pronunciado, el manubrio queda alejado del centro vertical del usuario lo que hace que se vuelva incómodo. A pesar de ser una propuesta que no pretende competir con el automóvil le queda una gran trayectoria, un sinnúmero de variables y mejoras futuras que dejan entrever que un nuevo concepto de transporte personal es factible.



(Página anterior) Fig. 3.3. Un Segway adaptado para un equipo de grabación profesional llamado *Handfree Steadicam*. El usuario controla el giro del Segway con sus propias rodillas, desde donde tiene un apoyo que presiona con ambas.

(Arriba) Fig. 3.4. Prueba de frenado en los tours sobre ruedas que ofrece Segway en el Bosque de Chapultepec. Para disminuir la velocidad del Segway el usuario debe inclinar su peso hacia el lado contrario de donde se dirige. Usuarios entrevistados en estos tours mencionaron que sentían dolor en las piernas a partir de la media hora de uso.



Ginger Sybil Concept 1 Design 1 Serie P Serie i



i2 Personal Transporters Serie i2 x2 Personal Transporters Serie x2

(Arriba) Fig. 3.5. Línea evolutiva de prototipos Segway, de izquierda a derecha: cuatro modelos de la serie P y un modelo i2. Desarrollo tecnológico de forma de manejo, desde puño hasta el mando giratorio.

(Abajo) Fig 3.6. Varios modelos de la serie i2 y x2, obsérvese que los distintos modelos tienen ruedas distintas que sirven para terrenos diferentes, como pavimento o terracería.



Urbanización y Motorización

Se llama urbanización al fenómeno de migración de las poblaciones rurales hacia las urbes, lo cual resulta principalmente en un crecimiento físico. El término también puede significar el nivel de desarrollo urbanístico relativo al total de la población de una determinada zona, o puede representar el ritmo en el cual la proporción urbana está incrementándose.

Está estrechamente vinculado con la modernización, industrialización y el proceso sociológico de *racionalización*.

La Organización de las Naciones Unidas (fig. 4.1) previó que la mitad de la población mundial viviría en zonas urbanas para fines de 2008⁵. Para el 2050 se predice que un 64.1% y un 85.9% de los países en vías de desarrollo y desarrollados, respectivamente, estarán urbanizados.⁶

5 ONU

6 ONU

El auge económico es el factor predominante para el crecimiento poblacional y espacial de las ciudades. Los hábitos de las personas en zonas rurales se ven forzados a cambiar por el sistema económico predominante que los obliga a buscar mejores y *más dignas* condiciones de vida.

En México a principios de siglo pasado apenas el 28.3% de la población residía en las ciudades mexicanas; para el año de 2010, tres de cada cuatro mexicanos (más de 86 millones) vivía en las ciudades. México es, desde hace varias décadas, una sociedad típicamente urbana (fig. 4.2).

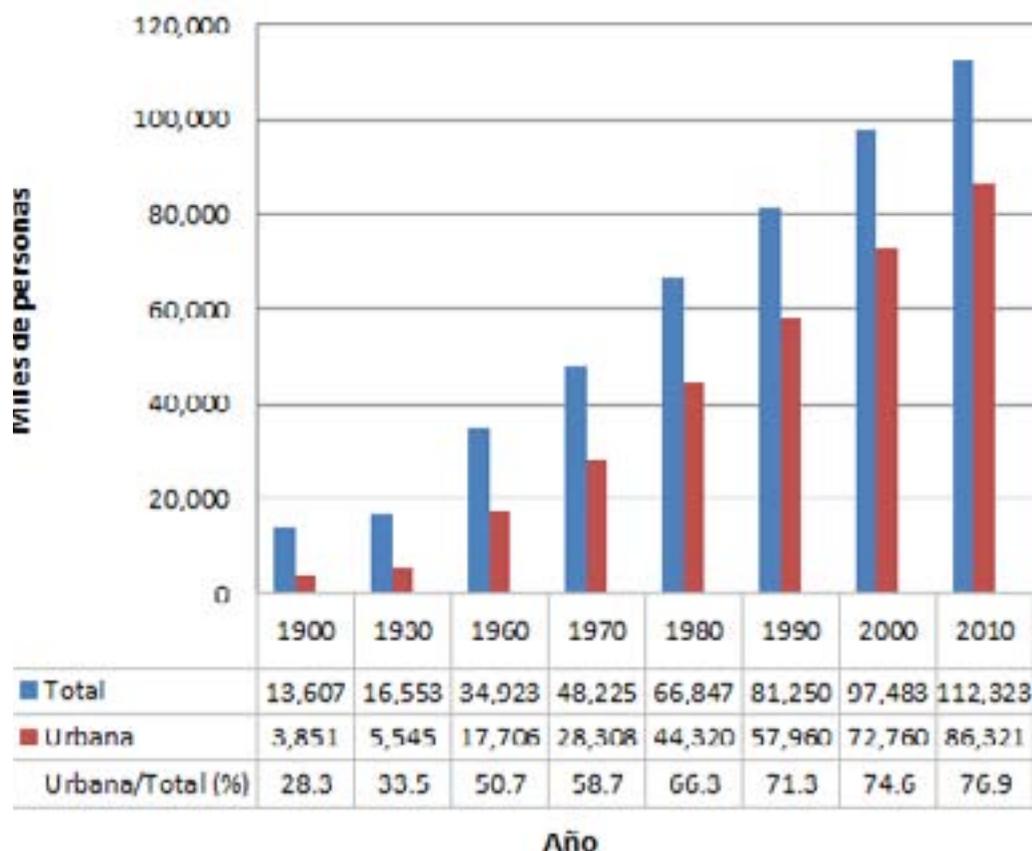


Fig. 4.2. Proceso de urbanización de la Ciudad de México durante los años 1900-2010, Censos Generales de Población y Vivienda. Resultados definitivos. Varios años, INEGI. Población total y urbana.

Entre 2000-2010, mientras que la población urbana creció de 72.8 a 86.3 millones de personas, la cantidad de vehículos automotores pasó de 15.6 a 33.4 millones, siendo el automóvil el de mayor número de unidades. Bajo términos demográficos la Ciudad de México tiene el peso más importante, representando aproximadamente el 20% de la población total del país, eso significa también que en 2010 existían 470 vehículos por cada mil habitantes.

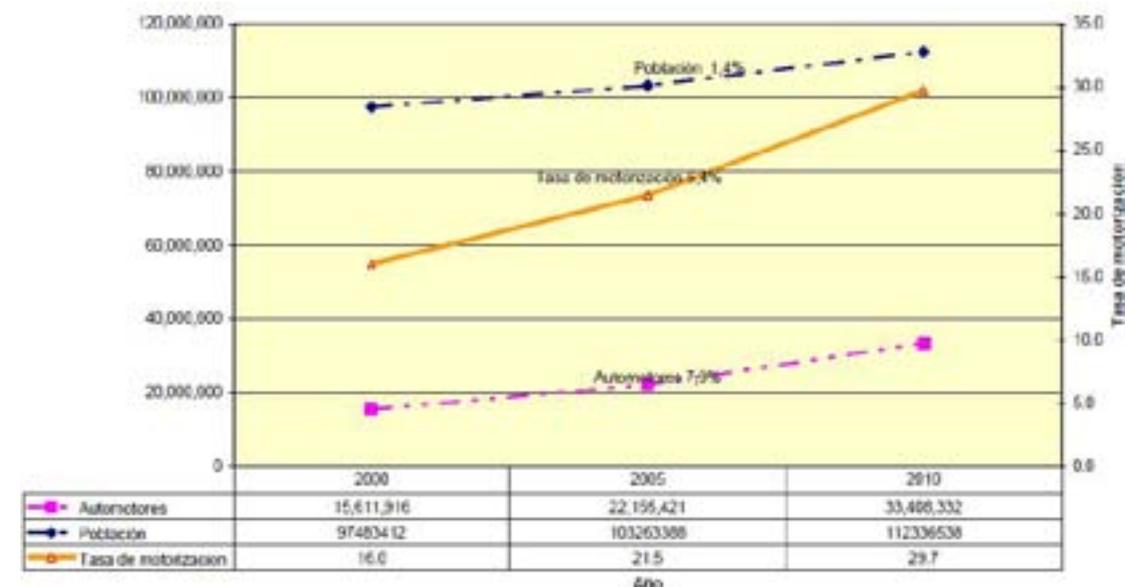


Fig. 4.3. Evolución de la tasa de motorización de México de 2000 a 2010.

El crecimiento urbano veloz, desordenado y desmedido ha hecho que la planeación urbana a largo plazo quede relegada a un segundo plano; el papel de las empresas, (su inevitable capitalización), ha invadido el campo de la planeación, la investigación sin fines lucrativos, (no sólo en este sector sino en todos), y el corto plazo es el escenario único de la acción del gobierno; ya no es posible hacer estudios y plantear resoluciones congruentes e integrales que se vayan adaptando poco a poco para una mejora a largo plazo, los gobiernos actuales deben marcar huella en los pocos años de cargo que tienen. Obras como los segundos pisos, el circuito interior, la reconstrucción de banquetas, y el repavimentado son algunos ejemplos que sólo sirven para *tapar el ojo al macho*, y que a largo plazo no sirven de nada.

Un estudio hecho por el Instituto de Geografía de la UNAM, para la SETRAVI (Secretaría de Transportes y Vialidad del Distrito Federal, fig 4.3) en 2013 titulado *El Diagnóstico y Proyecciones de la Movilidad del Distrito Federal 2013-2018* señaló que de los 15 millones de viajes que se realizan al día en la Ciudad de México, 40% de ellos están concentrados en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza.⁷ De los 4 millones de automóviles particulares oficialmente registrados en la Ciudad sólo 1.2 millones recorren las calles diariamente, este dato es alarmante ya que significa que menos de la mitad del parque vehicular es responsable de crear el caos vial. En la investigación se explica que 8.25 millones de viajes (55%), se realiza en transportes colectivos; 5 millones (33.3%) en automóvil 750 mil (5%) en taxi y 450 mil (3%) en Metrobús.

⁷ Alicia Ziccardi, Javier Delgado Campos, Manuel Suárez Lastra, Arsenio González; *Diagnóstico y proyecciones de la Movilidad del Distrito Federal 2013-2018*. 2013, México, UNAM.

"[...] son 5 millones de viajes que se hacen en carro, cada carro transporta a 1.5 pasajeros, las personas que viajan en auto lo hacen 2.7 veces. [...] Este modo es ineficiente, es el responsable del mayor número de emisiones (contaminantes) y ocupa 85% del espacio vial, el automóvil ocupa mucho más espacio que los viajes que realiza".⁸

La movilidad en la ciudad es terrible, el documento revela que el trayecto "promedio" de los viajes en la Ciudad es de 50 minutos, pero no describe horarios, zonas y distancias, datos importantes porque no es lo mismo recorrer del Edo. de México al centro de la ciudad que de una delegación a otra contigua.

El replanteamiento y la resolución del problema se han empezado a entrever desde hace algunos años.

El gobierno del DF ha incentivado el uso de la bicicleta con el programa Ecobici (fig. 4.4). En tan solo 5 años la infraestructura para ellas abarca más de 130 kilómetros en la ciudad. Según la titular de la Secretaría de Medio Ambiente, Tanya Müller, el programa de Ecobici es el octavo sistema más grande a nivel internacional de bicicletas públicas pero es el segundo que realiza más viajes, solo después de Francia. "Nosotros con 3,000 bicicletas ayudamos a realizar 25,000 viajes diarios [sic]", menciona Müller.

Se ha planteado que al final del gobierno de Miguel Ángel Mancera (2018) un millón de automóviles dejen de circular las calles de la ciudad con el propósito de desincentivar su uso. En una encuesta reciente descubrieron que los capitalinos al percibir los grandes problemas que genera el automóvil, usan la Ecobici como un medio de transporte entre sus hogares y sus trabajos, y ya no sólo

como un medio de esparcimiento.

Tanya Müller agregó que este sistema de préstamo de bicicletas ayuda en promedio a realizar viajes de ocho kilómetros, lo cual evita que los ciudadanos tomen sus automóviles para recorrer distancias cortas, sin embargo el número de vehículos privados no disminuye notoriamente. A pesar del imperioso esfuerzo que se ha puesto para aumentar el número de usuarios de bicicletas, la movilidad interurbana sigue sin observarse y resolverse de manera integral, y es que los planes y reformas de tránsito impuestas recientemente no abarcan ampliamente la problemática de tránsito. Uno de los problemas más fuertes proviene con la otorgación de licencias de manejo sin exámenes serios, a ello sumémosle que en esta ciudad al peatón no se le respeta como las reglas internacionales lo marcan, y entonces los ciclistas juegan dos posiciones, la de ocasionar accidentes y la de sufrirlos.

El término movilidad interurbana al que se hace referencia en este documento lo describe generosamente Wilbur Zelinsky (1971):

"[...] una gran variedad de desplazamientos, habitualmente de corto plazo, de naturaleza repetitiva o cíclica, pero que tiene en común la falta de una intención declarada de cambiar de residencia en forma permanente o duradera. Bajo este

Fig. 4.4. Ciclistas de Ecobici esperando a cruzar una avenida.



⁸ Ibidem. Subrayado mío.



*rubro podemos incluir cosas tan diferentes como: los desplazamientos de fin de semana o de la temporada de los estudiantes; las salidas de vacaciones y de fines de semana; los viajes de compras y similares, así como las visitas sociales; y muchos de los desplazamientos aparentemente sin sentido (sic) o en busca de placer, realizados por los jóvenes”.*⁹

La movilidad interurbana es un problema que no tiene únicamente que ver con el planeamiento de infraestructura urbana sino con el estado de desarrollo de la ciudad. El centro urbano que representa el Distrito Federal promueve la incentivación de ‘inmigración’ a ella.

Es preciso señalar que la propuesta de esta tesis pretende incluirse en recorridos interurbanos menores, ésto es, trayectos cuyas distancias oscilen entre los 5-10 Km; fuera de este rango las consideraciones tecnológicas, ergonómicas, productivas, de seguridad, entre otras serían fuente de una propuesta más robusta y compleja.

⁹ Wilbur Zelinsky, *La hipótesis de la transición de la movilidad*, 1971 en Javier Camas, *¿Descentralización o desarticulación urbana?*, México.

I

INVESTIGACIÓN

“Con demasiada frecuencia se nos ha dicho que las limitaciones técnicas imponen restricciones a nuestra libertad de selección, cuando el fallo está en poderosas actitudes o instituciones socioculturales”.

Georges Basalla, 1988, p.254

Sistema de control



La primer fase del proyecto de Ricardo y Alfredo fue el desarrollo de un planteamiento matemático para posteriormente llevarlo a la práctica a un modelo físico. A estos dos elementos, planteamiento matemático y modelo físico, se le puede llamar: sistema de control electrónico, el cual es el principal encargado de mantener verticalmente un peso determinado en un vehículo de dos ruedas sobre un mismo eje colineal.

El VEPI basa su funcionamiento en este sistema de control electrónico, denominado péndulo invertido (fig. 5.1); dicho sea, ha cobrado gran renombre en los últimos años gracias a la introducción comercial del Segway Personal Transporter.

Para entender rápidamente este principio tecnológico se puede hacer una analogía a un reloj de péndulo, sin embargo para este sistema consideremos que la masa del péndulo en vez de estar suspendida se encuentra arriba, naturalmente será inestable y tenderá a moverse de un lado a otro, mientras que la base en donde se encuentra el pivote se moverá para estabilizar la masa superior pretendiendo conservarla en una vertical constante.

Es decir, el objetivo del sistema de control es intentar controlar el movimiento de la masa m moviendo la masa M del carro inferior. Si la masa m se mueve de la vertical esta puede volver a su posición de equilibrio moviendo la masa M en la misma dirección que la anterior hasta que se alcance la estabilidad del sistema.

Alfredo describe el funcionamiento del sistema de control de esta manera:

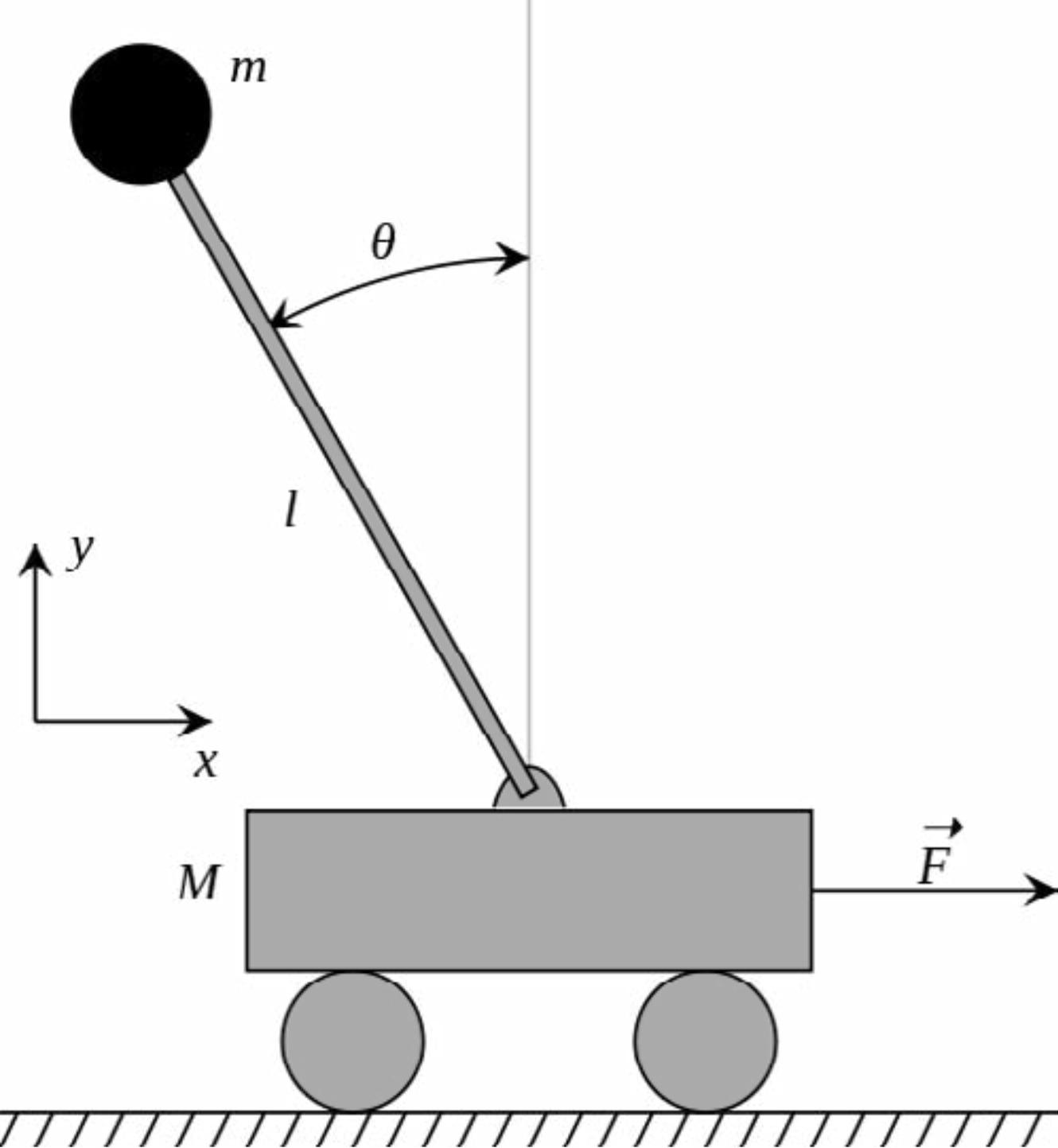


Fig. 5.1, diagrama explicativo del péndulo invertido aplicado a un carro que se encuentra sobre un eje horizontal, en donde 'M' es la masa del carro, 'm' es la masa superior conectada a una distancia determinada de un vástago pivotante representado con la letra 'l'. 'F' es la fuerza con la que el carro se desplaza y 'θ' es el ángulo de giro de la masa m con respecto a la vertical del carro.

"Existen dos estados en los que el vehículo de péndulo invertido puede operar: en reposo y movimiento. Para lograr una posición en reposo, el vehículo tiene que moverse en la misma dirección y sentido con una velocidad controlada tal que compense el desplazamiento angular generado por el péndulo con respecto a un valor de referencia de cero. Si no existiera este movimiento compensatorio, el péndulo rompería su posición vertical y su estabilidad hasta caer.

El control electrónico identifica el ángulo que tiene el vehículo haciendo muestras cada intervalo diferencial de tiempo con la ayuda de un acelerómetro. Dicho elemento (acelerómetro) es un sensor inercial que entrega una señal analógica proporcional al ángulo en que se encuentra estando en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, es decir: al no experimentar aceleraciones.

Cuando la lógica de control detecta ángulos mayores a su tolerancia, activa señales de control que se reflejan en la actuación de motores que corrigen el error de la señal de control con respecto a su referencia para lograr estabilizar al sistema. Para generar un estado de movimiento sólo se cambia el valor de referencia haciéndolo diferente a cero" [sic].¹⁰

Es importante señalar que los vehículos que usan este principio tecnológico serán naturalmente inestables, sobre el eje de avance. El estado de reposo es muy corto debido a que depende de la posición angular del usuario respecto a los ejes principales de las llantas mismos que son el parámetro de medición.

La velocidad de dicho vehículo depende de la ubicación de la masa m con respecto al eje de los motores, es decir que, entre más inclinación tenga mayor será la velocidad del vehículo para contrarrestar la ubicación de la masa, como se muestra en la figura de la izquierda. Para la comprobación del sistema de control electrónico y el modelo matemático se propuso la construcción de un primer prototipo a escala (fig. 5.2). El diseño mecánico del vehículo se ideó de forma que el centro de masa se localizara en un punto cercano al eje de los motores, y que tuviera una geometría simple de un péndulo invertido. Implementando e integrando distintos módulos, electrónico, mecánico, software y control; se probaron las siguientes etapas del proyecto:

- Uso de sensores para medir el ángulo de inclinación del vehículo
- Implementación del control de estabilidad con un micro-controlador
- Caracterización del ángulo máximo de operación del vehículo

¹⁰ Alfredo Mariscal Castillo. *Diseño de un vehículo de dos ruedas basado en el principio de Péndulo Invertido*, 2013. Tesis M. Mecánica y Mecatrónica. México, Universidad Nacional Autónoma de México.

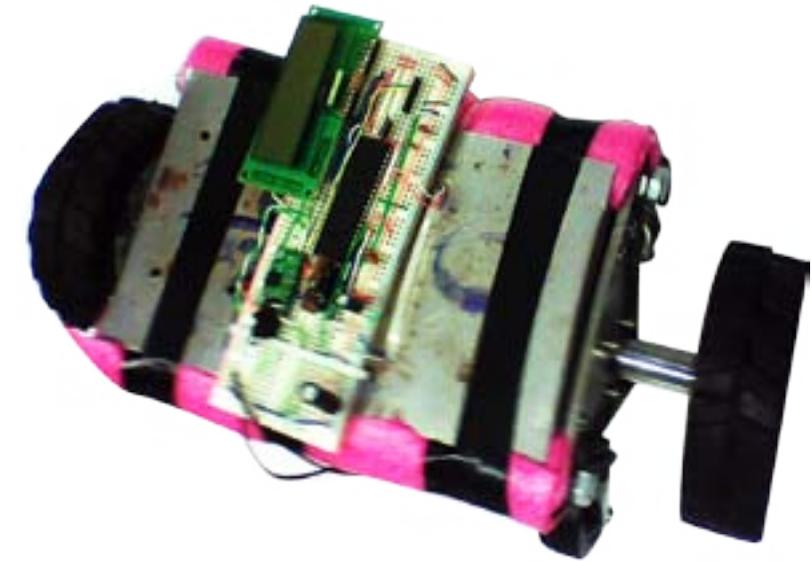
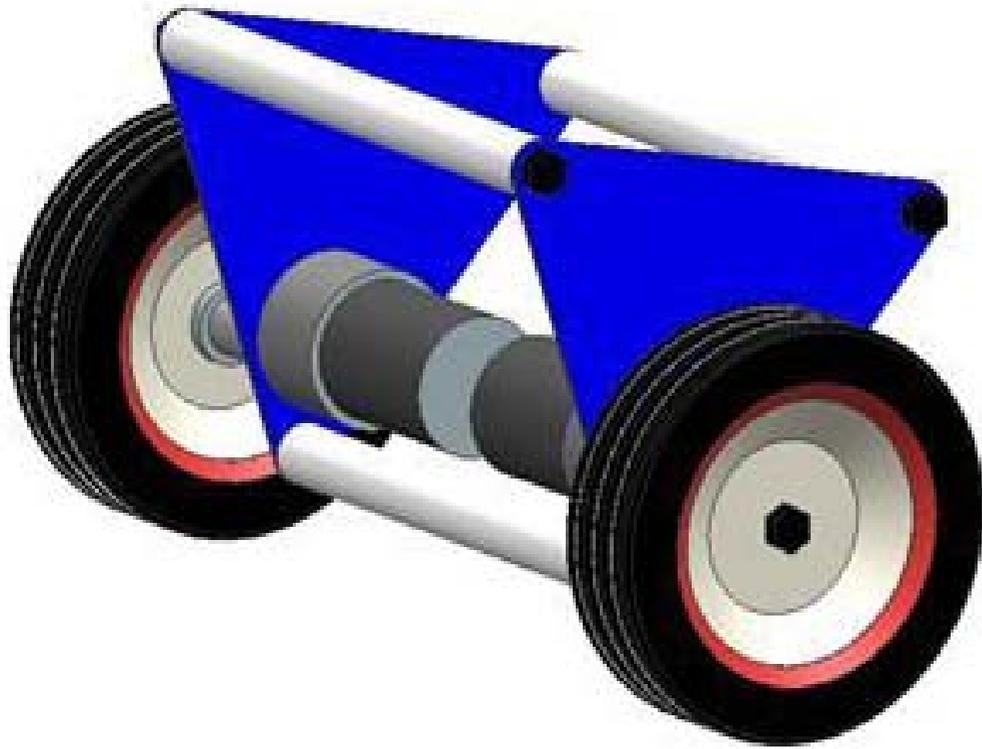


Fig. 5.5. Segundo prototipo a escala.

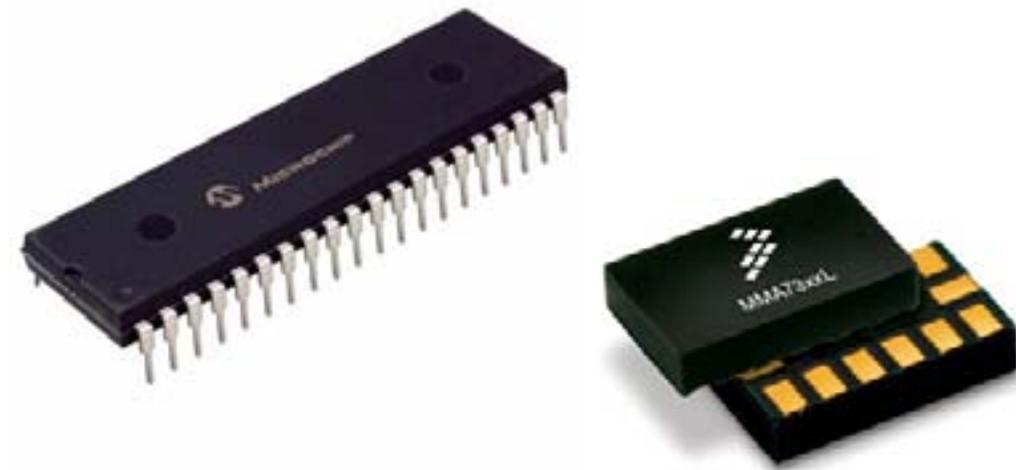
El prototipo se instrumentó usando 2 sensores inerciales del tipo MEMS, Microchip 18f4550, (fig. 5.3) para poder medir el ángulo de inclinación del vehículo con respecto a la vertical, usando un acelerómetro y un giroscopio electrónico (fig. 5.4); la señal de ambos fue filtrada para obtener el ángulo de la manera más precisa.

Abajo se puede ver el primer prototipo. Se utilizó lámina de acero y Nylamid maquinado en torno para garantizar paralelismo en las llantas y co-linealidad en los ejes del motor. Para el segundo prototipo (fig. 5.5) los componentes fueron seleccionados con base en lo que se puede conseguir en el país:

- Una batería de 12V
- Motores con un torque de 30N.m trabajando a 12V
- Microcontrolador Pic 18F4553
- Acelerómetro MMA7331
- Giroscopio LPY510AL
- Driver para motores L298.

El funcionamiento del circuito electrónico usado para los dos prototipos funciona de la siguiente forma:

Acelerómetro: produce una señal proporcional a la aceleración a la que se encuentra sometido cada uno de sus ejes, por lo que en estado estático el ángulo puede ser obtenido en función de la aceleración de la gravedad con respecto a la vertical si el acelerómetro se



(Arriba) Fig. 5.2. Ilustración en Katia del primer prototipo a escala.
(Abajo) Fig. 5.3 y 5.4. Componentes electrónicos implementados en los circuitos de los prototipos, micro-controlador y acelerómetro, respectivamente.

encuentra en presencia de vibraciones o aceleraciones, la medida que se tiene es la suma de la aceleración de la gravedad y de la aceleración a la que esté sometido el acelerómetro, lo que impide tener un cálculo correcto del ángulo (fig.5.6)

Giroscopio (fig. 5.7): produce un voltaje de salida proporcional a la velocidad angular a la que está sometido. Para conocer el desplazamiento angular, basta con integrar la medida de la velocidad angular, multiplicando el valor medido por el tiempo de muestreo, pero con el paso del tiempo, estas medidas harán una suma de errores sistemáticos que generarán, en un determinado momento, valores erróneos del ángulo, además con esta técnica sólo puede obtenerse un ángulo relativo a la posición anterior.

Para discriminar los errores causados por cada dispositivo, se hace uso de un algoritmo llamado: filtro de Kalman (consultar anexo 1). Por su efectividad y fácil implementación es la mejor opción para este tipo de aplicaciones, en donde se requiera conocer la posición angular de algún objeto cuando este se encuentre en movimiento.

Después de hacer varias pruebas con el primer prototipo, se encontraron deficiencias en su desempeño debido a:

- Una estructura muy pesada
- Motores sobrecargados
- Presencia de backlash en la reducción de los motores
- Sobrecalentamiento del circuito de potencia
- Inestable en ciertas condiciones
- Baja duración de batería.

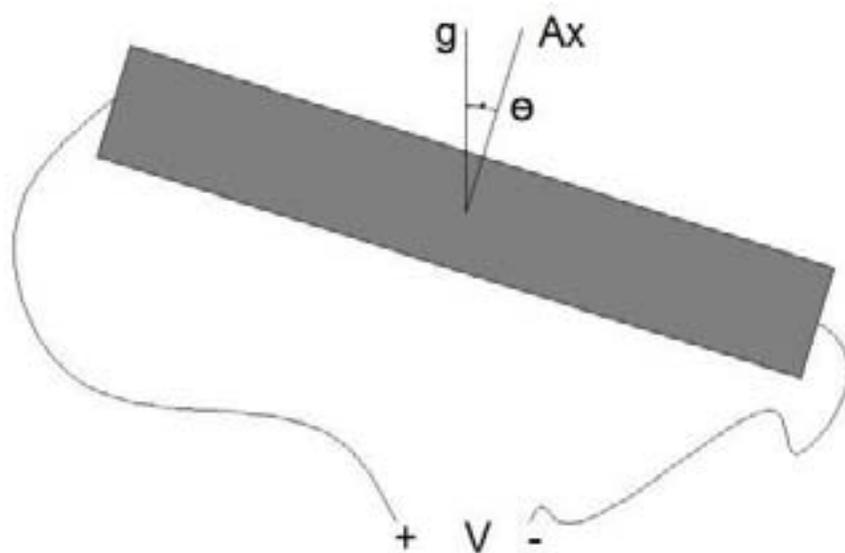


Fig. 5.6, Medición del ángulo usando el acelerómetro; donde: (g) aceleración de la gravedad, (Ax) aceleración medida en el eje X, (V) voltaje a la salida del acelerómetro, (θ) ángulo entre la vertical y la medida de la aceleración en el eje X.

Fig. 5.7, giroscopio.



Dado los problemas que presentó el primer prototipo en las pruebas de control se decidió realizar otro prototipo más ligero y más pequeño, con el cual se obtuvieron resultados más satisfactorios en las pruebas de estabilidad. Este dispositivo fue llamado Minivepi y es mostrado debajo en la fig. 5.8.



Fig. 5.8 El Minivepi, media alrededor de 10 x 15 cm de base.

Situación tecnológica actual (análogos y homólogos)



Existen diferentes transportes en el mercado que utilizan el mismo principio tecnológico o que pretenden adentrarse en el nicho de los vehículos personales. Fue importante conocerlos con el propósito de tener claro la situación en la que se encuentra el desarrollo de vehículos eléctricos personales, la tendencia y los avances tecnológicos, la demanda de mercado, la línea estética derivada del uso de nueva tecnología, etc.

El análisis y comparación de vehículos que realizaron Alfredo y Ricardo fue simple, buscaron vehículos personales no importando si usaban o no el mismo principio tecnológico. El haber abierto el horizonte de lo que había por conocer permitió tomar puntos de referencia para el desarrollo de la propuesta, por ejemplo, el manubrio del VEPI fue tomado del manubrio de la bicicleta Yikebike.

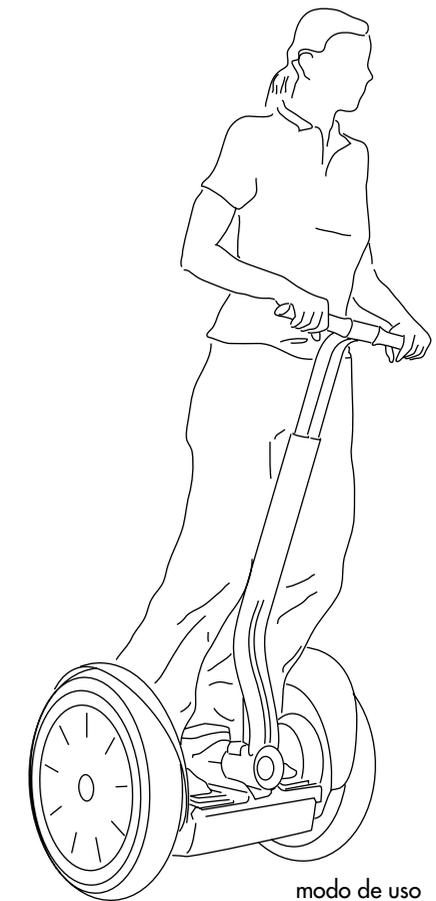
Debido a que algunos vehículos semejantes al propuesto en esta tesis están en fase de prototipos funcionales o son meramente conceptos fue difícil encontrar información para profundizar el análisis de ellos específicamente de los aspectos ergonómicos y sinestésicos, pero lo visto fue suficiente para entender *grosso modo* lo que conocemos como el *estado del arte* o el estado de la cuestión.

12 Personal Transporter / Segway

Segway es la compañía pionera en integrar el sistema de péndulo invertido en un vehículo personal. Con el objetivo de promover un nuevo sistema de locomoción personal y cambiar el paradigma de transporte en las ciudades. Para su funcionamiento el usuario se monta sobre la base e inclinándose hacia adelante o hacia atrás logrará avanzar o detenerse, el movimiento hacia atrás está restringido por una acción vibratoria, esto indica al usuario que si sigue retrocediendo perderá balance y caerá. El segway puede girar completa y libremente sobre 0° haciendo que el avance de espaldas por parte del usuario sea innecesario.

En la segunda generación de Segways, los usuarios además de inclinarse hacia adelante para avanzar deben rotar el manubrio sobre el eje de la base para girar.

Precio: \$6,000-\$8,000 Dls.



modo de uso

Winglet / Toyota

El mismo cuerpo del Winglet es capaz de adaptar tres diferentes tipos de manubrios para su conducción dos se utilizan con las piernas.

El tamaño de las ruedas y la ubicación de estas (debajo del usuario) lo hace parecer propenso a fallar cuando se topa con algún accidente en la vía, mientras los manubrios que van pegados a las piernas provocan desconfianza en los usuarios sin experiencia.

Winglet sigue siendo un prototipo y es más un gadget que un mero vehículo.

Precio tentativo \$3,000 Dls.



modo de uso



Self Balancing Unicycle / Focus Design

Los monociclos normales con dos pedales necesitan una gran destreza por parte de los usuarios para balancearse y guiarse hacia una dirección, esto hace que el número de usuarios se reduzca, sin embargo la empresa Focus Design se encargó de hacerlo un poco más sencillo. Agregó un motor integrado al eje de la llanta y un complejo sistema de giroscopios que mantienen al usuario balanceado mientras conduce el vehículo, a pesar de que también se necesita experiencia antes de un primer paseo.

Puede alcanzar los 20 km/h, dependiendo de la destreza del usuario y recorrer 16 km en una hora.

A pesar de que es un artefacto liviano, pesa menos de 13 kg., y que sus baterías se recargan en tan sólo 2 horas la estética del vehículo es tosca, pareciera que el costo de producción y venta llevaron a un mínimo diseño estético, lo cual la resta puntos. Por otra parte, no existe la sensación de que pareciera que será más fácil usarlo que un monociclo.

Precio \$1,795 Dls.



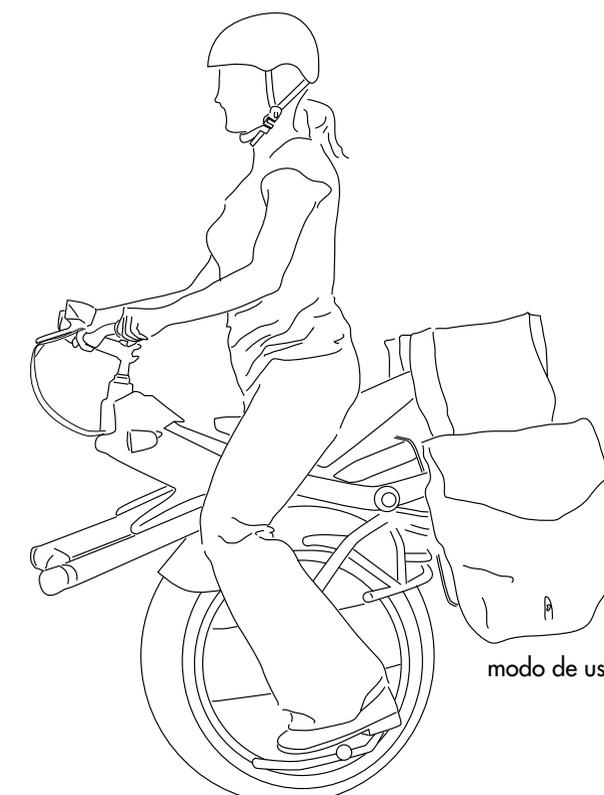
Ryno / Ryno Motors

Ryno es un vehículo que parece más la mitad de una motocicleta que un monociclo de circo.

El control electrónico de Ryno es más riguroso que otros ya que éste se encarga de balancear al usuario para adelante y para atrás, mientras que el usuario sólo es responsable de balacearlo hacia los lados.

En el manubrio se encuentra el encendido y apagado, acelerador y freno. Alcanza una velocidad máxima de 16km/h y tiene una autonomía de 16km con una carga completa de las baterías de litio.

Precio \$5,700 Dls.



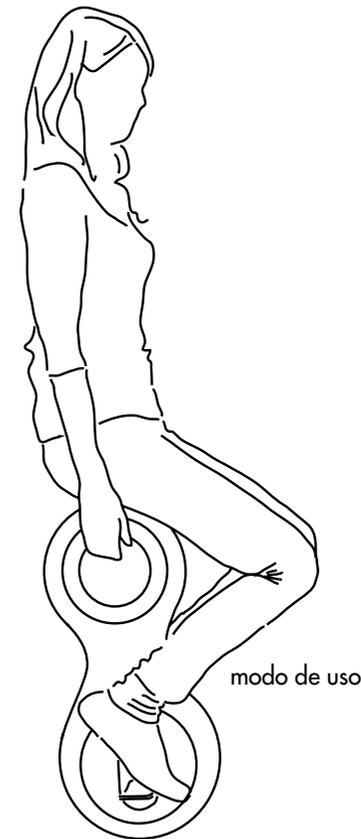
U3-X / Honda

Este vehículo, aun en estado prototípico, desarrollado por Honda tienen una ventaja sobre casi todos los vehículos personales, esto es, una rueda omnidireccional que permite movimientos en cualquier dirección sin que el vehículo gire. El usuario que lo usa, no necesita tener experiencia previa para usarlo y gracias a los sensores integrados el manejo es intuitivo, el usuario sólo necesita inclinarse hacia cualquier dirección a donde quiera moverse.

Esta diseñado para ser portable y como un complemento para otros sistemas de transporte, públicos o privados.

Sigue en etapa de investigación y mejoras, pero es capaz de romper el paradigma del transporte personal.

Precio tentativo \$700 Dls.



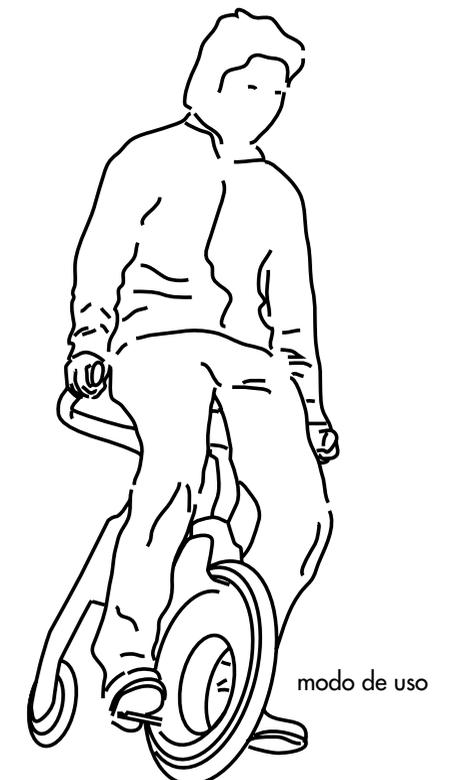
Yikebike

Yikebike es una bicicleta eléctrica plegable, que no tiene nada de convencional en su configuración.

Lo más importante a destacar de este diseño es que el manubrio no se encuentra al frente como una bicicleta común y corriente sino que sale por debajo del asiento del usuario extendiéndose hasta los laterales. La ubicación del manubrio y los estribos en la rueda delantera son los que obligan a que el usuario mantenga una posición parcialmente erguida.

A pesar de que esta propuesta no tiene un sistema de autobalanceo es importante señalarla debido a que el VEPI basó su manubrio en esta bicicleta.

Precio \$4995 - \$7995 Dls.



Etapa en Ingeniería



Además de la investigación sobre la situación actual de los vehículos personales y de la vanguardia tecnológica, Alfredo y Ricardo realizaron una serie de trabajos de campo con usuarios potenciales con el fin de que la información recabada ayudase a plantear algunas ideas que se usarían para las primeras propuestas del VEPI, estos trabajos fueron:

- Implementación de encuestas (con una muestra de más de 180 personas) para conocer gustos y preferencias de usuarios tentativos. (ver anexo 2)
- Entrevistas y observación de usuarios del Segway como parte de los recorridos turísticos que ofrece esta compañía, en el bosque de Chapultepec, con el fin de conocer experiencias y puntos de vista sobre el producto ya que es el más similar al planteado en el proyecto.

Las encuestas dieron a conocer que es amplio el interés por los vehículos de cero emisiones dadas las circunstancias de contaminación y el estado del medio ambiente en la Ciudad de México sin embargo la percepción de ellos, es que no son económicamente accesibles, por ello los costos (adquisición y gastos de combustible) son factores determinantes para la adquisición de vehículos. Los entrevistados tienen la *idea* de que un vehículo personal con las características que planteábamos debía verse y sentirse seguro; y que los que demandan esfuerzo físico tienen un fin deportivo o de esparcimiento.

Las encuestas también permitieron definir las primeras características del VEPI:

- De una sola plaza
- No producirá emisiones durante su uso
- Su uso no demandará esfuerzo físico notable
- Costo de compra accesible (entre \$15-20,000 MXN)
- Manejo intuitivo
- Percepción de seguridad antes y durante el uso.
- Manejado sentado o de pie
- Protección a la intemperie sin estar cerrado.
- Debe tener una velocidad máxima mayor a la de una persona caminando (aprox. 15km/h)
- Un espacio publicitario



Fig. 2.9. La primer propuesta planteaba el uso de dos joysticks para manejar



Fig. 2.10. La parte que conforma el toldo se utiliza también como un espacio publicitario. Qué el vehículo se rentara como medio de publicidad era una de las primeras ideas planteadas para un plan de negocios.

Estas características se aplicaron a la primer propuesta del VEPI (fig. 6.1 y 6.2); principalmente lo que regiría al vehículo de ahora en adelante sería la capacidad del conductor de poder ir parado o sentado, ésta propuesta tiene un asiento abatible. El manejo se proponía vía dos joysticks que controlarían giro y avance. Se pensó que el vehículo fuese introducido por cualquier marca que lo quisiera rentar para publicitar productos o servicios, por la parte de atrás se ve este espacio el cual también servía como una especie de resguardo para la intemperie.

La segunda propuesta conceptual del VEPI (fig. 6.3) desarrollada por un Diseñador Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez retomaba varias de las características de la primera propuesta, proponiendo un ascenso por el frente y una columna en la cual se montaban el asiento y respaldo, la característica del asiento es permitir al usuario elegir entre tres posiciones, sentado, parado o semi-sentado; al abatir el asiento. El tipo de operación era idéntico al de la primera propuesta y también se destinaba un pequeño espacio publicitario en la parte trasera (fig. 6.4).

Dentro de las oportunidades de innovación más importantes se pueden mencionar:

- La posibilidad de poder brindarle al usuario más de una posición de manejo, es decir: cuando el usuario se fatigue al manejar el dispositivo de pie podrá sentarse y conducir en una posición segura y cómoda
- El manejo por joysticks
- Plegable para poder transportarlo
- Espacio de almacenaje en donde no se necesiten aditamentos extras de costo significativo

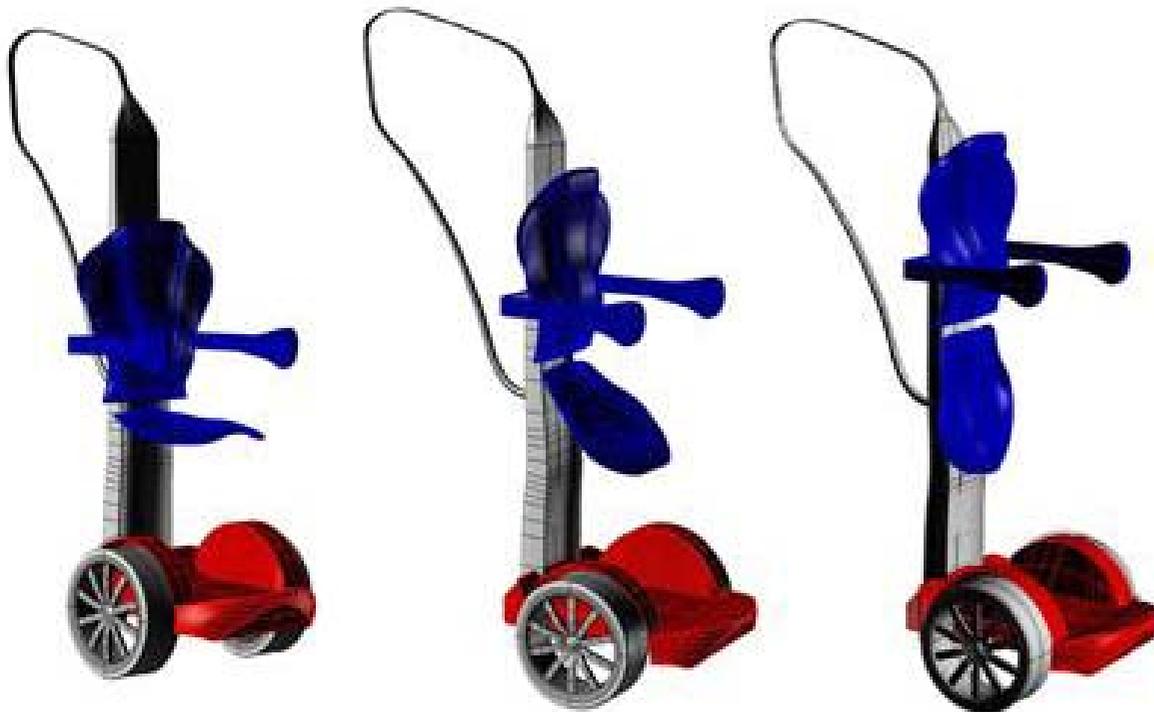


Fig. 6.3. Aquí se muestran las 3 posiciones de manejo para el vehículo, sentado, semisentado, y de pie, respectivamente. El asiento es proponía que fuese plegable.

