



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño mecánico de dispositivo adaptable
para impulsar una silla de ruedas manual

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA MECATRÓNICA
PRESENTA

CLAUDIA AIDÉ SORIANO VÁZQUEZ

Director de tesis: Dr. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ

México, D.F.

Agosto 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mi mamá (q.e.p.d.) por su apoyo incondicional mientras estuvo conmigo,

a mi papá,

a Elo,

a Daniel,

a mi familia y amigos,

a mi director de tesis, Dr. Jesús Manuel Dorador González,

a mis sinodales,

Dr. Vicente Borja Ramírez,

Dr. Adrián Espinoza Bautista,

Ing. Armando Sánchez Guzmán

Arq. Arturo Treviño Arizmendi,

a la Universidad Nacional Autónoma de México:

¡Muchas gracias!

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	4
1.1 DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	4
1.2 PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	5
1.3 PLANEACIÓN.....	5
1.3.1 Objetivo.....	6
1.3.2 Análisis del contexto del proyecto.....	6
1.3.3 Recopilación de requerimientos del cliente.....	15
1.3.4 Especificaciones técnicas.....	20
1.3.5 Estudio de mercado: Primera iteración.....	21
1.3.6 Declaración de la misión del proyecto.....	22
1.4 DESARROLLO DEL CONCEPTO.....	22
1.4.1 Selección del concepto.....	23
1.5 DISEÑO A NIVEL SISTEMA.....	24
1.5.1 Descripción general.....	25
1.5.2 Prueba de concepto.....	27
1.6 CONCLUSIONES.....	29
CAPÍTULO 2: PROCESO ITERATIVO DE DESARROLLO.....	31
2.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS CONTRA OBJETIVOS DE DISEÑO.....	31
2.2 ANTROPOMETRÍA Y DISEÑO.....	34
2.3 SILLAS DE RUEDAS.....	37
2.4 ESTUDIO DE MERCADO: SEGUNDA ITERACIÓN.....	41
2.4.1 Power Add-On Units (PAU).....	41
2.4.2 Productos en el mercado.....	42
2.4.3 Tabla de elementos diferenciadores.....	48
2.5 CONCLUSIONES.....	49
CAPÍTULO 3: CONFIGURACIÓN GENERAL Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	50
3.1 DISEÑO.....	50
3.2 FUENTES DE GENERACIÓN DE IDEAS.....	51
3.3 CONFIGURACIÓN.....	54
3.4 ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN.....	57
3.5 ELECCIÓN DE COMPONENTES.....	58
3.5.1 Llantas.....	59
3.5.2 Motor.....	59
3.5.3 Batería.....	71
3.6 CONCLUSIONES.....	72
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE DETALLE DEL DISPOSITIVO ADAPTABLE.....	73
4.1 ELEMENTOS DIFERENCIADORES.....	73
4.2 SOPORTE Y SUJETADOR.....	74
4.2.1 Metodología de diseño.....	74
4.2.2 Resultado.....	76
4.3 CHASIS.....	77
4.3.1 Análisis y selección de arreglos.....	77
4.3.2 Diseño para ajuste horizontal y vertical.....	79
4.3.3 Resultado preliminar.....	81
4.4 RESULTADO.....	82
4.4.1 Materiales.....	83
4.4.2 Planos de detalle.....	84
4.4.3 Dispositivo.....	90
4.5 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	93

4.5.1 Soporte porta-batería	93
4.5.2 Manubrio con elevador.....	96
4.5.3 Porta-motores con tubo interior de desplazamiento vertical	98
4.6 CONCLUSIONES	101
CONCLUSIONES.....	102
ANEXO 1 Avances a favor de la discapacidad	106
ANEXO 2 Análisis por Elementos Finitos	107
ANEXO 3 Información útil	108
GLOSARIO.....	109

Lista de figuras

Fig. 1.1: Símbolos de discapacidad	7
Fig. 1.2: Distribución de causas de discapacidad por cada 100 personas discapacitadas	8
Fig. 1.3: Porcentaje de población por tipo de discapacidad (2000)	8
Fig. 1.4 Distribución porcentual de población según grupos de edad y sexo, 2000	9
Fig. 1.5: Símbolo internacional de acceso a discapacitados	11
Fig. 1.6: Ruta del recorrido en el Centro Histórico a) En rojo, el primer recorrido; b) en azul, el segundo; c) en naranja, una calle remodelada para hacerla peatonal.....	12
Fig. 1.7 Calle Uruguay remodelada.....	13
Fig. 1.8 Salvador esq. Allende.....	13
Fig. 1.9 Señalización	13
Fig. 1.10 Calle Moneda sin vendedores ambulantes	13
Fig. 1.11 Lámina peligrosa.....	14
Eje Central y Rep. Uruguay.....	14
Fig. 1.12 Coladera arriba del nivel de la banqueta (Rep. Uruguay)	14
Fig. 1.13 Agujero en banqueta estrecha (Eje Central)	14
Fig. 1.14 Rampa peligrosa para silla de ruedas a un costado del Palacio de Bellas Artes.....	14
Fig.1.15 Banqueta en mal estado frente a la churrería El Moro	14
Fig. 1.16 Corredor “Cero Emisiones”	15
Fig. 1.17: Silla sin llantas, reposapiés y gomas de manubrio	17
Fig. 1.18: Silla con tubo de hospital sustituyendo a reposapiés.....	17
Fig. 1.19: Vista frontal de carrito de supermercado modificado como silla de ruedas	18
Fig. 1.20: Vista lateral de carrito de supermercado modificado como silla de ruedas.....	18
Fig. 1.21: Función central: Impulsar silla de ruedas.....	25
Fig. 1.22: Sub-funciones.....	25
Fig. 1.23: Alternativas de configuración	27
Fig. 1.24: Partes del prototipo alfa	28
Fig. 1.25: Prototipo montado en silla de ruedas	29
Fig. 2.1: Datos dimensionales de un usuario en silla de ruedas.....	36
Fig. 2.2: Zona de alcance horizontal de un usuario en silla de ruedas.....	36
Fig. 2.3: Zona de alcance vertical de un usuario en silla de ruedas	36
Fig. 2.4: Zona de alcance común.....	37
Fig. 2.5: Partes de una silla de ruedas manual.....	38
Fig. 2.6: Dimensiones que varían de acuerdo al fabricante	40
Fig. 2.7: Productos encontrados en el estudio de mercado	44
Fig. 3.1: Sub-función <i>Adaptar dispositivo</i>	50
Fig. 3.2: Método de ensamble propuesto por Virginia Tech Institute	52
Fig. 3.3: Rango de dimensiones estándar de sillas de ruedas	52
Fig. 3.4: Formas de marco de sillas de ruedas	53
Fig. 3.5: Nomenclatura de medidas tomadas.....	54
Fig. 3.6 Configuración 1.....	54
Fig. 3.7 Configuración 3.....	55
Fig. 3.8 Configuración 4.....	56
Fig. 3.9 Llanta comercial seleccionada.....	59
Fig. 3.10 Valores de la resistencia a la rodadura medida y calculada para una silla de ruedas con usuario en posición estándar	62
Fig. 3.11 Motor de Allied Motion	65
Fig. 3.12 Motor de BISON Gear & Engineering Corp.....	66
Fig. 3.13 Motor de BISON Gear & Engineering Corp.....	66
Fig. 3.14 Motor de ROTOMAG.....	67
Fig. 3.15 Motor RMG-K1K de ROTOMAG.....	69
Fig. 3.16: Baterías MK Powered	72
Fig. 3.17: Ciclos de vida vs porcentaje de descarga a 25°C	72
Fig. 4.1: Croquis de analogías de sujetadores.....	75

Fig. 4.2: Resultado de observación.....	75
Fig. 4.3: Soporte	75
Fig. 4.4: Analogía con broche	76
Fig. 4.5: Sistema de sujeción.....	76
Fig. 4.6: Detalle y principio de funcionamiento del broche de sujeción	77
Fig. 4.7: Vistas del arreglo A de componentes	78
Fig. 4.8: Vistas del arreglo B de componentes	78
Fig. 4.9: Vistas del arreglo C de componentes	79
Fig. 4.10 Seguro	80
Fig. 4.11: Función de ajuste por medio del seguro.....	80
Fig. 4.12 Propuesta de solución para ajuste horizontal.....	80
Fig. 4.13: Croquis del dispositivo, incluyendo chasis	81
Fig. 4.14: Modelo virtual del dispositivo	81
Fig. 4.15: Modelo virtual del sistema silla-dispositivo.....	82
Fig. 4.16: Chasis.....	83
Fig. 4.17: Señalización de componentes del dispositivo	91
Fig. 4.18: Señalización de componentes (detalle)	91
Fig. 4.19: Dimensiones generales del dispositivo	92
Fig. 4.20: Comparación de procesos de diseño tradicional y diseño con FEA.....	93
Fig. 4.21: Restricciones y fuerzas aplicadas al soporte porta-batería	94
Fig. 4.22: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general del soporte con porta-baterías	94
Fig. 4.23: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en detalle del soporte con porta-baterías	95
Fig. 4.24: Desplazamiento en vista general 1 del soporte con porta-baterías	95
Fig. 4.25: Desplazamiento en vista general 2 del soporte con porta-baterías	96
Fig. 4.26: Restricciones y fuerzas aplicadas al elevador	96
Fig. 4.27: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del manubrio elevador	97
Fig. 4.28: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 2 del manubrio elevador	97
Fig. 4.29: Desplazamiento en vista general 1 del soporte con porta-baterías	98
Fig. 4.30: Desplazamiento en vista general 1 del soporte con porta-baterías	98
Fig. 4.31: Restricciones y fuerzas aplicadas al porta-motores.....	99
Fig. 4.32: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del porta-motores.....	99
Fig. 4.33: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del porta-motores.....	100
Fig. 4.34: Desplazamiento en vista general 1 del porta-motores.....	100
Fig. 4.35: Desplazamiento en vista general 2 del porta-motores.....	101

INTRODUCCIÓN

Como alumna de la asignatura de Diseño del Producto participé en una clase con un enfoque multidisciplinario, donde la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México unieron esfuerzos y, a través del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) y del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI), crearon grupos de trabajo para poner en práctica los conocimientos conforme se adquieren.

Bajo este esquema, formé parte de un equipo integrado por estudiantes de diseño industrial y de ingeniería mecatrónica, mecánica e industrial. Se nos solicitó pensar en un proyecto de mejoramiento de la movilidad de las personas discapacitadas en el Centro Histórico de la Ciudad de México. Mi equipo decidió trabajar en una propuesta que brindara ayuda a personas con discapacidad motriz.

A lo largo del semestre 2008-2 reflexionamos acerca de las implicaciones del proyecto, analizamos el contexto, diagnosticamos el problema, propusimos soluciones, las estudiamos, seleccionamos la mejor, la desarrollamos e hicimos un diseño conceptual y de configuración del producto propuesto hasta llegar a la creación de modelos de apariencia y a la fabricación de un prototipo funcional.

Tras todo el trabajo realizado, el producto que finalmente propusimos fue un dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas estándar. Nuestro objetivo fue proponer una ayuda técnica que permitiera facilitar el tránsito y aumentar la independencia de las personas de la tercera edad y discapacitados motrices.

A pesar de que las actividades realizadas fueron numerosas, aún hacía falta mejorar la documentación del proyecto, realizar el diseño de detalle de cada elemento funcional y hacer recomendaciones para trabajos futuros. De aquí surgió la posibilidad de profundizar en alguno de los temas que quedaron abiertos.

Motivación

A mí me interesó la parte del diseño mecánico por las siguientes razones:

- Datos estadísticos demuestran que en México la cantidad de adultos mayores y personas obesas está en aumento, por lo que la investigación y desarrollo de ayudas técnicas es una vía para enfrentar los problemas del futuro.
- Como estudiante en Ingeniería Mecatrónica conocí la importancia de la mecánica como base fundamental para el buen funcionamiento global de un sistema. Si la parte mecánica no se diseña adecuadamente, por muy bueno que sea el diseño electrónico, el sistema no podrá funcionar de manera óptima.
- El prototipo presentado en la asignatura de Diseño del Producto demostró que aún había un gran potencial de mejora: no era fácil de montar, era muy voluminoso, era visualmente burdo, los cálculos de componentes eran superficiales, etc.
- Los componentes usados en el prototipo no eran los correspondían a los cálculos, sino que fueron los que se pudieron conseguir rápidamente y bajo préstamo.

- La investigación del contexto estaba incompleta: el estudio de mercado no estuvo enfocado en dispositivos que permitieran motorizar una silla de ruedas manual y faltaba conocer las normas y leyes aplicables a favor de las personas con discapacidad motriz.
- Personalmente, deseaba practicar más el uso de CAD y CAE.

Objetivo

El objetivo primordial de esta tesis es hacer el diseño de detalle de la parte mecánica del dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual.

Hipótesis

El trabajo inició contemplando tres hipótesis:

1. Existe una forma y dimensiones estándar de silla de ruedas , independientemente del fabricante
2. Existe una solución para permitir la instalación del dispositivo en cualquier silla de ruedas en “tan solo un clic”
3. Los discapacitados motrices, los ancianos y sus acompañantes serían los beneficiarios de la ayuda técnica propuesta

Estructura y contenido

En el presente trabajo se incluyen aspectos del diseño centrado en el usuario, cuya ventaja es asegurar que el dispositivo satisface necesidades reales: la concepción del producto desde el punto de vista de ingeniería, arquitectura o diseño industrial no se realiza de manera aislada, sino que involucra investigación paralela en ciencias sociales aplicadas como antropología, psicología y sociología, permitiendo una comprensión mucho más sólida del problema. Para mí, fue tan importante el análisis mecánico como la comprensión de la problemática social, así como del marco médico y jurídico que está en torno al problema.

Cabe mencionar que este trabajo presenta una estructura dual: por una parte se describen los pasos teóricos que deben seguirse a lo largo de un proceso de desarrollo genérico; y por otra parte se aplican dichos pasos al diseño de detalle mecánico del dispositivo. Ambos enfoques se desarrollan a la par. Considero que una fortaleza del trabajo es, precisamente, la documentación detallada del proceso de diseño que se siguió. En todo momento se buscó fundamentar adecuadamente las razones que llevaron a la toma de decisiones.

En primer lugar, en el capítulo 1 se define el proceso genérico de desarrollo del producto que se siguió a lo largo del trabajo. Además se documentan las primeras etapas del proceso que incluyen la planeación, el desarrollo del concepto y el diseño a nivel sistema que sentaron las bases para el desarrollo subsecuente del proyecto.

En el capítulo 2 se hacen propuestas iniciales para solucionar los problemas que presentó el prototipo alfa, se explica la importancia de la antropometría, se ofrece un panorama sobre sillas de ruedas manuales y se realiza una segunda iteración del estudio de mercado, más enfocado a la propuesta.

Después, en el capítulo 3, se determinan las características técnicas de componentes eléctricos necesarios. Se describirá el criterio de selección seguido para elegir las partes comerciales correspondientes, para así contar con información verídica de sus especificaciones mecánicas (dimensiones, geometría y peso).

Posteriormente, en el capítulo 4, se detalla la configuración del chasis, soportes y sujetadores. Se definen los materiales a utilizar y se generan planos de las piezas. En este mismo capítulo, se documenta el estudio de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) que se realizó a los componentes y los resultados.

Por último, aparecen las conclusiones técnicas, propuestas de trabajos complementarios a futuro y los aprendizajes personales.

En los anexos puede encontrarse información breve sobre avances en materia de derecho para las personas discapacitadas en nuestro país en el último año, comportamiento de materiales al ser sometidos a esfuerzos, sitios de interés respecto al tema de la discapacidad y un glosario de términos específicos usados en este trabajo.

CAPÍTULO 1:

PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO

Todas las compañías del mundo realizan constantemente esfuerzos para tener un mayor reconocimiento de su marca y de sus productos en su área de especialización. En gran medida, esto implica captar una mayor cantidad de clientes o vender una mayor cantidad de productos. Pero ¿de qué manera se puede lograr esto?

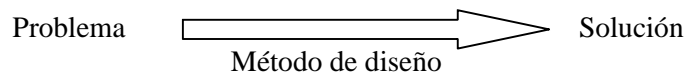
El lanzamiento exitoso de un producto innovador en el mercado es una buena solución. La pregunta ahora es ¿qué hace posible que un producto sea innovador y exitoso? La respuesta sólo se puede obtener con un enfoque multidisciplinario del diseño y desarrollo de un producto. Por lo tanto se requieren especialistas, al menos, en tres áreas: mercadotecnia, diseño y manufactura. Los ingenieros, por su formación, pueden aportar elementos innovadores en el diseño técnico.

Este capítulo tiene como propósito fundamentar adecuadamente los antecedentes y las decisiones que llevaron al desarrollo del concepto de un *dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual*, siguiendo paso a paso un proceso de desarrollo genérico de un producto.

1.1 DESARROLLO DEL PRODUCTO

En lo sucesivo se entenderá que un *producto* es un bien material “que una compañía vende a sus clientes”¹ y que responde a necesidades específicas del mercado. Tiene la particularidad de que puede ser producido y vendido en masa.

Por su parte, el desarrollo del producto “es el conjunto de actividades que inician con la percepción de una oportunidad en el mercado y finalizan con la producción, venta y entrega del producto”¹. En el desarrollo de un producto se aplica una metodología que ha sido probada y que establece las etapas que deben seguirse para resolver un problema dado de manera eficiente.



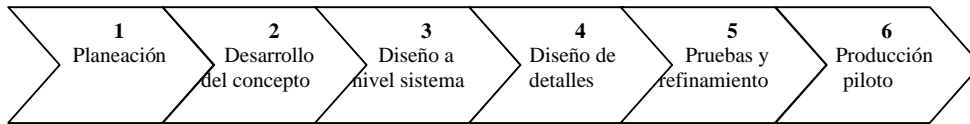
La metodología de diseño permite resolver un problema de forma modular: cada etapa de trabajo se enfoca en resolver una parte específica del problema. De esta manera, el diseño se vuelve transparente, lógicamente ordenado e independiente de una rama específica de la industria.

Existe una gran variedad de modelos que se pueden seguir durante el proceso de diseño y no es posible afirmar que alguno de ellos sea el mejor. La selección de un modelo dependerá de la situación particular de cada desarrollador y producto, así como del tiempo y el presupuesto con el que se cuenta. Sin embargo, es posible identificar un proceso genérico de desarrollo del producto.

¹ Eppinger y Ulrich, 2005, p.2

1.2 PROCESO GENÉRICO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO

De manera general, Eppinger y Ulrich identifican seis etapas básicas en el desarrollo de un producto:



1) Planeación

Es la etapa que antecede a la aprobación del proyecto. Plantea la misión del proyecto: mercado objetivo, objetivos comerciales, suposiciones básicas y limitaciones.

2) Desarrollo del concepto

Se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos de productos alternativos y se seleccionan uno o más conceptos para desarrollo y prueba.

3) Diseño a nivel sistema

Definición de la arquitectura del producto y desglose del producto en subsistemas y componentes. Incluye esquema de ensamble final, distribución geométrica y especificación funcional de cada subsistema.

4) Diseño de detalles

Es la especificación completa de la geometría y los materiales de todas las partes que sean únicas en el producto, y la identificación de todas las partes estándar que se van a adquirir de los proveedores.

5) Pruebas y refinamiento

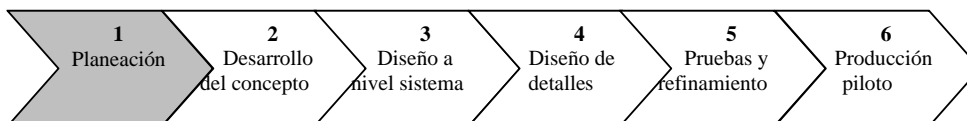
Involucra la construcción y evaluación de múltiples versiones de producción.

6) Producción piloto

El producto se fabrica utilizando el sistema de producción seleccionado. El propósito es capacitar a la fuerza laboral y resolver problemas de producción.

En este trabajo se encontrará la documentación correspondiente a las primeras cuatro fases del proceso genérico de desarrollo de un producto, apegadas a un problema en particular.

1.3 PLANEACIÓN



1.3.1 Objetivo

En la asignatura de Diseño del Producto se planteó el siguiente objetivo:

Diseñar un producto que permita mejorar la movilidad de las personas discapacitadas en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Dicho objetivo limita un lugar y un grupo específico de usuarios finales en los que debe enfocarse el proyecto. Fue necesario hacer un análisis del contexto para conocer a fondo el problema, hacer una propuesta y determinar la misión del proyecto.

1.3.2 Análisis del contexto del proyecto

Sentar bases sólidas para un diseño implica adentrarse y comprender primero el contexto donde éste se desarrolla. Se requiere adquirir conocimientos que van desde el impacto y el lugar en la sociedad de las personas discapacitadas hasta las ayudas técnicas similares que se han desarrollado alrededor del mundo. También conviene analizar el lugar donde se desenvolvería el producto, es decir, el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Las personas discapacitadas en la sociedad

Las personas discapacitadas han sido discriminadas a través del tiempo en muchas sociedades alrededor del mundo. Por ejemplo, en la Grecia antigua, donde la belleza era admirada y la perfección del cuerpo humano, un ideal, cualquier rasgo humano considerado fuera de lo común era inaceptable: al nacer, los bebés eran enviados con los sabios, quienes decidían si el infante era apto física y mentalmente para pertenecer a la sociedad griega. De no ser así, el niño era asesinado.

En las sociedades modernas, si bien las personas discapacitadas no son condenadas a muerte, es probable que estén sujetas a una serie de rechazos a lo largo de su vida. Las sociedades actuales aún no han adquirido plena conciencia del respeto que merecen los discapacitados, quienes constantemente tienen dificultades para realizar de manera independiente sus actividades cotidianas o para tener acceso adecuado a todos los lugares y servicios, ya sea por motivos de necesidad o de esparcimiento.

Sociedad, reglamentación y discapacidad en México

En México, se eliminó en el censo nacional para las personas discapacitadas en los años 60. Pero un pilar de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es el principio de la igualdad de derechos que se aplica a todos los habitantes de la República por el simple hecho de haber nacido o encontrarse en el territorio nacional. Esto es la base para fundamentar la necesidad de leyes inclusivas, no excluyentes. Es decir, que se debe reconocer a las personas discapacitadas como personas de derecho.

