

Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Diseño
Diseño Industrial

DISEÑO CONFORTABLE DE UN ASIENTO PARA VELOMÓVIL

Memoria para optar al título de Diseñador Industrial
Autor: **José Tomás Escala Parraguez**
Profesor guía: **Rodrigo Díaz Gronow**

Santiago, Chile
2016

*Dedicado a mi Padre, a mi Madre y mis abuelos,
por apoyarme en todo este proceso de formación.*

AGRADECIMIENTOS

*Mis agradecimientos al profesor Rodrigo Díaz
y a todos los miembros del equipo Protean por su trabajo
y buena compañía.*

Un especial agradecimiento también al equipo de
kinesiología, que colaboró directamente.

*Gracias a mi familia, compañeros, profesores y amigos por su apoyo
en este proceso, por su ayuda y enorme paciencia, en especial en los
momentos más complicados.*

A Jorge y a Catalina, por su apoyo y ayuda al final del proceso.

ÍNDICE

Introducción	7
Capítulo I: Contextualización	9
Capítulo II: Metodología, Plan y Objetivos.....	17
Capítulo III: El Confort	23
Capítulo IV: Metodologías Combinadas	31
Capítulo V: Superficies de Contacto	35
Capítulo VI: Proyecto JIG	41
Capítulo VII: Condiciones Dinámicas	53
Capítulo VIII: Desarrollo del Soporte	63
Capítulo IX: Pruebas en Carrera	77
Capítulo X: Pruebas en Laboratorio	83
Capítulo XI: Propuesta Final	95
Conclusiones	101
Bibliografía	105
Anexos	107

INTRODUCCIÓN

Sentarse, situarse, yacer, apoyarse, montar o introducirse en un determinado habitáculo o utilizar un determinado soporte es una situación tan cotidiana y antigua como la existencia del ser humano sobre la faz de la tierra. Es algo tan básico y común, que seguramente por esa misma razón, lo hacemos muchas veces en las condiciones que sea. Aceptamos probablemente situaciones muy precarias y lo hacemos en ambientes a veces muy incómodos. Pero si esto constituye una necesidad frecuente y repetida en nuestra vida y más aún si de eso depende la eficiencia con que realicemos una determinada tarea y además esto pueda afectar nuestra salud; entonces la importancia del habitáculo y el soporte se elevan a niveles que podríamos calificar de vitales. Las variables que pretendemos maximizar, surgen entonces desde los conceptos subjetivos de comodidad y bienestar para el operador del aparato; quien debe situarse en el soporte que es el objeto de diseño de la investigación. A continuación, se presenta al lector el resultado de un trabajo, realizado con el apoyo del grupo interdisciplinario de profesores y estudiantes del proyecto Protean, que contó con la participación de profesionales del diseño, miembros de la Facultad de Arquitectura y urbanismo de la Universidad de Chile; estudiantes de Ingeniería

Civil Eléctrica, y estudiantes y profesores de Kinesiología, de la misma universidad; y un grupo de simpatizantes del proyecto entre los que se encuentran auspiciadores, familiares, amigos y funcionarios de la FAU, quienes también pusieron lo mejor de su voluntad.

Enmarcado en el desarrollo de la investigación aplicada y acogido al desarrollo en común del vehículo Protean IV, surge el encargo y el problema. Éste último en particular, consiste en la búsqueda de variables respectivas al confort del asiento del vehículo, con la intención de determinar qué es lo que afecta en dicho confort, para así obtener información de utilidad en el diseño de este tipo de asientos, e incluso, la posibilidad de que esta pueda servir al diseño de otro tipo de soportes similares. El valor de esta investigación, entonces, es la generación de conocimiento a partir de la metodología aplicada de construcción de prototipos, los que otorgan respuesta a las interrogantes del problema. Esta consistió en el uso del método de prototipado de Ulrich y Eppinger (2013), cruzado con metodologías de estudio y medición del confort objetivo y subjetivo, utilizando el método propuesto por Monedero, M. (1998), para conseguir prototipos que pudieran ser probados tanto en su dimensión de uso como en su desempeño a nivel de la confortabilidad.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN

FUNDAMENTOS DEL PROYECTO PROTEAN

El principal fin del proyecto es generar conocimiento académico multidisciplinario, que sea capaz de posicionar a la escuela de diseño y dar luces al exterior del perfil de los profesionales y el enfoque del diseño que pretende formar la escuela. De esto se derivan una serie de beneficios tanto para estudiantes como profesores e incluso empresas y corporaciones externas a la Universidad asociadas al proyecto. Para lograr esto debe existir un encargo, que es la herramienta a través de la cual se logra el objetivo principal, que viene siendo en resumidas palabras; mostrar a la comunidad, lo que hace la Escuela de Diseño de la Universidad de Chile.

CONTEXTO ACADÉMICO

La investigación se enmarca dentro del contexto académico del proyecto Protean, el cual está dirigido por el Departamento de Extensión de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile.



Imagen 1: Equipo responsable proyecto Protean. Noviembre 2014 por Felipe Gana. Fuente: www.racing5.cl

ENFOQUE DEL PROYECTO

El proyecto en sí se centra en la *innovación*, en especial en el uso de materiales biodegradables, recursos maderables y sustentables, y particularmente en el desarrollo de vehículos de tracción eléctrica y biomecánica; marco dentro del cual los estudiantes y participantes deben trabajar.

El trabajo desarrollado en el taller Protean se caracteriza principalmente por su estilo de *investigación experimental*. Esta forma de trabajar está dada principalmente porque

se busca innovar y dar pie a generar y probar ideas nuevas en torno al diseño de vehículos de transmisión híbrida (eléctrica – biomecánica), y por ende la plasticidad del esquema de trabajo debe ser tal que permita realizar pruebas, desarrollar ideas y generar *prototipos* que faciliten volver atrás e iterar las veces que sea necesario, hasta lograr un resultado satisfactorio. Otro punto relevante, es que el proyecto es sí es *iterativo*, ya que sigue una línea investigativa y los proyectos realizados son

utilizados como antecedentes para la realización de los nuevos. Esto también permite la continuidad de los mismos en las etapas por venir. Por último, también destaca el carácter *interdisciplinario* que tiene, integrando profesionales de otras áreas además del diseño industrial; para trabajar en conjunto en los diseños y el conocimiento aplicado.

LINEA INVESTIGATIVA

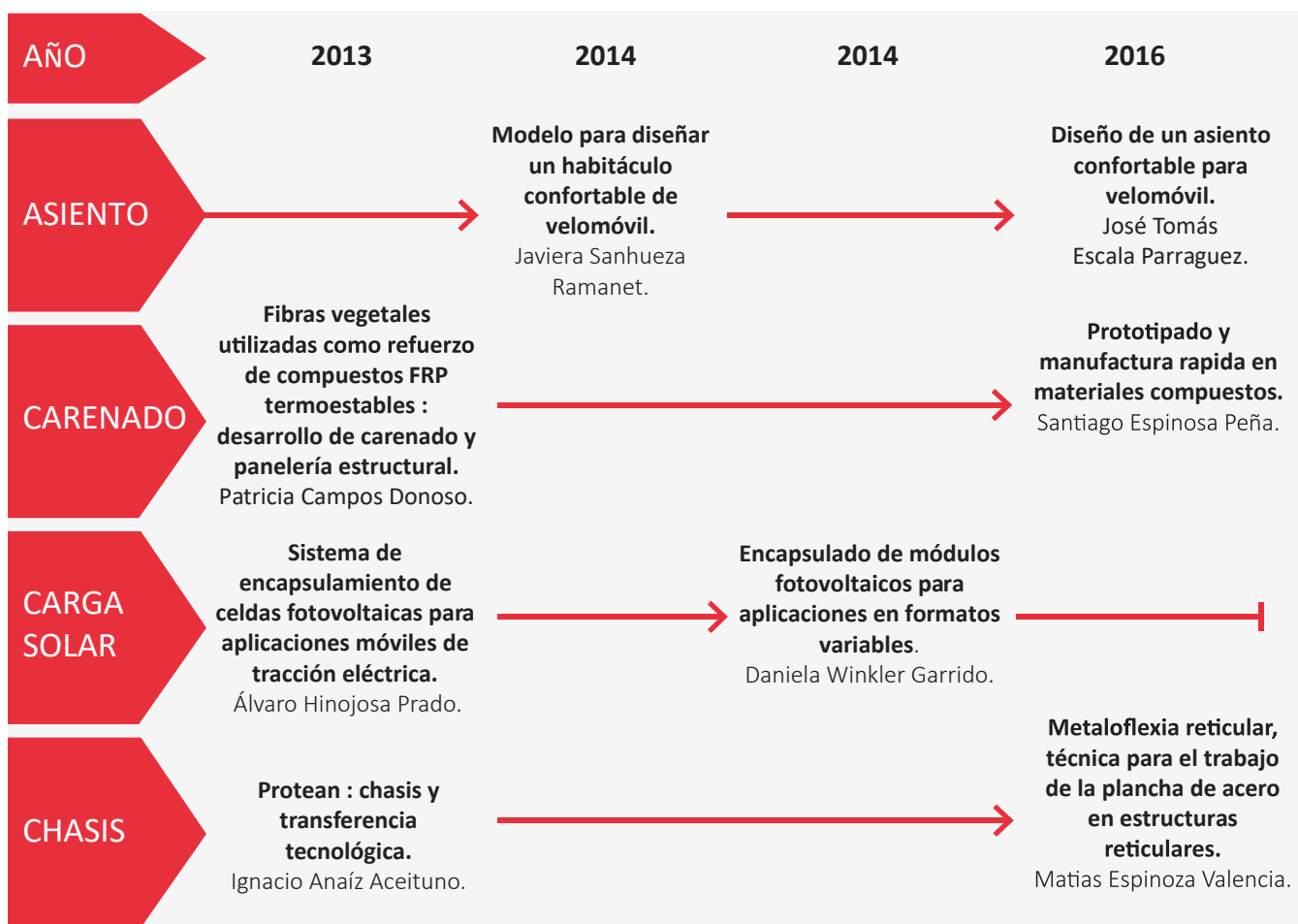


Figura 1: Línea investigativa del proyecto Protean. Fuente: Elaboración propia.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El proyecto nace de la inquietud de un número de estudiantes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, por desarrollar un vehículo de ciertas características, de las cuales no había precedentes en la escuela. Con el apoyo de docentes pertenecientes a la Escuela de Diseño, se generaron los recursos y la infraestructura necesaria para llevar a cabo con éxito el primer proyecto de velomóvil de la facultad; todo esto inserto en el contexto de investigaciones de título de los propios estudiantes. Luego derivó a formar parte de los proyectos de extensión de la facultad, quedando a cargo de docentes los cuales fomentarían este espacio para que los estudiantes pudieran realizar sus proyectos, estando ya en la cuarta instancia.

Durante la primera instancia, Protean 1, se realizó un vehículo de tracción biomecánica y solar, para la participación en la Carrera Solar Atacama. Este proyecto se caracterizó por innovar en tecnologías de materiales, ya que se usó coligüe para la fabricación del chasis.

Debido a las limitantes del proyecto, no hubo un enfoque particular en el habitáculo del vehículo, ni en el desarrollo del soporte corporal para el piloto.

La segunda instancia del proyecto se enmarca en la competencia Desafío Cero, en busca de la creación de un vehículo de tracción eléctrica y biomecánica, pero no solar. En este proyecto fue posible desarrollar tecnologías de laminado en yute – resina, usando el molde de un planeador para el carenado. Esta vez se realizó un estudio particular del habitáculo, pero debido a que se usaba la configuración de un planeador como base, no se consiguieron los resultados esperados. Sin embargo, este estudio permitió crear una base de conocimiento para guiar futuras investigaciones.

En tercer lugar, el equipo participó nuevamente en la Carrera Solar Atacama, esta vez con un vehículo de tracción eléctrica y biomecánica con la cualidad de poseer celdas solares. Este último nació de la adaptación y mejora del vehículo Protean 2, dando lugar a Protean 3.

En Protean 3 no se realizaron grandes innovaciones en el asiento del vehículo; solo se reemplazó por otro ya existente, que pertenecía a un vehículo solar con otras características de conducción.

En el Protean 4, el proyecto busca desarrollar un vehículo velomóvil de tracción eléctrica y biomecánica.

La meta principal que se tiene, es la capacidad de innovar en distintos niveles de conocimiento a través de un proyecto central; que es el vehículo. Para ello, existen diversos proyectos de investigación de título en torno a éste; haciendo del mismo un gran proyecto de innovación. En esta instancia, el vehículo Protean 4, denominado esta vez “Ackiu”, se desarrolló para correr en la Carrera Solar Atacama, en su versión 2016.



Imagen 2: Protean 1 Fuente: Archivo Protean.



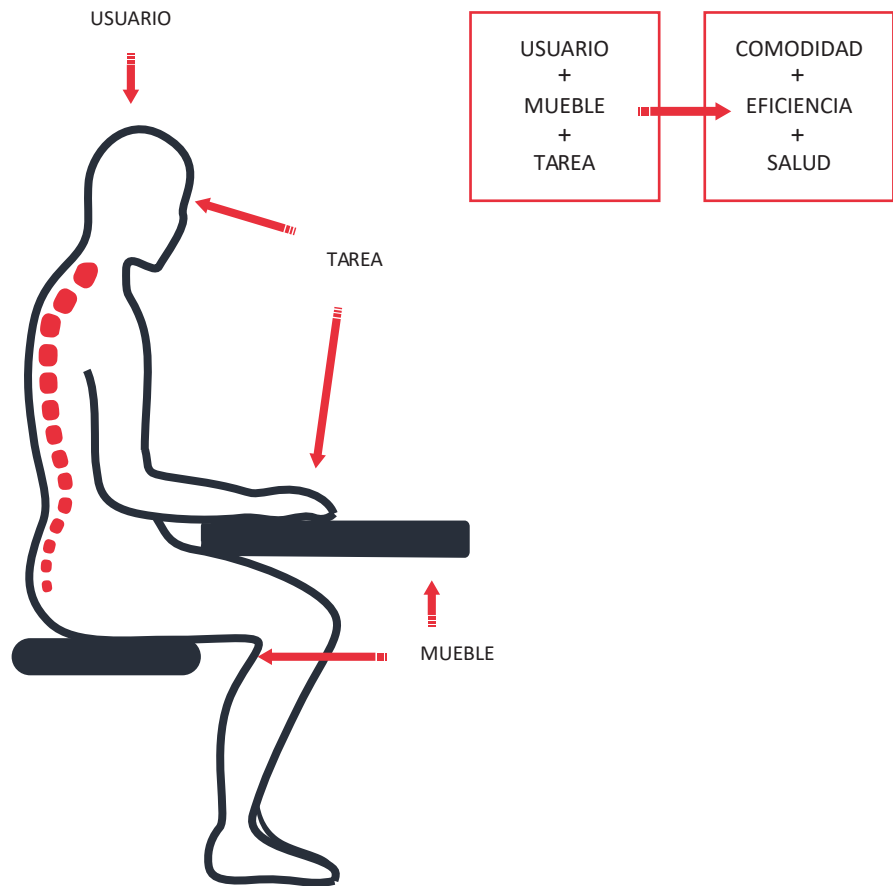
Imagen 3: Protean 2 Fuente: Archivo Protean.



Imagen 4: Protean 3 Fuente: Archivo Protean.

ENCARGO

Dentro de los proyectos a abordar en el desarrollo del vehículo, nace la necesidad de generar un *soporte* para el usuario del mismo. Esto, dado que para funcionar, se requiere de un piloto que conduzca el velomóvil, y éste necesita un soporte que le permita realizar esta acción con *comodidad*. En consecuencia, se pretende reducir en el mayor porcentaje posible las molestias, el dolor o el daño recibido por el usuario al momento de conducir el vehículo, ya que esto, además de lo mencionado, reduce el *rendimiento* en la conducción. Este tipo de necesidades fueron identificados en las tres etapas previas del proyecto Protean.



SOPORTE ADECUADO

Para el desarrollo de cualquier vehículo que tenga la finalidad de transportar a una persona, es necesario que exista una interfaz que permita conectar el elemento “persona” con el elemento “máquina”. Esto está dado por las condiciones morfológicas de los cuerpos y los objetos que literalmente deben conectarse físicamente para posibilitar la interacción. En el caso de un vehículo, el objeto debe dar soporte al usuario y por tanto debe hacer *contacto* con él para permitir moverlo.

En un medio ideal, la persona no debiese requerir ningún soporte para mantenerse en su lugar, pero en esa misma

línea también es válido decir que ésta no debiese requerir de ningún vehículo para moverse de un lugar a otro. Sin embargo, vivimos en un medio afectado por las fuerzas de la física y como tal también nuestros cuerpos son estructuras que contienen masa y deben interactuar con dichas fuerzas. Con esto en mente hay que considerar que los efectos de tales fuerzas pueden traer resultados negativos para el cuerpo humano el cual requiere de una serie de factores tanto físicos como fisiológicos para mantenerse saludable.

En el caso del soporte para un vehículo, el cuerpo se ve

sometido constantemente a la acción de fuerzas externas y a la reacción de las mismas, y es la fuerza de reacción que ejerce el soporte sobre el cuerpo, en conjunto con las posibles posturas adoptadas por el usuario (además del efecto de la temperatura, las tarea a realizar, entre otros factores), lo que produce efectos físicos y perceptuales negativos en éste.

Dicho de otra manera, la adecuada configuración entre el usuario, el mobiliario y la tarea, determinarán la obtención de comodidad, eficiencia y salud. (Monedero M, 1998).

EL SOPORTE RESPECTO AL CONTEXTO

Dependiendo del contexto de uso, la forma del soporte corporal puede variar para facilitar y adaptarse a las tareas a realizar. No necesariamente se requiere el mismo soporte para un automóvil que para una retroexcavadora. Así mismo el asiento de una bicicleta será muy distinto al de una motocicleta. Esto está dado por que la forma de utilizar dichos vehículos, la interacción con el resto de sus componentes y las posturas que debe adoptar el usuario, entre otras variables, condicionarán el diseño de dichos soportes si lo que se busca es desempeñar la tarea de la manera más eficiente posible.

Por ejemplo; en una motocicleta se necesita que el piloto mantenga mayoritariamente sus pies fijos en los pedales, mientras que en una bicicleta (siendo que la postura adoptada por la persona es bastante similar), se requiere la acción de las piernas sobre los pedales, los cuales se trasladan en torno a un eje. Esto, en el primer caso permite la utilización de un asiento más grande, pensado para una postura mayoritariamente estática de las piernas, mientras que, por otro lado, el asiento de la bicicleta debe dar soporte al usuario, pero permitir la acción dinámica de las piernas, obligando a reducir el tamaño del sillín al punto que no entorpezca la acción del pedaleo.

En tanto a las posturas que debe adoptar el usuario para realizar una determinada tarea, existen determinados ángulos del cuerpo (principalmente dados por las articulaciones), y distribución espacial de las partes del mismo. Para el caso de estudio no es la excepción, y por lo tanto deben estudiarse las posturas adoptadas para dar forma al asiento. Junto con esto hay que considerar la superficie de contacto, que mediará entre el cuerpo del usuario y la distribución angular del asiento.

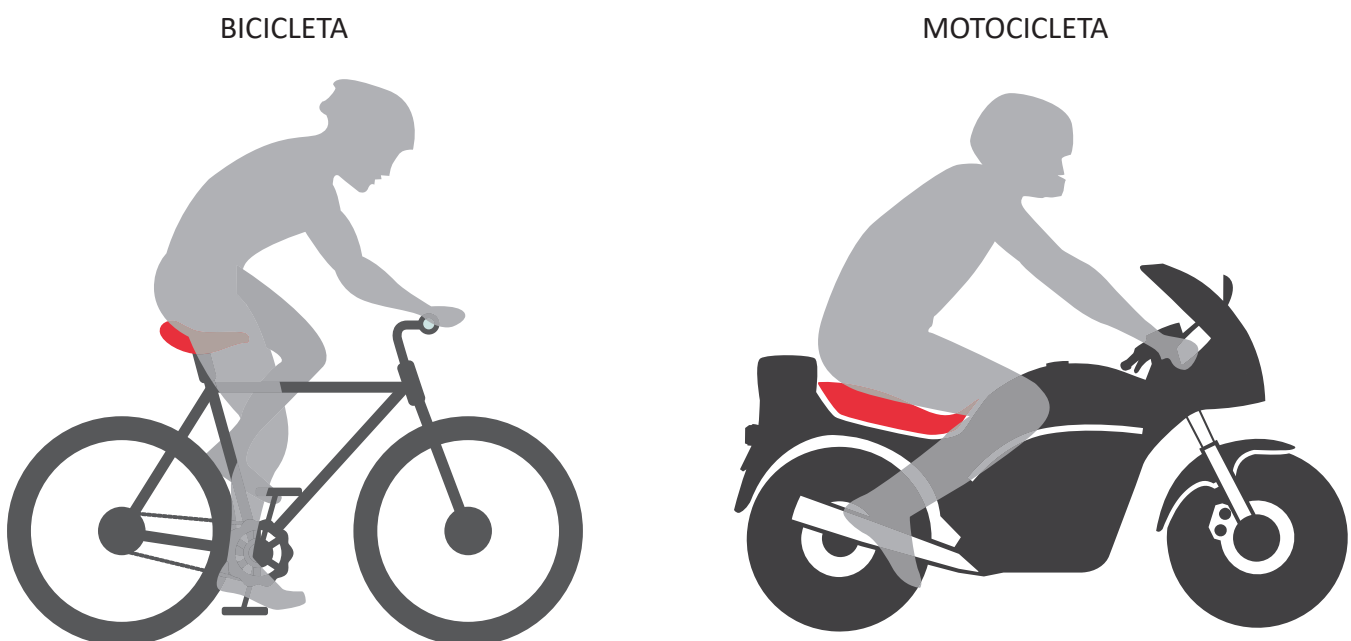


Figura 3: Soportes de bicicleta y moto. Fuente: Elaboración propia.

CARRERA SOLAR ATACAMA

Consiste en la competencia de diversos equipos, cada uno con un vehículo eléctrico-biomecánico a través del desierto de Atacama en el norte de Chile, realizando recorridos mayoritariamente por carretera, donde dichos vehículos y sus respectivos equipos serán puestos a prueba.

Las características de la competencia definen ciertos parámetros a considerar, y es importante destacar que uno de ellos es que deben ir dos pilotos a conducir el velomóvil, por lo tanto, se debe poner atención a esto y trabajar en lo posible junto a los dos usuarios escogidos.

La instancia de la carrera solar no sólo permite dar un espacio para probar los resultados de esta investigación, sino que también conlleva limitantes al proyecto, tales como los plazos y fechas en la cual se lleva a cabo (generando un plazo acotado distinto al de las fechas límite del proyecto de título, obligando a coordinar el estudio con dichos tiempos), bases, y normativas a las cuales atender para poder utilizarla a beneficio.



Imagen 5: Protean 4 junto al equipo y vehículos de apoyo
Fuente: Elaboración propia



Imagen 6: Presentación Carrera Solar Atacama. Noviembre 2014 Emol
Fuente: www.emol.com

Esta página se ha dejado
deliberadamente en blanco

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA, PLAN Y OBJETIVOS

PLANTEAMIENTO

En el caso propuesto, el problema es la obtención de un asiento lo suficientemente cómodo y que se adapte a los requerimientos asociados a la conducción de un vehículo con las características de velomóvil de tracción eléctrico biomecánica. El principal problema está en cómo se obtienen los datos para determinar un asiento cómodo, y por lo tanto a través de qué se mide dicho confort. Además, deben considerarse las características específicas de un vehículo de esta índole, ya que requiere de una forma de conducción especial, dada su configuración, rangos de velocidad, radios de giro, propósito, tiempos de uso, entre otras consideraciones, lo cual podría determinar el diseño del asiento en cuestión.

PROBLEMA

La problemática considera el dar forma a un soporte corporal para velomóvil y cómo, y de dónde se obtienen los parámetros y requerimientos formales que se traduzcan en un óptimo confort para el usuario del mismo.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un asiento para velomóvil que responda a variables del confort.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1. Identificar de qué variables de diseño depende el confort.**
- 2. Comprobar el funcionamiento de las variables mediante la experimentación y pruebas.**
- 3. Investigar cómo se mide el confort y evaluar los resultados en función de ello.**
- 4. Determinar la pertinencia del uso de tales variables en el diseño de este tipo de soporte.**

METODOLOGÍA

Para la obtención de todos los datos necesarios, es imperante levantar la información asociada a los efectos del confort sobre el cuerpo y cómo este será medido, junto a otros factores determinantes para la obtención de una forma, materialidad y configuración espacial de un soporte corporal óptimo para el caso dado.

En una primera instancia y a la vez en paralelo, la obtención de estos datos pertenece a la dimensión bibliográfica, la cual aporta datos generados en investigaciones anteriores, en torno al ámbito del confort.

En segunda instancia, el estudio propiamente tal del comportamiento del vehículo y su relación con el usuario.

Finalmente, la confección de prototipos y la aplicación de los métodos de evaluación a los mismos para determinar su desempeño y realizar iteraciones de ser necesario.

ETAPAS

- Levantamiento de información de fuentes bibliográficas.
- Estudio de los ángulos y distancias principales para el posicionamiento del piloto.
- Estudio del comportamiento del piloto en función del comportamiento del vehículo en uso.
- Desarrollo de prototipos utilizando la metodología de Ürich y Eppinger.
- Realización de pruebas a los prototipos en laboratorio y campo.
- Evaluación de los prototipos en función del confort, a partir de las metodologías obtenidas del estudio bibliográfico.

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1. Investigación bibliográfica para entender metodologías de medición, análisis y obtención de requerimientos para el soporte corporal.

En esta instancia se destaca la obtención de conocimiento existente que ayudará a conocer y en lo posible implementar tanto herramientas metodológicas como conceptos asociados al campo de investigación. Esto permitirá levantar información empírica durante ésta y aplicar con mayor certeza criterios ya evaluados y probados en otros estudios. Así mismo permite validar los métodos utilizados para la obtención de los requerimientos.

2. Conocer los ángulos, distancias y distribución espacial en general del soporte respecto a los componentes del auto.

Esto permitirá generar una base sólida para el desarrollo del resto de los aspectos del asiento que asegure un desempeño óptimo del pedaleo y la conducción. Este es un paso primordial en la investigación dado que de ser bien desarrollado crea una base desde donde trabajar la forma, obteniendo desde un principio un soporte funcional que puede ser optimizado en adelante.

3. Acercamiento y entendimiento del vehículo, tanto en su configuración como funcionamiento.

Este punto se realizará a través del trabajo en conjunto del desarrollo del vehículo mismo, donde se participará y colaborará, tanto en el diseño como en la producción del mismo. Esto brindará conocimiento del velomóvil al ser partícipe de las decisiones formales, de configuración, realización de pruebas, etc. Este paso es de gran relevancia ya que el vehículo al ser un primer prototipo y de una configuración única, solo puede ser analizado y probado en su forma actual.

4. Adaptación de las herramientas obtenidas y diseño de nuevas herramientas aplicables al caso de estudio.

En esta instancia se resume toda la información obtenida con anterioridad y se da paso a filtrar dicha información para generar herramientas específicas para la medición del caso de estudio. Esto debido a que, si bien las herramientas y métodos que pudiesen ser obtenidos de otros estudios ya han sido validadas, las mismas pueden estar pensadas para la aplicación en campos o casos específicos y por ende requieren de un posterior análisis y adaptación al caso.

Es importante entender que durante el estudio es probable que las herramientas estén sujetas a modificaciones ya que a medida que se van utilizando requieren ser validadas y reevaluadas para una óptima aplicación de las mismas, intentando mantener la mayor objetividad posible en los resultados.

5. Generación de propuestas de diseño utilizando los requerimientos obtenidos.

En esta instancia se realizarán propuestas utilizando herramientas como dibujos, maquetas digitales y maquetas físicas. Durante esta etapa se probarán tanto las configuraciones tomadas de los datos obtenidos en las etapas anteriores de la investigación, como las propuestas de materialidad.

6. Prototipado del soporte corporal para el uso en carrera.

Fabricación del modelo a ser utilizado en carrera. Dicho modelo tiene la intención de ser la configuración final del soporte corporal, sin embargo, estará sujeto a pruebas y validación y por lo tanto puede sufrir configuraciones posteriores a la competencia de encontrarse posibles mejoras.

7. Evaluación del prototipo final.

Durante la carrera será medido el desempeño del prototipo final, ya sea utilizando las herramientas y metodologías utilizadas y desarrolladas en el estudio previo como otras adaptadas a tal instancia. Esta evaluación permitirá realizar ajustes a la configuración final y también tener certezas del real desempeño de la misma.

8. Aplicación de mejoras a la configuración a partir de los datos de la carrera.

En esta etapa se analizarán los datos obtenidos de la

evaluación en la carrera y se propondrán y aplicarán posibles mejoras al prototipo final.

9. Pruebas en laboratorio.

Esta etapa permite evaluar los prototipos de forma más controlada que en la carrera, obteniendo nuevos datos para ayudar a determinar problemas en el prototipo, aplicando los métodos de medición del confort obtenidos en la bibliografía.

10. Conclusiones del estudio.

Confección de las conclusiones finales, con resultados

que abran paso a nuevas investigaciones que den continuidad al campo específico de estudio.