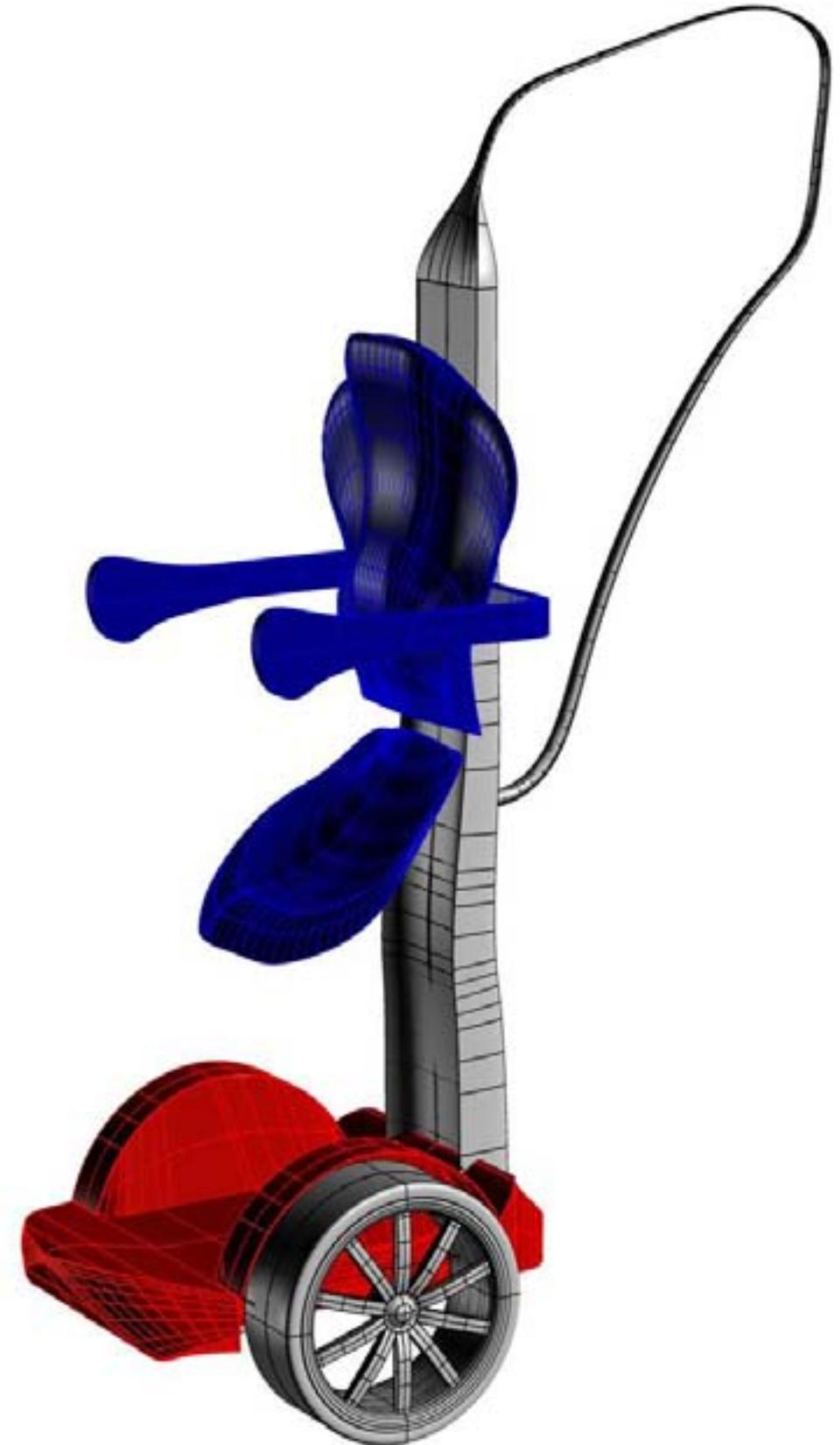


Fig. 6.4. El espacio publicitario figuraba como una banderilla puesta en la columna principal.



Primera Etapa de Diseño

Ya que es propiamente en esta etapa donde me uní al proyecto me gustaría relatarle brevemente al lector cómo llegué a él.

Terminado el curso de Proyectos Globales, impartida en el posgrado de la Facultad de Ingeniería, donde conocí a Ricardo y Alfredo, me ofrecieron participar en su proyecto de maestría. Me reuní con ellos y el equipo restante en una de las juntas semanales que tenían con el Dr. Vicente Borja donde se me explicó el proyecto.

Recuerdo que antes de aquella junta, Alfredo me había mencionado que el proyecto era un "carrito", a mi mente lo primero que vino fue un *Go-kart*, pero no fue así. En la junta me presentaron algunas imágenes de los avances desarrollados e ideas que se habían ido planteando para el producto final. Como mencioné anteriormente, durante el proyecto se habían hecho encuestas sobre las impresiones respecto al uso del Segway, otros vehículos eléctricos e intereses particulares de los encuestados; con ello se delimitaron los primeros conceptos del VEPI: posición de manejo (sentado o de pie), forma de manejo vía joysticks o manubrio táctil, espacio o accesorio para el uso de publicidad.

Diría yo que, el motivo de la junta era ajustar las necesidades que habían encontrado anteriormente y conceptualizar un producto estéticamente llamativo que compitiera con el Segway.

A todo ello hubo dos características que yo consideré fundamentales y que determinaron un eje de ideas para los conceptos que yo desarrollaría, éstas características eran: para el avance o retroceso del vehículo éste se mecía con una máxima inclinación entre 10-15°; y, el usuario debía de tener la opción de manejar el vehículo en dos posiciones parado o sentado. En semestres anteriores me había interesado el estudio ergonómico al rededor de las sillas que había hecho el diseñador noruego Peter Opsvik (fig. 7.1). Él repensó la manera de sentarse observando que los humanos siempre han vivido una vida físicamente activa pero que en los siglos recientes la industrialización a promovido la pasividad y la estandarización en posturas. Con esta inquietud diseñó una serie de mobiliario ergonómico en dónde el usuario pudiera cambiar frecuentemente de posición cuantas veces quisiera. El ejemplo más representativo es la silla *Balans* que permite al usuario adoptar una posición semisentado en donde la espalda está erguida sin tener respaldo.

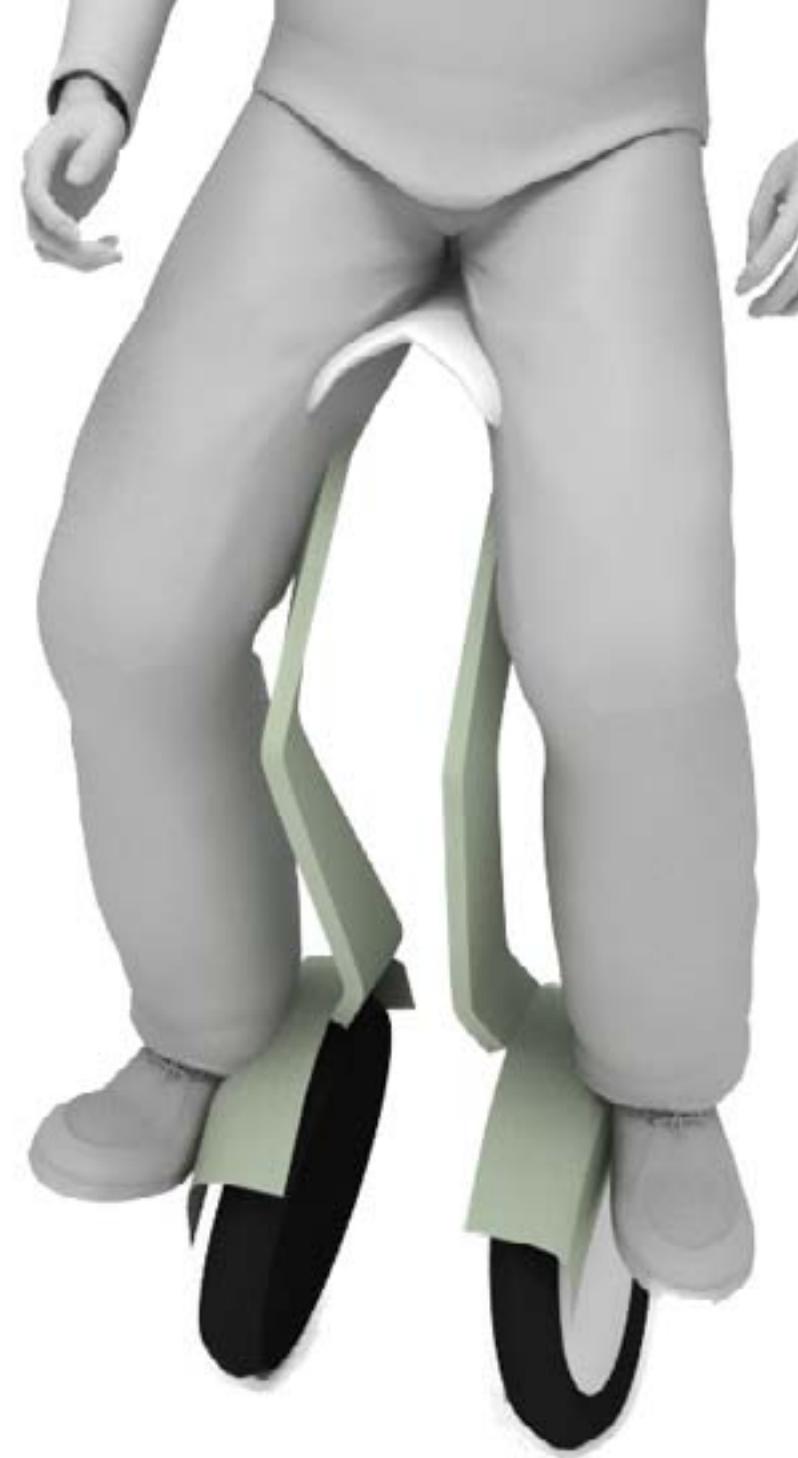


La posición semisentada fue lo primero que pensé cuando escuché que el usuario debía de tener la posibilidad de ir parado o sentado, y marcó la configuración primordial del diseño.

Mi primer propuesta (fig. 7.2) contemplaba que las llantas irían en medio de las piernas del usuario, y un manubrio frente al usuario a la altura del asiento. La estructura sería delgada para quitar peso visual pero se comentó que los motores no podrían caber en ese espacio tan estrecho y la estructura se mostraba bastante endeble, sin embargo la idea no fue desechada del todo.

De la primera propuesta surgieron dos ideas: con esa configuración podía utilizarse el área debajo del conductor como espacio de carga y el manubrio tendría que ir a los lados porque al frente como en una silla de caballos dificultaba el ascenso y podía ser un peligro en caso de caer de frente.

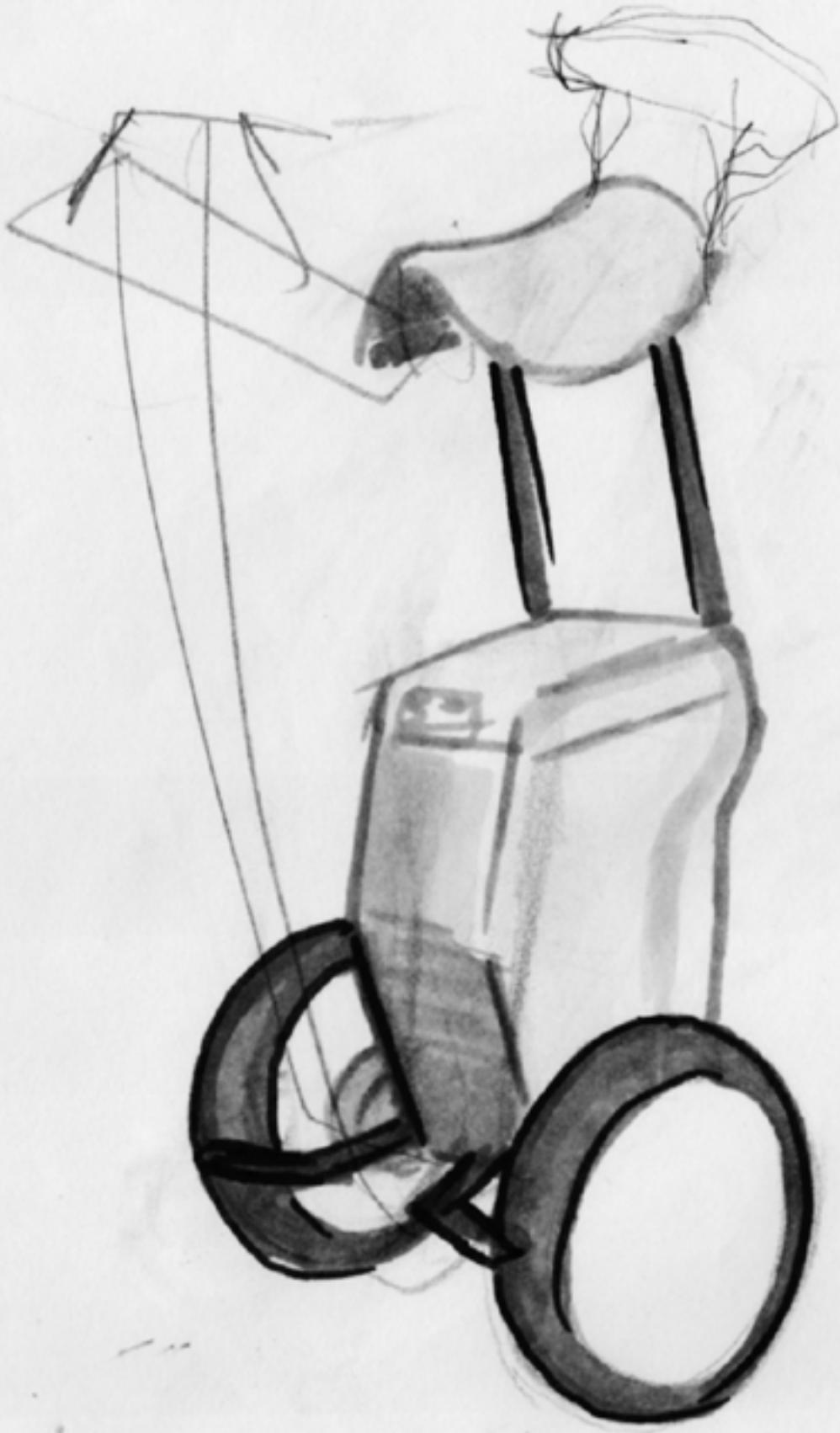
Desde mi perspectiva la mejor configuración del manubrio fue la que sale debajo del asiento del conductor y se extiende hacia los costados, tomada de la bicicleta neozelandesa Yikebike (ver pág. 61).



(Izquierda) Fig. 7.1. Los taburetes diferentes de la línea Balans diseñados por Peter Opsvik, la configuración del asiento y el reposa piernas obliga a la espina dorsal a permanecer erguida en posición natural sin esfuerzo alguno.

(Arriba) Fig. 7.2 Primer propuesta conceptual del VEPI en un bosquejo hecho en 3Dmax.

Etapa de Conceptualización



Como actividad proyectual que es, el diseño a cualquier escala no es nada sin ser planteado visualmente en dos o tres dimensiones.

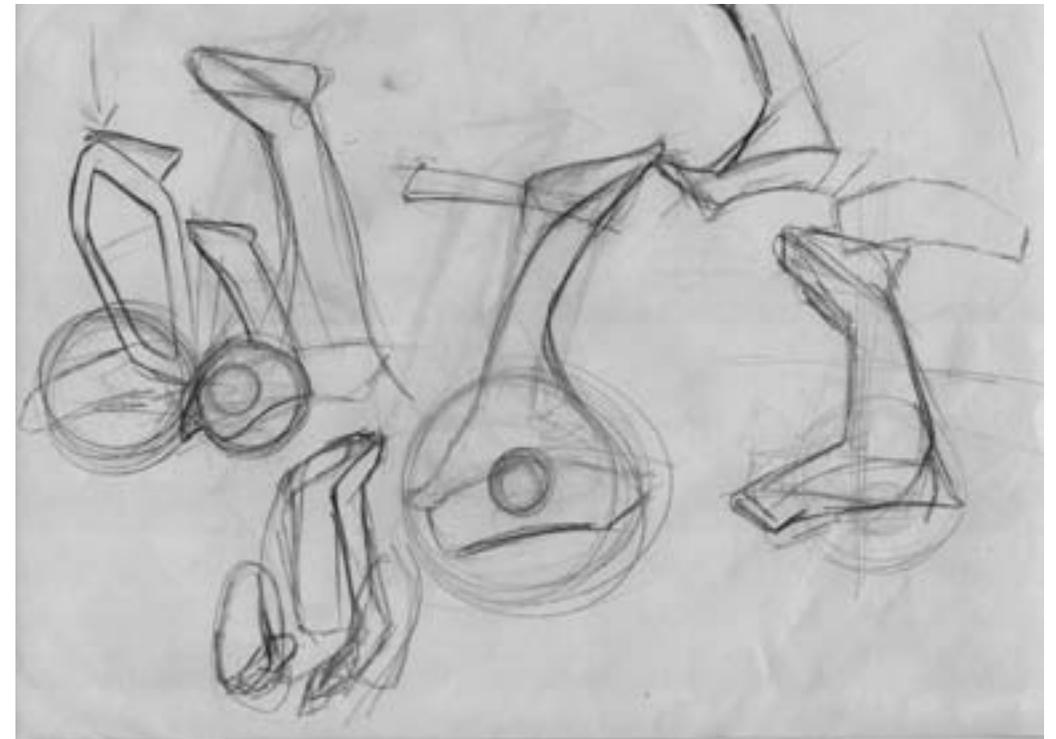
Durante el proceso de conceptualización, y también en el diseño a detalle de piezas finales del proyecto, se bocetearon, modelaron virtualmente y físicamente muchas ideas con el fin de entender físicamente lo que se planteaba de manera teórica.

En la figura de la página anterior se observa uno de los primeros propuestas que cubrían las necesidades que se habían planteado en las juntas e Ingeniería, éstas eran que el asiento pudiera plegarse y permitir al usuario ir de pie o sentado, además de esto, debajo del asiento se podía aprovechar una pequeña área de carga.

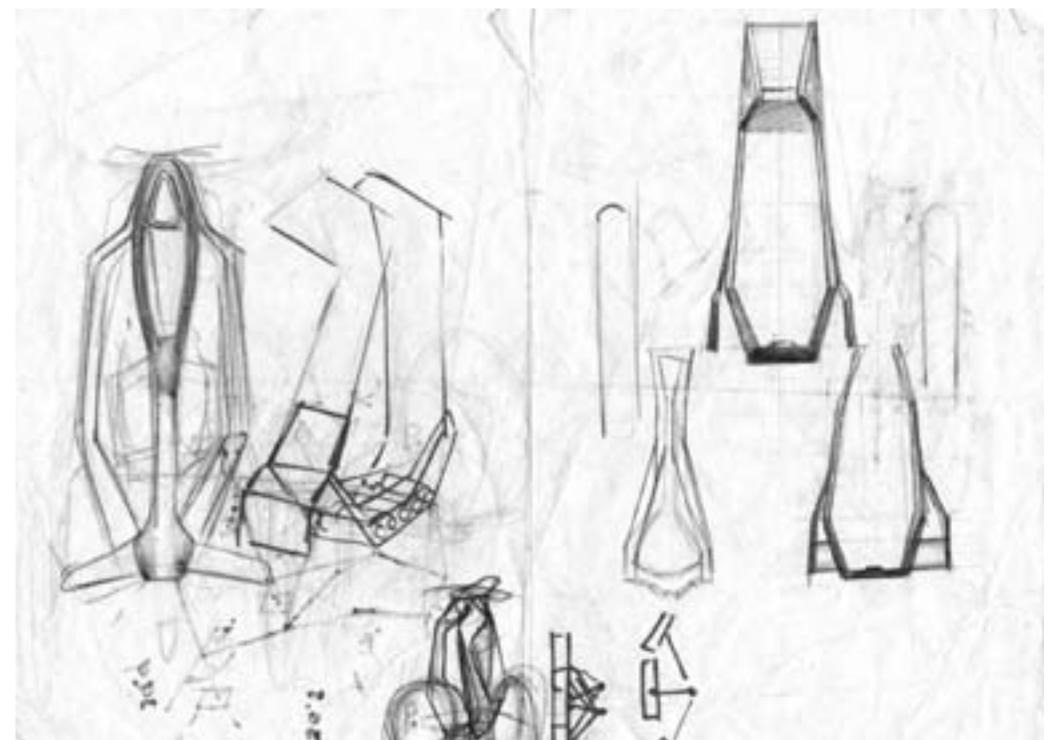
En las siguientes páginas se muestran una serie de bocetos a mano, y varios renders realizados durante la primer fase de conceptualización.



Fig 8.1. Boceto donde se planteaba un cuerpo sólido completo dónde se almacenaran todos los elementos electrónicos. El cuerpo aquí se dibuja delgado porque ya se había planteado algo más ancho que tenía un peso y una proporción visual muy pesado, pero la parte de los motores quedaba desconsiderada .



(Arriba) Fig. 8.2. Bocetos en perfil donde se buscaba la direccionalidad de las líneas.
(Abajo) Fig 8.3. Propuestas con elementos laterales delgados.



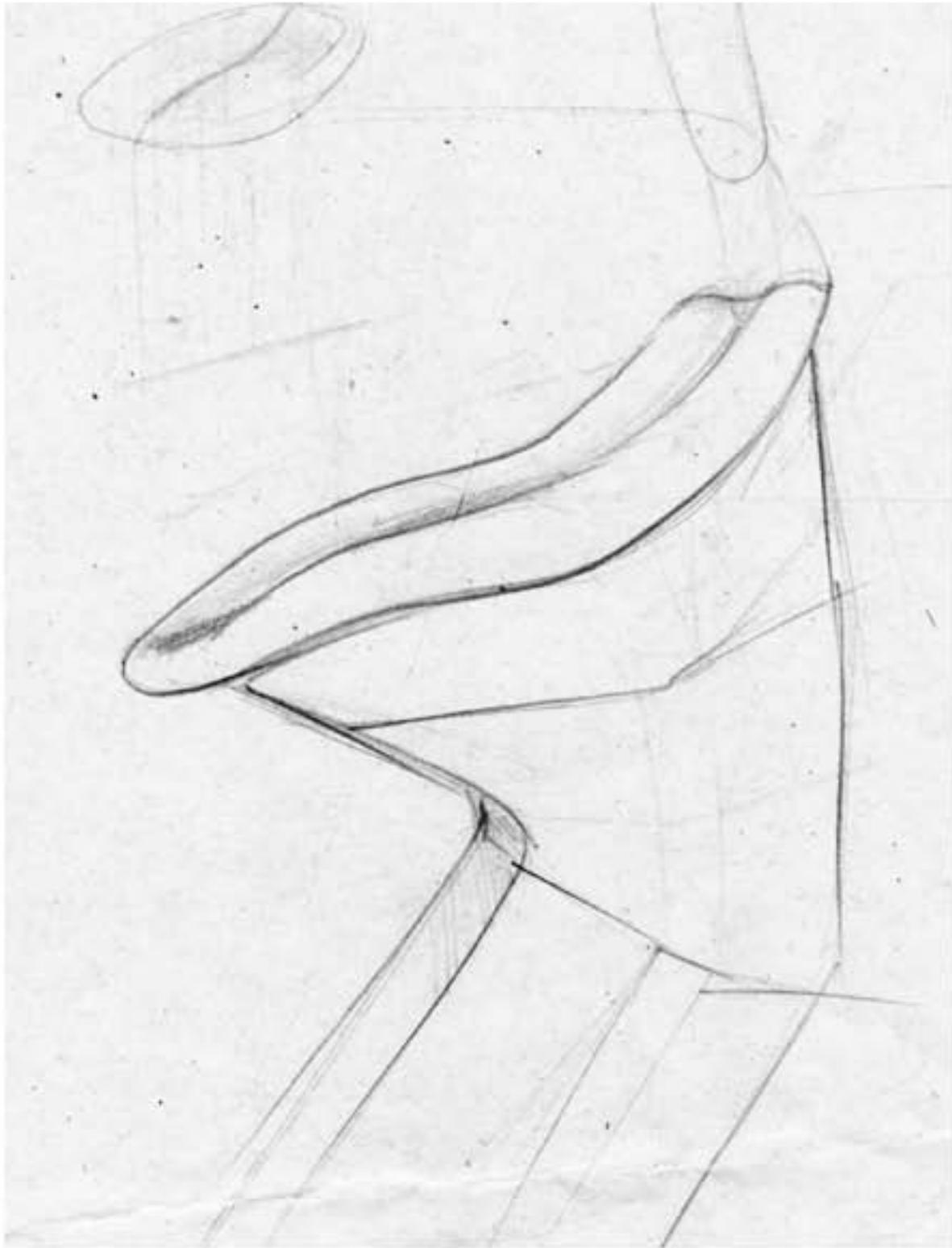


Fig. 8.4. Forma del Asiento y la base que se uniría al cuerpo

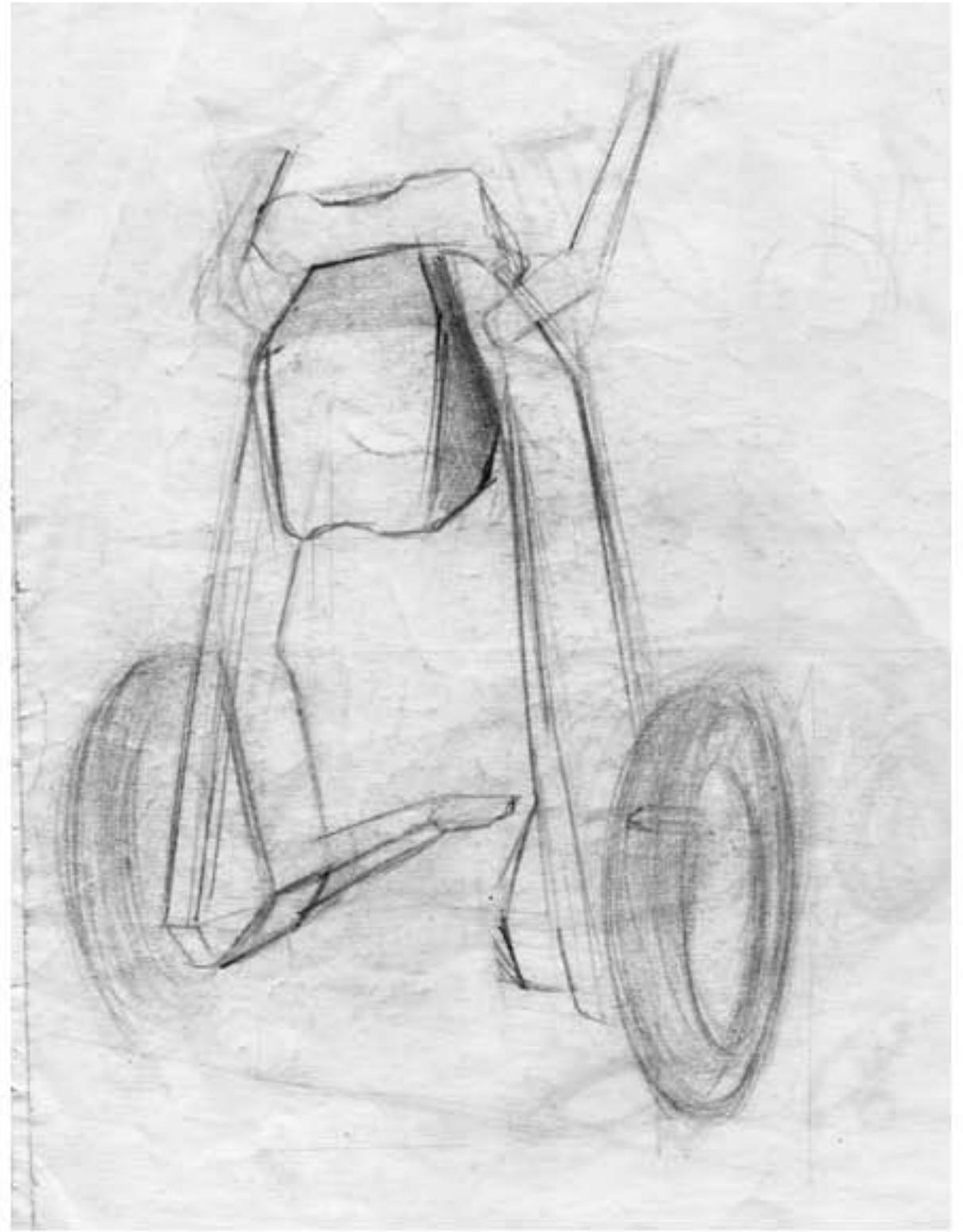


Fig. 8.5. Propuesta donde no había una unión por la parte inferior del cuerpo.



Fig. 8.6. Propuesta "Pingüino" con un cuerpo robusto y un área de carga trasera, esta idea sólo dio paso a la forma de la silueta que debían tener las demás propuestas, pero únicamente viéndola de perfil.

En las figuras 8.6 y 8.7, se empezó proponer que la dirección de las líneas planteadas en el vehículo debían ser diagonales y no ortogonales ya que no comunicaría la idea de movimiento o velocidad. Ésta propuesta contemplaba que en el cuerpo se pudiera guardar accesorios u objetos personales que los usuarios trajeran consigo pero el volumen sólido tenía un peso visual muy grande y daba la idea de ser un vehículo torpe y lento. Los estribos tenían poca altura, y sobresalían por mucho fuera del diámetro de las llantas y el asiento no planteaba ninguna variación de altura.



Fig. 8.7. Propuesta Pingüino con usuario.

Construcción de Simulador y pruebas



Para probar algunas de las características o ideas propuestas en el primer concepto que desarrollé se construyó un simulador sencillo hecho a base de madera que ayudó a definir el tipo y forma de ascenso y descenso, tipo de manubrio, forma de asiento, además de mostrarnos las sensaciones y percepciones de los usuarios (figura página anterior).

Para la construcción del simulador pensé que lo más rápido y propio para hacer pruebas era un banco común de madera al cual se le realizaron modificaciones para que se uniera a una base que permitiera un movimiento de balanceo hacia adelante y hacia atrás. La base en su parte más baja tenía transversalmente un tubo de metal que funcionaba como eje de giro y 4 resortes que suavizaban el movimiento de balanceo. Se hicieron dos manubrios de tubular de acero, el primero de ellos salía por debajo del asiento y llegaba a los costados del usuario, mientras que el otro iba por enfrente y el usuario lo tenía entre las piernas. También



(Arriba) Fig. 9.1. Prueba con simulador y manubrio a los lados
(Pág. Siguiente) Fig 9.2. Simulación de Alfredo sosteniendo un mando inalámbrico.

se le agregaron rodamientos para que se pudieran hacer pruebas en movimiento. La primer prueba se llevó acabo en una clase del Posgrado de Ingeniería (fig 9.1) donde se probaron tres configuraciones del manubrio que el equipo tenía en mente, estos eran: mando inalámbrico (fig. 9.2) que el propio usuario cargaría, manubrios de frente y a los lados. En esta prueba se les pedía a los usuarios que ascendieran al vehículo sin darles mayor explicación. El simulador era jalado por uno de nosotros con un mecate para que los usuarios sintieran la sensación más apegada a la realidad de un vehículo autobalanceable. El manubrio a los lados fue el primer concepto a probar, y en todos los casos se mencionó que se sentían inseguros, la causa era que la ubicación de los pies no era clara y los usuarios optaban por ponerlos justo debajo de ellos como se muestra en la figura de la derecha. El



Fig. 9.3 Simulador con manubrio al frente como el de una bicicleta, la desventaja de este manubrio era que con la inercia de la dirección en caso de caer el poste del manubrio atoraría a los usuarios y podría herir sus genitales fácilmente.

siguiente manubrio era el que iba de frente al usuario como se observa en la figura 9.3. Todos los participantes mencionaron que la forma de ascender y descender era más fácil porque eran modos que conocían de vivencias pasadas como montar a caballo o andar en moto o bicicleta.

El último concepto de manejo era un mando inalámbrico (fig 9.4), para representarlo usamos un acrílico circular de unos 15 cm. de diámetro. Antes de subirse al simulador se le daba el mando al usuario y ya estando arriba de él se le pedía que lo sacara de donde lo trajera, la idea era tener un control de bolsillo y poder tener libre una mano a la vez. De todas las configuraciones esta se percibió como la más insegura, ya que todos los usuarios demandaban la necesidad de estribos o un elemento de apoyo sólido en las piernas.

El propósito de estas pruebas era retroalimentarnos de las experiencias de los alumnos de la clase con comentarios acerca de su percepción sobre la seguridad al manejar el vehículo, la facilidad de ascenso de una forma u otra, preferencias entre las diferentes configuraciones del manubrio, entre otros.

En un principio se tuvo la idea de que el vehículo debería tener la posibilidad de un desplazamiento hacia atrás, sin embargo, conforme se fue avanzando en este simulador



Fig. 9.4. Simulador con mando inalámbrico, en el que todos los usuarios mencionaron que se necesitaba de dos mejores apoyos en piernas si es que se iban a tener las dos manos libres.

se observó que dicho desplazamiento no iba a ser necesario ya que el vehículo propuesto giraría en 360° sobre su propio eje evitando con ello la necesidad del movimiento en reversa. Por cuestiones de practicidad y tiempos la forma del asiento del primer prototipo no había sido modificada, sin embargo en la primer prueba se constató que cambiar su forma era necesaria para probar la posición ergonómica deseada. Otro punto que se observó en las pruebas era que usuarios de estaturas bajas tenían dificultades al ascender al modelo y por ende se mostraban temerosos a la hora de probarlo.

Para aquellos lectores que no han manejado un vehículo eléctrico autobalanceable es importante que sepan que por la "novedad" de maniobrabilidad es común sentir desconfianza en los primeros manejos y que la pérdida del control ha causado inclusive muertes.¹¹

De las tres configuraciones del manubrio se desechó rápidamente la del control inalámbrico, la principal causa era que el usuario necesitaba de elementos de apoyo en las piernas que le ofrecieran seguridad para llevar las manos libres, esto, tendería a comprometer el estado

¹¹ El dueño, más no el inventor, de Segway Jimi Heselden murió en un acto de cortesía. Al querer dar espacio para que un corredor y su perro pasaran por el camino en el que estaban, Jimi retrocedió sin darse cuenta que estaba cerca de un precipicio.



de sus piernas y no le permitiría apoyarlas rápidamente sobre el suelo en caso de accidente. El manubrio al frente presentaba casi el mismo problema, y es que, al encontrarse justo al frente de los genitales en caso de descontrol, el usuario se trabaaría con él provocando quedar atrapado durante una caída o ser arrollado por el mismo vehículo.

Finalmente se escogió la opción del manubrio a los costados porque era la que rápidamente permitía al usuario apearse del vehículo (fig 9.5).

El segundo simulador fue una modificación del primero. El asiento se cambió por uno hecho de espuma de poliuretano para probar la teoría ergonómica, se disminuyó de altura, y se agregó un estribo de acero. Con este segundo simulador se realizaron pruebas dentro y

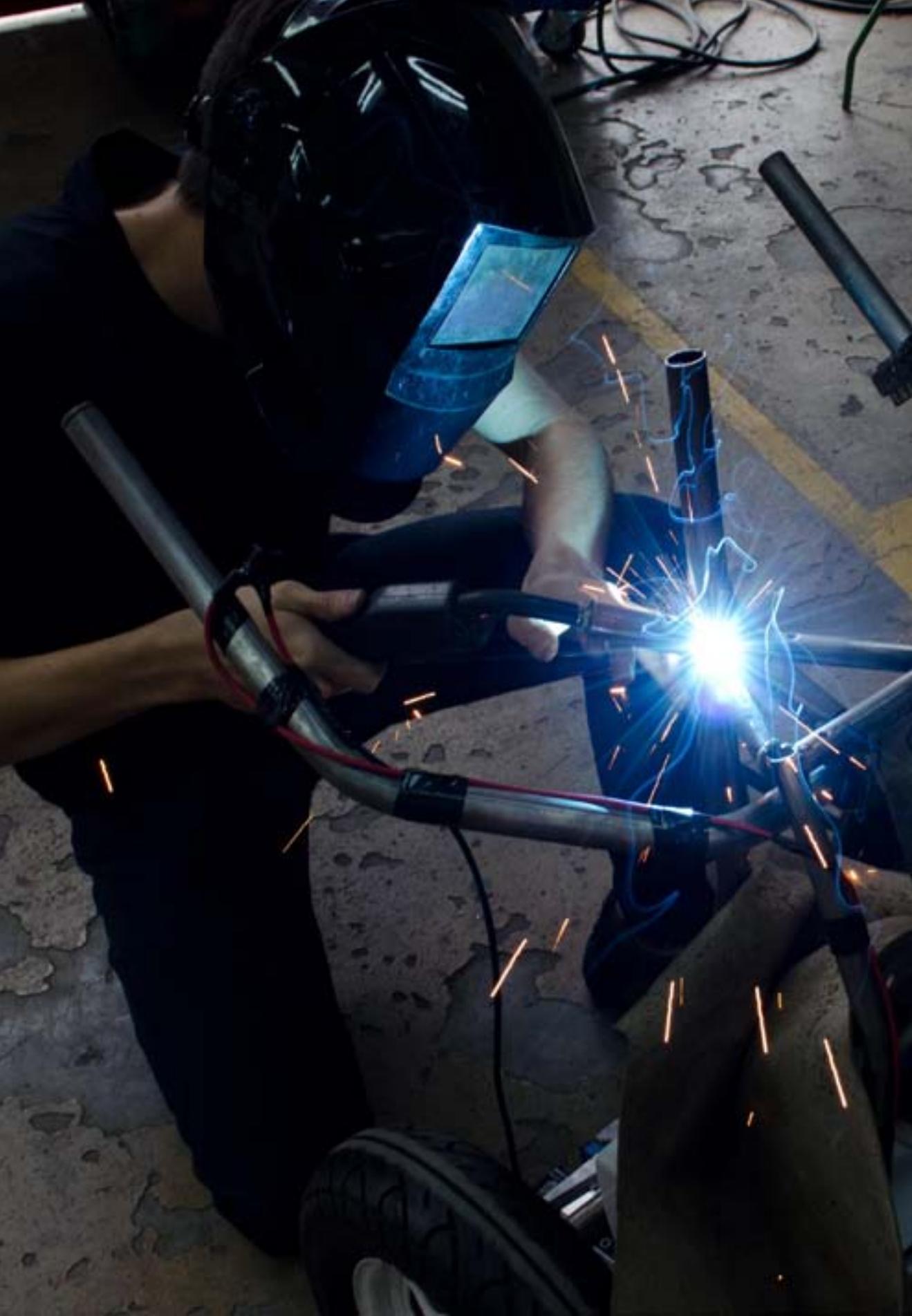
*(Página anterior) Fig. 9.5. Simulador con asiento modificado y manubrio a los lados.
(Abajo) Fig. 9.6. Simulador con manubrio al centro abatible.*



fuera de Ciudad Universitaria (fig 9.6). A diferencia de las primeras pruebas, el simulador era empujado por uno de nosotros una vez que el usuario estaba arriba de él y esta vez el objetivo era saber cual era la sensación de seguridad que percibía el usuario. Además del manubrio a los costados se replanteo el que iba por el frente, pero en vez de estar fijo se podía plegar hacia abajo. La capacidad de esta configuración de plegarse hacia abajo no parecía convencer a la mayoría de usuarios, su sensación era la misma que con el manubrio a los costados: *sentían que se iban a ir de bruces*, la única diferencia era que obstaculizaba el descenso (fig 9.7).



(Página siguiente) Fig. 9.7. Usuario percentil 5 que mencionó que prefería la configuración del manubrio a los lados por la razón que el manubrio entre las piernas la hacía sentir insegura ante una caída.



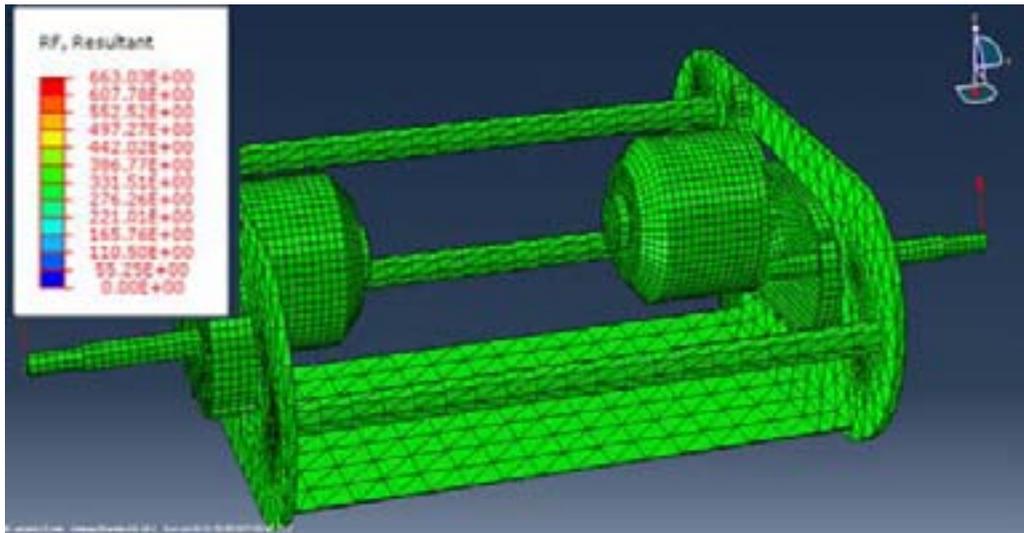
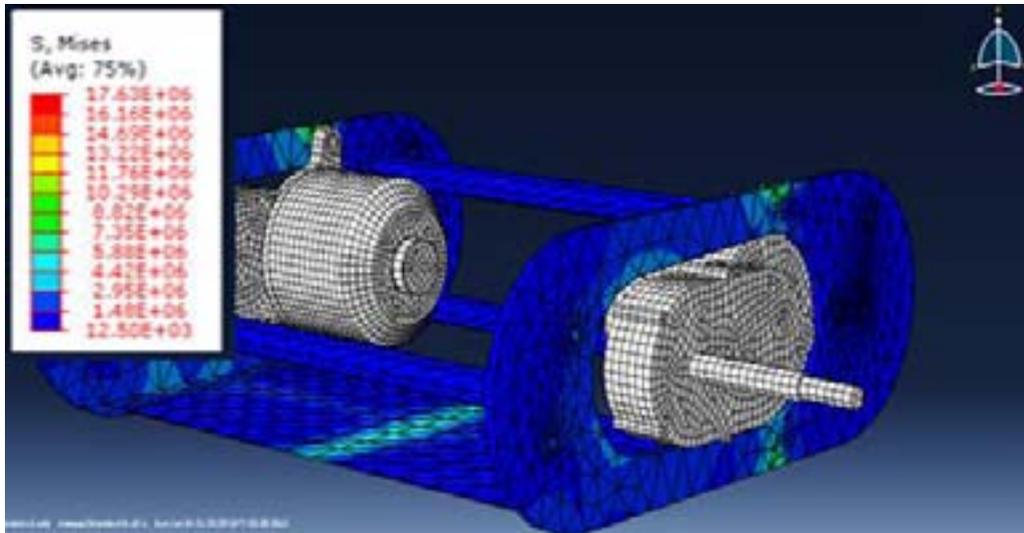
Construcción de Prototipo

En los dos simuladores anteriores las pruebas fueron realizadas sin la presencia de motores ya que el equipo estaba a la espera de que llegaran los complementos electrónicos comprados por Internet para construir un prototipo motorizado y probar el programa electrónico descrito en capítulos anteriores (la definición completa del programa electrónico puede consultarse en el Anexo 1 y en las tesis de Alfredo y Ricardo citadas en la Bibliografía, pág. 233).

El prototipo se dividía en dos módulos principales: base y estructura del cuerpo. Dentro de la estructura de la base se colocaron baterías, circuitos electrónicos, motores eléctricos con reductores y sus respectivas llantas. Sobre la base se montó la estructura superior que era la que cargaría completamente al usuario, por lo que ambas debían de soportar importantes cargas, tanto estáticas como dinámicas.

El paso inicial consistió, en resolver cómo mantener a los dos motores en paralelo sobre un eje coaxial ya que de no ser así, el vehículo tendría un avance irregular. Para ello se planteó una base hecha de dos placas idénticas de aluminio de 1/4 de grosor en las que se atornillarían los motores, unidas por 3 barras atornilladas (de aluminio). Se construyó una base de acero de calibre 14 misma en la que se montarían las baterías.

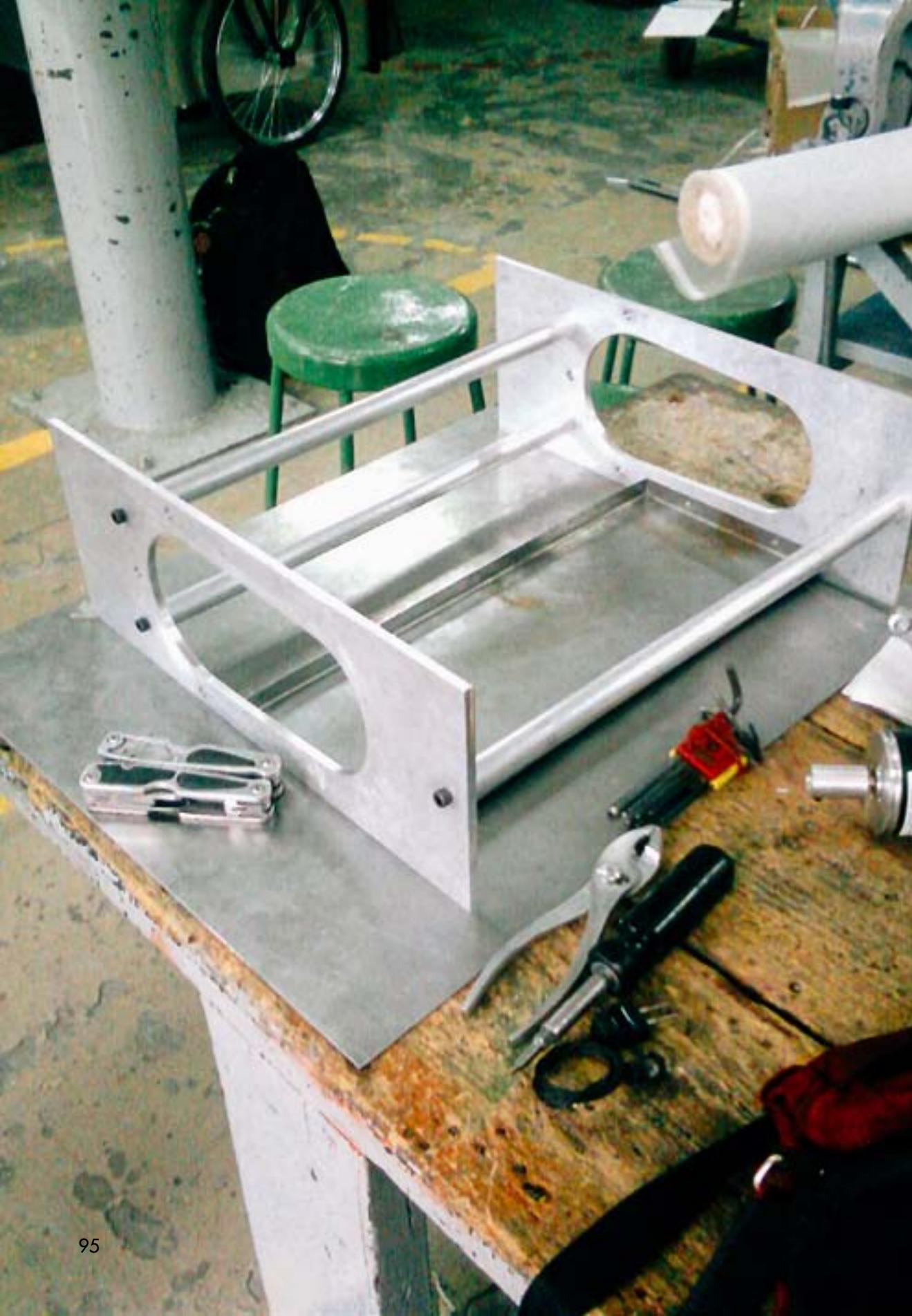
Previo a la manufactura de la estructura, se realizaron algunos análisis para conocer el comportamiento de la estructura ante diferentes estados de cargas, se creó un modelo de elementos finitos con ayuda de los programas *ABAQUS 6.10* y *CATIA V5*, con los que se analizó: esfuerzos a cargas estáticas, dinámicas, combinadas, y esfuerzos en uniones. (fig 10.1)



(Arriba) Fig 10.1. Se muestra la base sometida a esfuerzos (arriba) y fuerzas de reacción bajo carga axial (abajo) con los resultado de dichos análisis, se pretendió corroborar que no fueran a haber fallas durante las pruebas del prototipo, lo que permitió dar luz verde a la construcción de la base. (Pág. siguiente) Fig. 10.2. Manufactura de la placa de la base en CNC

En las figuras 10.1 se ve el análisis de esfuerzos previo a la manufactur del chasis de la base que cargaría a los motores.
 La base fue manufacturada con una máquina CNC en la Facultad de Ingeniería (fig 10.2), pero posteriormente se necesito modificar sus aristas y se trabajó en ello en Diseño industrial, los circuitos electrónicos necesitaban ser alojados en la base, por lo que se les adaptó un acrílico de 3mm en donde se montaron.