En el Artículo 1º se manifiesta además que “queda prohibida toda discriminación motivada por origen étnico o nacional, el género, la edad, **las discapacidades**, la condición social, **las condiciones de salud**, la religión, las opiniones, las preferencias, el estado civil o cualquier otra que atente contra la dignidad humana y tenga por objeto anular o menoscabar los derechos y libertades de las personas”. Sin embargo, no fue sino hasta el 19 de septiembre de 1995 que en la Ciudad de

México se publicó en el Diario Oficial de la Federación la primera Ley para las Personas con Discapacidad, que “tiene por objeto normar las medidas y acciones que contribuyan al desarrollo integral de las personas con discapacidad en el Distrito Federal”. Diez años más tarde, inició el proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-R-050-SCFI-2005, que tiene como propósito “establecer las especificaciones que rijan la construcción de espacios de servicio al público, para lograr que las personas que presentan alguna disminución en su capacidad motriz, sensorial y/o intelectual, incluyendo a la población en general, puedan realizar sus actividades en la forma o dentro de lo que se considera normal para los seres humanos”. Además, una premisa de este proyecto de Norma es que “la accesibilidad a los espacios puede lograrse con costos menores, si se toma en cuenta desde la planificación de los proyectos. Lo primordial es lograr que toda persona pueda utilizar los mismos servicios, haciendo uso de las facilidades que presentan los espacios para diferentes tipos de discapacidad.”

La sociedad mexicana ha empezado a concientizarse poco a poco de las dificultades que las personas discapacitadas enfrentan día a día. Muestra de ello se encuentra en el Anexo 1. En los espacios públicos se incluyen ahora elementos que tienen como función apoyarlas a integrarse y a ser independientes. Así, en la Ciudad de México cada vez es más común ver en las calles rampas de acceso para sillas de ruedas en las esquinas de las banquetas, o bien, líneas guía y letreros en Braille en algunas estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro. Por otra parte, en el Metrobús, uno de los sistemas de transporte público más modernos de la Ciudad, los autobuses y las estaciones cuentan con la tecnología necesaria para apoyar a las personas discapacitadas que quieran hacer uso del servicio. No obstante, aún falta modernizar muchos espacios y servicios que fueron diseñados antes de que estas ideas de inclusión e igualdad de derechos de todos los ciudadanos fueran tomadas en cuenta. También debe promoverse con énfasis una cultura de respeto hacia las personas discapacitadas, en especial en una ciudad tan grande, donde el trato entre los individuos de la sociedad se torna cada vez menos cordial e, incluso, irrespetuoso.

Discapacidad

¿Qué es discapacidad? ¿Es un problema que afecta sólo a un pequeño porcentaje de la población?



Fig. 1.1: Símbolos de discapacidad

La convención internacional sobre los derechos de las personas con discapacidad, llevada a cabo en Nueva York del 14 al 16 de agosto de 2006, reveló datos que deben ser tomados en cuenta:

- Aproximadamente 10% de la población mundial (650 millones de personas) vive con una discapacidad
- En los países donde la esperanza de vida es superior a los 70 años, en promedio, alrededor de 8 años o el 11.5% de la vida de un individuo transcurre con incapacidades
- El 80% de las personas con discapacidad viven en países en desarrollo

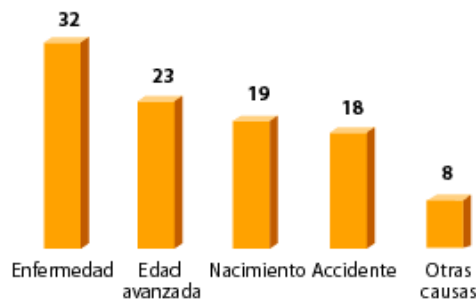
- Según el UNICEF, el 30% de los jóvenes de la calle tienen discapacidades
- Según la UNESCO, el 90% de los niños con discapacidad no asiste a la escuela
- La tasa mundial de alfabetización de adultos con discapacidad llega solamente al 3%
- Por cada niño que muere en zona de guerra, tres resultan heridos y permanentemente discapacitados

De acuerdo a la Ley para las Personas con Discapacidad del Distrito Federal una persona con discapacidad es “todo ser humano que presenta temporal o permanentemente una disminución en sus facultades físicas, intelectuales o sensoriales que le limitan a realizar una actividad normal”. Se llama discapacidad a “toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad para realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano”.

Los motivos que producen discapacidad en las personas pueden ser variados, pero el INEGI los clasifica en cuatro grupos de causas principales: nacimiento, enfermedad, accidente y edad avanzada.

De cada 100 personas discapacitadas, la distribución de acuerdo a las causas es:

- 32 sufrieron alguna enfermedad
- 23 están afectados por edad avanzada
- 19 la adquirieron por herencia, durante el embarazo o al momento de nacer
- 18 quedaron con lesión a consecuencia de algún accidente
- 8 debido a otras causas



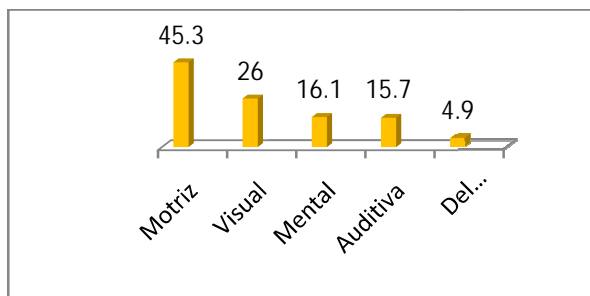
FUENTE: INEGI. Las personas con discapacidad en México: una visión censal.

Fig. 1.2: Distribución de causas de discapacidad por cada 100 personas discapacitadas

La Comisión de Estadística de las Naciones Unidas realizó en el año 2000 el XII Censo General de Población y Vivienda de México. El resultado fue que en ese año, 1 millón 795 mil de los mexicanos padecía alguna discapacidad, lo que representaba 1.8% de la población total. De esa población con discapacidad, el 72.6% habitaba en comunidades urbanas y 27.4%, en rurales. La distribución porcentual de los cinco tipos de discapacidades es la siguiente:

Tipos de discapacidades

- 1) Motriz
- 2) Visual
- 3) Mental
- 4) Auditiva
- 5) De lenguaje

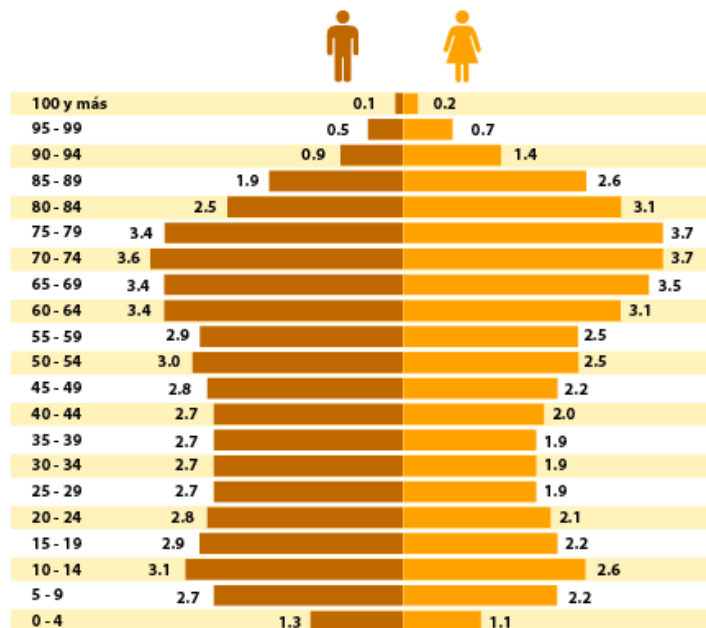


NOTA: La suma de los tipos de discapacidad puede ser mayor a cien debido a la población con más de una discapacidad.

FUENTE: INEGI. XII CGPV 2000. Base de datos.

Fig. 1.3: Porcentaje de población por tipo de discapacidad (2000)

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de personas discapacitadas por edad y por sexo. Se observa que en los grupos de edad de 10 a 14 y de 60 a 79 años se incrementa el porcentaje de personas afectadas. Por el contrario, los puntos más bajos se presentan en los grupos de edad de 0 a 4, de 15 a 39, así como en el de 80 años y más. En los niños de 0 a 14 años y los jóvenes de 15 a 29 años, las discapacidades con mayor frecuencia son de tipo mental y de lenguaje, mientras que para la población de 60 años y más, son la motriz, auditiva y visual.



Fuente: INEGI. Las personas con discapacidad en México: una visión censal.
Fig. 1.4 Distribución porcentual de población según grupos de edad y sexo, 2000

Cifras oficiales señalan que cada año nacen aproximadamente 2 millones 100 mil niños, de los cuales 2% sufren algún tipo de malformación congénita, aunque no todas las malformaciones son evidentes: algunos niños pueden tener un defecto físico no detectado en el nacimiento y que se manifieste muchos años después. Además estudios recientes (2008) muestran que en los estados del norte de la república hay mayor número de personas discapacitadas motrices debido a accidentes de trabajo y a accidentes de tránsito; mientras que en el sur hay mayor número de personas con una discapacidad congénita. Los servicios de salud atienden casi a 10 millones de mexicanos con alguna discapacidad: el IMSS hace consultas y estudios médicos únicamente a la mitad de ellos.

Decisión 1:

En base a la información mostrada en la Fig. 1.3, se tomó la decisión de diseñar un producto que beneficie a las personas con discapacidad motriz porque son las que representan el 45.3% de la población afectada por alguna discapacidad permanente.

Cabe hacer hincapié en que una discapacidad puede ser también temporal y no necesariamente permanente como solemos creer. Si consideramos que la discapacidad es la *disminución de las facultades*, entonces todos, en una o más ocasiones de nuestras vidas, somos susceptibles de ser considerados discapacitados: las personas lesionadas temporalmente (con tratamientos ortopédicos o fracturas), las mujeres embarazadas, los ancianos y las personas obesas. Así por ejemplo,

Kroemer² clasifica tanto a niños como ancianos en una categoría que merece consideraciones especiales de diseño en su libro “Ergonomía extraordinaria”.

¿Por qué las personas obesas pueden ser consideradas discapacitadas?

El fenómeno de la obesidad a gran escala se ha convertido en un problema de salud pública. La obesidad afecta aproximadamente al 7% de la población mundial: en el año 2008, México ocupó el segundo lugar mundial en obesidad y dentro de diez años podría ocupar el primero. Este dato debería alarmar a la población ya que la obesidad puede llegar a ser el origen de una discapacidad motriz, sin mencionar los demás daños a la salud que conlleva. En nuestro país es posible que no sea evidente de qué manera la obesidad disminuye la movilidad, pero basta con adentrarse un poco en países como Estados Unidos para ver que hay personas tan obesas que requieren una silla de ruedas especializada para trasladarse, pues sus piernas no serían capaces de soportar tanto peso.

¿Y las mujeres embarazadas? ¿Y los ancianos?

Es sencillo entender que las mujeres embarazadas en estado avanzado de gestación tienen problemas para realizar muchas actividades, algunas tan básicas como caminar. Asimismo, las mujeres que acaban de dar a luz no tienen las fuerzas suficientes para valerse por sí mismas y requieren asistencia en el hogar o el hospital.

Por su parte, los ancianos ven mermada su movilidad por ser parte del ciclo de la vida. Se estima que para el año 2025 cerca del 13.5% de la población estará constituida por adultos mayores a 60 años, mientras que para el 2050 dicha cifra aumentará a 25%. Con estos porcentajes no se pretende de ninguna manera dar una visión pesimista del futuro y tampoco se considera que toda esa población necesitará indudablemente una ayuda técnica como la que se propone. La intención es, más bien, justificar la colaboración en la toma de acciones que puedan facilitar la vida de quienes posiblemente formaremos parte de esos adultos y de las generaciones que sigan.

¿Qué población es susceptible de requerir el uso temporal o definitivo de sillas de ruedas?

Para responder a esta pregunta de manera sustentada, se realizaron entrevistas con dos médicos especialistas en el tema: Dra. P. Vianeyd Rodríguez de Oxenhaut, especialista en traumatología de adultos y ortopedia pediátrica y Dr. Jaime Hernández Basualdo. Se eligió entrevistar a médicos, porque son quienes están en contacto continuo y directo con pacientes. Su experiencia les permite tener una visión amplia acerca del tipo de personas que requieren una silla de ruedas y un conocimiento de las quejas, dudas y deseos que los pacientes externan. Las respuestas brindadas por ellos fueron fundamentales en la determinación del alcance del proyecto, ya que permitieron que se incluyera un grupo de personas que en un principio no había sido considerado. Este grupo fue el de los pacientes de hospital, que incluye pacientes quirúrgicos, pacientes en recuperación, personas con enfermedades neurológicas, enfermos degenerativos y mujeres puérperas. Además ambos doctores confirmaron que el universo de posibles usuarios de silla de ruedas abarca discapacitados motrices, con deformidades anatómicas, y mujeres embarazadas.

Decisión 2:

El producto puede ser útil para usuarios con discapacidad motriz temporal, incluyendo:

- Personas con alguna fractura
- Pacientes quirúrgicos
- Pacientes en recuperación
- Personas con problemas de obesidad
- Mujeres embarazadas
- Mujeres puérperas
- Adultos mayores

² Kroemer, 2006, “Extra-ordinary” ergonomics.

Independencia: ¿Qué y para qué?

La independencia es la habilidad de completar diversas tareas sin ayuda de otra persona. Estas tareas se pueden clasificar en dos grupos:

- 1) Actividades de la vida diaria
Conocidas también como ADL (Activities of Daily Living). Se refiere a actividades tales como comer, vestirse, ir al baño, caminar o bañarse.
- 2) Actividades instrumentales de la vida diaria
Conocidas como IADL (Instrumental Activities of Daily Living). Se refiere a actividades tales como cuidar de su propia casa, administrar su dinero, comprar, ir a lugares fuera del hogar o usar el teléfono.

La calidad de vida de las personas discapacitadas está directamente relacionada con la capacidad que tienen para realizar estas actividades, por lo que asegurar su independencia es el medio para asegurarles igualdad. En el caso de las personas mayores, las actividades de esparcimiento también se incluyen para determinar el grado de independencia.

Transporte

El transporte en ambientes urbanos representa un problema para el discapacitado motriz debido a las condiciones inadecuadas de la infraestructura y al peligro inherente que representan las concentraciones de gente y el tránsito de vehículos motorizados. En particular, en el Centro Histórico de la Ciudad de México, la introducción de cualquier tipo de transporte se ve limitado por dificultades de espacio y por el poco margen posible de modificación del lugar debido a su valor histórico.

En los últimos años, las autoridades del Centro Histórico han tomado medidas que repercuten directamente sobre el transporte y la concentración vehicular. Por ejemplo, los bici-taxis que estaban conformados por una bicicleta común a la que se le adaptaba una estructura tubular de manufactura simple con un asiento para dos pasajeros fueron prohibidos en el primer cuadro de la ciudad. Recientemente, en marzo de 2009, un nuevo tipo de bici-taxis fue aprobado y las unidades, puestas en circulación. Estas unidades fueron especialmente diseñadas para funcionar en el Centro Histórico, cumpliendo con condiciones de seguridad para el pasajero. Cada unidad tiene un costo promedio 74 mil 606 pesos, cuenta con motor eléctrico de asistencia al pedal que se alimenta de cuatro baterías y un sistema de tracción híbrido amigable con el medio ambiente. Aunque el motor no sustituye al pedaleo, sí ayuda a los conductores de esas unidades en el arranque y en las pendientes. Por lo tanto, al desarrollar ideas de solución de transporte de discapacitados se debe hacer un diseño óptimo que considere todas las limitantes y, a su vez, permita identificar y explotar al máximo las áreas de oportunidad.

Ayuda técnica



Fig. 1.5: Símbolo internacional de acceso a discapacitados

Se le denomina ayuda técnica a todos “aquellos dispositivos tecnológicos que ayudan a la movilidad, comunicación y vida cotidiana de las personas con discapacidad”. Otra definición, dada

por la Technology-Related Assistance for Individuals with Disabilities Act de E.U.A. en 1988, indica que un Dispositivo Tecnológico de Asistencia es “cualquier artículo, equipo o sistema -ya sea adquirido comercialmente, modificado o personalizado- que es usado para incrementar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de individuos con discapacidad”.

Centro Histórico de la Ciudad de México

El Centro Histórico de la Ciudad de México es una zona que cuenta con poco más de 9km² y ocupa 668 manzanas. Está dividido en dos perímetros:

- 1) Perímetro A
Cubre la ciudad prehispánica y su ampliación en el virreinato hasta la Independencia.
- 2) Perímetro B
Incluye las ampliaciones efectuadas hasta el siglo XIX.

El perímetro o cuadro A, mejor conocido como cuadro principal, es el área donde se pretendería poner a prueba el proyecto del dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual estándar. Esta área, es la de mayor atractivo cultural, comercial y de servicios del Centro Histórico. Su arquitectura y paisaje, testigos de nuestra historia, están protegidos por el INAH.

Hacia el año 1911 se inició un éxodo del Centro Histórico debido al deterioro de los edificios. Y tras un periodo de decadencia y abandono, el 11 de abril de 1980 se expidió un decreto en el que se declaró que era una zona de monumentos históricos, contando con 1500 de ellos. Desde entonces, se han llevado a cabo diversas labores de rescate. El 14 de agosto de 2001 se creó el Consejo Consultivo para el Rescate del Centro Histórico (C.C.R.C.H.) de la Ciudad de México. En él participaron el Gobierno Federal, el Gobierno del Distrito Federal y la sociedad civil. Desde el año 2002 y hasta el 2006 se realizaron obras de cableado telefónico, de electricidad y de agua subterráneas, renovando los sistemas que databan del año 1902. La más reciente labor de rescate, que rehabilitará un total de 77 calles, contempla una inversión de 1500 millones de pesos y estará lista antes del 2010.

En el cuadro A se pueden encontrar hoteles, restaurantes, bares, tiendas, librerías, oficinas, escuelas, museos, monumentos históricos, hospitales, etc. Gracias a la gran variedad de sitios de interés, durante las horas hábiles se concentra una población flotante que supera un millón de personas por día en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Ayudas para la movilidad de discapacitados (febrero 2008)



Fig. 1.6: Ruta del recorrido en el Centro Histórico a) En rojo, el primer recorrido; b) en azul, el segundo; c) en naranja, una calle remodelada para hacerla peatonal

El domingo 17 de febrero de 2008 se realizó un primer recorrido al Centro Histórico para diagnosticar el estado de las calles y banquetas. El objetivo fue detectar qué elementos representan obstáculos y cuáles favorecen el desplazamiento de discapacitados en general. Se puso especial énfasis en los elementos relacionados con personas que requieran una silla de ruedas. La ruta seguida se muestra en el siguiente mapa de la Figura 1.6.

Resultado de las observaciones

En la zona de mayor interés turístico y comercial del cuadro A, gran parte de las banquetas ya han sido rehabilitadas, de tal forma que se encuentran en buen estado: tienen un nivel uniforme, son amplias y no hay agujeros ni obstáculos que dificulten el tránsito a la mitad de la banqueta.

Todas las calles están cubiertas de adoquín. Pero los cruces peatonales están cubiertos por el mismo tipo de losas que las banquetas para facilitar el paso de peatones. La mayor parte de las esquinas ya cuenta con un semáforo que indica el tiempo restante para el paso de peatones. En particular, el semáforo que se encuentra en 20 de noviembre esquina con 16 de septiembre, además de tener ayuda visual, cuenta con una alarma auditiva intermitente que aumenta su frecuencia cuando queda poco tiempo para pasar.

La ausencia de vendedores ambulantes en las calles traseras del Palacio Nacional y de la Catedral Metropolitana definitivamente favorece el paso de peatones y además permite que los edificios antiguos que antes pasaban desapercibidos puedan ser apreciados.

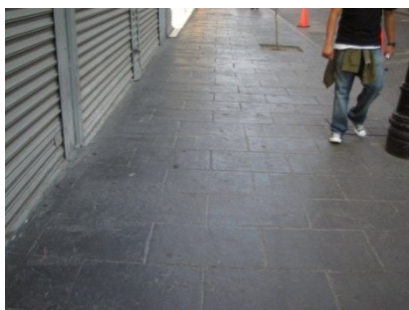


Fig. 1.7 Calle Uruguay remodelada



Fig. 1.8 Salvador esq. Allende



Fig. 1.9 Señalización



Fig. 1.10 Calle Moneda sin vendedores ambulantes

Aspectos por mejorar (febrero 2008)

Las banquetas que se encuentran sobre el Eje Central están en un pésimo estado para cualquier peatón: hay láminas levantadas, coladeras sobre el nivel de la banqueta, baches y agujeros. Sin embargo están en marcha varios proyectos encaminados a solucionar este problema. Existe un proyecto de rehabilitación de las banquetas del Eje Central e incorporación de un corredor peatonal y ciclista.

Las banquetas que rodean al Palacio de Bellas Artes representan un peligro para los discapacitados. Algunas de las esquinas más cercanas no tienen rampas y las que las tienen, no toman en cuenta que las pendientes ocasionadas por el hundimiento del Palacio hacen imposible que las rampas para sillas de ruedas puedan ser usadas de manera segura.

Cuando se realizó el primer recorrido, era peligroso pasar en algunas calles que estaban siendo remodeladas, ya que había materiales de construcción por todas partes y coladeras sin tapadera.



Fig. 1.11 Lámina peligrosa Eje Central y Rep. Uruguay



Fig. 1.12 Coladera arriba del nivel de la banqueta (Rep. Uruguay)



Fig. 1.13 Agujero en banqueta estrecha (Eje Central)



Fig. 1.14 Rampa peligrosa para silla de ruedas a un costado del Palacio de Bellas Artes



Fig. 1.15 Banqueta en mal estado frente a la churrería El Moro

Segundo recorrido (agosto 2008)

Se realizó otro recorrido de observación por el Centro Histórico en agosto de 2008. La ruta se muestra en azul en la Figura 1.6. Se constató que las obras que estaban pendientes ya fueron

concluidas. Además, todos los vendedores ambulantes que estaban ubicados sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas ya fueron desalojados, dejando el cuadro A, completamente libre de ambulantes. Sin embargo, aún faltan las obras de mejoramiento de banquetas de la avenida antes mencionada. Además se puede observar que varios ambulantes se reubicaron en la Alameda Central.

Recorridos posteriores

En recorridos posteriores frecuentes al Centro Histórico, realizados de septiembre de 2008 a agosto de 2009, se constató que el estado del lugar no ha cambiado mucho con respecto al segundo recorrido. Aunque a partir del 1 de agosto se implementó el “Corredor Cero Emisiones”, como parte del proyecto de mejoramiento del Eje Central: ahora el único medio de transporte de pasajeros permitido son los autobuses verdes, que circulan exclusivamente por el carril de la derecha.



Fig. 1.16 Corredor “Cero Emisiones”

Personas discapacitadas en el Centro Histórico

En las múltiples visitas, se observó que la mayor parte de los usuarios de sillas de ruedas son adultos mayores en compañía de algún familiar; hay pocos adultos jóvenes que sufrieron algún accidente que los privó de motricidad; y la cantidad de niños con sillas de ruedas infantiles es mínima. Sin embargo, es difícil detectar a los niños con discapacidad motriz ya que se puede confundir fácilmente una silla de ruedas con una carriola. Por otra parte también se observó que hay muchas personas pobres que emplean ayudas técnicas de movilidad, fabricadas con materiales caseros. Estas últimas personas representan una población constante de usuarios de sillas de ruedas en el Centro ya que casi siempre se les puede encontrar en los mismos lugares pidiendo limosna.