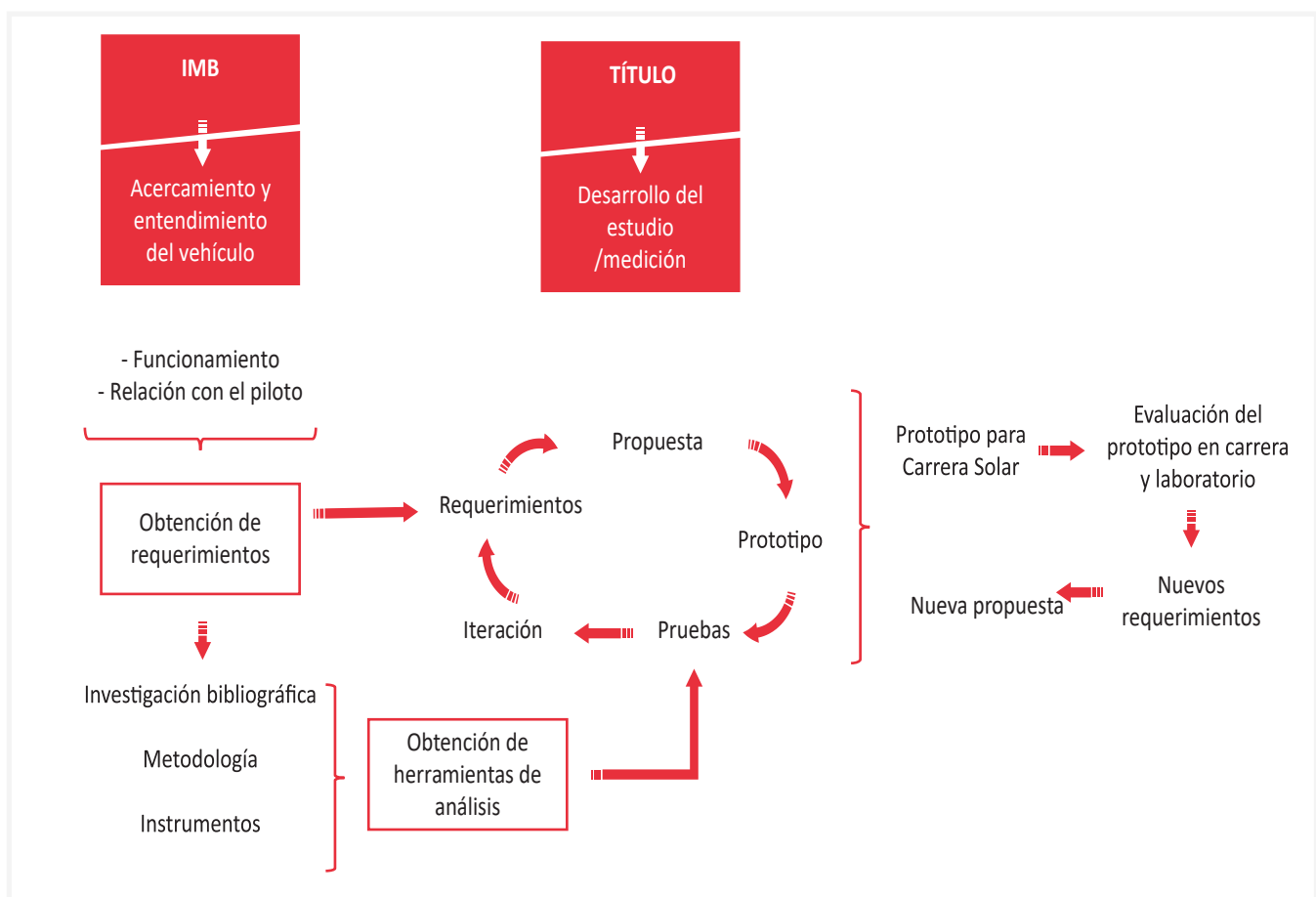


Figura 4: Flujograma de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

ALCANCES

El estudio permite alcances en los campos de aplicación de estudios biomecánicos, vehículos de tracción biomecánica, estudios del confort, aplicación del diseño industrial, evaluación de prototipos en laboratorio y campo.

LÍMITES

El estudio está limitado por los recursos disponibles, dado que es un proyecto de investigación de pregrado realizado en su mayoría por un titulado con apoyo de docentes y otros estudiantes, contando con plazos y un presupuesto limitado. Además está sujeto al desempeño de otros factores asociados al vehículo a utilizar en el caso, el cual eventualmente podría fallar o presentar otras complicaciones y, para este estudio se requiere su completa funcionalidad para así obtener datos fidedignos. Incluido esto, el vehículo al encontrarse en una fase de diseño y desarrollo, puede cambiar sus características y configuración, distorsionando o incluso invalidando los datos obtenidos en las instancias previas a los eventuales cambios, truncando los avances de la investigación, que como se mencionó anteriormente consta de plazos acotados.

FINALIDADES

La finalidad de la investigación es obtener un diseño de soporte corporal para velomóvil en base al estudio de las variables del confort. Además permitirá evaluar distintas herramientas de análisis de dicho parámetro, lo cual podría ser útil para futuras investigaciones.

RECURSOS

Los recursos para la investigación se dividen en varias secciones. Primero, los recursos propios del proyecto Protean 4. Estos constan de un fondo considerado para el proyecto, el cual es administrado por la dirección del equipo y asignado según se necesite, se solicite y corresponda para financiar materiales u otros recursos necesarios para la investigación. También cuentan con recursos como infraestructura asignada para el proyecto, como lo es el laboratorio Protean y las instalaciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, lo cual incluye herramientas y servicios. Además existe la posibilidad de utilizar otras instalaciones de la Universidad gracias al apoyo de docentes y estudiantes de otras facultades de la misma e incluso la posibilidad de asistir a instalaciones de otras universidades si es necesario.

Por último y no menos importante, el apoyo y consultoría de expertos, docentes y estudiantes asociados al proyecto, entre los cuales aparecen: Docentes y estudiantes de diseño industrial, Docentes y estudiantes de kinesiólogía, Expertos en ergonomía, Docentes y estudiantes de ingeniería mecánica, Diseñadores gráficos, Estudiantes de ingeniería eléctrica, entre otros. De los mencionados anteriormente es posible que se obtenga consultoría y apoyo en mayor medida por parte de los diseñadores industriales y las disciplinas asociadas a la kinesiólogía y la ergonomía, dadas las características del estudio, siendo esto solo un supuesto. Otros recursos a considerar para el estudio son el aporte del estudiante que postula al título, los documentos bibliográficos obtenidos, el vehículo híbrido Protean 4, el Jig de Pruebas de pedaleo recumbente del laboratorio de Kinesiología de la Universidad de Chile, desarrollado en conjunto con la Escuela de Diseño de la misma universidad y cualquier otro recurso que pudiera ser gestionado por el estudiante.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III

EL CONFORT

objetivo para evaluar el confort y pretende probarlo a través de un estudio donde se someten a prueba diversas articulaciones del cuerpo en base a un método propuesto, obteniendo datos y tabulándolos para conseguir curvas asociadas al confort en función de la percepción para cada postura.

En tercer lugar, el estudio de título realizado por J. Nieto (2013) de la Universidad de Chile, busca realizar mejoras en la dimensión del confort al diseño de un asiento para buses urbanos. Para esto propone la evaluación en un laboratorio móvil del comportamiento en el uso del asiento durante un trayecto de bus, utilizando herramientas específicas para conseguir datos de la geometría y trayectoria descrita por el cuerpo durante el mismo.

En cuarto lugar, el estudio de título de J. Sanhueza (2014), también de la Universidad de Chile, caso en el cual se probaron diversas posturas en la realización de un asiento

para velomóvil, centrando una evaluación del confort del mismo a través del análisis de posturas y su correlación con datos del consumo de oxígeno del usuario evaluado.

En quinto lugar, el estudio de M. V. Monedero (1998), tesis doctoral dedicada al estudio ergonómico de productos. En su tesis busca evaluar el confort con los parámetros más objetivos posibles, postulando un método y generando herramientas específicas para medir curvaturas y presiones en zonas del cuerpo, utilizándolas en pruebas de laboratorio para medir los cambios de postura de los sujetos. Además, agrega métodos cualitativos de evaluación, y con esto nutre su estudio para generar correlaciones y obtener resultados concluyentes.

CONCEPTO DE CONFORT

Según M. Pearson (2009), el confort consiste tanto en un estado psicológico como en una sensación física o ambos. En su estudio, basado en los resultados de diversos autores sobre qué es el confort y cómo se evalúa, indica que, si bien puede ser evaluada la sensación física producida, siempre existe un componente psicológico. Esto indica que la evaluación de una persona sobre su sensación de confort se ve afectada por factores subjetivos. Junto con esto explica que, en diversos estudios revisados, muchas veces se considera que la medición del dolor dará los mismos resultados que la medición del confort, siendo que “la ausencia de dolor” no necesariamente se traduce en “confort”. Siguiendo esta misma idea, la autora indica que el dolor y el confort tienen una relación lineal, que puede ser expresada en una escala gradual de dos límites con un centro neutral, como se muestra en la figura 5.

Por su parte, N. Naddeo et al. (2015), propone el confort como una traducción de varios factores correlacionados, que finalmente se traducen en una sensación de confort, neutral o de incomodidad. Por tal razón considera que los instrumentos de medición y los métodos utilizados para medir el confort, deben tener en consideración todos estos factores para así obtener una óptima medición de éste.

Para explicar esta relación, el autor ejemplifica utilizando el modelo Vink- Hallbeck (Ver figura 6). Este modelo consiste en cómo la persona se ve afectada por un estímulo traducible en confort, neutralidad o dolor. El modelo indica que la persona está rodeada por un contexto, el cual en este caso consiste en un producto que se desea probar. Además, va acompañado de una tarea o forma de uso específica. Se muestra que la persona es sometida a una interacción (I)

con dicho producto, y por lo tanto hay contacto físico o sensorial con el mismo. Esto desencadena efectos sobre el cuerpo del usuario, ya sean físicos o psicológicos (H). Estos efectos son percibidos por la persona y se ven influenciados por las expectativas que ésta tiene sobre su experiencia (E). Tal percepción puede traducirse tanto en confort (C), como en una sensación neutral (N), hasta una sensación de dolor o molestia (D). Finalmente, en este último caso, la sensación de dolor o molestia (D), puede significar compromiso en el sistema musculoesquelético, daño de tejido u otro tipo de daño a la persona. Esto significa que se debe hacer una corrección en alguna o varias de las etapas del contexto.

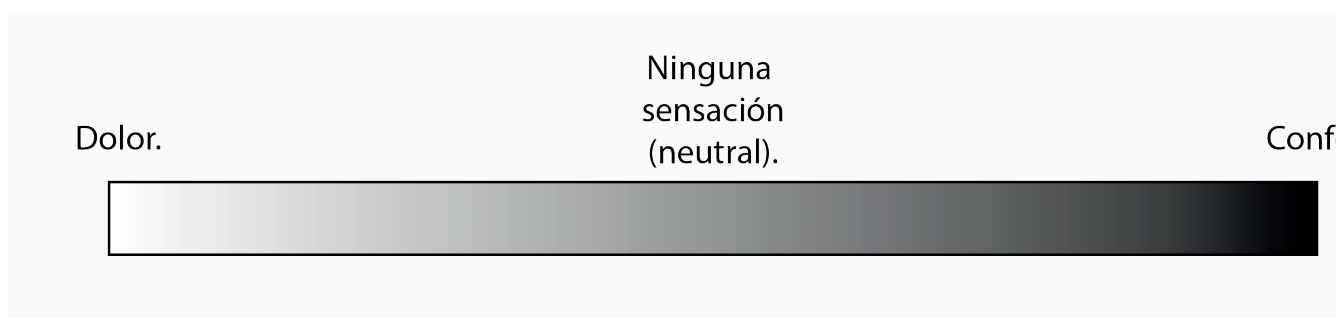


Figura 5: Ejemplo de escala dolor-confort. Fuente: Elaboración propia.

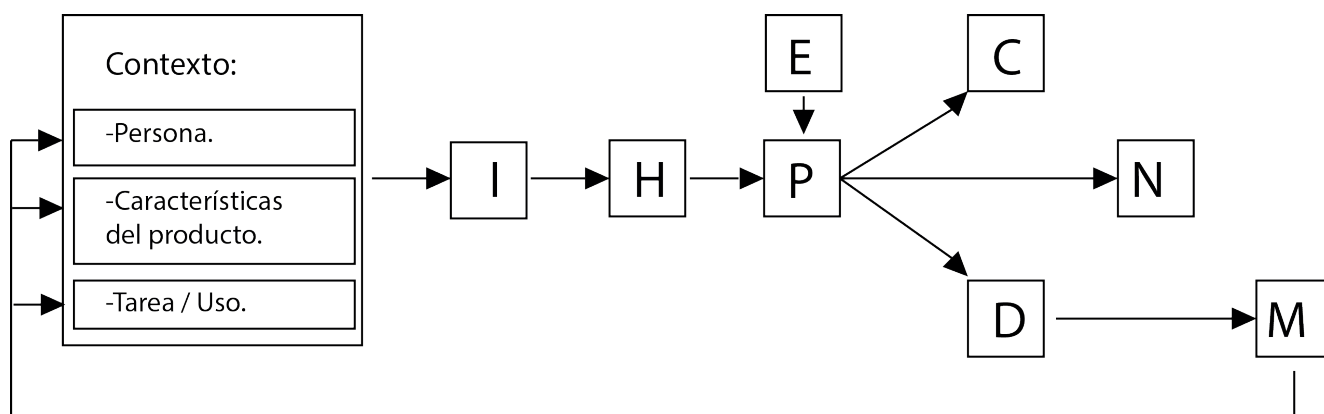


Figura 6: Modelo Vink-Hallbeck. Fuente: *Proposal of a new quantitative method of postural comfort evaluation. 2015 N. Naddeo et al.*

El modelo permite comprender las fases para el análisis del confort y se vuelve de utilidad para la evaluación de un producto, y en este caso puede ser de gran utilidad al aplicarlo al análisis de probetas para el desarrollo del soporte corporal para el velomóvil.

Por otro lado, los estudios realizados por los titulandos de diseño industrial J. Nieto, como J. Sanhueza, centran su atención principalmente en la medición de datos duros que consideran aspectos geométricos, antropométricos y de respuesta del cuerpo ante estímulos externos, y toman poca consideración respecto a los factores subjetivos de la medición del confort, dadas sus herramientas de análisis y la forma de abordar sus estudios. Sin embargo, aplican otros parámetros que son válidos para determinar si sus diseños son confortables, pero podrían potenciarse al incluir instrumentos de medición subjetiva.

Para J. Nieto (2013), en la aplicación de su caso, el confort se mide en función de qué tanto se permite que el usuario del asiento de bus pueda realizar otras tareas compatibles (como leer o dormir), durante el trayecto, a través de un soporte corporal mientras el bus avanza. El autor indica que mientras menor sea el movimiento del cuerpo durante el viaje, más fácil será para el usuario realizar estas tareas y se traducirá en confort. Por ende, propone que a menor movimiento del cuerpo mayor confort.

J. Sanhueza (2014), entiende el confort respecto a la relación de las posturas propuestas con el consumo de oxígeno del sujeto de pruebas y un poco de retroalimentación respecto a la opinión del mismo. Este estilo de medición puede dar buenos resultados respecto al análisis de los ángulos y rangos de movimiento de las articulaciones y las extremidades del cuerpo, pero puede que no cubra todo

el rango de confort, ya que este se nutre de más variables.

Similar en opinión a otros autores mencionados, M. V. Monedero (1998), argumenta que el confort debe ser medido en ambas dimensiones tanto objetivas como subjetivas, y plantea un método en el que se realizan iteraciones al diseño a través de la evaluación cruzada del confort.

De los estudios mencionados, se concluye que el confort es un estado subjetivo del usuario dada la relación de múltiples variables, las cuales sumadas consiguen potencialmente un estado de óptimo confort, lo cual incluye la ausencia de dolor y de molestias físicas y psicológicas, si se encontrase en un ambiente ideal.

MEDICIÓN DEL CONFORT

Dada la comprensión del concepto de confort, para la investigación del soporte corporal para velomóvil, se tomarán en consideración las metodologías y herramientas encontradas en las fuentes bibliográficas. Tales herramientas son el principal aporte que tienen dichas fuentes para esta investigación, dado que permiten establecer métodos objetivos, probados y ya utilizados en otros estudios, los cuales pueden ser tomados y modificados para utilizarlos con fines de la presente investigación.

De lo estudiado ha quedado clara la necesidad de utilizar métodos cuantitativos y cualitativos para la evaluación del confort, dada la complejidad del mismo. Además, como muestra M. Pearson (2009), existen técnicas de medición objetivas, y subjetivas. Dentro de estas, nombra diversas escalas de medición del dolor, como la Escala Visual- Analógica (EVA), o la escala numérica (EN), las cuales permiten ubicar las sensaciones de dolor evaluándolas de 1 a 10.

Según el autor, estas escalas pueden ser modificadas para su uso en confort, pudiendo posicionar el dolor en el puntaje menor (1), y el máximo confort en el 10, así mismo posicionando al centro de la escala la sensación de neutralidad sensorial. Esto generaría una escala gradual que considera los dos espectros. Junto a esto explica el Tool for Assessing Wheelchair disComfort (TAWC), en español; "Herramienta para Evaluación del disConfort en Sillas de Ruedas". El autor considera que los cuestionarios y las escalas utilizadas y desarrolladas en el caso (derivadas de otras escalas numéricas), son de gran objetividad y cumplen con su cometido. Por esta razón es de utilidad tomar dicho caso y modificar las preguntas del cuestionario, o analizar su usabilidad para diseñar un cuestionario para el análisis del confort en el soporte corporal para velomóvil.

Junto con destacar el TAWC, se menciona el confort rating scale (CRS), desarrollado para la evaluación del confort para

computadores portátiles tipo mochila, el cual el autor también considera como un caso destacado dentro de los revisados.

Por último, en su definición de confort postural, hace alusión a que dicho estado consiste en la ausencia de la necesidad de cambiar de postura. Esto puede ser un factor determinante ya que la necesidad de cambiar de postura en función al tiempo de uso, puede determinar qué tan confortable es una postura versus otra, si se comparan los ratios de cada cual.

Por parte de los métodos objetivos propuestos, menciona el electromiograma (EMG), escaneo 3D del cuerpo, sensores de presión en la superficie de contacto, medición de la forma de la espalda, registro fotográfico y en video. Dichos métodos requieren de recursos y equipamiento necesario y por lo tanto se vuelven limitantes en ciertos casos. Sin embargo, tales herramientas pueden brindar resultados bastante precisos y objetivos de lo que se quiere medir.



Imagen 7: Rotación del cuello. Fuente: *Proposal of a new quantitative method of postural comfort evaluation. 2015 N. Naddeo et al.*

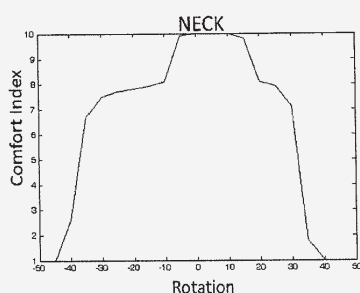


Imagen 8: Gráfico de confort del cuello. Fuente: *Proposal of a new quantitative method of postural comfort evaluation. 2015 N. Naddeo et al.*

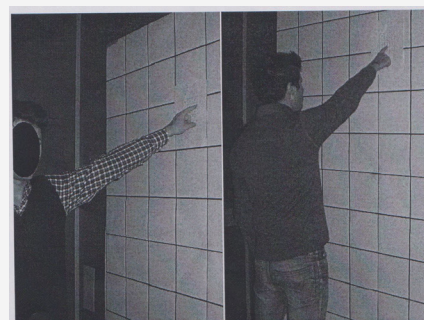


Imagen 9: Ángulo de las extremidades. Fuente: *Proposal of a new quantitative method of postural comfort evaluation. 2015 N. Naddeo et al.*

Por parte del estudio de N. Naddeo et al. (2015), La aplicación de herramientas cualitativas utilizando escalas numéricas es un método válido para evaluar los estados de confort o discomfort. En su estudio fueron medidas distintas posturas y ángulos de las articulaciones del cuerpo del tren superior, utilizando cuestionarios valorizados del 1 al 10, donde el usuario debía expresar su nivel de confort o discomfort indicando un valor. Esto en un contexto de laboratorio, correlacionando los datos con observación mediante registro fotográfico, en video y mediante la utilización de software como Kinovea. Para tal propósito se usa además una grilla en el fondo del set, para evitar error por efecto de la perspectiva y lograr una medición más precisa (ver imagen 7 y 9). También menciona la posibilidad de utilizar mapas del cuerpo donde el usuario pueda señalar el lugar donde siente molestia o comodidad. Como resultado de la tabulación de los datos obtenidos por los investigadores, se generaron gráficos donde es posible analizar los diversos grados de confort con respecto a los distintos ángulos de las articulaciones (ver imagen 8).

En el estudio de J. Nieto (2013), se utiliza un método similar al anterior. A través de un laboratorio montado en el sitio de pruebas, usa cámaras de video, con grillas de fondo para analizar el movimiento de las partes del cuerpo del usuario.

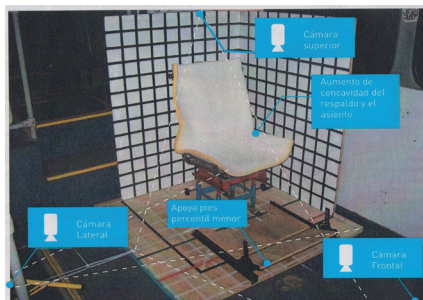


Imagen 10: Laboratorio móvil. Nieto J., (2013). Fuente: *Una máquina para sentarse*.

Luego analizó dicho material para ver la trayectoria del movimiento a lo largo del tiempo, obteniendo áreas asociadas a intervalos del trayecto. Esto le fue útil para determinar momentos y zonas críticas a intervenir para mejorar la estabilidad, que para efectos de su estudio, se traducían en confort. Por la parte de los métodos subjetivos no utilizó un cuestionario u otra herramienta que le permitiera entender desde el usuario las zonas de confort en tiempo real.

Lo más destacable para fines del estudio para el asiento del velomóvil, fue la adecuación de un laboratorio móvil, que pudiera funcionar en el sitio de la actividad, evitando tener que simular las características de la actividad en un laboratorio aislado, obteniendo datos mucho más cercanos a la realidad (ver imagen 10).

Esto es de gran valor ya que la actividad estudiada es en parte una actividad dinámica, y por lo tanto tiene una complejidad mayor. Es fundamental tomar esto en consideración, para replicarlo si es posible y necesario,

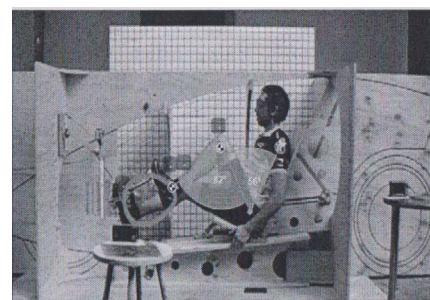


Imagen 11: Jig de pruebas. Sanhueza J.,(2013). Fuente: *Modelo para diseñar un habitáculo confortable para velomóvil*.

en el estudio del confort del soporte corporal para el velomóvil.

La investigación de J. Sanhueza (2014), utilizó métodos de medición de posturas y ángulos basados en tablas antropométricas, las cuales sirvieron de punto de partida para analizar ángulos y posturas en una actividad no evaluada con anterioridad. La autora generó una herramienta de laboratorio diseñada especialmente para dicha medición, la cual consistía en un Jig con regulaciones, el cual le permitía cambiar la configuración del objeto a medir, por ende, permitiendo (o forzando), distintas posturas sujetas a evaluación (ver anexos). Basándose en los ángulos de confort de Grandjean (1980), la autora realizó pruebas y se probaron distintas configuraciones, obteniendo distintos resultados correlacionados con; la medición del consumo de oxígeno, los datos obtenidos por el recorrido de las articulaciones mediante el uso de video analizado con el software Kinovea, y el análisis con electromiograma.

M. Monedero explica diversos métodos de medición obtenidos en bibliografía, entre los cuales señala la utilización de videos para realizar la captura del comportamiento de los usuarios durante una tarea. La autora explica que “los grandes cambios posturales, en especial de la pelvis, son buenos indicadores de las situaciones de incomodidad.” Por esta razón, durante su investigación realiza la medición del confort en diversas sillas, comparándolas a través de pruebas de uso. Utilizando herramientas de medición electrónicas adosadas al cuerpo de los sujetos de prueba, la investigadora obtuvo datos de cambios de postura en el tiempo, terminando con una serie de histogramas que mostraban la frecuencia e intensidad de dichos cambios. Basándose en la premisa mencionada anteriormente, identificó qué asiento era más cómodo, conociendo la cantidad de cambios de postura y comparándolos.

Para esta investigación, dicho método de evaluación es de gran utilidad. Se usará para probar y comparar los soportes obtenidos e identificar en cada uno la cantidad de cambios de postura, y así decidir si existe una mejora o no y si de las variables aplicadas surgen efectos positivos en cuanto al confort. Sin embargo, no se cuenta con los dispositivos de medición de Monedero (como el raquímetro), los cuales son complejos y muy específicos. No obstante, la autora indica el uso de la captura en video como un método válido, y por

lo tanto se utilizará éste para medir los cambios de postura en las pruebas de la presente investigación. Esto ya que se cuenta con cámaras en el proyecto, teniendo acceso a dicho recurso.



Imagen 12: Sujeto con raquímetro. Monedero M., (1998) Fuente: *Evaluación ergonómica de sillas.*

Finalmente, cabe mencionar, se cuenta con el apoyo del experto Edgardo Opazo, profesor y kinesiólogo dedicado a estudiar los efectos del deporte en el cuerpo, quien participa directamente en el proyecto Protean como consultor para el desarrollo del asiento y los componentes asociados al uso y rendimiento físico. Él se ha basado en el estudio de J. Sanhueza, con una metodología similar, y ha realizado mediciones mediante el uso de un Jig de pruebas mejorado. Esto ha permitido actualizar los datos posturales y obtener un

análisis más detallado, al contar con mayor rango de posturas posibles y configuraciones de las partes del Jig.

El proyecto del Jig está directamente relacionado al proyecto Protean, y forma parte de esta investigación. Esta es una de las ventajas del trabajo interdisciplinario, ya que la herramienta Jig fue diseñada en conjunto y ambas disciplinas se ven beneficiadas con ella.

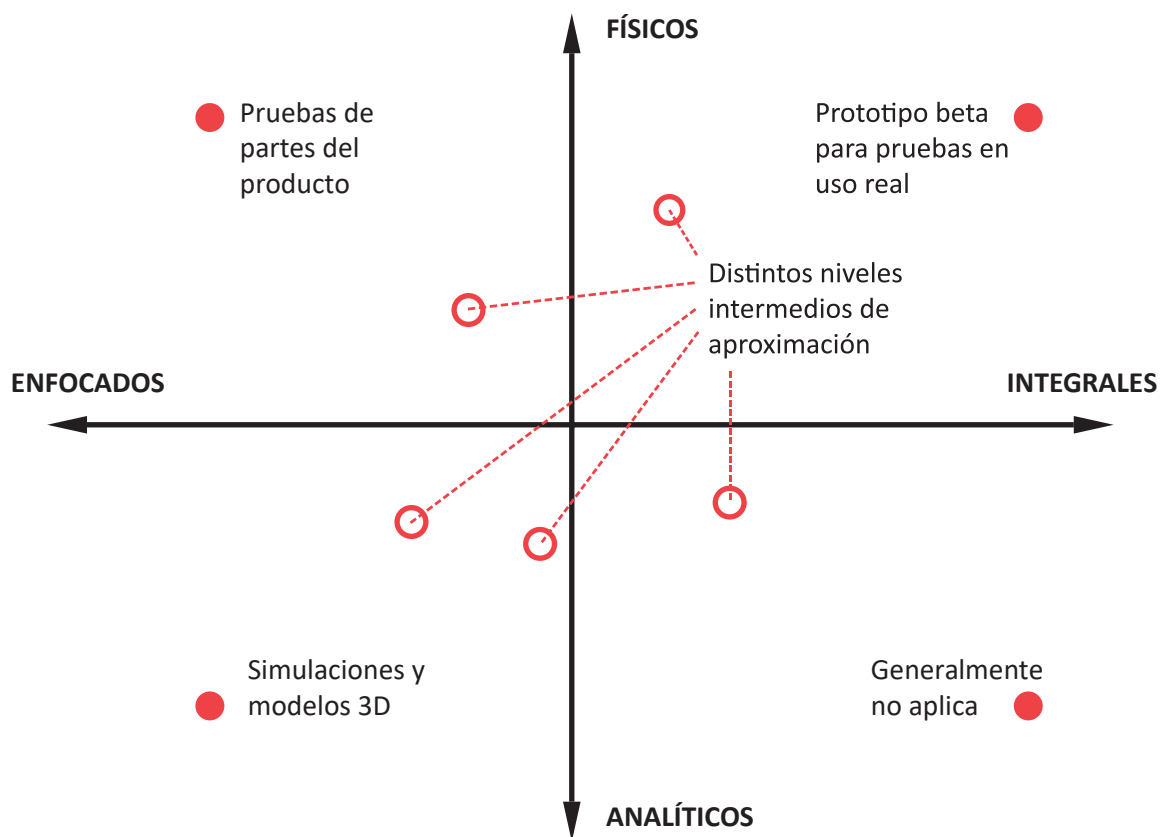
La información entregada por la herramienta ha otorgado los ángulos ideales de confort, y puede ser aplicada directamente al diseño del soporte, evitando la necesidad de estudiar dichos ángulos y pudiendo centrar la presente investigación en otros parámetros, como la curvatura, materialidad y forma del soporte.

Esta página se ha dejado
deliberadamente en blanco

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍAS COMBINADAS



METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS

Como método para abarcar el diseño del asiento, se recurrió al propuesto por Ulrich y Eppinger en su libro “Diseño y desarrollo de productos” (Ulrich K., Eppinger S., 2013). Ellos definen prototipo como “Una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés”. Con esta definición engloban cualquier entidad dedicada a exhibir aspectos de interés para el equipo de desarrollo, considerándola

como prototipo, desde bosquejos y dibujos, hasta versiones físicas funcionales del producto. La idea de utilizar esta metodología en esta investigación, es poder ir aproximándose al resultado esperado utilizando prototipos de la índole que sea necesario, probando configuraciones conceptuales y partes del “producto” final, para validar etapas y acercarse más a éste.

Figura 7: Clasificación de prototipos
Fuente: Elaboración propia.

Además, dichas aproximaciones pueden ser ideales desde la teoría, pero al ser llevadas a un prototipo permiten ser probadas, para proponer mejoras o validarlas. Para organizar los distintos prototipos, los autores proponen ordenarlos en cuatro cuadrantes, que se dividen desde prototipos enfocados a integrales, y de analíticos a físicos, como muestra la figura 7.

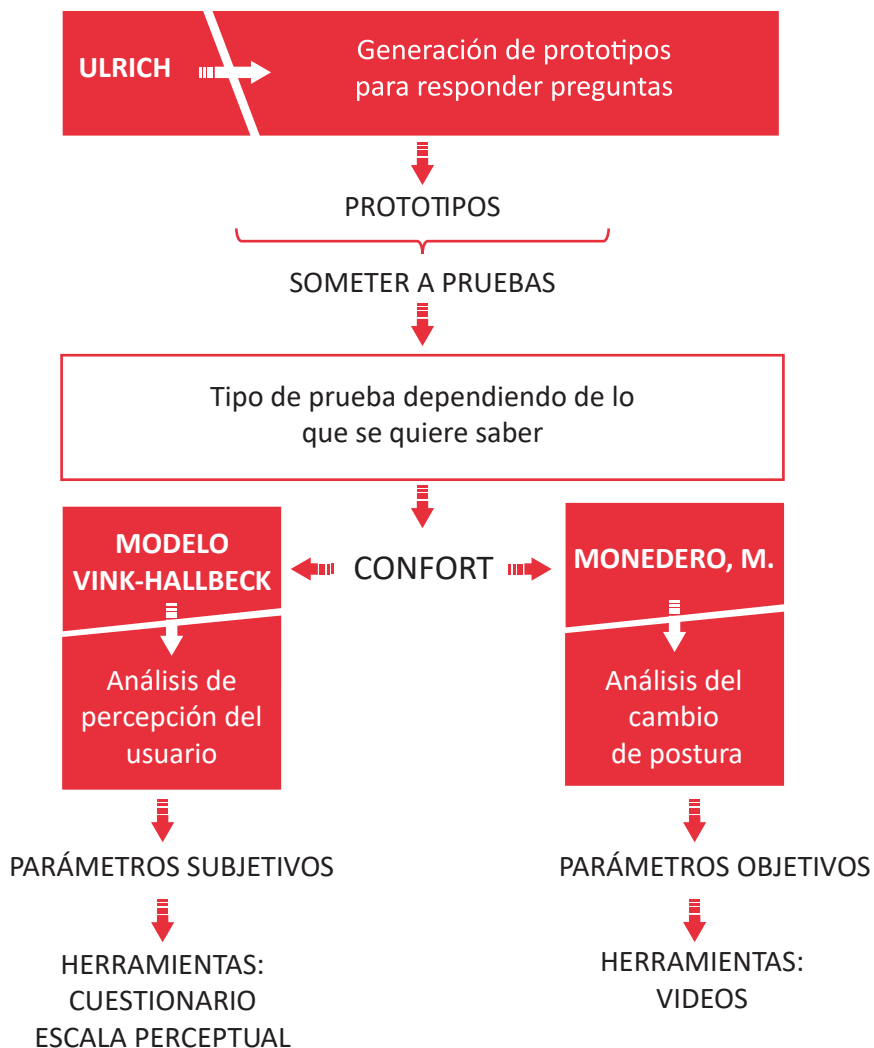


Figura 8: Mapa metodológico. Fuente: Elaboración propia.