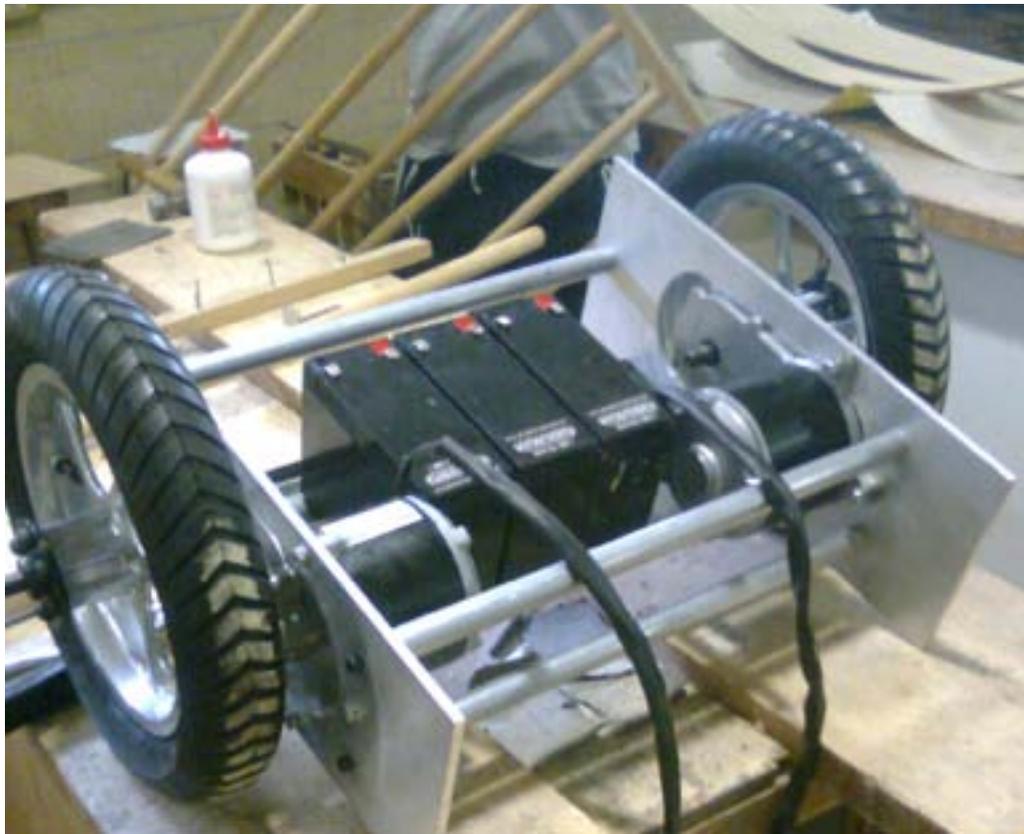
(Pág. anterior) Fig 10.3. Placas de aluminio unidas con tubos del mismo material.
(Arriba) Fig. 10.4. Estructura del cuerpo siendo rectificada en el taller Munormex.

La estructura del cuerpo (fig. 10.4) fue hecha en tubo de acero de 3/4. Para el soporte frontal y el manubrio se utilizó tubo de 1" y para los estribos 3/4. (Los planos de esta estructura se encuentran en el Anexo 3).

Una vez teniendo estos dos módulos se unieron con tornillos de 5/16 y se le montaron los complementos electrónicos (motores eléctricos y sus respectivas llantas; circuitos electrónicos, baterías, encoders) y el asiento (fig. 10.3)

Las llantas que originalmente venían con los motores eran demasiado pequeñas (fig. 10.5) para nuestras intenciones así es que se adquirieron unas de motoneta y sus rines se adaptaron para poder acoplarlas a los motores, para esto se manufacturaron en el taller de metal mecánica en el CIDI (fig. 10.6). Se retiró el material sobrante y no útil para nuestra aplicación con ayuda de un torno. Se hicieron barrenos en el centro de los rines que alojarían a unos bujes con cuñero que permitieron el ensamble con la flecha de los motores.

Idealmente la parte trasera de la base no debía de sobresalir más allá del diámetro de las llantas ya que en caso de giro ésta golpearía con el suelo, por la ubicación de los motores



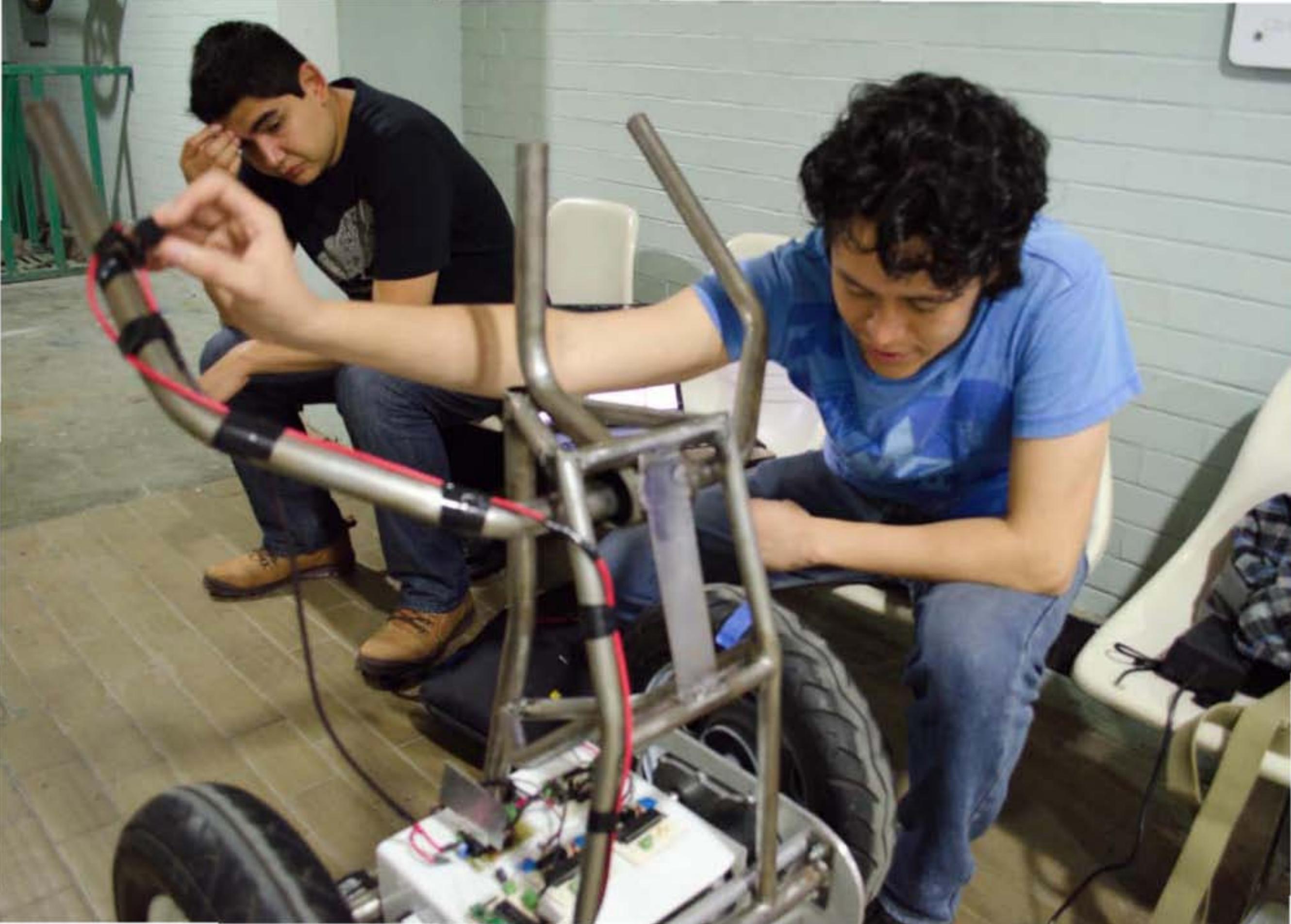
(Arriba) Fig. 10.5. Llantas originales de los motores
(Abajo) Fig 10.6. Rines 12" de una motoneta modificados para que pudieran entrar en la flecha del motor.
(Página siguiente) Fig. 10.7 Render con la propuesta de prototipo a construir.



esto no pudo ser posible.

Los aspectos que se habían ido afinando durante las pruebas con el simulador fueron los que delimitaron el diseño del prototipo. La configuración final se observa en la figura 10.7 a la derecha en donde el usuario iría en posición semisentada, apoyado en la parte más baja por un par de estribos y debajo del asiento saldría el manubrio que se extendería a los costados. Antes de poder probar el prototipo con un usuario, se necesitó probar la estabilidad mediante el sistema de control electrónico, que se comprendía de: circuitos, acelerómetros, giroscopios, encoders conectados a los motores que medían la velocidad con la que giraban los engranes de la reducción, todo esto iba conectado a las baterías y a un interruptor de encendido. Funcionaba conectando un cable USB de los circuitos a una computadora, de dónde se le harían llegar datos para definir su funcionamiento. A partir de un punto de equilibrio se determinaba el ángulo medido por el giroscopio y el acelerómetro respecto a la vertical y se le daba una tolerancia de $\pm 3^\circ$





para que los motores, rebasado ese límite entraran en acción. Una vez hecho esto, el sistema entero se prendía con el interruptor y, lo que hacía era tratar de estabilizar al vehículo.

En funcionamiento, el sistema mandaba datos de medición de ángulos por medio de Bluetooth a la computadora, permitiendo posteriormente replantear la definición dada con anterioridad.

Las pruebas sin peso añadido consistieron en permitir al vehículo adquirir su posición de estabilidad después de perturbaciones externas de diferentes intensidades que le provocaran inclinaciones respecto a la vertical inferiores a 15° . Dichas perturbaciones fueron frontales y traseras.

Durante las pruebas se encontraron algunos problemas que afectaban el desempeño del controlador como la presencia de vibraciones excesivas que provocan errores en las mediciones que tenían el acelerómetro y el giroscopio. Durante pruebas con peso muerto fueron colocadas pesas con diferentes masas en un tubo adaptado al prototipo en la parte donde se encontraba el asiento, el máximo peso añadido fue de 40 Kg. En estas pruebas se encontró que la posible causa de que no se lograra estabilizar el prototipo se debía a que los encoders no estaban retroalimentando correctamente al sistema de control por lo que éste no hacía girar a los motores con la velocidad necesaria. Se realizaron varios ajustes pero no se logró determinar si el problema se debía a que existía deslizamiento en exceso de uno de los ejes, ya sea del motor o el encoder dentro del acoplamiento, o si uno o ambos encoders no funcionan correctamente.

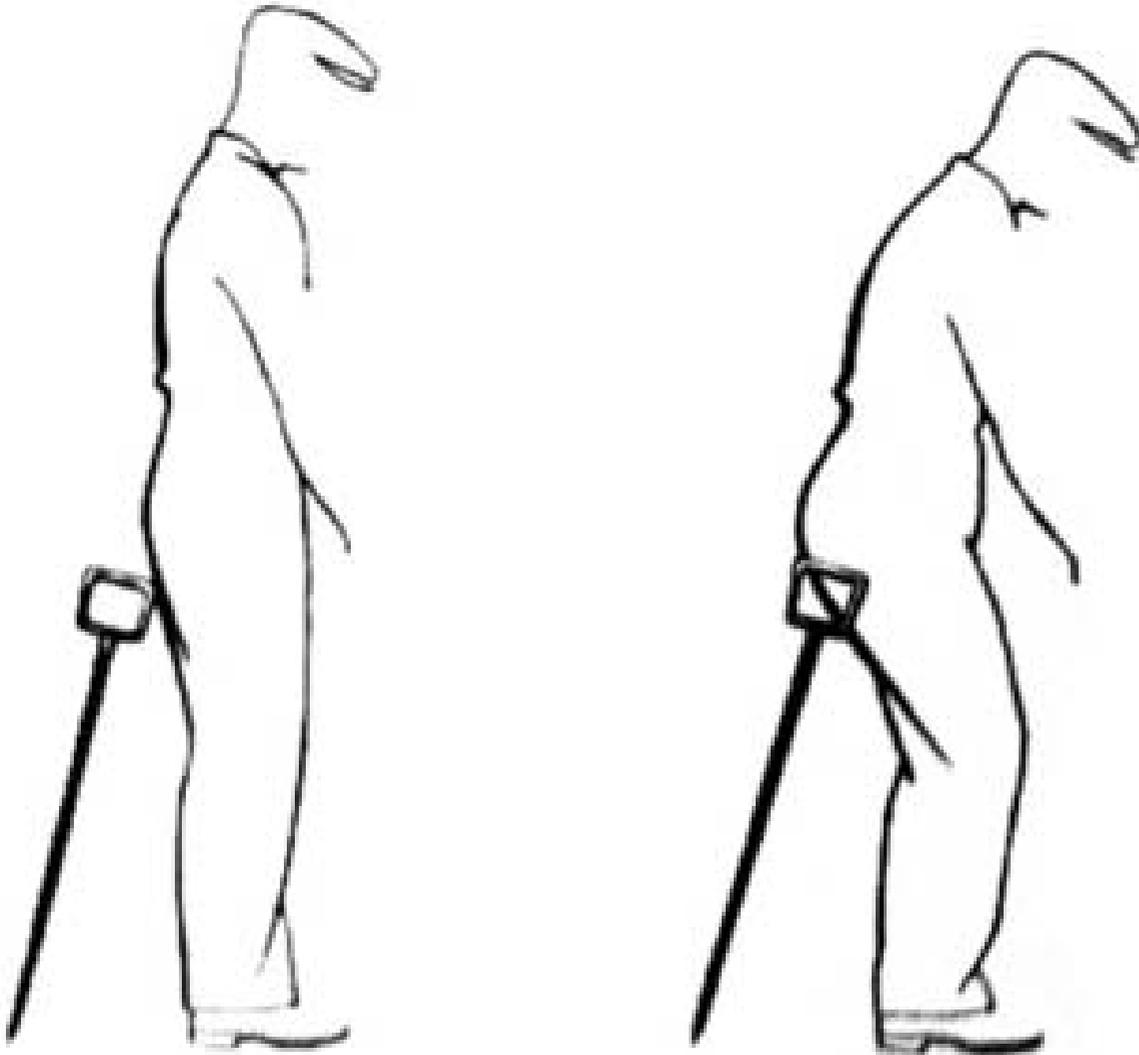
Para hacer pruebas con usuarios lo anterior debía ser corregido y el sistema de control se tendría que hacer más riguroso ya que nunca se pudo estabilizar al vehículo. Al no poder equilibrar el vehículo se le adaptaron un par de rodamientos al vehículo para poder hacer algunas pruebas con usuarios, como se muestra en la figura 10.7. La última modificación que se le hizo al vehículo fue en el manubrio donde, de su mando izquierdo, se puso un control táctil que le permitiera al usuario ir de frente, reversa y a los lados.

La opción de manejo con esta tecnología *touch* estuvo en tela de juicio ya que teóricamente parecía una propuesta de lo más sencilla e intuitiva, pero se pensaba que como en todo vehículo se necesitaba una interacción directa entre los movimientos que se hacían en el mando con la respuesta del vehículo a dicho estímulo, es decir, se creía que el usuario necesitaba de un estímulo análogo y no meramente digital.

(Pág. siguiente) Fig. 10.7. Prueba con prototipo en el pasillo del CIDI.



Ergonomía



Segway fue el único vehículo autobalanceable totalmente funcional que se pudo probar para los fines de esta tesis y por ende el de mayor parámetros. Sus desventajas ergonómicas son la fatiga extremidades inferiores después de tan solo media hora de uso, por lo que la ventaja ergonómica del VEPI, estando semisentado, es disminuir estas fatigas sin afectar en demasía la altura visual y ofrecer mayor seguridad para efectos de accidentes.

El principal aspecto ergonómico está sustentado en la interacción entre el trinomio asiento-manubrio-estribos. Estos tres elementos son los responsables de definir la postura de manejo semisentado.

En la postura estándar sentado (en silla o banco sin respaldo) la espalda del usuario se arquea desde la espalda baja provocando dolor y fatiga rápidamente, obligando al usuario a cambiar de posición con mayor frecuencia; a diferencia de esto, estando semisentado existe una mínima tensión localizada en las vértebras y en los discos intervertebrales, además los músculos de la espalda actúan de forma balanceada (fig. 11.1).

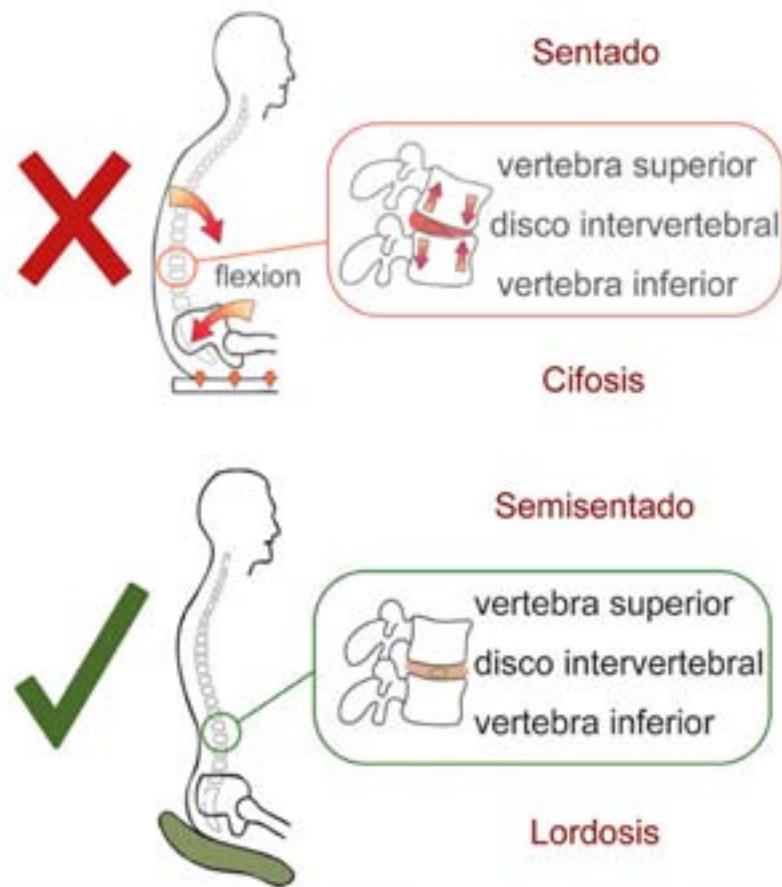


Fig. 11.1. Explicación de la posición semisentado y la corrección de la postura en la columna vertebral.

Por practicidad y tiempos se tomó la altura de un banco casero y basándome en ella se construyeron dos modelos del asiento propuesto en estereotomía con MDF y, se hicieron algunas pruebas con usuarios con el único objetivo de constatar que el asiento cumpliera su función de mantener a la espalda en su postura natural. (fig. 11.2)

Los estribos además de ofrecer seguridad a los usuarios a la hora de conducir, cumplen una doble función, son responsables de ayudar al piloto a subir al asiento, sobretodo para los usuarios más bajos en estatura (percentil 5), y para mantener la inclinación de las piernas necesarias para mantener la postura natural de la columna.

Con este binomio se puede mantener la postura semisentado en un objeto estático, es decir, en una silla, la cual por cierto, tiene una base estable; pero al ser un vehículo, el usuario necesitaría de uno o dos apoyos más. Uno de ellos fue un soporte en las espinillas pero trabaría las piernas del usuario en caso de accidente por lo que fue descartado. El otro elemento era evidentemente necesario: un manubrio a los lados.

Como ya se mencionó, el prototipo funcional necesitaba de un programa más riguroso



Fig. 11.2. Modelo en estereotomía del asiento.

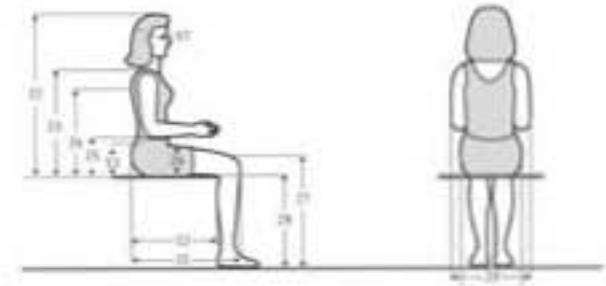
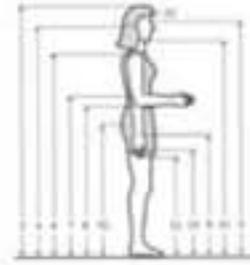
para poder hacer pruebas reales (balanceado sin ruedas auxiliares), por lo que, parte del estudio ergonómico que tiene que ver con las sensaciones que experimentan los usuarios está incompleto.

El estudio para el desarrollo de la propuesta final está basado únicamente en las observaciones y encuestas hechas con los simuladores de madera y conforme a datos antropométricos.

Las medidas antropométricas que se usaron para acotar medidas del concepto final fueron tomadas del libro *Dimensiones Antropométricas. Población Latinoamericana. México, Cuba, Colombia, Chile y Venezuela*, de la editorial del CUAAD de la Universidad de Guadalajara. Los apartados que sirvieron para este fin fueron aquellos donde se incluyen mujeres y hombres de entre 18 y 65 años de edad; y de este rango se tomaron en consideración las muestras de los percentiles 5, 50, y 95.

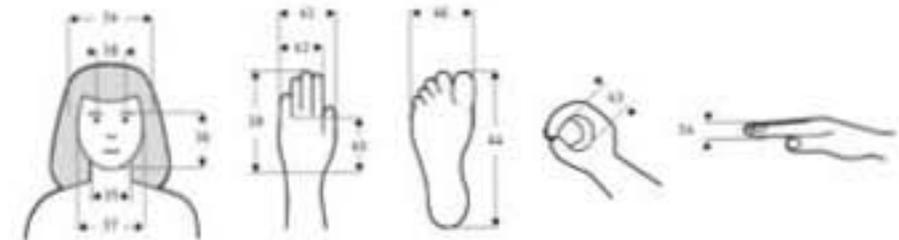
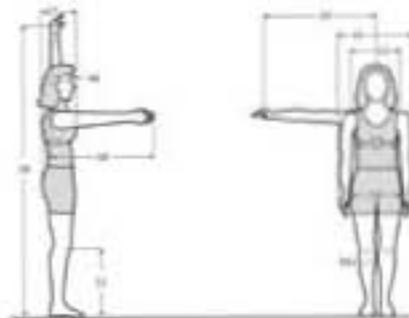
Los datos más importantes a considerar fueron los que intervinieran en la interacción entre manubrio-asiento-estribo. Distancias de alcances máximos como en brazos frontal y lateralmente, diámetro de empuñadura, dimensión de pie, etc.

Trabajadores industriales
En posición de pie
Sexo femenino
18 a 65 años



| Dimensiones | 18 - 65 años (n=204) | | | | |
|--------------------------|----------------------|-------|------|------|------|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 1 Peso (kg) | 44.0 | 52.45 | 48.0 | 55.5 | 64.0 |
| 2 Estatura | 1567 | 1612 | 1471 | 1576 | 1658 |
| 3 Altura de ojos | 1447 | 1512 | 1391 | 1470 | 1544 |
| 4 Altura codo | 1434 | 1500 | 1381 | 1461 | 1537 |
| 6 Altura hombro | 1371 | 1447 | 1328 | 1400 | 1480 |
| 7 Altura codo | 1094 | 1169 | 941 | 1004 | 1080 |
| 8 Altura codo flexionado | 919 | 992 | 868 | 948 | 1024 |
| 9 Altura muñeca | 774 | 837 | 721 | 776 | 844 |
| 10 Altura nudo | 708 | 763 | 661 | 704 | 760 |
| 11 Altura dedo medio | 617 | 655 | 585 | 611 | 648 |
| 11 Diámetro esp. codo | 184 | 173 | 175 | 187 | 199 |
| 11 Altura manillo | 1374 | 1423 | 1344 | 1340 | 1424 |
| 11 Altura tocador. mo. | 828 | 852 | 791 | 820 | 890 |

| Dimensiones | 18 - 65 años (n=204) | | | | |
|--------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 11 Altura normal sentado | 871 | 912 | 790 | 811 | 870 |
| 11 Altura hombro sentado | 751 | 792 | 671 | 691 | 750 |
| 14 Altura codo | 628 | 669 | 577 | 628 | 689 |
| 15 Altura codo sentado | 570 | 611 | 469 | 489 | 551 |
| 16 Altura man. mo. | 511 | 552 | 420 | 440 | 491 |
| 17 Altura rodilla | 472 | 513 | 401 | 421 | 472 |
| 18 Altura proxeo | 374 | 415 | 328 | 348 | 400 |
| 19 Anchura codo | 447 | 488 | 421 | 474 | 527 |
| 19 Anchura codo sentado | 399 | 440 | 367 | 391 | 472 |
| 21 Longitud palmo muñeca | 371 | 412 | 328 | 372 | 425 |
| 22 Longitud palmo proxeo | 471 | 512 | 424 | 470 | 511 |
| 21 Altura cresta ilíaca | 304 | 345 | 278 | 284 | 336 |
| 21 Diámetro esp. codo | 211 | 200 | 197 | 211 | 228 |



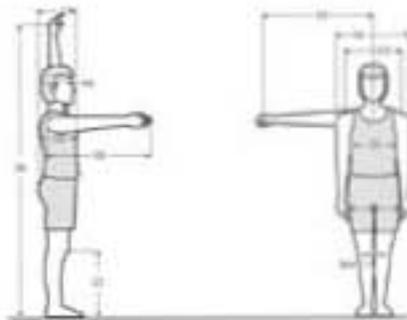
| Dimensiones | 18 - 65 años (n=204) | | | | |
|--------------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 12 Altura rodilla | 449 | 490 | 411 | 440 | 491 |
| 11 Diámetro máx. tórax | 497 | 486 | 489 | 475 | 521 |
| 14 Anchura máx. cuerpo | 424 | 413 | 414 | 479 | 578 |
| 15 Diámetro transversal ilíaca | 324 | 313 | 308 | 328 | 374 |
| 16 Diámetro bíceps | 304 | 293 | 321 | 317 | 321 |
| 17 Profundidad máx. codo | 277 | 266 | 309 | 289 | 284 |
| 18 Altura brazo frontal | 486 | 475 | 471 | 485 | 511 |
| 19 Altura brazo lateral | 506 | 495 | 485 | 500 | 526 |
| 19 Altura máx. vertical | 1096 | 1085 | 1091 | 1090 | 1120 |
| 21 Profundidad ilíaca | 287 | 276 | 328 | 287 | 328 |
| 40 Perímetro codo | 324 | 313 | 327 | 317 | 361 |
| 40 Perímetro muñeca | 347 | 336 | 345 | 335 | 378 |

| Dimensiones | 18 - 65 años (n=204) | | | | |
|------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 14 Anchura codo | 370 | 360 | 374 | 355 | 384 |
| 15 Anchura codo | 328 | 317 | 328 | 328 | 328 |
| 16 Altura cara | 227 | 216 | 214 | 218 | 218 |
| 17 Anchura cara | 224 | 213 | 208 | 227 | 228 |
| 18 Diámetro intercarpo | 76 | 75 | 69 | 74 | 81 |
| 19 Longitud mano | 171 | 160 | 178 | 171 | 180 |
| 40 Longitud palma mano | 87 | 86 | 81 | 81 | 87 |
| 41 Anchura mano | 91 | 90 | 81 | 81 | 88 |
| 41 Anchura palma mano | 76 | 75 | 71 | 74 | 81 |
| 54 Espesor mano | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 41 Diámetro empuñadura | 45 | 44 | 45 | 45 | 50 |
| 44 Longitud pie | 232 | 221 | 227 | 231 | 238 |
| 44 Anchura pie | 90 | 89 | 81 | 81 | 88 |

**En posición de pie
Trabajadores industriales
Sexo masculino
18 a 65 años**



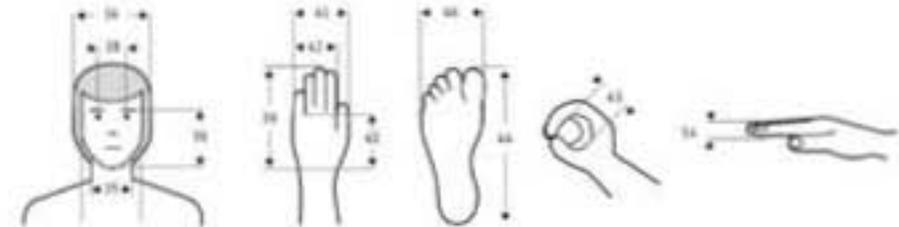
| Dimensiones | 18 - 65 años (n=206) | | | | |
|--------------------------|----------------------|-------|-------|--------|-------|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 1 Peso (kg) | 71 | 72.31 | 81.31 | 111.10 | 87.31 |
| 2 Estatura | 1670 | 82.80 | 1776 | 1868 | 1780 |
| 3 Altura de ojos | 1750 | 81.80 | 1847 | 1940 | 1851 |
| 4 Altura oído | 1738 | 81.70 | 1835 | 1928 | 1839 |
| 5 Altura hombro | 1381 | 68.69 | 1781 | 1777 | 1477 |
| 7 Altura codo | 1068 | 53.23 | 688 | 1069 | 1145 |
| 8 Altura codo flexionado | 994 | 48.81 | 616 | 994 | 1046 |
| 6 Altura muñeca | 629 | 30.88 | 711 | 811 | 818 |
| 10 Altura pulso | 740 | 37.76 | 680 | 740 | 819 |
| 11 Altura dedo medio | 638 | 32.31 | 588 | 638 | 695 |
| 19 Diámetro a p. cabeza | 239 | 8.38 | 182 | 194 | 205 |
| 20 Altura nariz | 1442 | 62.28 | 1337 | 1440 | 1544 |
| 32 Altura hombro máx. | 871 | 44.67 | 818 | 871 | 949 |



| Dimensiones | 18 - 65 años (n=206) | | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------|------|------|------|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 12 Altura rodilla | 474 | 23.76 | 434 | 474 | 519 |
| 14 Diámetro máx. tobillo | 474 | 41.17 | 422 | 473 | 544 |
| 14 Ancho máx. zapato | 121 | 41.34 | 115 | 120 | 130 |
| 15 Diámetro horizontal tobillo | 242 | 34.22 | 293 | 308 | 398 |
| 16 Diámetro horizontal pie | 343 | 22.88 | 318 | 341 | 387 |
| 17 Profundidad máx. zapato | 176 | 27.65 | 174 | 175 | 183 |
| 18 Ancho brazo frontal | 744 | 37.31 | 588 | 668 | 817 |
| 18 Ancho brazo lateral | 789 | 31.38 | 581 | 598 | 818 |
| 30 Ancho máx. vertical | 2042 | 111.77 | 1990 | 2041 | 2109 |
| 21 Profundidad brazo | 239 | 38.21 | 196 | 218 | 267 |
| 44 Perímetro cabeza | 569 | 18.23 | 540 | 569 | 618 |
| 50 Perímetro pecho | 365 | 32.38 | 325 | 365 | 428 |



| Dimensiones | 18 - 65 años (n=206) | | | | |
|----------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 22 Altura normal sentado | 674 | 31.17 | 625 | 674 | 677 |
| 23 Altura hombro sentado | 581 | 27.83 | 528 | 581 | 618 |
| 24 Altura codo sentado | 443 | 21.94 | 396 | 443 | 489 |
| 25 Altura codo flexionado | 344 | 18.36 | 291 | 344 | 380 |
| 13 Altura codo flex. brazo | 195 | 19.13 | 158 | 198 | 233 |
| 26 Altura máx. muñeca | 132 | 18.88 | 127 | 130 | 138 |
| 27 Altura rodilla | 511 | 25.75 | 471 | 511 | 554 |
| 28 Altura pulso | 412 | 25.83 | 378 | 412 | 458 |
| 29 Ancho codo | 513 | 34.30 | 443 | 519 | 618 |
| 36 Ancho codo sentado | 274 | 31.28 | 258 | 272 | 323 |
| 31 Longitud talón rodilla | 581 | 15.41 | 517 | 582 | 648 |
| 32 Longitud talón pulso | 476 | 28.52 | 422 | 475 | 518 |
| 33 Diámetro a p. cara | 227 | 8.27 | 187 | 211 | 219 |



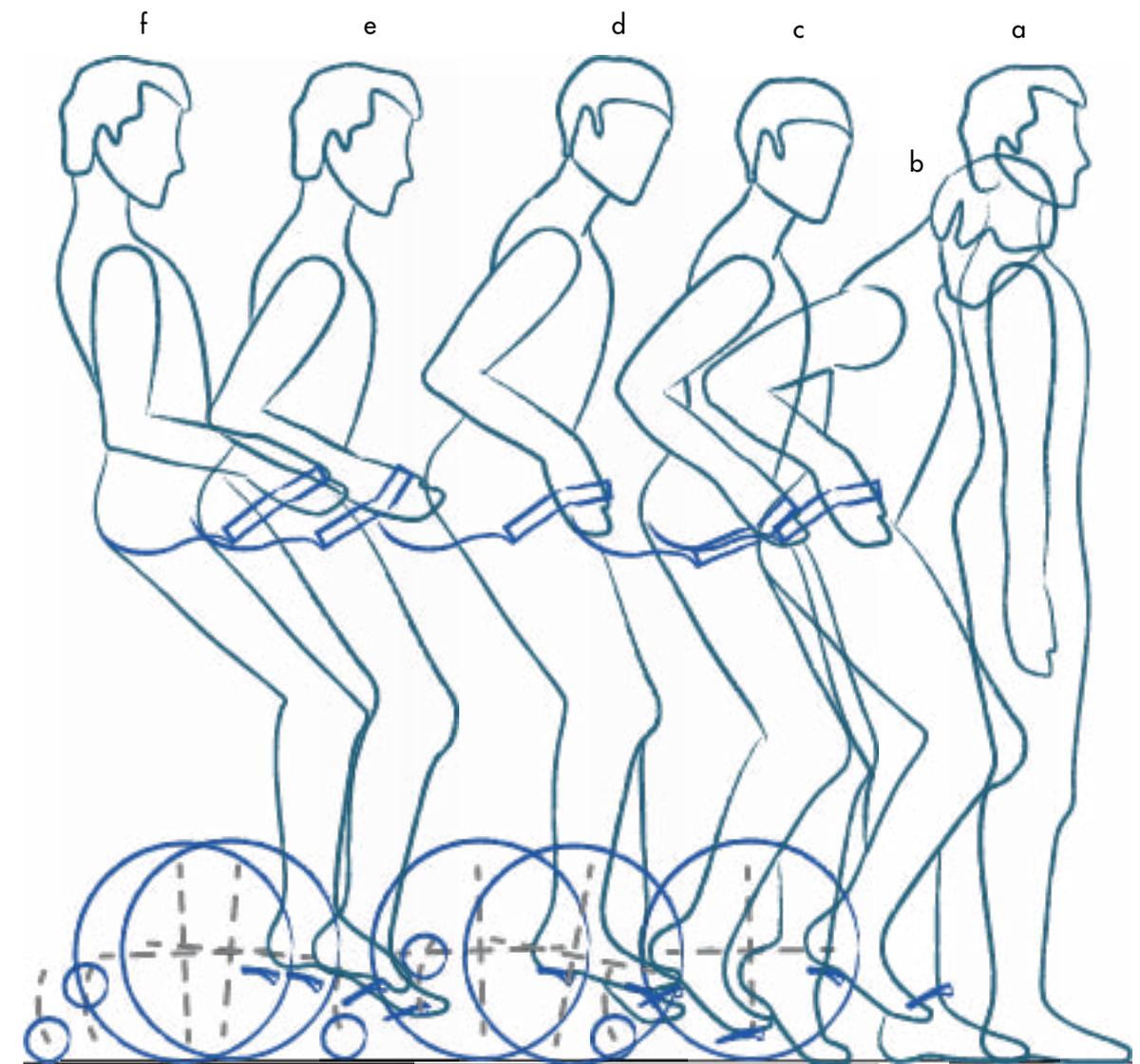
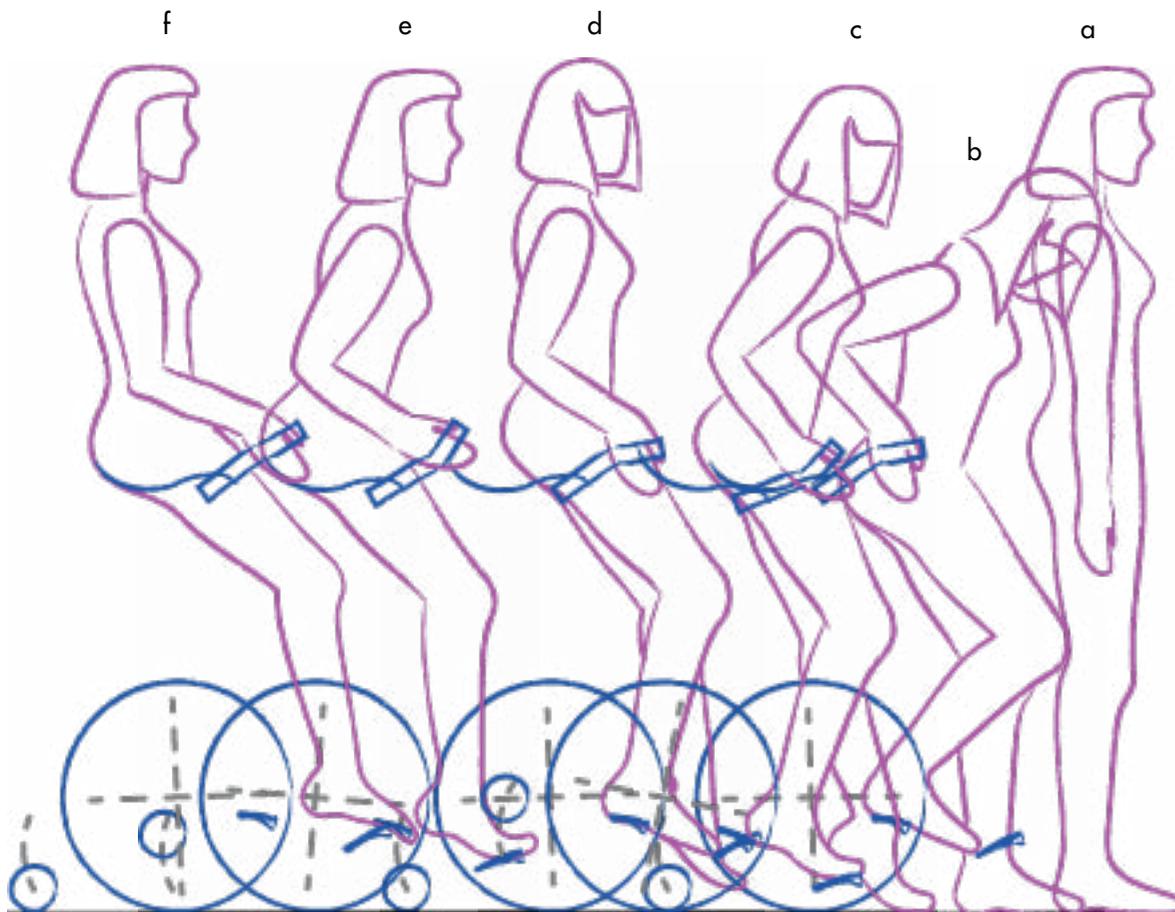
| Dimensiones | 18 - 65 años (n=206) | | | | |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|-----|-----|
| | Percentiles | | | | |
| | 5 | 50 | 5 | 50 | 95 |
| 34 Ancho codo | 354 | 25.54 | 324 | 351 | 401 |
| 35 Ancho cuello | 118 | 17.94 | 97 | 108 | 127 |
| 36 Altura cara | 177 | 17.31 | 164 | 174 | 184 |
| 37 Ancho cara | 124 | 9.84 | 108 | 124 | 139 |
| 38 Diámetro interpalmar | 97 | 4.94 | 61 | 97 | 61 |
| 39 Longitud mano | 171 | 8.28 | 158 | 178 | 189 |
| 40 Longitud palma mano | 87 | 4.77 | 78 | 87 | 105 |
| 41 Ancho mano | 91 | 4.82 | 81 | 91 | 103 |
| 42 Ancho palma mano | 76 | 1.76 | 71 | 76 | 81 |
| 43 Diámetro interfalange | 44 | 3.87 | 38 | 44 | 50 |
| 44 Longitud pie | 210 | 28.13 | 217 | 211 | 220 |
| 45 Ancho pie | 98 | 4.92 | 83 | 98 | 99 |
| 54 Espesor mano | 29 | 2.27 | 26 | 29 | 29 |

Se utilizaron el percentil más bajo de mujeres y el percentil más alto de hombres con lo que se definiría las necesidades físicas de cada uno, para la variación de altura del asiento, con la que se satisficieran a una gran gama de usuarios.

Las figuras antropométricas se encuentran en interacción con el vehículo para que se pudiera visualizar algunas de las posturas de ascenso y descenso. Las posturas que los usuarios tuvieron al interactuar con los simuladores fueron utilizadas como referencia para poder predecir las posturas que éstos tendrían al interactuar con el producto final. Con ello se pretendía también teorizar sobre las sensaciones de los usuarios y proponer la ubicación y

dimensiones más adecuadas de los elementos de vehículo. Por ejemplo, en el apartado de la propuesta final la ubicación de los pies no sólo se considera que vaya en los estribos sino también en el frente de la base.

Los bocetos de la página anterior y de ésta muestran el primer acercamiento a la teorización sobre posturas del usuario en interacción con la propuesta final, se muestran: (a) usuarios de pie, (b) montándose agarrados del manubrio, (c) elevándose con un pie apoyado en un estribo, (d) montándose en el asiento, (e) inclinándose hacia adelante para avanzar, (f) frenando, inclinándose hacia atrás.



P

PROPUESTAS

“Gutes Design ist innovativ. Gutes Design macht ein Produkt brauchbar. Gutes Design ist ästhetisch. Gutes Design macht ein Produkt verständlich. Gutes Design ist unaufdringlich. Gutes Design ist ehrlich. Gutes Design ist langlebig. Gutes Design ist konsequent bis ins letzte Detail. Gutes Design ist umweltfreundlich. Gutes Design ist so wenig Design wie möglich.”

“El buen diseño es innovador. Hace a un producto útil. Es estético. Hace a un producto fácil de entender. Es discreto. Es claro. Es duradero. Es consecuente en cada detalle. Es amigable con el ambiente. El buen diseño es tan poco diseño como sea posible”. — *Dieter Rams*

Concepto Desarrollados



En lo personal me hubiera gustado trabajar en un concepto usando materiales y procesos de producción innovadores que me permitieran proponer una propuesta más elaborada. Mis propuestas pasaron desde el uso de la tecnología FiDU (Freie Innendruck Umformung, que permite inflar con aire dos láminas previamente soldadas en sus bordes), hasta la impresión en 3D en distintos materiales y por último el hidroformado de tubos metálicos. Sin embargo el proyecto final no podía exigir de grandes complicaciones productivas. Los elementos del sistema electrónico que se propusieron eran distintos a los del prototipo y tenían un costo mayor, cosa que tuvo como resultado abaratar costos en producción usando métodos tradicionales, ya que la idea era competir comercialmente con el conocido Segway.

A continuación se muestra una recapitulación en orden temporal de los conceptos desarrollados en el transcurso de la elaboración de esta tesis.

Como ya se ha mencionado, la postura semisentado, junto con el funcionamiento de autobalanceo y los elementos del sistema eléctrico, fueron las principales determinantes del diseño.

En este primer acercamiento propuse que los motores de las llantas fueran dentro de los rines (como la propuesta tecnológica llamada *rimless wheels*) (fig 12.1) con lo que se ganaba un espacio de carga debajo del conductor. Un punto importante a considerar, fue que el ascender al vehículo éste penduleaba hacia el frente o hacia atrás por lo que propuse un par de estribos que descendieran y sirvieran de apoyo mientras la persona se montaba o desmontaba plenamente en el asiento (fig 12.2). También se propuso que a la hora de virar, el vehículo se inclinara para equilibrar el centro de gravedad durante la vuelta dada y así evitar accidentes (sobre todo a altas velocidades). Esta consideración fue descartada debido a que el mecanismo para hacer que las llantas y el cuerpo se inclinaran aumentaría costos de producción. Finalmente puedo decir que esta propuesta sirvió únicamente para plantear la línea de diseño en la se basarían las propuestas siguientes (fig 12.3). Dicha línea de diseño y los elementos que la constituyen es definida *grosso modo* en las siguientes dos páginas.



(Arriba) Fig. 12.1. Cuatro propuestas distintas del cuerpo donde se puede decir que la figura de la base se corresponde con la de la parte que recibirá al asiento.

(Pág. anterior) Fig. 12.2 Vista superior de la propuesta, puños ergonómicos, y agarradera debajo del asiento.
(Abajo) Fig. 12.3 Esta propuesta fue la única que se planteó con luz posterior para los viajes de noche.



Manubrio con base debajo del asiento.

Asiento propuesto para la postura semisentado.

La base del asiento albergaría circuitos electrónicos para los mandos. También sería elemento de unión de la estructura superior del cuerpo.

Una sola estructura que constituía cuerpo y parte de la base. Por el frente y por detrás se podía tener acceso al área de carga, siendo la parte de atrás más angosta que su contraparte.

La figura en general debía ser visualmente ligera, por ello los elementos de la estructura son sólo dos laterales delgados unidos por el centro.

Dos estribos que pudieran estar fijos o tocar el suelo a la hora de ascenso o descenso

Mandos móviles para manejo, de un lado estaba la velocidad y del otro el giro a derecha o izquierda.

Guardafangos necesarios para proteger al usuario de salpicarse al pasar por charcos.

Unico elemento definido en materiales (plástico). Servía como la unión entre las dos partes más bajas de la estructura principal.





seguido de esto empezó una conversación por correo. Me hizo saber los tipos de materiales con los que se podía imprimir, y algunas características de los acabados. Desgraciadamente a pesar de mostrarse abierto a contestar respuestas para ayudar al desarrollo del VEPI no tuve más comunicación con él después de un par de correos.

Desarrollé las ideas que se muestran en estas figuras. La configuración formal de esta propuesta era más elaborada que la pasada ya que con la tecnología de impresión en 3D no hay limitantes de diseño, excepto el tamaño de la cama de la impresora, así es que la idea era que el cuerpo tuviera una resistencia robusta con una estructura compleja dentro de superficies sencillas.

El cuerpo estaba formado por una estructura en forma de Y con un exterior laminado, en la unión entre la base y el cuerpo se planteó que al centro se tuviera un eje de giro hacia los

(Pág. anterior) Fig. 12.5. Render de propuesta del cuerpo y base para impresión en 3D.
(Abajo) Fig 12.6. Bicicleta impresa por la compañía EDAG en Nylon con resistencia de acero.

Debido a que en todas las propuestas la forma del manubrio se asemeja a los cuernos de un animal, decidí basar la propuesta de estas siguientes páginas en el venado de cola blanca (fig. 12.5). Esto no era deliberado, sabía con anterioridad que para los huicholes el venado representaba velocidad, agilidad, destreza, perseverancia y abundancia. Así es que traté de traspasar las ideas de velocidad y agilidad al concepto y se tomó la figura de la cabeza del venado para desarrollar la forma del cuerpo del vehículo.

Por otra parte, algunos de mis intereses, en materia de diseño industrial, son entorno al desarrollo de nuevas tecnologías y materiales. En una de tantas navegaciones por internet, con las que me ayudaba a *inspirar mis ideas*, encontré un sitio de noticias de tecnologías emergentes llamado *Gizmag* en donde se mostraban muchas propuestas de vehículos personales, la mayoría de ellas en etapa conceptual. Fue en esta página en donde me topé con un artículo titulado "EADS (Compañía Europea de Seguridad y Aeronáutica) desarrolla una bicicleta hecha de Nylon con resistencia de acero" (*EADS - Airbike made of steel-strength nylon*¹² fig 12.6 en el que lo más destacable era que todas sus piezas estaban hechas de Nylon con la tecnología de impresión en 3D también llamado ALM (Additive Layer Manufacturing, por sus siglas en inglés). No obstante lo que llamó mi atención no fue el proceso de producción sino la estructura propuesta en el asiento para brindar suspensión. Al descubrir que era probable hacer un prototipo impreso en 3D contacté vía Twitter a uno de los Ingenieros del equipo de EADS, me sorprendió que su respuesta fuera pronta y

¹² <http://www.gizmag.com/eads-bristol-announces-nylon-airbike-manufactured-by-alm-technology/18094/>

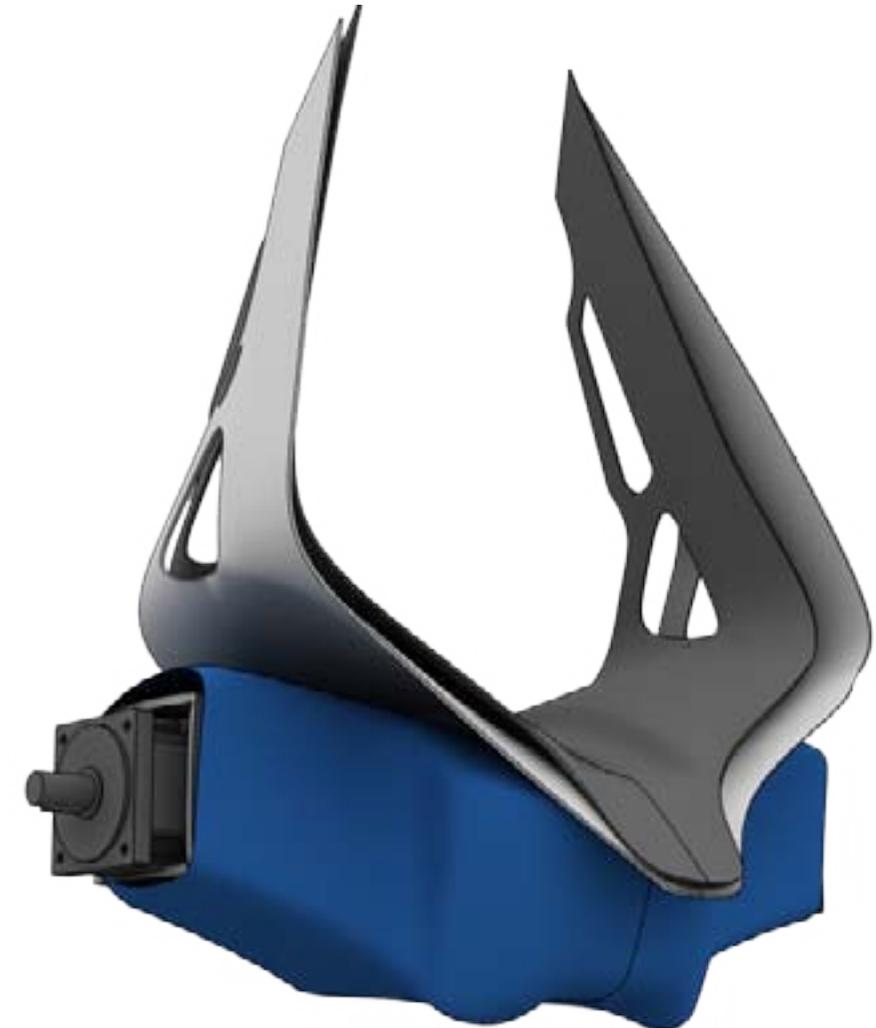
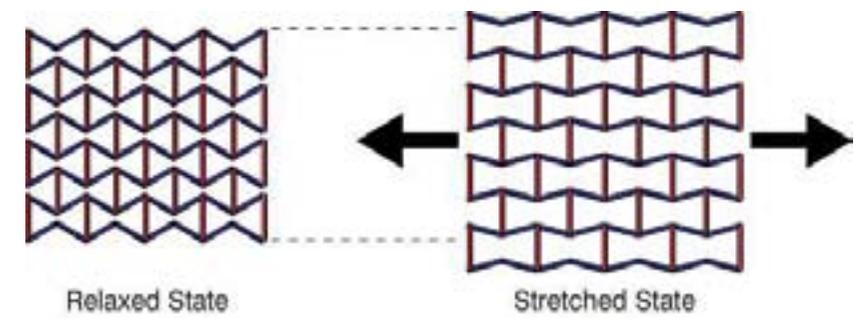


lados y para amortiguar dicho giro debía haber un material auxético (fig 12.8) como el de la bicicleta desarrollada por los Ingenieros británicos. Este tipo de material tiene un coeficiente de *Poisson* negativo lo que hace que cuando el material se tense aumente de tamaño y cuando se presione tenga un efecto contrario. Parecía pues que este tipo de material era una forma fácil de evitar elementos como amortiguadores u otro tipo de mecanismos.