1.3.3 Recopilación de requerimientos del cliente

Uno de los objetivos que se tomaron en cuenta en el desarrollo del producto fue hacer un diseño centrado en el usuario, donde se estuvo en contacto constante con posibles clientes, usuarios finales y especialistas en el tema. De esta forma hubo retroalimentación constante del producto, asegurando que éste se apegará lo más posible a las necesidades del cliente y del usuario final. A continuación se explican los conceptos que permiten entender la diferencia entre ambos.

Cliente

Es la persona física o moral que tiene el capital económico para comprar el producto. No necesariamente es quien lo usa.

Usuario final

Es la persona que utiliza el producto. Puede o no ser el dueño del mismo.

En esta etapa se empleó el método de *observación del producto en uso*, que consiste en observar a los usuarios finales, siguiéndolos como sombra. Al seguirlos sin que se den cuenta de que son observados, es posible ver cómo interactúan en un ambiente natural, que no es creado específicamente para propósitos de estudio. Este método de observación tiene la ventaja de permitir analizar la interacción del usuario final en un lugar donde se desenvuelve cotidiana o repetidamente, con obstáculos o dificultades reales. Principalmente se centró la atención en usuarios con discapacidad motriz y en adultos mayores, por considerarse que son los grupos más fácilmente observables que necesitan de una silla de ruedas para transportarse.

Los lugares de observación del producto en uso seleccionados fueron:

No.	Lugar	Descripción
1	Centro Histórico (C.H.)	Cuadro A y Alameda Central
2	Centros comerciales (C.C.)	Perisur, Parque Delta, Parque Lindavista, Reforma 222, Plaza Universidad
3	Coyoacán (C)	Jardín Hidalgo y Jardín Centenario
4	Centros deportivos (C.D.)	Leandro Valle, Ciudad deportiva

Tabla 1.1: Lugares de observación

Los resultados promedio, basados en un tiempo de observación de 2 horas en días hábiles, son los siguientes:

	C. H.	C. C.	C.	C. D.	Total
No. Usuarios finales	5	1	1	8	15
No. de usuarios con silla de ruedas manual	5	1	1	8	15
No. de usuarios con silla de ruedas eléctrica	0	0	0	0	0
No. de usuarios sin acompañante	0	0	0	8	8
No. de usuarios con acompañante	2	1	1	0	4
No. de usuarios con discapacidad motriz	3	1	1	8	13
No. de usuarios adultos mayores	2	0	0	0	2
No. de usuarios menores de edad	0	0	0	0	0

Tabla 1.2: Número de usuarios observados en cada lugar en día hábil

Los resultados promedio, basados en un tiempo de observación de 2 horas en fines de semana o días feriados, son los siguientes:

	C. H.	C. C.	C.	C. D.	Total
No. Usuarios finales	9	8	3	20	36
No. de usuarios con silla de ruedas manual	9	8	3	20	36
No. de usuarios con silla de ruedas eléctrica	0	0	0	0	0
No. de usuarios sin acompañante	0	0	0	20	20
No. de usuarios con acompañante	9	8	3	0	16
No. de usuarios con discapacidad motriz	2	3	1	20	25
No. de usuarios adultos mayores	6	4	2	0	10
No. de usuarios menores de edad	1	1	0	0	1

Tabla 1.3: Número de usuarios observados en cada lugar en fin de semana

Hospital General

El día 15 de noviembre de 2008, realicé una visita al Hospital General de la Ciudad de México. El objetivo fue hacer una entrevista al Dr. Jaime Hernández Basualdo, quien constantemente está en contacto con pacientes que necesitan una silla de ruedas.

El Dr. Hernández se mostró muy entusiasmado por la propuesta de una ayuda técnica adaptable a sillas de ruedas. Expresó que en cuanto conoció cuál era el tema de la propuesta, pensó que sería una herramienta de gran ayuda dentro de los hospitales.

El Dr. Hernández señaló que no solo las personas con discapacidad motriz requieren este tipo de ayuda técnica. En cambio, el grupo de enfoque al que puede dirigirse es mucho más amplio de lo que se pensaba. En un hospital, las sillas de ruedas son la principal ayuda para transportar pacientes de todo tipo de un área del hospital a otra. Los traslados más comunes son:

- Traslado de paciente del área de diagnóstico al área de especialidad médica
- Traslado de paciente de habitación a área de estudios (rayos X, quirófano, etc)

El Dr. Hernández ofreció un recorrido por todo el Hospital, explicando que partir del derrumbe del mismo durante el sismo de septiembre de 1985, el Hospital fue reconstruido en su totalidad, pero esta vez, de manera horizontal y con edificios con una altura máxima de 2 pisos. Por lo tanto, las distancias que médicos y pacientes deben recorrer son siempre largas.

Además el Dr. Hernández enfatizó que un problema serio del hospital es el traslado lento de pacientes, debido a la falta de camilleros. El número de personas que desempeñan esta función no se dan abasto para atender a todos los pacientes adecuadamente. Cuando se presentan estas situaciones, los médicos residentes o enfermeras deben llevar a los pacientes. O, en el peor de los casos, los mismos pacientes deben valerse de sus propias fuerzas para impulsar su silla de ruedas hasta las áreas a donde deben ir. Por lo tanto, un dispositivo que permitiera impulsar una silla de ruedas sería idóneo y benéfico para pacientes, residentes, enfermeras y familiares.

Posteriormente el Dr. Hernández mostró que otro problema muy grave en el Hospital General es el pésimo estado de las sillas que se usan para el transporte de pacientes. Las siguientes imágenes ponen en evidencia lo anterior:



Fig. 1.17: Silla sin llantas, reposapiés y gomas de manubrio



Fig. 1.18: Silla con tubo de hospital sustituyendo a reposapiés

De mayor impacto fue ver que a falta de sillas de ruedas, en el Hospital General hay un carrito de supermercado modificado para un posible uso como silla de ruedas. Afortunadamente, no se ha usado como tal.



Fig. 1.19: Vista frontal de carrito de supermercado modificado como silla de ruedas



Fig. 1.20: Vista lateral de carrito de supermercado modificado como silla de ruedas

El Dr. Hernández explicó que además del área de ortopedia, el pabellón de maternidad es uno de los que cuenta con mayor número de sillas de ruedas. Esto se debe a que muchas mujeres en labor de pre-parto están presentando un dolor físico tan agudo que les resulta imposible pensar en algo más: necesitan ayuda de un camillero o enfermera que las traslade. En los demás pabellones también hay sillas de ruedas pero en menor cantidad. Esas sillas son usadas para trasladar a pacientes débiles a los laboratorios, donde se les hacen estudios. Algunos pacientes que están a punto de ser dados de alta piden prestada una silla de ruedas a algún familiar debido a que presentan dolor o inflamación en alguna de sus extremidades inferiores.

Como última actividad en esta visita intenté hacer entrevistas a usuarios finales. Y me encontré con otro gran problema: los pacientes son personas de bajos recursos. Esto tiene como consecuencia que, en su mayoría, sean analfabetas y no puedan preocuparse de cosas que van más allá de sus necesidades básicas. Son personas para las que un avance tecnológico “está bien” pero es un lujo inalcanzable. Simplemente, los pacientes del Hospital General no pueden considerarse como usuarios líderes.

La visita reveló los siguientes resultados:

- El estado de las instalaciones es inadecuado
- Las sillas de ruedas están en pésimo estado y son insuficientes
- Los pacientes provienen de clases sociales bajas y su visión se enfoca en resolver sus necesidades más básicas
- Los pacientes de este hospital no son un grupo adecuado para realizar entrevistas
- Se necesita mayor atención de la sociedad hacia las personas discapacitadas









Necesidades de los usuarios

Las observaciones realizadas confirmaron varias de las hipótesis que el equipo de diseño había considerado como *necesidades del cliente*. En resumen, estas necesidades son las siguientes:

- Independencia

- Facilidad de realizar recorridos largos
- Disminución del cansancio físico
- Necesidad de un dispositivo eléctrico de bajo costo

En cuanto a los usuarios finales, se confirmó que las personas con discapacidad motriz y los adultos mayores podrían beneficiarse con el producto. Sin embargo, es importante considerar que los deportistas discapacitados, en general, son personas jóvenes, enérgicas, activas, muy independientes y capaces de trasladarse sin ayuda, por lo que el producto no sería atractivo para ellos. Las necesidades básicas de los usuarios, aplicadas a un dispositivo, se traducen de la siguiente manera:

No.	NECESIDAD	IMPORTANCIA	DESCRIPCIÓN
1	Seguridad		Este es un factor de suma importancia ya que el producto no debe de poner en riesgo de ninguna manera ni al usuario ni a las personas que se encuentren a una distancia relativamente corta con respecto a él.
2	Autonomía		Esta característica asegura que el dispositivo puede ser llevado a cualquier lugar y ser capaz de funcionar sin estar conectado a un toma corrientes.
3	Adaptabilidad		Es muy importante que un diseño único del dispositivo sea capaz de adaptarse a cualquier silla de ruedas manual.
4	Maniobrabilidad		El uso del dispositivo debe ser intuitivo para todos los usuarios, quienes deben poder controlarlo sin ayuda de alguien más. Esta característica se refiere a la facilidad de uso.
5	Robustez		La vida útil del dispositivo debe ser larga. El dispositivo debe poseer las propiedades mecánicas para soportar su propio peso y golpes accidentales por un periodo largo de tiempo, suponiendo uso continuo. La cubierta de los elementos eléctricos debe ser a prueba de agua. El dispositivo debe ser resistente a las condiciones climáticas y de uso estándares.
6	Rapidez de montaje		La rapidez de montaje está relacionada con la adaptabilidad y maniobrabilidad. De este factor depende en gran medida que el usuario considere usar el dispositivo o no.
7	Ligereza		El peso de los componentes y de los materiales seleccionados debe ser el menor posible para minimizar al máximo cualquier daño a la silla de ruedas.
8	Ergonomía		El uso del dispositivo debe ser cómodo y representar una ventaja visible para el usuario, comparándolo con un traslado






			común en silla de ruedas.
9	Producto a prueba de fallas: eléctrico / manual		El usuario debe poder desplazarse aún si el dispositivo llegara a presentar alguna falla mecánica o eléctrica, desacoplado el mecanismo de transmisión de movimiento.
10	Dimensiones reducidas		Las dimensiones del dispositivo deben ser tales que cuando el usuario transite sobre banquetas no entorpezca la circulación de los demás peatones más de lo que haría con su silla de ruedas.
11	Velocidad limitada		La velocidad máxima de la silla podrá exceder ligeramente a la de una persona caminando.
12	Capacidad de circular sobre calles y banquetas		El dispositivo podrá utilizarse bajo las mismas condiciones en que se usa una silla de ruedas, lo que incluye el transporte en interiores y exteriores.
13	Bajo costo		Se considera que la selección de materiales para el chasis y los componentes buscará siempre cubrir con las especificaciones técnicas al menor precio posible.

Tabla 1.4: Necesidades e importancia relativa

1.3.4 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas son la interpretación que el equipo de diseño hace de los requerimientos del cliente. Las especificaciones son características mensurables. A continuación se despliega una tabla con las mediciones que se deben aplicar para calificar a los diferentes parámetros:

No.	Medida	Unidades
1	Tamaño del controlador	cm / in
2	Peso del controlador	kg
3	Costo del controlador	\$ M .N.
4	Duración de la batería	h
5	Vida útil de la batería	meses / años
6	Tiempo de recarga de la batería	h
7	Tamaño de la batería	cm / in
8	Peso de la batería	kg
9	Costo de la batería	\$ M .N.
10	Velocidad del motor	rpm
11	Tamaño del motor	cm / in
12	Peso del motor	kg
13	Costo del motor	\$ M .N.
14	Peso del chasis	kg
15	Costo del chasis	\$ M .N.

16	Velocidad de traslado	km/h
17	Número de piezas	
18	Diámetro del tubo de las sillas con las que es compatible	mm / in
19	Número de modelos de sillas con las que es compatible	----- -
20	Tamaño de los obstáculos que es capaz de salvar	cm / in
21	Tiempo de montaje	min.
22	Comodidad	Subjetivo
23	Intuitivo	Subjetivo

Tabla 1.5: Medidas y unidades

Enseguida se encuentra la tabla que muestra las relaciones entre las necesidades y las medidas:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Tamaño del controlador	Peso del controlador	Costo del controlador	Duración de la batería	Vida útil de la batería	Tiempo de recarga de la batería	Tamaño de la batería	Peso de la batería	Costo de la batería	Velocidad del motor	Tamaño del motor	Peso del motor	Costo del motor	Peso del chasis	Costo del chasis	Velocidad de traslado	Número de piezas	Diámetro del tubo de la silla con la que es compatible	Número de modelos de sillas con las que es compatible	Tamaño de los obstáculos que es capaz de	Tiempo de montaje
1										○						●					
2				●																	
3	▽						▽			▽								●	●		○
4																					
5				●	●																
6																					●
7		●						●						●	●						
8		▽				▽		▽					▽	▽							○
9	●			○																	
10							●														
11									●		●										
12																					
13			●						●					●		●	○				●

Símbolo	Relación
●	Fuerte
○	Moderada
▽	Débil

Tabla 1.6: Matriz de necesidades y medidas

1.3.5 Estudio de mercado: Primera iteración

Se realizó un estudio básico enfocado a conocer la oferta de última tecnología de los principales fabricantes de sillas de ruedas. Se encontraron básicamente dos productos:

- 1) Sillas de ruedas eléctricas
- 2) Scooters

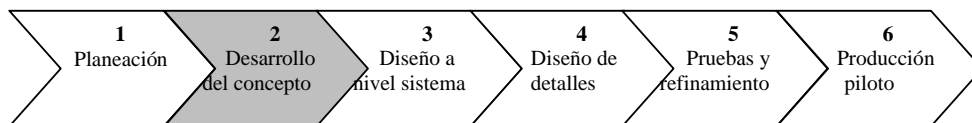
Para ambos tipos de productos se encontró una gran variedad de modelos que se diferenciaban entre sí por los materiales, pesos, costos, ergonomía, lugar para ser usados, etc. En el caso de las sillas de ruedas eléctricas se hallaron modelos tan modernos que son capaces de subir las escaleras con solo dar la señal; otros capaces de poner a la persona en posición vertical; y otros que permiten levantar el asiento del usuario para que pueda alcanzar objetos elevados. Estos productos sin duda son innovadores pero presentan dos inconvenientes: el primero es que algunos de ellos aún están en proceso de desarrollo en centros de investigación, y el segundo es que al integrar varios elementos tecnológicos, su costo es muy elevado, por lo que no representan una solución viable para la mayoría de los consumidores.

1.3.6 Declaración de la misión del proyecto

Declaración de la misión del proyecto de mejoramiento de movilidad en el Centro Histórico	
Descripción del producto	Dispositivo o vehículo para transporte de personas discapacitadas y adultos mayores
Mercado primario	Dependencias de gobierno, organizaciones y sector salud: <ul style="list-style-type: none"> • Gobierno del D.F. • ONGs de apoyo a discapacitados motrices • Prestadores de sillas de ruedas (centros comerciales) • Hospitales
Mercado secundario	Usuarios finales (individuos): <ul style="list-style-type: none"> • Usuarios líderes con discapacidad motriz permanente • Adultos mayores
Postulados	Dispositivo móvil con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> • Adaptable a varios modelos de sillas • Autónomo • Maniobrable • Eléctrico / Manual • Ergonómico • Seguro • Ligero • Dimensiones reducidas • Con velocidad limitada • Capaz de circular sobre calles y banquetas • Robusto • De bajo costo • De fácil mantenimiento
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> • No debe entorpecer el tránsito peatonal ni de automóviles • Sus dimensiones no deben exceder las dimensiones de una silla de ruedas • Evitar incurrir en faltas a la propiedad intelectual
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas • Mejorar la imagen urbana • Ofrecer producto compatible con corredor peatonal • Hacer una innovación tecnológica
Consideraciones asumidas	<ul style="list-style-type: none"> • Costo menor al de una silla de ruedas eléctrica • Diseño atractivo • Necesidad de equipo multidisciplinario de trabajo

NOTA: No se incluyen metas comerciales clave por no estar consideradas dentro de los alcances de la tesis
 Tabla 1.7: Declaración de la misión del proyecto

1.4 DESARROLLO DEL CONCEPTO



"El *concepto del producto* es una descripción aproximada de la tecnología, principios de funcionamiento y forma del producto" (Eppinger y Ulrich, 2005, p.98). Esta etapa requiere una gran inventiva para poder plantear una gama amplia de soluciones para el mismo problema. La generación de ideas sin limitantes es el principal objetivo. Las decisiones que se toman son las más importantes del proceso de desarrollo porque definen la dirección que toma el proyecto. Esta etapa

forma parte de un proceso iterativo que debe repetirse tantas veces como sea necesario para cubrir lo mejor posible los requerimientos del cliente.

En base al estudio del contexto y las necesidades del cliente, se plantearon algunas ideas de solución:

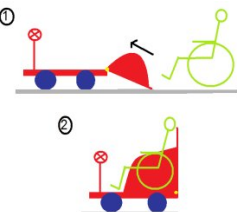
Núm.	Concepto	Descripción
1	Vehículo de transporte con diseño universal para personas discapacitadas	<p>Objetivo: Brindar vehículos que los usuarios podrían solicitar en módulos de préstamo.</p> <p>Escenario de uso: El vehículo seguiría rutas específicas que se planearían de acuerdo a las necesidades de los usuarios primordiales (discapacitados motrices). De esta forma, las rutas podrían seguir recorridos comerciales, médicos, turísticos u otros. Los vehículos podrían circular tanto por calles como por banquetas.</p> <p>En un intento por respetar las características del diseño universal e incluir a los discapacitados visuales se consideraría la integración de un sistema que guiara al vehículo a lo largo de las rutas, siguiendo líneas pintadas en el suelo.</p>
2	Medio de transporte modular para personas discapacitadas y sus acompañantes	<p>Objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atraer a los usuarios al Centro Histórico, haciendo más placenteras y cómodas sus visitas • Incluir a los discapacitados mentales que necesariamente requieren la asistencia de otra persona <p>Escenario de uso: Habría un servicio de préstamo de vehículos para personas discapacitadas y para sus acompañantes. Los vehículos individuales podrían acoplarse de tal forma que el acompañante guiara al discapacitado de manera similar a un tren.</p>
3	Plataforma transportadora de sillas de ruedas	<p>Objetivo: Ofrecer un medio de transporte que aproveche la funcionalidad del asiento de la silla de ruedas</p> <p>Escenario de uso:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2;"> <p>El producto sería una plataforma con ranuras en la base para colocar cualquier silla de ruedas e impedir su desplazamiento relativo respecto a la plataforma. El dispositivo incluiría un volante en la parte delantera, así como un sistema de impulsión (motores) en la parte inferior. Además el dispositivo tendría un respaldo móvil que podría funcionar como rampa cuando la persona discapacitada deseara subir o bajar de la plataforma. Si el usuario no contara con una silla de ruedas, se le podría prestar una en el mismo módulo de servicio donde se le proporcionara la plataforma.</p> </div> </div>
4	Dispositivo integrado para impulsar una silla de ruedas	<p>Decisión: Eliminar ideas de intenciones de diseño universal y enfocar esfuerzos en solucionar las dificultades de transporte de discapacitados motrices temporales o permanentes.</p> <p>Objetivo: Diseñar un dispositivo que quede contenido en una silla de ruedas para impulsarla sin exceder las dimensiones de la misma.</p> <p>Escenario de uso: Una persona con discapacidad motriz llega a un módulo de servicio en su silla de ruedas. En el módulo se le presta un dispositivo impulsor. El dispositivo se puede montar fácil y rápidamente en la silla sin importar el tipo de silla que tenga el usuario. Con el dispositivo adaptado a la silla de ruedas, el usuario puede realizar sus recorridos con los fines que mejor le convengan sin que él o un acompañante tengan que realizar esfuerzo físico. Esto permite que el usuario disfrute sus recorridos y le brinda la posibilidad de realizarlos de manera independiente.</p>

Tabla 1.8: Conceptos y descripciones

1.4.1 Selección del concepto

La *selección del concepto* es el proceso de evaluar los conceptos con respecto a las necesidades del cliente, así como otros criterios, comparando las fortalezas y debilidades de cada uno de ellos. Se escoge uno o más de ellos para investigación, prueba o desarrollo adicional.

Matriz de decisión

Existen varios métodos para seleccionar el concepto. El método que se eligió fue la matriz de puntuación de concepto por ser el que permite tomar la decisión más objetiva posible. En la primera columna se colocaron los criterios de evaluación, seguidos del peso porcentual que se le asignó cada uno de ellos según su importancia. En las columnas siguientes se colocaron los cuatro conceptos a evaluar con dos columnas cada uno: la primera para asignarles una calificación por cada criterio; y la segunda para ponderar la calificación. Las calificaciones fueron 3 o 9 dependiendo de qué tanto satisfacían al criterio; 0 si no afectaba; y -3 o -9 si dependiendo de qué tan desfavorables eran. Al final se hizo una suma total de los puntajes ponderados para cada concepto. Se comparó el valor obtenido para cada uno de ellos y se les asignó un rango, donde el número 1 representa al concepto que mejor se apegó a los criterios de evaluación y el número 4 representa al que menos cumplió con ellos.