Un prototipo enfocado permite un acercamiento de un aspecto en particular que se quiere estudiar del producto, mientras que un prototipo integral considera todos los aspectos del producto funcionando en conjunto. Por su parte los prototipos físicos son objetos tangibles que permiten evidenciar problemas en el diseño, mientras que los analíticos no son tangibles, y funcionan para realizar análisis sin requerir construirlos físicamente. A medida que se avanza en los cuadrantes, se obtienen distintos niveles de aproximación, siendo el prototipo físico integral es que más se acerca al producto final. Finalmente, y con motivos de orden y planeación, se define el propósito de cada prototipo y su nivel de aproximación. Con esto se puede generar una pequeña tabla para cada prototipo realizado y así controlar el orden del trabajo y el avance.

La metodología de Ulrich y Eppinger será la utilizada para ordenar el proceso de diseño del asiento, generando prototipos de distinta índole para así alcanzar las etapas de desarrollo y cumplir el objetivo. Esto englobará el proceso de diseño, y para la realización de las pruebas de confort a los prototipos, se utilizarán el modelo Vink-Hallbeck y el método de análisis de cambios de postura de Monedero M., como se muestra en la figura 8.

MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

Los métodos y herramientas a utilizar, obtenidos de la investigación bibliográfica y la metodología se resumen como lo indica la figura 9.

Estos se eligieron por su pertinencia y alineación con los recursos disponibles para la investigación y la concordancia con la línea investigativa del proyecto protean. Finalmente se tienen herramientas y métodos muy ligadas al diseño experimental, promoviendo la confección de prototipos y sometiéndolos a pruebas, en este caso, principalmente a pruebas de confort y uso.

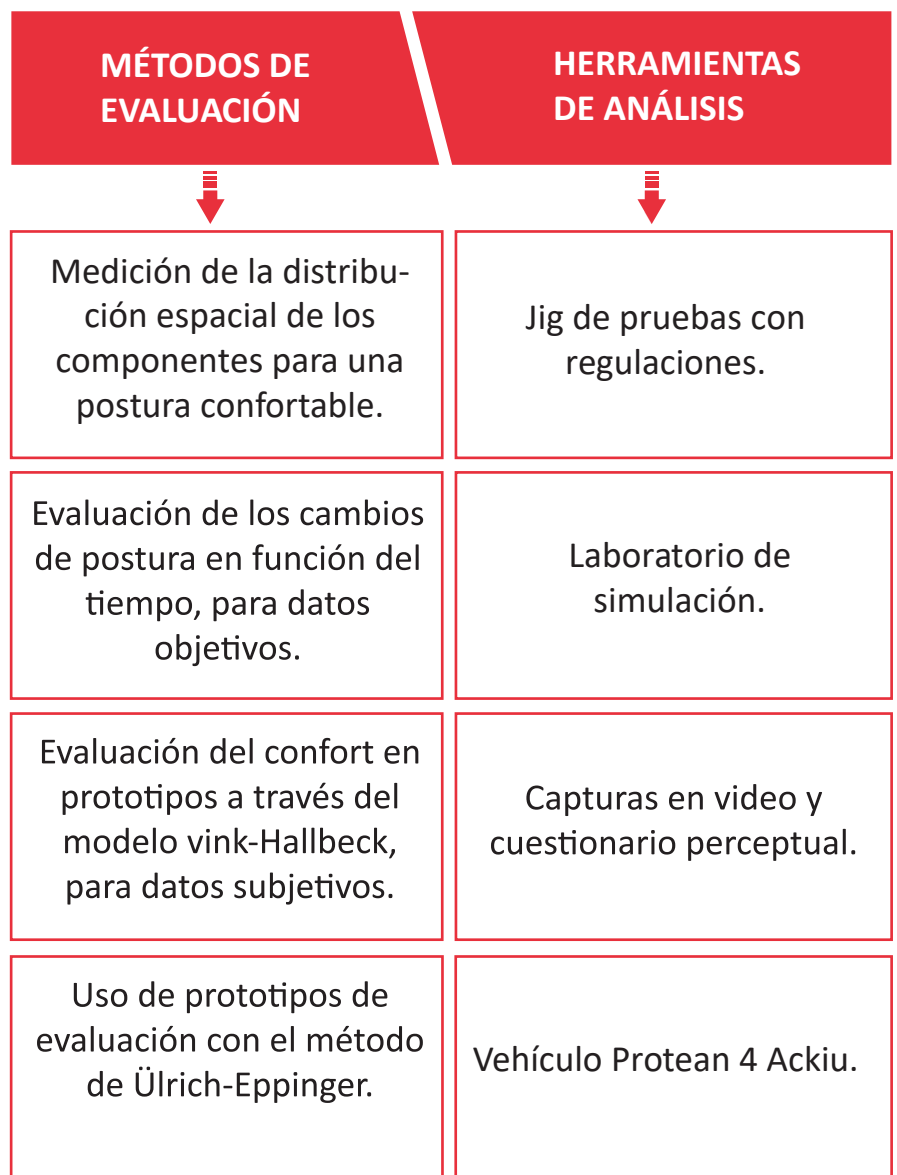


Figura 9: Métodos y herramientas obtenidas. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V

SUPERFICIES DE CONTACTO

POSTURA

Como ya se ha hablado, el asiento del velomóvil tendrá ángulos determinados dependiendo de la postura buscada, la cual se determina dado ciertos requerimientos que aluden al funcionamiento saludable y eficiente del cuerpo para realizar la actividad. La postura adoptada para conducir el velomóvil es de preferencia

reclinada o recumbente debido a que se busca bajar lo más posible el centro de masa del auto y además obtener una forma lo más aerodinámica posible. Para lograr esto la postura recumbente es ideal, sin embargo, debe existir un ángulo límite que permita al conductor ver hacia adelante y tener control sobre el auto.

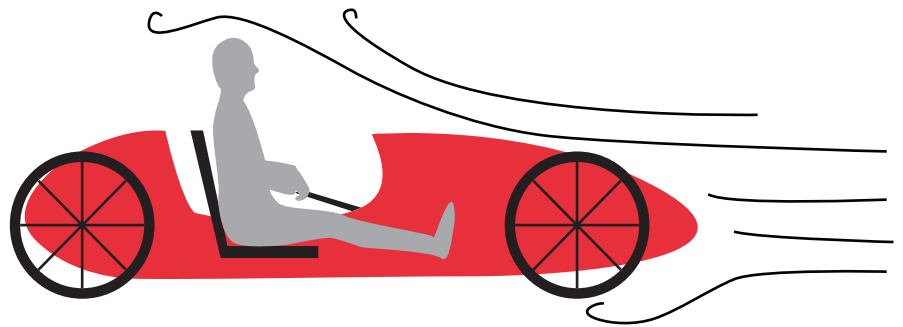


Figura 10: Choque del aire en posición sentada. Fuente: Elaboración propia.

CUERPO HUMANO

La relación entre el asiento del vehículo y el cuerpo humano es muy estrecha, ya que el primero es el que soporta al segundo y lo mantiene en su lugar. Por esto es importante conocer las partes del cuerpo que están en contacto con el asiento. Dichas zonas son la que estarán expuestas a la presión del peso del cuerpo junto a otras fuerzas.

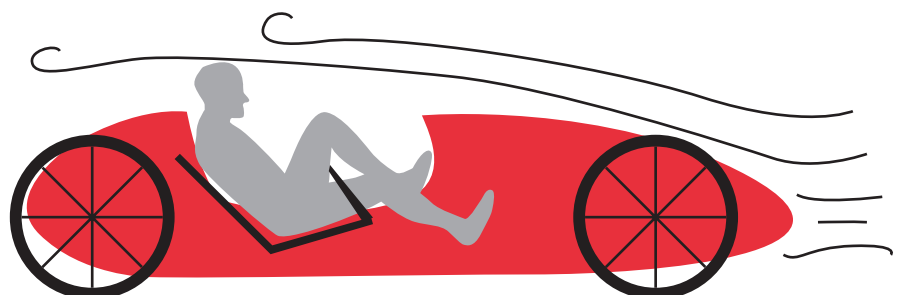


Figura 11: Choque del aire en posición reclinada. Fuente: Elaboración propia.

ZONAS DE LA ESPALDA

Basádo en el Atlas de Anatomía Palpatoria de Tixa (2006), y el conocimiento entregado por parte del equipo de kinesiología a cargo de Edgardo Opazo, se ubicaron las zonas de la espalda que pudieran estar en contacto con el asiento.

Las zonas de la espalda servirán como referencia para identificar problemas en el asiento y relacionarlas con la parte del cuerpo afectada.

Las zonas de la espalda, para facilitar su identificación, están divididas en regiones en relación a la columna vertebral (desde arriba hacia abajo): Región cervical, región torácica, región lumbar y región sacra. Cada región, como se puede ver en la figura 12 y de lo cual se hablará más adelante, tiene una determinada curvatura.

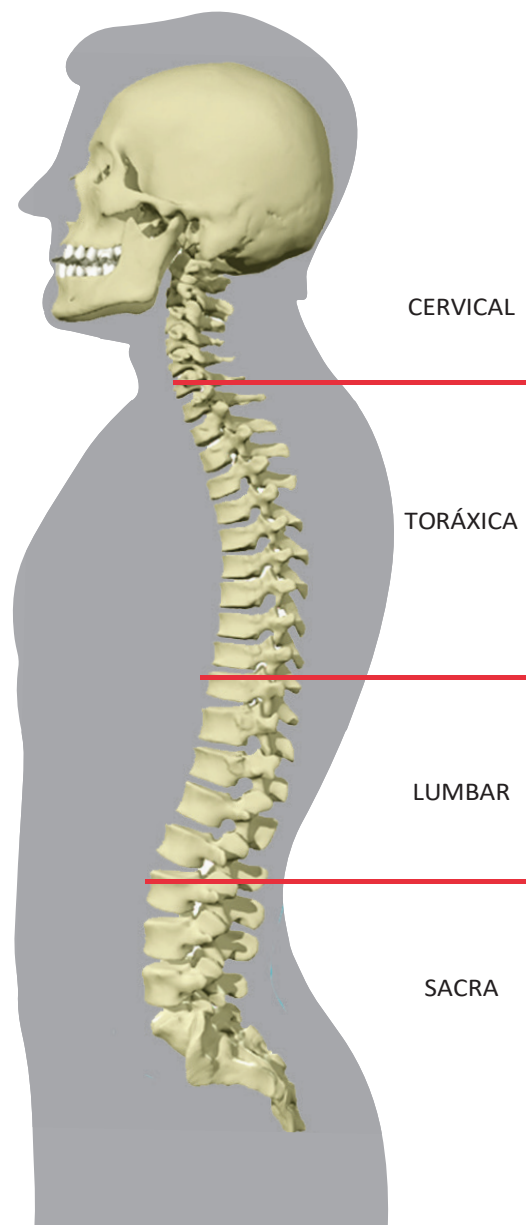


Figura 12: Zonas de la espalda. Fuente: *Elaboración propia.*

ESTRUCTURAS ÓSEAS

De las zonas de contacto existentes entre el asiento y el usuario dados por la postura existen ciertos puntos específicos de mayor presión donde se encuentran ciertas estructuras óseas. En ellas se debe poner especial atención ya que al estar presionadas se produce un menor flujo sanguíneo, provocando molestias, adormecimiento o dolor.

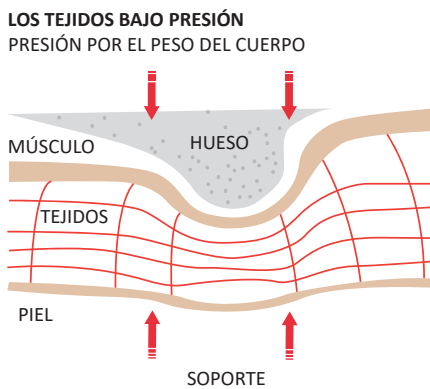


Figura 13: Presión del hueso sobre los tejidos. Fuente: *Elaboración propia.*

Dentro de las estructuras óseas que se encuentran en el cuerpo son de interés para este estudio las que forman lo que se conoce en anatomía superficial como prominencias óseas. En el campo de la medicina, tales estructuras son estudiadas ya que generan puntos de presión que en enfermos postrados por mucho tiempo pueden producir úlceras por presión llamadas escaras. Lo que sucede es que, tras ejercer una presión continua sobre una de estas prominencias óseas, se provoca un bloqueo sanguíneo (conocido

como isquemia), que da lugar a una degeneración rápida de los tejidos (grasa, músculo y hueso).

En personas donde el periodo de apoyo no es tan prolongado estas estructuras prominentes también desarrollan problemas, aunque menores, asociados a la presión que se aplica sobre ellas, como por ejemplo dolor y molestia.

En la postura recumbente en el asiento para velomóvil, las estructuras que forman puntos de presión al apoyarse son: Las escápulas (A), la columna vertebral (B), el sacro (C) y la pelvis (D).

En medicina, para mantener irrigadas estas zonas se utilizan distintos tipos de acolchado, que van desde cojines rellenos de aire, espumas, gel o silicona. Además, se intenta mantener las zonas con buena ventilación.

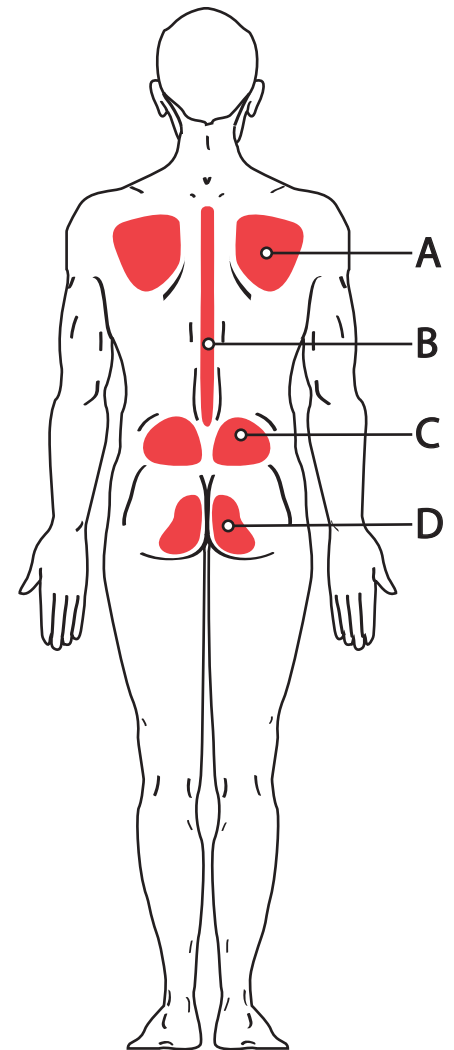


Figura 14: Zonas de contacto del asiento. Fuente: *Elaboración propia.*

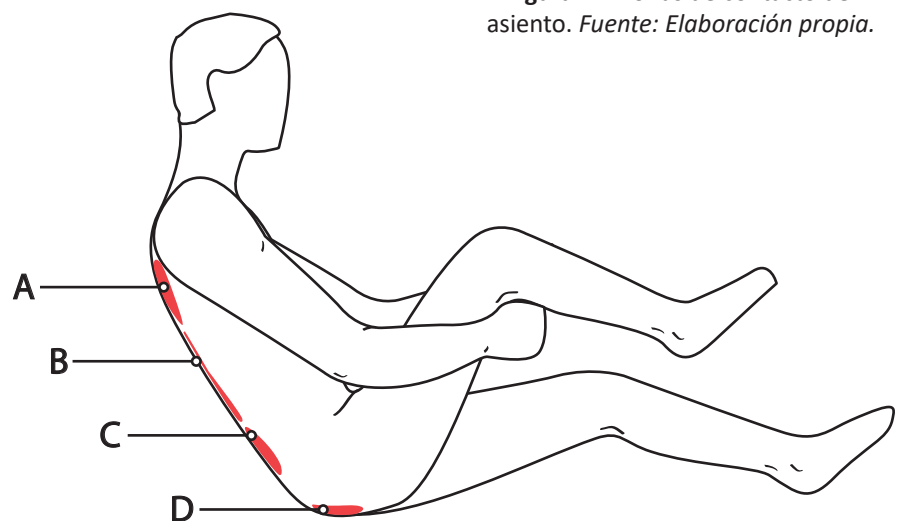


Figura 15: Zonas de contacto del asiento, vista lateral. Fuente: *Elaboración propia.*

ESCÁPULAS

Es un hueso grande, triangular y plano. Se ubica en la parte posterior o dorso-lateral del tórax. Conecta el húmero (hueso del brazo), con la clavícula. Entrega el soporte y la estabilidad al brazo. Dentro de su estructura destaca la espina de la escapula, la cual la hace sobresalir haciéndola una estructura prominente, la cual es palpable con facilidad. Hay que considerar que la escápula no está fija todo el tiempo en el mismo lugar: tiene movimiento como se ve en la imagen. Es por esto que el punto de presión de la espina de la escápula cambia un poco cuando se está realizando cualquier movimiento con el brazo.

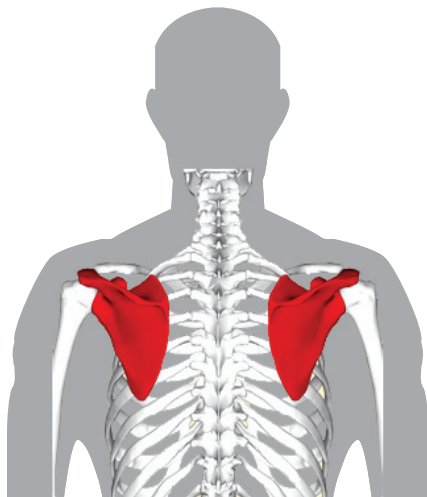


Figura 16: Escápulas en rojo. Fuente: *Elaboración propia.*

COLUMNA VERTEBRAL

La columna vertebral, es una compleja estructura de hueso y fibrocartílago, articulada y resistente, en forma de tallo longitudinal, que constituye la porción posterior e inferior del esqueleto axial. La columna vertebral es un órgano situado (en su mayor extensión), en la parte media y posterior del tronco, y va desde la cabeza (a la cual sostiene), pasando por el cuello y la espalda, hasta la pelvis a la cual le da soporte. Esta estructura es la que le permite al cuerpo mantenerse erguido, y gracias a sus articulaciones adoptar diversas posturas y ángulos principalmente del tronco.

Al estar un individuo en postura sentada con un ángulo de inclinación hacia atrás, se requerirá un respaldo que sostenga esta estructura para no forzarla ni a la musculatura que la rodea. Dicho respaldo, al relajar los tejidos y apoyar la espalda sobre él, afectará y modificará la forma de la misma; ya que esta se adaptará producto de sus articulaciones. Esto quiere decir que la forma del asiento afectará la postura final.

La columna no es recta, posee curvaturas antero-posteriores (Viendo la columna de lado), y latero-laterales (De frente). Es importante que se mantenga la integridad de las curvas de la columna para conseguir bienestar y comodidad en la persona.

CURVAS ANTERO-POSTERIORES

Se describen dos tipos de curvaturas: cifosis y lordosis. La cifosis es la curvatura que dispone al segmento vertebral con una concavidad anterior o ventral y una convexidad posterior o dorsal. La lordosis, al contrario, dispone al segmento vertebral con una convexidad anterior o ventral y una concavidad posterior o dorsal, o sea; las concavidades y convexidades de la cifosis y lordosis son contrarias. La columna vertebral humana se divide en cuatro regiones, cada una con un tipo de curvatura característica:

Cervical: lordosis.
Torácica: cifosis.
Lumbar: lordosis.
Sacro-coccígea: cifosis.

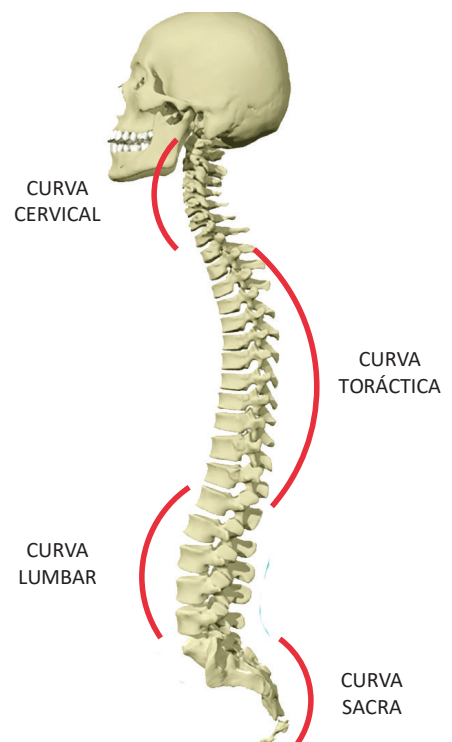


Figura 17: Curvaturas de la columna. Fuente: *Elaboración propia.*

CURVAS LATERO-LATERALES

Normalmente en la columna también existen otras curvaturas pequeñas e imperceptibles, y en el mejor de los casos tales no existen. Cuando se presenta una anomalía muy notable en dicha curvatura, se denomina escoliosis. Esta se suele dar en el lado contralateral al lado funcional del cuerpo, que por ejemplo en una persona diestra se manifestaría en una convexidad izquierda.

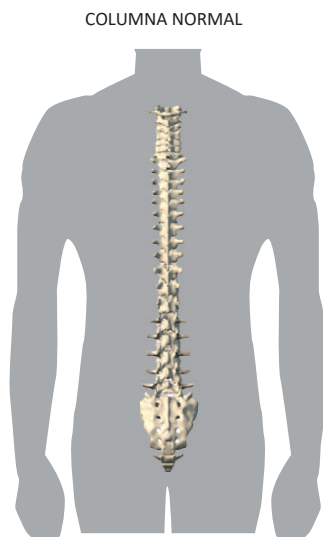


Figura 18: Columna recta. Fuente: *Elaboración propia.*

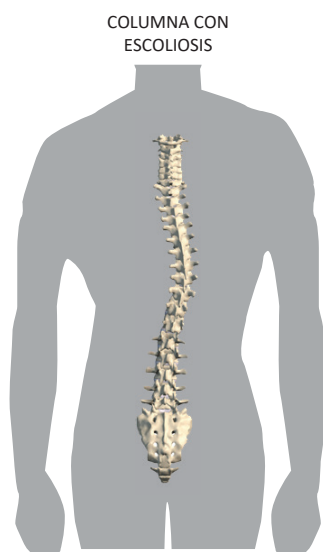


Figura 19: Columna con escoliosis. Fuente: *Elaboración propia.*

SACRO

Es un hueso corto, impar, central, simétrico y oblicuo, compuesto por cinco vertebrae soldadas en forma de pirámide cuadrangular (es decir, es como si fuera un solo hueso), con una base, un vértice y cuatro caras, anterior, posterior y laterales. Sus alas sacras en las zonas laterales, se unen con la pelvis, y es, en otras palabras, lo que conecta la columna vertebral con la pelvis.

Se encuentra del coxis y entre los huesos coxales (aquí es donde se une con la pelvis), con todos los cuales se articula. Su función principal es transmitir el peso del cuerpo a la cintura pélvica. Pelvis:

La pelvis está compuesta por dos huesos; los huesos coxales. Cada hueso coxal en realidad son tres huesos fusionados antes de nacer, estos huesos son el ilión, pubis e isquion, y les dan nombre a las tres zonas del hueso coxal. La parte de abajo y hacia posterior del hueso coxal corresponde al isquion, y el isquion posee una prominencia ósea llamada espina isquiática, la cual es la que apoyamos al sentarnos.

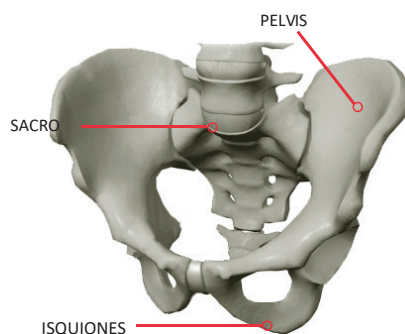


Figura 20: El sacro, los isquiones y la pelvis. Fuente: *Elaboración propia.*

CONCLUSIÓN

Dentro de las partes del cuerpo existentes, para el desarrollo del asiento se requiere un apoyo que soporte la zona posterior del tronco. En esta zona nos importa principalmente dar soporte a la parte estructural del cuerpo, la cual es el esqueleto, y de éste, las estructuras óseas que están en contacto. Entendiendo que el cuerpo es un sistema integral, el enfoque se da principalmente en las zonas de contacto inmediato entre la persona y el soporte. Esto resultó ser la estructura de la espalda y la pelvis y las estructuras y prominencias óseas que allí se encuentran. Las estructuras óseas en primer lugar son importantes porque al estar articuladas cambian al adaptarse a la forma de una superficie. Las zonas con prominencia a su vez, son importantes ya que se ejerce mayor presión sobre los tejidos blandos entre medio de una prominencia y el mismo asiento, volviéndolas zonas críticas. Esto no quiere decir que el resto de las zonas de apoyo de la espalda (como músculos, piel y otros), no sufran estrés. Sin embargo, este es menor y se les dará menos prioridad y enfoque. Por otro lado, para repartir la presión sufrida por el cuerpo en la mayor cantidad de puntos posibles, todas las zonas de apoyo son de utilidad, exceptuando que por otros criterios se consideren inconvenientes. Es por esta razón que se buscará obtener la mayor zona de apoyo posible en el soporte corporal.

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI

PROYECTO JIG

PROYECTO JIG

En los métodos propuestos para evaluar el confort por M. V. Monedero (1998), se incluye el uso de dispositivos regulables como herramienta para probar distintas configuraciones de las partes de un objeto (en este caso un asiento). Ahí se explica que estos son de gran utilidad debido a la multiplicidad de ajustes que permiten, pero que por otro lado son de alto coste y complejidad. Para el estudio de la configuración del asiento del velomóvil dicha herramienta es fundamental ya que de otra forma no sería posible determinar los ángulos y distancias óptimas para un buen

pedaleo y confort. Entonces, para obtener una postura eficiente y cómoda, fue necesario generar un dispositivo regulable, que permitiera medir la distancia entre el piloto y el eje de pedaleo, tanto como los ángulos del asiento y respaldo, para luego aplicarlos en el diseño del asiento.

Para esto se desarrolló un Jig de pruebas el cual consiste principalmente en un producto de laboratorio, que permite obtener las distancias de los componentes interiores del vehículo Protean IV que están directamente relacionados a la tracción

biomecánica del mismo. Entre dichos componentes se centra la atención principalmente en el asiento del auto, el cual permite al piloto acomodarse en una postura que le permita operar el vehículo y el eje de pedaleo, que es el que transforma la energía biomecánica del piloto en tracción para el auto. Esta herramienta debe permitir desarrollar pruebas de simulación del pedaleo del vehículo, lo cual brinda datos e información que sirven para determinar en qué postura se logra la mejor eficiencia de tracción biomecánica.

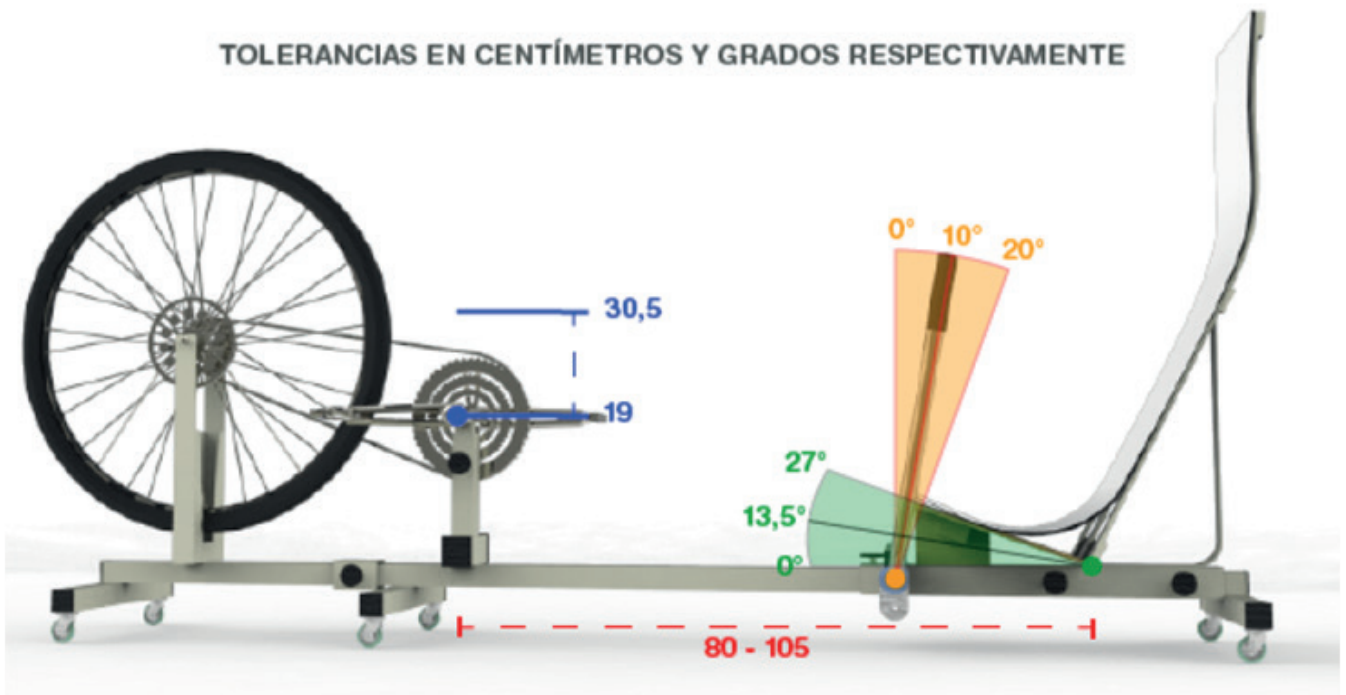
TRABAJO INTERDISCIPLINARIO CON KINESIOLOGÍA

Una de las disciplinas más cercanas al diseño industrial en cuanto a la relación del usuario de un producto y el mismo, es la ergonomía. Esta nos ayuda como diseñadores a entender mejor el comportamiento del cuerpo humano, y basados en esto poder diseñar productos que se adapten mejor y funcionen con naturalidad. Por esta razón es que el trabajo en el proyecto Protean requiere de la participación de docentes y estudiantes de kinesiología, los cuales manejan con mayor autoridad la ergonomía y entienden el comportamiento del cuerpo humano. Dado esto, el proyecto Protean IV se vuelve de carácter interdisciplinario, permitiéndole enormes posibilidades de progreso a nivel de eficiencia, comodidad e interfaz usuario máquina. Trabajando en conjunto, se diseña la herramienta apropiadamente para poder establecer los parámetros críticos del asiento. Además, cuentan con un laboratorio con los implementos necesarios para realizar las pruebas.