Con la tecnología en 3D era fácil plantear estas ideas ya que, como mencioné, no tiene límites de diseño (como ángulos de salida o desarrollo de material en curva) excepto el tamaño de la máquina, pero nuestras limitantes principales eran los costos y el acceso a estas tecnologías, por lo que esta propuesta se deshecho.



Fig. 12.7. Render de propuesta para impresión en 3D.



(Arriba) Fig 12.8 Estructura Auxetica
(Abajo) Fig. 12.9 Render de cuerpo y base donde se alcanza a distinguir la figura de la cabeza de un venado.

En esta última propuesta me desvié bastante de la configuración del cuerpo que se venía trabajando anteriormente.

En esta ocasión propuse tubulares hidroformados (fig. 12.9). Bajo este proceso se pueden conseguir formas caprichosas en tubulares u cualquier otro perfil metálico con el uso de moldes robustos y agua a presión. Los tres elementos principales constituían el cuerpo y eran los encargados de unir al tren motriz con la base del asiento, se seguía manteniendo la idea de tener un espacio de carga y como última consideración para esta propuesta se tenía previsto que el vehículo tuviera unas ruedas auxiliares (fig 12.10) en la parte posterior de la base para evitar que el usuario se fuera de espaldas. La base seguía dándome problemas de diseño, no hallaba la forma en como solucionar el elemento completo, parecía que el espacio de motores y baterías no me permitían en ese momento aclarar mis ideas.

Esta propuesta es la que menos aceptación tuvo, así es que rápidamente fue desechada igual que la pasada dando como resultado retomar los primeros conceptos.



Fig 12.9 Propuesta con cuerpos de tubo hidroformado.

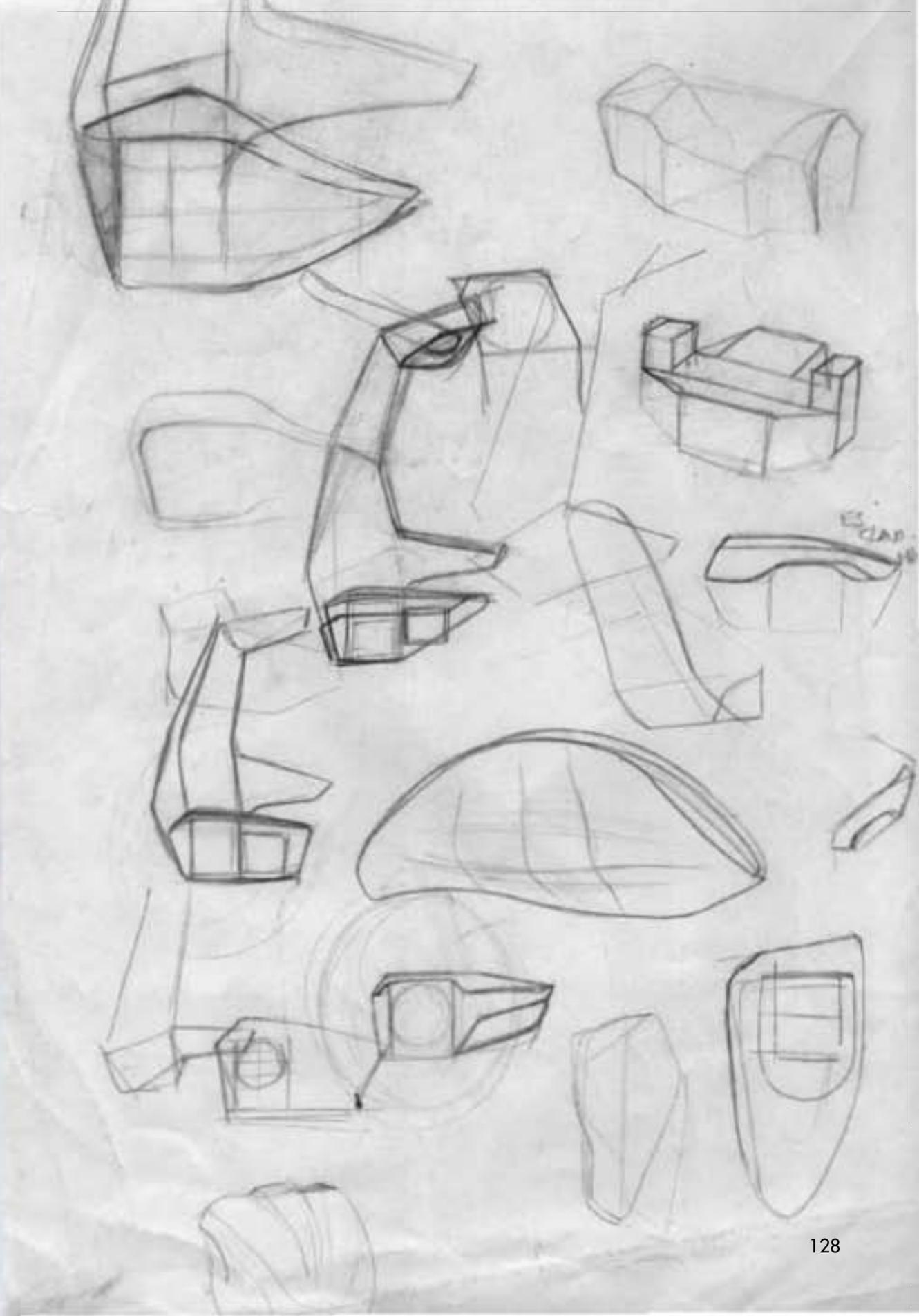


Fig 12.10. Primer propuesta que planteó el uso de llantas auxiliares por la parte posterior.

Siguiendo la línea de diseño del primer concepto mostrado en este apartado dibujé un sin número de bocetos, algunos mostrados en las siguientes páginas. Después de ellos el lector encontrará algunas imágenes que sirvieron de inspiración durante el proceso creativo.



Fig. 12.11. Arriba, propuesta para resolver la forma en que los estribos se unieran al cuerpo. Derecha, ideas de algunas formas de resolver la configuración de la base.



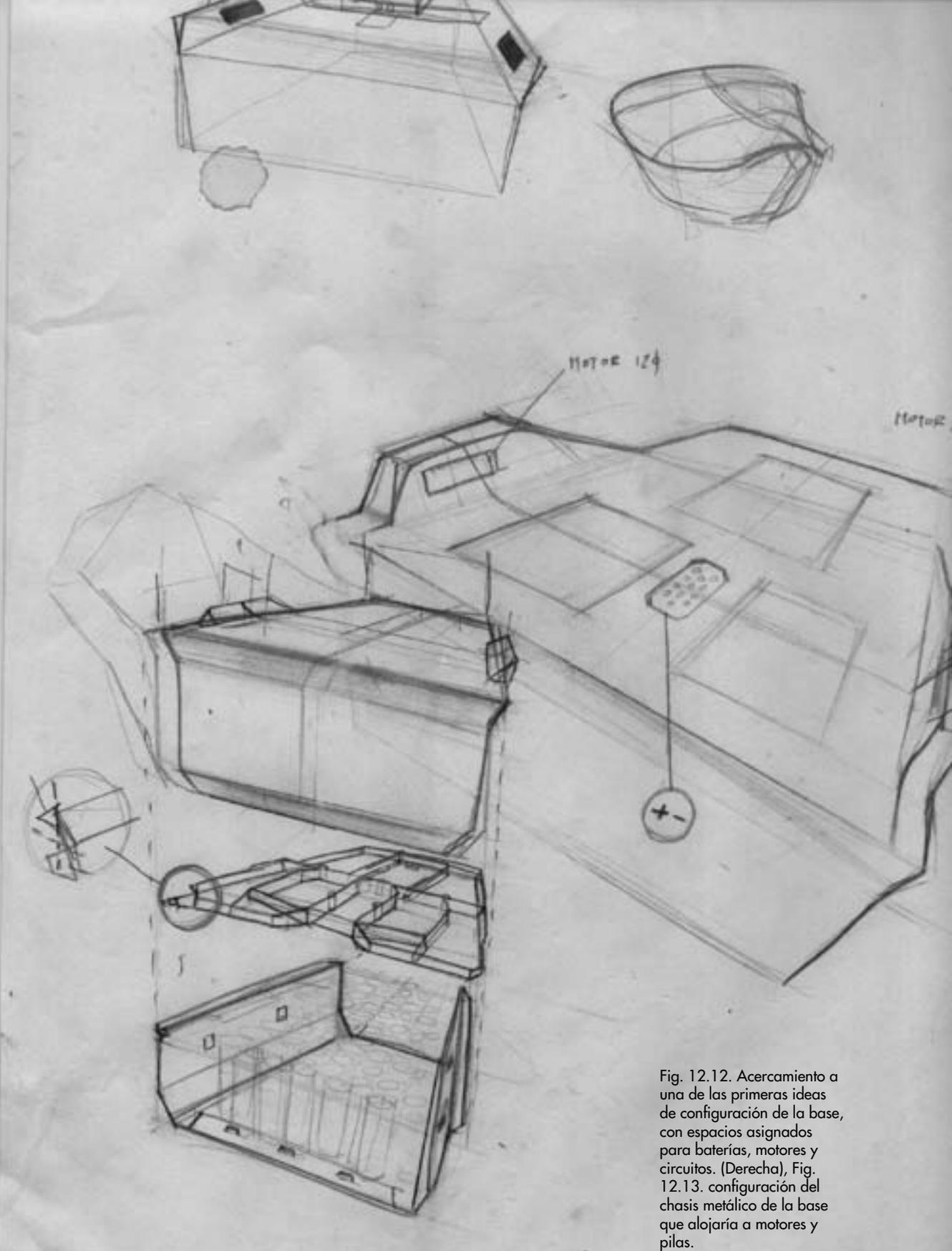


Fig. 12.12. Acercamiento a una de las primeras ideas de configuración de la base, con espacios asignados para baterías, motores y circuitos. (Derecha), Fig. 12.13. configuración del chasis metálico de la base que alojaría a motores y pilas.

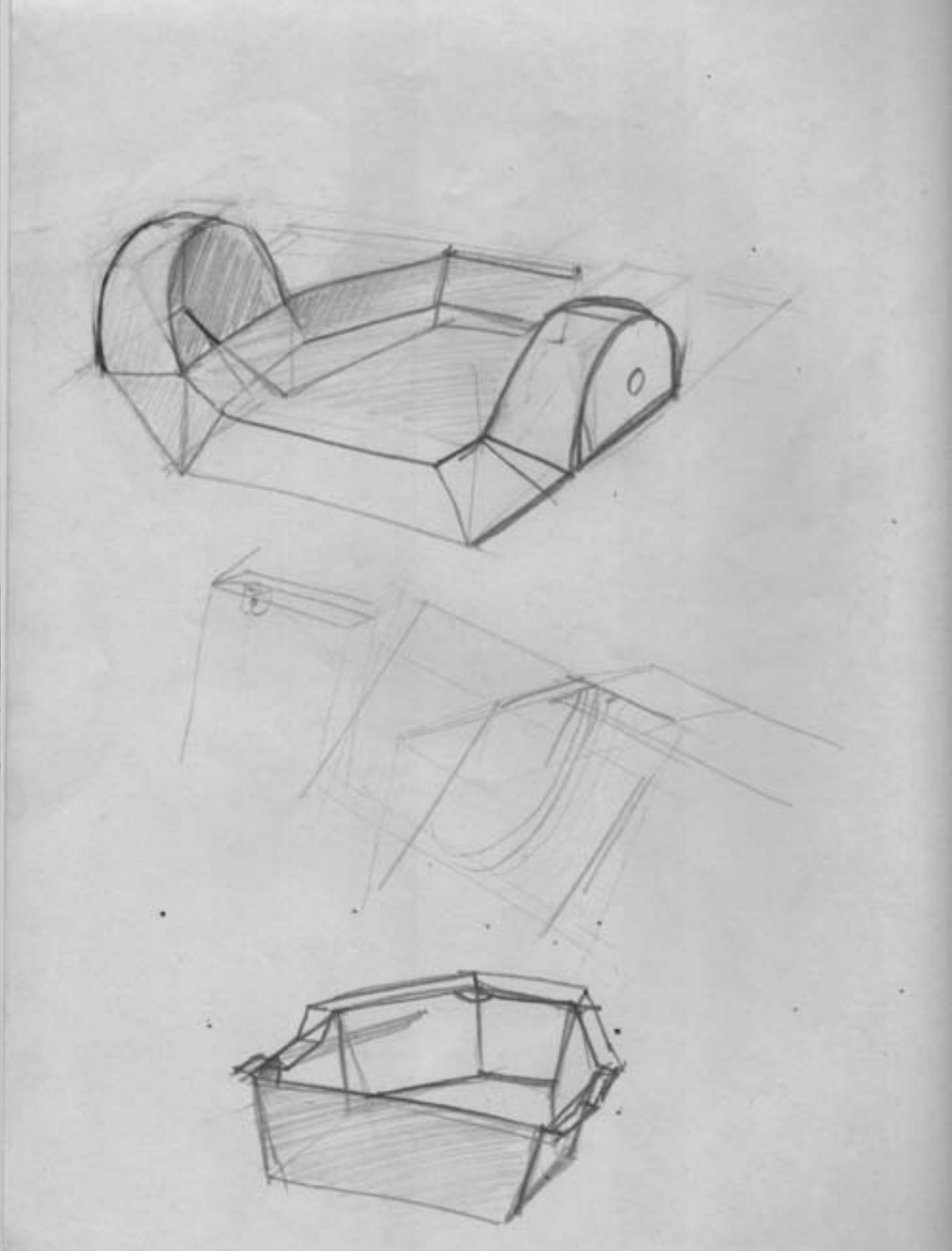




Fig 12.14. Banco *Variable Balans* diseñado por Peter Opsvik, de aquí partió la idea de la posición de manejo.

(Derecha) Fig. 12.15. Concepto de movilidad *Look* diseñada por Chaeyong Kim del que se rescató la silueta general del cuerpo con hecho de superficies planas.
(Abajo) Fig. 12.16 detalle de carrocería del BMW i8.
De estas dos imágenes antes descritas me interesaba el manejo de superficies a manera de perfiles.



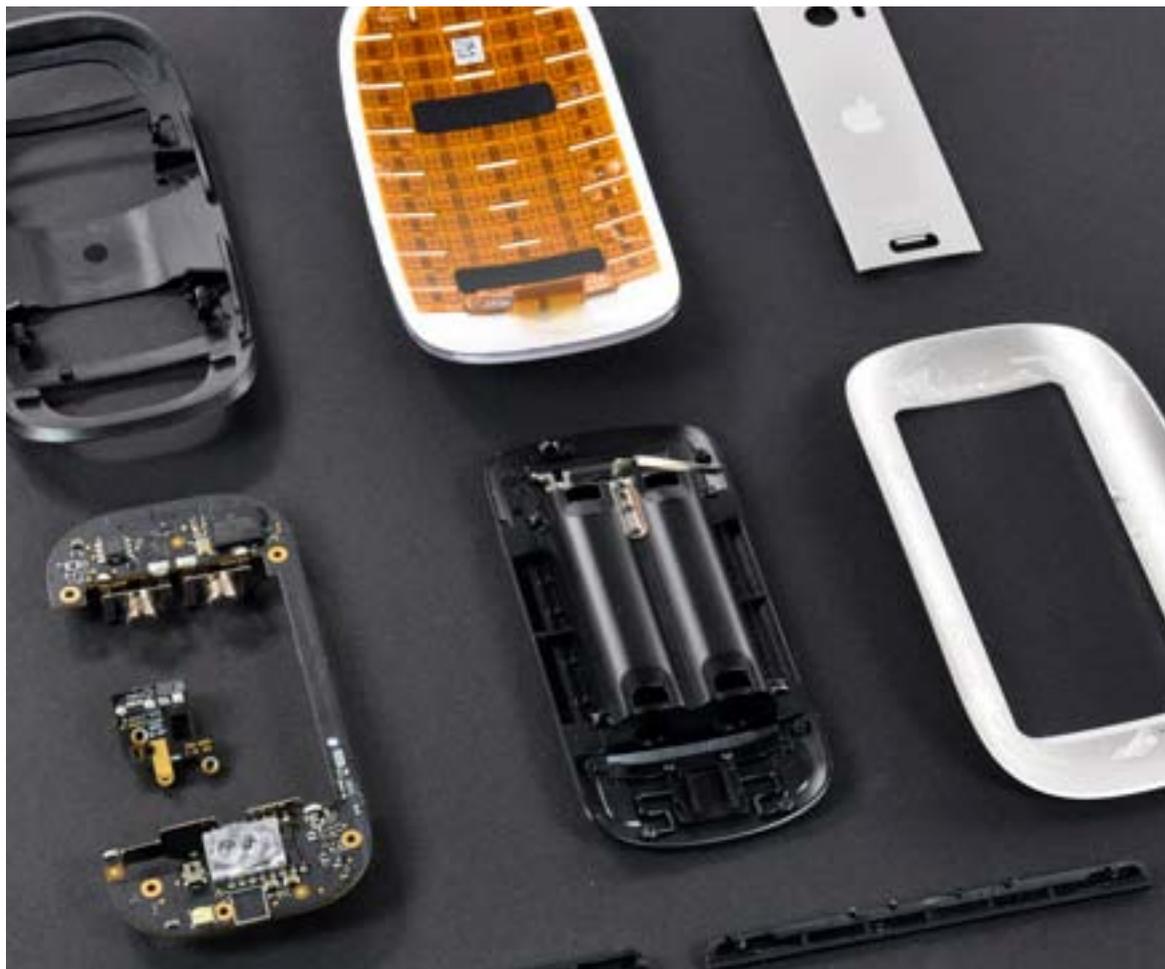


Fig. 12.19. Foco de LEDs usado como referencia para el diseño de los rines.



Fig. 12.17 y 12.18. Arriba e izquierda, ideas de figuras, formas y métodos de fabricación para las configuraciones del chasis metálico de la base y los estribos.





(Arriba) Fig. 12.20. Mouse de iMac desarmado, sirvió para resolver la base que es propuesta en plástico.
 (Arriba) Fig. 12.21. Derecha, preparación para soldadura de tubulares.



(Arriba) Fig. 12.22. Banco diseñado por Ozkar Zieta hecho con tecnología FiDU. (Abajo) Fig. 12.23. Asiento y sistema de variación de altura de *Indepent Fabrication Titanium Bicycles*, de aquí también partieron los colores a usar.





Las líneas de diseño del cuerpo que une a la base con el asiento definen el carácter total del vehículo. El diseño del cuerpo final, (como se nota en el capítulo anterior) se venía trabajando desde las segundas propuestas, la forma más fácil de proponer conceptos para el diseño del vehículo era trazando círculos iguales en una hoja, ubicar donde iría el asiento, manubrio y estribos y desde ahí partir a dibujar la unión entre base y asiento.

Como se observa, la vista lateral fue, durante todo el proceso de diseño, en la que se boceteaban primero las líneas del vehículo. No fue hasta una serie de diseños dibujados que surgió el de la figura de la derecha que marcó pauta para los diseños posteriores.

Siendo un objeto que sirve para la locomoción, las líneas de diseño no podían ser ortogonales en su totalidad, porque éstas promueven las ideas de inmovilidad o estatismo.

En este boceto se observa como las líneas que parten desde la base se reducen en grosor y cambian de dirección para unir al asiento. Debajo del asiento se consideraba un espacio para circuitos electrónicos y una jaladera. De todo ello la parte más laboriosa de definir en ese momento fueron los estribos. No concebía si estos irían conectados a la base o saldrían del mismo cuerpo.

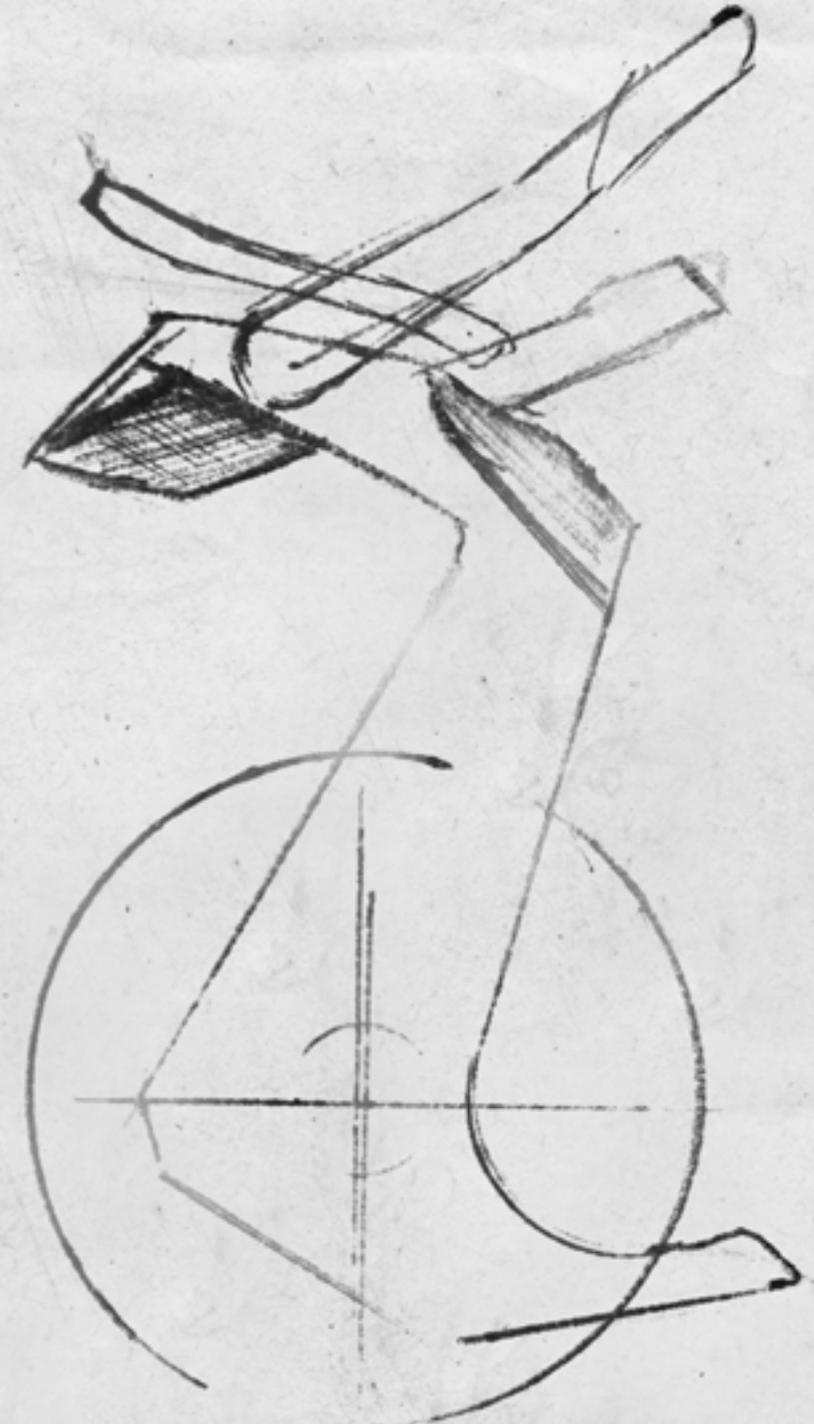


Fig. 12.24. Boceto con las líneas generales del diseño final.

Después de bocetear a mano la configuración que me gustó más trasladé los dibujos a la computadora para modelarlos en 3D y jugué en definir la forma general del cuerpo de vehículo. Como ya se había planteado, una idea era que se conectaran los dos motores con una estructura que prescindiera de una base como la del prototipo, pero era improbable que el vehículo tuviera un funcionamiento correcto por la situación de la necesidad de paralelismo entre los motores, así que tuve que diseñar una base *ad hoc* a la forma del cuerpo. Finalmente la figura desde la que se partió para la propuesta final se muestra en las imágenes siguientes, sin embargo era sólo una envolvente. Se planteó construir un modelo en pailería, (fig 12.26) pero mis tutores pensaron que el proceso de elaboración sería complicado y entonces propusieron que el vehículo llevara una estructura envuelta por termoformado plástico.

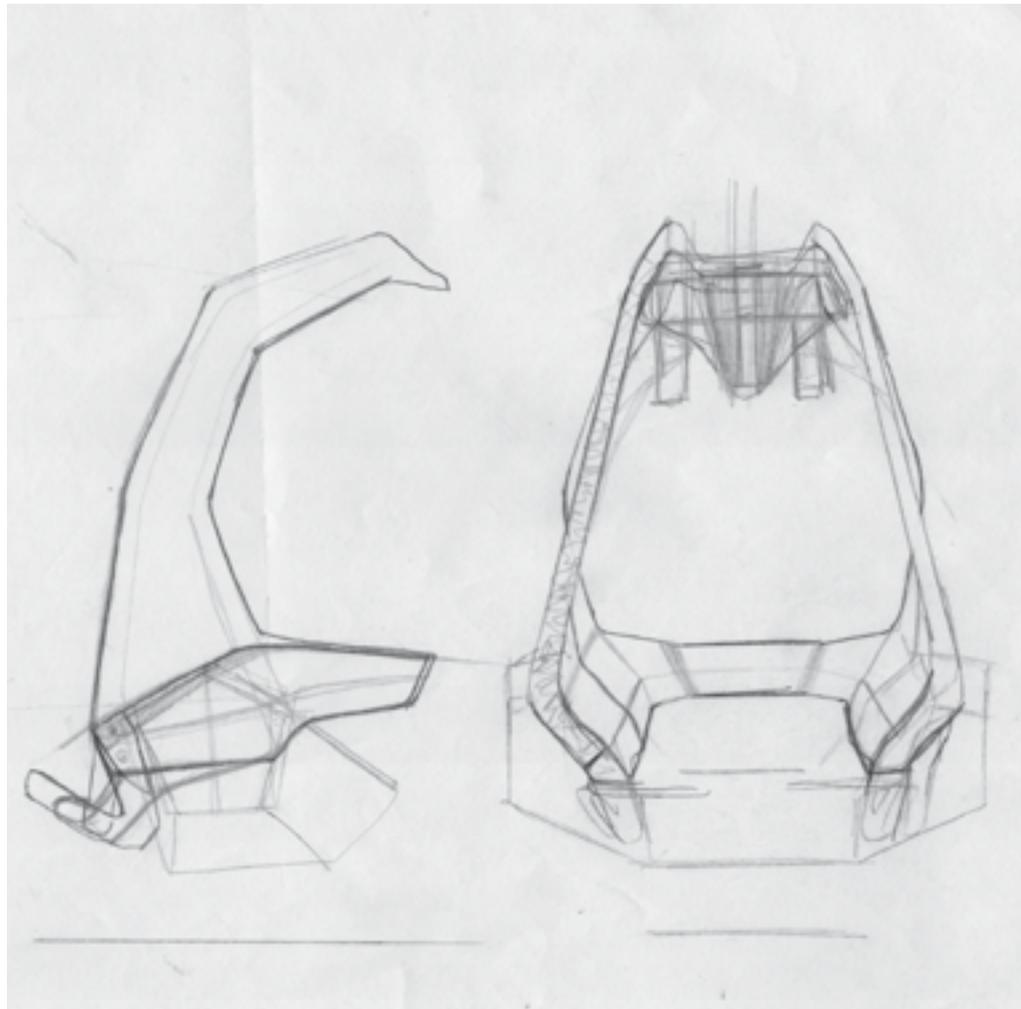
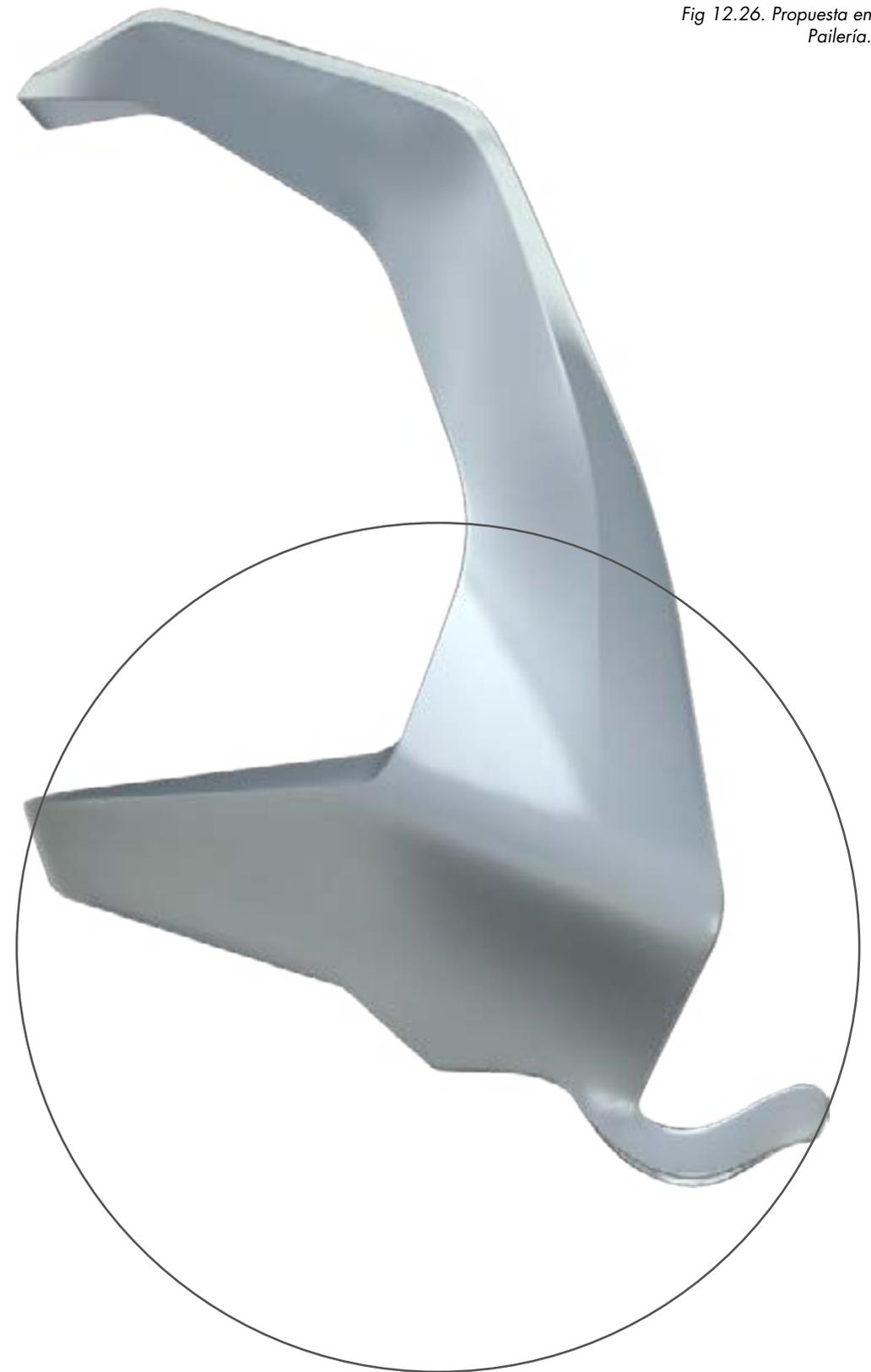


Fig 12.25 Líneas de diseño final, a partir de las que se trabajaría la base.

Fig 12.26. Propuesta en Pailería.



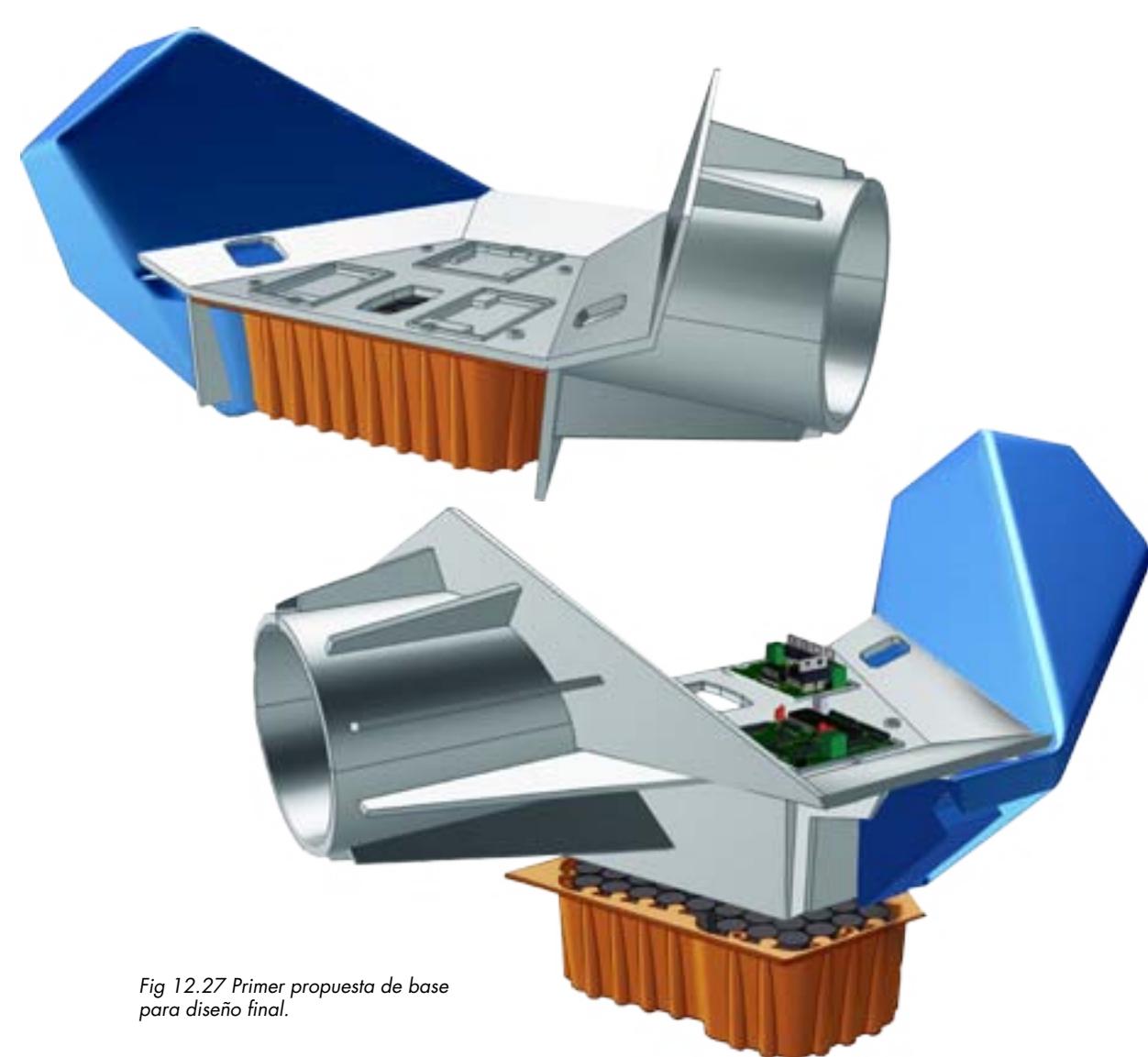


Fig 12.27 Primer propuesta de base para diseño final.

La base del vehículo fue un elemento que siempre me dio problemas en lo que respecta a forma, configuración estructural y de elementos. No encontraba la configuración estética y funcionalmente adecuada que pudiera alojar al sistema electrónico sin usar demasiado espacio visual y que sirviera también de superficie de carga. Así que antes de continuar con la forma del cuerpo, que ya estaba casi definida, había que definir la base. Las últimas dos propuestas de diseño que fueron desechadas contemplaban el uso de los mismos motores que usa el Segway, ya que no encontrábamos otros motores de menores dimensiones y la misma potencia como los usados en el prototipo, pero por costos se decidió no contemplarlos para el diseño final. Finalmente fue con la empresa *Printed Motor Works* con la que encontramos unos motores que satisficieron nuestras necesidades ya que contaban con unas dimensiones que nos permitieron aprovechar mayores espacios en la base sin perder potencia. Posteriormente para desarrollar la propuesta final observé como estaba hecha la base del

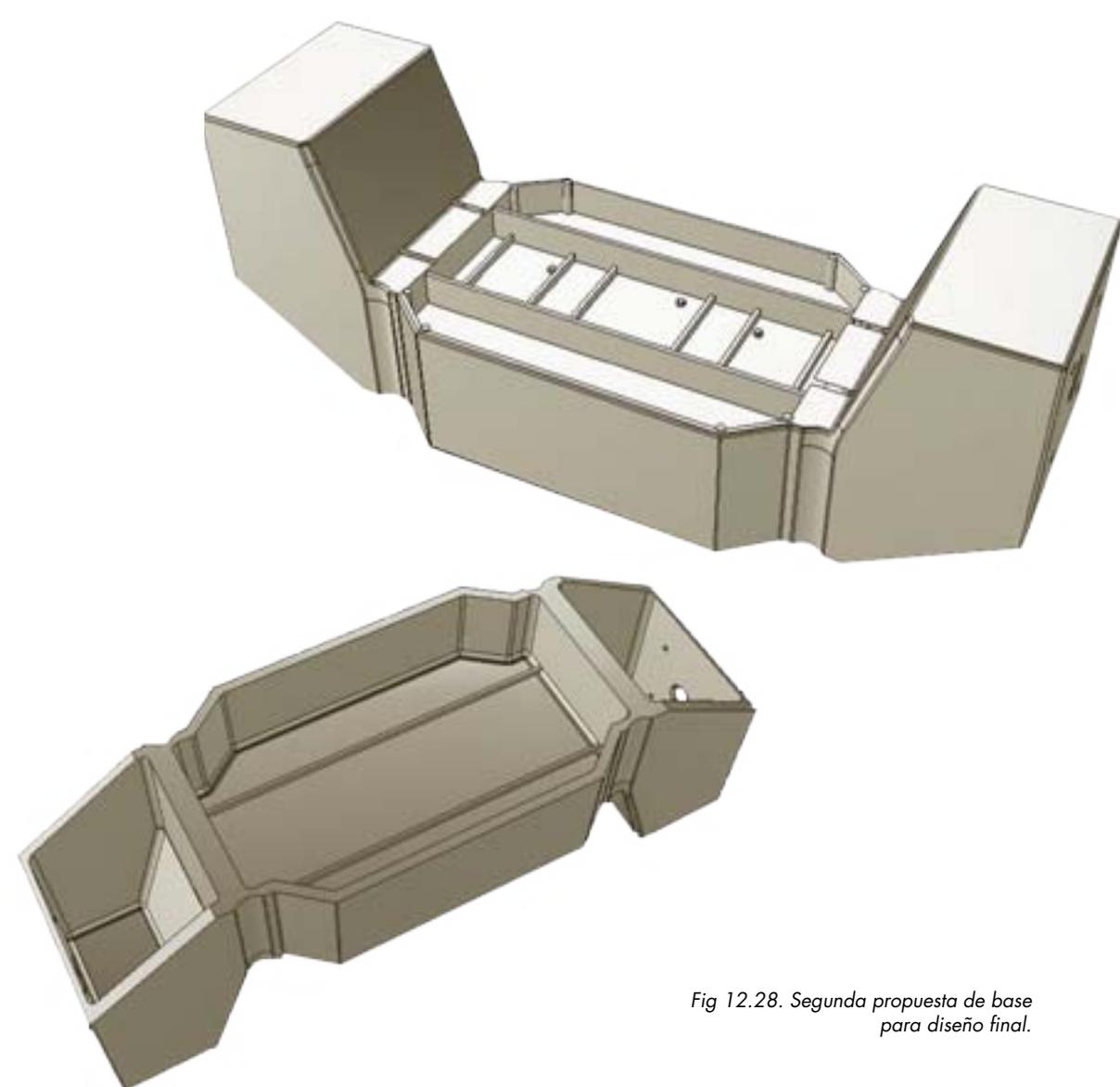


Fig 12.28. Segunda propuesta de base para diseño final.

Segway. El chasis de esta base es una pieza hecha en fundición de aluminio que tiene dos cavidades laterales donde van los motores, una superficie superior en donde se atornillan los circuitos y debajo de ésta, dos espacios donde se atornillan los paquetes de baterías. Tomando esto en cuenta y teniendo definidas las dimensiones de motores, circuitos y baterías, que íbamos a usar, desarrollé dos propuestas bajo el mismo proceso: una pieza en fundición de aluminio, en las que se ubicaban de la misma manera que en el Segway, los elementos del sistema electrónico. Estas propuestas (figs. 12.27 y 12.28) las hice, ingenuamente, sin ayuda de mis tutores lo que resultó en declinarlas por su complejidad productiva y su elevada inversión económica prevista por mis maestros. La base entonces tuvo que cambiarse por una más sencilla, sin perder las propiedades mecánicas que se necesitaban para mantener paralelos los dos motores sobre un mismo eje. Se propuso entonces que fuera hecha de placa de acero de 4mm., dando como resultado

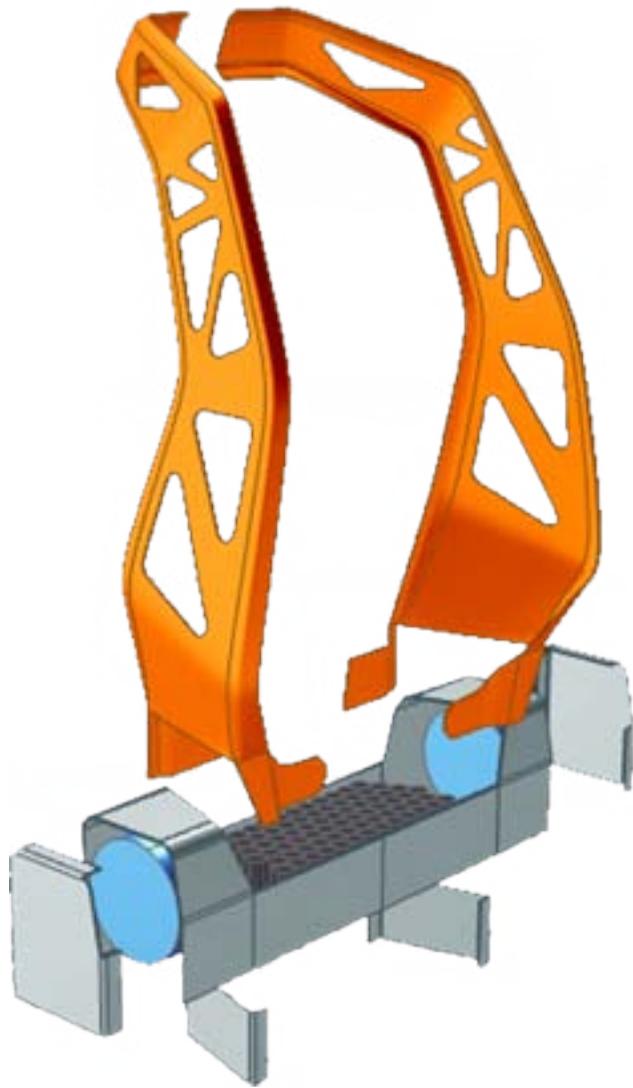


Fig 12.29. Base de placa de acero y estructura de cuerpo troquelada

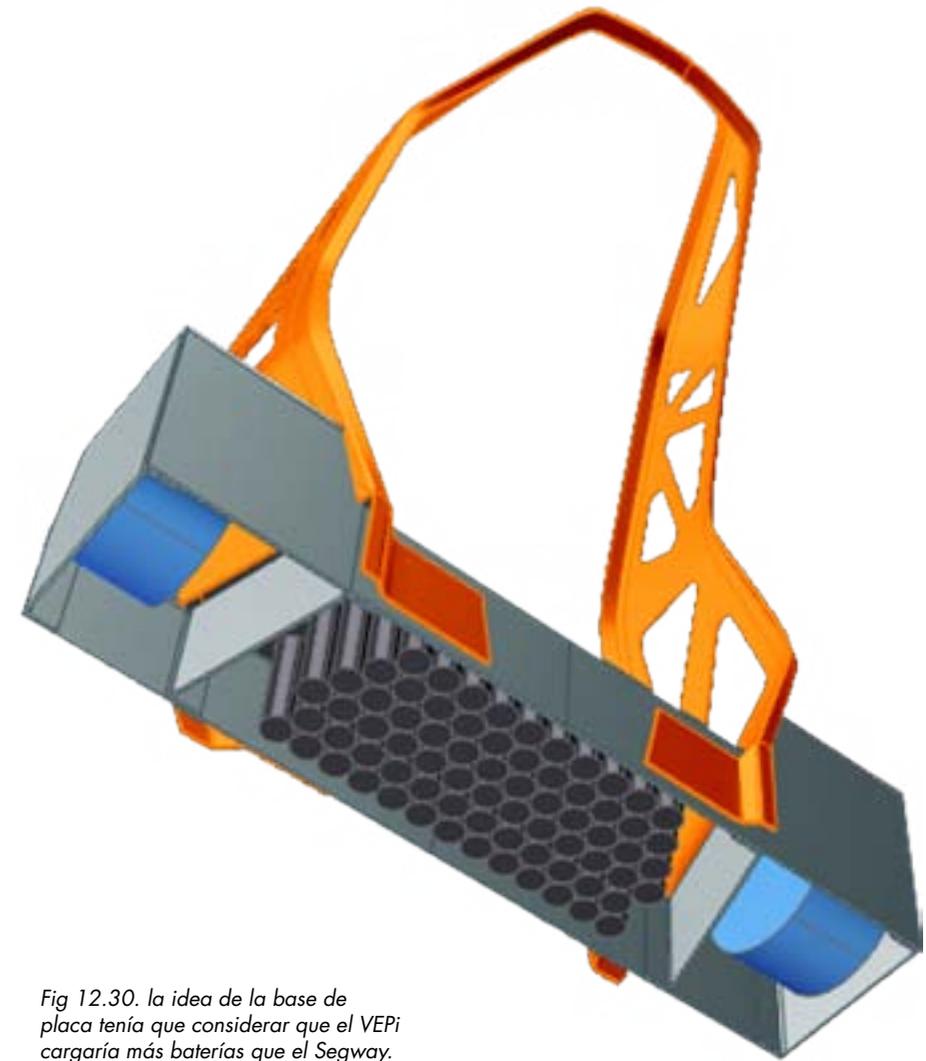


Fig 12.30. la idea de la base de placa tenía que considerar que el VEPi cargaría más baterías que el Segway.

las tres figuras que se muestran en estas dos páginas. Las ventajas de usar este material y proceso eran principalmente la facilidad y bajo costo de producción. Los dobleces y las piezas interiores que iban soldadas serían suficientes para mantener a la estructura del cuerpo y mantener a los motores en sus lugares.

Derivado del uso de placa, uno de mis asesores me comentó que podía ser posible plantear la estructura general del cuerpo hecha bajo el proceso de troquelado, pero nuevamente los costos se elevarían ya que los moldes para fabricar este tipo de piezas serían de dimensiones considerables.

Finalmente se definió que la estructura del cuerpo de la propuesta final sería hecha en tubular metálico.



CONCLUSIÓN

"Every object, intentional or not, speaks to who put it there".