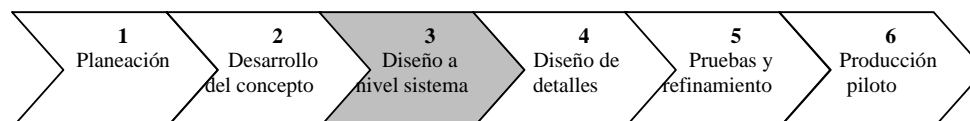
Criterios de evaluación	Peso %	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3		Concepto 4	
		Calif.	Puntaje Ponderado	Calif.	Puntaje ponderado	Calif.	Puntaje ponderado	Calif.	Puntaje ponderada
Seguridad	11	9	0.99	9	0.99	9	0.99	9	0.99
Autonomía	11	3	0.33	3	0.33	9	0.99	9	0.99
Adaptabilidad	11	0	0	0	0	9	0.99	9	0.99
Maniobrabilidad	11	3	0.33	-3	-0.33	3	0.33	9	0.99
Robustez	8	9	0.72	9	0.72	9	0.72	9	0.72
Rapidez de montaje	8	0	0	-3	-0.24	9	0.72	9	0.72
Ligereza	5	-9	-0.45	-9	-0.45	3	0.15	9	0.45
Ergonomía	5	9	0.45	9	0.45	9	0.45	3	0.15
A prueba de fallas	5	3	0.15	3	0.15	9	0.45	9	0.45
Tamaño máximo igual al de la silla de ruedas	3	-9	-0.27	-9	-0.27	3	0.09	9	0.27
Con velocidad similar a la de una persona caminando	3	-9	-0.27	-9	-0.27	9	0.27	9	0.27
Capaz de circular sobre calles y banquetas	3	3	0.09	-9	-0.27	3	0.09	9	0.27
De bajo costo	5	-9	-0.45	-9	-0.45	3	0.15	9	0.45
Manipulable por usuario o por acompañante	2	-3	-0.06	3	0.06	3	0.06	9	0.18
Diseño universal	2	9	0.18	3	0.06	0	0	0	0
¿Requiere infraestructura especial?	3	-9	-0.27	-9	-0.27	9	0.27	0	0
¿Entorpece el tránsito de peatones o automóviles?	4	-9	-0.36	-9	-0.36	-3	-0.12	0	0
Puntuación total		1.11		-0.15		6.6		7.89	
Rango		3		4		2		1	
¿Continúa desarrollo?		No		No		No		Si	

Tabla 1.9: Matriz de puntuación de concepto

Decisión 3:

En base a los resultados obtenidos de la matriz de puntuación de concepto se decidió continuar el desarrollo del producto del concepto 4.

1.5 DISEÑO A NIVEL SISTEMA



En esta fase se establece la función central, así como las sub-funciones que la hacen posible, independientemente de los componentes físicos que permitan realizarlas. Se desarrollan y analizan arreglos preliminares y diseños de forma.

1.5.1 Descripción general

El dispositivo que se propone se adapta a la mayoría de las sillas de ruedas comerciales, permitiendo motorizarlas temporalmente. Su montaje es sencillo y no altera a la silla de ruedas. Integra motores eléctricos, baterías recargables y un sistema de control. La conducción es simple y la velocidad está limitada con un valor ligeramente superior al de una persona al caminar. Estará disponible para aquellos usuarios u acompañantes que deseen una asistencia para eliminar el esfuerzo físico requerido para impulsar una silla de ruedas durante recorridos largos.

Función central

La función principal del dispositivo es impulsar una silla de ruedas manual. Para ello se requiere una silla de ruedas, un dispositivo, señales de control y energía eléctrica. El resultado es una silla de ruedas motorizada temporalmente.

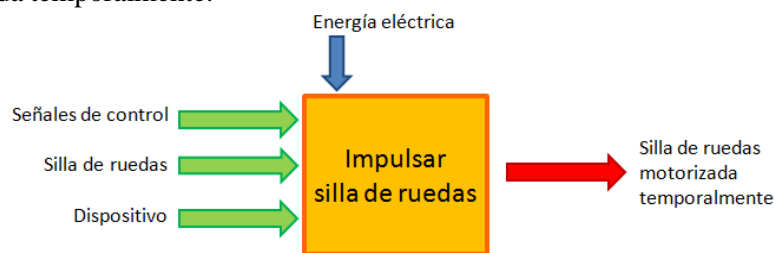


Fig. 1.21: Función central: Impulsar silla de ruedas

Sub-funciones

La función principal se descompone en funciones secundarias. De esta manera se puede simplificar la comprensión y la resolución del problema.

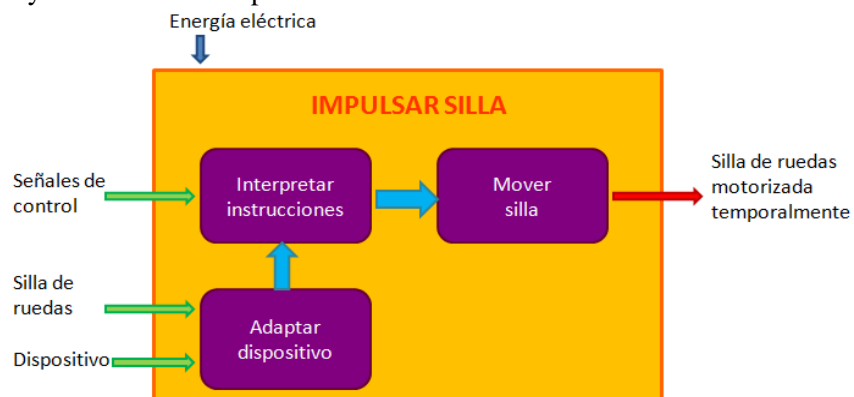


Fig. 1.22: Sub-funciones

La función *adaptar dispositivo* es fundamental para el buen funcionamiento del sistema. Se encarga de asegurar que el dispositivo quede bien sujeto a la silla de ruedas para asegurar la transmisión adecuada de movimiento. Se realiza por medio de un mecanismo. Enseguida, la función *interpretar*

instrucciones se lleva a cabo en el controlador. Recibe órdenes que el usuario envía por medio de la interfaz, las interpreta y envía señales de corriente o voltaje que controlan a los motores. Finalmente, la función *mover silla* recibe señales eléctricas que van directamente a los motores que transmiten el movimiento.

Asignación de funciones elementales a componentes físicos

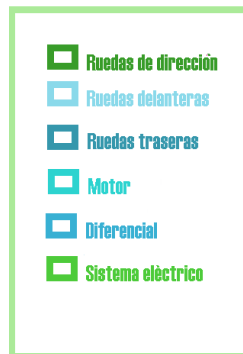
Dependiendo de su complejidad, a cada sub-función se le puede asignar un componente físico que realice la acción; o bien la sub-función se puede descomponer, a su vez, en funciones elementales que puedan ser realizadas por un solo componente físico. En la siguiente tabla se muestra la correspondencia asignada a cada función elemental:

Sub-función	Función elemental	Componente físico
Adaptar dispositivo	Acoplar	Mecanismo de acople
Interpretar instrucciones	Interpretar	Interfaz
Mover silla	Almacenar energía	Batería
	Controlar energía	Controlador
	Transformar energía	Motor
	Multiplicación de torque y reducción de velocidad	Engranajes o poleas
	Dirigir silla	Servomotor / par diferencial / otro
	Transmitir movimiento	Llanta / polea transmisora

Tabla 1.10: Sub-funciones y componentes físicos

Determinación de la configuración

Una vez que se hizo la relación de los componentes físicos con las funciones elementales, se propusieron y evaluaron diferentes configuraciones para colocar los diferentes elementos en la silla. A continuación se muestra una vista superior de la silla que muestra las configuraciones consideradas, así como el código de colores empleado:



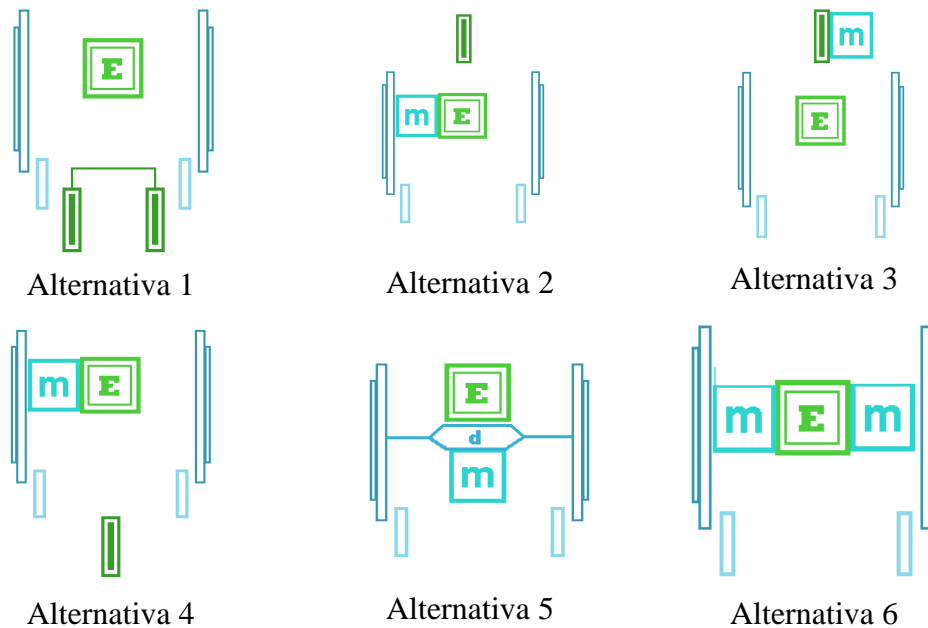


Fig. 1.23: Alternativas de configuración

Se optó por la alternativa 6 porque permite tener un mayor control de la silla en el menor espacio posible. Al contar con dos motores ya no se requieren elementos adicionales para dirigir la silla de ruedas. Sin embargo se hizo una modificación a esta propuesta. Inicialmente se pensó que era factible acoplar directamente los motores a las ruedas de la silla o al eje de las ruedas. Pero las observaciones de diferentes modelos de silla permitieron determinar que diseñar un mecanismo de acople de esta naturaleza sería imposible ya que ninguna silla tiene un eje para las llantas y además, debido a las características de la silla, no hay manera de transmitir el movimiento directamente. Por lo tanto, para solucionar el problema, se decidió desplazar los motores hacia arriba y hacia atrás y transmitir el movimiento de rotación a las llantas traseras a través de poleas.

1.5.2 Prueba de concepto

Se realizó una prueba de concepto por medio de un prototipo alfa, que es un prototipo inicial que hace tangible el concepto, sin ser construido con los materiales ideales ni con las técnicas de manufactura que se emplearían para una producción en masa del producto. El objetivo es determinar, en una etapa temprana del desarrollo, si el producto va a funcionar como se espera. El prototipo alfa permite identificar problemas que hayan pasado desapercibidos durante el proceso de diseño.

Descripción física del prototipo alfa

El prototipo alfa se implementó sobre chasis tubular de fierro. Se distinguen ocho elementos básicos:

- 1) Parte fija
Es el chasis de la estructura, que funciona como elemento de integración: en él están montados todos los demás elementos.

- 2) Parte móvil
Está sujeta a la parte móvil por un par de tornillos y tiene un movimiento de rotación con respecto a ésta para permitir adaptar el dispositivo a diferentes diámetros de llantas. En esta parte están montados los sujetadores para los motores.
- 3) Barra de sujeción para montaje
Esta barra es una sección de la parte fija. Tiene por función facilitar el montaje del dispositivo. Se pretende que la persona que lo monte en la silla levante el dispositivo a través de este elemento y que tenga la altura necesaria como para que no sea necesario agacharse para hacerlo.
- 4) Sujetador de tensor
Es un gancho que permite sujetar uno de los extremos del tensor
- 5) Tensor
El tensor es un elemento que se coloca, por un extremo en el sujetador de tensor de la parte móvil, y por el otro en uno de los tubos verticales de la parte fija. Su objetivo es impedir que cuando la silla esté en movimiento, los motores boten debido a la transmisión de los efectos provocados por las imperfecciones del suelo. Por lo tanto, asegura que las poleas de los motores siempre estén en contacto con las llantas grandes de la silla.
- 6) Deslizadores
Permiten montar el dispositivo a una silla, deslizándolo en las barras auxiliares que normalmente permiten al acompañante inclinar la silla hacia atrás para poder subir escalones o banquetas, al aplicar fuerza con un pie.
- 7) Aletas
Una vez que el dispositivo está montado, permiten contrarrestar la tendencia del mismo a girar o irse hacia atrás. Utilizan como límite las mismas barras arriba mencionadas.
- 8) Soportes auxiliares de lámina:
 - a. Charolas para baterías y controlador
 - b. Sujetadores para los motores

El prototipo alfa integró 2 motores para ventilador de coche, 1 baterías de coche de 12V y 2 interruptores como controlador.

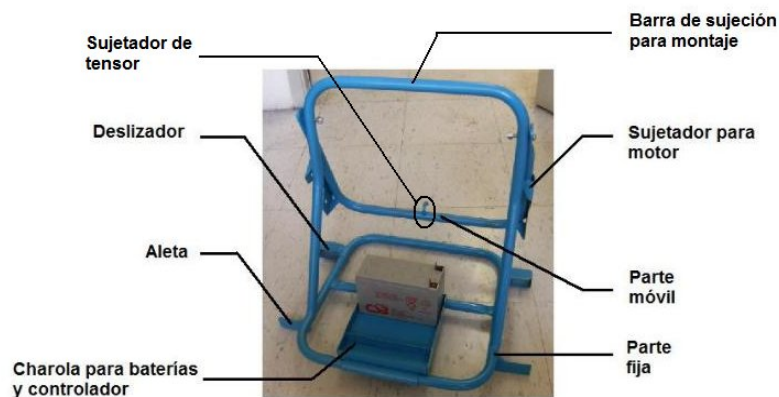


Fig. 1.24: Partes del prototipo alfa

A continuación se muestra una fotografía donde el dispositivo completo está montado en una silla de ruedas manual. Aquí se aprecian las dimensiones relativas de ambos objetos junto a una persona.



Foto: Jorge Estrada Ortiz

Fig. 1.25: Prototipo montado en silla de ruedas

Se hizo una demostración del montaje y funcionamiento del dispositivo frente a representantes de la Autoridad del Centro Histórico del D. F. para demostrar la funcionalidad de la propuesta. La impresión de los funcionarios fue positiva: expresaron su interés por el proyecto y por el alcance que éste podría llegar a tener.

1.6 CONCLUSIONES

Para concluir la prueba de concepto, se evalúan los objetivos cumplidos y las fallas detectadas para determinar los aciertos y las oportunidades de mejora del diseño.

Aciertos de diseño

El dispositivo funcionó cumpliendo con los objetivos en cuanto a:

- ✓ Motorizar una silla de ruedas manual
 - Liberar a la persona discapacitada del esfuerzo físico para impulsarse
 - Asegurar la independencia de la persona discapacitada
- ✓ Tener dimensiones adecuadas para ser montado y quedar embebido dentro de la silla
- ✓ Asegurar la transmisión del movimiento rotatorio de los motores a las llantas a través de poleas con un radio previamente calculado

Oportunidades de mejora del diseño

El prototipo permitió poner en evidencia algunos problemas que antes no habían sido detectados:

- 1) El montaje es altamente complicado
 - a. Se requiere la intervención de dos o tres personas para llevarlo a cabo
 - b. Su peso dificulta levantarlo y deslizarlo sobre las barras auxiliares
 - c. La barra de sujeción para montaje no se encuentra a una altura ergonómica para la persona encargada de realizar esta acción
 - d. El tiempo de montaje es de aproximadamente 8 minutos
- 2) El peso del dispositivo hace que éste tenga una tendencia a deslizarse hacia atrás
- 3) El cableado está expuesto y enredado
- 4) Hay riesgo de daño superficial a la pintura de la silla
- 5) Las aletas fueron poco funcionales
- 6) En la unión de la parte móvil con la parte fija hay peligro potencial de machucadura
- 7) Diseño inadecuado o inexistente del sujetador de tensor y del tensor

El tensor se coloca una vez que el dispositivo está montado. Esto incrementa el tiempo de montaje.

- 8) Falta la tolva
- 9) Falta estética

El desarrollo de un proyecto es un proceso largo que requiere la intervención de especialistas en varias áreas del conocimiento. Las etapas tempranas del desarrollo son muy importantes para el diseño ya que de ellas depende la buena determinación de los objetivos, así como la buena toma de decisiones que guiarán el resto del proceso. En general, es necesario realizar varias iteraciones para asegurar que el producto cumpla con la misión del proyecto.

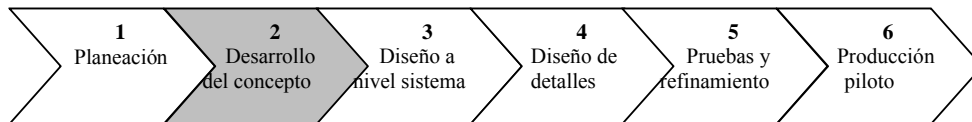
CAPÍTULO 2:

PROCESO ITERATIVO DE DESARROLLO

En este capítulo se documenta el trabajo realizado en la segunda iteración del benchmarking ya que el primero, si bien permitió situar el proyecto dentro de un contexto general, no se enfocó en la búsqueda de competidores directos ya que en su momento todavía no se había definido el concepto del producto.

En base a la información obtenida en el benchmarking y a las oportunidades de mejora del diseño del producto detectadas en la evaluación de resultados del capítulo 1 se detectaron oportunidades de mejora en el diseño del producto. Asimismo se presentan propuestas de solución y se define el trabajo subsecuente a desarrollar.

Las actividades que se describen corresponden a la fase de desarrollo del concepto del proceso genérico de desarrollo de un producto.



2.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS CONTRA OBJETIVOS DE DISEÑO

Para medir qué tanto se apega el dispositivo con los postulados de la declaración del proyecto, se presenta un cuadro comparativo de evaluación:

Criterio de evaluación	Resultados de la prueba de concepto			
	Cumple	+/-	No cumple	¿?
Adaptable a varios modelos			X	
Autónomo	X			
Maniobrable	X			
Eléctrico / Manual			X	
Ergonómico		X		
Seguro		X		
Ligero			X	
De dimensiones reducidas		X		
Con velocidad limitada	X			
Capaz de circular sobre calles y banquetas				X
Robusto			X	
Costo menor al de una silla de ruedas eléctrica	X			
De fácil mantenimiento	X			
No entorpece el tránsito de personas ni de coches	X			
Mejora la imagen urbana				X
Mejora la calidad de vida de personas discapacitadas				X

Tabla 2.1: Evaluación de resultados con respecto a criterios de evaluación

Algunas observaciones relevantes, que no estaban consideradas como objetivos de diseño, fueron:

- El dispositivo ocupa demasiado espacio de almacenamiento
- El dispositivo es difícil de transportar
- El dispositivo tiene salientes metálicas peligrosas que pueden causar golpes y/o rasguños

Decisión 4
Es conveniente agregar dos criterios de evaluación para medir la facilidad de almacenamiento y transporte del dispositivo: *volumen* y *portabilidad*.

Propuestas generales para solucionar las fallas

El primer paso dentro del proceso iterativo de mejora del diseño consistió en hacer un listado recapitulando las fallas detectadas junto con el planteamiento de propuestas generales evidentes para solucionarlas.

No.	Falla	Propuestas de solución
1	Alta dificultad de montaje	Diseñar un dispositivo auxiliar de montaje
2	Altura inadecuada de la barra de sujeción	Elevar la altura de la barra de sujeción
3	Tendencia de deslizamiento hacia atrás	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir sujetadores que se agarren al chasis de la silla • Incluir un sistema antivuelco
4	Cableado expuesto y enredado	Considerar el cableado interno en la estructura
5	Riesgo de daño superficial en la pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el diseño de los deslizadores • Colocar elementos suaves internos en los deslizadores
6	Aletas poco funcionales	Eliminar aletas y sustituirlas por soportes o sujeciones en otro lugar
7	Peligro de machucadura	Diseñar protector
8	Falta de diseño de tensor y sujetador	Diseñar tensores adecuados con mejor ubicación y que no sean desmontables
9	Falta de tolva	Diseñar tolva para cubrir los motores o carcasa de todo el dispositivo
10	Falta de estética	Solicitar ayuda de un diseñador industrial

Tabla 2.2: Propuestas de soluciones para las fallas detectadas

Al mejorar todos estos aspectos, se espera que el tiempo de montaje disminuya considerablemente.

Decisión 5
Determinación del tiempo de montaje (T_m) objetivo: $T_m \leq 1 \text{ min.}$

Análisis de las soluciones propuestas

En la tabla 2.3 se comentan la factibilidad de las soluciones evidentes. Una vez que se detectaron las fallas y se plantearon propuestas de solución, fue necesario retomar el estudio del marco teórico. Esta vez el objetivo fue conocer más a fondo el tema de las sillas de ruedas puesto que el dispositivo que se diseña tiene que ser adaptable a ellas.

Solución	Implementar			Comentarios
	Si	No	¿?	
Diseñar un dispositivo auxiliar de montaje		X		Se complica el diseño
Elevar la altura de la barra de sujeción	X			Mejora fácil de realizar
Incluir sujetadores que se agarren al chasis de la silla	X			Necesario
Incluir un sistema antivuelco			X	Considerar solución. Estudiar alternativas
Considerar el cableado interno en la estructura			X	Considerar solución. Estudiar alternativas
Mejorar el diseño de los deslizadores	X			Necesario
Colocar elementos suaves internos en los deslizadores	X			Conveniente
Eliminar aletas	X			Necesario
Añadir soportes o sujeciones			X	Considerar solución. Estudiar alternativas
Diseñar protector para la unión de la parte fija / móvil		X		Considerar re-configuración completa del dispositivo
Diseñar tensores adecuados con mejor ubicación y que no sean desmontables		X		Considerar re-configuración completa del dispositivo
Diseñar tolva para cubrir los motores	X			Necesario. Considerar re-configuración completa del dispositivo
Diseñar carcasa de todo el dispositivo	X			Necesario. Considerar re-configuración completa del dispositivo
Solicitar ayuda de un diseñador industrial	X			Necesario

Tabla 2.3: Análisis de soluciones

Comparación de sillas de ruedas manuales y eléctricas

En particular, el concepto del producto es un dispositivo adaptable que permite transformar una silla de ruedas manual estándar en una silla de ruedas eléctrica. Entonces conviene preguntarse ¿Qué se entiende por silla de ruedas “estándar”? ¿Existe un modelo “estándar”? ¿Cuáles son las medidas “estándar”?

Se consultaron catálogos comerciales para realizar un estudio de 15 modelos de sillas manuales para determinar las dimensiones *estándar*. Asimismo, se recopilaron características relevantes de 15 modelos de sillas eléctricas, únicamente con propósitos de comparación. Los resultados se sintetizan en la siguiente tabla:

Característica	Silla manual	Silla eléctrica
Largo total		110, 120, 150, 190 (cm)
Alto total	90cm ()	91, 94 (cm)
Ancho total	63, 65 (cm)	60, 63, 65 (cm)
Distancia de aro impulsor a aro impulsor	68 (cm)	-----
Altura del asiento	45, 46, 50 (cm)	47 (cm)
Ancho de tapicería	Estándar: 43, 46, 48 (cm) Bariátrica: 56, 61 (cm)	Estándar: 43, 46, 51 (cm)
Altura descansabrazos	75 (cm)	75 (cm)
Peso de la silla	12, 15, 16 (kg)	58 - 94 kg con baterías 36 - 68 (kg) sin baterías
Velocidad máxima	Depende del usuario	6 - 8 (km/h)
Rendimiento de batería	-----	32, 35, 45 (km)
Carga máxima soportada	Pediátrica: 25, 30, 40 (kg) Estándar: 100-115 (kg)	100-136kg
Precio	\$1200 - \$9600 M.N.	\$24000 - \$80000 M.N.