ANTECEDENTES Y CONTINUIDAD

Durante el proyecto de título realizado por Javiera Sanhueza se construyeron distintos jigs con el propósito de diseñar el habitáculo del Protean II. Ahí se estudiaron los ángulos de confort del piloto para dicho velomóvil, principalmente de la extensión de las piernas, basándose en las tablas de ángulos de confort existentes para la postura sentada, y los propios conocimientos del equipo de kinesiología. Esta investigación generó una herramienta que entregó parámetros críticos a la hora de diseñar el asiento para el vehículo en cuestión, y por lo tanto es un punto de partida ideal para el diseño de la versión actual. Durante la investigación se generaron tres Jigs de pruebas, cada uno siendo una iteración del anterior para realizar mejoras. En su fase final, el Jig permitía ajustar la distancia horizontal entre los pedales y el asiento, subir y bajar el eje de pedaleo, y cambiar el ángulo de la base del asiento. Este Jig satisfacía las necesidades de aquel proyecto dado que el carenado estaba prediseñado y por lo tanto las dimensiones del habitáculo no se podían cambiar. Esto hacía que el diseño del Jig realizado por Sanhueza fuera demasiado restringido para el proyecto actual, el cual goza de las libertades que permite realizar un diseño del auto desde cero.

TOLERANCIAS EN CENTÍMETROS Y GRADOS RESPECTIVAMENTE



- Altura eje pedaleo
- Distancia vértice asiento y eje de pedaleo
- Inclinación base asiento
- Inclinación controles

Imagen 13: Jig de pruebas. Sanhueza J.,(2013). Fuente: Modelo para diseñar un habitáculo confortable para velomóvil.

Por lo dicho anteriormente, el jig de Sanhueza no es completamente homologable a la investigación actual y por lo tanto se requiere un rediseño.

En resumen, las limitaciones son las siguientes:

-El fuselaje del Protean II es un molde exacto del fuselaje de un aeroplano, y por lo tanto no está diseñado con los criterios de un velomóvil. Esto afecta principalmente al volumen de espacio disponible, limitando las posibilidades de ubicación de los componentes.

-No considera todas las posibilidades de regulación espaciales, limitando la configuración de los componentes.

Junto a esto, el conocimiento y experiencia que brinda la herramienta desarrollada por Sanhueza, destacan:

-Permitió explorar las posibilidades de este tipo de herramienta regulable y conocer sus limitaciones actuales.

-Se pueden considerar las regulaciones actuales y se sabe cuáles son necesarias y cuáles deben incluirse en una nueva versión.

-Validó el método de estudio a partir de dicha herramienta en conjunto con la utilización del software y los criterios de evaluación.

Con todo, la investigación permitió una gran base de conocimiento para la realización de la herramienta actual, asegurando un alto porcentaje de éxito para la siguiente fase.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL JIG DE PRUEBAS

Este dispositivo regulable debe permitir mover el asiento en el espacio, independientemente del eje de pedaleo. A la vez, es necesario otorgar libertad en los ángulos del asiento, altura del eje de pedaleo y distancia eje – asiento. Todo esto para tener un amplio rango de trabajo en la ubicación de los componentes y así decidir la configuración ideal. Los rangos requeridos fueron entregados por el equipo de kinesiología, quienes los consideraron para abarcar mediciones para el 5 hasta el 95 percentil; tener holgura para un amplio margen de error; y contar con una gran variedad de posibilidades para probar diversas hipótesis (como, por ejemplo, decidir la conveniencia entre ubicar el eje de pedaleo sobre o bajo el eje del asiento).

REQUERIMIENTOS JIG

- **El Jig debe ser lo suficientemente resistente para soportar las fuerzas producidas por el peso del piloto y el pedaleo.**
- **Los sistemas de regulación deben asegurar que el Jig mantenga sus distancias fijas una vez asignadas.**
- **Los sistemas de regulación deben ser fáciles de usar para el personal de kinesiología, y lo más simples posibles para cambiar la configuración rápidamente durante las mediciones.**

REGULACIÓN	DIRECCIÓN	RANGO (En mm o Grados)
Horizontal	Distancia asiento – eje pedaleo	650 a 1370 mm
Vertical	Altura del asiento	360 a 530 mm
Angular	Altura del eje de pedaleo	500 a 740 mm
Angular	Ángulo de la base del asiento	0° a 19°
Angular	Ángulo del respaldo del asiento	39° a 83°

Figura 21: Tabla de requerimientos Jig. Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL JIG

Para cumplir con los requerimientos del producto, se buscó cuál sería un material resistente, fácil de trabajar y que permitiera ajustes firmes. Como el peso no se consideraba un factor crítico (es más, permitía darle estabilidad al modelo, ya que se fijaría al piso con su propio peso, evitando moverse de su lugar al hacer las pruebas dinámicas sobre él), se tomó la decisión de fabricar la herramienta en perfilera metálica, así como en planchas de acero y otros componentes como pernos y tuercas del mismo material, los cuales podían ser soldadas y cortadas con facilidad y con ellos fabricar los sistemas de regulación. Además, al analizar referentes como aparatos utilizados para entrenamiento físico (máquinas de ejercicio para gimnasios, pesas, bicicletas estáticas y otros), los cuales están sometidos a condiciones similares al jig propuesto, se validaba aún más este método de fabricación, ya que en su mayoría utilizan dichos materiales.

ESTRUCTURA PRINCIPAL

Para el diseño del jig, la estructura principal era el diseño menos complejo si la estructura fuera fija y no requiriera cambios de longitud y ángulos en sus partes. Sin embargo, al requerir dichas regulaciones, esta debía estar dividida en partes para permitir alejarlas o acercarlas entre sí mediante articulaciones, rieles u otro tipo de sistema de ajuste. Finalmente, lo que se tiene es una estructura básica discontinua, ya que está cortada en los puntos requeridos para su regulación.

Los sistemas de ajuste fueron el componente de mayor complejidad. Se realizaron dibujos donde se analizaron diversos sistemas de regulación para piezas metálicas utilizados en otros sistemas, para decidir el más conveniente en cada caso, poniendo énfasis en la factibilidad de fabricación utilizando los recursos disponibles. Dichos recursos consistían principalmente en perfiles de acero de distintas medidas, pernería de acero, madera terciada, y diversas herramientas tanto manuales como eléctricas para trabajar dichos materiales, así como insumos para pegado y uniones.

Luego se realizó la confección de un modelo digital tridimensional para evaluar las uniones y regulaciones concebidas en el papel, utilizando las medidas de los materiales a utilizar (como el ancho, largo y espesor de los perfiles de acero, por ejemplo). Probadas dichas medidas y configuraciones, se generaron planimetrías para fabricar las piezas.

En ciertas ocasiones el modelo digital no bastaba para realizar distintas pruebas de configuración, o era demasiado lento. Por este motivo se tomó la decisión de confeccionar prototipos en papel o cartón para así analizar rápidamente el funcionamiento y dimensiones generales de piezas más complejas y poder realizar ajustes rápidos en el modelo de tamaño original.

Estos prototipos físicos enfocados permitieron analizar rápidamente el comportamiento de piezas como el sistema de regulación del ángulo del asiento y respaldo, el cual debió ser rediseñado luego de su fabricación, ya que no permitía un ajuste estable.

Finalmente, se unieron todos los componentes y se probaron, para luego pintar y terminar las piezas, estando listo para realizar las pruebas de pedaleo recumbente y encontrar la relación óptima de ángulos y distancias.

FUNCIONAMIENTO DEL JIG

El principal requerimiento para el desarrollo del modelo Jig es que permita la movilidad de los componentes en los distintos ejes del plano. Esto quiere decir que sea capaz de mover cada uno de sus componentes independientemente, considerando largos, alturas y ángulos para ofrecer un vasto margen de combinaciones y así obtener un amplio estudio de la eficiencia y confort del piloto al pedalear.

(Figura 22): A: tanto el respaldo como la base se pueden ajustar angularmente. B: Altura regulable. C: Distancia regulable. D: Ensamble de la estructura. E: Altura regulable del eje. F: Eje de pedaleo. G: Rodillo de entrenamiento.

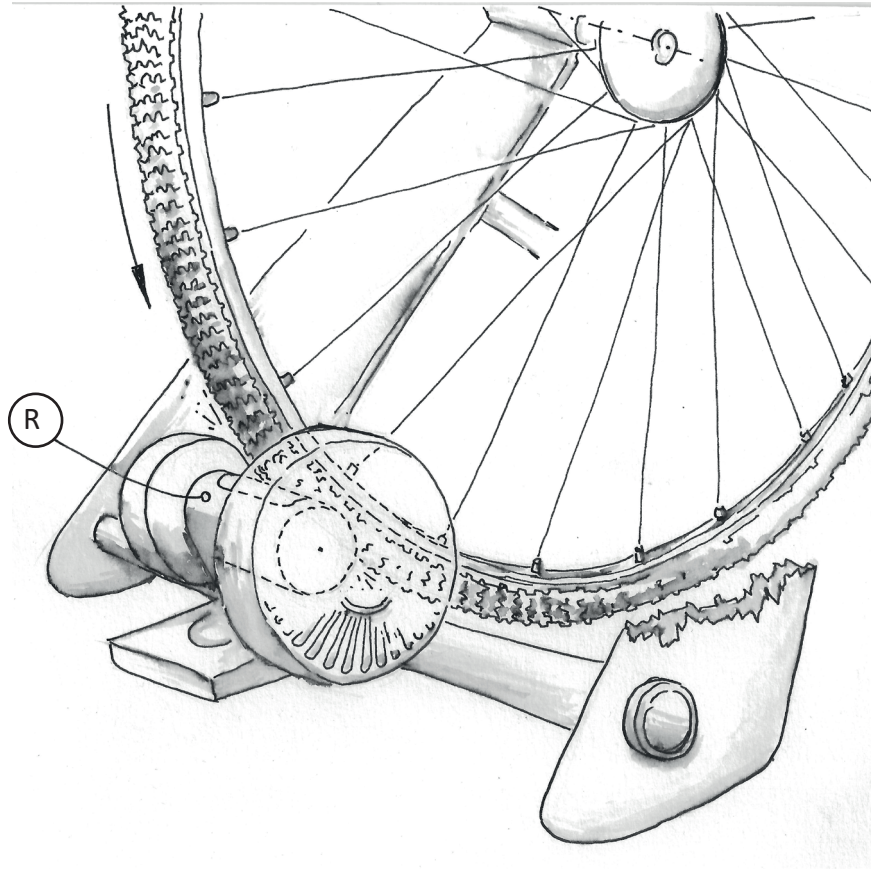


Figura 23: Rueda girando con rodillo.
Fuente: Elaboración propia.

(Figura 23): R: La rueda de la bicicleta al girar se encuentra con la resistencia del rodillo, el cual permite simular el rodado en pista.

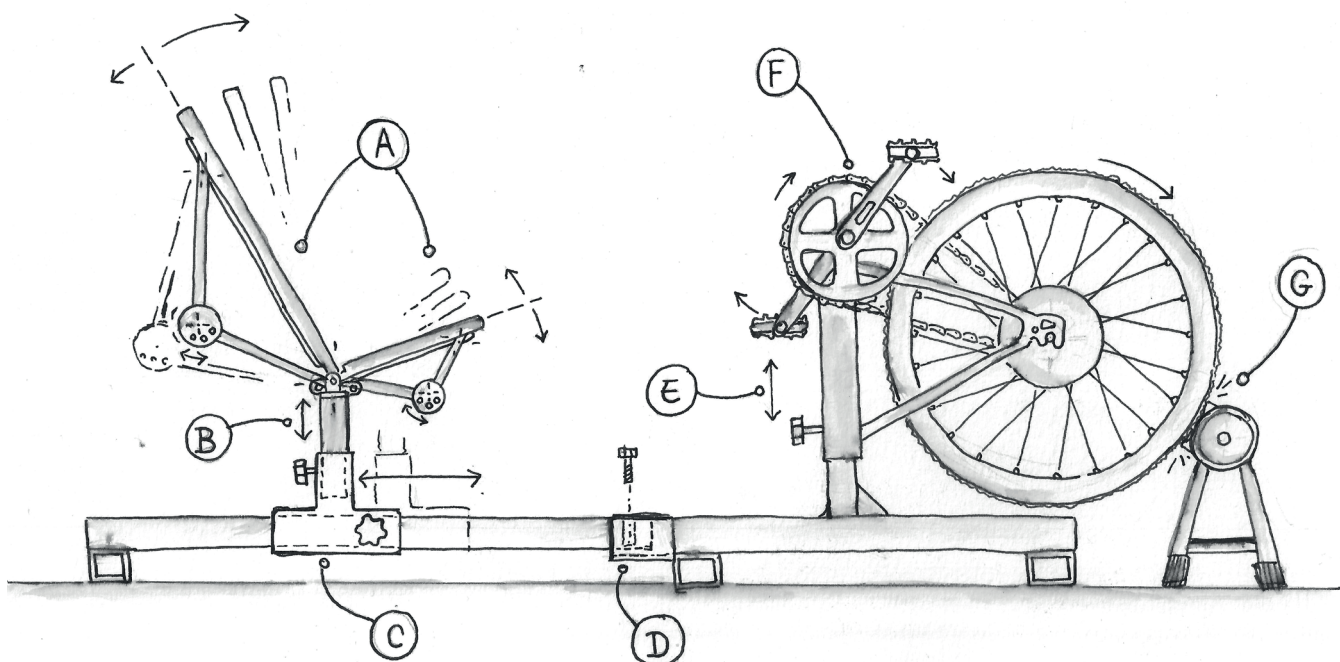
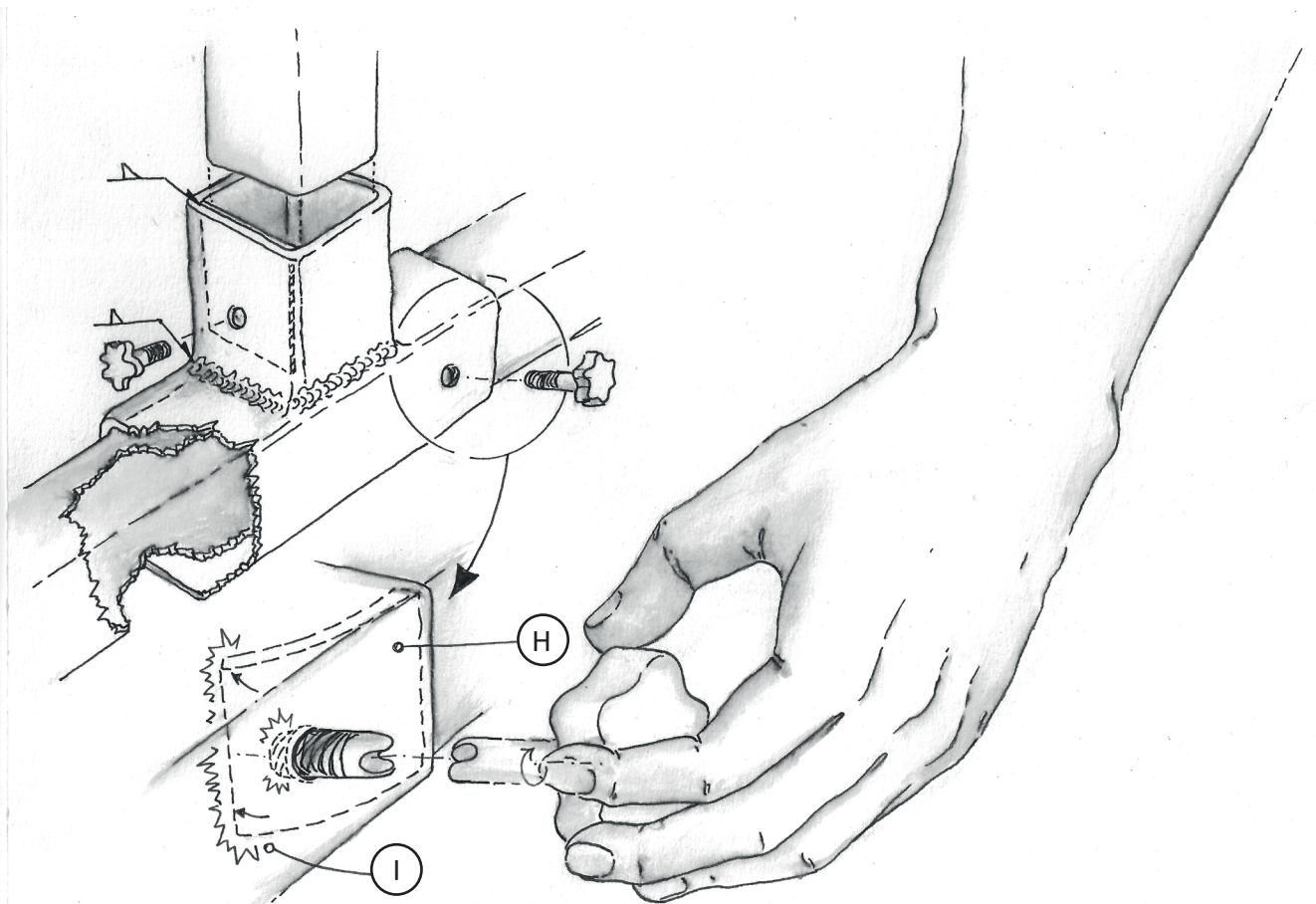


Figura 22: Partes del Jig y su propósito. Fuente: Elaboración propia.



(Figura 24): H: Placa soldada en el extremo. I: al girar el perno la placa reparte la fuerza, aumentando el área de presión.

Esto permite aumentar el roce, asegurando mejor las restricciones en las uniones.

Figura 24: Accionamiento de las regulaciones. Fuente: *Elaboración propia.*

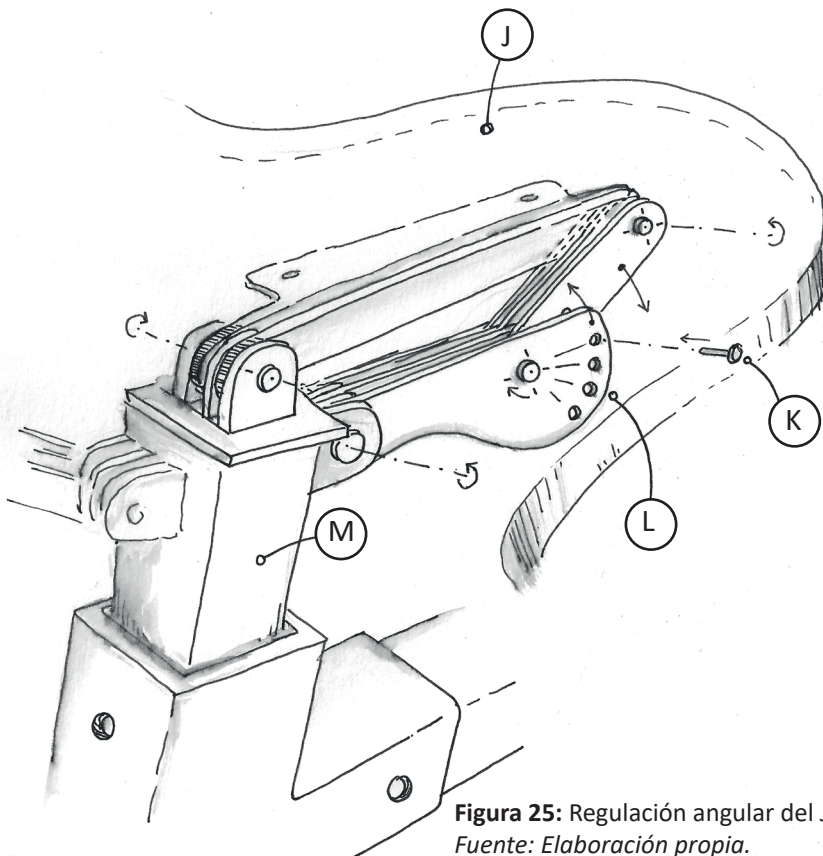
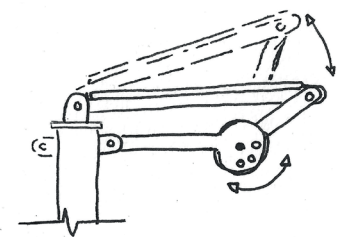


Figura 25: Regulación angular del Jig. Fuente: *Elaboración propia.*



(Figura 25): J: Superficie de la base del asiento. K: Pasador para bloquear la regulación. L: Regulación pivotante con posiciones. M: Soporte del asiento, funciona como base y permite la regulación de la altura. Todas las piezas están diseñadas para pivotar libremente hasta que se restringen con un pasador.

PRUEBAS

Para evaluar las diversas posturas, lo que se hace es medir contantemente el consumo de oxígeno de la persona mientras esta mantiene una potencia de pedaleo constante. La idea es mantener una variable fija (en este caso la potencia del pedaleo), y mover la variable "postura". De esta combinación resultará un valor de consumo de oxígeno, que debiera variar según varía la postura. Lo esperado es obtener la postura que resulte en el

menor consumo de oxígeno posible, a la misma potencia, en comparación a las otras combinaciones.

Por ejemplo:

El consumo de oxígeno variará en función de la postura adoptada. En este caso la postura más conveniente sería la "A", al proporcionar un menor consumo de oxígeno. Sin embargo, la postura final dependerá también de otros factores.

Postura (Variable)	Potencia (Constante)	Consumo Oxígeno (Resultante)
Postura A	200 watt	100
Postura B	200 watt	150
Postura C	200 watt	200

Figura 26: Ejemplo de las variables evaluadas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 14: Jig de pruebas en laboratorio de kinesiología. Fuente: Elaboración propia.

DETERMINANDO LAS POSTURAS

Para determinar las distintas configuraciones del jig que darán la postura, primero se trabaja con el largo de piernas del sujeto. Esto debido a que se requiere que este alcance los pedales desde la posición sentada. Además, existe un ángulo ideal de flexión de las rodillas, el cual debe permitir estirar las piernas lo más posible en el punto más lejano de los pedales, pero que el ángulo de la rodilla no se abra al punto de bloquear la articulación. Esto permite obtener el máximo de potencia del sujeto.

Ya habiendo definido la distancia horizontal entre el eje del asiento y el eje de pedaleo, se define la diferencia de altura entre ambos ejes. Esta diferencia es más compleja de determinar ya que cualquier rango podría ser válido mientras las piernas logren alcanzar los pedales y mantener el ángulo de flexión óptima. Sin embargo, existían dos opciones claramente diferenciadas: La posición del eje de pedaleo sobre el eje del asiento o bajo el mismo. Junto con esto, los ángulos de los componentes del asiento (base y respaldo), tendrían incidencia ya que deberían adaptarse para que las piernas pudieran ejercer correctamente la acción del pedaleo. Es por esto que se debían hacer pruebas variando dichas alturas y ángulos para encontrar la postura óptima.

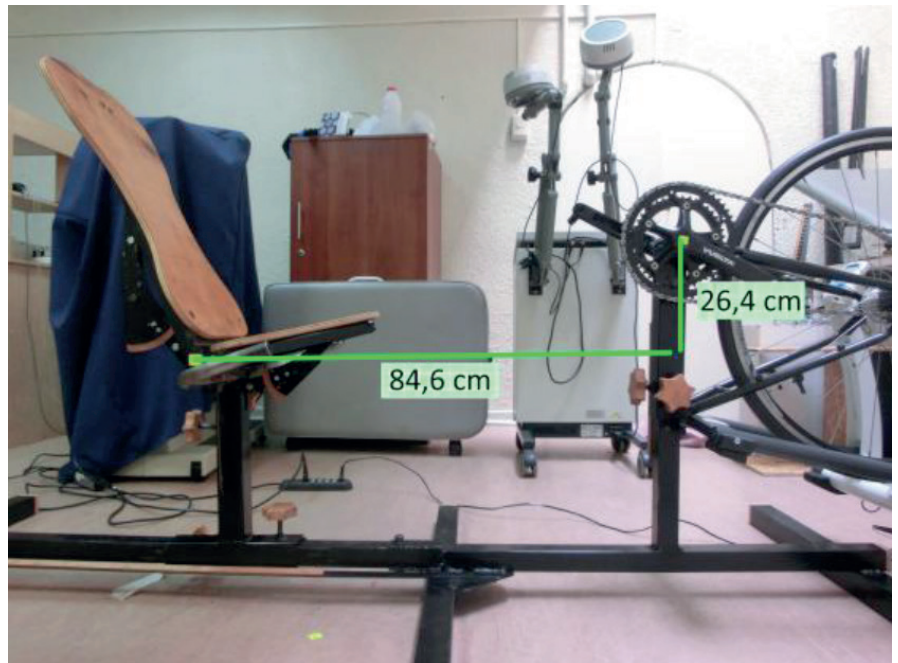


Imagen 15: Obtención de medidas en laboratorio. Fuente: Edgardo Opazo.

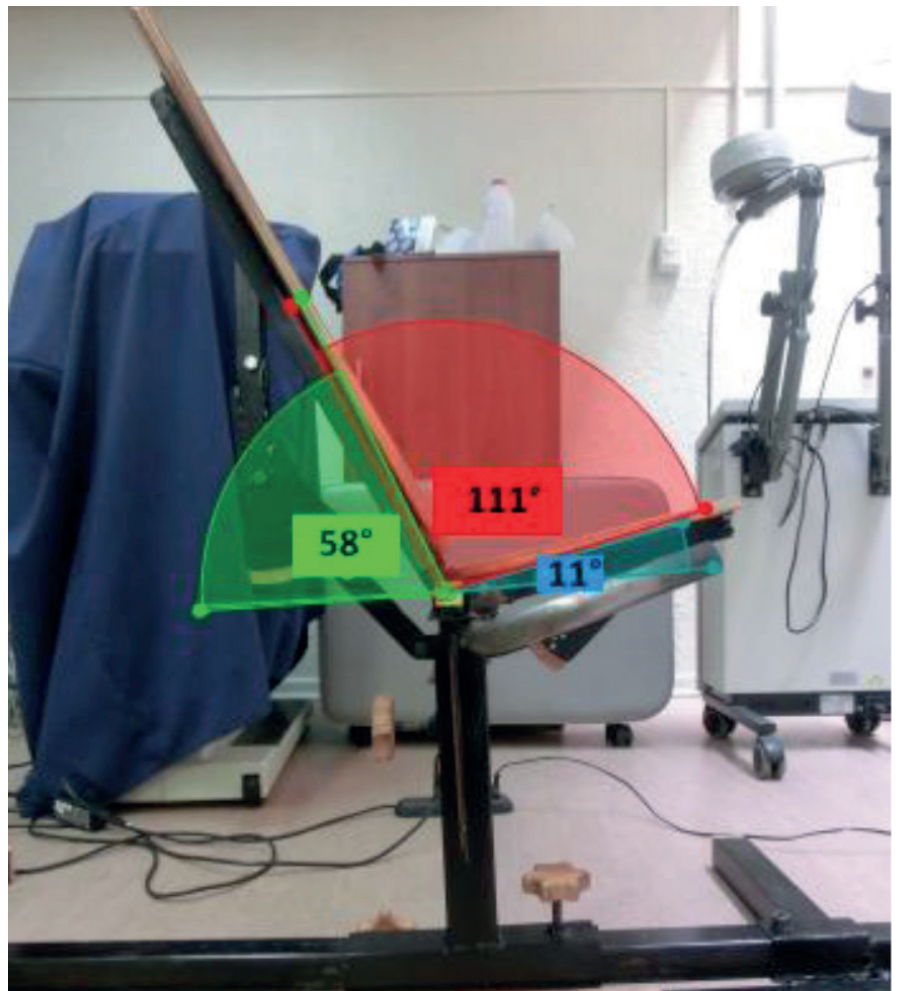


Imagen 16: Obtención de ángulos en laboratorio. Fuente: Edgardo Opazo.

RESULTADOS

Se descartó la ubicación del eje del asiento sobre el eje de pedaleo ya que el ángulo de la base del asiento no permitía extender por completo las piernas, debido al choque de las mismas con las aristas de la base. Además, si el ángulo de la base bajaba del eje horizontal (inclinando la base del asiento hacia abajo), para permitir que las piernas pudieran extenderse sin chocar, se conseguía el efecto adverso de que el sujeto resbale del asiento por la fuerza de gravedad, teniendo que hacer un esfuerzo extra para mantenerse en su posición. Por esta razón se probaron las posturas dentro del rango del eje de pedaleo sobre el eje del asiento.

Por otro lado, se probaron los distintos grados de inclinación del respaldo del asiento, teniendo en cuenta, sin embargo, el ángulo definido en las bases de la carrera (35°), el cual debía respetarse en la configuración final. De los resultados, afortunadamente el valor óptimo obtenido fue muy cercano a dicho valor. Finalmente, se obtuvieron los rangos ideales para cada uno de los pilotos y se confeccionó también un rango promedio entre los dos, dado que las variaciones entre los ángulos de la base y el respaldo entre los dos eran menores. Sin embargo, para la altura y separación entre los ejes de pedaleo y asiento se debían respetar los resultados

de cada piloto, ya que la ambos mantenían una gran diferencia en el largo de piernas. Para resolver esto en la configuración final, se propuso respetar las distancias para el piloto de mayor percentil y confeccionar un sistema de ajuste en el auto que permitiera variar la altura y distancia eje-asiento para el piloto de menor percentil.