*"Cada objeto, con o sin intención, habla de quién lo puso ahí".
— Objectified de Gary Hustwit*

Propuesta Final



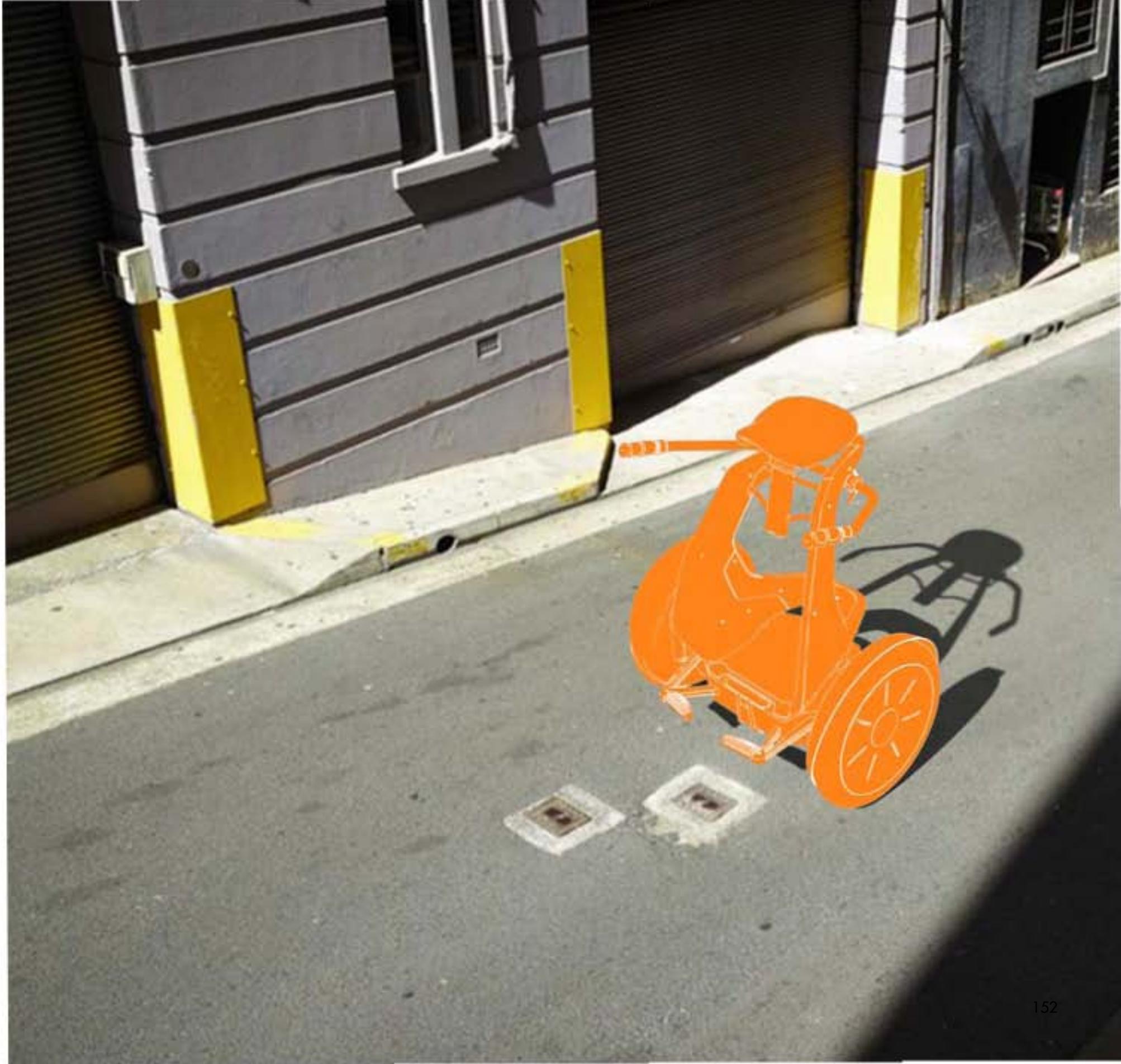
Fig. 13.1 VEPI

Meticulosamente pretendí que todo tuviera una razón de ser: los espacios requeridos para carga de objetos personales, la definición de los elementos para la posición de manejo (estribos, asiento y manubrio), el diseño continuo de cada uno de los módulos (base y cuerpo principalmente), los elementos que conforman el cuerpo de los estribos, los rines, los colores, la definición de materiales de acuerdo a inversión económica, etc.

El VEPI, representado en la figura 13.1, es, una propuesta de un vehículo eléctrico personal con una tecnología de conducción poco convencional, y con una fabricación *simple* pero, sin duda, formalmente *novedoso*.

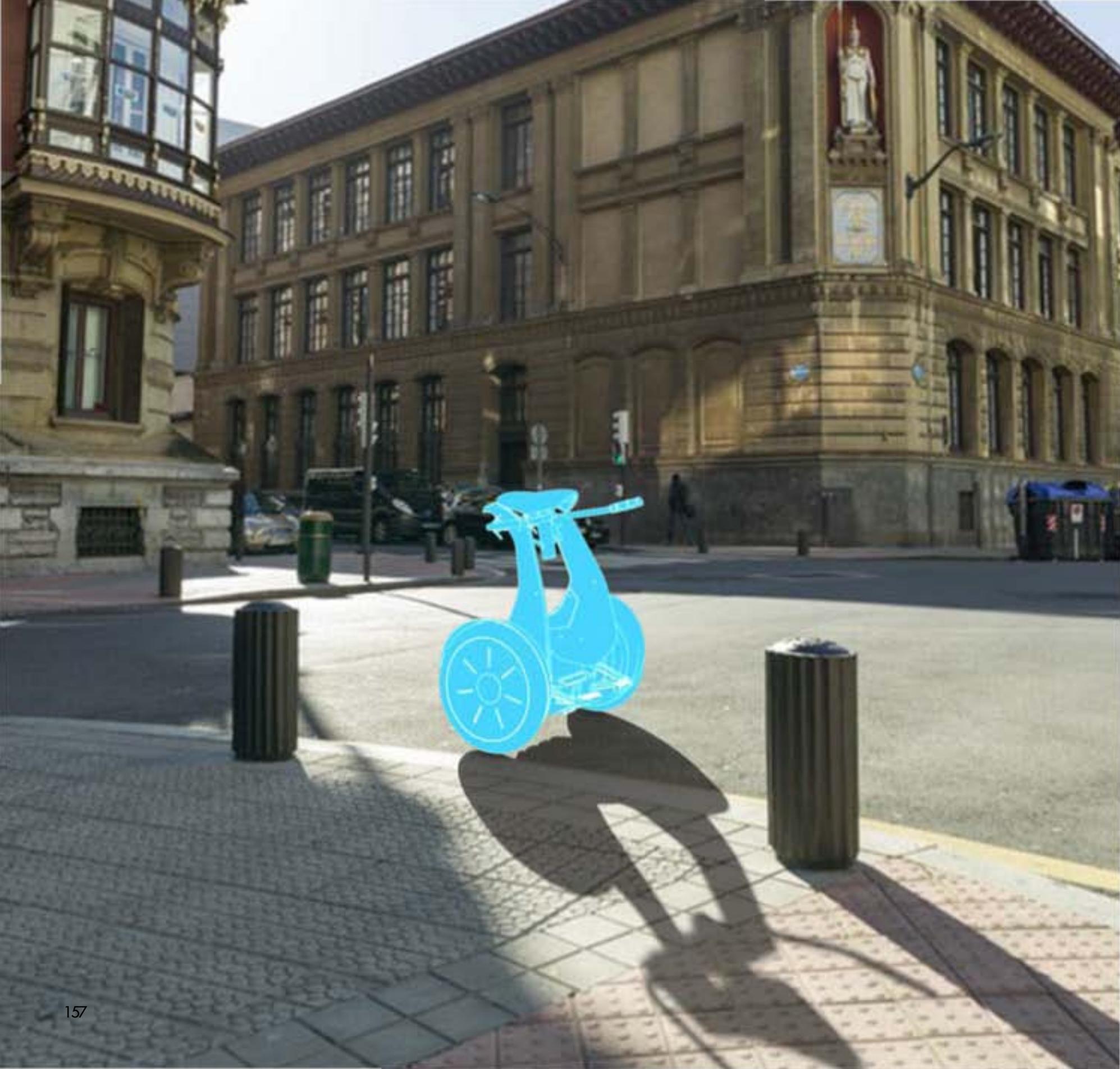
El lector encontrará pues, en las siguientes dos páginas la descripción *grosso modo* del vehículo, y seguido de ellas la especificidad de cada uno de los elementos que lo conforman, y la forma de uso e interacción.

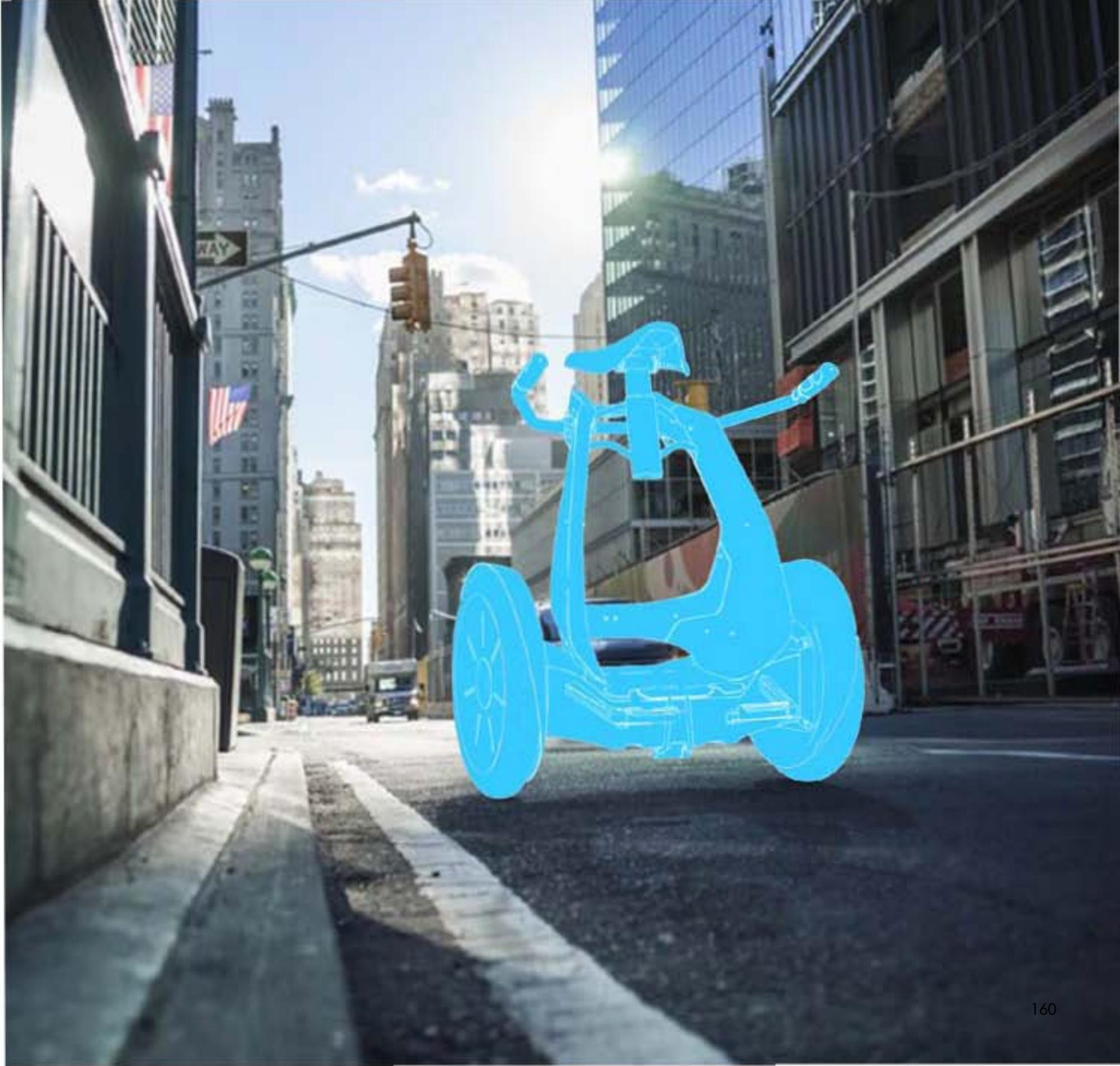




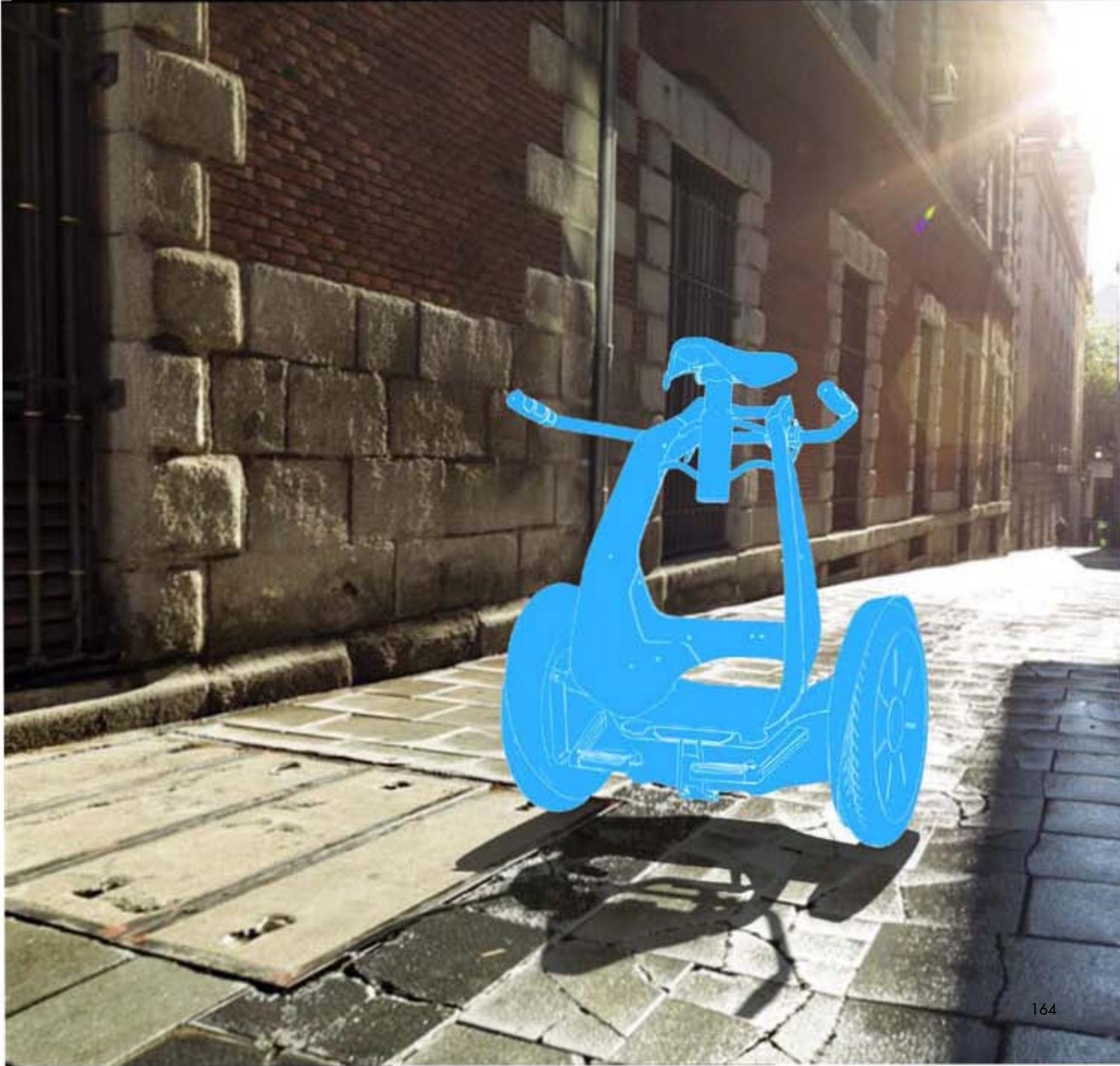






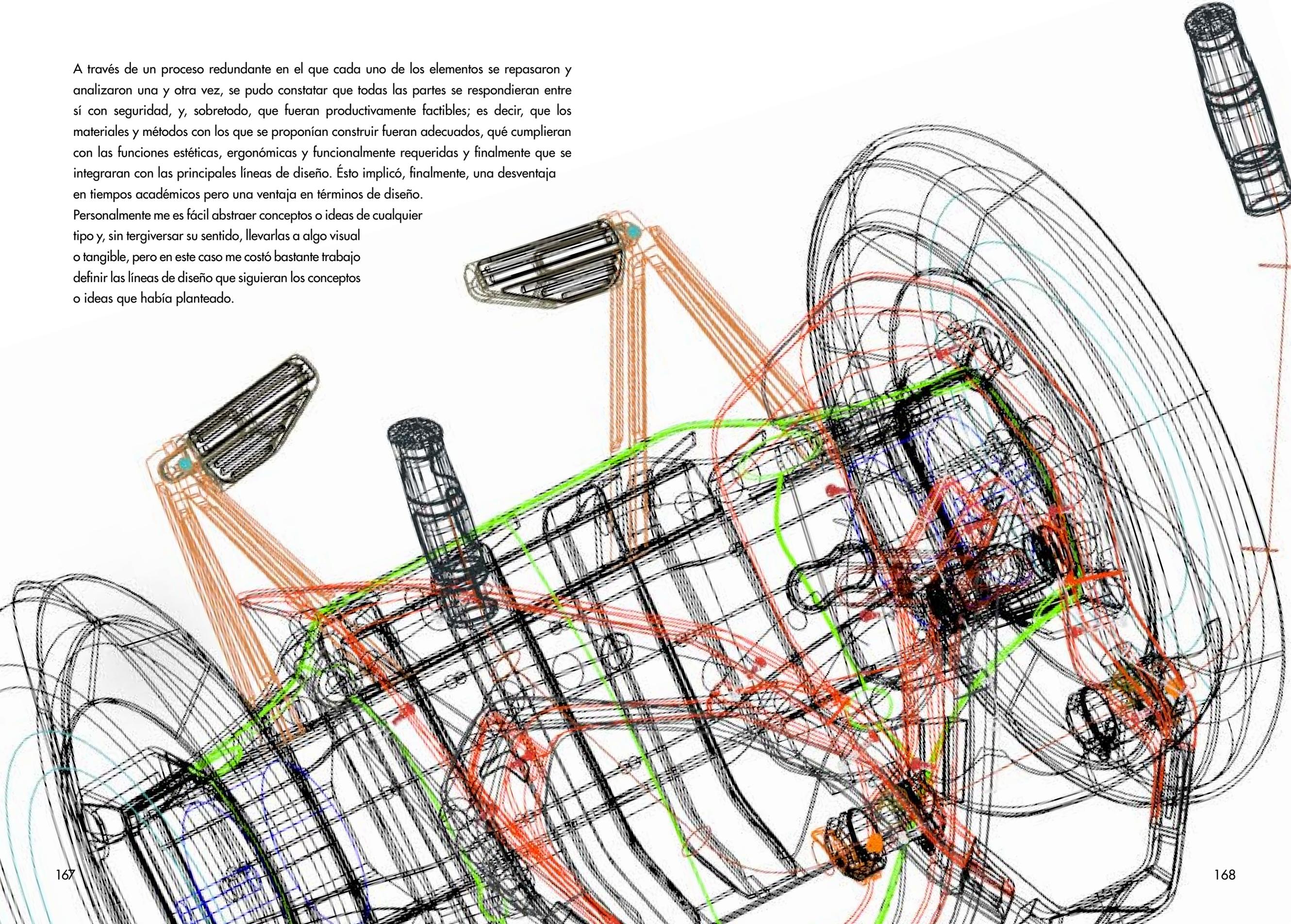






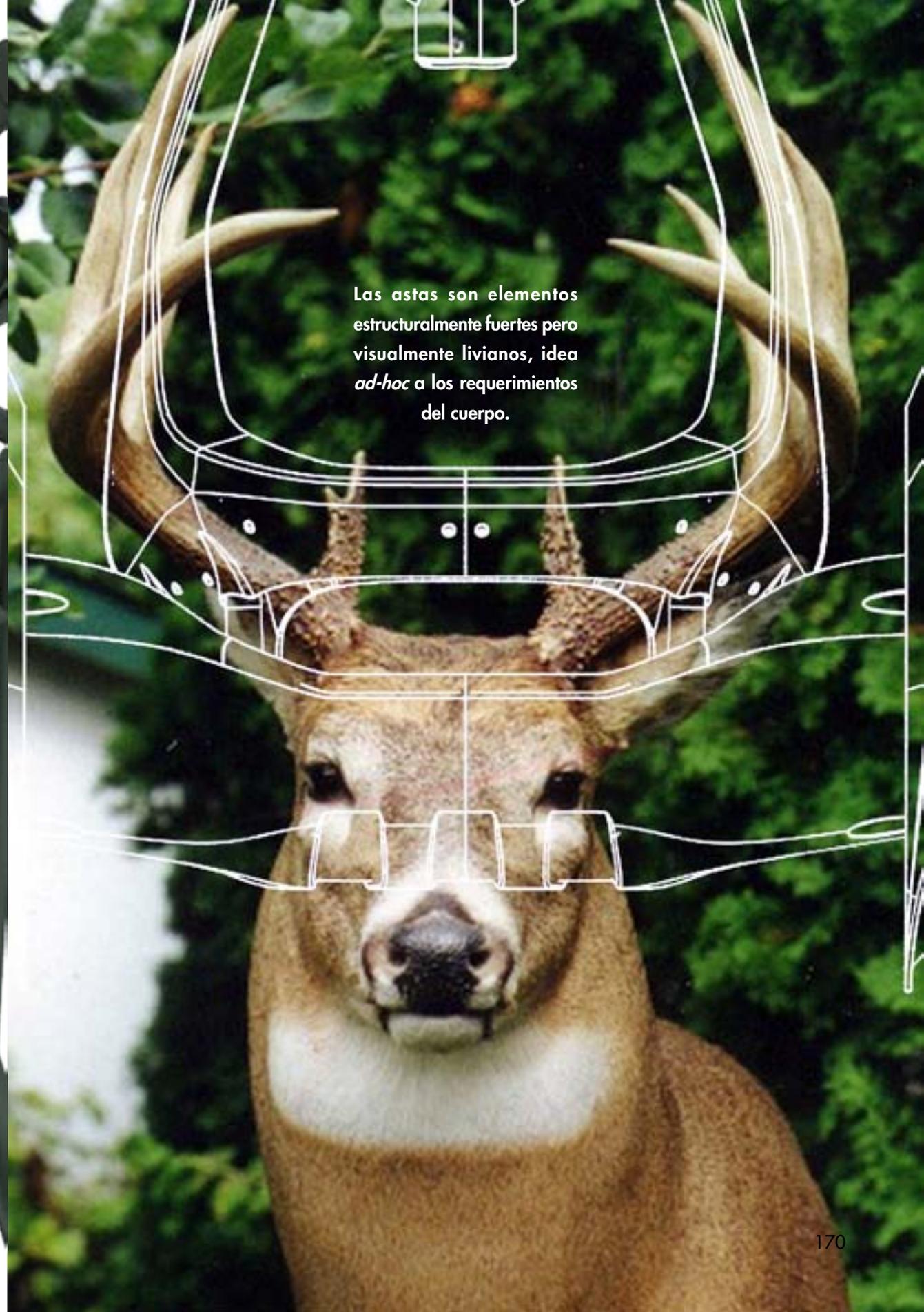


A través de un proceso redundante en el que cada uno de los elementos se repasaron y analizaron una y otra vez, se pudo constatar que todas las partes se respondieran entre sí con seguridad, y, sobretodo, que fueran productivamente factibles; es decir, que los materiales y métodos con los que se proponían construir fueran adecuados, qué cumplieran con las funciones estéticas, ergonómicas y funcionalmente requeridas y finalmente que se integraran con las principales líneas de diseño. Ésto implicó, finalmente, una desventaja en tiempos académicos pero una ventaja en términos de diseño. Personalmente me es fácil abstraer conceptos o ideas de cualquier tipo y, sin tergiversar su sentido, llevarlas a algo visual o tangible, pero en este caso me costó bastante trabajo definir las líneas de diseño que siguieran los conceptos o ideas que había planteado.



Estructura tubular

En capítulos anteriores había mencionado que tomé las ideas entorno al significado de la figura del venado para los Huicholes para el diseño del VEPI. Para ellos el venado está cargado de ideas como velocidad, agilidad, fertilidad, abundancia y bonanza; pero finalmente se omitió esta idea asociativa quedando únicamente, por circunstancias azarosas las astas de los venados como el único elemento para el desarrollo forma-función del cual partió todo lo demás.



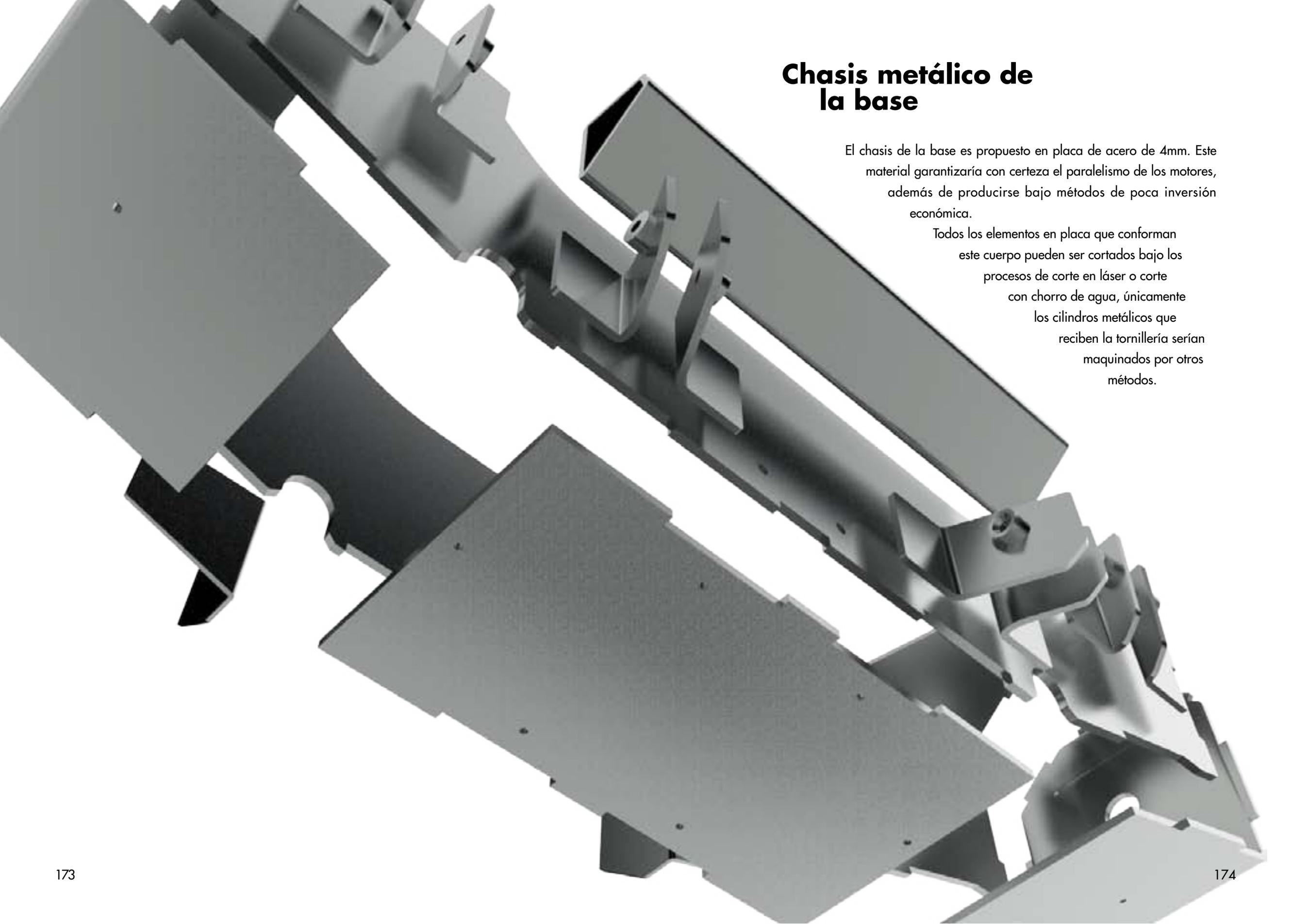
Las astas son elementos estructuralmente fuertes pero visualmente livianos, idea *ad-hoc* a los requerimientos del cuerpo.



En esta figura se observa la abstracción de la silueta de perfil de la cabeza de un venado de cola blanca con sus astas. La propuesta de tubular fue una de las decisiones más acertadas, ya que a pesar de que el rolado de los tubos luce complejo, el proceso sería más barato que un troquelado o un hidroformado, y mucho menos complejo que pailería.

Propuesta por dos laterales principales de dos tubos de 3/4" unidos por tubos de 1/2" en calibre 12 y 16, respectivamente. Por la parte de arriba se encuentra soldada la pieza que recibe al asiento; también tienen láminas dobladas que reciben el termoformado plástico que la cubre, y finalmente los extremos superiores se encuentran aplanados para que reciban a la pieza de la agarradera.



An exploded view of a metal base chassis, showing various components like plates, brackets, and a central shaft assembly. The components are rendered in shades of gray, highlighting their geometric shapes and how they fit together.

Chasis metálico de la base

El chasis de la base es propuesto en placa de acero de 4mm. Este material garantizaría con certeza el paralelismo de los motores, además de producirse bajo métodos de poca inversión económica.

Todos los elementos en placa que conforman este cuerpo pueden ser cortados bajo los procesos de corte en láser o corte con chorro de agua, únicamente los cilindros metálicos que reciben la tornillería serían maquinados por otros métodos.



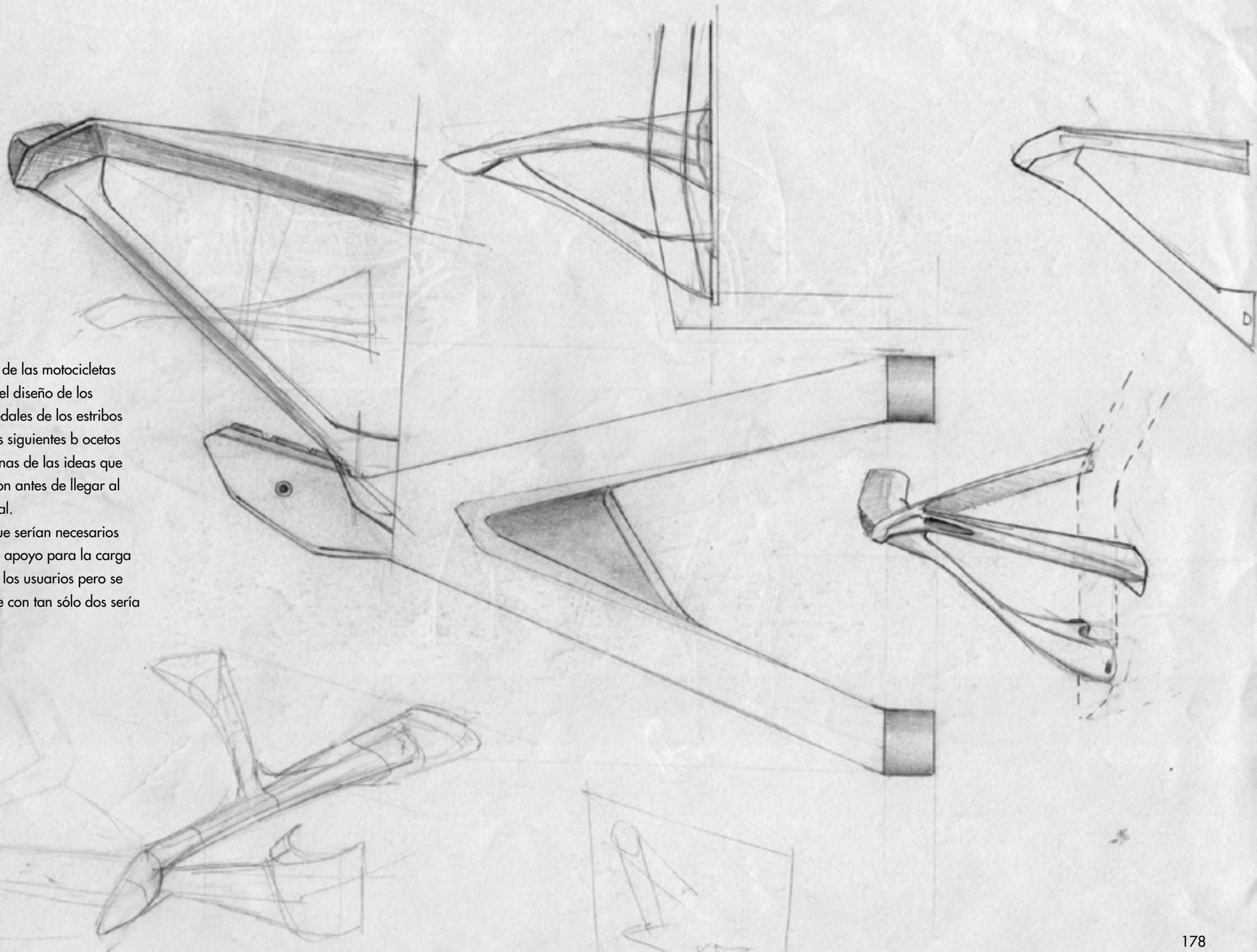
Estribos

Considero que las piezas que conforman los brazos de los estribos tienen la figura estructural con mayor capricho por sus requerimientos funcionales. El reposa pies fue diseñado para contener una pieza de hule plástico en las que los pies del usuario iban apoyados y a su vez evita que se derrapen.



Los estribos de las motocicletas inspiraron el diseño de los brazos y pedales de los estribos del VEPI, los siguientes bocetos fueron algunas de las ideas que se plantearon antes de llegar al diseño actual.

Se pensó que serían necesarios 3 puntos de apoyo para la carga del peso de los usuarios pero se observó que con tan sólo dos sería suficiente.





Despiece de estribos y pata auxiliar

En esta figura se muestra el montaje de ambos estribos y la pata auxiliar al chasis. Las placas que los reciben tienen maquinados cilíndricos que están soldados a ellas y que tienen cuerda interior para ser atornillados por tornillos de 3/8".

Cubierta inferior de base

La configuración del chasis metálico de la base y el acomodo de los elementos electrónicos que lo constituyen permitieron un aprovechamiento de espacio óptimo que dio lugar a una forma atractivamente compleja. Lo que se ve a continuación es la cubierta inferior de la base, propuesta en Polipropileno inyectado bajo el proceso de RIM.



Por la parte de enfrente tiene dos orificios por lado que reciben a los brazos de los estribos. La definición de estos espacios tuvo una gran inversión temporal debido a que como primer propuesta se preveía que los estribos se pudieran atornillar al chasis después de montar la cubierta inferior, lo que aumentaba el número de piezas de éste elemento.



Por la parte media inferior cuenta con otro espacio más designado para el cuerpo de la pata auxiliar. Por último, la parte trasera de esta cubierta tiene el área dedicada para la conexión eléctrica. En las nervaduras de la pieza se distinguen 12 postes plásticos con orificios por donde pasa la tornillería que fija esta cubierta al chasis metálico.

Cubiertas superiores de base



Tres son las piezas que conforman a la cubierta superior de la base. Entre ellas existen dos espacios ovalados por lado que son los que enbonan en la estructura principal tubular. Removiendo la cubierta central se puede tener acceso a todos los elementos eléctricos: circuitos, baterías, y motores. Su extensión total a lo largo y ancho es la que determina el área de carga de objetos personales que traigan los usuarios consigo como mochilas o bolsas. Por la parte de enfrente tiene un espacio dedicado a la pata auxiliar y de manera contigua se encuentra una pieza de hule que sirve como apoyo de los talones en caso de que los usuarios no sientan la comodidad necesaria apoyándose en los estribos. El método de producción es el mismo que la cubierta inferior, polipropileno, y el proceso es el mismo de RIM.



Despiece general de base y guardafangos

Tanto los estribos como la pata auxiliar tienen que estar dentro de la cubierta antes de montarla al chasis metálico de la base, ya que los estribos se montan de manera paralela a los elementos que los reciben.

Los guardafangos son unidos a la base por un cuerpo que se atornilla al chasis y a los mismos guardafangos. Ésta pieza tiene por el lado de la base un empaque que no permite que entre agua y polvo al interior de los elementos electrónicos.



Ubicación de baterías y motores

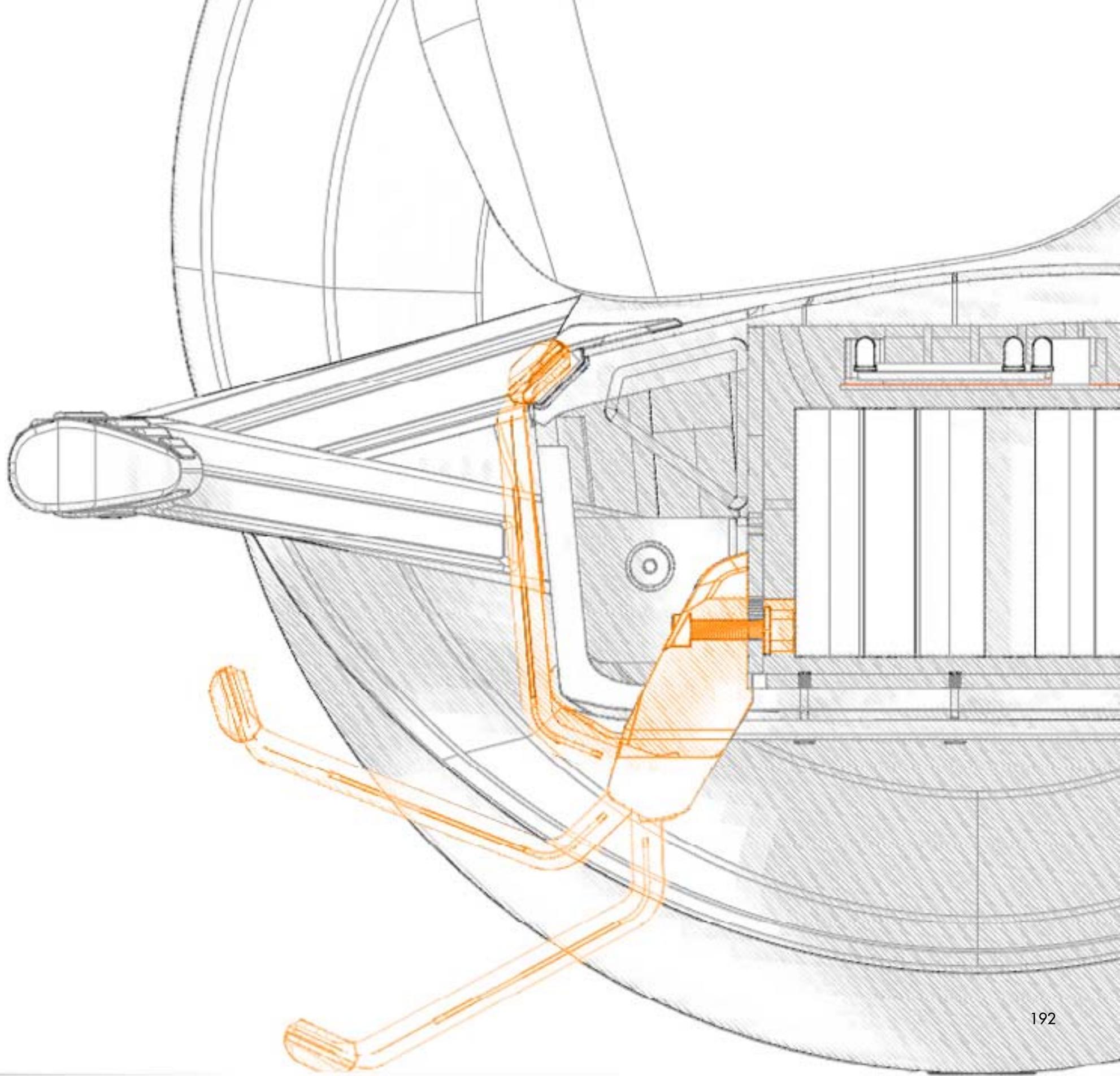
El VEPI puede albergar 186 baterías de Ión-Polímero-Litio, 40 pilas más que su competencia principal en el mercado, Segway.

Función de pata auxiliar

Como bien ya se sabe, la naturaleza del sistema electrónico promueve que el vehículo esté en constante inestabilidad, para lo cual se diseñó una pata auxiliar que ayuda en el ascenso y descenso al vehículo.

Este elemento funciona del mismo modo que las patas que usan motocicletas o bicicletas, con ello quiero decir que es completamente retráctil hacia una y otra dirección.

Previo a ascender, el usuario deberá bajar la pata auxiliar hasta que no pueda descender más, en ese momento estará bloqueada. Con ello se consigue que, cuando el usuario apoye un primer pie en cualquiera de los estribos para sentarse en el asiento el vehículo no podrá avanzar hacia el frente. Una vez sentado en el asiento y con un pie en un estribo el usuario puede montarse con toda seguridad, y con un impulso hacia atrás desbloqueará la pata, y ésta subirá automáticamente a su posición original. Al descender, los pies del usuario que se apoyan de los estribos, y también de la cubierta central de la base; harán el papel de descender del mismo modo ya mencionado la pata auxiliar, manteniendo siempre un pie en uno de los estribos.





Despiece de cubiertas de estructura tubular

Existe una corriente estética en el diseño actual que se denomina *edge design* y que se distingue por hacer cortes con aristas marcadas en los bordes o cambios de dirección notables sobre superficies. Este estilo de diseño se ha vuelto de mucho uso, sobretodo en el diseño automotriz desde hace poco más de un lustro.

Las piezas que conforman el exterior del VEPI caben en esta corriente. Sin mayor complicación de diseño se logró una configuración muy atractiva.

El cuerpo está propuesto en termoformado de PVC por ser un proceso de poca inversión económica. Como se muestra en la imagen, el cuerpo del VEPI está constituido por 5 piezas interiores y 1 pieza exterior previamente unida y refinada para recibir acabado, las cuales van unidas al cuerpo tubular con tornillos de plástico a presión, *pushpins*.



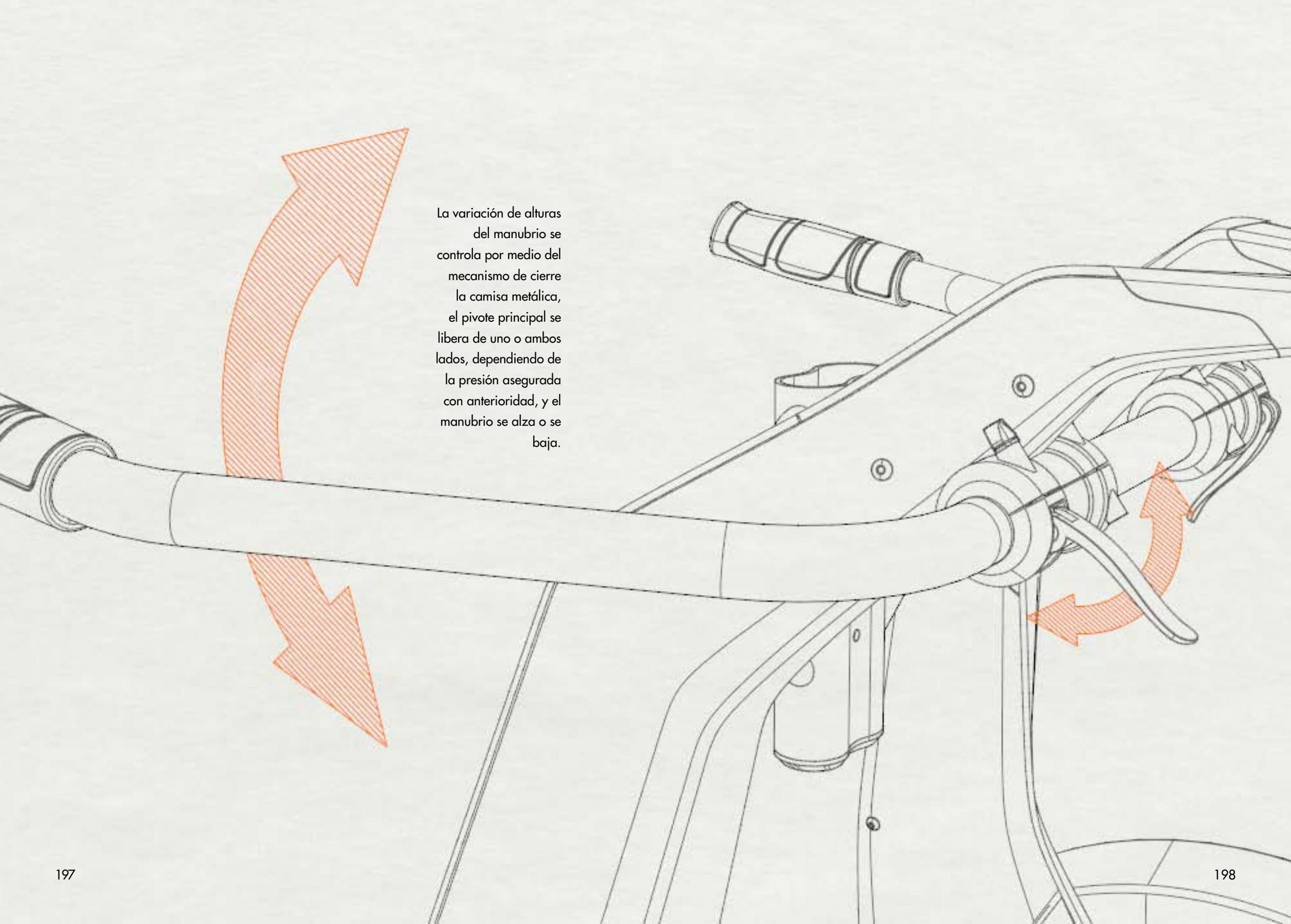
Manubrio y agarradera

Durante la elaboración de
este concepto se mencionó y el

prototipo se hizo mención por parte de
muchas gente que el manubrio simulaba los
cuernos de un toro.

El montaje de el manubrio se hace a través de unas
camisas metálicas que funcionan a presión. Éste sistema es
bastante común en los asientos de bicicleta, por ejemplo.

Por otra parte el primer concepto desarrollado planteaba que por la
parte trasera del asiento existiera un asa, para maniobrar el vehículo
cuando esté apagado o su pila se le haya acabado, como si el usuario
estuviera llevando un carrito de supermercado.



La variación de alturas del manubrio se controla por medio del mecanismo de cierre la camisa metálica, el pivote principal se libera de uno o ambos lados, dependiendo de la presión asegurada con anterioridad, y el manubrio se alza o se baja.



Asiento

De acuerdo al análisis ergonómico, el asiento debía permitir que el ángulo de inclinación de las piernas obligara a erguir la columna de manera que se sostuviera en su posición natural durante el uso del vehículo. El asiento tiene la forma de uno de bicicleta pero debe ser más amplio en su parte posterior para brindar mayor comodidad ya que el área donde los usuarios se recargarán más es donde descansan sus propias nalgas.

El asiento tiene variación de 4 alturas para distintos percentiles mexicanos 5, 50, 95.

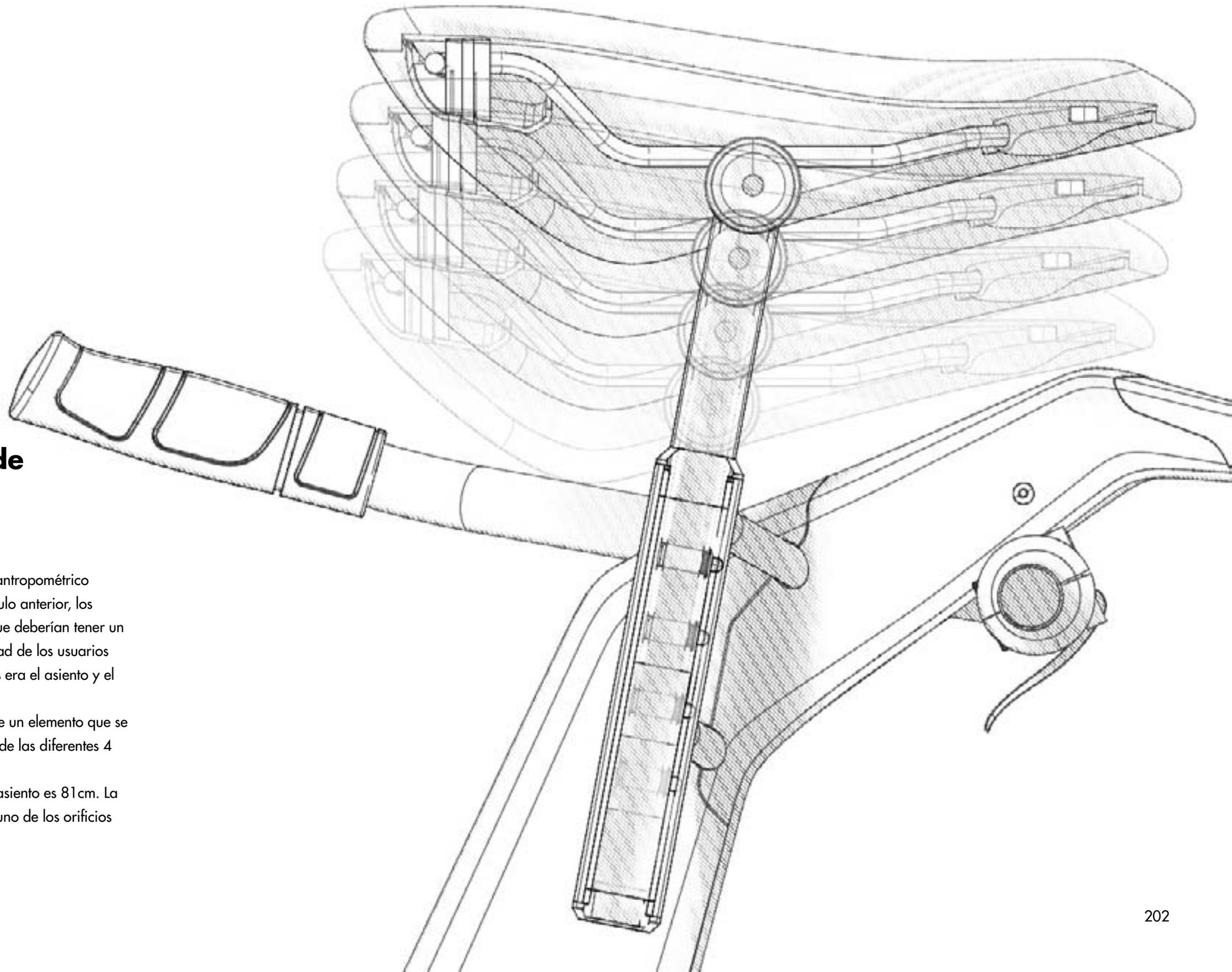


Variación de altura del asiento

De acuerdo al análisis antropométrico mencionado en el capítulo anterior, los únicos dos elementos que deberían tener un ajuste para la comodidad de los usuarios en diferentes percentiles era el asiento y el manubrio.

La base del asiento tiene un elemento que se retrotrae para el ajuste de las diferentes 4 alturas definidas.