Tabla 2.4: Comparación de características de sillas de ruedas manuales y eléctricas

Con estos datos se puede concluir que las dimensiones de las sillas de ruedas manuales y eléctricas son similares. Sin embargo las diferencias más notables radican en el peso de la silla, la velocidad de desplazamiento y el precio.

Justamente el elevado peso y precio de una silla de ruedas eléctrica con respecto a una manual muestran la viabilidad de un producto dirigido a usuarios con sillas manuales, que conforman el grupo más importante de usuarios finales en México. Para reforzar esta afirmación, la Dra. Vianeyd Rodríguez, comentó que “de cada 20 pacientes que atiende y que necesitan una silla de ruedas, 18 adquieren una silla manual y 2, una eléctrica”. Además enfatizó el hecho de que “los pacientes no compran la silla de ruedas en función de sus necesidades físicas, sino en función de sus posibilidades económicas”.

Por otro lado, erróneamente se cree que existe un solo tamaño y tipo de silla de ruedas manual al que el usuario se debe de adaptar. En este error incurren incluso los especialistas, principalmente por falta de conocimiento de los productos que hay en el mercado global. Sin embargo, es la silla la que se debe de adaptar a las necesidades y medidas del usuario. Las sillas deben fabricarse de tal forma que aseguren al usuario comodidad y facilidad de manipulación, evitando además futuros problemas de salud debidos a posturas inadecuadas. Aparentemente esto se contradice con la búsqueda de una silla de ruedas *estándar*. La antropometría resuelve esta contradicción.

2.2 ANTROPOMETRÍA Y DISEÑO

La antropometría es una parte de la antropología que estudia las medidas y proporciones del cuerpo humano. Se han desarrollado procedimientos antropométricos gracias a los cuales se sabe que hay medidas que pueden ser consideradas estándar en un grupo de personas que comparten ciertos rasgos en común, tales como origen étnico, ubicación geográfica, grupos de edad, el país al que pertenecen e incluso ocupaciones.

Esta información resulta muy útil para todas aquellas compañías que ofrecen productos que de alguna forma entran en contacto físico con las personas y que por lo tanto deben ser ergonómicos. Los diseñadores, a su vez, deben ser capaces de “acomodar el diseño al mayor rango de usuarios posible – generalmente 90% de ellos”¹. Existen 37 medidas consideradas en las encuestas más comunes de antropometría y que sirven para hacer el diseño adaptado a las dimensiones del cuerpo. Para el caso de las compañías especializadas en la producción y venta de sillas de ruedas las medidas antropométricas de mayor interés se toman de la posición “sentado”.

1) Ancho pélvico

Es la distancia horizontal máxima que hay entre las caderas o muslos (se escoge el mayor de ellos). Puede usarse para determinar el ancho de un asiento.

2) Ancho biacromial de los hombros

Es la distancia horizontal entre el acromion izquierdo y el derecho. Proporciona una referencia de la distancia entre los centros de rotación de los brazos.

3) Profundidad nalga- poplíteo

Es la distancia que hay entre la espalda baja de la persona en posición vertical hasta la parte de abajo del muslo, justo atrás de la rodilla derecha, con las rodillas flexionadas a 90°. Es la referencia para la profundidad de un asiento.

¹ Bridger, 2003, p.60

- 4) Altura del poplíteo
Es la distancia vertical desde el piso hasta la parte de abajo del muslo, justo atrás de la rodilla derecha, con las rodillas flexionadas 90° . Sirve como referencia para la determinar la altura del asiento.
- 5) Altura inferior del omóplato
Es la distancia que hay, cuando el individuo se encuentra sentado, entre el plano del asiento y la parte inferior del omóplato.
- 6) Altura del hombro
Es la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta la parte más alta del hombro (acromion). El acromion se encuentra cerca del centro de rotación del brazo. Es el punto de referencia para medir la longitud del brazo, así como para determinar el alcance de la mano.
- 7) Altura
Es la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta la punta de la cabeza.
Se relaciona con la altura mínima de posibles obstáculos por encima de la persona.
- 8) Altura del codo
Es la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta la parte más baja del codo, estando éste flexionado a 90° . Es el punto de referencia para determinar la altura de un descansabrazos o el área de trabajo cuando se requiere el uso de la mano y de teclados.
- 9) Altura del muslo
Es la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta el punto más alto en la parte de arriba del muslo, con las rodillas flexionadas 90° . Permite determinar la distancia mínima requerida entre el asiento y la parte baja de alguna estructura a la que el usuario tenga que acercarse.
- 10) Altura de la rodilla
Es la distancia vertical desde el piso hasta la parte más alta del hueso de la rodilla, con las rodillas flexionadas a 90° . Permite determinar el espacio libre que debe haber bajo alguna estructura a la que el usuario tenga que acercarse.
- 11) Longitud hombro-codo
Es la distancia vertical desde la parte de abajo del codo derecho hasta el acromion derecho, con el codo flexionado a 90° y el brazo superior en posición vertical hacia abajo.
- 12) Longitud codo-dedo
Es la distancia horizontal que va de la parte de atrás del codo derecho hasta la punta del dedo medio, con el codo flexionado a 90° y la muñeca y los dedos estirados. Sirve como referencia para conocer el alcance de la punta del dedo cuando el brazo se mueve con respecto al hombro.
- 13) Alcance de agarre por encima de la cabeza
Es la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta el centro de una barra cilíndrica fijamente sujeta por la mano derecha, con el brazo y la muñeca derechos estirados hacia arriba. Es una referencia para los controles que se encuentren por encima de la cabeza de una persona en silla de ruedas.
- 14) Longitud del brazo
Es la distancia vertical desde la punta del dedo medio derecho hasta el acromion, con el brazo en posición vertical hacia abajo. Es una referencia para los controles que se encuentren a un costado, abajo del usuario.
- 15) Alcance de agarre hacia abajo
Es la distancia vertical desde el acromion derecho hasta el centro de una barra cilíndrica sujeta firmemente por la palma de la mano derecha, con el brazo en posición vertical hacia abajo.

16) Profundidad nalga-rodilla

Es la distancia de la parte trasera de la nalga hasta la parte más protuberante de la rodilla derecha, con las rodillas flexionadas 90°. Es una referencia para los espacios libres que debe de haber entre el respaldo de la silla y los obstáculos.

17) Ancho bideltoides de los hombros

Es la distancia horizontal entre los hombros, tomándose en los márgenes laterales de los músculos deltoides izquierdo y derecho. Es una referencia para determinar el espacio libre requerido a la altura de los hombros.

18) Envergadura

Es la distancia horizontal entre la punta del dedo medio derecho y la punta del dedo medio izquierdo, con los brazos extendidos, formando una cruz con el cuerpo. Es una referencia para conocer el alcance del usuario hacia los lados.

Para propósitos de diseño se debe agregar más longitud a cada una de las medidas como factor de seguridad.

Con los estudios antropométricos se han logrado generar tablas que muestran las dimensiones físicas estándar de ciertos grupos de personas. Y aunque dichas tablas son de gran utilidad para los diseñadores, es importante mencionar que la mayor parte de la información recaudada se limita a personas de países europeos, Estados Unidos y Japón.

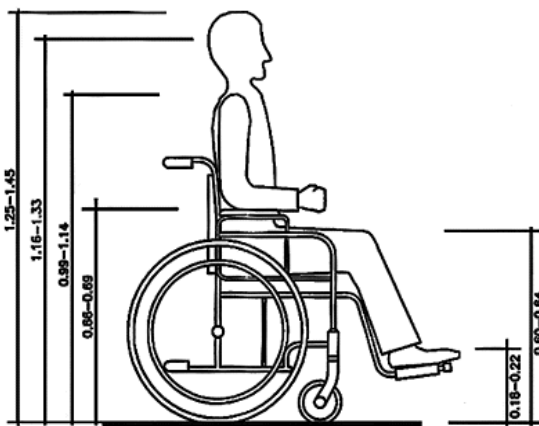


Fig. 2.1: Datos dimensionales de un usuario en silla de ruedas

Ojo
1.16 – 1.33 m

Hombro
0.99 – 1.14 m

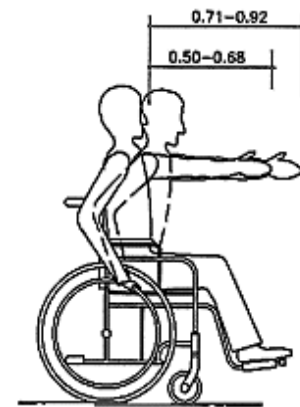


Fig. 2.2: Zona de alcance horizontal de un usuario en silla de ruedas

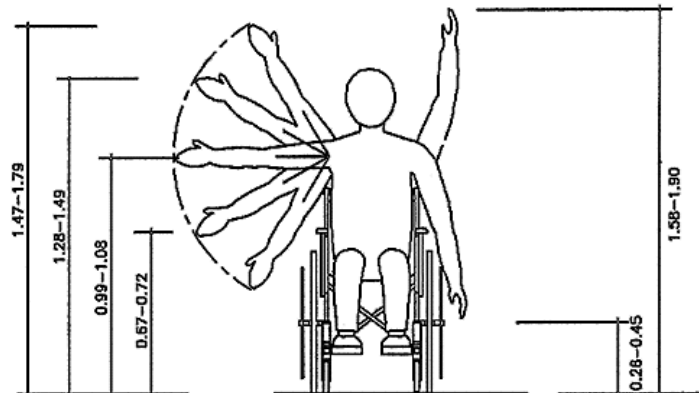


Fig. 2.3: Zona de alcance vertical de un usuario en silla de ruedas

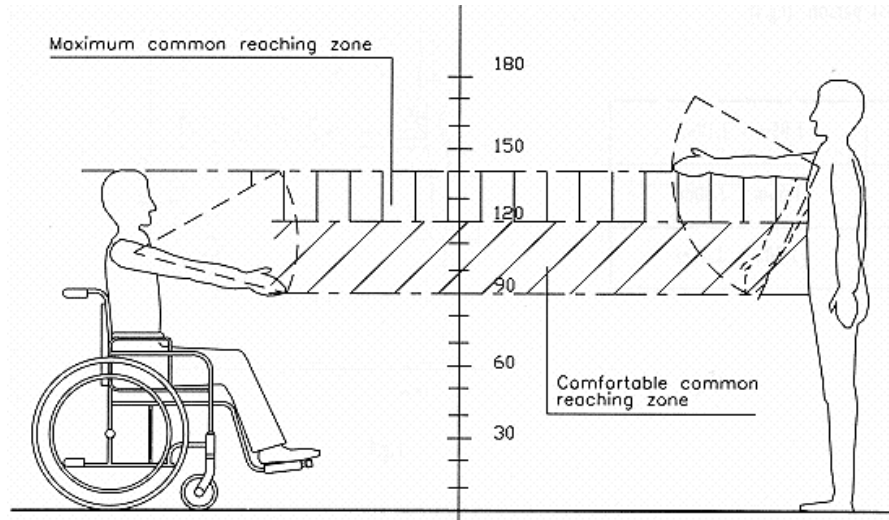
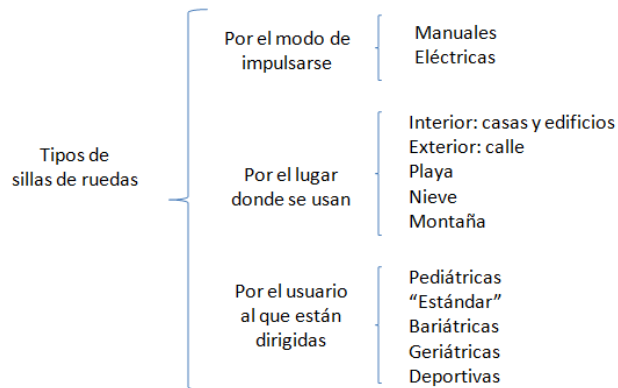


Fig. 2.4: Zona de alcance común

2.3 SILLAS DE RUEDAS

Tipos de sillas de ruedas

Se ha mencionado la importancia de que las sillas de ruedas se adapten a las necesidades del usuario. Por ello, existen diferentes tipos de sillas que se pueden clasificar de la siguiente manera:



Componentes de una silla de ruedas manual

Una silla de ruedas manual tiene por componentes principales: asiento, armazón, ruedas, frenos, reposapiés y reposabrazos.



Fig. 2.5: Partes de una silla de ruedas manual

Cuadro o armazón

El cuadro es la estructura principal de la silla de ruedas ya que juega el rol de chasis. Sobre él se montan los demás elementos. El cuadro puede ser de dos tipos: rígido o plegable. Los materiales más comunes empleados en su fabricación son el acero (barato pero pesado) barnizado o cromado y el aluminio (muchos más ligero pero más caro), aunque también se llegan a utilizar materiales tales como el titanio y la fibra de carbono.

RUEDAS

El conjunto rueda está formado por una llanta² y la rueda o neumático. Con la llanta se acopla el eje del vehículo y sobre ella se monta la rueda.

Ruedas delanteras

Las ruedas delanteras son las que giran para dirigir a la silla en la dirección que el usuario desee. Su diámetro varía desde 63mm hasta 200mm. De acuerdo al lugar donde se use la silla se recomiendan diferentes diámetros.

Interior y deportes de pista: 63mm (2.5") y 125mm (5")

Exterior: 200mm

Interior y exterior: 150mm

Las cubiertas de las ruedas delanteras pueden ser:

- 1) Neumáticas: Permiten amortiguar pero se pueden ponchar fácilmente
- 2) Macizas: No amortiguan y no necesitan mantenimiento

Ruedas traseras

Existen diferentes diámetros de ruedas traseras. El diámetro varía según el tipo de silla:

- Sillas de traslado (impulsadas por un acompañante) para personas discapacitadas que pueden controlar su espina dorsal y cabeza
Diámetro: 31cm (12")
- Sillas de traslado personas cuádruplégicas, que pueden controlar su espina dorsal ni cabeza
Diámetro: 61cm (24")
- Sillas impulsadas por la persona discapacitada tienen una rueda trasera de diámetro grande y que se selecciona según su uso:

² Rueda metálica cuya estructura está formada fundamentalmente por dos piezas: disco y llanta. Hay discos que están constituidos por radios, como los de las bicicletas.

Diámetro	Uso
56cm (22") o 51cm (20")	Sillas para niños
61 cm (24")	Es la más común
66 cm (26")	Para personas muy altas y para deportistas

Tabla 2.5: Diámetros de ruedas de acuerdo a sus usos

Las cubiertas de las ruedas pueden ser:

- 1) Macizas
Ventajas: Ofrecen poca resistencia al rodar y no requieren mantenimiento
Desventajas: Son pesadas, no amortiguan las imperfecciones del terreno y no proporcionan agarre en superficies mojadas
- 2) Inserto sólido
Ventajas: No necesitan mantenimiento y tienen mejor agarre en superficies mojadas
Desventajas: No amortiguan tanto como las neumáticas y son un poco más pesadas que éstas
- 3) Neumáticas
Ventajas: Amortiguan las imperfecciones del terreno, tienen buen agarre y son ligeras.
Desventajas: Requieren más fuerza para impulsarlas y mantenimiento

Llantas: Pueden ser de plástico o de radios de aluminio

Aros de empuje

Son los aros que se encuentran en la parte externa de las ruedas traseras y que tienen como objetivo servir como elementos de sujeción para que el usuario pueda impulsar su silla manualmente y de manera independiente sin ensuciarse. Pueden ser de aluminio, acero, titanio o plástico.

Frenos

Son los componentes que impiden el giro de las ruedas cuando la persona discapacitada desea mantenerse fija en un solo sitio.

Reposapiés

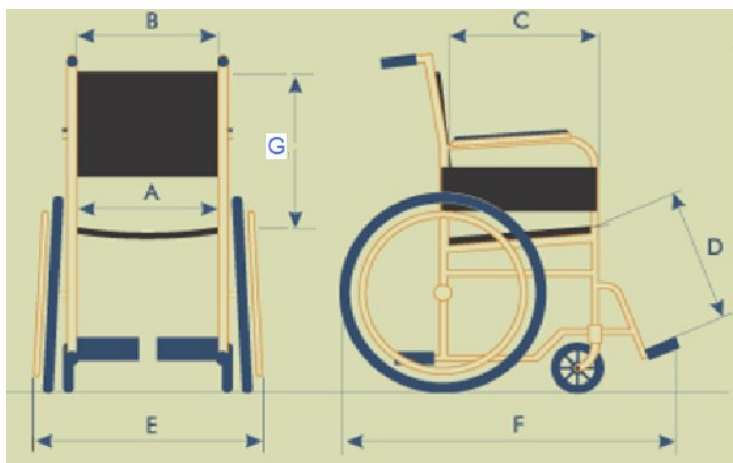
Elemento que sirve de apoyo para los pies. Puede ser fijo o desmontable. Idealmente el ángulo que debe tener el reposapiés con respecto a la horizontal formada por el asiento del usuario es de 90°. Sin embargo, colocar el reposapiés con dicho ángulo podría llegar a interferir con el movimiento giratorio de las ruedas delanteras, por lo que otros ángulos de inclinación comunes son 70° y 60°.

Reposabrazos

Elemento que brinda comodidad al usuario al permitirle descansar sus brazos al apoyarlos sobre él. Puede ser fijo o desmontable. Algunos reposabrazos están diseñados de tal manera que permiten que el usuario pueda acercarse a mesas y escritorios sin causar interferencia.

Dimensiones variables en sillas de ruedas manuales

Considerando los estudios antropométricos, se diseñan sillas de ruedas de diferentes tamaños "estándar". Estas variables deben ser tomadas en cuenta para asegurar un buen diseño de cualquier dispositivo adaptable.



- A Ancho del asiento
- B Ancho del respaldo
- C Profundidad del asiento
- D Longitud del reposapiés
- E Ancho total
- F Longitud total
- G Altura del respaldo

Fig. 2.6: Dimensiones que varían de acuerdo al fabricante

Ancho del asiento (A)

Medida que se adapta al ancho pélvico.

Ancho de asientos comerciales pediátricos: 32, 36, 40 cm

Ancho de asientos comerciales para adultos: 37, 40, 43, 46, 49 cm

Ancho del respaldo (B)

Medida que se adapta al ancho biacromial de los hombros.

Profundidad del asiento (C)

Medida que se adapta a la profundidad nalga-poplíteo, pero quitándole aproximadamente 4 cm para evitar que el borde del asiento rose el poplíteo de la persona.

Profundidad de asientos comerciales pediátricos: 36 cm

Profundidad de asientos comerciales para adultos: 41, 48 cm

Longitud del reposapiés (D)

Medida que se adapta a la altura del poplíteo.

Altura del respaldo (G)

Para un paciente con control normal del tronco, es la medida que se adapta a la altura inferior del omóplato.

Para un paciente con poco control del tronco, es la medida que se adapta a la altura del hombro.

El respaldo debe estar 2.5 cm por debajo del omóplato.

Alturas del respaldo comerciales: 38 – 45 cm

2.4 ESTUDIO DE MERCADO: Segunda iteración

Teniendo siempre en mente el concepto del producto que se quiere diseñar, ahora es conveniente plantear preguntas referentes a las compañías y productos competidores: ¿existe un dispositivo con características similares?, ¿qué diferencia habría entre el dispositivo que aquí se propone y los que ya existen?, ¿cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de ellos? Para encontrar una respuesta es necesario conocer a fondo los productos disponibles en el mercado.

2.4.1 Power Add-On Units (PAU)

Existen dispositivos electromecánicos que se montan en una silla de ruedas manual y asisten a quien la empuja, disminuyendo o eliminando por completo la necesidad de realizar un esfuerzo físico. Estos dispositivos se conocen como PAU, por sus siglas en inglés Power Add-On Units, que simplemente se refiere a *unidades adaptables de poder*. Al colocar estos aditamentos a una silla de ruedas se obtiene un tipo de silla que, en la evolución tecnológica e histórica de las sillas de ruedas, se sitúa en un punto intermedio entre las sillas de ruedas manuales y las sillas de ruedas eléctricas. Estos dispositivos hicieron posible la transición entre ambos conceptos de sillas. Recientemente, la idea se ha retomado para satisfacer las necesidades de un mercado que busca motorizar su silla de ruedas por periodos cortos o a bajos precios. Se distinguen principalmente dos categorías de PAU, que a continuación se describen brevemente.

Pushrim-Activated Power Assist Wheelchairs (PAPAW)

Esta ayuda técnica puede considerarse como una silla de ruedas híbrida ya que permite que el usuario impulse la silla con su esfuerzo físico y con la ayuda de unos motores al mismo tiempo. Los motores y baterías se encuentran embebidos en las llantas traseras, dentro de un contenedor cilíndrico pequeño, de tal forma que las dimensiones de PAPAW apenas rebasan las de una silla manual. El funcionamiento es el siguiente: cuando la persona mueve los aros de empuje, el sistema de control detecta si el usuario se está impulsando o si está disminuyendo el movimiento. Cualquiera que sea el caso, el sistema de control hace lo necesario para ayudarlo, ya sea impulsarlo más o detenerlo.

Dispositivos que se adaptan a sillas manuales

Estos dispositivos permiten convertir una silla de ruedas manual en una eléctrica, ya sea para dar total independencia a la persona discapacitada o ayudar a quien la cuida. Para tal efecto hay diferentes soluciones. La primera de ellas consiste en remplazar las ruedas originales de la silla por otras que tengan un motor, batería y control integrado. El diseño físico es similar al de PAPAW, pero convierte la silla totalmente en eléctrica. La segunda consiste en conectar la silla de ruedas manual a un sistema de manejo para que el usuario conduzca la silla como si fuera un scooter. Los modelos actuales de sistemas de manejo varían en cuanto a: peso, método de montaje, método de conducción, la energía que provee el sistema y la estabilidad al operar. La velocidad máxima que alcanzan estos sistemas de manejo va de 5.6 hasta 17.7 k/h, pero en general la velocidad máxima es menor que la de una silla de ruedas eléctrica. La distancia que puede recorrerse con la batería es, en promedio, de 32 kilómetros. Finalmente, otro dispositivo adaptable, especialmente diseñado para un acompañante, consiste también en un sistema formado por motor, baterías y control. En este caso, el control es para que el acompañante lo active a su gusto. Sirve de ayuda en las pendientes.

Cuadro comparativo de características

En el siguiente cuadro se reúnen las principales características de los diferentes grandes grupos de PAU que se han desarrollado en la historia de las sillas de ruedas. Cabe mencionar que algunos de los modelos han sido descontinuados.