MEDIDAS SUGERIDAS PARA EL MODELO FINAL

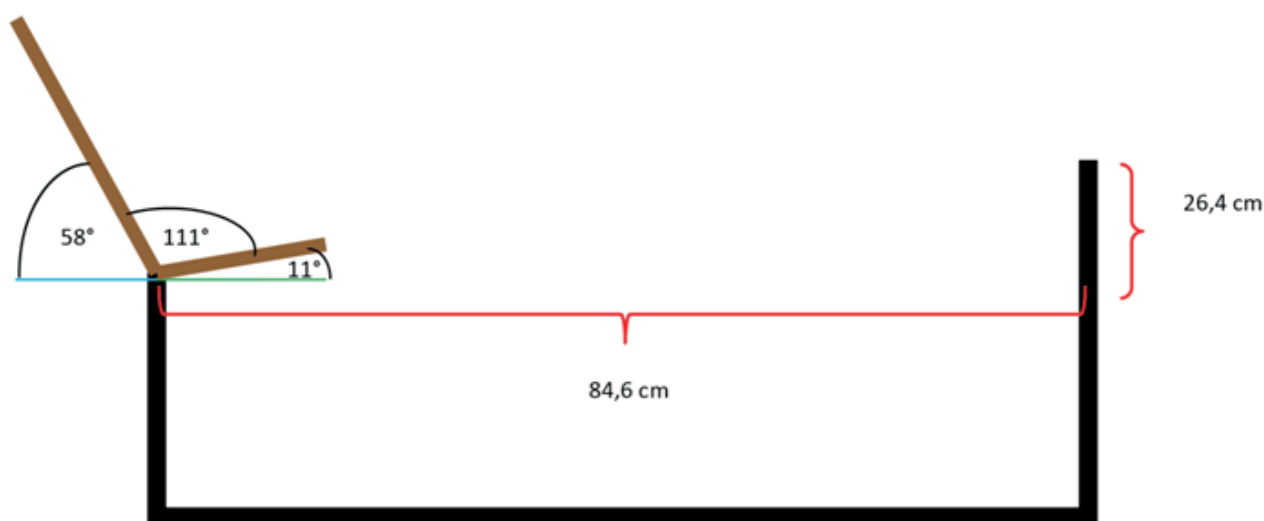


Figura 27: Medidas resultantes de la medición. Fuente: Edgardo Opazo.

Esta página se ha dejado
deliberadamente en blanco

CAPÍTULO VII

CAPÍTULO VII

CONDICIONES DINÁMICAS



Imagen 17: Prototipo Alfa con asiento plano. *Fuente: Elaboración propia.*

PROTOTIPO ALFA

Durante el desarrollo del Protean IV fueron aplicadas las medidas y ángulos del asiento obtenidas en el estudio de la postura realizado con el Jig. Esto se tradujo en el diseño de un prototipo alfa del vehículo, diseñado en conjunto con el equipo Protean, y creado con la intención de probar el comportamiento del vehículo en uso.

Conocer la configuración del vehículo y el comportamiento del mismo va en directa relación a cómo se conduce y qué efecto tiene sobre el usuario. Para ello es necesario comprender su funcionalidad, sus partes, y tener la posibilidad de probarlo y entenderlo desde el lugar de éste. Junto con esto, manejar la configuración del vehículo permitirá considerar la mejor forma de evaluar el confort del usuario utilizando el vehículo como instancia de prueba.

Para ello se indica a continuación la configuración del prototipo alfa, sus partes y funcionalidad de cada una.

- **Tracción biomecánica en la rueda delantera, conectada al eje de pedaleo por una sola cadena.** Esta característica implica que el vehículo si no se encuentra utilizando la tracción eléctrica es capaz de moverse desde su eje delantero, permitiendo un mayor control del auto en esta sección.

- **Mandos laterales para la dirección.** Permiten y a la vez implican que los brazos del piloto se encuentren a los lados del cuerpo, creando una postura y configuración particular de la geometría del cuerpo.
- **Dirección del vehículo en la rueda trasera.** Esto implica un giro del vehículo de manera más “sensible”, provocando que un movimiento pequeño en la acción de los mandos se traduzca en un giro brusco del sistema de dirección, el cual debe ser controlado de forma gradual. Tal condición significa posibles movimientos violentos y un rápido cambio en el balance del eje del piloto.
- **Motor eléctrico en la rueda trasera.** Al contar con esta cualidad, el vehículo tiene la posibilidad de alternar dos tipos de tracción o sumarlas para tener tracción delantera y trasera. Tal posibilidad probablemente ayudará a la estabilidad del vehículo, especialmente al tomar curvas o mantenerse en línea recta por un periodo constante, traduciéndose en una mayor estabilidad y equilibrio del usuario.
- **Ruedas de apoyo laterales basculantes.** Brindan seguridad y estabilidad para el usuario, permitiéndole mantener su eje recto a bajas velocidades o en velocidad cero. Además, al ser basculantes y contar con amortiguación permiten al vehículo inclinarse en las curvas y luego volver a la posición de

inclinación cero. Esto último también da la posibilidad al piloto de utilizar su propio peso para inclinar el vehículo cuando lo desee. Por otro lado, estas características implican que el usuario debe estar bien asegurado en su posición para no caer del velomóvil o quedar en una posición incómoda.

- **Posición del asiento recumbente.** Esta característica es preferible por la eficiencia que tiene dicha postura al realizar el pedaleo y por permitir un avance más aerodinámico, ya que reduce el área frontal (por ejemplo, comparado a una postura de pedaleo de una bicicleta estándar). En esta etapa el asiento consiste en una base y un respaldo planos, los cuales cumplen con las características básicas para dar soporte al piloto.
- **Eje de pedaleo.** Al ser un vehículo híbrido con la posibilidad de funcionar a través de tracción biomecánica, se genera una cualidad respecto a cómo el usuario conduce el auto y en qué situación se encuentra. Esto quiere decir que el piloto no solo comanda el vehículo, sino que también hace un aporte energético al mismo para lograr su movilidad. Dicho eje de pedaleo se encuentra frente al piloto, en la parte delantera del vehículo, dada la postura recumbente del usuario.

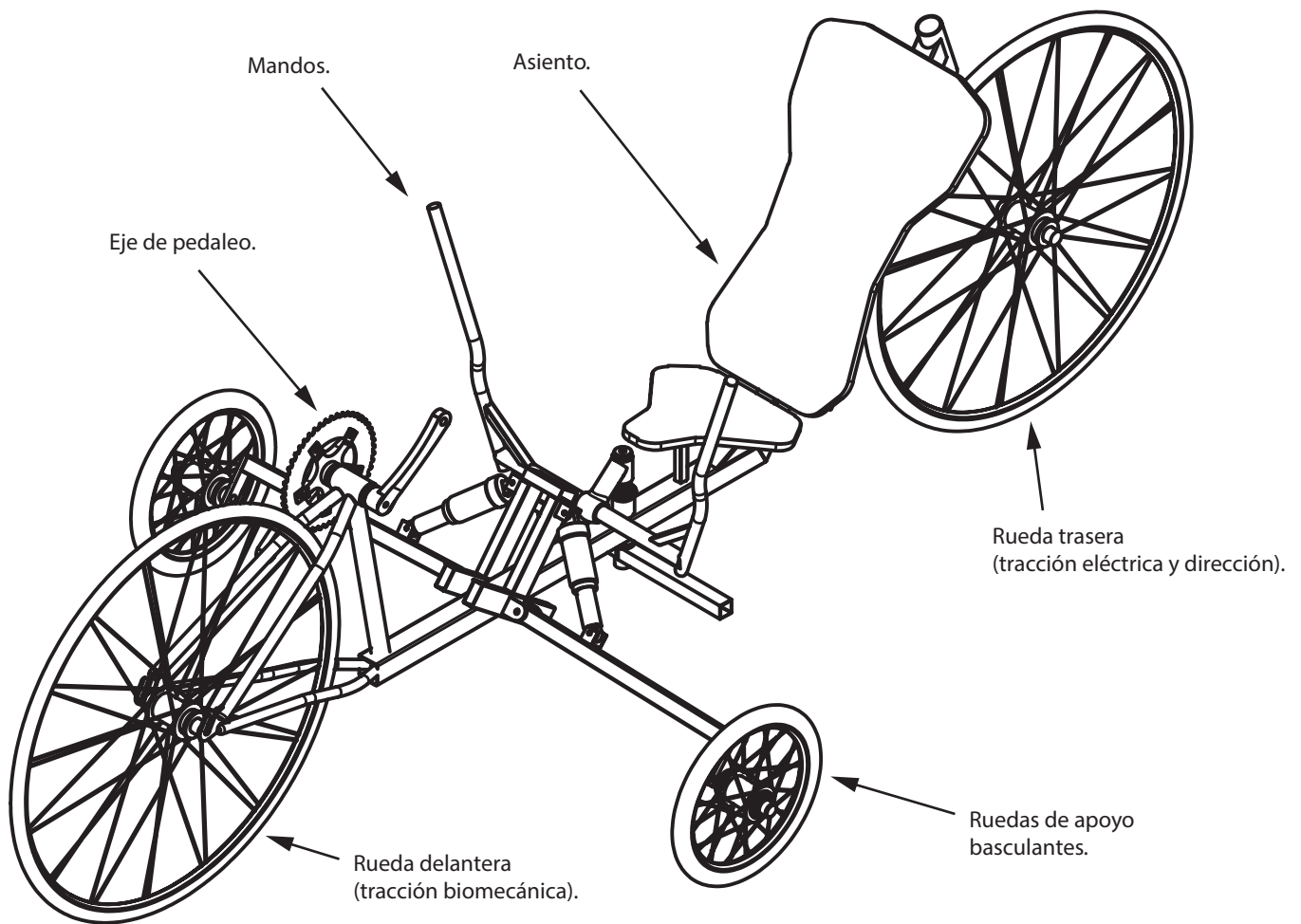


Figura 28: Partes del prototipo Alfa. Fuente: *Elaboración propia a partir del modelo 3D elaborado por Matias Espinosa.*

En la figura 28 , se indican las partes del vehículo respectivas al prototipo Alfa, del cual se toma su configuración (luego de probada y ajustada hasta obtener el funcionamiento deseado), y luego homologarla al vehículo final. Este prototipo está diseñado y fabricado para simular en la mayor medida posible el comportamiento del velomóvil Protean IV en su fase terminada, estando construido en acero, permitiendo cambiar fácilmente su configuración

mediante cortes y soldadura, pudiendo ser probado y cambiado aun antes de la confección del prototipo final. Las partes indicadas corresponden a las mencionadas y explicadas anteriormente.

COMPORTAMIENTO DEL VEHÍCULO EN USO.

Dada la configuración del mismo, se ha considerado teóricamente como debería funcionar y las fuerzas que actúen sobre él.

Como muestra la figura, el piloto ejerce la acción de pedalear sobre el eje de pedaleo (o motor de pedaleo), el cual acciona una cadena que está conectada al eje de la rueda delantera, permitiéndole girar y, al estar en contacto con el suelo generar tracción, la cual hace avanzar al vehículo en la dirección mostrada. Por su parte la rueda trasera puede o no generar tracción, dependiendo si está utilizando o no el motor eléctrico. En el caso de estar desconectado solo girará debido a que el vehículo avanza. De lo contrario aportará poder de tracción al vehículo. Otra función que tiene la rueda trasera es la de determinar la dirección del vehículo, ya que esta está conectada al sistema de dirección que va a los mandos del vehículo, permitiéndole virar.

Con respecto al viraje y al equilibrio del vehículo, se considera que éste no es capaz

de mantener su eje vertical estable debido al largo del mismo, la posición del piloto, las fuerzas laterales que actúan sobre él y especialmente la cualidad de tener dirección en la rueda trasera. Todo esto fue confirmado en las pruebas empíricas, durante las cuales ningún usuario pudo sacar el vehículo de la inercia y mantenerlo estable al conducirlo. Por tal razón fueron diseñadas y montadas un par de ruedas de apoyo basculantes, las cuales además de ser un elemento de seguridad, permiten una forma de conducción donde el usuario puede inclinarse hacia ambos lados sin perder la estabilidad y pudiendo volver fácilmente al eje cero. Estas ruedas de apoyo están pensadas de manera tal que, al ser ejercida una carga sobre ellas, éstas se moverán hacia atrás y hacia arriba (ver dirección mostrada en la figura 29), por acción del basculante, reduciendo así el arrastre de las ruedas de apoyo, ayudando al viraje y a la vez manteniendo el vehículo estable. Esta condición de uso, como se detallará

más adelante, tendrá efectos directos sobre el usuario. Por último, uno de los primeros alcances que se tiene sobre la acción del comportamiento del vehículo en uso sobre el usuario, es la inevitable condición de las fuerzas que suceden cuando el vehículo está en aceleración. Esto es que el piloto, al estar en velocidad cero cuando el vehículo comienza a acelerar y en todo momento que el vehículo tiene una aceleración mayor a la del cuerpo del piloto, sucede un “empuje” hacia atrás del usuario, lo que en realidad es la tendencia del cuerpo a mantener la inercia. Esta fuerza implica que el cuerpo del usuario sea presionado contra el asiento en la sección del respaldo. Esta condición debe ser considerada como un requerimiento para el diseño del asiento, y se puede traducir en que “el asiento debe mantener al usuario en posición en momentos de aceleración del velomóvil.”

PRUEBAS DE USO

Observación del vehículo y el usuario durante pruebas reales.

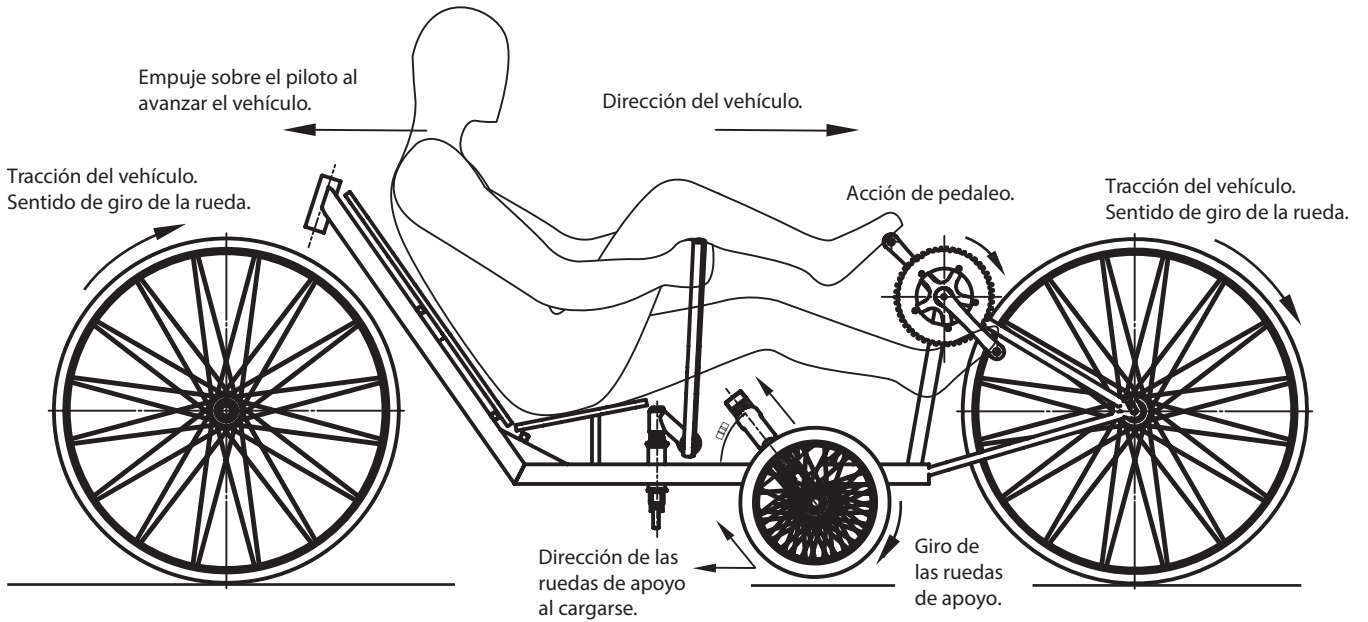


Figura 29: Acción y fuerzas en la conducción del prototipo Alfa Fuente: *Elaboración propia.*



Imagen 18: Prueba de manejo del prototipo. Fuente: *Elaboración propia.*



Imagen 19: Inclinación del auto y el piloto. Fuente: *Elaboración propia.*

EFFECTO DE LAS FUERZAS DURANTE LA ACTIVIDAD

Entendiendo al usuario como un cuerpo que se ve afectado por las fuerzas externas a las cuales está expuesto debido a las condiciones de uso del vehículo, se deben tomar en consideración y estudiarlas para tomar medidas al respecto. En este sentido es importante destacar que dichas fuerzas pueden ocasionar daño, incomodidad o dolor sobre el cuerpo del usuario y por lo tanto se deben evitar, controlar o

contrarrestar según sea el caso ya que la finalidad del asiento es brindar confort al usuario y son justamente estas fuerzas las que provocan la eventual falta de dicho confort. Diremos entonces que “Reducir los efectos de las fuerzas sobre el usuario dadas las condiciones de conducción del vehículo”, es un requerimiento principal.

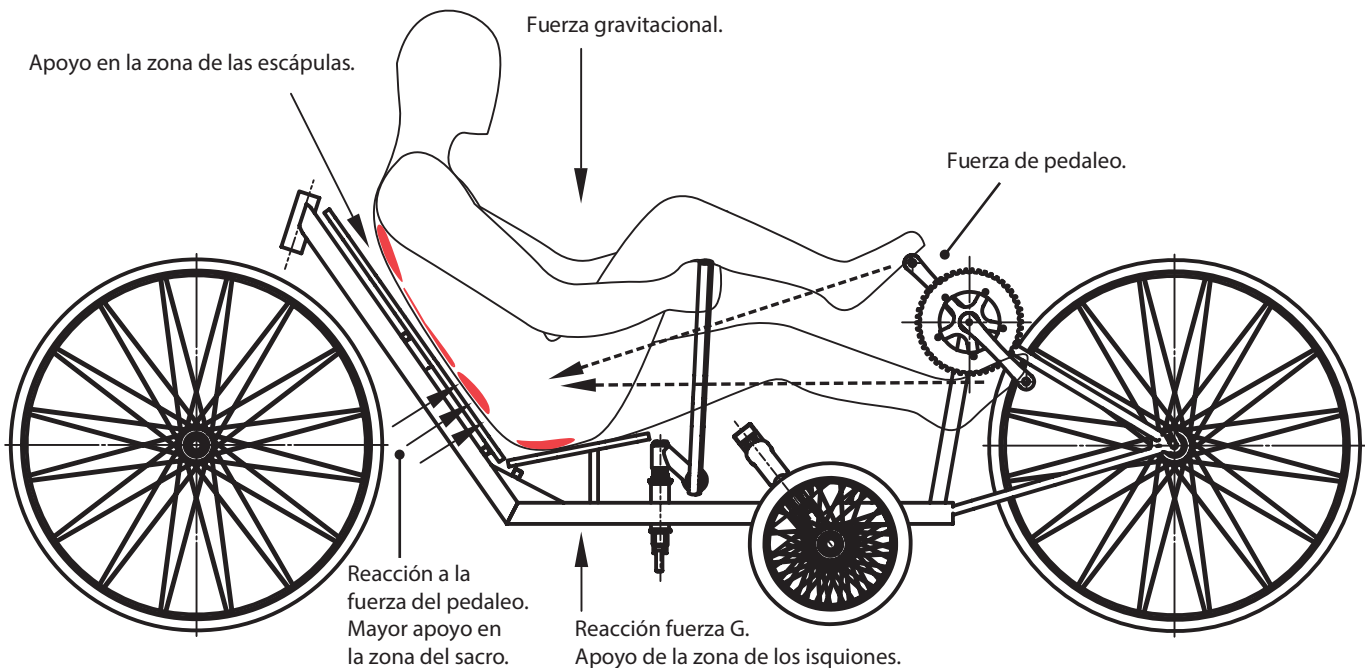


Figura 30: Fuerzas y reacciones involucradas, traducidas en presión. Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS

Como se muestra en la figura 30, las fuerzas identificadas a través del análisis teórico del comportamiento del vehículo y la observación mediante pruebas empíricas, existe una fuerza gravitacional constante sobre el cuerpo del piloto la cual lo empuja hacia abajo, manteniéndolo sobre el asiento. Como reacción a dicha fuerza, la normal, se descompone mayoritariamente en el apoyo sobre los huesos isquiones y un porcentaje menor sobre la zona del sacro o lumbar. Por último, también existe un apoyo menor sobre la zona de las escápulas, o dorsal. Deben tomarse en consideración tales apoyos, los cuales se dan en gran medida cuando el vehículo se encuentra estático y varían en cierto grado cuando se encuentra en acción dinámica. Este punto es tremendamente considerable para el desarrollo del soporte corporal, ya que se debe diseñar teniendo en cuenta que el usuario está en una posición dinámica y no estática y, en segundo lugar, que esta posición dinámica se encuentra acompañada de una acción constante de pedaleo, carga del peso del piloto hacia los lados para maniobrar el vehículo y el movimiento de los mandos para dar dirección al mismo. Todo esto significa una constante y considerable transferencia de energía por parte del usuario para conseguir el funcionamiento del velomóvil.

Por esta última razón aparecen nuevas fuerzas a considerar. Una de ellas es la fuerza ejercida durante el pedaleo para brindar tracción al vehículo desde la rueda delantera. Dicho esfuerzo se traduce en una reacción que termina aplicando una presión constante en la zona del sacro y la espalda baja del usuario. Este fenómeno debe ser especialmente atendido, dado que, de las pruebas preliminares hechas al vehículo, se han obtenido comentarios de diversos usuarios que han sentido incomodidad e incluso dolor al conducir el vehículo con la configuración del asiento actual.

INCLINACIÓN DEL CUERPO

A partir de lo observado y como se muestra en la figura 31, el piloto adopta una posición simétrica durante el pedaleo en línea recta o al encontrarse detenido. En cambio, al realizar una maniobra de viraje suceden varios cambios en su postura dada la configuración del vehículo y el comportamiento del mismo (ver figura 32). En primera instancia, el piloto utiliza los mandos para cambiar la dirección con la rueda trasera. Por una parte, el piloto tiene la opción de acompañar esta maniobra con la acción de cargar el peso del cuerpo hacia el lado al que pretende doblar. Esto le permite asistir el giro del vehículo y darle intención a la maniobra.

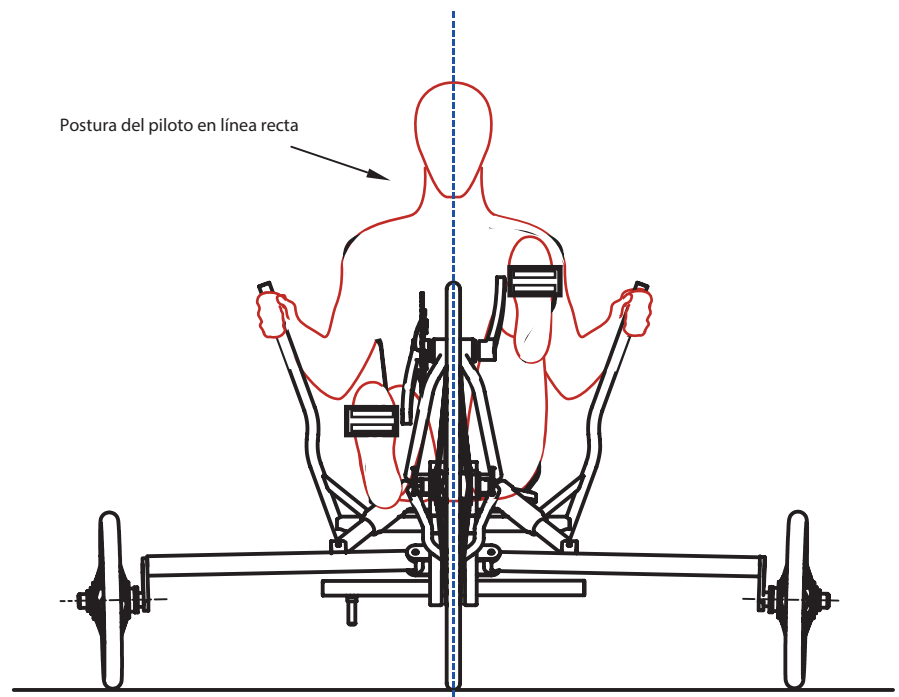


Figura 31: El piloto en línea recta. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En conclusión, el vehículo consta de ciertas condiciones de manejo específicas, dadas sus características, dentro de las cuales se destacan cuatro acciones principales que realiza el piloto: La condición estática del piloto sobre el asiento, donde solo se apoya sobre el mismo; La condición de pedaleo y aporte energético del usuario al auto, momento en el cual la postura es dinámica y se combina con el movimiento del auto, siendo sometido a nuevas fuerzas; El movimiento de los mandos para cambiar la dirección del vehículo, obteniendo rangos de movimientos para los brazos que afectan en la postura del usuario; y finalmente la acción de cargar el cuerpo hacia los lados para asistir el giro y contrarrestar la fuerza centrífuga. Todo esto afecta directamente en el apoyo del cuerpo, ya que este debe mantenerse en su lugar y a la vez permitir moverse en un rango determinado. Finalmente, el asiento debe considerar estos aspectos y buscar, a través de su diseño, contrarrestar los posibles efectos negativos de las fuerzas involucradas y asegurar el confort junto al funcionamiento del soporte corporal.

Lo que sucede es que al llevar una cierta velocidad y tomar una curva la fuerza centrífuga tiende a empujar al usuario hacia afuera, generando un efecto poco deseado y finalmente inclinando el vehículo hacia el lado contrario. Es por esta razón que el piloto debe maniobrar el velomóvil de tal manera que su masa se mantenga más cerca del centro del radio de giro. Para lograr esto inclina su peso hacia un lado para así desviar el centro de gravedad. Esta acción entonces, genera posturas determinadas que deben ser analizadas y consideradas como un requerimiento y, por lo tanto: “El asiento debe considerar el cambio de postura del piloto al realizar una curva”.

Además, genera un contrapeso a la fuerza centrífuga que lo empuja hacia afuera del centro de la curva. Este es otro punto relevante, y es una situación particular que se ha observado durante la conducción del vehículo en las pruebas.

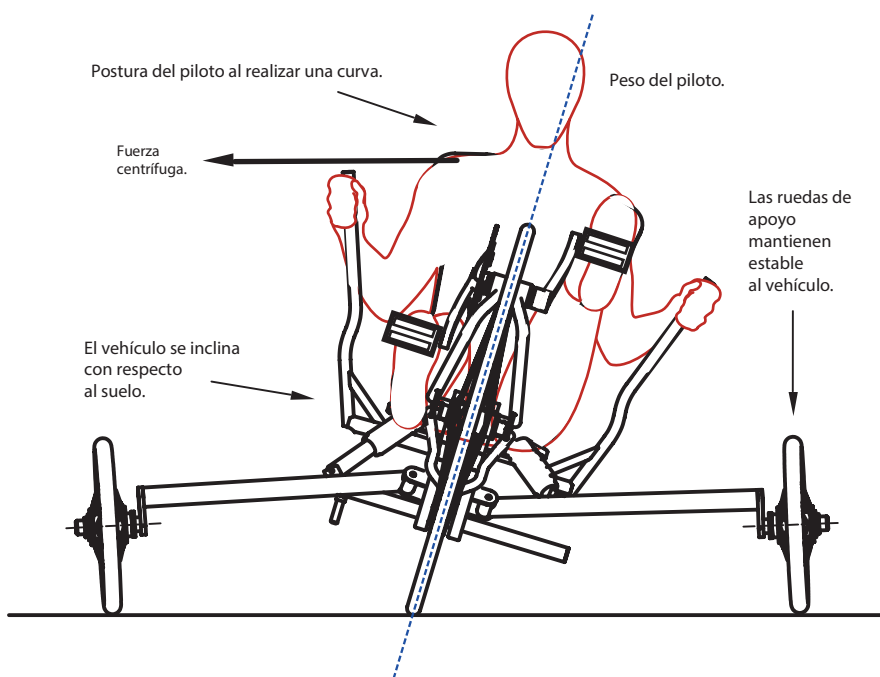


Figura 32: Inclinación del vehículo y las fuerzas. Fuente: Elaboración propia.

REQUERIMIENTOS OBTENIDOS

Tanto de el estudio bibliográfico como del análisis a partir de la observación y uso del prototipo, así como de lo indicado por distintos usuarios que lo probaron, se obtienen los requerimientos para el diseño del asiento del vehículo. A estos se suman los que se obtienen a partir del estudio utilizando el Jig ajustable y lo indicado en las bases de la Carrera Solar Atacama.

REQUERIMIENTOS PARA EL ASIENTO
Brindar confortabilidad al usuario al considerar las zonas de apoyo.
Su configuración debe brindarle soporte y mantener al usuario estable.
Debe permitir comodidad durante trayectos largos (al menos 1 hora).
El respaldo no debe sobrepasar la altura del piloto (bases carrera).
La configuración del ángulo de la base debe ser apropiada (11°).
Permitir espacio para la acción correcta de conducción y pedaleo.
Debe ayudar a mantener la curvatura natural de la espalda.
Permitir el flujo sanguíneo del tejido blando del cuerpo.
Considerar la distancia y altura con el eje de pedaleo.
El ángulo del respaldo no debe superar los 35° de inclinación (bases carrera).
Reducir las molestias provocadas por las fuerzas externas.

Figura 33: Tabla de requerimientos para el asiento. Fuente: *Elaboración propia.*



CAPÍTULO VIII

CAPÍTULO VIII

DESARROLLO DEL SOPORTE

DESARROLLO DE LA FORMA RESPECTO AL CONFORT

Luego de los análisis realizados, se toman los requerimientos y se entra de lleno en el proceso de diseño. En esta etapa suceden las iteraciones y experimentación para completar el objetivo general a través de los requerimientos obtenidos.

PROTOTIPADO

Como se mencionó con anterioridad, para desarrollar la forma se recurrió a la metodología de Ülrich y Eppinger, principalmente a través del método de prototipado que proponen en Diseño y Desarrollo de productos.

Para efectos de esta investigación, los prototipos cumplen la función de ir entregando información y respondiendo a diversas preguntas respectivas a la obtención de la forma del asiento.

En su mayoría se pretende un aprendizaje mediante la creación y prueba de dichos prototipos.

OBTENCIÓN DE LAS ZONAS DE APOYO

La primera aproximación al asiento dentro de esta investigación, y por lo tanto, el primer prototipo, es el Jig de pruebas. Como se vio antes, este permitió obtener los ángulos apropiados para el asiento, asegurando un pedaleo confortable desde el punto de vista postural. Al construir el prototipo alfa del Protean IV se aplicó esta configuración, construyendo un asiento similar al del Jig, solo que carecía de la posibilidad de ajuste, ya que se consideró dicha configuración como la definitiva.

Al realizar pruebas de manejo del vehículo, se reportaron molestias en las zonas de contacto con el cuerpo. También fue un problema la estabilidad del piloto, que como se explicó en el capítulo anterior, existen fuerzas que producen que el usuario se deslice del soporte.

Para abarcar cada problema de manera independiente, se propuso una solución al deslizamiento lateral, agregando pequeños soportes a los costados de la base, para así poder dar seguridad al piloto al probar el vehículo en movimiento.

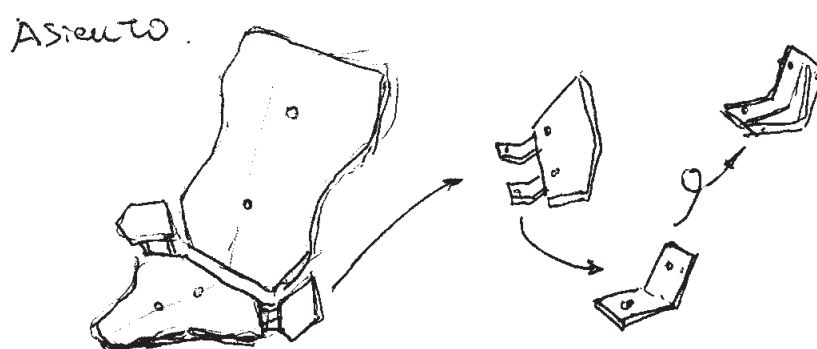


Figura 34: Diseño de piezas metálicas de fijación. Fuente: Elaboración propia.