La altura más baja del asiento es 81 cm. La separación entre cada uno de los orificios para elevarla es de 1".



Grips de mando touch

El manejo del vehículo se hace de dos formas.

Para ir hacia adelante el usuario tiene únicamente que inclinar su cuerpo hacia el frente, no hay necesidad de ir hacia atrás ya que el vehículo puede girar 180° en su propio eje vertical.

Ahora bien, si el usuario quiere girar, los puños del manubrio se propusieron con un mando touch. Dicha opción se probó en el prototipo funcional de manera satisfactoria, además de conseguir que el vehículo se pudiera conducir de manera inalámbrica, (ver anexo ###).

El módulo de manejo se deja como un trabajo de mejora futura por causas de inseguridad sensorial. Una mera acción dactilar al manejar genera inseguridad debido a que un impulso análogo, es decir una fuerza aplicada, se supone debe actuar con la misma magnitud a la acción resultante o esperada.





Área de Carga

Todos los vehículos afines al VEPI, tienen accesorios fuera del costo del vehículo para cargar cosas. Una de las principales ventajas de este vehículo es que no se necesita de ellos, ya que debajo del asiento cuenta con un amplio espacio dedicado a ello. Es probable que se necesite de cuerdas o listones elásticos para mantener los objetos que rebasen las dimensiones del área base, sin embargo esto es una posibilidad que puede ser desarrollada a posterioridad.

Conexión Eléctrica

El rendimiento de las baterías, la duración de vida útil, así como el tiempo de carga que necesita el VEPI es de lo más eficiente en la actualidad, extendiendo los viajes de los usuarios y promoviendo una mejor imagen pública de los vehículos de propulsión eléctrica llamando la atención a distintos tipos de posibles usuarios.

Contexto de uso

El VEPI, es un vehículo propuesto como una alternativa vehicular para viajes interurbanos menores a 16 km con una carga eléctrica completa.

Sin embargo el uso que puede dársele no sólo compete a lo que se mencionan arriba sino también puede estar inmerso en situaciones de vigilia, como en aeropuertos, naves industriales o parques de diversiones, donde las distancias que el personal debe recorrer para su trabajo implica el uso de vehículos eléctricos de grandes dimensiones o una inversión de tiempo cuantiosa.

La renta de estos vehículos por parte de una inversión privada, como el caso de los tours guiados, es también un nicho en donde este vehículo brillante y novedoso tendría cabida y éxito.







Productos comerciales

El vehículo usa 3 productos en el mercado:

- Servomotores tipo *Panflake* sin cerdas marca *Printed Motorworks*
- 186 baterías cilíndricas de 3.2 V, marca Valance (40 pilas más que el Segway)
- 2 llantas para rin 12" marca *Pirelli ML-12*



Costos

Una buena planificación del proceso de fabricación de cualquier producto coadyuva en un buen aprovechamiento de los recursos económicos en la producción industrializada y consecuentemente conlleva a un éxito comercial. En el proceso industrializado se consideran muchas operaciones que se realizan en tiempo y forma, y son establecidos por una secuencia que se debe cumplir puntualmente. A esta secuencia se le conoce como línea de producción en serie. Las tareas a realizar se dividen en módulos de manera que cada tarea está en una estación de trabajo.

Si el VEPI se pretende realizar en una planta propia, o sea, que cada uno de los elementos o módulos del vehículo se fabriquen bajo un mismo techo, exceptuando piezas comerciales, tendremos, por mencionar algunos ejemplos: estaciones dobladoras de tubos, láminas y placas de acero, soldado, inyección de plástico bajo el proceso RIM para varios elementos; termoformado, maquilado de piezas de plástico y metal, estación de acabado, estación de ensamble, estación de pruebas, empaquetado, almacenado y estibaje, etc.

En la industria, la materia prima se compra por adelantado, se tiene que contar con operarios calificados para cada tarea, y se debe tener la infraestructura fabril adecuada, maquinaria, escantillones, plantillas, moldes, etc. Aparte de ello es necesario contar con un apartado administrativo de la empresa.

Grosso modo tenemos: tres costos básicos: Materia prima, Mano de obra e Infraestructura Industrial. Dos inversiones: Diseño y desarrollo del producto, y la fuerza de ventas (mercadotecnia); y finalmente la ganancia.

En la industria el cálculo de cifras para estos gastos o costes, se realiza a partir de considerar el 100% como el precio de venta en fábrica del producto. Cualquier empresario sabe que su utilidad por proyecto no puede ser menor al 35%, de otra manera sería más aconsejable otro tipo de inversión financiera.

En la industria se busca el lanzamiento de productos competitivos de manera que su costo corresponda a la realidad del mercado. El VEPI a pesar de ser un producto con una fabricación que pareciera no exige mucha inversión, no puede bajar su costo en comparación con sus competencias ya que se demeritaría automáticamente.

La manera de calcular los costos varía en cada tipo de empresa, de la tecnología a usar y de la experiencia propia. Por lo general se toma como base el costo del total de lo que será la materia prima, calculando costos de mayoreo y a concurso entre proveedores, este costo en una industria como la que se pretende que sea la que produzca el VEPI la materia prima constituye \$7,750 pesos, o sea el 20% del total del precio de venta del vehículo (\$38,750 MXN calculado por el rango de precios en los que se encuentran los vehículos afines).

Debido a la novedad de la forma de manejo del VEPI, y la experiencia de otras empresas fabricantes de este tipo de vehículos, se propone que la producción anual de vehículos no supere las 6000 unidades.

| | | |
|---------------------------------|-------------|---------------------|
| Materia prima | 20% | \$ 7,750.00 |
| Mano de obra | 7% | \$ 2,712.50 |
| Infraestructura | 17% | \$ 6,587.50 |
| Ventas | 16% | \$ 6,200.00 |
| Diseño y desarrollo de producto | 5% | \$ 1,937.50 |
| Utilidad o ganancia | 35% | \$ 13,562.50 |
| COSTOS TOTALES | 100% | \$ 38,750.00 |

Últimas palabras...

Puedo decir que las expectativas de la propuesta final fueron alcanzadas y superadas por mucho y, a pesar de tropezarme conmigo mismo y detenerme constantemente durante el desarrollo de la tesis, el resultado final no deja de qué hablar.

No fueron necesarios procesos de producción ni materiales innovadores para diseñar una propuesta atractiva como había pensado desde un principio y me agrada que haya podido poner en práctica una frase con la que tanto me identifico: en la escasez se da la innovación.

El resultado de un lento pero seguro avance me dejó enormemente satisfecho.

Como ya se mencionó, la novedad formal y estética del vehículo constituyen dos de los principales aspectos a destacar, no existe actualmente en el mercado o en el *mundo del internet* una propuesta igual, ni siquiera a escala conceptual. Puedo estar seguro de ello porque en todo momento me mantuve al tanto de blogs, páginas y concursos de diseño, con el fin de que no hubiera otro vehículo parecido al propuesto en esta tesis que hasta la fecha sigue sin existir.

Es claro y notorio que un vehículo como el diseñado en la propuesta final puede competir fácilmente en el mismo mercado que el Segway y otros vehículos similares.

Finalmente quiero decir que un sólo elemento, como lo es este vehículo no resolverá la problemática de movilidad en las ciudades con altas concentraciones de población como el DF, sin embargo es una propuesta más que fomenta el cambio paradigmático de vehículos motorizados y de dimensiones excesivas a formas más apropiadas de transporte urbano.



Anexo 1

Modelo matemático de sistema de control

Módulos de Software

Se diseñó y programó una herramienta que ayudara a conocer el comportamiento de los sensores empleados y a generar una comunicación con el microcontrolador para poder introducir los valores de las ganancias del controlador y graficar las variables enviadas por el microcontrolador (fig. A, B, C y D).

Se utiliza comunicación serial RS-232 a una velocidad de transmisión y recepción de datos entre los dos dispositivos de 115200 Baudios y se programó en el lenguaje de programación C#.

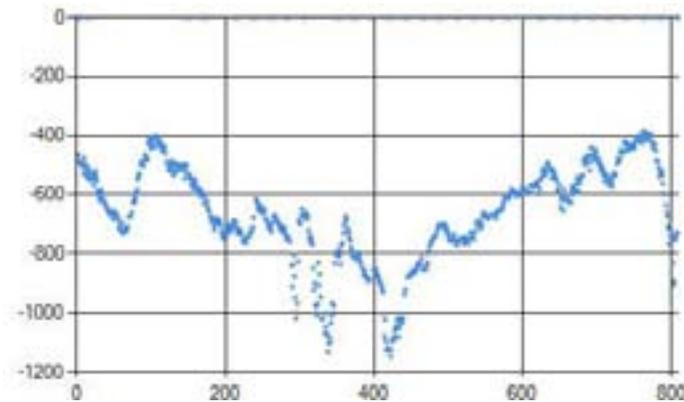


Fig. A Gráfica desplegada por software diseñado

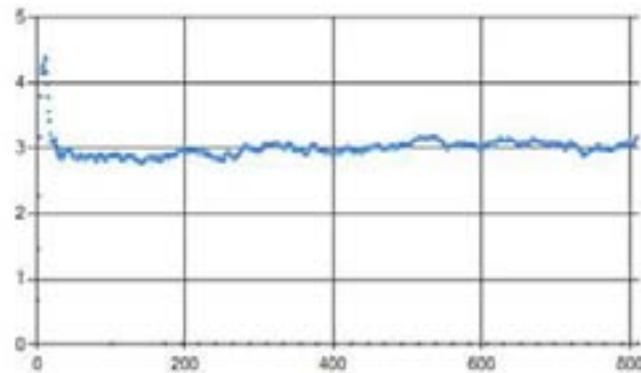


Fig. B Gráfica generada por el software de la medida del ángulo del vehículo

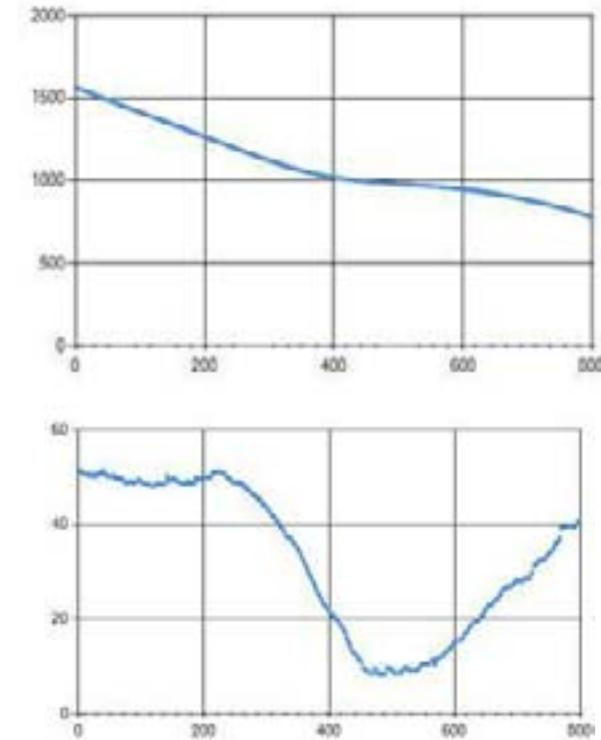


Fig. C y D Gráficas de velocidad y ángulo del vehículo.

Módulos de control

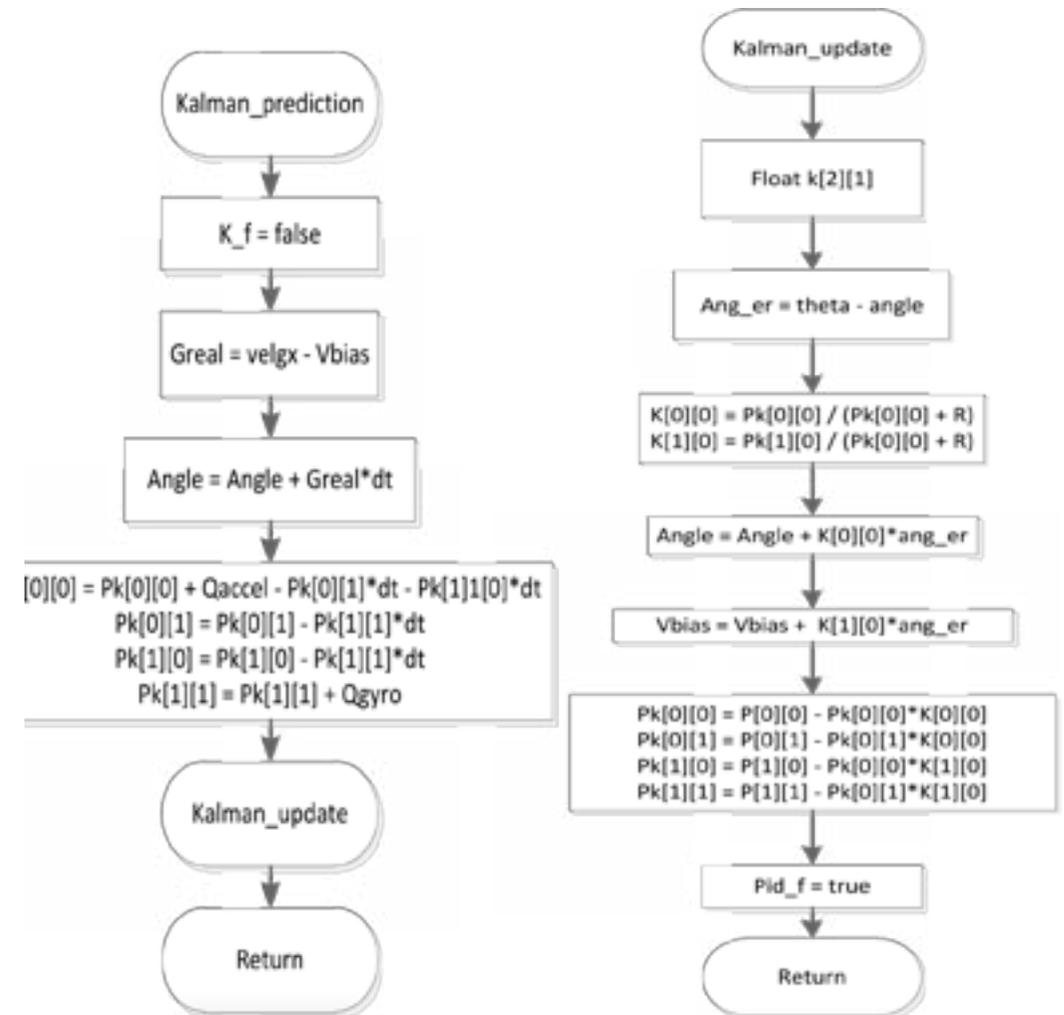
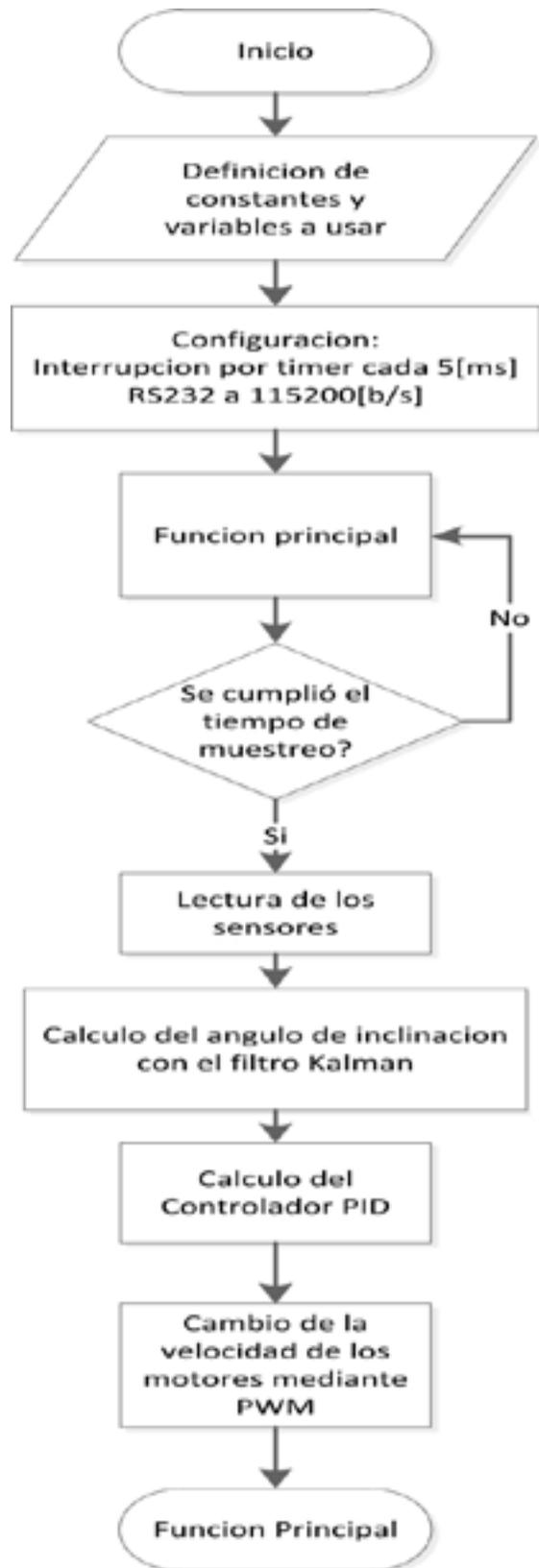
El programa que se creó para el módulo de control se realizó en un microcontrolador de la familia Microchip, PIC 18F4553. El microcontrolador se encarga de realizar los cálculos del controlador PID y de adquirir las señales de los sensores para filtrarlas y calcular el valor del ángulo del vehículo. Un diagrama de flujo en pseudocódigo del programa implementado es mostrado en la Imagen E.

El microcontrolador realiza una muestra cada 5 ms del acelerómetro y del giroscopio, para aplicarles el filtro Kalman y así usar este ángulo en el cálculo del error para el controlador PID.

El microcontrolador envía los datos hacia la computadora mediante el protocolo de comunicación serial RS232, para que en este se puedan generar las gráficas correspondientes a las variables enviadas por el microcontrolador.

El control empleado es un PID discreto, cuyos valores de ganancia fueron ajustados mediante la interfaz en la computadora.

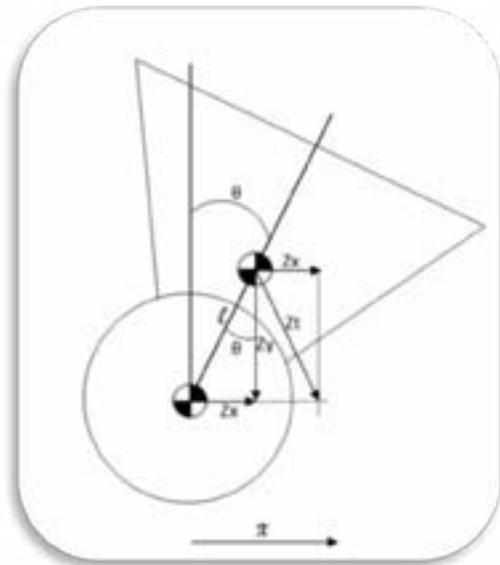
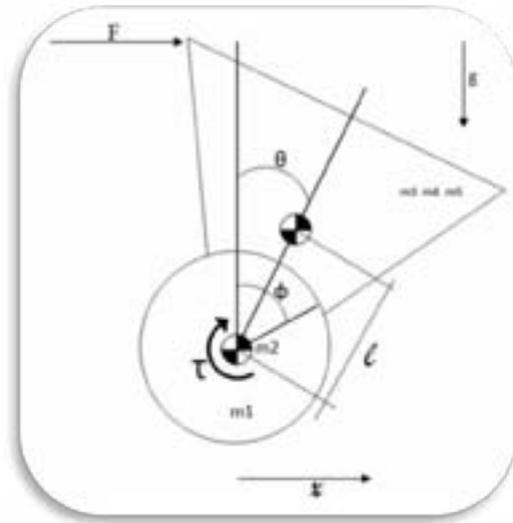
El diagrama de flujo del filtro Kalman se muestran en la Imagen F.



Elaboración del modelo matemático

Para realizar el controlador, se generó como primer paso el modelo matemático, del dispositivo para conocer las respuesta libre del sistema y sus variaciones ante diferentes excitaciones. El modelo matemático fue obtenido mediante las ecuaciones de Euler-Lagrange y se muestra en este apartado.

Como primer paso en el procedimiento de obtención del modelo matemático realizaron los diagramas de cuerpo libre del dispositivo y el diagrama de velocidad total mostrado en Imagen G e Imagen H.



- F- Fuerza aplicada para desequilibrar el vehículo
- b1- Coeficiente de fricción entre la rueda y el piso
- b2- Coeficiente de fricción del rodamiento de la rueda
- τ - Torque aplicado por los motores
- G - gravedad
- X - Desplazamiento del vehículo
- m1- Masa de cada llanta
- m2- Masa de los motores
- θ - Angulo del vehículo con respecto a la vertical
- Φ - Angulo de giro de las llantas
- r- Radio de las llantas
- l- Distancia entre las llantas y el centro de masa del vehículo
- Z_t - desplazamiento del centro de masa del vehículo
- Z_y - componente del desplazamiento en el eje Y
- Z_x - componente del desplazamiento en el eje X

Obtención del modelo matemático mediante las ecuaciones de Euler-Lagrange

La siguiente parte del procedimiento es establecer las ecuaciones de energía cinética de las variables:

$$U^* = \frac{1}{2} m V^2 \quad ; \quad U^* = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 \quad ; \quad J = \frac{1}{2} b \dot{x}^2 \quad ; \quad J = \frac{1}{2} b \dot{\phi}^2$$

Fuerzas generalizadas

Las fuerzas externas generalizadas que el sistema experimenta en su operación son:

- La fuerza F aplicada.
- El torque τ que genera el Motor.
- El torque que genera el mismo cuerpo del Péndulo al no estar en una posición estable:
 $m_r g l \sin \theta$

Nomenclatura de las variables y constantes usadas.

La nomenclatura asignada a las variables y constantes empleadas se muestra en la siguiente lista.

Modelo Matemático

$$U^* = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_1 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_R V_r^2$$

$$V_r^2 = V_x^2 + V_y^2 = \frac{dZ_x^2}{dt} + \frac{dZ_y^2}{dt}$$

Donde:

$$Z_x = x + l \sin \theta \quad ; \quad Z_y = l \cos \theta \quad \text{Por lo tanto}$$

$$\frac{dZ_x}{dt} = (\dot{x} + l \cos \theta \dot{\theta})^2 \quad ; \quad \frac{dZ_y}{dt} = (-l \sin \theta \dot{\theta})^2 \quad \text{y por lo tanto}$$

$$V_r^2 = V_x^2 + V_y^2 = (\dot{x} + l \cos \theta \dot{\theta})^2 + (-l \sin \theta \dot{\theta})^2 = \dot{x}^2 + 2 l \dot{x} \cos \theta \dot{\theta} + l^2 \dot{\theta}^2$$

$$\text{Y como... } \dot{\theta} = \frac{\dot{x}}{r}$$

Finalmente U^* resulta:

$$U^* = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_1 \left(\frac{\dot{x}}{r} \right)^2 + \frac{1}{2} J_2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_R (\dot{x}^2 + 2 l \dot{x} \cos \theta \dot{\theta} + l^2 \dot{\theta}^2)$$

$$U^* = \frac{1}{2} \left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \dot{x}^2 + \frac{1}{2} (J_2 + m_R l^2) \dot{\theta}^2 + m_R l \dot{x} \cos \theta \dot{\theta}$$

$T=0$

$$J = \frac{1}{2} b_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} b_2 \dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2} \right) \dot{x}^2$$

$$L = U^* - T = U^* = \frac{1}{2} \left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \dot{x}^2 + \frac{1}{2} (J_2 + m_R l^2) \dot{\theta}^2 + m_R l \dot{x} \cos \theta \dot{\theta}$$

Para X:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial J}{\partial \dot{x}} = F$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = \left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \dot{x} + m_R l \dot{\theta} \cos \theta$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = \left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \ddot{x} - m_R l \dot{\theta}^2 \sin \theta + m_R l \ddot{\theta} \cos \theta \quad ; \quad \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \dot{x}} = \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2} \right) \dot{x}$$

La ecuación para X es entonces:

$$\left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \ddot{x} - m_R l \dot{\theta}^2 \sin \theta + m_R l \ddot{\theta} \cos \theta + \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2} \right) \dot{x} = F$$

Para θ :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} + \frac{\partial J}{\partial \dot{\theta}} = \tau_{\text{rotat}}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = (J_2 + m_R l^2) \dot{\theta} + m_R l \dot{x} \cos \theta$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = (J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} - m_R l \dot{x} \dot{\theta} \sin \theta + m_R l \ddot{x} \cos \theta$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -m_R l \dot{x} \dot{\theta} \sin \theta \quad ; \quad \frac{\partial J}{\partial \dot{\theta}} = 0$$

La ecuación para θ es entonces:

$$(J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} - m_R l \dot{x} \dot{\theta} \sin \theta + m_R l \ddot{x} \cos \theta + m_R l \dot{x} \dot{\theta} \sin \theta = \tau_{\text{motor}} + m_R g l \sin \theta$$

$$(J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} + m_R l \ddot{x} \cos \theta - m_R g l \sin \theta = \tau_{\text{motor}}$$

Modelo Matemático Completo:

$$\left(m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R \right) \ddot{x} - m_R l \dot{\theta}^2 \sin \theta + m_R l \ddot{\theta} \cos \theta + \left(b_1 + \frac{b_2}{r^2} \right) \dot{x} = F$$

$$(J_2 + m_R l^2) \ddot{\theta} + m_R l \ddot{x} \cos \theta - m_R g l \sin \theta = \tau_{\text{motor}}$$

Forma Euler-Lagrange.

El modelo matemático en la forma Euler-Lagrange es:

$$\begin{bmatrix} m_1 + \frac{J_1}{r^2} + m_R & m_R l \cos \theta \\ m_R l \cos \theta & J_2 + m_R l^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 + \frac{b_2}{r^2} & -m_R l \dot{\theta} \sin \theta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_R g l \sin \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ \tau_{\text{motor}} \end{bmatrix}$$

Anexo 2

Encuesta de sensaciones y experiencias con vehículos
motorizados y eléctricos

Sistemas de Transporte

1. Cuáles de los siguientes vehículos ha usado? (Se puede seleccionar más de uno)

- Bicicleta. Tandem. Cuátrimoto.
 Motocicleta. Segway. Go Kart.

Otro (especifique)

2. Prefiero los vehículos:

- Motorizados (Motocicleta, motocicleta, auto).
 Eléctricos.
 De propulsión humana (Bicicleta).
 Híbridos.

3. Prefiero los vehículos:

- Que no generen emisiones contaminantes.
 Que simplemente satisfagan mis necesidades de transporte.

4. Usa automóvil propio para transportarse?

- Sí. No. En ocasiones.

5. Le gusta usar vehículos que generen un esfuerzo físico?

- Sí. No. En ocasiones.

6. Al usarlos (los vehículos de esfuerzo humano), con qué fines lo hace?

- Transporte. Deporte.
 Esparcimiento. No aplica.

7. Si los usa con fines de transporte, preferiría usar un vehículo que no le canse?

- Sí. No sé.
 No. No aplica.

3.

8. Cuáles son los motivos por los cuales no adquiriría un auto que contamine muy poco o no contamine?

- Son caros.
 Son lentos.
 No estoy muy interesado sobre la ecología.
 Tienen un rendimiento bajo.

Otro (especifique)

Sistemas de Transporte

9. Para cada vehículo mostrado marque las cinco características positivas que considere más importantes (Si no ha usado o conoce alguno, marque las características más importantes que imagine según su apariencia).

| | Bicicleta | Motocicleta | Cuátrimoto | Segway | Tandem | Go Kart |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tiene un bajo costo. | <input type="checkbox"/> |
| No Contamina. | <input type="checkbox"/> |
| Es fácil de conducir. | <input type="checkbox"/> |
| Es cómodo. | <input type="checkbox"/> |
| No me cansaría manejarlo. | <input type="checkbox"/> |
| Tiene un tamaño adecuado. | <input type="checkbox"/> |
| Tendría buen acceso a espacios reducidos. | <input type="checkbox"/> |
| Es para todo terreno. | <input type="checkbox"/> |
| Es novedoso. | <input type="checkbox"/> |
| Lo puede usar cualquier persona. | <input type="checkbox"/> |
| Tiene una velocidad adecuada. | <input type="checkbox"/> |
| Es seguro usarlo. | <input type="checkbox"/> |
| Es divertido usarlo. | <input type="checkbox"/> |
| Marque si estaría dispuesto a comprarlo | <input type="checkbox"/> |

10. Para cada vehículo mostrado marque las cinco características negativas que considere más relevantes (Si no ha usado o conoce alguno, marque según imagine por su apariencia).

| | Bicicleta | Motocicleta | Cuátrimoto | Segway | Tandem | Go kart |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Tiene un alto costo. | <input type="checkbox"/> |
| Contamina. | <input type="checkbox"/> |
| Es difícil de conducir. | <input type="checkbox"/> |
| Es incómodo. | <input type="checkbox"/> |
| Me cansaría manejarlo | <input type="checkbox"/> |
| Es muy grande o muy pequeño. | <input type="checkbox"/> |
| No tendría buen acceso a espacios reducidos. | <input type="checkbox"/> |
| No es para todo terreno. | <input type="checkbox"/> |
| No es novedoso. | <input type="checkbox"/> |
| No lo puede usar cualquier persona. | <input type="checkbox"/> |
| Es muy rápido o muy lento. | <input type="checkbox"/> |
| Es inseguro usarlo. | <input type="checkbox"/> |
| Es aburrido usarlo. | <input type="checkbox"/> |

11. De tener oportunidad de rentarlo, cuánto pagaría por una hora de uso?

| | Menos de \$50. | Entre \$50 y \$100. | Entre \$100 y \$200. | Entre \$200 y \$300. | Más de \$300 |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bicicleta | <input type="radio"/> |
| Motocicleta | <input type="radio"/> |
| Cuátrimoto | <input type="radio"/> |
| Segway | <input type="radio"/> |
| Tandem | <input type="radio"/> |
| Go Kart | <input type="radio"/> |

Sistemas de Transporte

12. Cuántas veces usted se traslada por semana para:

| | No se traslada | 1 a 5 | 6 a 10 | 11 or más |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Traje | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tienda | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Compras | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Asuntos personales | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Visitas sociales | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Trabajo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

13. Cuántas veces por semana viaja usted por los medios de transporte mostrados?

| | No aplica | Menos de 2 | 2 a 5 | 5 o más |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Auto (conducendo solo) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Auto (compartiendo el viaje) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Bicicleta | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Caminando | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Transporte público | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

14. Que grado de problemática implican para usted las siguientes situaciones?

| | No tengo problema | Hay ligero problema | Tengo problema | Tengo mucho problema |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| El tiempo que espera en los semáforos | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Llegar puntualmente a algunas programaciones | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Costo de transporte | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Costo de gasolina | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Confiabilidad de su transporte | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Seguridad en su transporte | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Competencia vial | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Contaminación que genera | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

15. Tiene alguna dificultad que le impida manejar un vehículo?

Sí No

16. Seleccione según el grado de importancia que tienen para usted las siguientes características:

| | No importante | Poco importante | Importante | Muy importante |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Confiabilidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Veracidad (ventas reales) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tamaño del espacio interior | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Costo de combustible | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Modelo reciente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Estilismo | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Seguridad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Económico | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Velocidad | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Facilidad de manejar | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Que sean híbrido | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

17. Está dispuesto a usar un vehículo eléctrico?

Sí No

18. Si su respuesta fue no especifique por qué?

Sistemas de Transporte

4

19. Cuánto estaría dispuesto a pagar por un vehículo para una o dos personas, que no contamine y que además realice las mismas funciones de su actual automóvil?

Menos de \$10,000 De \$20,000 a \$30,000
 De \$10,000 a \$20,000 De \$30,000 a \$50,000
 De \$10,000 a \$20,000 Más

20. Cuál es su edad?

Menor de 18 años De 45 a 60 años
 De 18 a 30 años Mayor de 60 años
 De 31 a 45 años

21. Estudia o trabaja?

Estudia Trabaja No estudia ni trabaja

22. Cuál es su máximo grado de estudios?

Primaria Bachillerato Postgrado
 Secundaria Licenciatura

23. Cual es su género?

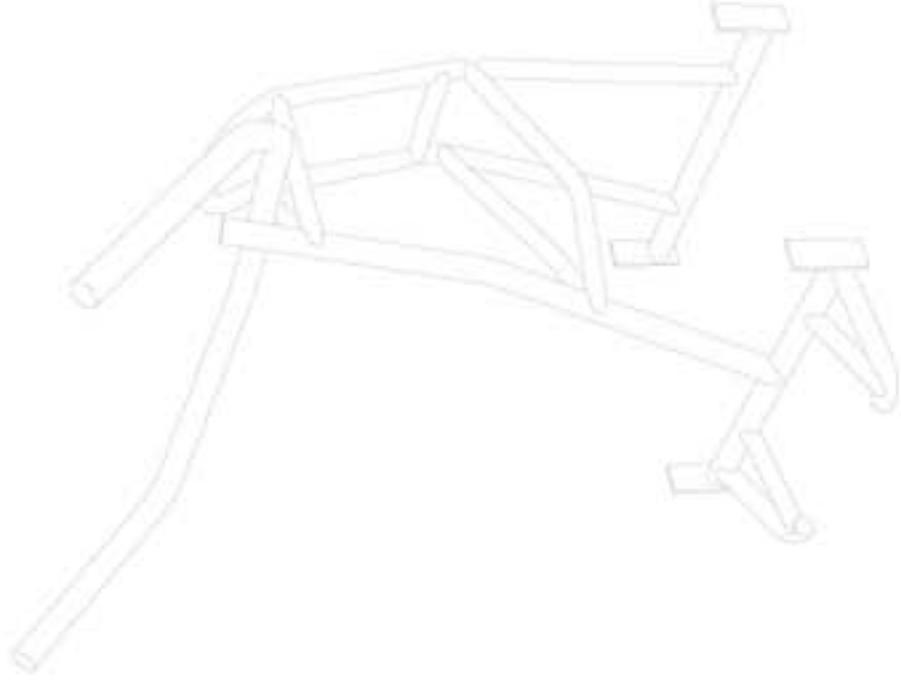
Femenino Masculino

24. Cuál es el ingreso mensual en su familia?. Marque su opción

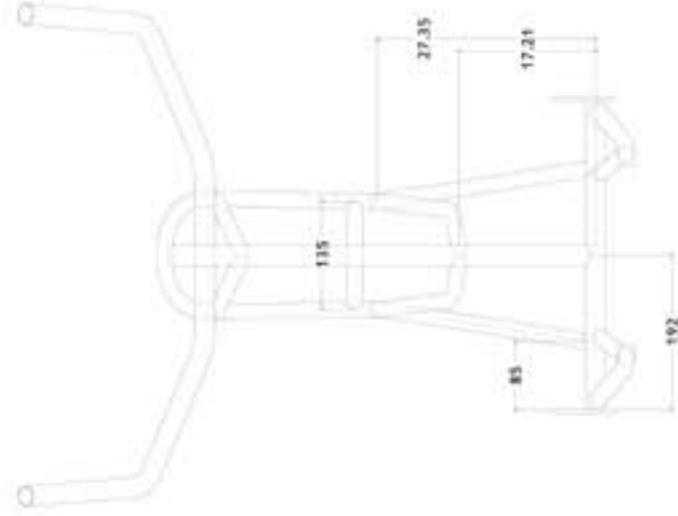
Menos de \$5000
 De \$5000 a \$10,000
 De \$10,000 a \$15,000
 De \$15,000 a \$20,000
 De \$20,000 a \$30,000
 Más de \$30,000

Anexo 3

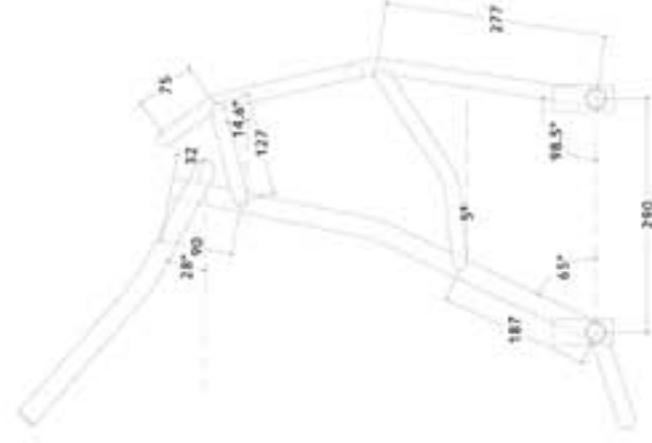
Planos para producción de prototipo



Cotas en mm.

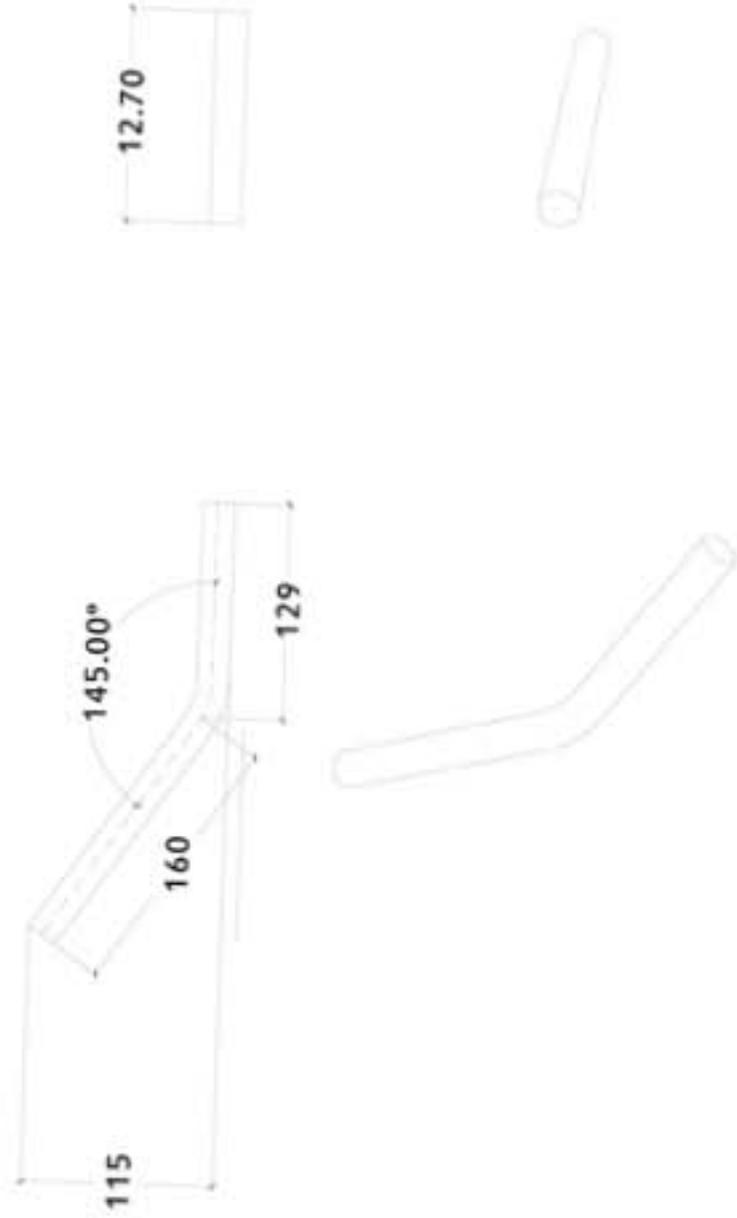


Frontal

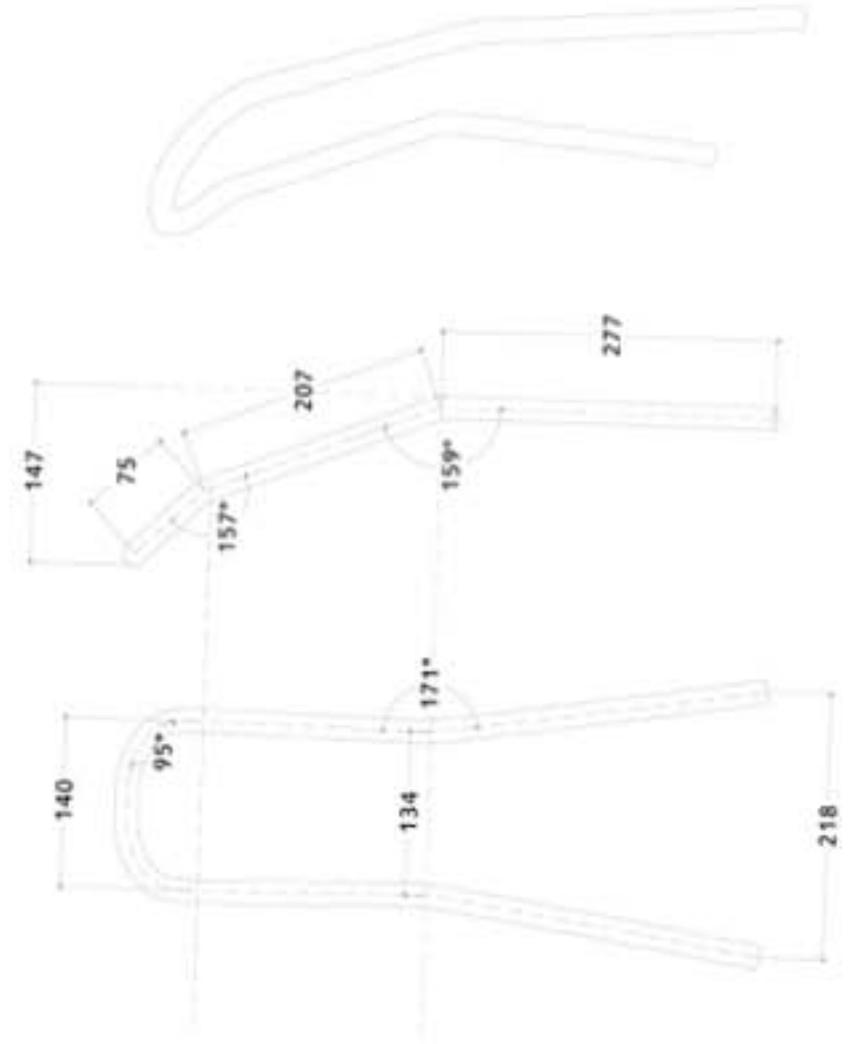


Lateral Izq.

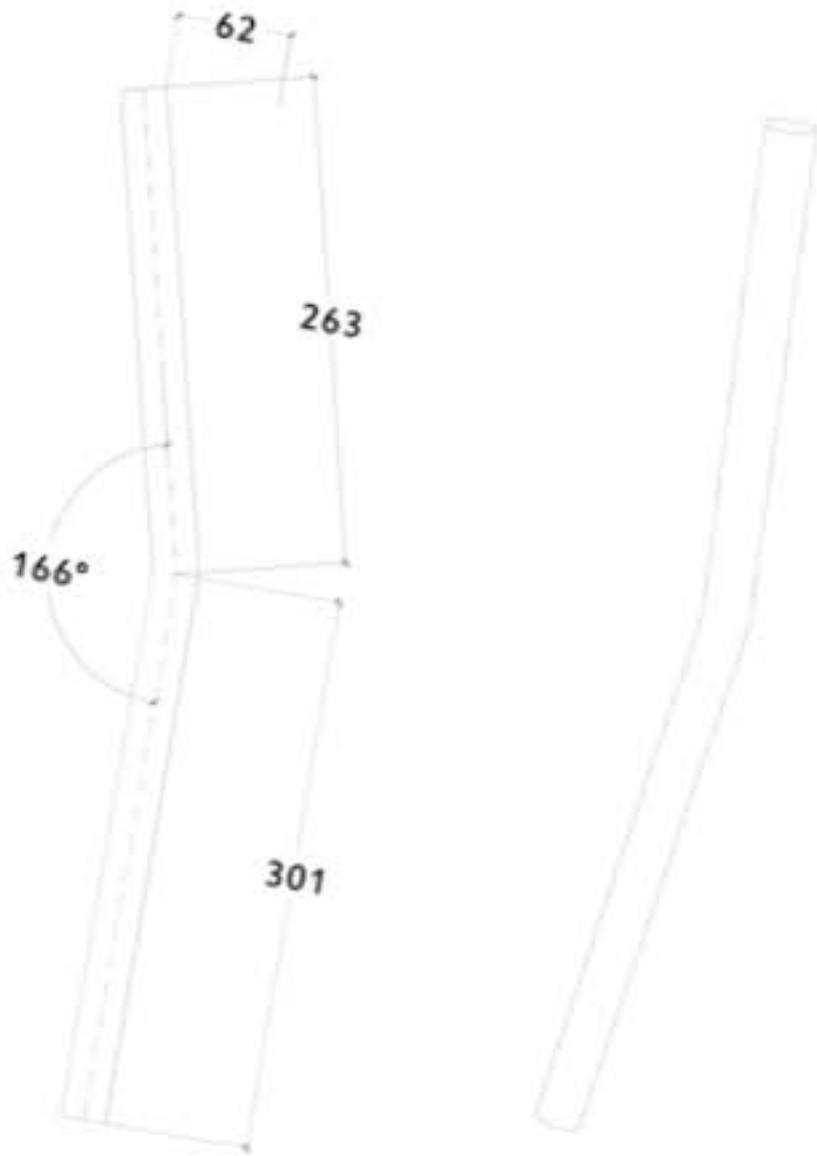
a b



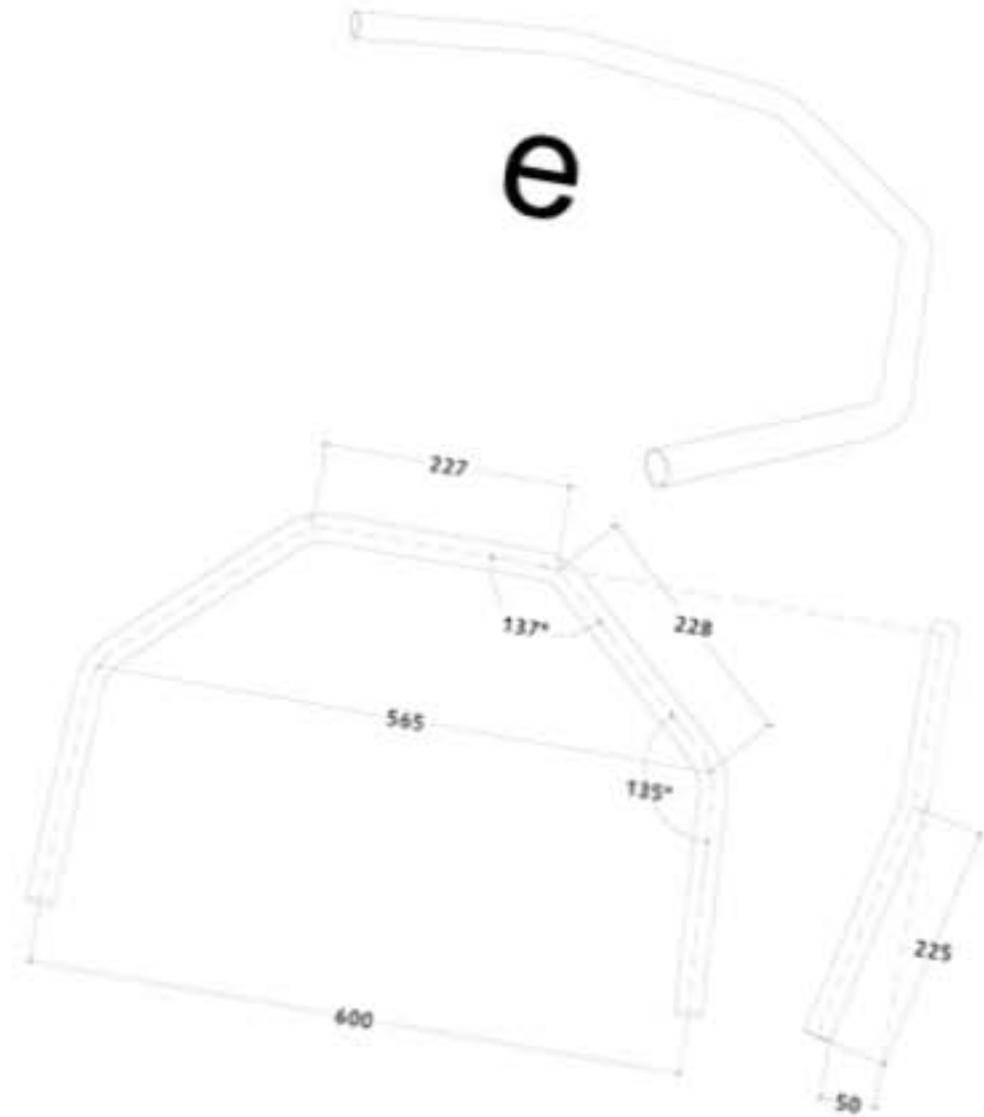
C



d



e







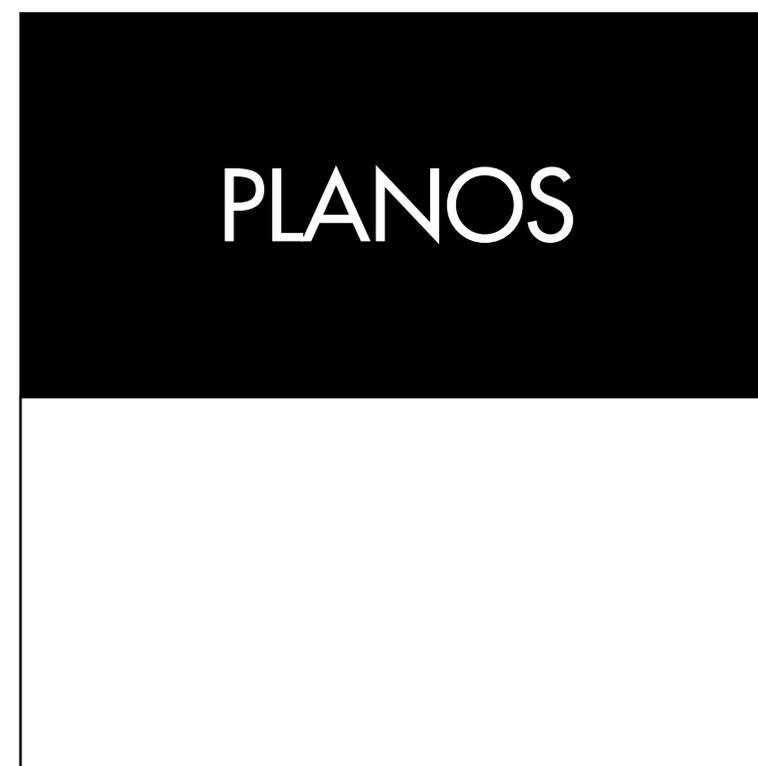
Bibliografía

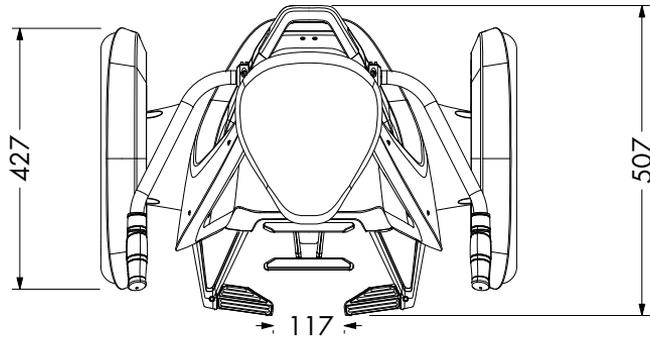
- Alfredo Mariscal Castillo. *Diseño de un vehículo de dos ruedas basado en el principio de Péndulo Invertido*, Tesis de Maestría Mecánica y Mecatrónica. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 2013
- Alicia Ziccardi, Javier Delgado Campos, Manuel Suárez Lastra, Arsenio González. *Diagnóstico y proyecciones de la Movilidad del Distrito Federal 2013-2018*, México, UNAM, 2013.
- Barbara Ward. *The menace of urban explosion*, en *The Listener*, vol. 70, Núm. 1807 (14 de Noviembre de 1963), Londres, British Broadcasting Corporation.
- George Basalla. *The evolution of technology*, Cambridge University Press, 1988; versión en español: *La evolución de la tecnología*, Madrid, Drakontos, 2011.
- Hugo Vargas, *Diseño mecánico de un prototipo de Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido*, Tesis de Licenciatura Mecánica. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 2013
- Ingrid Irani Ibarra Romero. *Mando para un vehículo eléctrico de péndulo invertido*, Tesis de Licenciatura Mecatrónica. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 2013
- Ricardo Vásquez. *Implementación de un controlador para un Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido*, Tesis de Maestría Mecatrónica. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 2013
- Rosalio Avila Chaurand, Lilia Rosela Prado León, Elvia Luz González Muñoz, *Dimensiones Antropométricas. Población Latinoamericana. México, Cuba, Colombia, Chile y Venezuela*. Universidad de Guadalajara, México, 2007.
- Víctor M. Islas Rivera, Eduardo Moctezuma Navarro, Salvador Hernández García, Martha Lelis Zaragoza, Juan I. Ruvalcaba Martínez. *Urbanización y motorización en México*, Instituto mexicano del transporte. Sanfandila, Qro, 2011
- Wilbur Zelinsky, *La Hipótesis de la transición de la movilidad* en Javier Camas. *¿Descentralización o desarticulación urbana?*, México, 1971.
- William J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, Lawrence D. Burns. *Reinventing the automobile, Personal Mobility for the 21st Century*, Cambridge-Londres, The MIT Press, 2010.