Dispositivo	Peso (kg)	Precio (MN \$)	Uso
Silla de ruedas eléctrica	58 - 94 c/batería	24000 - 80000	Idealmente para usuarios con discapacidad motriz permanente
PAPAW	23 - 32	60800 - 77500	Ayuda al usuario a impulsar
Reemplazo de ruedas por unas con motor integrado	28		Convierte la silla en eléctrica
Sistema de manejo		20600 - 62000	Permite usar la silla como scooter
Auxiliar para el acompañante			Ayuda al acompañante a impulsar
Silla de ruedas manual	10 - 23	1200 - 9600	El usuario se puede impulsar con su propia fuerza o con ayuda de un acompañante

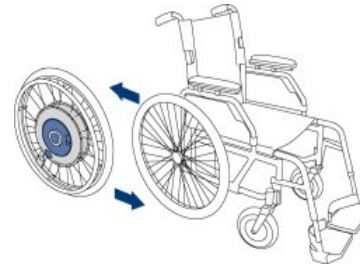
Tabla 2.6: Cuadro comparativo de peso y precio

2.4.2 Productos en el mercado

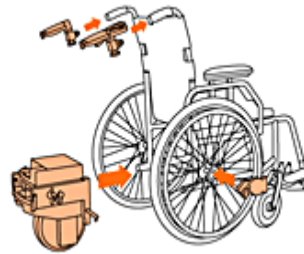
Se hizo un estudio riguroso de modelos de PAU que actualmente se pueden adquirir en el mercado. Se intentó, para cada uno de ellos, llenar una tabla idéntica evaluando varias características. Pero como todos los modelos tienen sus peculiaridades, hubo características que no aplicaban o cuya información no fue proporcionada por el vendedor, de tal forma que unas tablas muestran más información que otras. Cabe mencionar que el criterio de evaluación del sistema antivuelco, se refiere a la integración en el PAU de un par de tubos con llantas traseras (caster wheels) muy pequeñas que impiden que se vuelque la silla. Para facilitar la comprensión de las tablas de evaluación se muestran imágenes de cada uno de los dispositivos:



a) e-fix



b) e-motion



c) Viamobil



d) Swiss Trac



e) Daka ZA20



f) e-move



g) Ramp Runner



h) Magicwheels



i) Powerstroll



j) Quickie Xtender



k) Samson Power Drive PD6

Fig. 2.7: Productos encontrados en el estudio de mercado

1) e-fix

1	Fabricante	Frank Mobility Systems
2	Tipo de dispositivo	Dispositivo adaptable para permitir funcionalidad manual/eléctrica
3	Modificación requerida para ensamble/funcionamiento	Cambio de llantas
4	Tipo de funcionamiento	Manual/Eléctrico
5	Tamaño de ruedas que admite	12.5", 22" y 24"
6	Aumento de las dimensiones de la silla	2 - 5 cm
7	Sistema antivuelco	Si
8	Soporte de batería	Bolsa de nylon con cintas de velcro
9	Autonomía	16 - 30 km
10	Peso de la batería	9 - 13 kg
11	Peso del controlador	0.5 kg
12	Peso de las llantas motrices	(7.8 - 8.8 kg) x 2
13	Peso total	25 - 31 kg
14	Peso máximo soportado del usuario	120 - 210 kg
15	Velocidad de traslado	1.5 - 6 km/h
16	Comentarios	<u>Ventajas:</u> Brinda independencia <u>Desventajas:</u> Es pesado y requiere cambio de llantas
17	Países de distribución	E.U.A.

2) e-motion

1	Fabricante	Frank Mobility Systems
2	Tipo de dispositivo	PAPAW
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Cambio de llantas
4	Tipo de funcionamiento	Híbrido
5	Tamaño de ruedas que admite	22" y 24"
6	Aumento de las dimensiones de la silla	3 – 6.5 cm
7	Sistema antivuelco (llantas)	Si
8	Soporte de batería	Montados en el eje de las llantas
9	Autonomía	12 km
10	Peso de la batería	2 kg x 2
11	Peso de las llantas motrices	10kg x 2
12	Peso total	24 kg
13	Peso máximo soportado del usuario	170 kg
14	Velocidad de traslado	0 – 6 km/h
15	Reconocimientos	Independent Living Design Award 2001
16	Comentarios	<u>Ventajas:</u> Disminuye el esfuerzo físico <u>Desventajas:</u> Es pesado, no elimina el esfuerzo físico, requiere cambio de llantas
17	Países de distribución	E.U.A.

3) Viamobil

1	Fabricante	Frank Mobility Systems
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante en pendientes
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Instalación de soportes fijos
4	Tipo de funcionamiento	Híbrido
5	Tamaño de ruedas que admite	Estándar
6	Aumento de las dimensiones de la silla	0 cm
7	Sistema antivuelco	Si
8	Soporte de batería	Incluida en la carcasa del dispositivo
9	Autonomía	25 km
10	Peso de la batería	9 kg
11	Peso del controlador	0.9 kg
12	Peso de la unidad motriz	12.9 kg
13	Peso total del dispositivo	22. 8 kg
14	Peso máximo del usuario	130 kg
15	Velocidad de traslado	1.5 – 5.5 km/h
16	Comentarios	El dispositivo integra una llanta propia de tracción <u>Ventajas:</u> Disminuye el esfuerzo físico del acompañante <u>Desventajas:</u> No elimina el esfuerzo físico, no brinda independencia, es pesado
17	Países de distribución	E.U.A.

4) Swiss Trac

1	Fabricante	ATEC Engineering Ltd.
2	Tipo de dispositivo	Dispositivo tractor
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Instalación de soporte fijo bajo el asiento
4	Tipo de funcionamiento	Eléctrico
6	Dimensiones (largo x ancho x alto)	75 x 51 x 53 cm
7	Sistema antivuelco	Si
8	Material del cuerpo	ABS
9	Material del chasis	Aluminio
12	Autonomía	Max. 30 km
13	Peso total del dispositivo	65 kg
14	Peso máximo soportado del usuario	130 kg
15	Velocidad de traslado	Max. 6 km/h
16	Comentarios	Dispositivo de remolque de silla <u>Ventajas:</u> Robusto, permite evasión de obstáculos y su uso en terrenos variados <u>Desventajas:</u> Ocupa mucho espacio
17	Países de distribución	Suiza, Alemania, Dinamarca, Austria, Italia, Holanda, Inglaterra, España, Francia

5) Daka ZA20

1	Fabricante	Desconocido
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante en pendientes
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Instalación de soporte fijo
4	Tipo de funcionamiento	Híbrido
5	Dimensiones (largo x ancho x alto)	13 x 14.5 x 11 cm
6	Autonomía	6.4 km
7	Peso total	4.5 kg
8	Velocidad de traslado	3.4 k/h
9	Comentarios	El dispositivo integra una llanta propia de tracción. No se tienen datos confiables del proveedor, o pruebas de que el producto siga disponible en el mercado

6) E-Move

1	Fabricante	DECON
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante en pendientes
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Cambio de llantas
4	Tipo de funcionamiento	Híbrido
5	Tamaño de ruedas que admite	22", 24" y 26"
6	Aumento de las dimensiones de la silla	Aprox. 4 cm
7	Sistema antivuelco	Si
8	Soporte de la batería	Bolsa con tiras de velcro
9	Autonomía	15 km
10	Peso de la batería	2.5 kg
11	Peso de las llantas motrices	7 kg x 2
13	Peso total	17 kg
14	Peso máximo soportado del usuario	120 kg
15	Velocidad de traslado	0 – 6 k/h
16	Comentarios	<u>Ventajas:</u> Disminuye el esfuerzo físico del acompañante <u>Desventajas:</u> No elimina el esfuerzo físico, no brinda independencia
17	Países de distribución	Suecia, Alemania, Noruega, Finlandia, Dinamarca, Holanda

7) Ramp Runner

1	Fabricante	Kvb Manufacturing
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante en pendientes
3	Tipo de funcionamiento	Híbrido
4	Peso total	9.1 kg
5	Comentarios	El dispositivo integra una llanta propia de tracción <u>Desventajas:</u> Difícil de instalar. Producto descontinuado

8) Magicwheels

1	Fabricante	Magicwheels Inc.
2	Tipo de dispositivo	Dispositivo para disminuir esfuerzo físico
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Cambio de llantas
4	Tipo de funcionamiento	Mecánico
5	Tamaño de ruedas que admite	24"
6	Aumento de las dimensiones de la silla	0 cm
7	Sistema antivuelco	Si
8	Material del chasis	Aluminio, vinil
9	Material de los rines	Aluminio anodizado
10	Peso total del dispositivo	3.7 – 4.8 kg
12	Peso máximo soportado del usuario	113 kg
11	Reconocimientos	US Patent, 2004
13	Comentarios	Las llantas tienen una caja de engranes <u>Ventajas:</u> Bajo costo y peso <u>Desventajas:</u> No eliminan el esfuerzo físico
14	Países de distribución	E.U.A.

9) Powerstroll (PWCP005 Y PWCPP006)

1	Fabricante	Drive Medical (antes Medicare Technology)
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Cambio de empuñadura e instalación de soportes fijos
4	Tipo de funcionamiento	Manual / Eléctrico
5	Dimensiones (largo x ancho x alto)	350 x 200 x 300 cm
6	Sistema antivuelco	No
7	Soporte de batería	Carreta en el chasis
8	Autonomía	16.1 km
9	Peso de la batería	9.2 kg
10	Peso total	20 – 21 kg
11	Peso máximo soportado del usuario	115 - 135 kg
12	Velocidad de traslado	6.4 k/h
13	Comentarios	El dispositivo integra una o dos llantas propias de tracción. Patente de montaje rápido en trámite. <u>Ventajas:</u> Elimina el esfuerzo físico. Puede montarse y desmontarse en segundos. Es el modelo más reciente en el mercado (verano 2008). <u>Desventajas:</u> Está dirigido al acompañante de la persona en silla de ruedas, por lo que no brinda independencia.
14	Países de distribución	Inglaterra, Irlanda (otros países de Europa no especificados) y E.U.A.

10) Quickie Xtender

01	Fabricante	Sunrise Medical
----	------------	-----------------

02	Tipo de dispositivo	Dispositivo para disminuir esfuerzo físico
03	Modificación para ensamble/funcionamiento	Cambio de llantas y montaje de aditamentos
04	Tipo de funcionamiento	Híbrido
05	Tamaño de ruedas que admite	24"
07	Sistema antivuelco	Opcional
11	Peso de la batería	2.8 kg
14	Peso total	16.8 kg
15	Peso máximo soportado del usuario	113.5 kg
16	Comentarios	Costo: \$US 6295.00 <u>Ventajas:</u> Disminuye el esfuerzo físico que el usuario requiere para impulsar su silla <u>Desventajas:</u> Se adapta únicamente a ciertos modelos de Sunrise Medical. No elimina el esfuerzo físico. No asegura independencia.
17	Países de distribución	E.U.A., Canadá, México, El Caribe, Europa Occidental y Australia

11) Samson Power Drive (PD6)

1	Fabricante	Tzora Active Systems
2	Tipo de dispositivo	Asistente para acompañante en pendientes
3	Modificación para ensamble/funcionamiento	Instalación de sujetadores fijos
4	Tipo de funcionamiento	Manual / Eléctrico
5	Tamaño de ruedas que admite	Cualquiera
6	Sistema antivuelco	No necesario
7	Autonomía	10 – 15 km
8	Peso de la batería	6 – 8 kg
9	Peso total	17 – 20 kg
10	Peso máximo soportado del usuario	115 kg
11	Velocidad de traslado	6.4 k/h
12	Comentarios	<u>Ventajas:</u> Disminuye el esfuerzo físico del acompañante. Se adapta a cualquier silla manual. <u>Desventajas:</u> No elimina el esfuerzo físico. No asegura independencia.
13	Países de distribución	E.U.A., Canadá, Sudáfrica, Australia, Asia y Europa.

Como se puede apreciar, la oferta de dispositivos adaptables a sillas de ruedas manuales es grande. Por lo tanto, es fundamental determinar los elementos de diferenciación que permitirán que el dispositivo que se propone en esta tesis sea novedoso y atractivo.

2.4.3 Tabla de elementos diferenciadores

En la siguiente tabla se ponen en evidencia las fortalezas del dispositivo que se propone con respecto a los productos evaluados en el benchmarking.

Modelo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Disp.Tesis
Enfocado en la persona discapacitada	X	X		X		X		X		X		X
Elimina esfuerzo físico	X			X					X			X
Ofrece independencia total	X			X								X
Adaptable sin sujetadores fijos												X
No requiere cambio de llantas			X	X	X		X		X		X	X
Rápido de instalar			X	X	X		X		X		X	X
Se coloca dentro del espacio de la silla	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Se adapta a gran variedad de sillas	X	X	X	X				X			X	X

Tabla diferenciadora del producto propuesto contra los productos disponibles en el mercado

El objetivo de diseño es que el dispositivo que se plantea cubra satisfactoriamente todos los criterios de esta tabla. En particular, un elemento diferenciador elemental será la parte mecánica que permita adaptar el dispositivo en cuestión de segundos, sin requerir ningún tipo de sujetador fijo. Esta sería una característica que sólo el producto que se plantea en esta tesis tendría.

Decisión
Realizar el diseño de detalle de la parte mecánica que haga posible adaptar el dispositivo a una silla “estándar” sin necesidad de instalar sujetadores fijos ni dañar la pintura o la forma del armazón de la silla.

Establecimiento de valores marginales

También, gracias a la comparación de los productos existentes, se pueden establecer valores marginales de diseño en los siguientes aspectos:

Peso total del dispositivo	Max. 20 kg
Velocidad de traslado	Aprox. 7 k/h
Peso máximo soportado del usuario	Máx. 120 kg

Tabla 2.7: Valores marginales

2.5 CONCLUSIONES

Considerando ahora todo el marco teórico y los productos competidores, el concepto del producto puede plantearse nuevamente y expresarse más claramente de la siguiente manera:

El producto es un dispositivo adaptable que permite transformar temporalmente una silla de ruedas manual estándar en una silla de ruedas eléctrica. Es pequeño, ligero, robusto y de bajo costo. Tiene como finalidad facilitar a las personas con discapacidad motriz, de la tercera edad y pacientes en recuperación una ayuda técnica que les permita realizar recorridos largos, en interiores o exteriores, de manera independiente y sin realizar esfuerzo físico. Su montaje es rápido, sencillo y no implica absolutamente ninguna alteración física de la silla. Es portable y requiere poco espacio de almacenamiento.
--

El dispositivo debe cumplir con las siguientes intenciones de diseño:

- Permitir cambio de modo manual a modo eléctrico, sin desmontar dispositivo
- Facilidad de montaje
- Facilidad para ser montado y desmontado con el usuario sentado en la silla
 - Sería ideal que el usuario pudiera hacerlo por sí mismo
- Enfocado a usuarios de sillas de ruedas que requieren ocasionalmente asistencia para largas distancias, terreno complicado y días cansados (Gaal and Johnson)
- Diseño simple y robusto
- Precio sugerido: menor a US\$1000
- Prevención de errores en la interacción hombre-máquina

CAPÍTULO 3:

CONFIGURACIÓN GENERAL Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

La elección de la configuración general del dispositivo es un paso previo indispensable al diseño de detalle. La configuración muestra gráficamente la disposición de los principales componentes del dispositivo, así como una aproximación de la forma en que se colocarán e interactuarán entre sí y con respecto a la silla de ruedas. Es deseable generar varias propuestas de configuración, analizarlas y seleccionar la mejor.

En este capítulo se consideraron diversas fuentes de generación de ideas y se hicieron algunas propuestas de configuración. Posteriormente se determinaron las especificaciones técnicas de los componentes a partir de los requerimientos del producto. Finalmente, se seleccionaron componentes comerciales reales para la aplicación que se está desarrollando.

3.1 DISEÑO

El diseño es una actividad creativa que tiene como finalidad resolver un problema específico del que no se tienen antecedentes, o bien, para el que se busca una solución diferente e innovadora. El diseño requiere habilidades de inventiva que permitan plantear una amplia gama de alternativas de solución, así como sus posibles combinaciones. También se involucran habilidades de toma de decisión que garanticen la selección de la propuesta óptima.

Objetivo

Diseñar el chasis, los soportes y las sujeciones que harán posible el correcto desempeño de la sub-función *Adaptar dispositivo*. Esta sub-función tiene como entradas una silla de ruedas estándar y un dispositivo PAU independientes; mientras que la salida es una silla de ruedas con un dispositivo PAU integrado, de tal forma que ambos forman una sola entidad.



Fig. 3.1: Sub-función *Adaptar dispositivo*

Esta sub-función es fundamental para el correcto funcionamiento de la función central del *dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual* ya que un montaje adecuado asegura la transmisión del movimiento del dispositivo PAU hacia la silla, según las indicaciones que el controlador reciba del usuario.

3.2 FUENTES DE GENERACIÓN DE IDEAS

La creatividad es la esencia del diseño. Existen técnicas para motivarla y generar ideas que puedan considerarse como alternativas de solución del problema dado, dentro de las que se pueden destacar:

- ❖ Trabajo en equipo
Se estimula la generación de ideas gracias a la interacción de personas con formas de pensar y conocimientos variados, a través de metodologías como analogías, lluvias de ideas, cartas morfológicas (método de generación de alternativas que se basa en la combinación de soluciones a las sub-funciones del producto para obtener una gran cantidad de opciones) o TRIZ (Teoría de solución de problemas inventivos).
- ❖ Búsqueda externa
Estrategia de búsqueda de soluciones similares en contextos diferentes, de soluciones basadas en deseos y de soluciones previamente estudiadas por medio de entrevistas con usuarios finales, consulta con expertos, revisión de literatura publicada y la evaluación comparativa.
- ❖ Búsqueda interna
Extracción de ideas del pensamiento del diseñador. Se basa en la experiencia del mismo y en los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de búsqueda de información que ahora le pertenecen.

Para la generación de alternativas de la sub-función *Adaptar dispositivo* se eligió una combinación de técnicas de creatividad que permitiera aprovechar las ventajas de cada una de ellas. En primer lugar, la evaluación comparativa del capítulo anterior tuvo dos propósitos: conocer a los competidores y adquirir conocimiento. Dicho conocimiento es invaluable ya que es difícil cuantificar qué tanto influye en los procesos posteriores de creatividad. Sin embargo durante la evaluación comparativa se estudiaron las soluciones mecánicas que cada uno de los productos del mercado utiliza para ser adaptado a una silla de ruedas. Por una parte, se buscó aprovechar la experiencia de otros fabricantes para evitar cometer errores que ya hayan sido experimentados; y por otra parte, se observó qué ideas podían ser útiles para el presente diseño. En segundo lugar, se realizó una búsqueda de literatura publicada con el fin de complementar las fuentes de información. Después se hizo una lluvia de ideas y cartas morfológicas, como parte del proceso interno de diseño.

Literatura publicada: dispositivo diseñado en Virginia Tech Institute

La tesis *Design and Testing of a Quick-Connect Wheelchair Power Add-On Unit*, que presentó Laura L. Clark en 1997 para obtener el grado de *Ph.D. in Industrial and Systems Engineering*, por Virginia Polytechnic Institute presenta estudios, entrevistas y recomendaciones de diseño que fueron tomados en cuenta a lo largo del proceso.

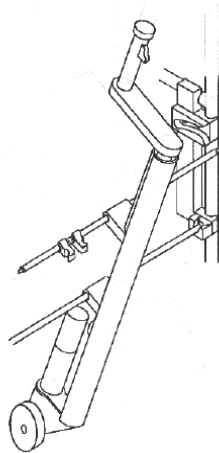


Figure A-1. Attachment of securing crossbars to wheelchair frame.

Fig. 3.2: Método de ensamble propuesto por Virginia Tech Institute

El armazón para acoplar el PAU de Virginia Tech Institute a una silla está compuesto por dos barras horizontales conectadas al soporte vertical de la silla por medio de bloques de seguridad localizados bajo el borde delantero del asiento. En los extremos de cada barra horizontal hay barras de diámetro menor con un resorte que les permiten deslizarse linealmente hacia adentro y hacia afuera con respecto a las barras externas, de tal forma que se pueden insertar en las perforaciones localizadas en los bloques de seguridad. Las barras menores se pueden retraer por medio de sujetadores para los dedos localizados sobre las barras. Los cuatro puntos de sujeción proveen un armazón sólido que no es propenso a rotaciones, como sucedería si solo hubiera una barra horizontal. Las barras no están conectadas entre sí para poder ser posicionadas como se necesite en diferentes sillas de ruedas.

Nota: Este dispositivo no se incluyó en la evaluación comparativa ya que no cumple con las características que permitan calificarlo como producto y nunca ha estado disponible en el mercado.

Dimensiones estándar

Uno de los principales problemas de diseño de un dispositivo adaptable es saber si efectivamente existe un tamaño estándar de silla de ruedas.

La Organización de las Naciones Unidas dio a conocer que las dimensiones de una silla de ruedas convencional son las que se muestran en la Figura 3.3. Las dimensiones que están dentro de un círculo, corresponden a sillas de ruedas eléctricas.

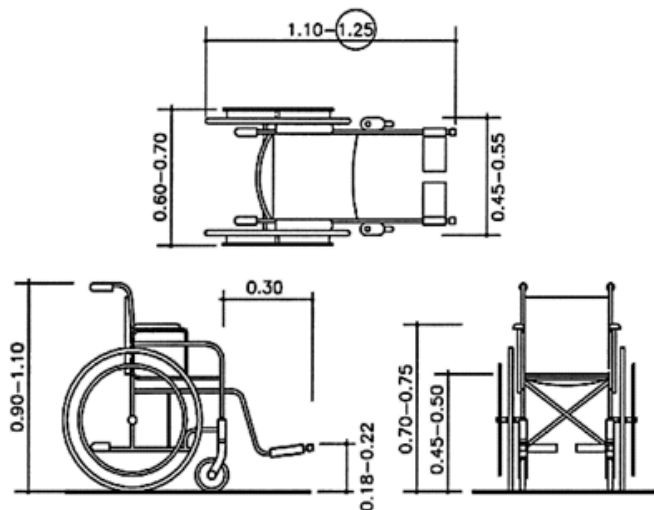


Fig. 3.3: Rango de dimensiones estándar de sillas de ruedas

Por su parte, Clark establece que una silla de ruedas estándar es aquella que tiene llantas traseras de 24 in, llantas delanteras de 8 in y una longitud total de 31 in sin tomar en cuenta el reposapiés, asegurando que “el manual general de diseño de las sillas de ruedas no ha sido alterado desde 1986”. Considera que tanto las dimensiones del asiento como la altura del suelo al asiento “definen el espacio disponible para un dispositivo PAU”. La tabla siguiente muestra las dimensiones proporcionadas por fabricantes importantes de sillas de ruedas.