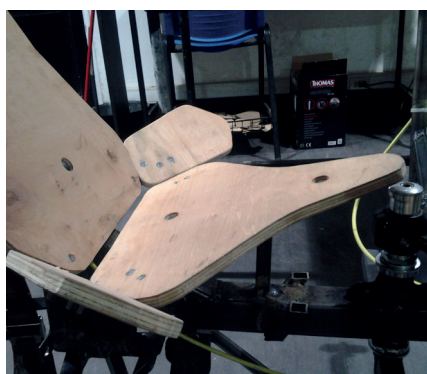


Imagen 20: Proceso de elaboración de los sopotes laterales, de cartón a madera. Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Soportes laterales del asiento.
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Estudio de la estabilidad entregada por el asiento.
PROPÓSITO	Asegurar al piloto en su posición para entregar seguridad
Probar si el cambio en la configuración geométrica y espacial del asiento permite mantener al piloto en su posición.	

Figura 35: Clasificación del prototipo; soportes laterales. Elaboración propia.

PRUEBA DE CONTACTO

Con respecto a la sensación de confort, y como ya se ha hablado anteriormente, existen zonas del cuerpo asociadas al apoyo sobre el asiento, que son la espalda desde la zona dorsal hasta la zona lumbar, incluyendo el sacro y los isquiones, además del tejido blando que rodea estas zonas y la musculatura. Se sabe que mientras mayor área de contacto = mayor confort, debido a que se reparte la fuerza en una mayor área. Para el prototipo actual, no se conoce cuánto es realmente el apoyo del cuerpo sobre el asiento, que bien podría ser desde algunos puntos aislados de la espalda, como en su totalidad o mayor parte. Para determinar esto, se realizaron dos prototipos analíticos: uno para la base del asiento y otro para el respaldo, los cuales permitieran medir la zona de apoyo de la espalda.

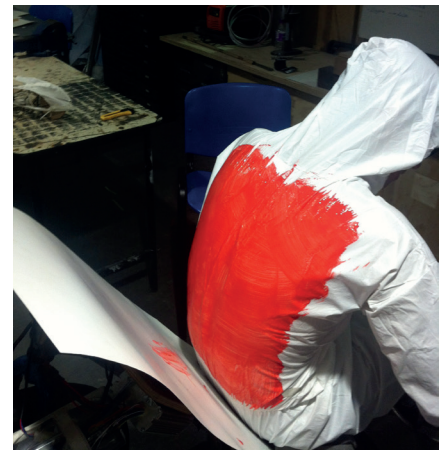
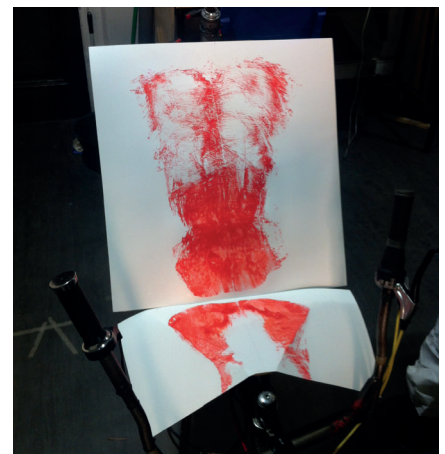


Imagen 20: Proceso de imprimación de la forma de la espalda. Fuente: *Elaboración propia.*

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Prueba de contacto corporal.
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Zonas de contacto útiles del asiento.
PROPÓSITO	Obtener el área de contacto real entre el cuerpo y el soporte plano.

Figura 36: Clasificación del prototipo; Prueba de contacto corporal. *Elaboración propia.*

PROTOTIPO PLANO

Como se muestra en el estudio bibliográfico de la investigación, existen prominencias óseas en la espalda que estarán sujetas a recibir presión. Sin embargo, según aconseja Edgardo Opazo, no todas ellas, dada la anatomía del cuerpo humano, están preparadas para recibir dicho esfuerzo. Esto está dado principalmente por los tejidos blandos que son sometidos a esta fuerza que se encuentran entre la prominencia y el apoyo. Mientras que las escápulas, el sacro y los isquiones no presentan mayor problema, las vértebras de la columna no deben ser sometidas a esfuerzo. Por esto la recomendación es evitar el apoyo en dicha zona y derivarlo a los músculos que rodean la columna.

Además se redujo parte del área de la base que se encuentra entre las piernas, ya que no es necesario el apoyo en dicha zona.

Para dar solución a esto, se decidió realizar un corte en el asiento y así eliminar dicha zona de apoyo.



Imagen 21: Asiento plano con la mínima superficie de apoyo. Fuente: Elaboración propia.

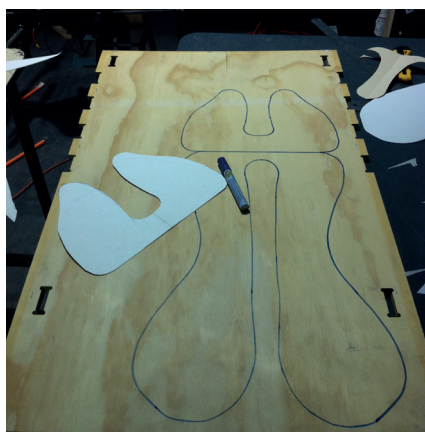


Imagen 22: Confección de la forma a partir de plantillas Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Asiento plano con corte para la columna.
TIPO DE PROTOTIPO	Integral, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Base y soporte del asiento ensamblados y funcionales.
PROPÓSITO	Obtener un soporte funcional con el área de contacto esencial para mayor confort.

Figura 37: Clasificación del prototipo; Asiento Plano. Fuente: Elaboración propia.

¿CÓMO AUMENTAR EL ÁREA DE CONTACTO?

La forma del prototipo desarrollada hasta ahora permite funcionalidad y cumple con varios de los requerimientos necesarios. Sin embargo, ¿es posible lograr un mayor confort para el piloto si se sigue desarrollando la forma?

Según M. Monedero, se sabe que la curvatura natural de la espalda en posición erguida es la postura ideal para mantener saludable dicha zona del cuerpo, y se utiliza como parámetro base. La autora también menciona que “las posturas con ligera flexión lumbar y la pelvis más inclinada hacia atrás, mejoran la comodidad”. Sin embargo, el asiento plano no permite esta curva natural, ya que el cuerpo se relaja sobre el apoyo y, gracias a las articulaciones en las vértebras, se adapta a la forma plana del respaldo. Esta puede ser una de las razones por la cual, durante las pruebas de manejo del prototipo Alfa, los usuarios manifiestan constantemente molestias en la zona lumbar.

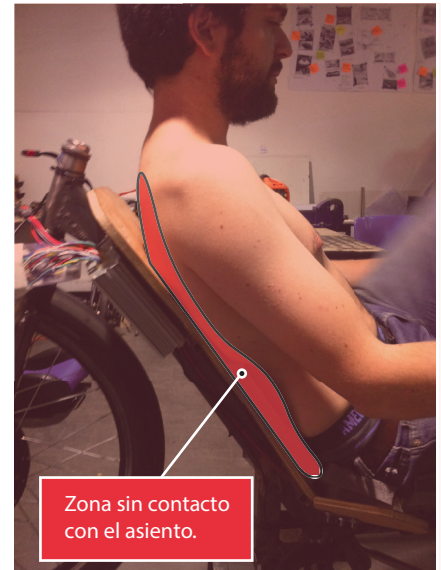


Imagen 23: Zona de contacto del asiento. Fuente: *Elaboración propia.*

Por otro lado, existen zonas de la espalda que, dada su doble curvatura no se apoyan completamente (Imagen 22). Por esto se considera que se puede aumentar la zona de contacto permitiendo que de alguna manera estas zonas también se apoyen, aumentando los puntos de contacto y, por lo tanto, repartiendo la fuerza, lo cual se traduce en mayor confort.

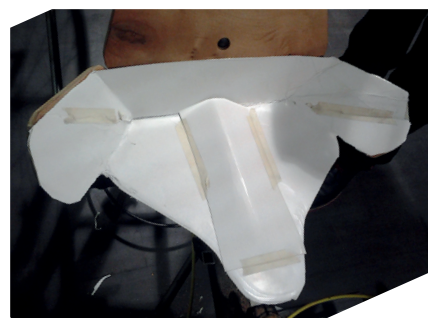
OBTENCIÓN DE CURVAS MEDIANTE EL USO DE ESPUMA

Para lograr llevar el apoyo de la espalda a una forma más natural en comparación al asiento plano, se requiere que el apoyo cuente con la curvatura deseada para permitirle a la espalda tomar dicha forma, prescindiendo del uso mantenido de la musculatura. Esto podría mejorar la sensación de confort en el usuario, reduciendo molestias en las zonas críticas.

Para probar esto se realizó un prototipo enfocado, utilizando el asiento plano como base y espuma de poliuretano flexible como material de relleno y acolchado.

La razón para utilizar un material flexible y elástico como la espuma de poliuretano es dar un margen de error a la forma, ya que, al estar formado de celdas cerradas rellenas de aire, puede adaptarse al contorno del cuerpo. Entonces, no es necesario tener la contra forma precisa de la espalda para obtener un buen apoyo, además de eliminar el riesgo de incomodidad por protuberancias o bordes filosos rígidos.

Se agregaron pequeños trozos de espuma de tamaño variable, en rectángulos de aproximadamente entre 20mm x 100mm y 100mm x 250mm, y espesores de entre 5mm hasta 20mm. Para las zonas de mayor apoyo, o que necesitaran más curvatura se agregaron piezas de espuma de mayor espesor y más



grandes, mientras en el resto de los apoyos se fueron agregando pequeños trozos de menor espesor. Luego de obtener una forma general se fueron agregando capas de espuma de 5mm, alternadas de pruebas rápidas de la sensación de confort del usuario, y en algunas partes, reduciendo el espesor de la espuma si existía un exceso de volumen.

Imagen 24: Proceso de prototipado con cartón y espuma. Fuente: *Elaboración propia.*

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Curvatura en base a espuma.
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Curvatura del asiento.
PROPÓSITO	Probar el material de acolchado y la curvatura para mejorar el confort.

Figura 38: Clasificación del prototipo; Curvatura en base a espuma. *Elaboración propia.*

NO SE APLICA FUERZA.
MANTIENE SU FORMA.

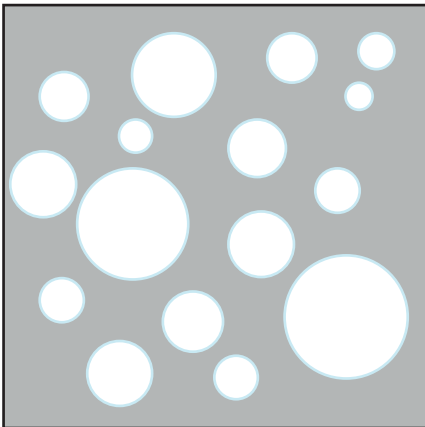


Figura 39: Espuma sin aplicar fuerza. *Elaboración propia.*

SE APLICA FUERZA.
SE DEFORMA Y EMPUJA CON LA FUERZA DE REACCIÓN.

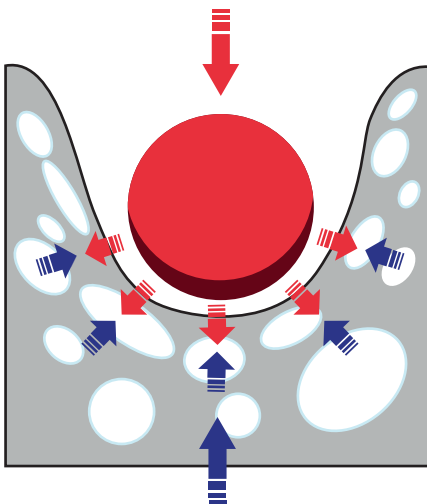


Figura 40: Contracción de la espuma al aplicar una fuerza. *Elaboración propia.*

Agregar estos atributos aparentemente permitió mejorar la sensación de confort del usuario versus el asiento plano y rígido, sin embargo, esto se limitó a acolchar un plano y generar convexidades sobre el mismo, obteniendo un asiento voluptuoso y de curvas totalmente flexibles con poco control. El problema de esto radica en que, al ejercer presión sobre una curva de espuma, la forma tiende a aplastarse hasta quedar completamente deformada contra el soporte plano rígido. Esto provoca dos problemas: La pérdida de la curvatura del asiento; y el efecto resorte.

Al actuar el acolchado como un resorte, provoca el rebote constante del piloto al pedalear, lo cual lo acerca y aleja de los pedales constantemente, quitándole eficiencia al pedaleo, generando movimientos innecesarios y absorbiendo energía en el proceso, pudiendo cansar más rápido al piloto y perder potencia de pedaleo.

Teniendo en cuenta que si se aumenta la superficie de contacto aumentará el confort, se propone la opción de generar la misma curvatura que entrega la superficie de espuma al ser deformada por el cuerpo del piloto (prácticamente el 100% del contacto de la espalda sobre el soporte), y llevarla a una superficie rígida. Esto permitiría dicho contacto sin un rebote constante.

Teniendo en cuenta que si se aumenta la superficie de contacto aumentará el confort,

Para esto se recurrió al referente de los asientos para pilotos de carrera de fórmula 1. Este tipo de competencias se realiza desde la década del 50, y una de sus principales funciones es investigar y aplicar nuevas tecnologías en el desempeño de vehículos de combustión que luego son llevadas al desarrollo de vehículos que se venden al público.

Dentro de este campo, además de perfeccionar aspectos técnicos como la fuerza de los motores o el desempeño aerodinámico, se trabaja sobre el factor humano del vehículo (o sea, el piloto), y dentro de este ámbito, el asiento para él.

Por esta razón realizan asientos muy personalizados para sus pilotos, manteniéndolos seguros en el habitáculo y entregándoles mayor soporte en las áreas de apoyo.



Imagen 25: Comportamiento de la espuma presionada por el cuerpo. *Fuente: Elaboración propia.*

ADAPTACIÓN DEL SOPORTE A LA MORFOLOGÍA DEL PILOTO

El método de diseño y fabricación de los asientos personalizados para pilotos de fórmula 1 consiste en el llenado de bolsas de polietileno con perlas de poliestireno expandido, a lo cual se le agrega una mezcla de resina epóxica y se inserta dentro del habitáculo del auto. Luego se genera vacío dentro de la bolsa y, mientras sucede la reacción química de gelado de la resina, el piloto se sienta y se acomoda. Finalmente, la bolsa se rigidiza con la forma impresa del cuerpo del piloto, la cual sirve de molde para confeccionar el asiento definitivo.

El proceso utilizado por los equipos de fórmula 1 para obtener el contorno del piloto en postura sentada requiere de tecnologías y materiales caros y fuera del alcance del proyecto. Por esta razón se pensó y propuso un método para homologar dicho proceso a materiales y tecnologías al alcance.

Al utilizar planchas de espuma de poliuretano expandido de suficiente espesor y apoyarse el piloto sobre las mismas, se obtiene el efecto deseado del apoyo de la mayoría de la superficie de la espalda. Sin embargo, debido a la resiliencia del material, este vuelve a su forma original rápidamente, no pudiendo ser medido.

Para otorgarle la capacidad al material de ser elástico, pero volverse inelástico al momento requerido se propuso agregar una mezcla de yeso con agua. Al sumergir la espuma en yeso se cuenta con un margen de tiempo en el cual la espuma es elástica, en el cual el piloto se acomoda hasta el gelado.

Se realizó una probeta del proceso con un pequeño trozo de espuma y luego de comprobar su funcionamiento se realizó la imprimación de la forma completa, utilizando como base el asiento plano con los ángulos requeridos y el piloto en postura y acción de pedaleo.

Imagen 26: Moldeado de sección de la espalda en espuma con yeso. *Fuente: Elaboración propia.*



NOMBRE DEL PROTOTIPO	Prueba de espuma-yeso
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Dar la posibilidad de trabajar con doble curvatura para nuevos prototipos.
PROPÓSITO	Probar la técnica del uso de la espuma con yeso para luego usarla en toda la espalda.
	Probar la capacidad del material compuesto de copiar la forma y mantenerla luego del gelado.

Figura 41: Clasificación del prototipo; Prueba de espuma-yeso. *Fuente: Elaboración propia.*

MOLDE DE LA ESPALDA COMPLETA

Luego de gelado el yeso se cortan los excesos de material y se comprueba que no existan molestias notables en una breve prueba con el piloto.



Imagen 27: Proceso de moldeado de la espalda completa. Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROTOTIPO	→ Espalda completa espuma-yeso.
TIPO DE PROTOTIPO	→ Enfocado, de aprendizaje.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	→ Curvatura del asiento
PROPÓSITO	→ Aplicar la técnica del uso de la espuma con yeso para toda la espalda. Obtener la forma de toda la espalda del piloto.

Figura 42: Clasificación del prototipo; Molde espalda en espuma-yeso. Elaboración propia.

MEDICIÓN DEL MOLDE Y DESARROLLO CAD/CAM

Para llevar el resultado de la impresión del piloto en la probeta de yeso a un material más duradero y acabado, se propuso medir las curvas para luego cortar y tallar las mismas en un bloque de madera terciada. Esto además permitía observar por capas las concavidades y convexidades que generó el cuerpo sobre el material, pudiendo identificar mejor las zonas críticas de las protuberancias óseas y los distintos niveles de curvatura.

Se realizó la medición del molde en escáner 3D, obteniendo resultados poco fiables debido a errores de medición. Además, la compatibilidad de los archivos entregados con el software 3D a utilizar, incluyendo el tipo de archivo entregado (manto 3D), no es óptima, complicando el proceso de editado en el formato digital.

Para obtener puntos de control de la curva los cuales se pudieran ajustar manualmente y en orden, se optó por la medición manual del mismo, generando una grilla proyectada sobre la curva y así obteniendo coordenadas respecto a ejes cartesianos.

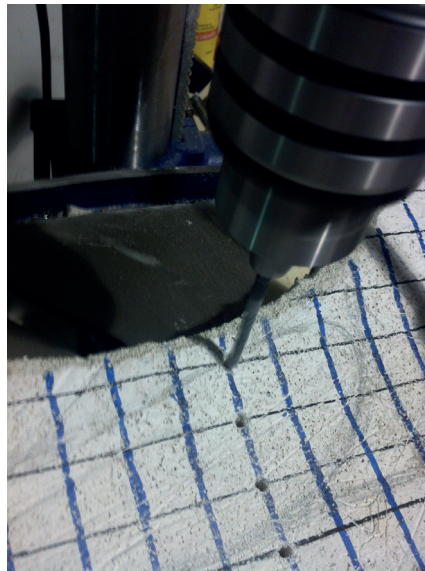


Imagen 28: Medición de las curvas del molde. Fuente: *Elaboración propia.*

MODELO DIGITAL

Con los puntos ubicados en el eje digital, se reconstruyó el modelo en 3D, utilizando el software paramétrico Inventor.

Gracias a que el modelo se encuentra en formato paramétrico, es posible realizar modificaciones controladas y en ciertos puntos permitir que el software actualice el modelo si se requería realizar cambios en las curvas. El modelo, generado a partir de costillas con una separación de 2mm, permitió una muy buena resolución y copia de las pequeñas curvaturas del cuerpo. Sin embargo, se prefirió suavizar la curva para que el asiento fuera más adaptable a los pequeños movimientos y ajustes en la postura del piloto.

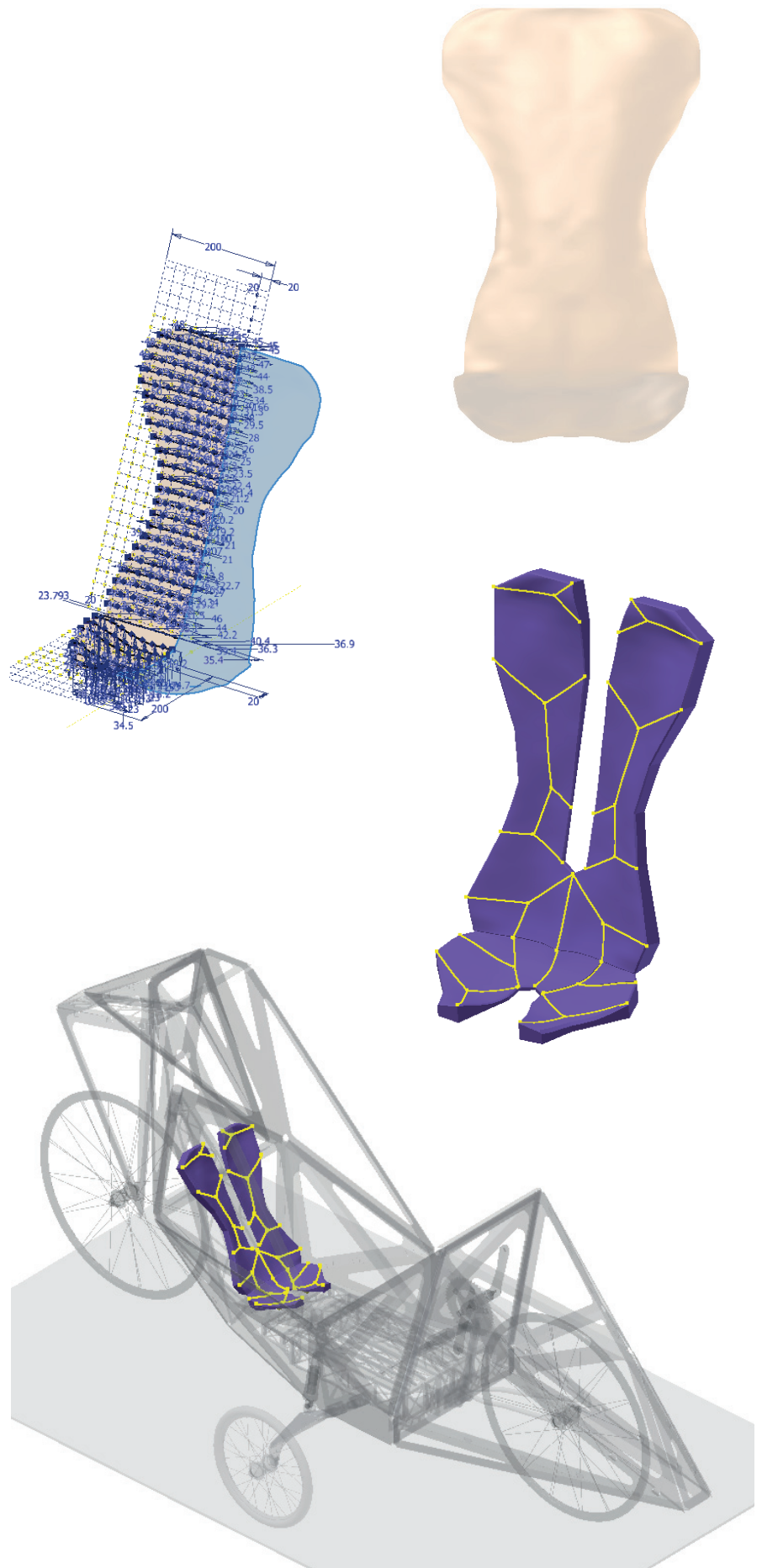


Imagen 29: Distintas etapas del modelo digital 3D; traspaso de medidas a digital; manto 3D; sólido 3D; Montaje en el modelo 3D del vehículo.
Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Modelo digital
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje; cómo se ve.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Forma del asiento final.
PROPÓSITO	Fabricación digital para fabricación CAM.

Figura 43: Clasificación del prototipo: Modelo digital asiento doble curvatura.
Fuente: Elaboración propia.

FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO DE DOBLE CURVATURA

Utilización de fresadora CNC para tallar el asiento a partir del archivo CAD/CAM.

Se probó la comodidad del asiento rígido con los pilotos para así evaluar posibles incongruencias en la forma o zonas de molestia. Las zonas

indicadas por los pilotos fueron refinadas a mano hasta que estos no encontraran molestias. Si bien no se realizaron pruebas del vehículo en uso previa la carrera, se le pidió a los pilotos usar el asiento montado en el auto y pedalear con las ruedas en el aire, para así determinar los puntos de molestia más obvios y emparejarlos antes de la competencia.



Imagen 30: Tallado en fresadora CNC.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 31: Base del asiento luego del fresado CNC. *Fuente: Elaboración propia.*

Se obtuvo un prototipo capaz de aumentar el área de contacto gracias a su doble curvatura coincidente con las curvas del cuerpo. Sin embargo, al ser rígido no contaba con la adaptabilidad que requiere un soporte para un cuerpo en constante movimiento. Por lo tanto, se consideró que debía existir un grado de elasticidad del mismo, siendo el acolchado una opción.

Para mantener la condición de elasticidad en el asiento a través del acolchado, lo cual otorga una gran ventaja en cuanto a confort, pero que no afecte tal aporte del mismo y la eficiencia del pedaleo en el vehículo producto de un acolchado excesivo y el efecto del rebote, se propone ajustar tanto la flexibilidad del soporte como su rigidez para mantener ambos factores en equilibrio.

Utilizando almohadillas de bajo espesor sobre el soporte rígido, se obtiene el efecto deseado de acolchado elástico y adaptable, y a su vez gracias al soporte rígido de doble curvatura se mantiene dicha flexibilidad controlada.



NOMBRE DEL PROTOTIPO	Prototipo con doble curvatura.
TIPO DE PROTOTIPO	Integral, de aprendizaje; cómo se ve.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Prototipo alfa del asiento. Funcional.
PROPÓSITO	Segundo prototipo integral. Permite probar.

Figura 44: Clasificación del prototipo: Asiento con doble curvatura. *Fuente: Elaboración propia.*

Imagen 32: Acolchado y detalles finales del prototipo. *Fuente: Elaboración propia.*

CAPÍTULO IX

CAPÍTULO IX

PRUEBAS EN CARRERA



Imagen 33: Autos escoltas, equipo Protean y vehículo Ackiu en el Desierto de Atacama. *Fuente: Elaboración propia.*

PRUEBA EN CAMPO: CARRERA SOLAR ATACAMA

La carrera es uno de los focos principales del proyecto Protean, ya que permite tanto probar el vehículo construido como mostrarlo al público y acercarlo a la comunidad. Por esta razón es la instancia de pruebas más relevante para el diseño del asiento, ya que permitía observar fallas y problemas que no se encontraron antes, ofreciendo una situación real de uso con todas las variables de la conducción.

Para entender cuáles eran las características de la carrera y cómo permitían o limitaban realizar pruebas en el asiento, se detalla a continuación en qué consistió:

La carrera es una instancia donde compiten diversos vehículos experimentales, todos dentro de ciertas bases estipuladas que, en resumen, consistían en vehículos livianos de tracción biomecánica y eléctrica, de mínimo tres ruedas y con un tamaño limitado. Como resultado se obtenían dichos vehículos, de características similares. Además, el método de carga de las baterías debía ser mediante radiación solar absorbida en paneles fotovoltaicos, también reglados por la carrera.

La carrera se dividía en tramos de varios kilómetros, donde la cantidad de kilómetros recorrida (contando con un límite de tiempo máximo por tramo), sumaba puntos para cada equipo.



Imagen 34 Punto de control; cargando baterías del auto. Fuente: *Elaboración propia.*

Es por esto que no sólo se dependía de la velocidad obtenida, si no de la autonomía del vehículo en competencia, la cual dependía del uso y rendimiento de la carga de las baterías eléctricas y del piloto. Al final de cada tramo existían puntos de control, en los cuales el piloto descansaba y se podían recargar las baterías.

En cuanto a las condiciones de entorno de la carrera, destacan el clima y la pista.

El clima correspondiente a la región de atacama es árido, con la presencia de altas temperaturas en el día y bajas temperaturas durante la mañana, tarde y noche, así como bajo porcentaje de humedad en el aire, siendo un ambiente extremo para la realización de actividad física. Se eligió esta región dado sus largos tramos de carretera y el buen porcentaje de radiación solar existente, ideal para el uso de paneles solares, entre otras cosas.

Por su parte, la pista consistió principalmente en tramos de carretera, con la desventaja de ser utilizados constantemente por vehículos a motor de combustión; desde autos hasta



Imagen 35: Punto de control en carrera. Fuente: *Elaboración propia.*

camiones, que alcanzan velocidades mucho mayores al velomóvil, teniendo que maniobrar constantemente, adaptarse y compartir los carriles disponibles. Junto con esto, respecto a las condiciones de la pista (que se encontraba en su mayoría pavimentada con asfalto), a veces presentaba baches e imperfecciones, lo cual dificultaba la conducción.

A la carrera se asistió con dos pilotos, un piloto principal, y otro de reserva. Se esperaba poder correr con ambos para tener un rango más amplio de evaluación del asiento, sin embargo, no fue necesario reponer al piloto dado su buen rendimiento. Por esto solo se contó con la apreciación del primero respecto al desempeño del soporte. Esta fue la principal fuente de información obtenida de la eventual comodidad, molestia o dolor experimentada durante los trayectos de conducción. Cabe destacar que, para este piloto dado su menor largo de piernas comparado al piloto de reserva, fue necesario construir una base que funcionó como regulador de distancia, para que alcanzara cómodamente los pedales.

Durante cada descanso o parada relativamente prolongada (ya que las paradas solo se realizaban en caso de existir algún problema en el vehículo, y se intentaba fueran lo más breves posibles), se cuestionaba al piloto respecto a su sensación. Además, se registraron en video secciones de los tramos para posterior análisis de los posibles cambios de postura y acomodo del piloto en el asiento.



Imagen 36: Vehículo y piloto.
Fuente: Elaboración propia.



Imagen 37: Perspectiva hacia atrás del auto. *Fuente: Elaboración propia.*

RESULTADOS

Durante la carrera el piloto manifestó sentir leves o ninguna molestia en los trayectos debido al asiento. Sin embargo, apuntó que el espesor de la espuma del acolchado era excesivo en la zona lumbar y le causaba incomodidad para el pedaleo.

Para solucionar esto se confeccionó un nuevo set de espumas de menor espesor, con el que se reemplazó el existente. El piloto manifestó una mejora en la postura, sin embargo, siguió sintiendo una leve molestia debido probablemente a la curvatura del respaldo, la cual no podía ser modificada en carrera por no contar con las herramientas. Para mejoras más adelante, esta modificación podía ser aplicada en un prototipo posterior.

Otra acotación realizada por el piloto fue la necesidad de un reposa-cabezas sobre el respaldo, para poder descansar el cuello durante los trayectos. Se realizó la confección de un prototipo durante uno de los días de descanso de la carrera, y se aplicó al vehículo.

Finalmente se observó que la doble curvatura de la zona de los isquiones y el tapiz permitían un mejor soporte lateral del piloto, pero que en casos extremos de demasiada inclinación y velocidad sería necesario agregar aletas laterales, como se hizo en el asiento del prototipo Alfa del vehículo.