Mesografía

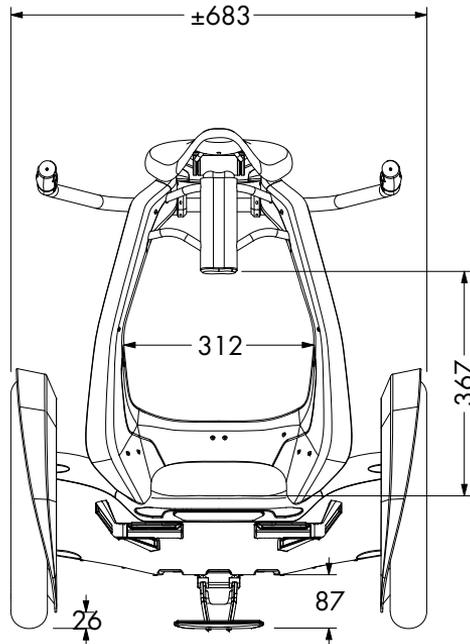
Sitios visitados hasta 2016

- Baterías Balance [http://www.valence.com/sites/default/files/18650_cell_datasheet_may_2013.pdf]
- Bicicleta impresa en nylon [http://www.gizmag.com/eads-bristol-announces-nylon-airbike-manufactured-by-alm-technology/18094]
- Concepto de Auto Genesis en impresión 3D [http://www.edag.de/en/pr/press/news-item/article/752/one-component-one-module-one-body-one-vision.html]
- Dean Kamen, conferencia para TED [http://www.ted.com/talks/dean_kamen_on_inventing_and_giving?language=en#t-7853]
- Diagnostico de la movilidad en al ciudad de México [http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm]
- La Importancia de la Ergonomía en el diseño de productos [http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_libro=339&id_articulo=7612]
- Llantas Pirelli ML12 [http://www.pirelli.com/tyre/ar/es/motorcycle/sheet/ml_12.html?url=%3Fsubtype%3Dscooter%26use%3D1]
- MAGROUND Imágenes HDRI [http://www.maground.com]
- ¿Qué es Semisitting? [http://www.semisitting.com/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=61&lang=es]
- Promulga Mancera ley de Movilidad [http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2014/07/14/promulga-mancera-nueva-ley-de-movilidad-para-el-df-1967.html]
- Ryno Motors [http://rynomotors.com/]
- Sbu3 [http://focusdesigns.com/sbu3/]
- Segway, Historia General [http://es.wikipedia.org/wiki/Segway]
- Steadyseg Segway Camara Móvil [http://www.imaging-resource.com/news/2012/08/13/the-camera-bag-steadiseg-segway-steadicam-mobile-camera-rig-helps-capture-t]
- Vehículo personal Honda U3x de una sola rueda compleja [http://www.gizmag.com/honda-u3-x-new-york/14742/]

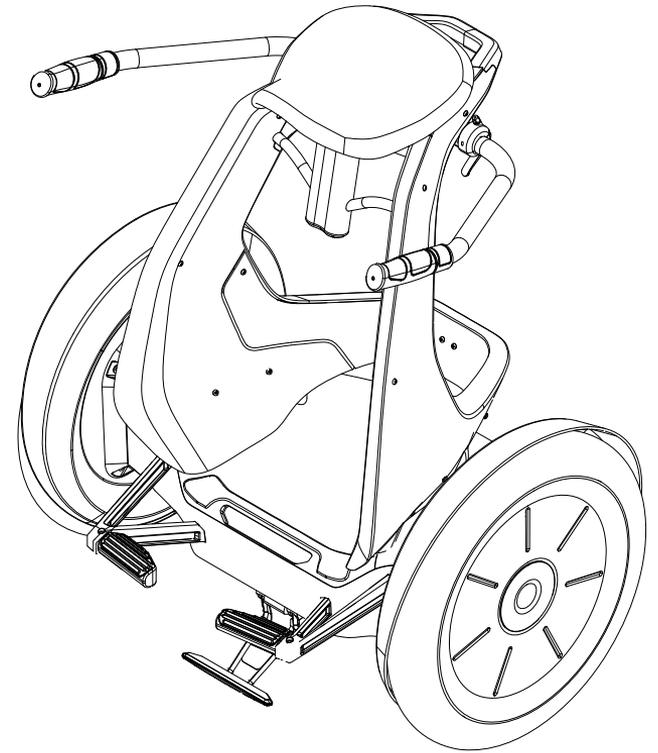




Vista Superior

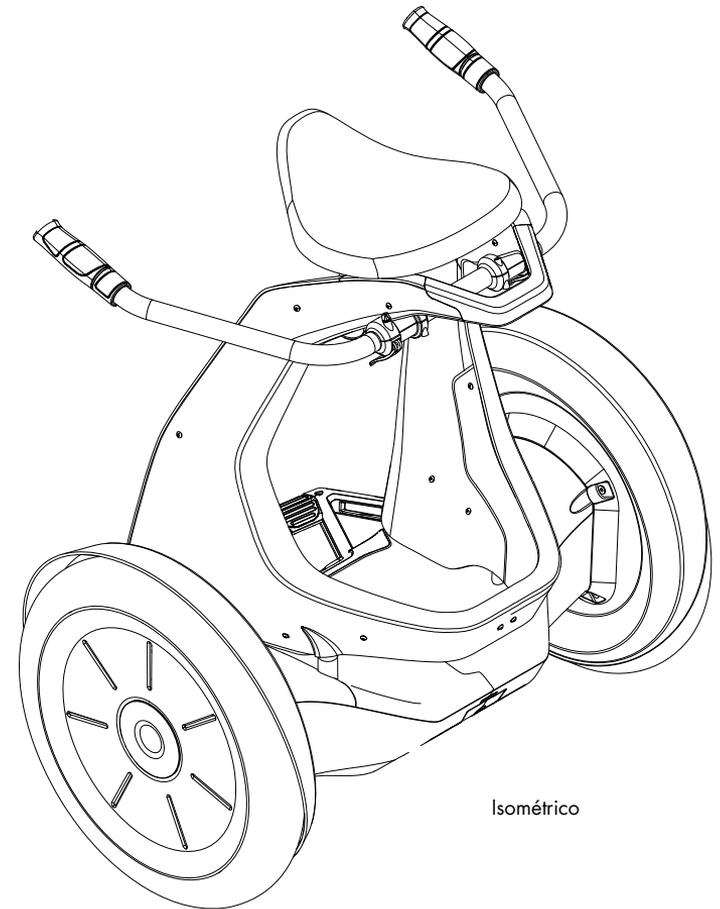
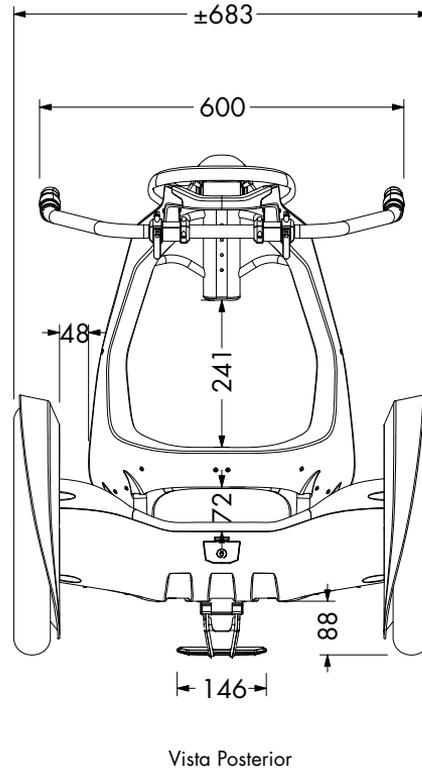
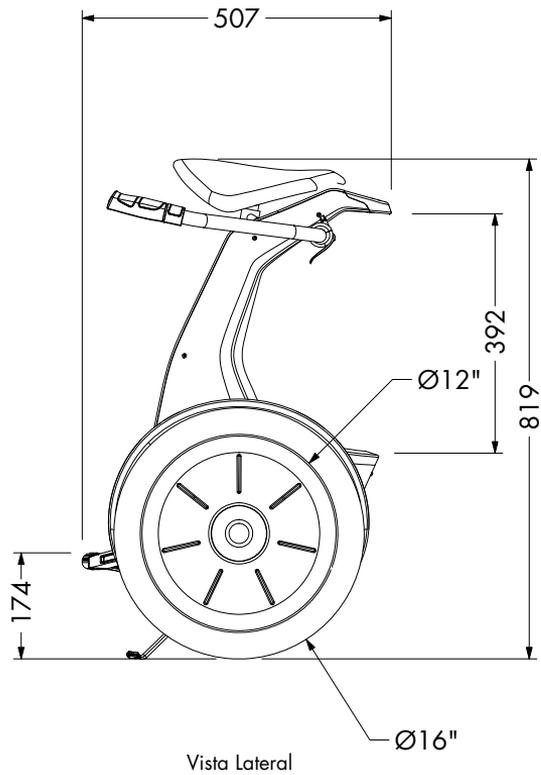


Vista Frontal



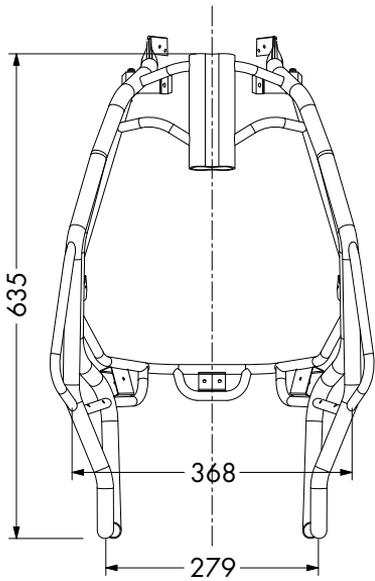
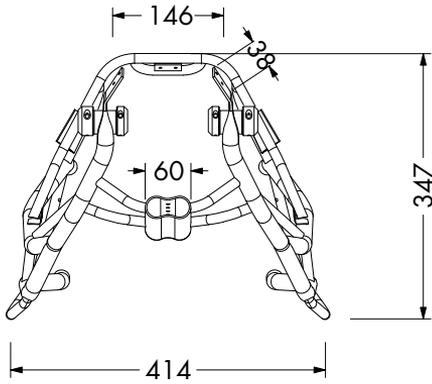
Isométrico

| | | | |
|--|-----------|-------------|---------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:12.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Vistas Generales | | Cotas mm | 1/29 |

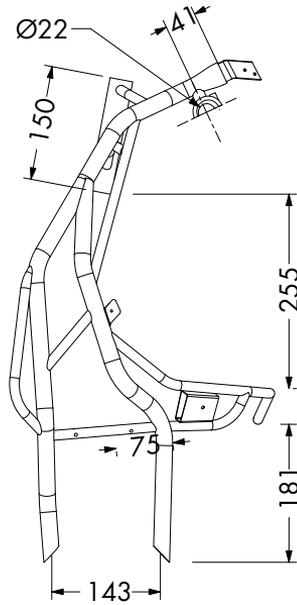


| | | | |
|--|-----------|-------------|---------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:12.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Vistas Generales | | Cotas mm | 2/29 |

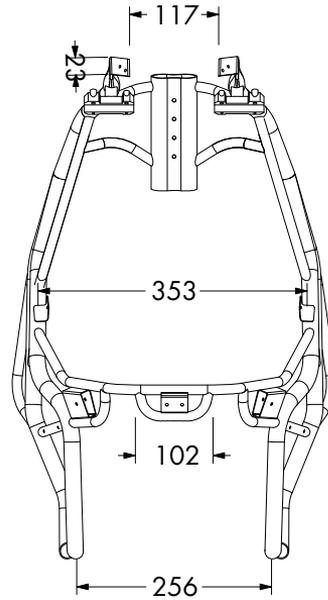
Vista Superior



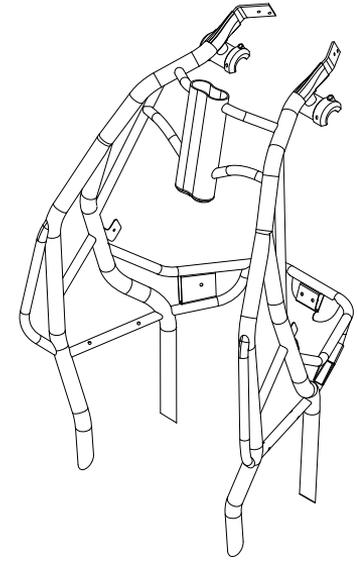
Vista Frontal



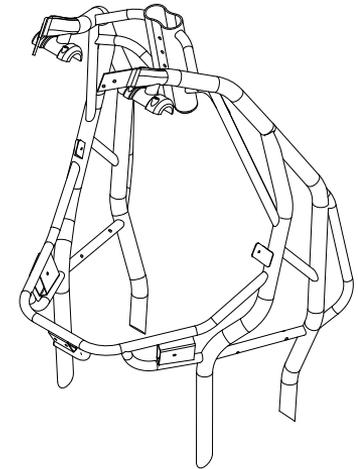
Vista Lateral



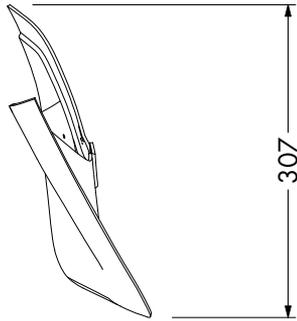
Vista Posterior



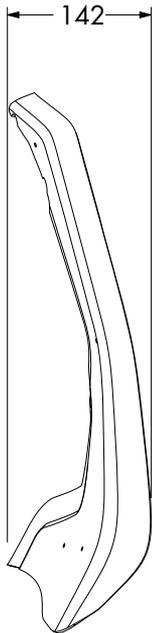
Isométricos



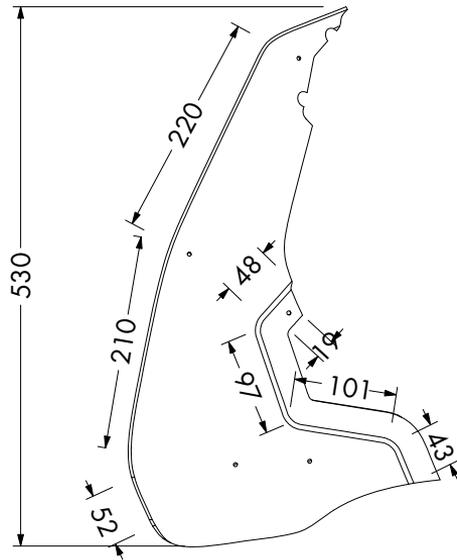
| | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:10 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Estructura Tubular de Acero | | Cotas mm | 3/29 |



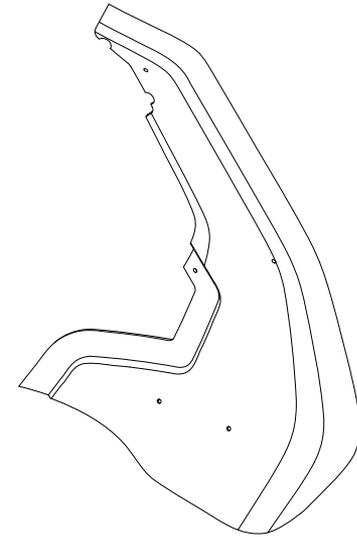
Vista Superior



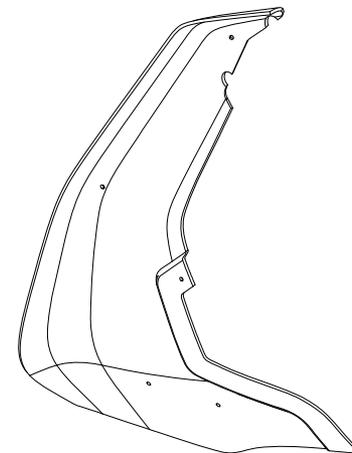
Vista Frontal



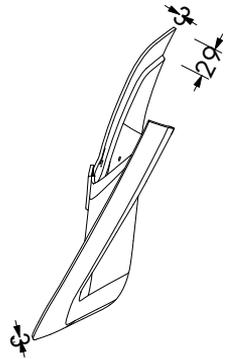
Vista Lateral



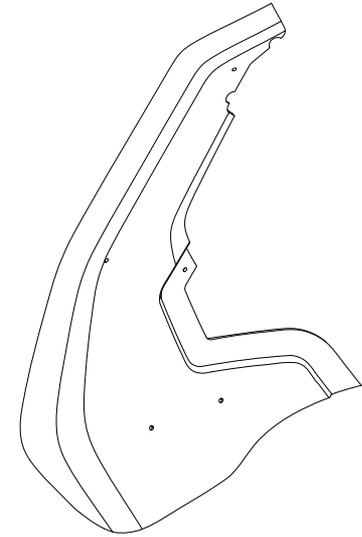
Isométricos



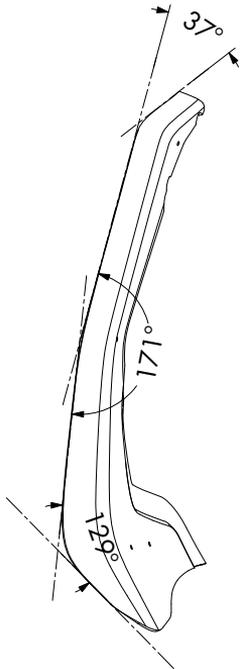
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:7,5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Termoformado plástico interior lateral izquierdo | | Cotas mm | 4/29 |



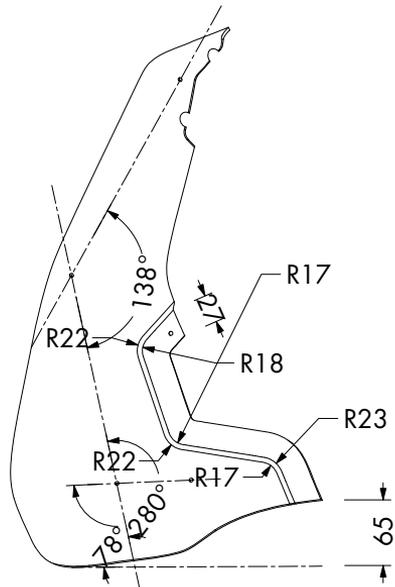
Vista Superior



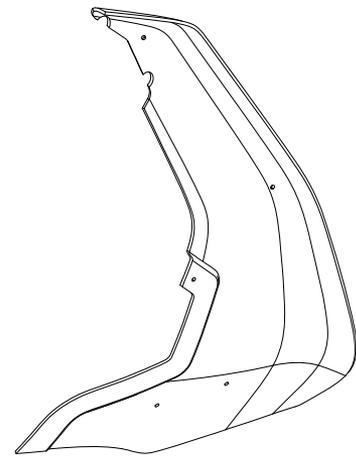
Isométricos



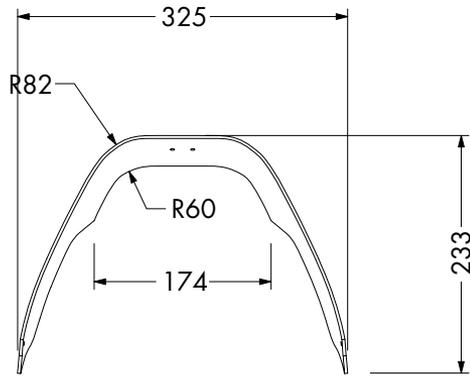
Vista Frontal



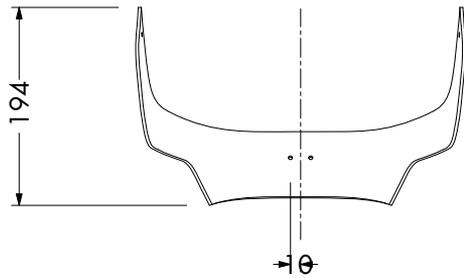
Vista Lateral



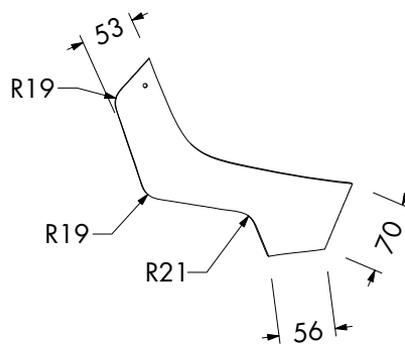
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:7,5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Termoformado plástico interior lateral izquierdo | | Cotas mm | 5/29 |



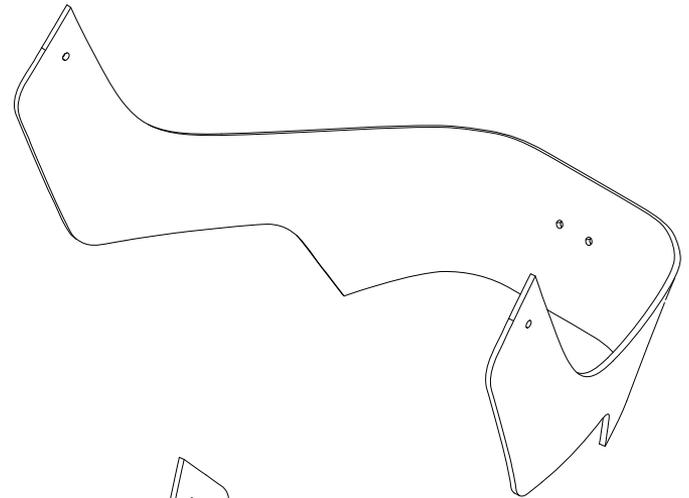
Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral



Isométricos

Alfonso González Figueroa

CIDI-UNAM

Feb 2016

Esc
1:7,5

Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo

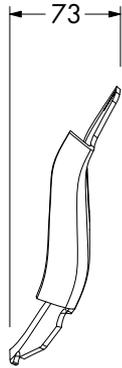
B5



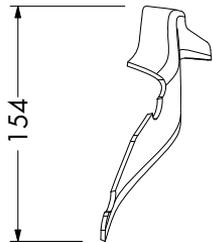
Termoformado plástico interior trasero

Cotas
mm

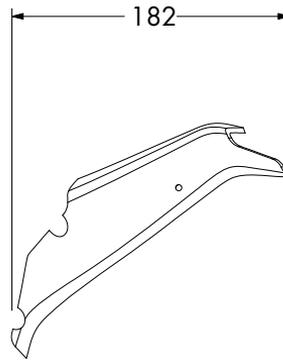
6/29



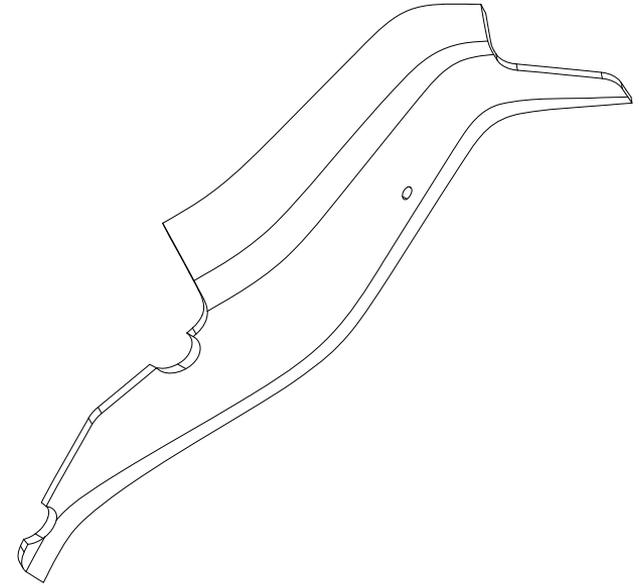
Vista Superior



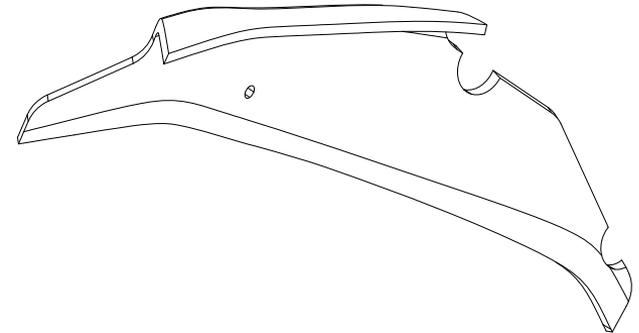
Vista Frontal



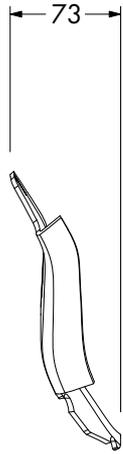
Vista Lateral



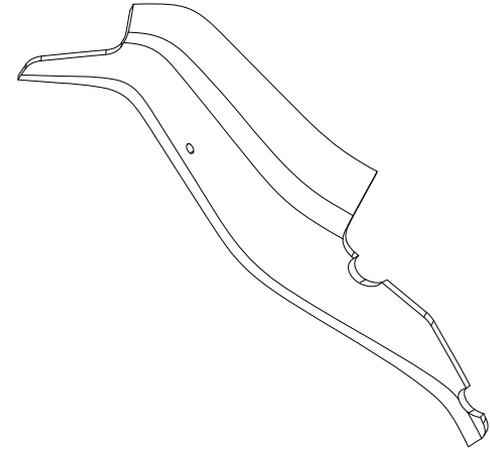
Isométricos



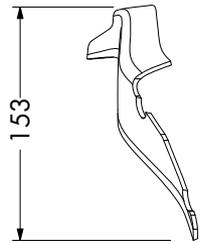
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Termoformado plástico interior superior lateral derecho | | Cotas mm | 7/29 |



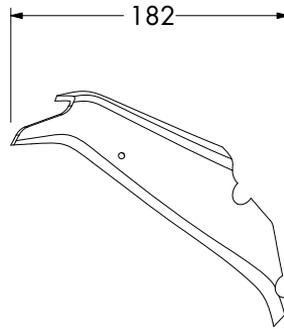
Vista Superior



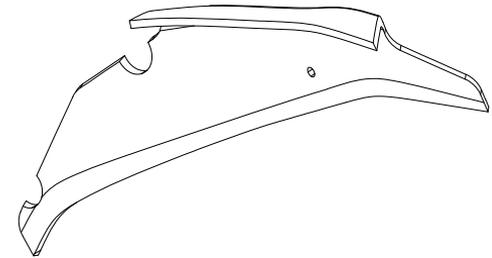
Isométricos



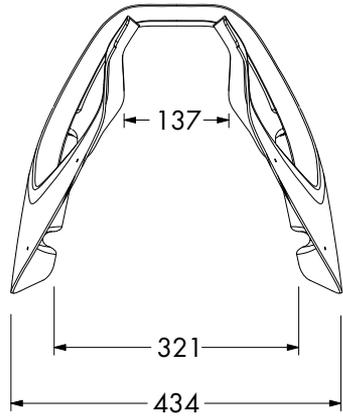
Vista Frontal



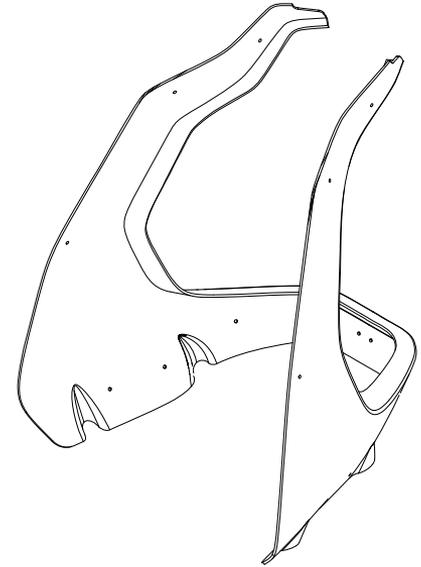
Vista Lateral



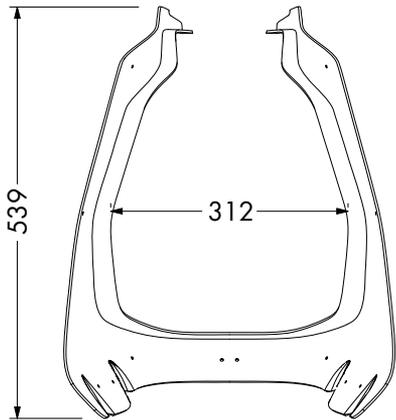
| | | | |
|---|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Termoformado plástico interior superior lateral izquierdo | | Cotas mm | 8/29 |



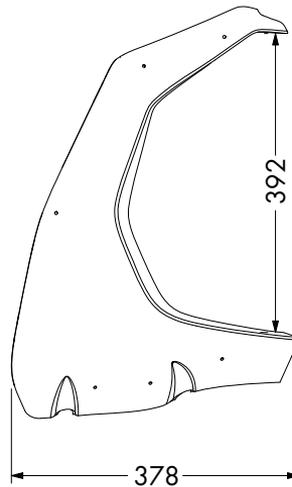
Vista Superior



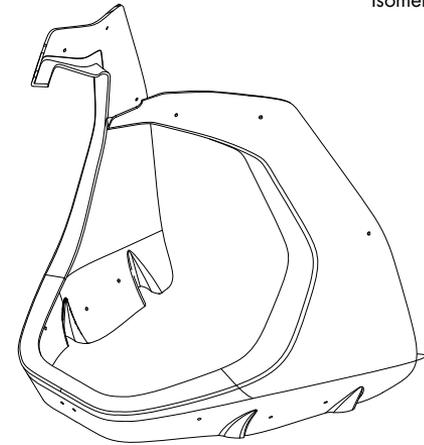
Isométricos



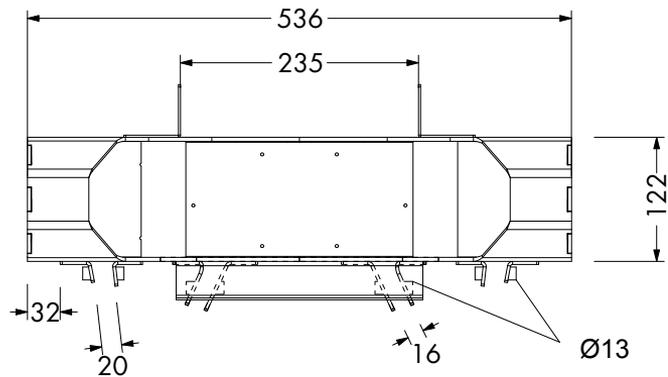
Vista Frontal



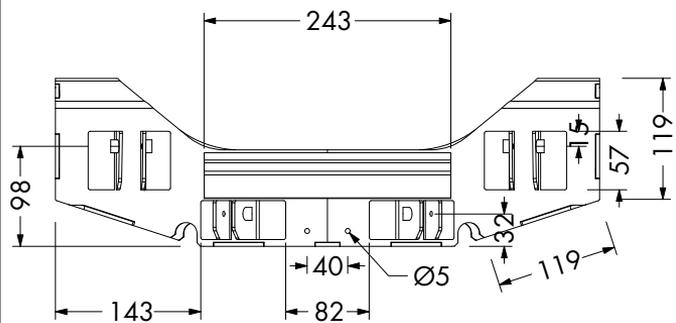
Vista Lateral



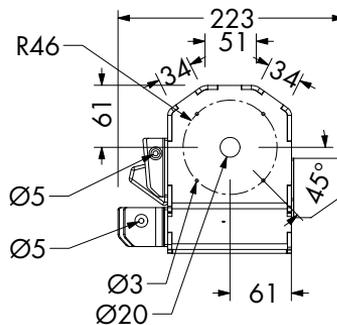
| | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:10 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Pieza Exterior Cuerpo | | Cotas mm | 9/29 |



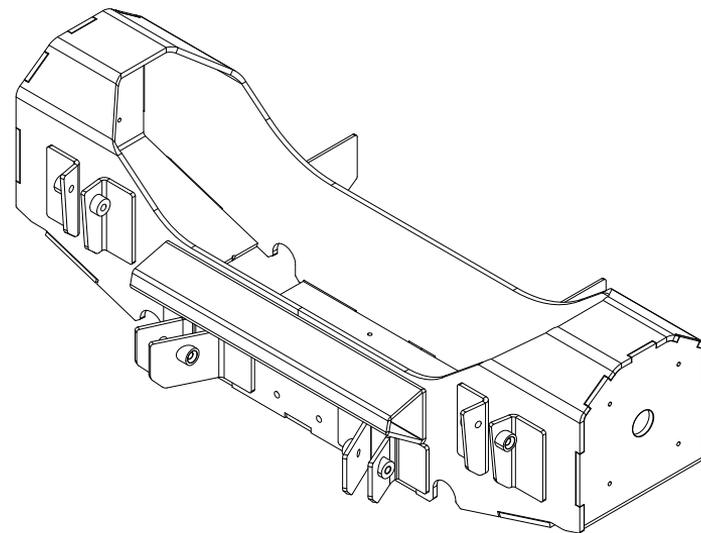
Vista Superior



Vista Frontal

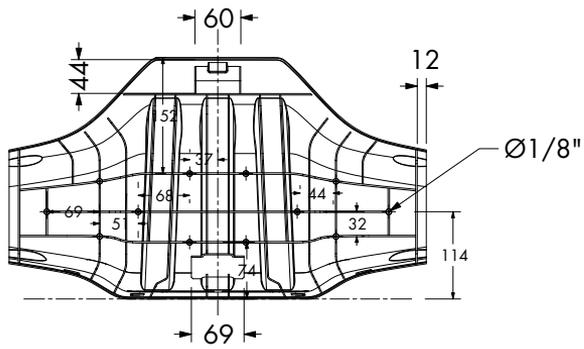


Vista Lateral

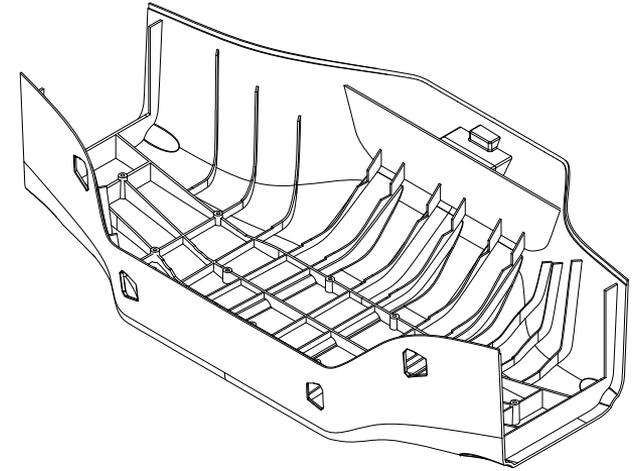


Isométrico

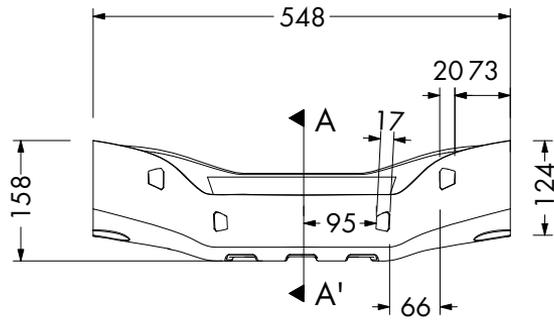
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:7.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Chasis de Base | | Cotas mm | 10/29 |



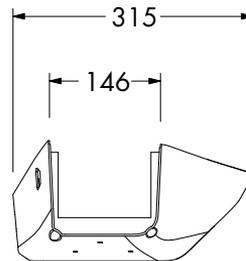
Vista Superior



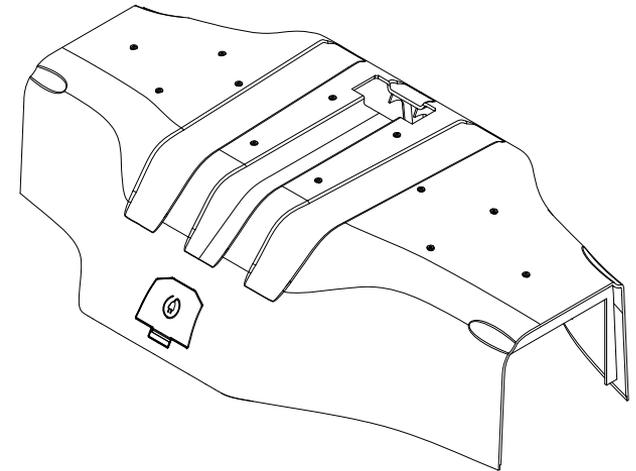
Isométricos



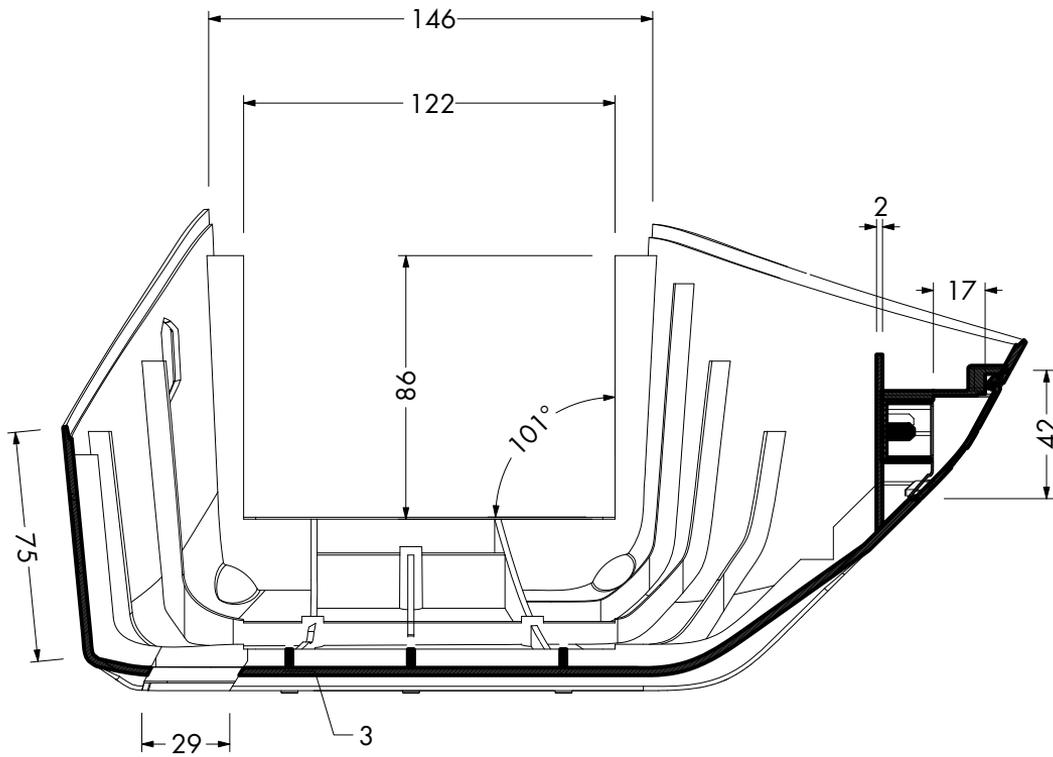
Vista Frontal



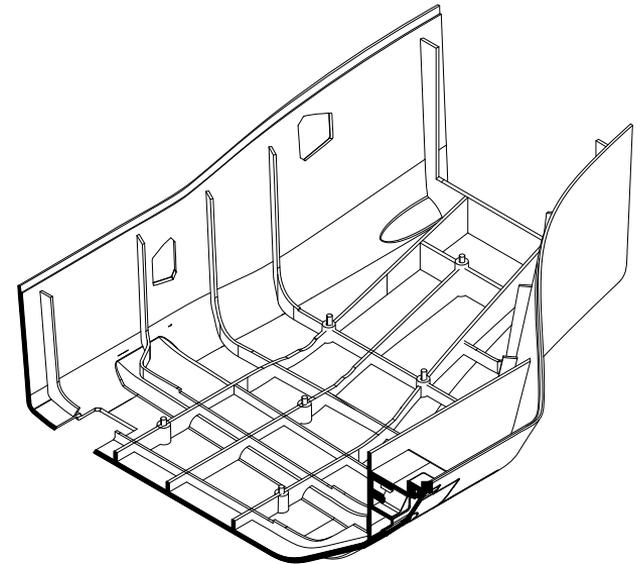
Vista Lateral



| | | | |
|--|-----------|-------------|---------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:12.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Carcaza Inferior de Base | | Cotas mm | 11/29 |

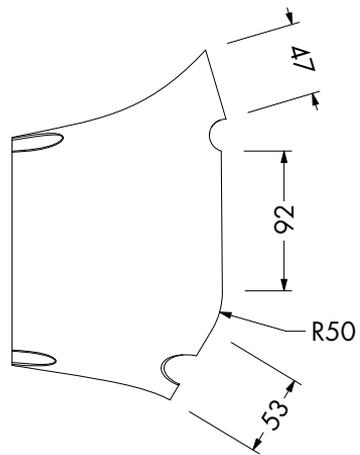


Corte Transversal A-A'

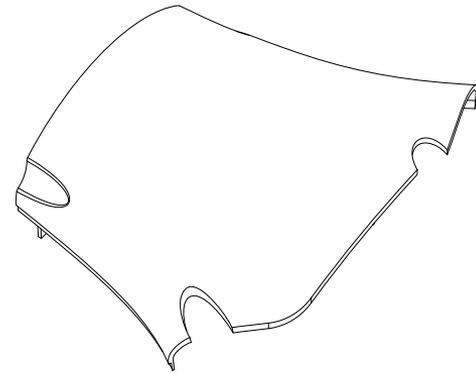


Isométrico

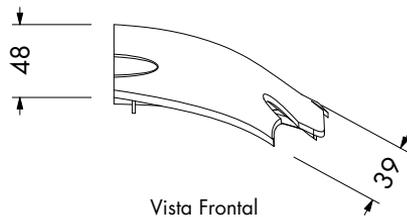
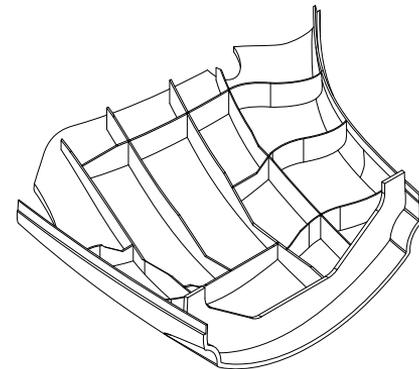
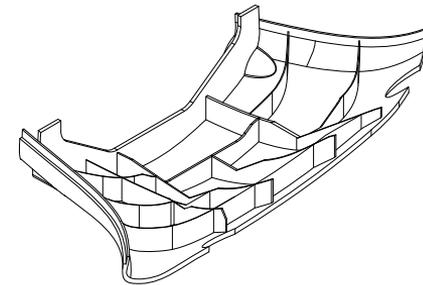
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:2.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Carcaza Inferior de Base | | Cotas mm | 12/29 |



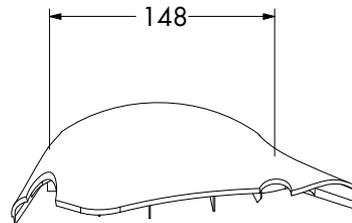
Vista Superior



Isométricos

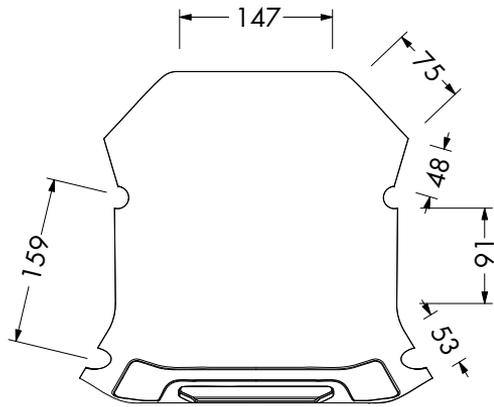


Vista Frontal

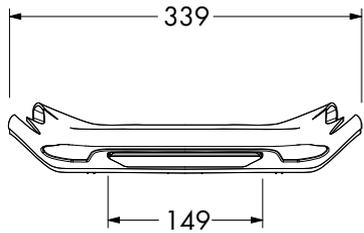


Vista Lateral

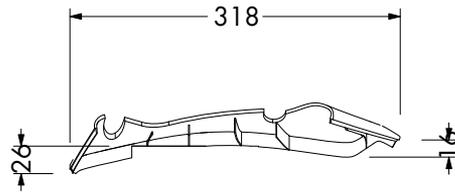
| | | | |
|--|-----------|-------------|---------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:12.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Tapa Derecha de Carcaza de Base | | Cotas mm | 13/29 |



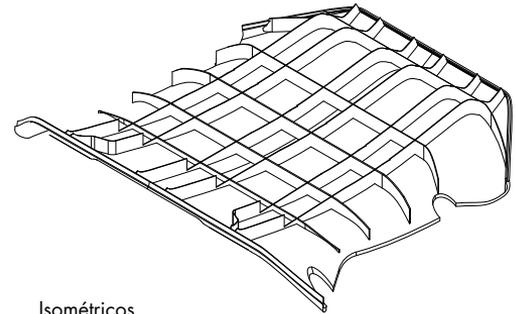
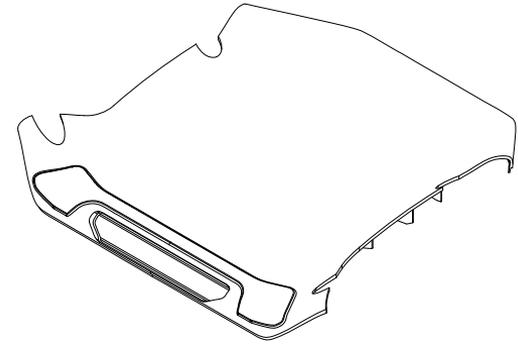
Vista Superior