Altura del asiento		Ancho		Profundidad		Designación
In	cm	In	cm	in	Cm	
19.5	50	10	25.4	8	20.3	Preescolar, infantil
19.5	50	12	30.5	10 – 11.5	25.4 – 29.2	Niño, alto
16.5	42	12	30.5	10 – 11.5	25.4 – 29.2	Niño, bajo
21	53.3	14 – 14.5	35.5 – 36.8	11.5	29.2	Silla de crecimiento
17.5 – 20.5	44.5 – 52	14 – 16	35.5 – 40.6	11 – 13	28 – 33	Silla de crecimiento
18.5	47	16	40.6	14	35.5	Junior
19.5	50	16 – 16.5	40.6 – 42	16 – 17	40.6 – 43.2	Adulto delgado
19.5 – 20.5	50 – 52	18	45.7	16	40.6	Adulto
19.5 – 20.5	50 – 52	18	45.7	17	43.2	Adulto alto
19.5 – 20.5	50 – 52	20 – 22	50.8 – 55.9	16	40.6	Adulto amplio

Tabla 3.1: Tamaños de sillas disponibles de fabricantes importantes (Prescription Guide, McFarland and Wilson, 1986)

“El espacio bajo el asiento de la silla donde se colocará el aparato está restringido por la posición de la barra de plegado en forma de cruz, los reposapiés y la rotación de las ruedas delanteras. La barra en cruz se encuentra localizada a la mitad del camino de los miembros que sujetan a las ruedas”. Sabiendo esto se puede decir que para conocer la porción del asiento atrás o delante de la barra de plegado, de manera general, basta con dividir por dos la profundidad del asiento.

Básicamente existen dos tipos de armazón de sillas de ruedas plegables. Se clasifican de acuerdo al tipo de soporte de las ruedas delanteras. Sin embargo esto no afecta mayormente al diseño ya que el dispositivo se adaptaría en la parte trasera de la silla. Ambos tipos de armazón tienen en común la presencia de pedestales, como se puede observar en la figura.

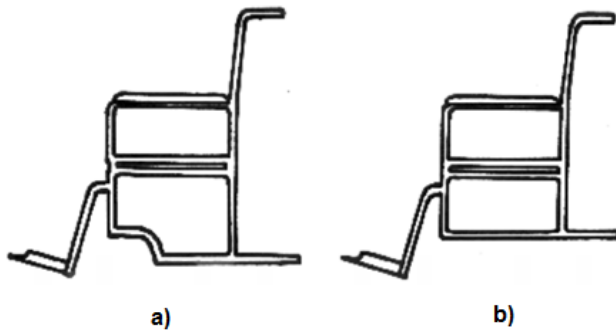


Fig. 3.4: Formas de marco de sillas de ruedas

La única diferencia que hay que tomar en cuenta para el diseño es que la configuración *b* está a mayor altura respecto al suelo que la configuración *a*.

Estudio de verificación de dimensiones de sillas estándar en México

Este trabajo de diseño parte de la hipótesis de que existe un modelo y dimensiones estándar de sillas de ruedas, independientemente del fabricante. Sin embargo, se consideró necesario realizar un estudio local de mercado que permitiera:

- 1) Verificar la validez de la hipótesis de la existencia de una silla de ruedas estándar.
- 2) Comparar los resultados con las dimensiones mostradas en la tabla ____.
- 3) Hacer un levantamiento de datos que fueran útiles para el diseño y que no hubieran sido encontrados hasta el momento en ninguna otra fuente de información. Se buscó determinar

las dimensiones que deben ser variables en el PAU, así como el rango de valores que se debe cubrir para asegurar el mayor grado de *adaptabilidad* posible del dispositivo.

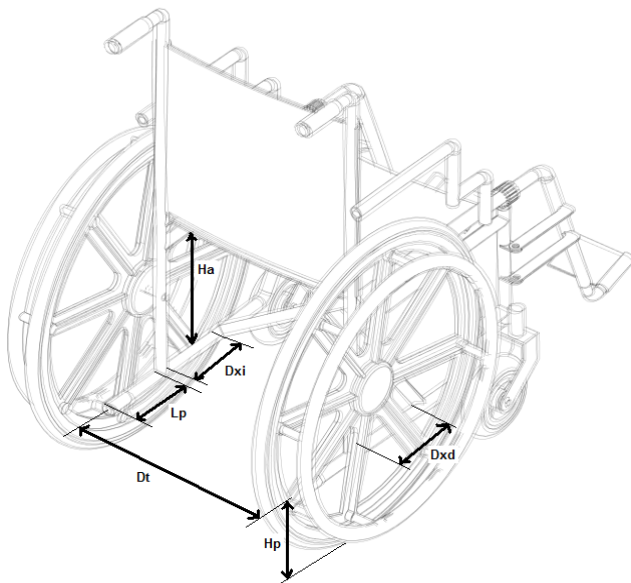


Fig. 3.5: Nomenclatura de medidas tomadas

En el estudio se hizo un levantamiento de las siguientes medidas:

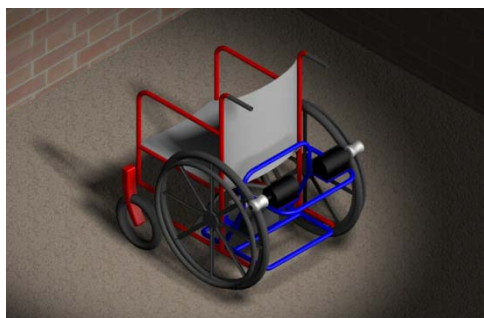
- Φe Diámetro externo del tubo
- Φi Diámetro interno del tubo
- Dt Distancia entre tubos
- Hp Altura del pedestal respecto al suelo
- Lp Longitud del pedestal
- Ha Altura del asiento respecto al pedestal
- Dxd Distancia entre el tubo vertical y el tubo derecho de la cruz
- Dxi Distancia entre el tubo vertical y el tubo izquierdo de la cruz
- ΦRt Diámetro de la rueda trasera
- ΦRd Diámetro de la rueda delantera

*El levantamiento de datos se hizo en una tabla con formato horizontal, por lo que no aparece dentro de este documento.

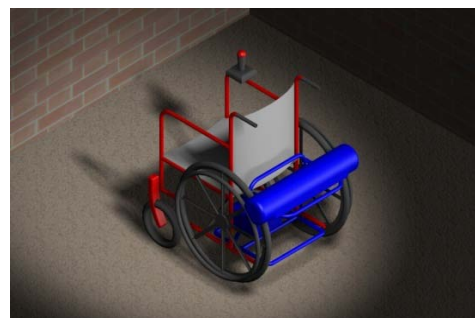
3.3 CONFIGURACIÓN

La configuración es la “disposición de las partes que componen una cosa y le dan su peculiar forma y propiedades”. Representa una de las primeras etapas del diseño ya que en ella se plantean y evalúan las alternativas que permiten solucionar al mismo problema. De la configuración seleccionada dependen el número de componentes, la organización entre ellos y el diseño de detalle. Las configuraciones propuestas se hicieron por medio de modelos virtuales realizados en Solid Edge con el fin de mostrar la forma y las dimensiones aproximadas respecto a una silla de ruedas.

Configuración 1



a) Sin tolva



b) Con tolva

Fig. 3.6 Configuración 1

El primer modelo corresponde al prototipo alfa descrito en el capítulo 1 y que sirvió como punto de partida. La configuración del dispositivo consiste en un chasis tubular de una sola pieza sobre el que se montan las baterías y dos motores. Cada motor tiene acoplado a su salida un rodillo que se encuentra en contacto con una llanta trasera. La transmisión de movimiento se lleva a cabo por fricción entre los rodillos y las llantas traseras.

Configuración 2

Descripción

Dispositivo con encapsulamiento de componentes en un chasis integral: las llantas y los motores se encuentran a la altura de la caja de la batería.

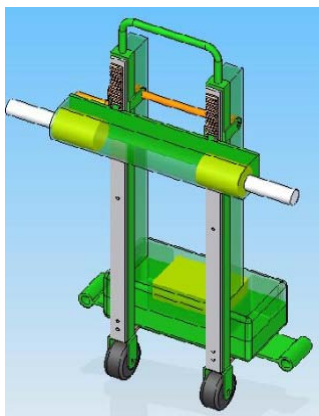
Ventajas

- ✓ El peso del dispositivo recae en las llantas del mismo por lo que el riesgo de dañar la silla de ruedas es mínimo
- ✓ El acoplamiento de motores a llantas puede ser directo: menor número de componentes y menor costo

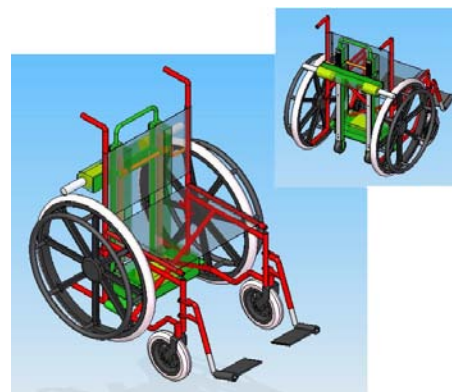
Desventajas

- No se adapta a diferentes tipos de sillas de ruedas
- El dispositivo está muy cerca del suelo: podría haber problemas de evasión de obstáculos y en pendientes

Configuración 3



a) Dispositivo



b) Sistema silla-dispositivo

Fig. 3.7 Configuración 3

Descripción

Dispositivo con tracción trasera que actúa sobre las llantas. Está compuesto por:

- Una estructura tubular vertical rígida que facilita el montaje, ya que no es necesario que la persona que lo coloque se tenga que agachar.
- Una caja porta-batería con tapa para facilitar el cambio de la batería.
- Dos aletas, ubicadas de cada lado de la caja, que permiten sujetarla del tubo horizontal inferior de la silla.
- Dos motores en posición horizontal.
- Dos rodillos, que transmiten directamente el movimiento rotatorio de los motores hacia las llantas. La reducción de la velocidad de salida del motor se logra calculando adecuadamente el diámetro de los rodillos.

- Una tolva de protección sobre los motores y rodillos.
- Un sistema piñón-cremallera que permite variar la altura de los motores para permitir adaptación a diferentes diámetros de ruedas traseras.
- Un sistema piñón-cremallera que permite variar la altura de la caja porta-batería.
- Dos posibles llantas de soporte durante el montaje.

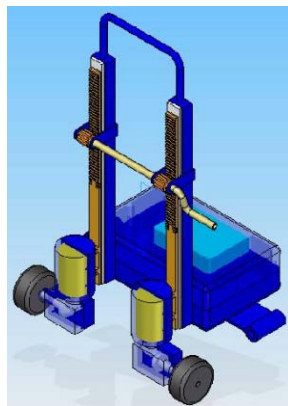
Ventajas

- ✓ Diseño modular
- ✓ Permite salvar pendientes y obstáculos menores
- ✓ Mayor adaptabilidad en tres direcciones:
 - Altura de la caja porta-batería
 - Ancho de la silla
 - Altura de la tolva (motores y poleas)

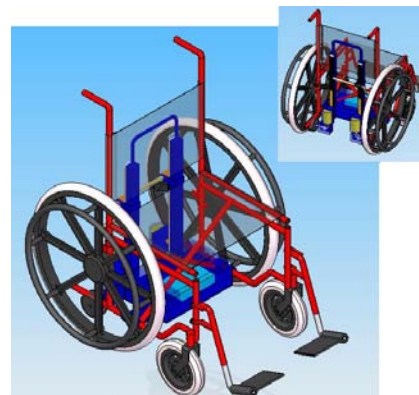
Desventajas

- Mayor número de componentes
- Mayor costo
- Dificultad de ensamble

Configuración 4



a) Dispositivo



b) Sistema silla-dispositivo

Fig. 3.8 Configuración 4

Descripción

Dispositivo con tracción trasera que actúa sobre el suelo. Está compuesto por:

- Una estructura tubular vertical rígida que facilita el montaje, ya que no es necesario que la persona que lo coloque se tenga que agachar.
- Una caja porta-batería con tapa para facilitar el cambio de la batería.
- Dos aletas, ubicadas de cada lado de la caja, que permiten sujetarla del tubo horizontal inferior de la silla.
- Dos motores en posición vertical para permitir la dirección de la silla.
- Dos llantas, en contacto directo con el suelo, para permitir una tracción trasera.
- Dos engranajes para transmitir el movimiento giratorio de los motores hacia las llantas, reduciendo la velocidad y aumentando el torque.

- Un sistema piñón-cremallera que permite variar la altura de los motores para que hacer adaptable al dispositivo.

Ventajas

- ✓ Diseño modular
- ✓ Permite salvar pendientes y obstáculos menores
- ✓ Mayor adaptabilidad en dos direcciones:
 - Altura de la caja porta-batería
 - Ancho de la silla

Posibles desventajas

- Mayor número de piezas
- Costo
- Dificultad de ensamble
- Dificultad para conseguir piezas

Histórico de configuraciones de PAU's

Una investigación dirigida por la Oficina Legal Whitman&McGinn reveló que desde 1950 se han otorgado patentes a inventos que convierten una silla de ruedas manual en una silla de ruedas eléctrica.

Todos los inventos usan alguno de los tres métodos para transmitir energía. El primer tipo de transmisión aplica torque directamente a los ejes de las ruedas. Debido a su naturaleza estos sistemas están permanentemente asegurados a la silla. El segundo tipo de sistema aplica un rodillo de fricción a las llantas traseras. El rodillo hace girar la rueda cuando se le aplica fuerza. Dado que se requiere un rodillo para cada llanta, también son necesarios dos motores (esto es más complicado pero permite el uso de controladores tipo joystick). Este tipo de sistemas generalmente se colocan atrás del asiento, sobre las llantas traseras. En este método la superficie de contacto rodillo/llanta está en una posición peligrosa donde los dedos, ropa, etc. pueden atorarse. Este tipo de sistema de fricción fue evaluado por Gaal y Johnson (1993) y se encontró que su desempeño era bajo en condiciones húmedas. Por último, la mayoría de los dispositivos han implementado una o dos llantas de dirección para transmitir energía a la silla. Se aplica torque a la llanta adicional, que está en contacto con el suelo, mientras se encuentra asegurado al armazón de la silla.

Los diseños mostrados en los modelos virtuales fueron realizados antes del conocimiento de la información mostrada en éste último párrafo. Resulta favorable verificar que el razonamiento seguido en el planteamiento de las configuraciones es congruente con el desarrollo histórico ya que, en cierta forma, se muestra que los razonamientos son lógicos.

3.4 ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN

En esta etapa de selección del modelo fue fundamental tomar en cuenta la opinión de los usuarios finales. En entrevista con especialistas, la Dra. Vianeyd Rodríguez enfatizó que varios pacientes han

manifestado deseos de contar con dispositivos que los protejan de la lluvia ya que para ellos puede ser necesario salir a la calle en cualquier momento, independientemente de las condiciones climáticas. Por lo tanto se infiere que el dispositivo PAU también debe funcionar adecuadamente bajo condiciones de humedad para satisfacer las demandas de los usuarios.

Dadas las cuatro configuraciones y considerando las recomendaciones de especialistas y el aprendizaje del diseño histórico de PAU, se eliminaron tres modelos que se enumeran enseguida, junto con las razones por las cuales no fueron elegidos:

Modelo	Decisión	Razones
1	Mejorar concepto	Este es el modelo inicial. Fue el punto de partida del trabajo. Permitted detectar los errores más graves y en función de eso se re-trabajó la idea en aras de mejora.
2	Eliminar concepto	Su adaptabilidad es limitada. No se puede acoplar con varios tipos de sillas de ruedas.
3	Eliminar concepto	Este modelo era un fuerte candidato para ser elegido, sin embargo presentaba algunas desventajas frente al modelo 4: <ul style="list-style-type: none"> • Requieren dos movimiento adicionales de adaptabilidad: uno para ajustar la altura de la tolva y otro para ajustar la posición horizontal de los motores y rodillos de acuerdo a los diferentes anchos de silla • Requiere mayor número de piezas • Mayor costo • Ensamble más complejo • Requiere llantas adicionales que eviten que sea necesario cargar el dispositivo para acoplarlo, pero estas llantas no tienen uso posterior y solo contribuyen con peso innecesario • Bajo desempeño del sistema de fricción en condiciones de humedad

Tabla 3.2: Fundamentos de elección de la configuración

Finalmente, se eligió tomar el modelo 4 como base para continuar el trabajo ya que:

- ✓ Es el modelo con mayor adaptabilidad
 - Su adaptabilidad es independiente del tipo de armazón de la silla de ruedas
- ✓ La transmisión por medio de llantas auxiliares que actúan directamente sobre el suelo
 - No se ve afectada gravemente en condiciones de humedad
 - Ha sido un método exitoso, probado por diversos fabricantes

3.5 ELECCIÓN DE COMPONENTES

Es importante determinar los componentes físicos que integrarán al dispositivo porque en función de sus dimensiones se asegurará que el arreglo geométrico de los mismos se adecue al espacio inferior del asiento. Además el peso del conjunto de componentes influye directamente en el peso total del dispositivo, que debe ser el menor posible de acuerdo a las especificaciones planteadas previamente. En un vehículo eléctrico, se identifican tres componentes básicos:

- 1) Motor(es)
- 2) Batería(s)
- 3) Llanta(s)

Se eligieron componentes de proveedores reales, tomando en cuenta únicamente las características técnicas y omitiendo la facilidad de obtenerlos y los costos. A continuación se detalla el procedimiento seguido para la elección de componentes.

3.5.1 Llantas

Debido a que el dispositivo estará directamente en contacto con el suelo es conveniente contar con un sistema amortiguador. Se considerará que para minimizar los efectos ocasionados por imperfecciones del suelo u obstáculos pequeños basta con emplear llantas neumáticas. De esta manera se reduce el número de componentes.



Fig. 3.9 Llanta comercial seleccionada

Código	Tipo	Tamaño	Color	Material	Proveedor
WM1110	6 in	6 x 1.25	Gris	Nylon	Better Life Healthcare, Mando International Corp

Esta llanta tiene rines de aluminio

3.5.2 Cálculos para selección del motor

Un motor es una máquina que transforma un tipo de energía en energía mecánica capaz de realizar un trabajo: el motor eléctrico transforma energía eléctrica en energía mecánica.

El funcionamiento de los motores eléctricos se basa en los principios del electromagnetismo:

❖ Principio de inducción electromagnética

A partir de una corriente eléctrica se induce un campo magnético, o bien, se induce una corriente eléctrica a partir de un campo magnético variable respecto al tiempo.

❖ Principio de conversión de la energía

Si un conductor es atravesado por una corriente eléctrica y se halla en el campo de un imán o de un electroimán, es sometido a una acción mecánica que tiende a moverlo, y lo mueve si goza de libertad de movimiento.

Inversamente, si un conductor es desplazado al interior de un campo magnético, experimenta el fenómeno de la inducción, es decir que se genera una fem¹. Al mover el conductor, se transforma energía mecánica en energía eléctrica.

El motor eléctrico consta de dos partes esenciales: el electroimán, llamado inductor o estator, y el circuito eléctrico, que puede girar en torno a un eje, también llamado inducido o rotor.

Los motores eléctricos tienen muchas aplicaciones y se pueden clasificar, por el tipo de corriente que reciben, en motores de corriente alterna (CA) y motores de corriente directa (CD). Para impulsar una silla de ruedas es necesario que la fuente de poder pueda transportarse a cualquier

¹ Fuerza electromotriz

lugar. Dicha característica es propia de las baterías, que proporcionan CD. Por lo tanto el motor para la silla de ruedas debe ser de CD.

Decisión:
Emplear un motor eléctrico, de corriente directa e imán permanente
Razones:
Tiene dimensiones reducidas, bajo peso, bajo costo y no emite gases contaminantes.

Para cada aplicación el motor debe cumplir con prestaciones² determinadas. La única forma de asegurar esto, es determinar los principales criterios de selección de un motor:

- Voltaje
- Potencia
- Torque
- Velocidad de salida
- Dimensiones
- Peso
- Vida útil
- Costo

Procedimiento para determinar las características del motor

Las características técnicas del motor dependen principalmente de las condiciones más severas que debe superar la silla de ruedas durante el recorrido:

- El valor de la pendiente más pronunciada por la que transitará
- El peso máximo de la carga a transportar

Considerando esas condiciones es posible determinar la potencia y el torque que el motor debe proporcionar para que el vehículo circule a una velocidad promedio de 4km/h, como se explica a continuación.

Cálculo de la potencia

Resistencias³

Las resistencias que se opondrán al avance del vehículo y que pueden o no coexistir al mismo tiempo son:

- a. Resistencia por rodadura R_r
- b. Resistencia por pendiente R_p
- c. Resistencia por inercia R_j
- d. Resistencia por el aire R_a

La suma de las resistencias simultáneas debe ser vencida por una fuerza F .

$$F = R_r + R_p + R_j + R_a$$

La potencia en la rueda motriz W_r depende directamente de la fuerza F y de la velocidad a la que la silla debe ser capaz de subir una pendiente:

$$W_r = F \cdot V$$

² Exigencias

³ Manuel Cascajosa. "Ingeniería de vehículos"

W_r es inferior a la potencia que proporciona el motor en ese momento (W_m) debido a las pérdidas por rozamientos e inercias en la transmisión, W_t :

$$W_r = W_m - W_t$$

a. *Resistencia a la rodadura R_r*

La resistencia a la rodadura R_r es la fuerza que debe ser superada por el usuario para mantener la silla en movimiento a velocidad constante. Esta resistencia depende del coeficiente de fricción de las llantas, del peso del sistema silla-usuario y de la deformación del neumático⁴. Esto quiere decir que R_r se ve afectada por el material, la forma, la huella y la presión del neumático, la rugosidad del suelo, la distribución del peso, el alineamiento de las llantas, la resistencia del viento, las fuerzas de aceleración, la pendiente y las vibraciones en las llantas delanteras.

Se sabe que la resistencia a la rodadura es inversamente proporcional al radio de la rueda, así que es menor para las llantas traseras que para las llantas delanteras. La resistencia a la rodadura total de la silla se reduce mientras más peso recaiga sobre las llantas traseras.

Determinar la resistencia a la rodadura es un procedimiento muy complejo. Los fabricantes de neumáticos para autos proporcionan su valor. Sin embargo, ese no es el caso para las ruedas de sillas de ruedas, por lo que algunos investigadores se han dado a la tarea de obtenerlo experimentalmente.

El Centro de Rehabilitación, la Corporación de Sistemas de Movilidad Avanzados y la Universidad de Ottawa de Ontario, Canadá trabajaron en conjunto para obtener la resistencia a la rodadura de neumáticos para silla de ruedas bajo las siguientes consideraciones:

- El sistema silla-usuario se considera un cuerpo rígido
- El sistema silla-usuario se desplaza a una velocidad constante, aproximadamente igual a la velocidad de propulsión de un paciente en silla de ruedas (2-4km/h)
- El sistema silla-usuario se desplaza sobre una superficie plana de concreto
- La fricción en el eje de la rueda es despreciable
- Los neumáticos están inflados siguiendo las especificaciones del fabricante

La gráfica de la figura 3.10 muestra los resultados teóricos (calculados) y experimentales (medidos) de la resistencia a la rodadura del conjunto formado por una llanta trasera más una llanta delantera.