CONCLUSIONES

El prototipo construido para las pruebas en la Carrera Solar Atacama obtuvo un buen desempeño en general. Se observó un correcto funcionamiento, y no existieron problemas graves notorios durante su uso. Los datos más elocuentes en cuanto a confort entregado, fueron las opiniones del piloto, el cual manifestó leves molestias, que en su mayoría pudieron ser mitigadas con pequeños ajustes en el espesor de la forma de la zona de contacto. Estos se dieron exclusivamente en la zona lumbar, la cual ya había sido interpretada como “zona crítica”. Parte de estas molestias no pudieron ser modificadas en el prototipo llevado a la carrera, razón por la cual se propuso la generación de una nueva iteración, en la cual se resolviera dicho problema y se agregaran las aletas o soportes laterales. Además, para aumentar los datos del desempeño del asiento y por la falta de suficiente extensión en las pruebas en carrera, se propuso realizar más pruebas, en laboratorio, simulando parcialmente las pruebas de campo a través de instrumental.



Imagen 38: Desgaste en los bordes del asiento; pérdida de las propiedades de la espuma. *Fuente: Elaboración propia.*

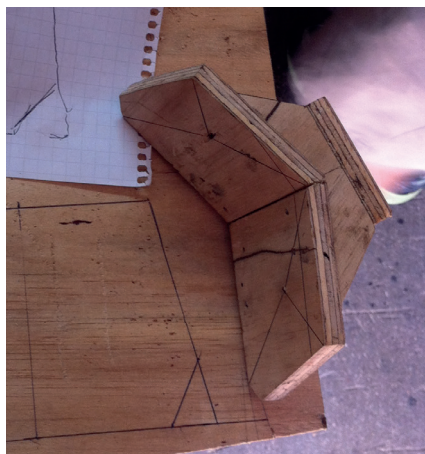


Imagen 39: Fabricación de un reposa-cabezas improvisado. *Fuente: Elaboración propia.*

Esta página se ha dejado
deliberadamente en blanco



CAPÍTULO X

CAPÍTULO X

PRUEBAS EN LABORATORIO

PRUEBAS DE LABORATORIO

Tanto para las instancias de prueba del prototipo alfa como para la carrera solar, se realizaron prototipos del asiento. Básicamente se generaron dos prototipos integrales, de los cuales el primero fue una iteración del segundo, con el propósito de realizar mejoras enfocadas en el confort del usuario. De los datos obtenidos en carrera, y a partir de la retroalimentación entregada por el piloto respecto a la sensación de confort del segundo prototipo, se concluyó que se había conseguido mejorar dicha sensación en comparación al primero. Para verificar con mayor precisión dicha mejora y, con ello, tener mayor certeza de que los cambios realizados actuaron a favor de los objetivos, se decidió realizar pruebas en laboratorio, que permitieran probar ambas etapas de iteración y cruzar datos para su comparación. El parámetro a evaluar es el confort, es cual será medido a través de datos objetivos y subjetivos, con respecto al comportamiento del usuario durante las pruebas y la opinión del mismo sobre el prototipo utilizado.

METODOLOGÍA

Para obtener datos objetivos de la medición del confort, según los diversos métodos estudiados propuestos por M. Monedero, se optó por el análisis de cambios de postura a través de la captura de imágenes en video del prototipo en uso, debido a que las herramientas necesarias para llevar a cabo este tipo de pruebas se encuentran al alcance del proyecto, a diferencia de otras más complejas como, por ejemplo, el uso del electromiograma o el tramado de sensores de presión. Como método alternativo, se utiliza el modelo Vink-Hallbeck para determinar datos subjetivos. Específicamente, se usa un cuestionario de percepción del usuario, basado en una escala confort – molestia que, junto a un mapa corporal de referencia, le permite evaluar las distintas zonas de apoyo del cuerpo.

HERRAMIENTAS

Laboratorio de simulación

Se adaptó un laboratorio para simular el uso del asiento en el vehículo al pedalear. Para esto se utilizó el mismo auto usado en carrera (Protean IV), conectado a un rodillo de entrenamiento para bicicletas en la rueda delantera (accionada por el sistema biomecánico). Con esto se logra mantener las mismas condiciones de espacio del habitáculo y brindar resistencia al pedaleo. También se utilizó un medidor de velocidad con display conectado a la rueda, para controlarla constantemente.

Equipo de grabación

Se utilizaron cámaras, lateral, superior y frontal, para capturar los cambios de postura observables durante el transcurso de las pruebas. También luces y un telón de fondo de color plano, grillado, para facilitar la observación y análisis de los videos y tener medidas de referencia, para una eventual medición de la trayectoria de los movimientos u otros fines.

Ficha – cuestionario

Ficha de evaluación y cuestionario para medir la percepción del usuario. Cuenta con un mapa corporal de referencia y una escala de confort – molestia.

Complementos

Con la finalidad de apoyar el proceso, se utilizó un computador ubicado al frente del vehículo para reproducir contenido multimedia y mantener a la persona distraída de la pura acción de pedalear, debido a la extensión de la prueba y a que al estar en un laboratorio no se cuenta con los estímulos del medio externo, como los que se dan en la conducción en la pista. Otros elementos utilizados para complementar fueron una delimitación de la zona de filmación con conos, para evitar bloquear el rango de la cámara por error al pasar. También se proveyó de agua y snacks para el sujeto de ser necesario y se mantuvo la habitación con temperatura agradable para que otras variables como sed, hambre, calor y frío influyeran lo menos posible en la percepción del confort.

PROCEDIMIENTO

Para medir el desempeño del confort en cada prototipo, cada uno debía ser probado por dos horas consecutivas sin detenerse. Durante este tiempo el sujeto mantendría un pedaleo constante a una potencia fija, medida con la velocidad usando siempre el mismo cambio.

Se consideró comenzar a evaluar luego de la primera hora de pedaleo,

ya que antes de eso no se ven cambios significativos en el comportamiento ni en la percepción del usuario. Pasado ese tiempo, se divide la filmación en seis intervalos de diez minutos: El primero sin grabación, al final del cual se le pide al sujeto que evalúe su percepción a través del cuestionario. En el segundo se realiza la primera captura en cámara. Luego se sucede este mismo procedimiento con el resto de los cuatro intervalos,

hasta completar las dos horas de la prueba, obteniendo treinta minutos de grabación y tres evaluaciones de percepción sucesivas. Al finalizar se le pide al sujeto que indique opiniones y comentarios respecto al prototipo, si las tuviera.

Se realiza el mismo procedimiento con el segundo prototipo, luego de al menos 48 horas de descanso del sujeto, para que haga la prueba en las mismas condiciones.

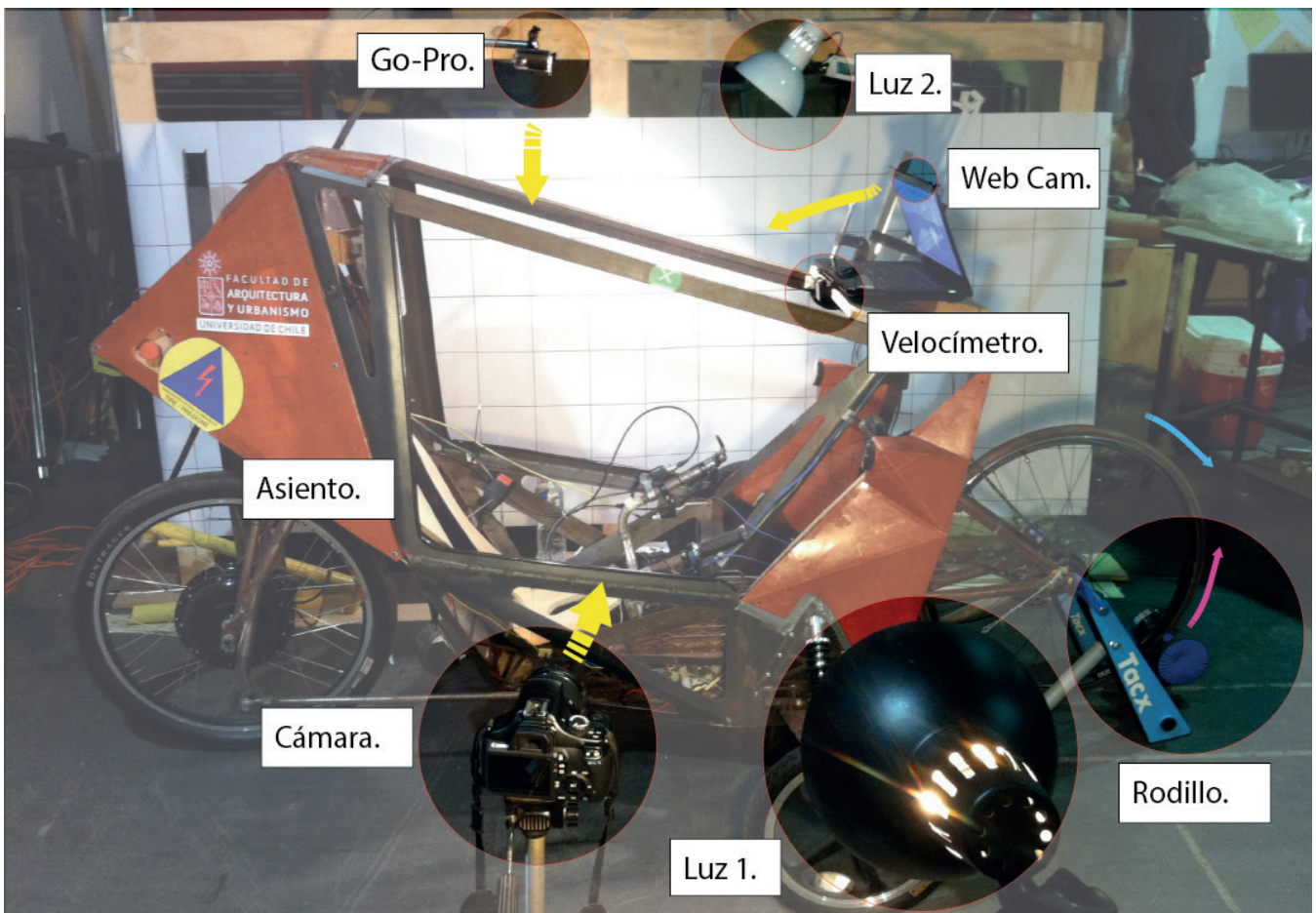


Imagen 40: Elementos utilizados para realizar las pruebas de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

EVIDENCIANDO EL CAMBIO DE POSTURA

Durante el video se evidencian los cambios de postura realizados por los sujetos cuando se acomodan y buscan una nueva postura donde apoyar la espalda. Esto es muy notorio cuando los sujetos se afirman de algún soporte cercano y se levantan. En las imágenes de la derecha se aprecia cómo el usuario gira la pelvis hacia atrás, para buscar un nuevo apoyo.



Imagen 41: Comparación de un momento de cambio de postura. *Fuente: Elaboración propia.*

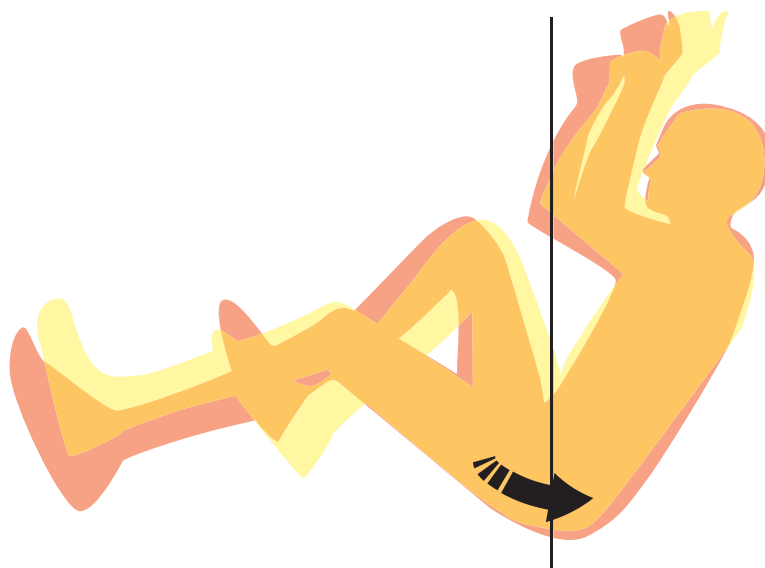


Figura 45: Comparación de las siluetas del momento antes y después del cambio de postura; giro de la pélvis hacia atrás. *Fuente: Elaboración propia.*

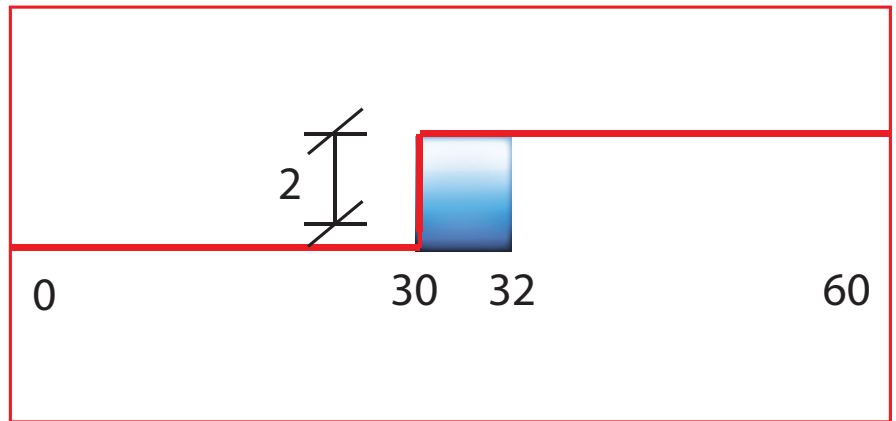


Figura 46: Ejemplo de sección de un histograma de cambio de postura.
Fuente: *Elaboración propia.*

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos de los prototipos se comparan en función de la frecuencia de los cambios de postura entre un asiento y otro en un mismo intervalo. Según M. Monedero, mientras menos cambios de postura haya en un asiento

durante su uso prolongado, mayor es el confort que este provee, siendo un indicativo objetivo de comodidad. Gracias a esto se puede evaluar cada prototipo de asiento y compararlos entre sí. Luego es posible analizar qué cambios en el diseño pudieron brindar una mejora y cuáles no, para tomar nuevas decisiones de diseño de ser necesaria otra iteración. Para cada prueba se hizo un histograma acumulado de los cambios de postura en el tiempo, durante 1800 segundos, los cuales se midieron en tres intervalos de 600 segundos, separados por 10 minutos entre sí (aunque durante estos 10 minutos el sujeto de prueba continuaba pedaleando sin interrupción). Cada cambio de postura se midió en intensidad dependiendo del tiempo que tardara el sujeto en encontrar la siguiente postura estable. Los gráficos muestran tramos solamente horizontales y verticales.

Los tramos verticales del histograma representan un cambio de postura y la altura del tramo es el tiempo que requirió el sujeto de prueba para encontrar una nueva posición de pedaleo. La duración de un cambio de postura fluctuó entre 1 y 7 segundos. Los tramos horizontales, corresponden a una nueva posición estable de pedaleo, las que podían durar desde algunos segundos, hasta varios minutos. Los valles corresponden a posturas estables que se mantienen en el tiempo.

Para facilitar la interpretación de los gráficos de histograma, se muestra a continuación un ejemplo de un sujeto que pedaleó durante 30 segundos manteniendo una posición estable y luego demoró 2 segundos (durante el segundo 31 y 32) en cambiar a una nueva posición estable durante 28 segundos más (desde el segundo 33 al segundo 60).

RESULTADOS

De lo observado en las pruebas se pudieron identificar numerosos cambios de postura de los usuarios para acomodarse y liberar presiones.

El indicador de incomodidad fue la cantidad de cambios en el transcurso de la prueba. Los resultados se compararon entre el primer y segundo prototipo y se obtuvieron porcentajes de comodidad de un asiento respecto del otro. Para todos los sujetos el prototipo 2 fue más cómodo que el 1, variando desde un 14% hasta un 70% de comodidad relativa.

Otro dato a comparar fue el porcentaje de grandes cambios de postura realizados por los usuarios durante la prueba. Estos se definieron como los cambios de postura que tuvieran una duración mayor a 4 segundos entre una postura estable y la siguiente.

Nuevamente, según los porcentajes de cada prototipo, se obtuvo que el segundo se desempeñó mejor que el primero.



Imagen 42: Prototipo 1; Asiento plano y sin acolchado. *Fuente: Elaboración propia.*



Imagen 43: Prototipo 2; Asiento con doble curvatura. *Fuente: Elaboración propia.*

Total de cambios de postura.	PROTOTIPO ASIENTO I	PROTOTIPO ASIENTO II	Porcentaje.
	↓	↓	
Sujeto 1	50	43	14%
Sujeto 2	120	66	45%
Sujeto 3	34	11	68%
Sujeto 4	73	22	70%

Figura 47: Total de cambios de postura para cada asiento y porcentaje de mejora del segundo respecto al primero. *Fuente: Elaboración propia.*

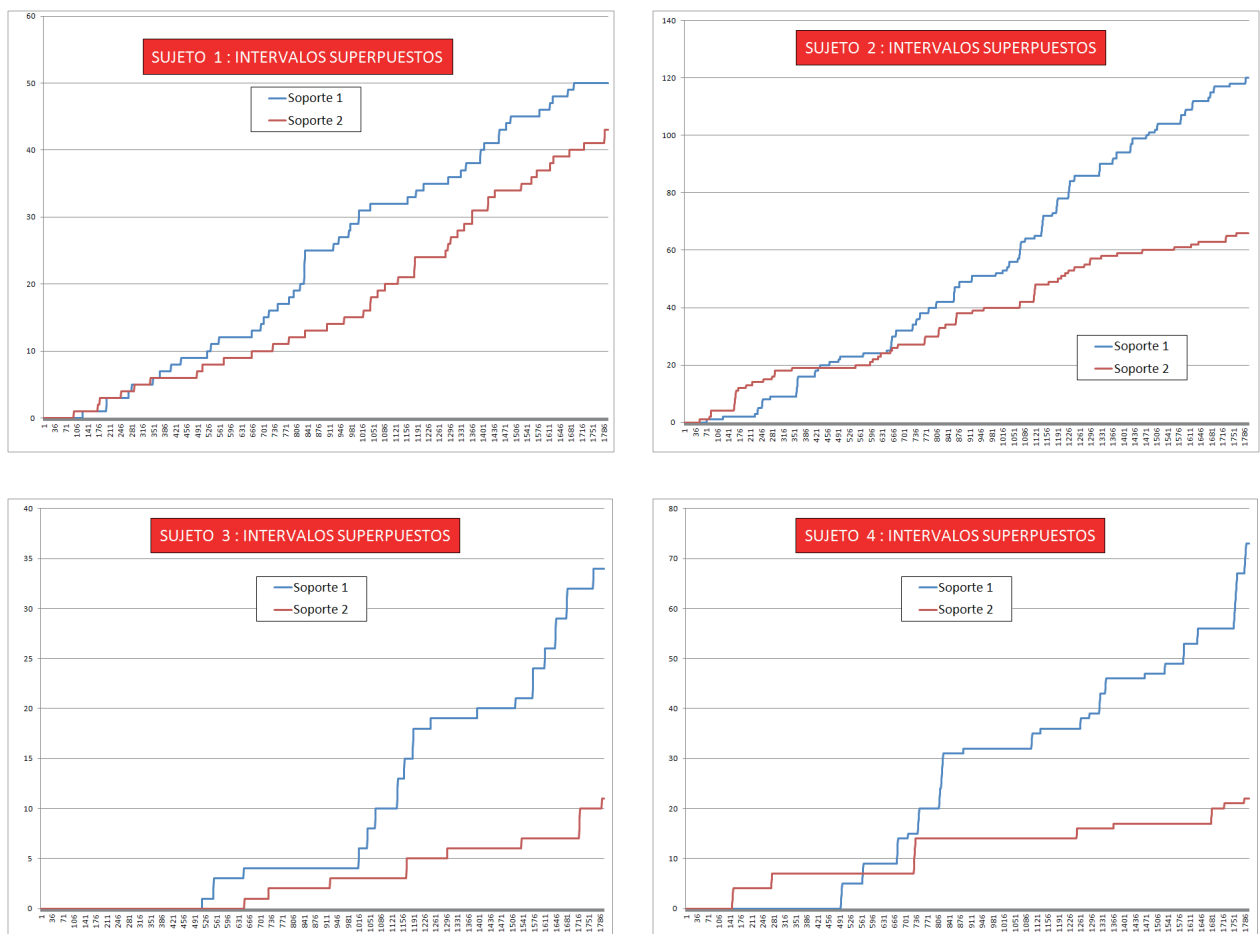


Figura 48: Inetgral de la acuulación de cambios de postura en el tiempo, para cada sujeto. Fuente: Elaboración propia.

HISTOGRAMAS

A medida que el tiempo avanzó, se puede ver que la “pendiente” también lo hacía ligeramente. Esto dado que los niveles de incomodidad fueron aumentando con el tiempo, obligando a los sujetos a buscar nuevas posturas, con mayor frecuencia.

Respecto a la comparación entre ambos soportes, se aprecia que en los primeros intervalos, para la mayoría de los sujetos, el asiento con doble curvatura obligó a cambiar más veces de postura. Sin embargo, ya en el segundo tercio la curva del primer prototipo comienza

a separarse cada vez más, terminando en una incomodidad mayor al final de la prueba. Esto probablemente a causa de que es más fácil situarse al principio sobre el asiento plano, pero en el asiento acolchado, luego de conseguir ubicar la espalda en la postura correcta, se puede mantener una postura cómoda por más tiempo.

Grandes cambios de postura.	PROTOTIPO ASIENTO I	Porcentaje.	Grandes cambios de postura.	PROTOTIPO ASIENTO II	Porcentaje.
	↓			↓	
Sujeto 1	1 de 43	0.43%	Sujeto 1	0 de 36	0%
Sujeto 2	8 de 55	14.5%	Sujeto 2	3 de 43	6.9%
Sujeto 3	0 de 16	0%	Sujeto 3	0 de 8	0%
Sujeto 4	10 de 21	47.6%	Sujeto 4	2 de 8	25%

Figura 49: Cantidad de grandes cambios de postura respecto al total de cambios, para cada asiento, y su porcentaje.
Fuente: Elaboración propia.

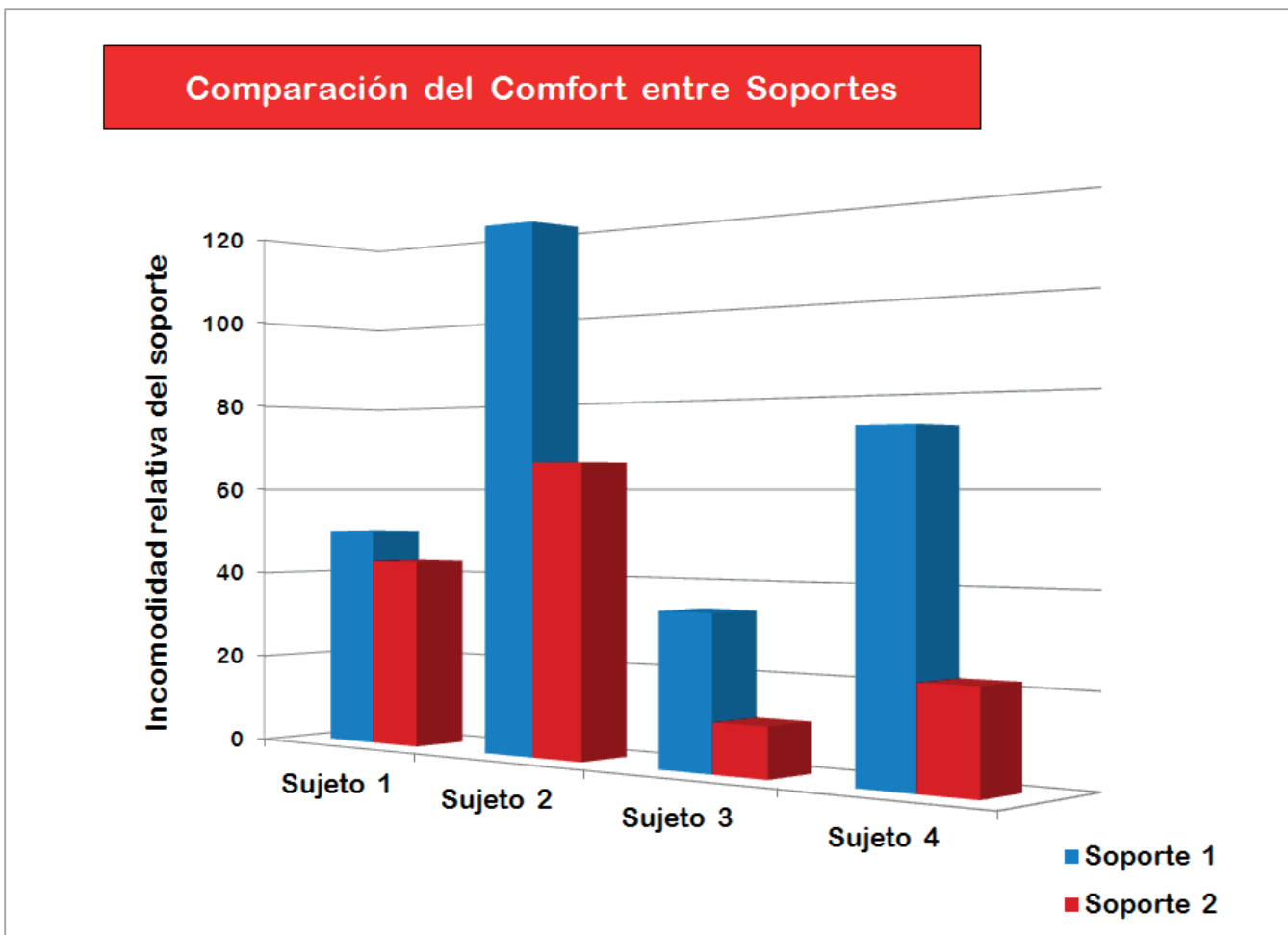


Figura 50: Comparación del nivel de incomodidad de cada asiento basado en los datos objetivos.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS SUBJETIVOS

De los resultados obtenidos en las fichas de evaluación perceptual, se observa un incremento del confort en el asiento 2 respecto del 1. Para obtener los porcentajes se hizo un cambio de variables con la intención de transformar todos los valores a positivo y poder ver gráficamente los resultados.

De estos datos se aprecia que sistemáticamente, todos los sujetos evaluaron mejor el prototipo con doble curvatura.

3	Muy cómodo.
2	Cómodo.
1	Casi cómodo.
0	Neutral.
-1	Molestia leve.
-2	Incómodo.
-3	Muy incómodo.

Figura 51: Escala de confort-molestia utilizada en la ficha
Fuente: Elaboración propia.

Asiento 1	A	B	C	D	Total
Sujeto 1	0	0	0	-1,6	-1,6
Sujeto 2	0,3	0	-0,3	-2	-2
Sujeto 3	0	-0,3	-2,3	-1	-3,6
Sujeto 4	0	-0,3	-3	-2	-5,3

Asiento 2	A	B	C	D	Total
Sujeto 1	2	1	-0,3	-0,6	2,1
Sujeto 2	2	0,6	-1,3	-1	0,3
Sujeto 3	1	0	-0,3	-1	-0,3
Sujeto 4	1	0	-1,6	-1	-1,6

Figura 53: Tabla del promedio de evaluación de cada zona en la prueba completa, para cada usuario y cada asiento. Puntaje total a la derecha. Fuente: Elaboración propia.

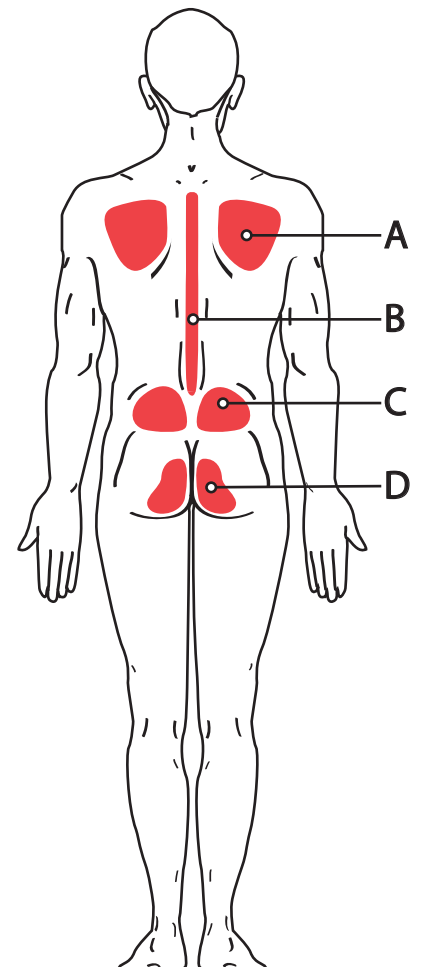


Figura 52: Mapa corporal de las zonas de apoyo de la espalda. Fuente: Elaboración propia.

Comparación del Comfort entre Soportes

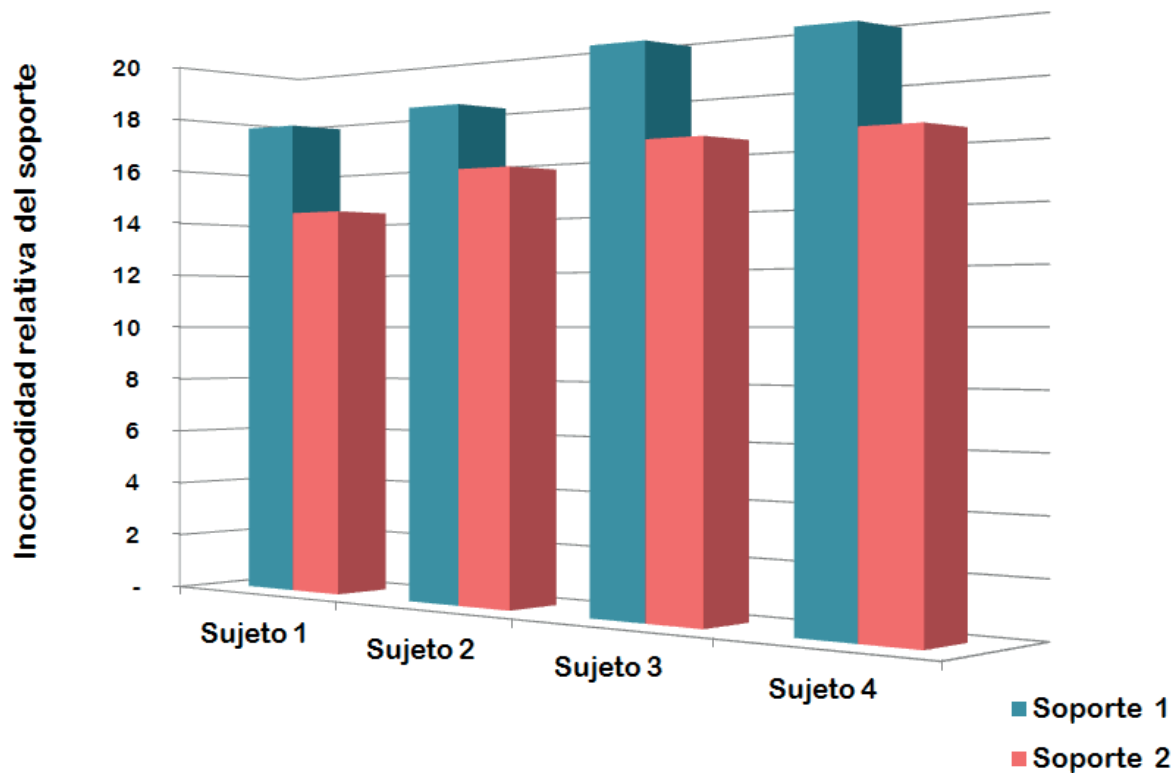


Figura 54: Comparación del nivel de incomodidad de cada asiento basado en los datos subjetivos.
Fuente: Elaboración propia.