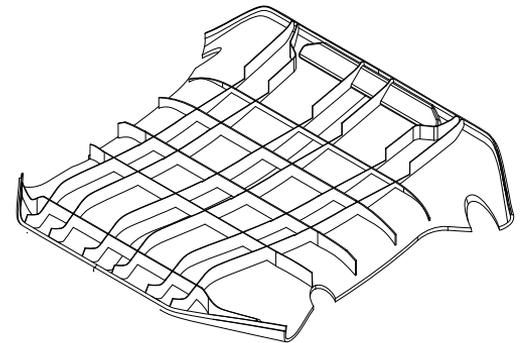
Vista Frontal



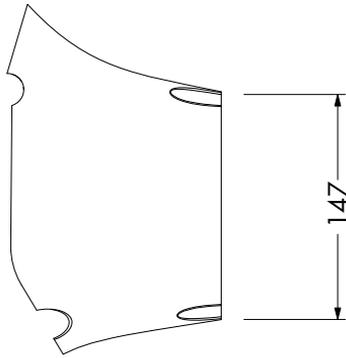
Vista Lateral



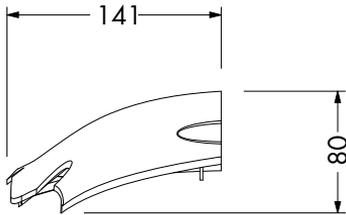
Isométricos



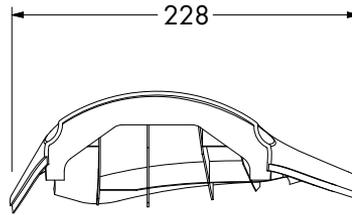
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:7.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Tapa Central de Carcasa de Base | | Cotas mm | 14/29 |



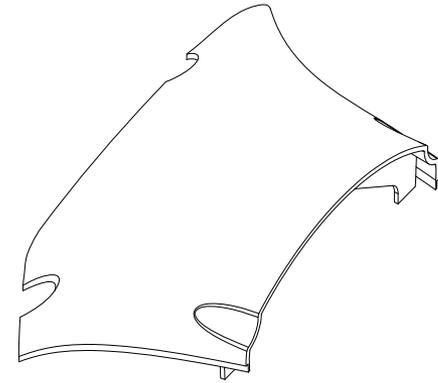
Vista Superior



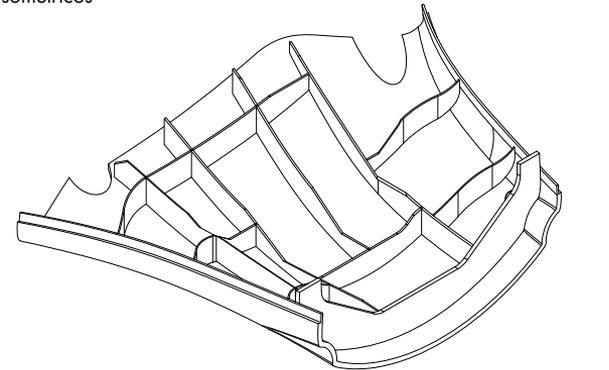
Vista Frontal



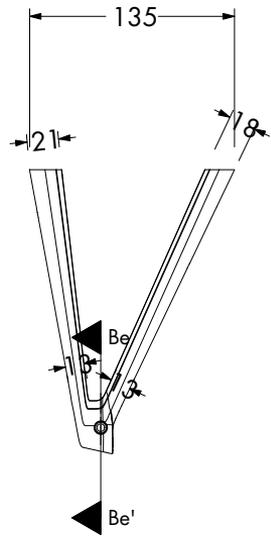
Vista Lateral



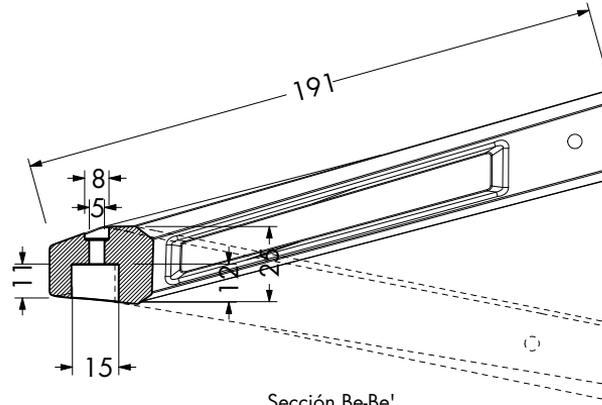
Isométricos



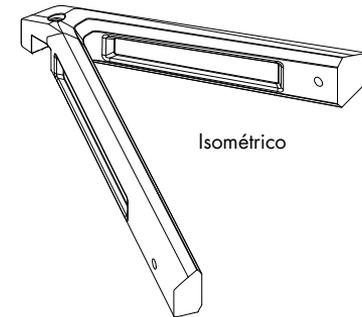
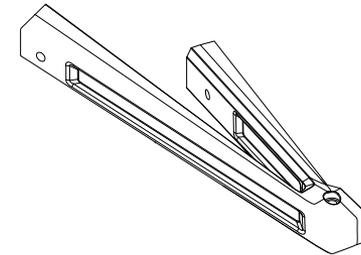
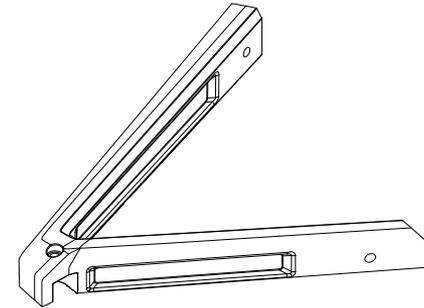
| | | | |
|--|-----------|-------------|---------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:12.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Tapa Izquierda de Carcaza de Base | | Cotas mm | 15/29 |



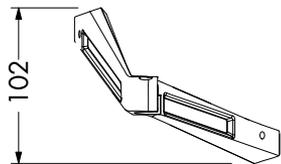
Vista Superior



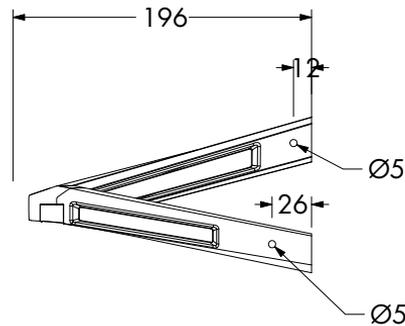
Sección Be-Be'
Esc 1:2.5



Isométrico

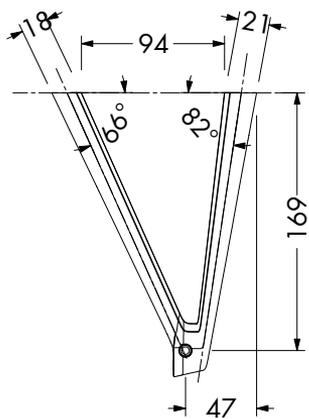


Vista Frontal

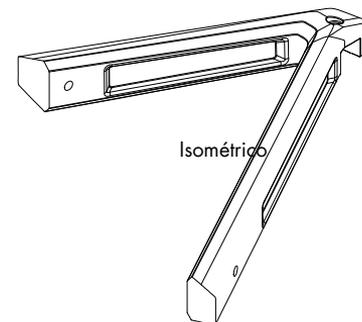
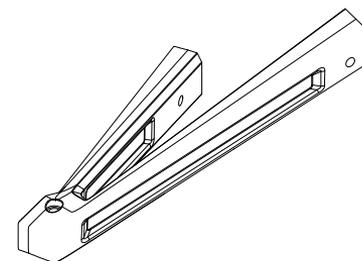
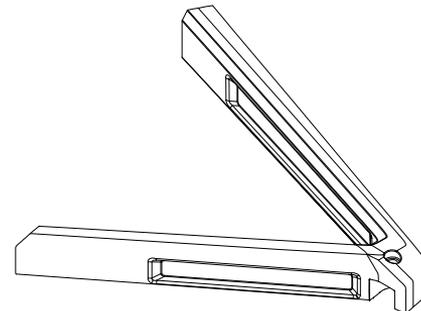


Vista Lateral

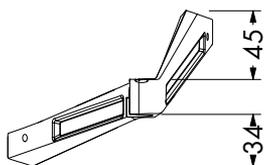
| | | | |
|--|-----------|----------|---------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Brazo de Estribo Derecho | | Cotas mm | 16/29 |



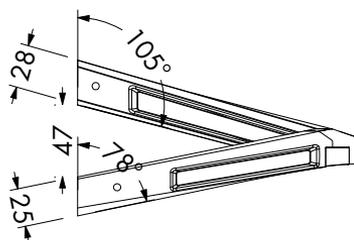
Vista Superior



Isométrico

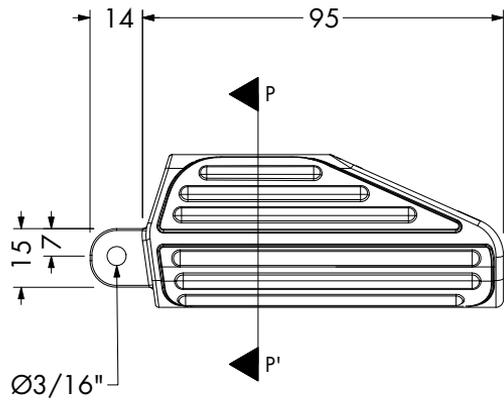


Vista Frontal

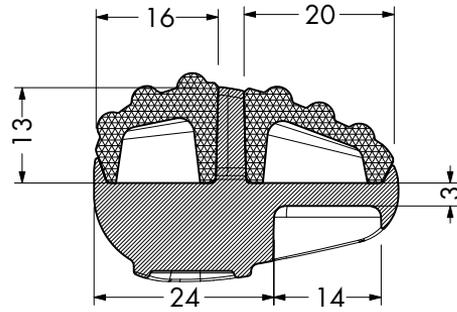


Vista Lateral

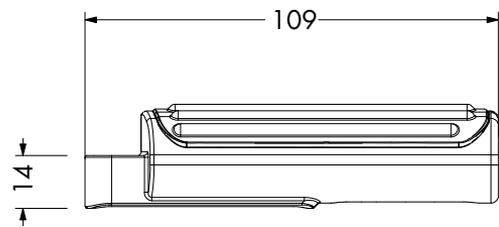
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | | |
| Brazo de Estribo Izquierdo | | Cotas mm | 17/29 |



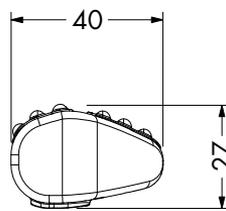
Vista Superior



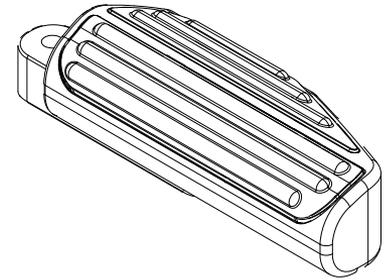
Sección P-P'
Esc 1:1



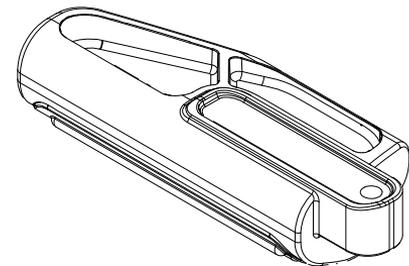
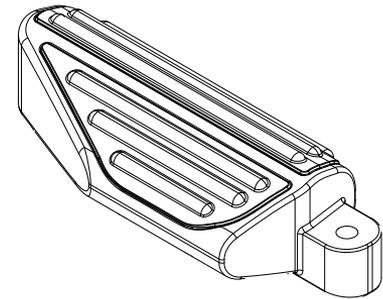
Vista Frontal



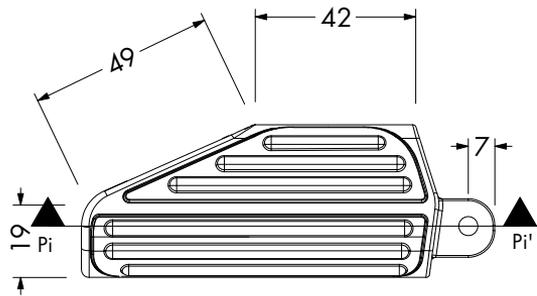
Vista Lateral



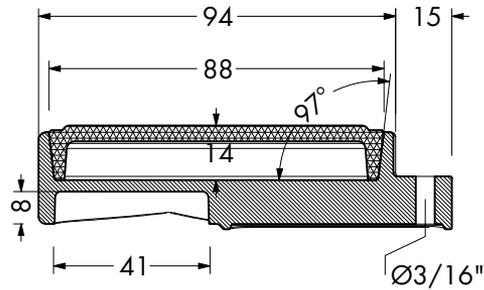
Isométricos



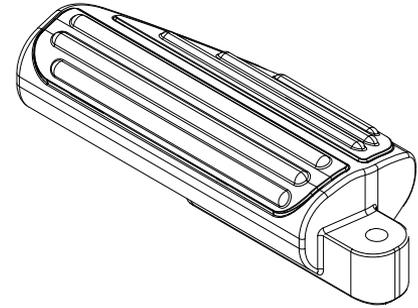
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:2 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Pedal de Estribo Derecho | | Cotas mm | 18/29 |



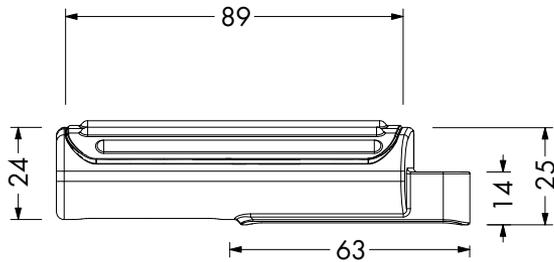
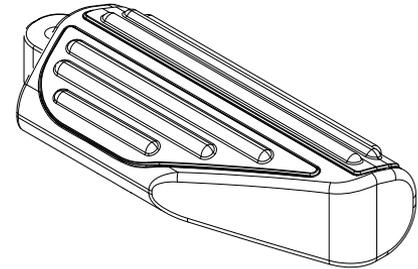
Vista Superior



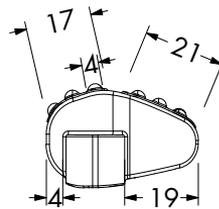
Sección Pi-Pi'
Esc 1:1



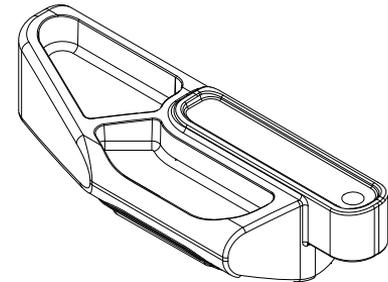
Isométricos



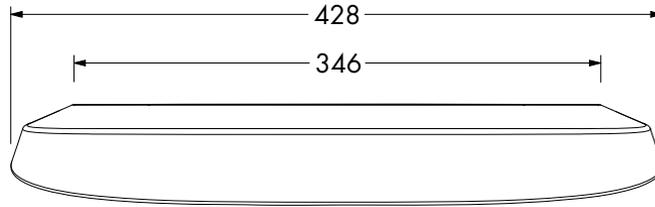
Vista Frontal



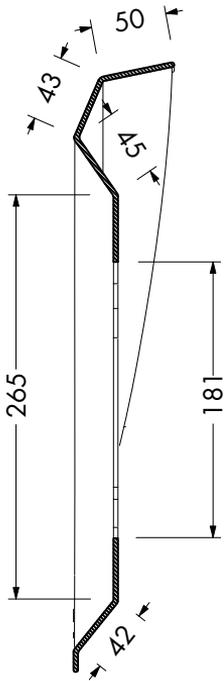
Vista Lateral



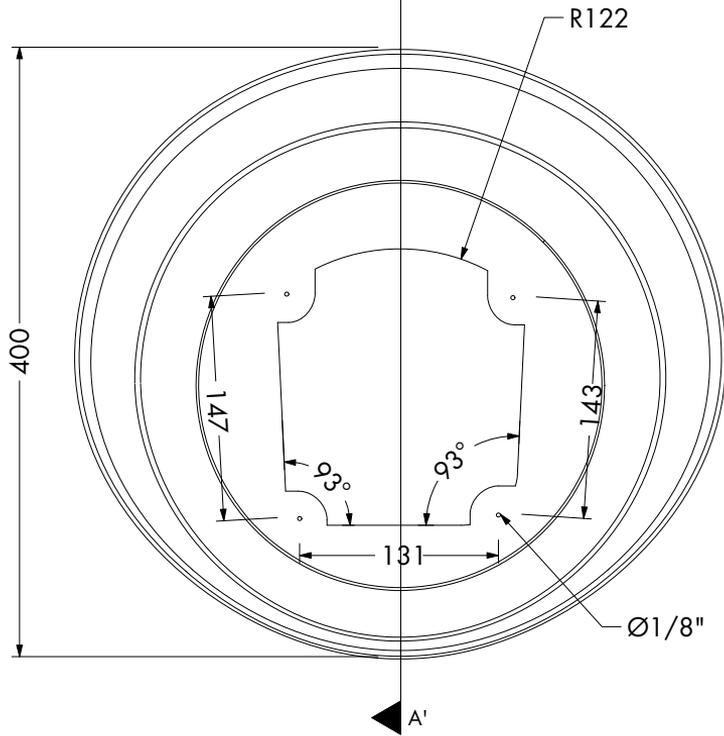
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:2 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Pedal de Estribo Izquierdo | | Cotas mm | 19/29 |



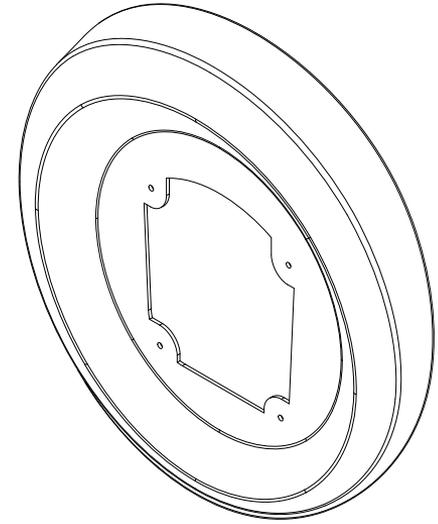
Vista Superior



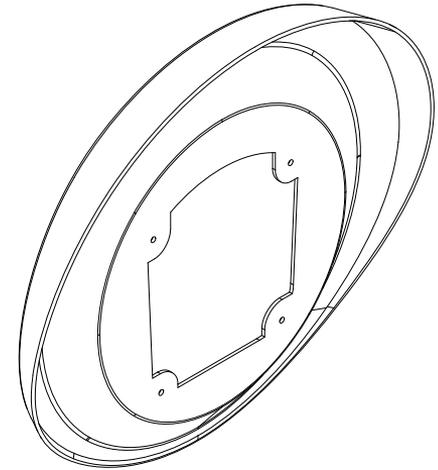
Sección A-A'



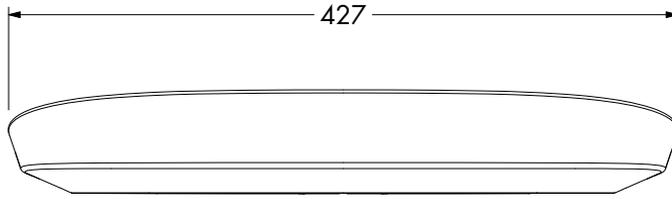
Vista Frontal



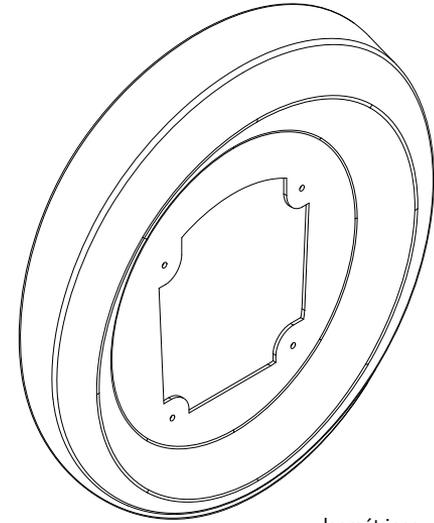
Isométricos



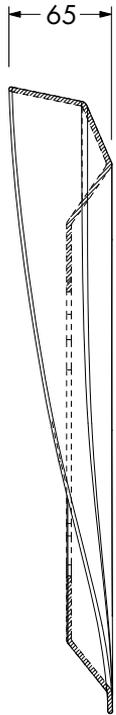
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Guardafango Izquierdo | | Cotas mm | 20/29 |



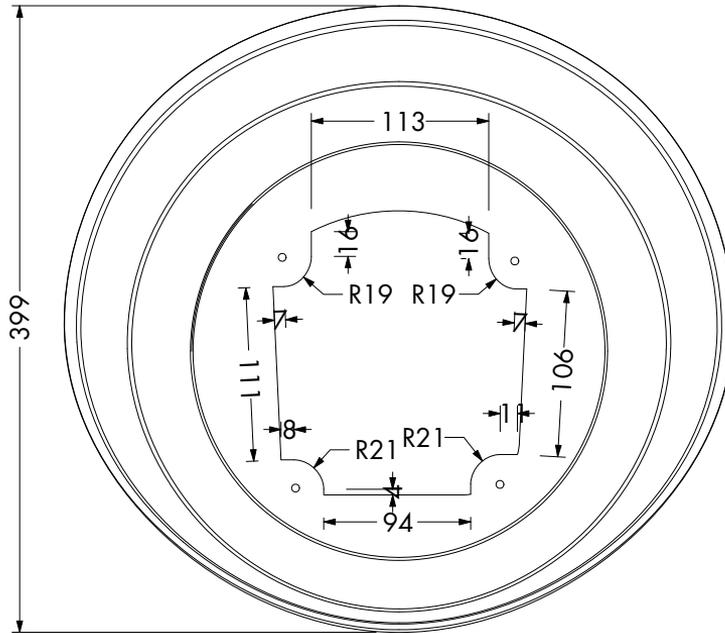
Vista Superior



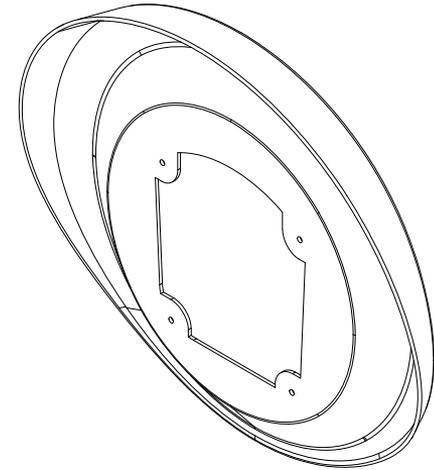
Isométricos



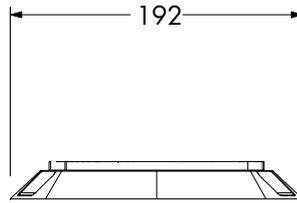
Vista Lateral



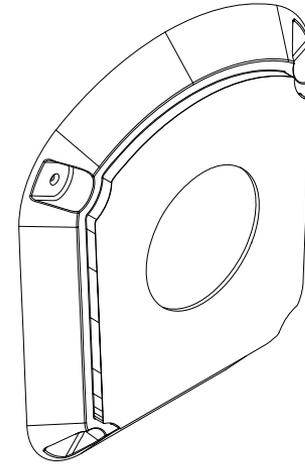
Vista Frontal



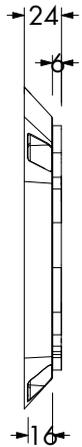
| | | | |
|--|-------------|----------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Guardafango Derecho | Cotas mm | 21/29 | |



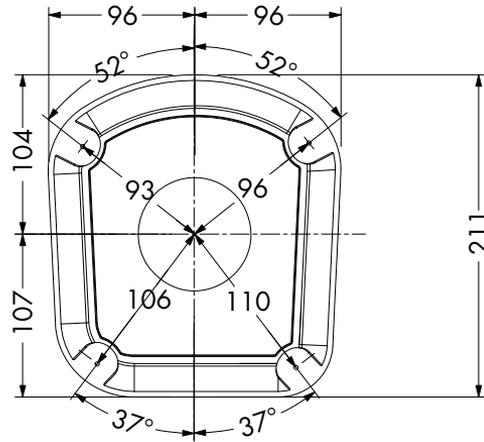
Vista Superior



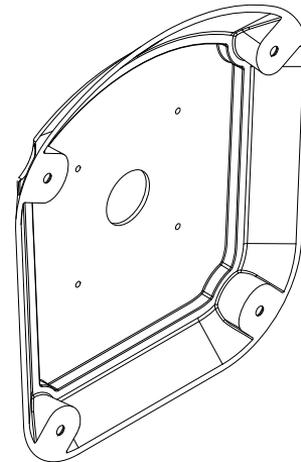
Isométrico



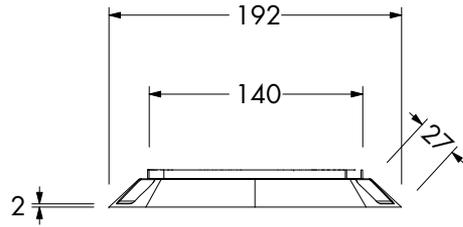
Vista Lateral



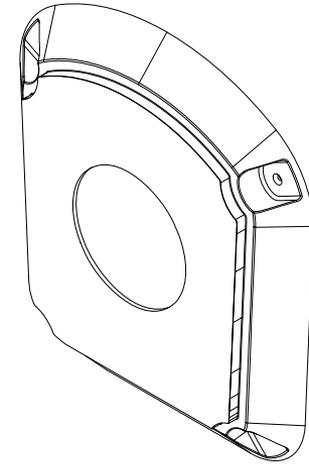
Vista Frontal



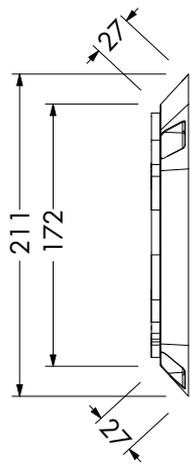
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Unión de guardafango derecha a chasis | | Cotas mm | 22/29 |



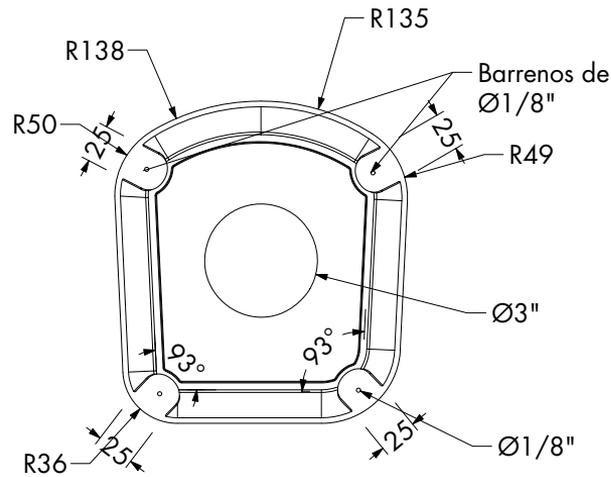
Vista Superior



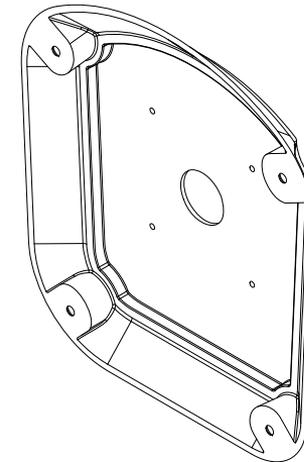
Isométrico



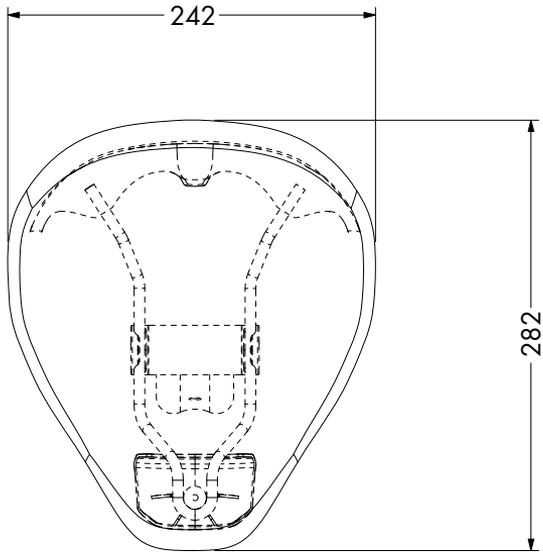
Vista Lateral



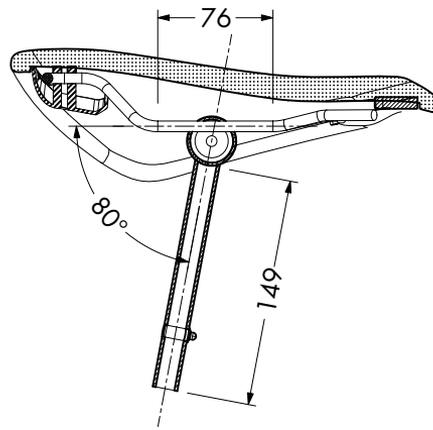
Vista Frontal



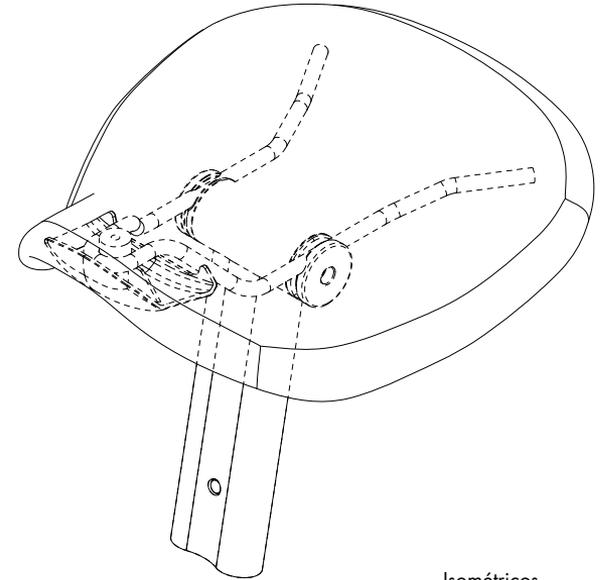
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Unión de guardafango izquierda a chasis | | Cotas mm | 23/29 |



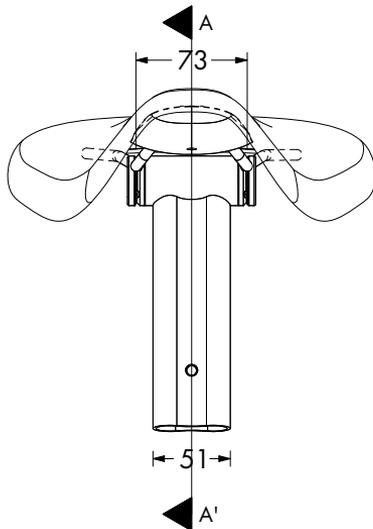
Vista Superior



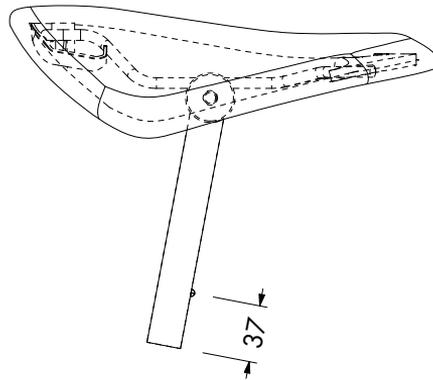
Corte A-A'



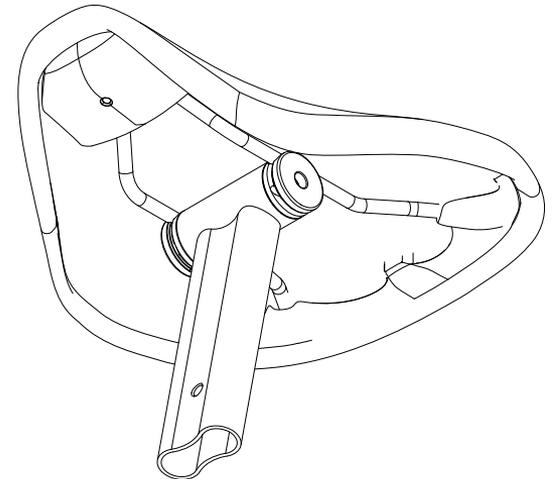
Isométricos



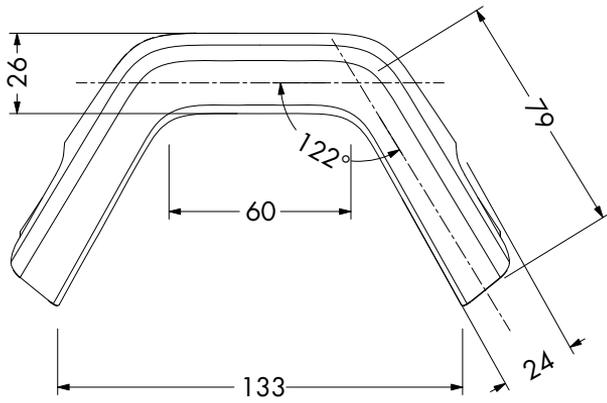
Vista Frontal



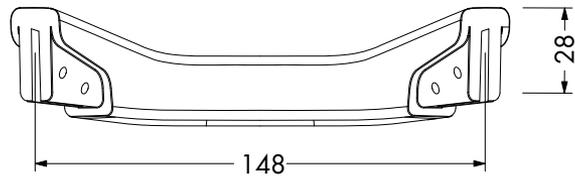
Vista Lateral



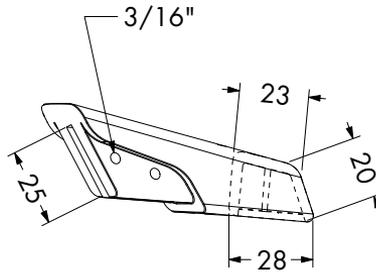
| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Pieza Interior Superior Izquierda | | Cotas mm | 24/29 |



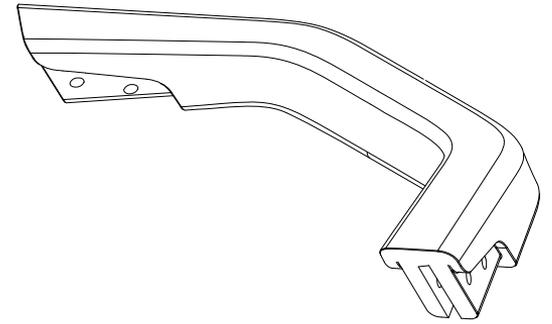
Vista Superior



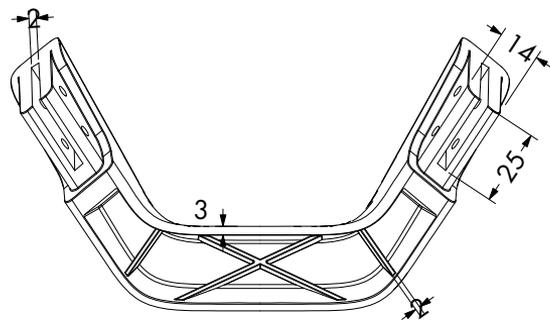
Vista Frontal



Vista Lateral

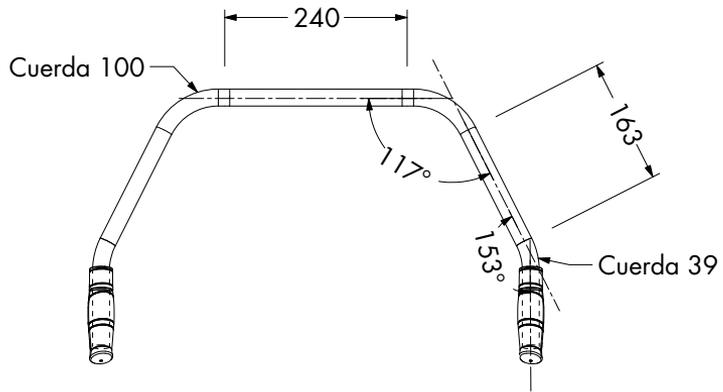


Isométricos

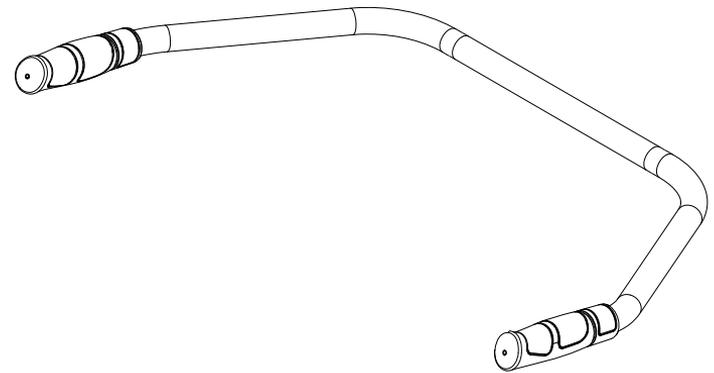


Vista Inferior

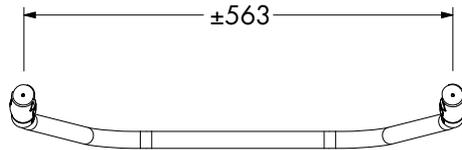
| | | | |
|--|-----------|-------------|--------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:2.5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Agarradera | | Cotas mm | 25/29 |



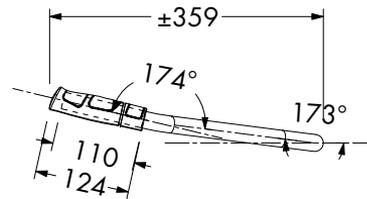
Vista Superior



Isométrico

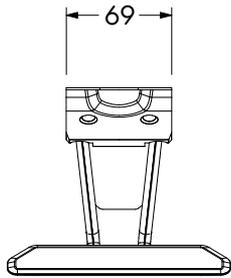


Vista Frontal

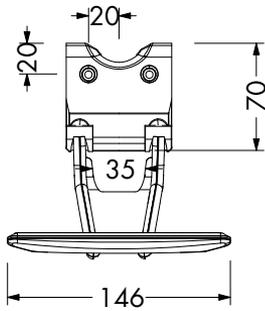


Vista Lateral

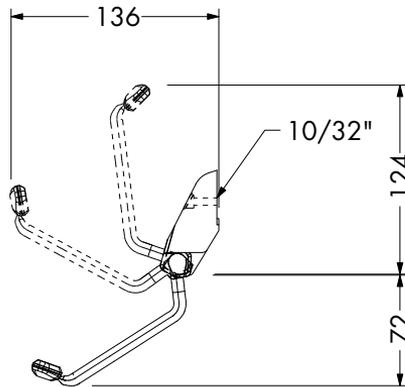
| | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:10 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Manubrio | | Cotas mm | 26/29 |



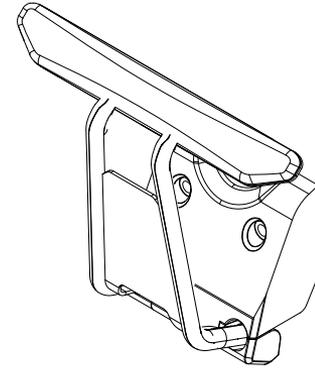
Vista Superior



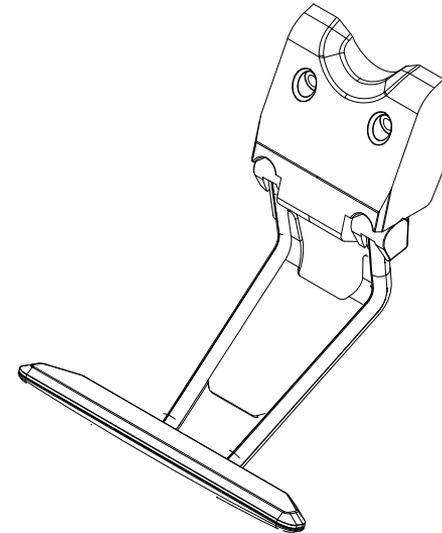
Vista Frontal



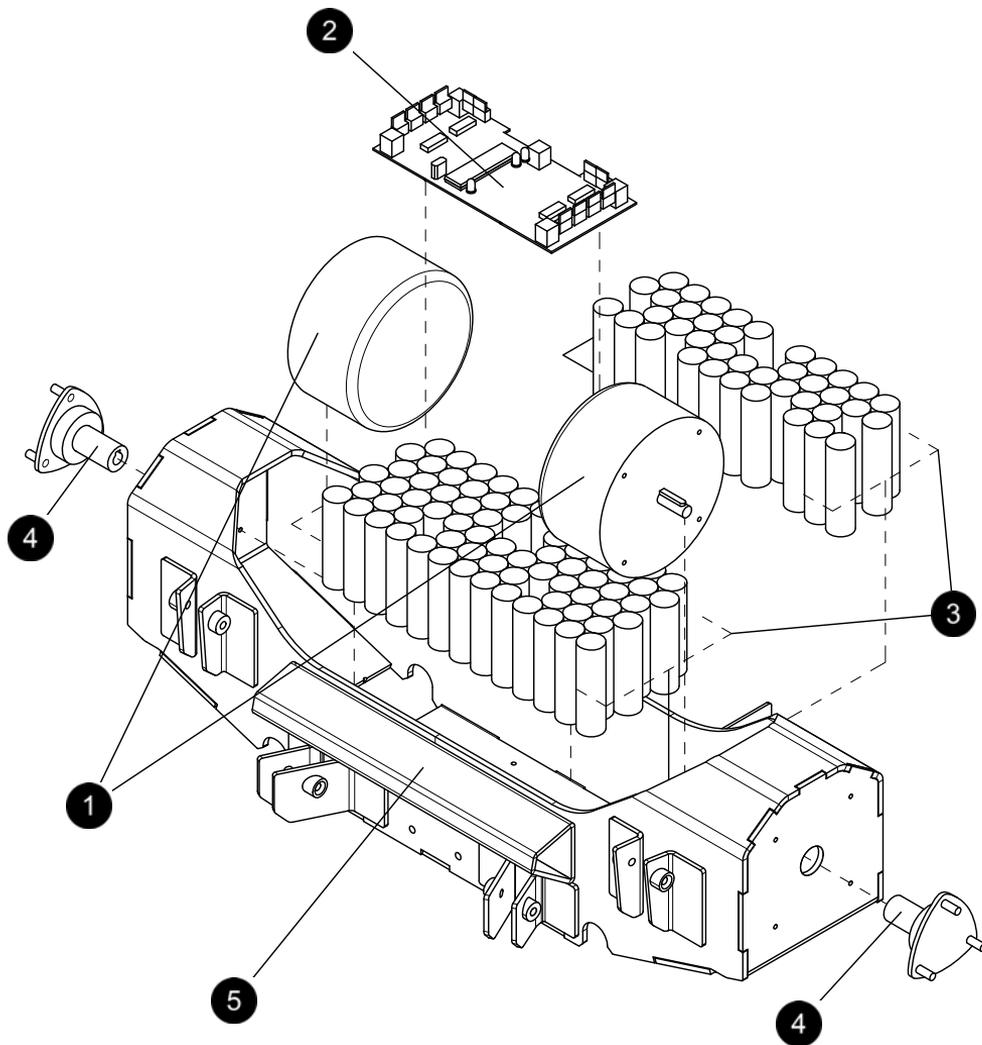
Vista Lateral



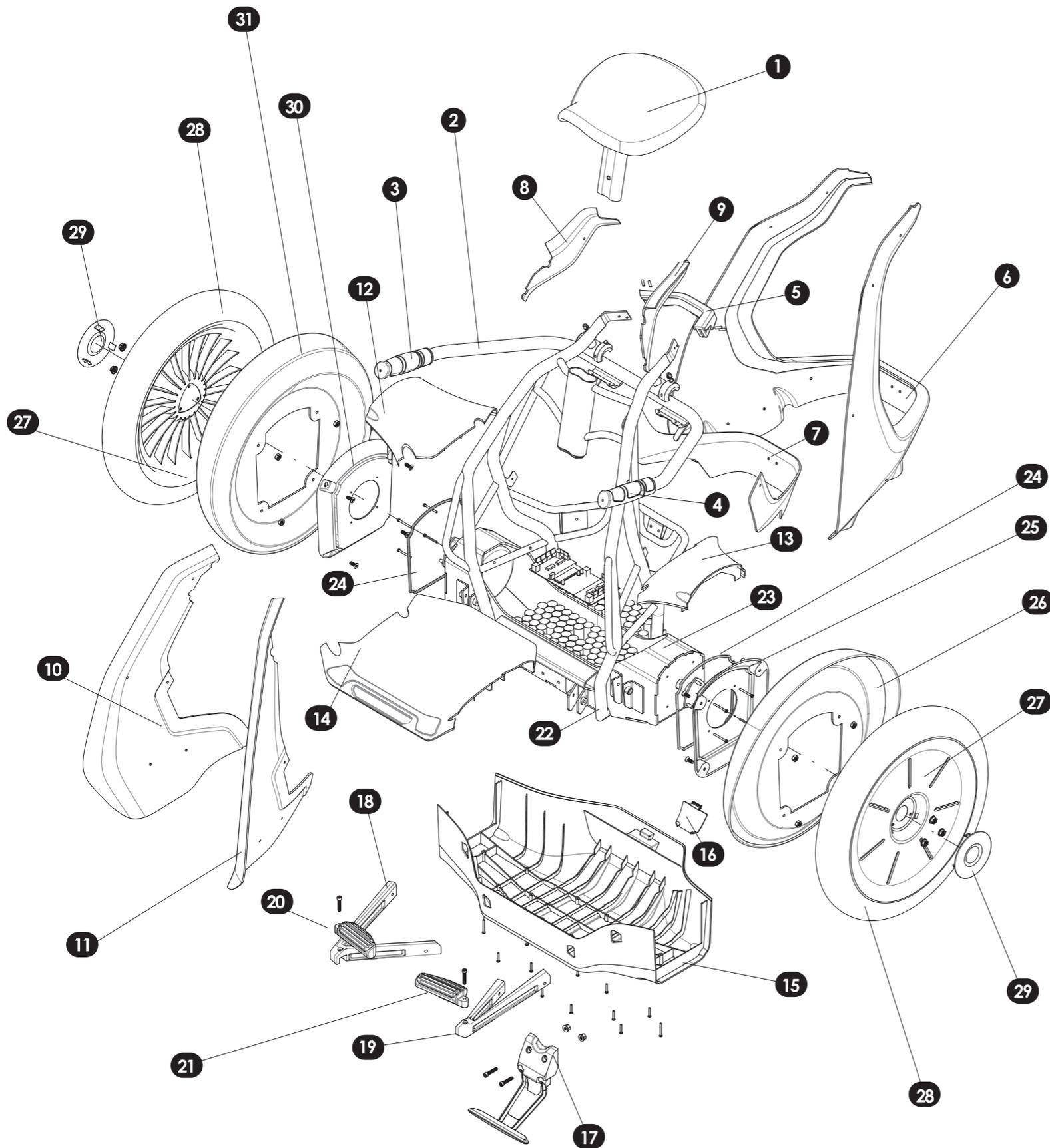
Isométricos
Cerrado/Abierto



| | | | |
|--|-----------|-------------|------------|
| Alfonso González Figueroa | CIDI-UNAM | Feb 2016 | Esc 1:5 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | B5 | |
| Pata auxiliar | | Cotas mm | 27/29 |



| | | | | |
|--|---------------|------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | Motores | 2 | N/A | N/A |
| 2 | Circuitos | 1 | N/A | N/A |
| 3 | Baterias | 218 | N/A | Ion Polimero Litio (LiPo) |
| 4 | Dado | 2 | N/A | Acero Inoxidable |
| 5 | Carcaza Base | 1 | Doblado, soldado y maquinado | Acero varios grosores |
| No. | Nombre | Cdd | Proceso | Material |
| Alfonso González Figueroa | | | CIDI-UNAM | Feb 2016 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | | | B5 |
| Despiece de Elementos Internos de Chasis | | | | Esc N/A |
| | | | | |
| | | | | Cotas mm 28/29 |



| | | | | |
|---|------------------------------|------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | Asiento | 1 | Varios | Varios |
| 2 | Manubrio | 1 | Rolado | Acero |
| 3 | Puño Derecho | 1 | Moldeo por Inyección | Poliacetileno |
| 4 | Puño Izquierdo | 1 | | |
| 5 | Agarradera | 1 | RIM | Poliuretano |
| 6 | Cuerpo Ext | 1 | Termoformado y maquinado | PVC de 6mm |
| 7 | Cuerpo Int. Tras. | 1 | | |
| 8 | Cuerpo Int. S.D. | 1 | | |
| 9 | Cuerpo Int. S.I. | 1 | | |
| 10 | Cuerpo Int. Der. | 1 | | |
| 11 | Cuerpo Int. Izq. | 1 | RIM | Poliuretano |
| 12 | Tapa Base Der. | 1 | | |
| 13 | Tapa Base Izq. | 1 | | |
| 14 | Tapa Central | 1 | | |
| 15 | Tapa Base Inf. | 1 | | |
| 16 | Tapa para A/C | 1 | N/A | Varios |
| 17 | Pata Auxiliar | 1 | N/A | Varios |
| 18 | Estribo Der. | 1 | Fundición | Aluminio |
| 19 | Estribo Izq. | 1 | | |
| 20 | Pedal Derecho | 1 | | |
| 21 | Pedal Izquierdo | 1 | | |
| 22 | Carcaza Cuerpo | 1 | Rolado y Soldado | Acero varios diametros |
| 23 | Carcaza Base | 1 | Doblado y Soldado | Placa de acero de 4mm |
| 24 | Empaques | 2 | Moldeo por Inyección | Silicón |
| 25 | Unión Guardaf. con Base Izq. | 1 | RIM | Poliuretano |
| 26 | Guardafangos Izq. | 1 | Termoformado y maquinado | PVC de 6mm |
| 27 | Rin 12" | 2 | RIM | Poliuretano |
| 28 | Llantas | 2 | N/A | Caucho |
| 29 | Tapas p/Rin | 2 | RIM | Poliuretano |
| 30 | Unión Guardaf. con Base Der. | 2 | RIM | Poliuretano |
| 31 | Guardafangos Der. | 1 | Termoformado y maquinado | PVC de 6mm |
| No. | Nombre | Cdd | Proceso | Material |
| Alfonso González Figueroa | | | CIDI-UNAM | Feb 2016 |
| Vehículo Eléctrico con Tecnología de Autobalanceo | | | B4 | Esc N/A |
| Despiece General | | | Cotas N/A | 29/29 |