INCOMODIDAD SUBJETIVA

Se observa que, según las opiniones de los usuarios y los puntajes asignados en las fichas, el asiento de doble curvatura vuelve a superar al asiento plano. En el gráfico se muestra el nivel de incomodidad percibido por los sujetos a partir de la tabulación de los datos, para el total del puntaje de todas las zonas de la espalda, obteniendo el confort general. Esto permite comparar y obtener porcentajes de reducción de incomodidad. Es preciso aclarar que se busca brindar confort al usuario, sin embargo estas pruebas están diseñadas de modo que se lleve

al límite la sensación de confort, y que probablemente causen sensaciones de molestia. Esto es útil ya que permite comparar y determinar si se consiguió una mejora.

Los porcentajes de mejora en el nivel de confort para cada usuario fueron de un 19% para el sujeto 1; 13% para el sujeto 2; 17% para el sujeto 3 y 17% para el sujeto 4. Estos no calzan del todo con los porcentajes obtenidos de los datos objetivos, sin embargo coinciden en que existe una mejoría.

CAPÍTULO XI

CAPÍTULO XI

PROPUESTA FINAL

PROPUESTA FINAL

De los datos obtenidos en la carrera solar y las pruebas en laboratorio, se realiza una última propuesta en el marco de este proyecto. Esta con la intención de aplicar mejoras al asiento y así resolver los problemas encontrados en las iteraciones anteriores.

Las zonas de las escápulas y de la columna fueron bien evaluadas, considerándolas cómodas y/o neutras por los distintos usuarios. Por el contrario, y a pesar de conseguir mejoras en la segunda iteración, las zonas del sacro y los isquiones presentaron ciertas molestias, aun que por lo general leves. Por esta razón se decidió aplicar cambios en dichas zonas, además de agregar soportes laterales para dar mayor firmeza al piloto durante la conducción.

Los cambios consideraron aumentar el área de contacto de la base del asiento hacia adelante y rebajar los bordes. Para la zona que está en contacto con el sacro se decidió reducir la cantidad de material rígido y reemplazarlo por acolchado.

Todo el proceso se llevaría a cabo utilizando la misma metodología que en los prototipos anteriores.

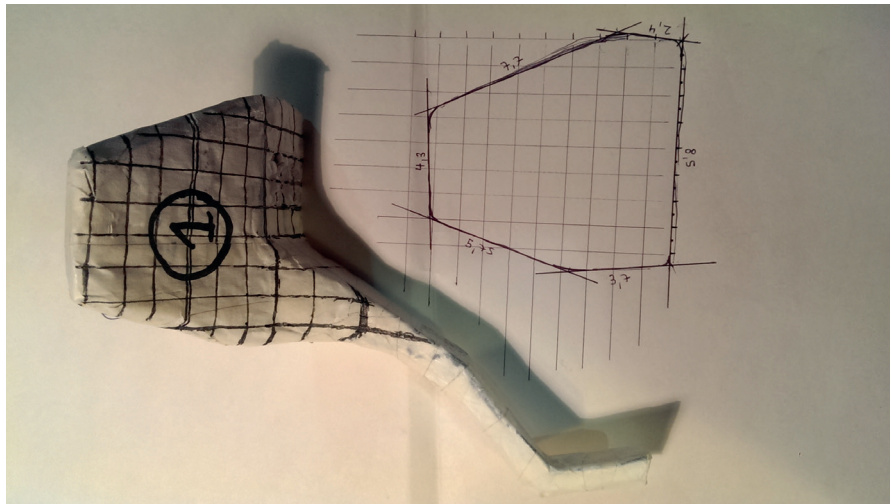


Imagen 44: Prototipos enfocados para determinar la geometría; aplicación de éstos en el modelo digital. *Fuente: Elaboración propia.*

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Modelo digital
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje; cómo se ve.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Forma del asiento final.
PROPÓSITO	Fabricación digital para fabricación CAM.

Figura 55: Clasificación del prototipo: Modelo digital. *Fuente: Elaboración propia.*

FABRICACIÓN

Se fabricaron prototipos enfocados de poliestireno expandido para las zonas que se deseaban agregar. Luego se midieron y se agregaron a el nuevo modelo digital, creado a partir del modelo 3D del segundo prototipo integral.

Se modificó digitalmente la curvatura en la zona del sacro, y se agregaron pequeñas aletas a los lados para aumentar el área de contacto, tanto en la zona del sacro como en la zona de las escápulas.

Finalmente, se fabricó en terciado utilizando una fresadora CNC.

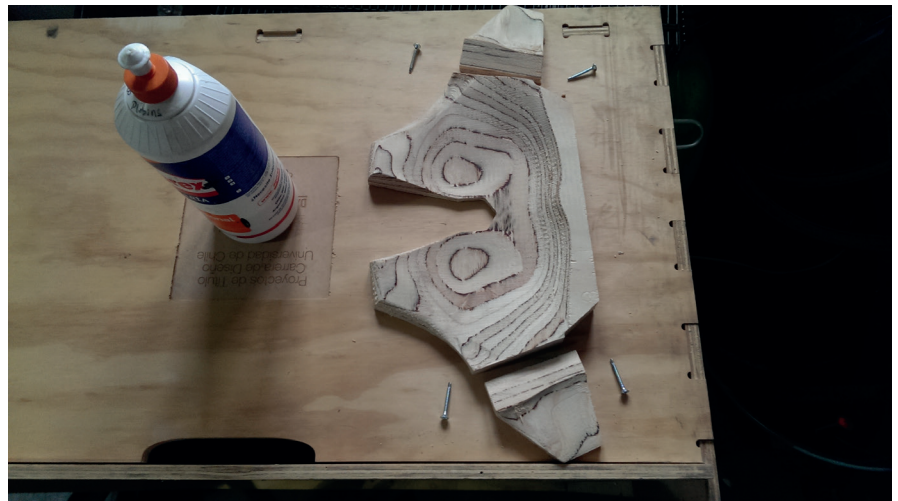


Imagen 45 Proceso de fabricación y armado del respaldo y la base. *Fuente: Elaboración propia.*

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Prototipo final
TIPO DE PROTOTIPO	Integral, visualización, comunicación.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Funcionalidad completa, con los ajustes propuestos.
PROPÓSITO	Iteración con ajustes del prototipo integral. Materialización de los resultados del estudio.

Figura 56: Clasificación del prototipo: Prototipo Final. *Fuente: Elaboración propia.*

ACOLCHADO

Para el acolchado se decidió reemplazar la espuma de neopreno utilizada en el asiento anterior por goma EVA ortopédica. Esto debido a su mayor velocidad y capacidad de volver a su forma original luego de ser comprimida, cualidades de menor grado en la otra espuma. Además, esta permite ser maquinada con la fresadora CNC, permitiendo una mejor terminación y simetría.

Primero se realizaron pruebas de espesor con poliestireno expandido, para determinar la geometría de los cortes del material. Estas se trabajaron manualmente hasta obtener los contornos deseados, dado que al adherir la espuma a la doble curvatura, esta se adapta y es difícil predecir si los contornos calzarán con la forma del soporte. Para solucionar mejor este problema, se diseñaron calados en la espuma de manera de tener varias secciones de acolchado, facilitando la adaptación del mismo a la curva. Además esto funciona como canales de ventilación para la espalda del usuario. Para decidir la geometría de dichos canales, se usó como referente el propio vehículo, para así seguir el mismo lenguaje formal derivado del concepto low poly.

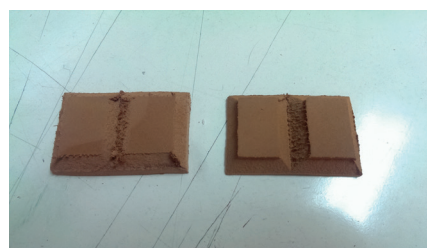
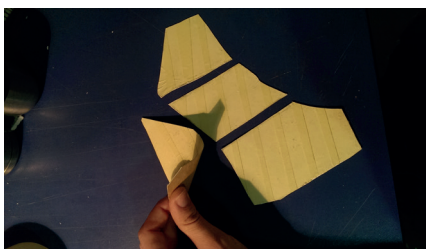


Imagen 46: Plantillas y prototipos enfocados de poliestireno expandido: aplicación al modelo digital y corte en fresadora CNC. Fuente: *Elaboración propia.*

NOMBRE DEL PROTOTIPO	Varios prototipos del acolchado.
TIPO DE PROTOTIPO	Enfocado, de aprendizaje; cómo se ve.
NIVEL DE APROXIMACIÓN	Acolchado de la propuesta final.
PROPÓSITO	Obtener la forma del acolchado y fabricar.

Figura 57: Clasificación del prototipo: Acolchado. Fuente: *Elaboración propia.*

RENDER



Imagen 47: Render del asiento. *Fuente: Elaboración propia.*



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Está claro que existe una complejidad intrínseca en el estudio del confort, y en general en cualquier estudio que involucre entre sus variables el factor humano. Esto dado que los seres humanos somos inmensamente complejos y diversos, tanto física como psicológicamente. Tal condición involucra altos niveles de subjetividad, por lo cual encontrar parámetros objetivos es de mucha utilidad para obtener certidumbre.

La intención de este estudio fue buscar ser lo más objetivo desde el punto de vista del diseño, intentando seguir un orden lineal entre la obtención de requerimientos, variables y parámetros para guiar el proceso y cumplir con el objetivo. Para esto, el uso de las metodologías fue fundamental, así como el conocimiento entregado por las fuentes bibliográficas y los expertos consultados. Sin embargo, la complejidad del proceso de diseño no es lineal, y considera un proceso de constante iteración, donde existen preguntas que sólo pueden ser respondidas luego de construir y probar.

La aplicación de la doble curvatura al asiento con la intención de permitir adaptabilidad y, principalmente, un buen contacto, entregaron buenos resultados en comparación al asiento que no la tenía, aumentando los niveles de confort en los sujetos evaluados. Sin embargo, probablemente no exista una perfecta interfaz que permita mantener al usuario cómodo por un periodo demasiado prolongado, y esto tiene sentido, ya que el cuerpo es un sistema dinámico, que necesita moverse. Es por esta razón que los usuarios requirieron cambiar de postura cada cierto tiempo, como se observó en las pruebas de laboratorio, dado que, de una u otra forma, los tejidos de sus cuerpos comenzarían a tener problemas en el flujo sanguíneo, afectando la oxigenación y provocando molestias que eventualmente se volverían daños. Por todo esto, se considera que el asiento es mejorable en ese sentido, y más que buscar eliminar la necesidad del usuario de cambiar de postura, se debe aceptar la condición dinámica del cuerpo y buscar la manera de reducir dichos cambios (porque cada cambio afecta el desempeño de

la tarea a realizar), y entonces permitir y contribuir en dichos cambios de postura, de manera que para el usuario sea fácil y rápido llegar de una postura a otra.

Para lo anterior, la aplicación de materiales elásticos como la espuma fue de gran ayuda, sin embargo, incluso dicho material se ve limitado en una postura mantenida (a pesar que es claramente mejor que no usarlo), ya que siempre la fuerza de reacción del material contra la fuerza que el cuerpo ejerce sobre él se terminarán igualando, produciendo molestias en un momento dado, obligando al cambio de postura. Por otro lado también es preciso entender que la espuma no puede dar una solución por sí sola, ya que al ser elástica no permite dar soporte. Es esta una de las dimensiones más complejas encontradas durante el estudio y el proceso de diseño: Debe existir un equilibrio de las propiedades mecánicas del material del soporte. Esto quiere decir que el soporte no debe ser ni muy elástico ni muy rígido, y el problema es encontrar dicho balance. Otro factor a equilibrar respecto al

diseño del asiento fue qué tanto se podía aumentar la superficie de contacto con la intención de reducir las presiones y reducir molestias, sin afectar el uso y la movilidad de las extremidades, las cuales son necesarias para la conducción del vehículo.

Otro factor importante, sabido desde un principio en la investigación, es que el desempeño del mueble y su configuración (si lo que se busca es brindar comodidad, eficiencia y salud), está estrechamente ligado al contexto, al usuario y la tarea. Esto se pudo corroborar ya que la tarea y el contexto de uso eran muy particulares en el caso de estudio, entregando requerimientos que en otros casos que involucran el “sentarse” no están presentes. Al aplicar tales requerimientos al diseño se llegó a una forma que no se había predicho en un principio, gracias a la posibilidad de probar el asiento en el vehículo y entender lo que sucedía con el usuario a través de la participación y la observación. Por lo tanto se concluye con respecto a este punto que es de vital importancia el poder someter al objeto de diseño a las características del contexto real en el cual va a desempeñarse, pudiendo obtenerse datos que no se habían considerado.

El trabajo interdisciplinario a su vez, fue un factor enormemente destacable para el proyecto, ya que permite entender el rol del diseño industrial y cómo éste puede nutrirse y nutrir otros rubros de investigación

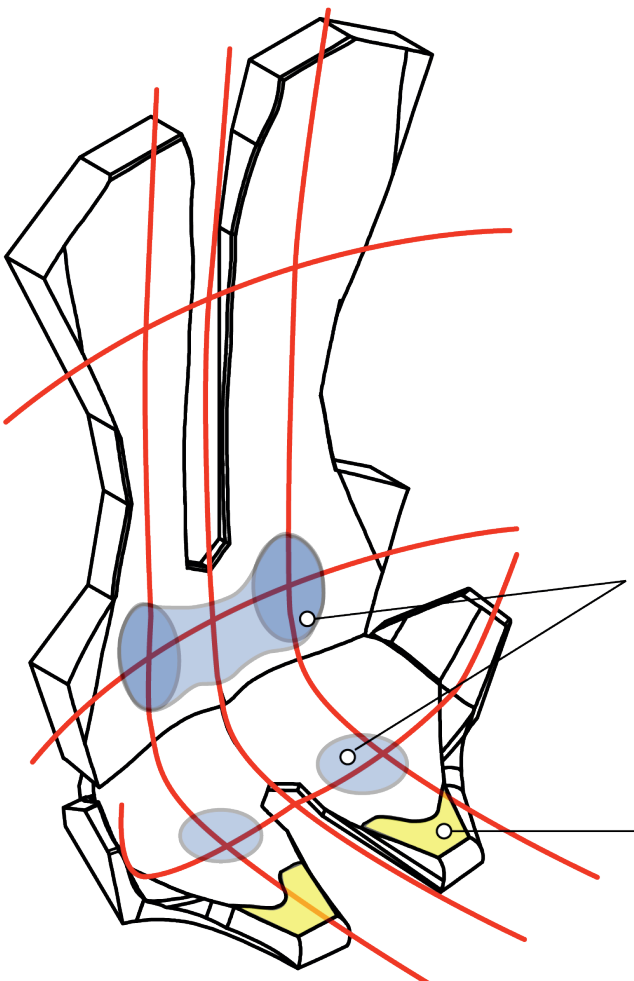
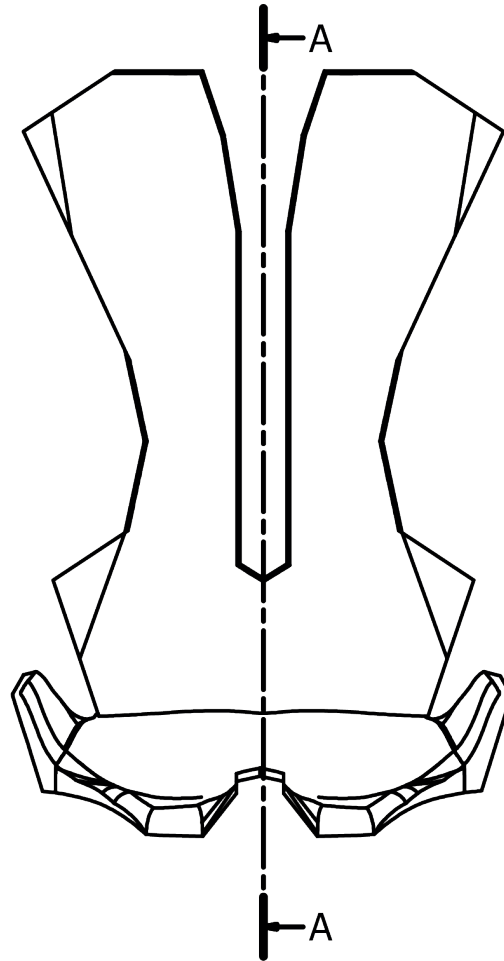
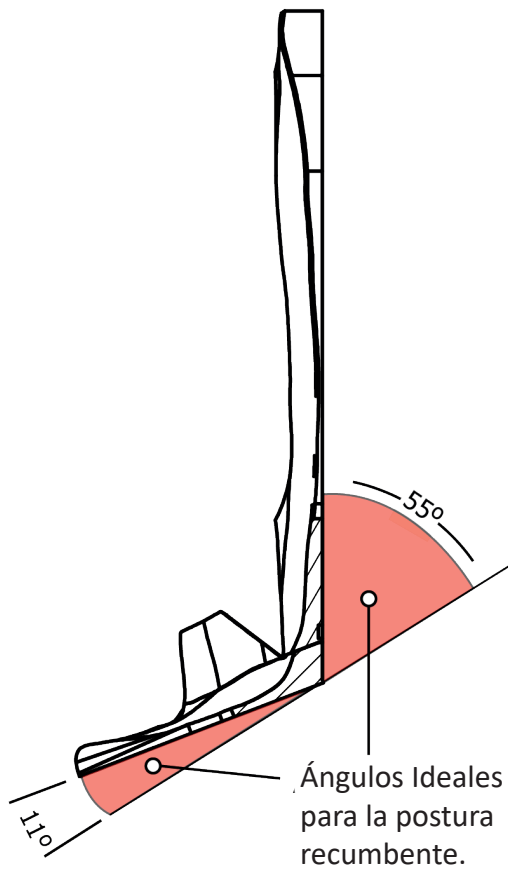
a través del aporte mutuo. La constante retroalimentación durante el proceso de diseño, la conversación y los intercambios de opinión con otros colaboradores del proyecto dilucidaban detalles, ideas y consideraciones dadas las distintas experticias de cada cual, llegando a soluciones impensadas. Por ejemplo, consideraciones como eliminar la zona de apoyo de la columna vertebral, fueron sugerencias hechas por el equipo de kinesiología al diseñador, y resultaron ser de gran aporte en el aumento del confort de los prototipos. Esta idea podría bien haber nacido de un análisis bibliográfico, pero la rapidez y ojo crítico de los expertos es de gran valor, ya que se vuelve mucho más eficiente y dinámico el proceso de diseño.

Respecto a la dimensión metodológica, se concluye que los métodos utilizados fueron de gran ayuda en el proceso de diseño, especialmente porque consideraban la realización de pruebas como parte fundamental. Esto permitió validar y responder hipótesis, como que la doble curvatura y el acolchado, aumentarían el nivel de confort al aumentar la superficie de contacto y repartir la carga. Además se pudo aplicar el cruce de valoraciones subjetivas con objetivas, teniendo un espectro más nutrido de retroalimentación en el proceso, pudiendo tomar nuevas decisiones con mayor certeza.

PROYECCIONES

El proyecto permite dar continuidad a la línea investigativa, abriendo nuevos caminos de investigación, como por ejemplo; el estudio del confort en asientos de este tipo de vehículos, o en otros componentes de interfaz de usuario de éstos últimos (diseño de pedales tipo puntilla para la postura recumbente); el estudio del confort a través del diseño en el sentarse; la utilización de los datos obtenidos para diseñar un asiento aplicando además otros parámetros de diseño; o incluso el desarrollo en profundidad de la incidencia de variables encontradas, como el equilibrio de la cantidad de material elástico del acolchado en conjunto con el material rígido del soporte, para obtener mayor confort en zonas críticas (como la zona lumbar y los isquiones).

A-A (1 : 4)



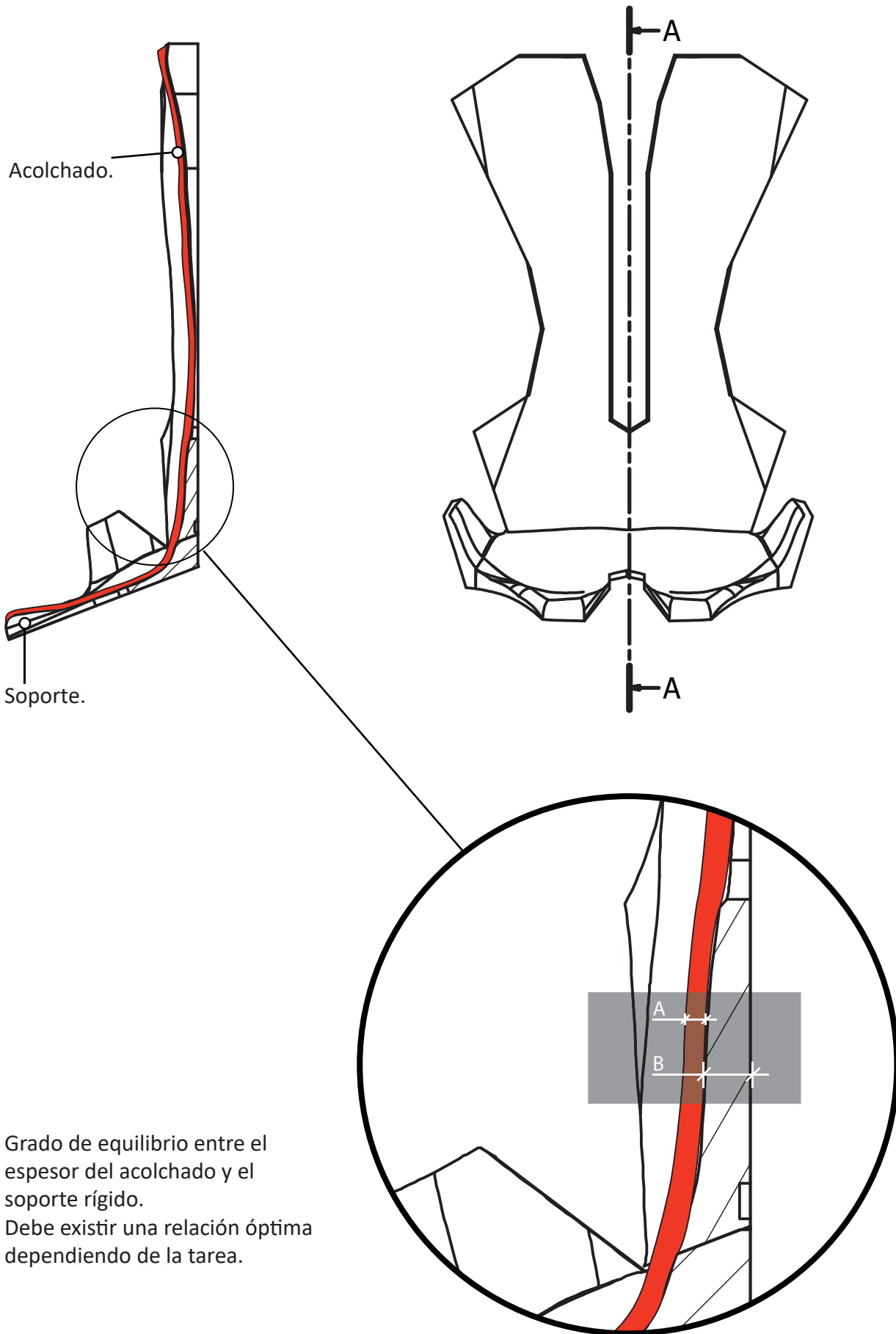
Grado de la curvatura del soporte. Esta debe entregar suficiente espacio para permitir el cambio de postura y a la vez dar buen soporte y aumentar el área de contacto con el cuerpo, sin limitar la movilidad de las extremidades.

Zonas críticas, que se sugiere estudiar y evaluar con mayor profundidad en nuevas investigaciones, a través de prototipos enfocados.

Zona de posible conflicto al rozar con las extremidades inferiores.

Figura 58: Variables para el diseño de un asiento para velomóvil. Fuente: *Elaboración propia.*

A-A (1 : 4)



Grado de equilibrio entre el espesor del acolchado y el soporte rígido.
Debe existir una relación óptima dependiendo de la tarea.

Figura 59: Variables para el diseño de un asiento para velomóvil. Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

Nieto, J. (2013). Una máquina para sentarse, laboratorio de la postura sedente, *para el diseño de asientos de buses del transporte público de Santiago* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Sanhueza, J. (2014). *Modelo para diseñar un habitáculo comfortable de velomóvil* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Pearson, E. (2009). *Comfort and its measurement - A literature review*. Informa, 4(5), 301-310.

Naddeo, A., Cappetti, y C., D'Oria, C. (2015). *Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation*. Ergonomics, 48, 25-35.

Monedero, M. (1998). Evaluación ergonómica de sillas. Criterios de evaluación basados en el análisis de la postura. (Memoria de tesis doctoral). Universitat Jaume I.

Ulrich, K., Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. (No. HD31. U47 2009.). McGraw-Hill Education.

Tixa, S. (2006). *Atlas de anatomía palpatoria tomo 1. Cuello, tronco y extremidad superior*. (No. WB275 T624a.E 2006 v.1). Ámsterdam : Elsevier Masson.

ANEXOS

Medición estándar del ángulo del asiento

El concepto de la determinación del ángulo de inclinación se basa en la medición del ángulo del torso, de acuerdo a las normas ISO/JIS. El ángulo β no debe superar los 35° ." (Fuente: Bases Carrera Solar Atacama V1.2, 2016).

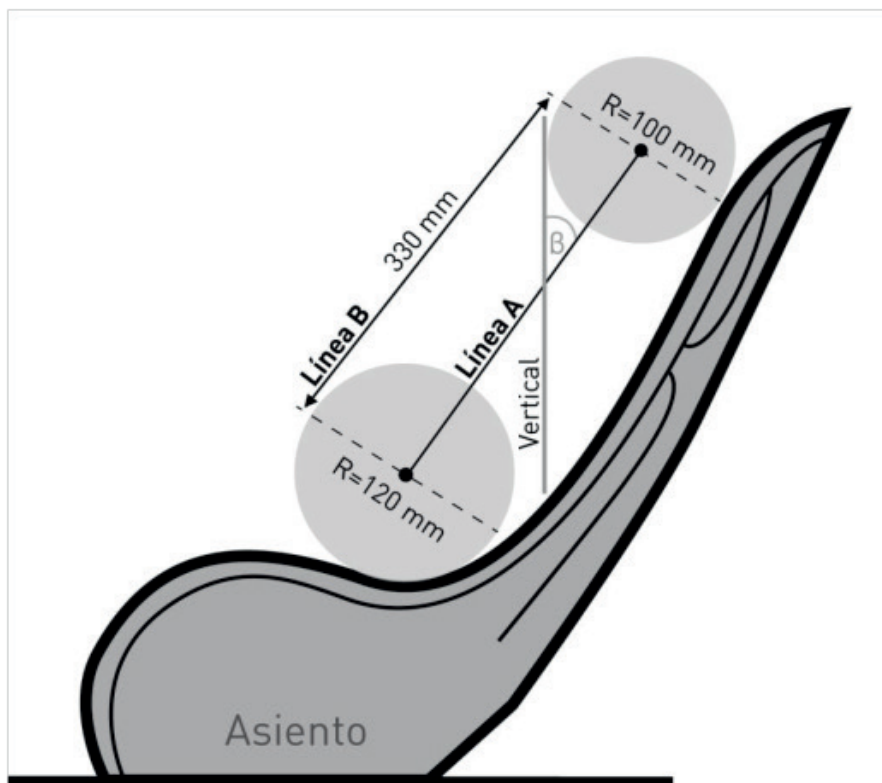
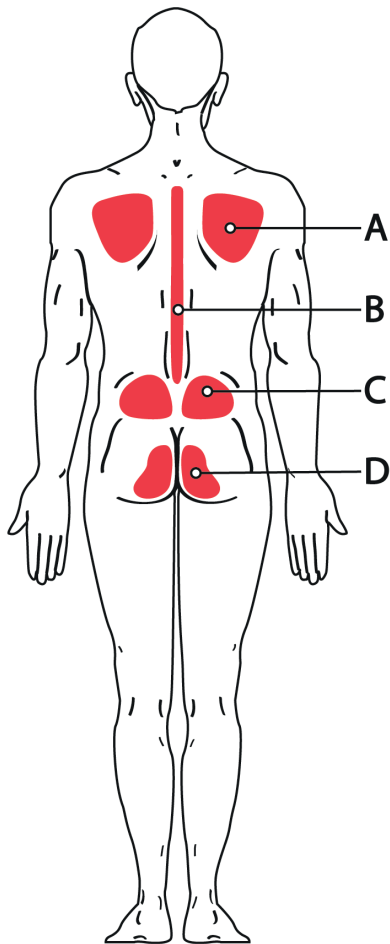


Imagen 48: Medición del ángulo reglamentario. Fuente: Bases Carrera Solar Atacama.

CUESTIONARIO DE PERCEPCIÓN DEL CONFORT.

Prototipo N°:

Nombre del sujeto de pruebas:



Valore en cada intervalo de tiempo, la sensación de confort percibida por el usuario para cada parte del cuerpo utilizando la tabla a continuación. El sujeto debe indicar un número para cada zona, lo cual se facilita utilizando el mapa corporal a la izquierda del cuestionario.

3	Muy cómodo.
2	Cómodo.
1	Casi cómodo.
0	Neutral.
-1	Molestia leve.
-2	Incómodo.
-3	Muy incómodo.

Intervalo: A = B = C = D =

Intervalo: A = B = C = D =

Intervalo: A = B = C = D =

Las zonas indicadas corresponden a:

A: Escápulas.

B: Columna.

C: Sacro.

D: Isquiones.

Comentarios del usuario:

Imagen 49: Cuestionario de evaluación subjetiva del confort. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 50: Laboratorio de pruebas. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 51: Sujeto 1 durante prueba. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 52: Sujeto 2 durante prueba. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 53: Sujeto 3 durante prueba. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 54: Sujeto 4 (mismo que el sujeto 3 luego de 2 meses, para corroborar que se mantuvieron los parámetros). durante prueba. Fuente: *Elaboración Propia.*



Imagen 55: Piloto Edgardo Opazo durante trayecto Carrera Solar Atacama. Fuente: *Elaboración Propia.*