⁴ Cuando un neumático rueda, emplea energía para comprimirse en el punto de contacto con el suelo: parte de esta energía se recupera cuando el neumático regresa a su tamaño normal después de pasar dicho punto, pero debido a la histéresis inelástica, otra parte de la energía se pierde en calentamiento por fricción del material.

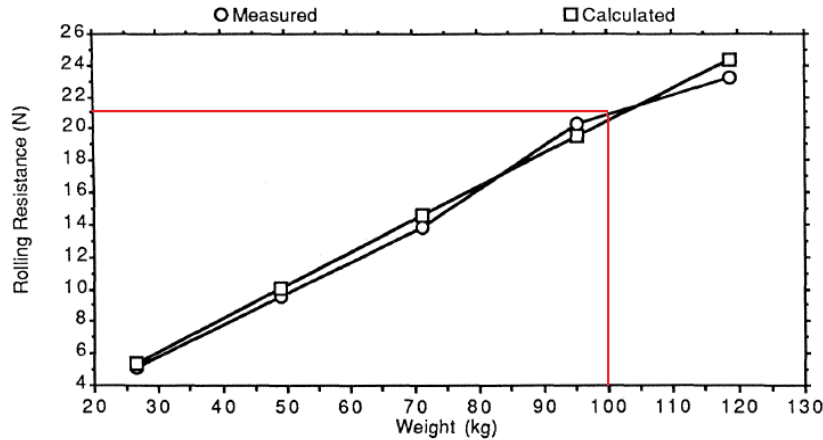


Fig. 3.10 Valores de la resistencia a la rodadura medida y calculada para una silla de ruedas con usuario en posición estándar

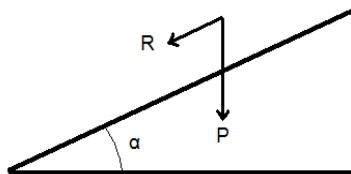
Se tienen información de la resistencia a la rodadura para cada llanta en un caso específico, señalado en la gráfica por medio de líneas rojas:

Peso del sistema silla-usuario (kg)	Resistencia a la rodadura (N)		
	Rueda trasera	Rueda delantera	Total (4 ruedas)
100	14.77	6.83	42.20

Tabla 3.3: Resistencia a la rodadura para sistema silla-usuario de 100kg

Además, otras investigaciones han demostrado que la resistencia a la rodadura es más alta en las ruedas sólidas que en las ruedas neumáticas. En las ruedas sólidas grises, la resistencia por rodadura es particularmente alta debido a que son fabricadas usando caucho con alto contenido de arcilla para mejorar sus propiedades de resistencia pero ocasionando dificultades de unión entre la arcilla y el caucho, lo que tiene como consecuencia alta histéresis. Las ruedas neumáticas y de poliuretano presentan baja resistencia por rodadura ya que son inherentemente elásticas, con baja histéresis.

b. Resistencia por pendiente R_p



Es la resistencia que se opone al avance del vehículo cuando éste sube una pendiente.

$$R_p = P \cdot \text{sen} \alpha$$

Cuando los ángulos de las pendientes son pequeños, el seno y la tangente son similares, por lo que:

$$R_p = P \cdot \text{tan} \alpha$$

Comúnmente, la pendiente se expresa: X metros de subida vertical por cada 100 metros de recorrido horizontal.

$$R_p = P \cdot \frac{X}{100}$$

c. Resistencia por inercia R_i

Es originada por un incremento en la velocidad.

Como la velocidad a la que se desplazará la silla de ruedas será de 4km/h, se

despreciará esta resistencia, de tal forma que: $R_j = 0 \text{ N}$

d. *Resistencia del aire* R_a

Es la resistencia que opone el aire al avance del vehículo. Experimentos realizados en un túnel de viento en NASA-Langley, mostraron que al desplazarse el sistema silla-usuario a una velocidad de 1m/s (3.6km/h), con un viento soplando en dirección opuesta con una velocidad de 2m/s (7.2km/h), la resistencia del aire es:

$$R_a = 3.9 \text{ N}$$

Cálculo

Para calcular la potencia que el motor debe proporcionar es necesario conocer las resistencias y la masa que el dispositivo debe ser capaz de mover.

La **masa** total estimada del sistema silla-usuario-dispositivo es $M_{\text{sistema}}=125\text{kg}$. Esta masa se conformó a partir de los valores descritos en la tabla

Descripción	Masa (kg)
Usuario	90
Silla	15
Dispositivo (chasis, baterías, motores)	20
Sistema	125

Tabla 3.4: Masa total del sistema

El valor estimado de las masas tomó como punto de partida que las sillas comerciales estándar están diseñadas para soportar una masa máxima de 110kg. Después, suponiendo que la masa máxima del dispositivo PAU sea de 20kg, la masa máxima del usuario sería:

$$M_{\text{usuario}} = M_{\text{max_soportada}} - M_{\text{asa dispositivo}} = 110 - 20 = 90 \text{ kg}$$

La **resistencia a la rodadura** no puede obtenerse directamente de la **fig. ____** ya que los valores se muestran únicamente para cuando el sistema silla-usuario tiene una masa comprendida entre 27 y 118kg. Sin embargo se puede extrapolar la recta y encontrar la resistencia R_r para una masa de 125kg.

Tomando la lectura de la masa y la resistencia a la rodadura de los puntos inicial y final de la recta, se encuentra la ecuación de la recta de valores calculados:

Masa (kg)	Resistencia R_r (N)
27	5.5
118	24.3

Ecuación de la recta:
 $R_r = 0.2066 m - 7.8022 \times 10^{-2}$

Evalutando $M = 125\text{kg}$:

$$R_r = 0.2066 m - 7.8022 \times 10^{-2}$$
$$R_r = 25.75 \text{ N}$$

El resultado corresponde a la resistencia a la rodadura de una llanta trasera y una delantera. Multiplicando este valor por dos para obtener la resistencia a la rodadura total:

$$R_r = 51.5 \text{ N}$$

La **resistencia por pendiente** está dada por

$$R_p = P \cdot \frac{X}{100}$$

Donde

$$P = (125kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) = 1226.25N$$

X = 10 La Norma Oficial Mexicana NMX-R-050-SCFI-2006 sobre “Accesibilidad de las personas con discapacidad a espacios construidos de servicio al público” establece que la pendiente máxima de las rampas debe ser de 10%.

$$R_p = 122.63N$$

Resistencia por inercia

$$R_j = 0N$$

Resistencia al aire

$$R_a = 3.9N$$

Fuerza: Sumatoria de las resistencias

$$F = R_r + R_p + R_j + R_a = 51.5 + 122.63 + 3.9 = 178.02 N$$

Potencia

Se desea que el sistema silla-usuario suba las rampas a una velocidad $V = 4k/h = 1.11m/s$

$$W_r = F \cdot V = (178.03N)(1.11 m/s)$$

$$W_r = 197.8 W = 0.265 HP$$

Como la potencia se repartirá entre dos motores, cada motor tendrá una potencia de:

$$W_{motor} = W_r / 2 = 197.61 W / 2 = 98.8 W = 1.325 \times 10^{-1} HP$$

$$W_{motor} = 98.8 W = 1.325 \times 10^{-1} HP$$

Cálculo del torque

El torque necesario se calcula a partir de:

$$P = \omega \cdot T \dots\dots\dots ec. 1$$

Velocidad angular ω

La velocidad angular se determina a partir del radio del neumático seleccionado y la velocidad a la que se desea que se desplace la silla

$$V = \omega \cdot r$$

Donde $r = \frac{D}{2} = 3in = 0.0762m$

$$V = 4 \frac{km}{h} = 1.11 \frac{m}{s}$$

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{1.11 \frac{m}{s}}{0.0762m}$$

$$\omega = 14.6 \frac{rad}{s}$$

Torque

Sustituyendo P y ω en la ecuación 1:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{98.8 \text{ W}}{14.58 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 6.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Especificaciones técnicas

En resumen el motor debe cumplir con estas características:

$$\begin{aligned}
 W &= 98.8 \text{ W} = 1.325 \times 10^{-1} \text{ HP} \\
 T &= 6.8 \text{ N} \cdot \text{m} = 60 \text{ lb} \cdot \text{in} = 69 \text{ kg} \cdot \text{cm} \\
 \omega &= 14.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 139 \text{ rpm} \\
 V &= 12 \text{ V} \text{ (deseable)}
 \end{aligned}$$

3.5.3 Motores comerciales

Allied Motion ⁵



Fig. 3.11 Motor de Allied Motion

Motor comercial	Voltaje	Potencia nominal	Relación de reducción	Velocidad nominal	Torque nominal	Corriente nominal	Peso	Longitud	Proveedor
	[V]	[W]	N:1	[rpm]	[Nm]	[A]	[kg]	[mm]	
RA-DTPL-30CR-29.1-00	22.5	96	29.14	108	8.5	12	7.3	327.66	Aumenta costo por baterías, pesado, grande ELIMINAR
RA-DTPL-36DR-24-00	24	201	24	170	11.3	18	8	327.66	Allied Motion Aumenta costo por baterías, pesado, grande ELIMINAR
PL-BFSS-28CR-29-00	24	82	29	130	5.9	6	1.8	Peak current 26	Buenas características técnicas pero necesita batería de mayor capacidad ANALIZAR

Tabla 3.5: Motorreductores eléctricos Allied Motion y sus características

⁵ Proveedor de motores de ángulo recto, específicamente diseñados para sillas de ruedas eléctricas

Proveedor: BISON Gear & Engineering Corp.⁶



Fig. 3.12 Motor de BISON Gear & Engineering Corp.

Número de parte	Voltaje	Potencia nominal	Relación de reducción	Velocidad nominal	Torque nominal	Corriente nominal	Peso	Comentarios
	[V]	[HP]	N:1	[rpm]	[lb.in]	[A]	[lb]	
011-336-2015	130	1/8	15	121	59	1.33	13	Eje 5/8" 377.91 USD Motor con reductor de eje paralelo ⁷ Voltaje de alimentación alto >>>ELIMINAR
011-336-2019	130	1/8	19	94	76	1.33	13	Eje 5/8" 377.91 USD DC Parallel Shaft Gearmotors Voltaje de alimentación alto >>>ELIMINAR
011-336-4011	130	1/4	10.6	170	90	2.51	19.5	Eje 5/8" 404.75 USD DC Parallel Shaft Gearmotors Voltaje de alimentación alto >>>ELIMINAR
011-348-3010	12	1/6	10.6	170	57	13.98	16	Eje 3/4" 427.95 USD DC Parallel Shaft Gearmotors Buenas características técnicas Es necesario seleccionar configuración adecuada para la geometría >>>COMPARAR
011-348-3015	12	1/6	15.0	121	78	13.98	16	Eje 3/4" 427.95 USD DC Parallel Shaft Gearmotors Buenas características técnicas Es necesario seleccionar configuración adecuada para la geometría >>>COMPARAR

Tabla 3.6: Motorreductores eléctricos BISON y sus características



Fig. 3.13 Motor de BISON Gear & Engineering Corp.

⁶ Proveedor de motores y reductores

⁷ El eje de salida de la transmisión de engranes es paralelo al eje de salida del motor

Número de parte	Voltaje	Potencia nominal	Relación de reducción	Velocidad nominal	Torque nominal	Corriente nominal	Peso	Comentarios
	[V]	[HP]	N:1	[rpm]	[lb.in]	[A]	[lb]	
021-756-3430	12	1/8	30	60	60	10.2	11.5	397.80 USD Motor con reductor de ángulo recto ⁸ Velocidad nominal baja >>>ELIMINAR
021-756-3530	12	1/8	30	60	60	10.2	14.5	417.80 USD DC Right Angle Gearmotor Velocidad nominal baja >>>ELIMINAR

Tabla 3.7: Motorreductores eléctricos BISON y sus características

ROTOMAG



Fig. 3.14 Motor de ROTOMAG

Número de parte	Voltaje	Potencia nominal	Relación de reducción	Velocidad nominal	Torque nominal	Corriente nominal	Peso	Longitud	Comentarios
	[V]	[W]	N:1	[rpm]	[kg.cm]	[A]	[kg]	[mm]	
RMG-CT2	12	90	60	45	68	9.4	2.6		Velocidad nominal baja >>>ELIMINAR
RMG-CT2	12	90	60	35	88	9.4	2.6		Velocidad nominal baja >>>ELIMINAR
RMG-K1K	12	40	16	100	121	4.2	1.3	92	IP44 Velocidad nominal un poco baja, torque excedido, pero sigue siendo candidato >>>ANALIZAR
RMG-K2K	12	80	32	70	121	8.5	1.6	130	IP44 Velocidad nominal baja y torque excedido >>>ELIMINAR
RMG-K2K	12	80	32	100	242	8.5	1.6	130	IP44 Buenas características >>>COMPARAR
DHR2	12	180	16	140	44	18.8	5.2	117	IP44 Excede algunas características pero el torque es menor y es pesado (mayor costo) >>>ELIMINAR
DHR2	12	180	16	100	62	18.8	5.2	117	IP44 Buenas características >>>COMPARAR
S2NR	24	180	16	140	64	9.4	6.5	174	Aumenta costo de baterías >>>ANALIZAR
AB2-R	24	150	16	100	73	8.3	6.5	162	Aumenta costo de baterías >>>ANALIZAR

Tabla 3.8: Motorreductores eléctricos BISON y sus características

⁸ El eje de salida de la transmisión de engranes forma un ángulo de 90° con respecto al eje de salida del motor

3.5.4 Selección

Para elegir el motor más conveniente se siguió la siguiente metodología:

- 1) Inicialmente se enlistaron los motores que tenían especificaciones técnicas muy similares a las calculadas en términos de torque y velocidad angular. En la lista se incluyeron también las principales características.
- 2) Se analizaron subjetivamente las ventajas y desventajas de ellos
- 3) En la columna de la derecha se registraron las observaciones hechas, así como la decisión de las acciones que procedían para cada motor. Las tres posibles acciones eran: eliminar, analizar o comparar.
- 4) En una hoja de cálculo se hizo una segunda lista con los motores que tenían un estatus de analizar o comparar.
- 5) Se tomaron en cuenta tres criterios de evaluación: torque, velocidad angular y voltaje de alimentación requerido.

Motor	Torque	Velocidad angular	V
PL-BFSS-28CR-29-00	5.9 Nm	130 rpm	24
011-348-3010	57 lb in	170 rpm	12
011-348-3015	78 lb in	121 rpm	12
RMG-K1K	121 kg cm	100 rpm	12
RMG-K2K	242 kg cm	100 rpm	12
DHR2	62 kg cm	100 rpm	12
S2NR	64 kg cm	140 m	24

Tabla 3.9: Motores con estatus de COMPARAR o ANALIZAR

- 6) Se obtuvo el porcentaje de error de la potencia, el torque y la velocidad angular de cada motor con respecto a las especificaciones técnicas calculadas.
- 7) Además se indicó por medio de un signo (+) si la variación excedía los requerimientos técnicos y con un signo (-) si la variación no los satisfacía.
- 8) En función del porcentaje de error y del signo de variación, para cada criterio de evaluación y para cada motor se asignó una posición relativa con respecto a los demás, donde el número 1 indica el motor que se encuentra más alejado de cumplir con el requerimiento y el número 8 señala aquel que mejor lo cumple o incluso lo excede.
- 9) Se ponderaron los criterios de evaluación según su importancia: al torque se le otorgó una importancia de 40%, mientras que a la velocidad angular y al voltaje de alimentación se les asignó 30% respectivamente.
- 10) Para cada motor se multiplicó el criterio ponderado por la posición obtenida. La suma del resultado anterior para cada criterio, dividido por el número de criterios dio el puntaje total.
- 11) Finalmente se asignó una posición global a los motores, donde la mejor opción es aquel motor que tiene el puntaje total más alto.

Matriz de selección de motor										
Motor	% error T	Pos.	% error ω	Pos.	Voltaje (V)	Punt.	Peso (kg)	Punt.	Puntaje total	Posición global
PL-BFSS-28CR-29-00	13.24	- 3	6.47	- 3	24	0	1.8	8	3.5	3
011-348-3010	5.00	- 6	22.30	+ 5	12	8	7.3	0	4.75	1
011-348-3015	30.00	+ 4	12.95	- 2	12	8	7.3	0	3.5	3
RMG-K1K	75.36	+ 2	28.06	- 1	12	8	1.3	8	4.75	1
RMG-K2K	250.72	+ 1	28.06	- 1	12	8	1.6	8	4.5	2
DHR2	10.14	- 5	28.06	- 1	12	8	5.2	0	3.5	3
S2NR	7.25	+ 7	0.72	+ 4	24	0	6.5	0	2.75	4
AB2-R	5.80	+ 8	28.06	- 1	24	0	6.5	0	2.25	5

Tabla 3.10: Selección de mejor opción evaluando torque, velocidad angular, voltaje y peso.

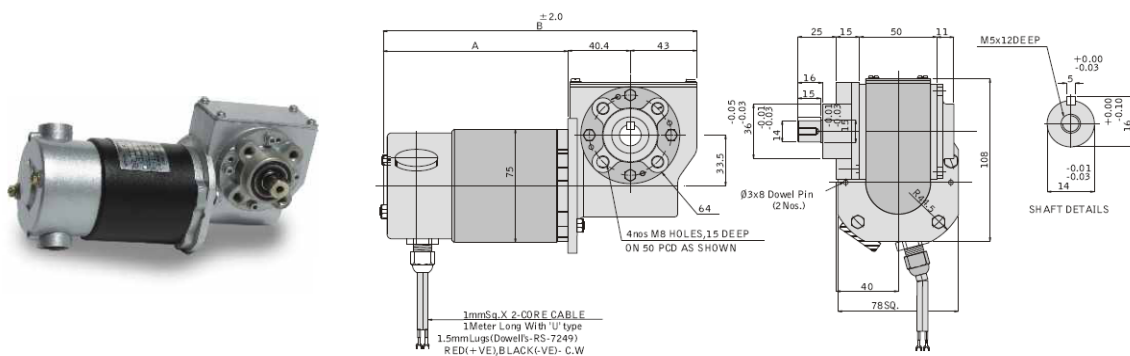
Dando la misma importancia a cada uno de los criterios evaluados, hay dos motores que tienen el mismo puntaje total:

- Motor 011-348-3010 de BISON Gear & Engineering Corp
- Motor RMG-K1K de ROTOMAG

Sin embargo, siendo el peso un factor crítico en el diseño del dispositivo PAU, el único motor que cubre satisfactoriamente los requerimientos es:

Motor RMG-K1K de ROTOMAG

Especificaciones técnicas



SPECIFICATIONS															
HP/ Watts	Frame-size	Volts		Amps		Motor Speed	Gear Ratio	Gear RPM	Torque Kg-cm	Worm Gear	Dimensional Details		Insulation Class	Protection	Weight
		V1	V2	I1	I2						A	B			
0.05/40	K1K	12	24	4.2	2.1	1600	16	100	121	BRONZE	92	175	B	IP-44	1.3

Fig. 3.15 Motor RMG-K1K de ROTOMAG

3.5.5 Cálculo de la relación de transmisión

Este cálculo permite determinar la relación de transmisión idónea que debería tener el sistema de engranes a la salida de un motor de 1600rpm, como el que se seleccionó. El cálculo se realiza para dos velocidades:

- 1) Velocidad baja
Velocidad de traslado de la silla al subir una pendiente de 10%
- 2) Velocidad alta
Velocidad de traslado de la silla en una superficie plana

Las consideraciones comunes para ambos casos son:

- Velocidad de salida del motor: $\omega_{\text{motor}} = 1600 \text{ rpm} = 167.55 \text{ rad/s}$
- Radio de la rueda impulsora: $r = 6 \text{ in} = 0.1524 \text{ m}$
- Radio dinámico de la rueda: $r_d = 0.98r = (0.98)(0.1524\text{m}) = 1.49352 \times 10^{-1} \text{ m}$

El radio dinámico de la rueda es una aproximación del radio real de la llanta en funcionamiento, que resulta de considerar que las llantas sufrirán deformaciones debido al material con que están hechas, la presión del aire y el peso que deben de soportar, entre otros factores.

Relación de transmisión en velocidad baja

Velocidad baja: $V_{\text{baja}} = 4\text{km/h} = 1.11 \text{ m/s}$

$$\omega_{\text{baja}} = \frac{V_{\text{baja}}}{r_d} = \frac{1.11 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.1524\text{m}} = 7.28 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Relación}_{\text{totalBaja}} = \frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{baja}}} = \frac{167.55 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{7.28 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 23.01$$

La relación de transmisión con velocidad baja es 23.01:1

Relación de transmisión en velocidad alta

Velocidad alta: $V_{\text{alta}} = 6\text{km/h} = 1.66 \text{ m/s}$

$$\omega_{\text{alta}} = \frac{V_{\text{alta}}}{r_d} = \frac{1.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.1524\text{m}} = 10.89 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Relación}_{\text{totalAlta}} = \frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{alta}}} = \frac{167.55 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{10.89 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 15.38$$

La relación de transmisión con velocidad alta es 15.38:1

Estas relaciones de transmisión indican son las relaciones de reducción de velocidad que debería proporcionar el tren de engranes para que la velocidad de salida del sea la necesaria para que el sistema silla-dispositivo se traslade a 4 y 6 km/h, respectivamente.

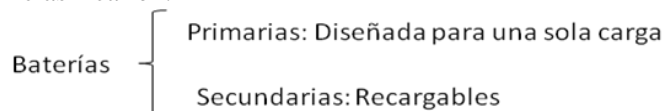
La relación de transmisión del motor RMG-K1K es $n=16$, es decir, que la relación es 4.03% superior a la necesaria para alcanzar la velocidad alta. Por lo tanto, el sistema silla-dispositivo está limitado mecánicamente para alcanzar la velocidad de 6km/h. En cambio, su velocidad máxima sería de 5.76km/h.

3.5.6 Batería

La batería es un dispositivo que almacena energía química y la libera en forma de energía eléctrica al ser conectada con un circuito. Los parámetros principales en una batería son:

- Tensión entre sus terminales (V)
- Capacidad (C): Cantidad de corriente que puede dar en una hora. Se mide en A-h (Amper/hora)

Las baterías se pueden clasificar en:



Inicialmente se consideró emplear una batería de coche o de motocicleta, ya que estas baterías son fáciles de encontrar y tienen un costo relativamente bajo. Sin embargo, considerando que la silla de ruedas necesita características técnicas específicas, como el uso durante períodos largos de tiempo y ciclos de encendido/apagado continuos se necesita una batería de propósito específico.

Principales tipos de baterías recargables		
Plomo – Ácido	Pb-acid	Es la más desarrollada a lo largo de la historia
Níquel – Cadmio	NiCd	Diseñada para aplicaciones de baja potencia
Níquel – Metal – Hídrido	NiMH	
Litio – Ion	Li-ion	Diseñada para aplicaciones de baja potencia
Litio – Polímero	NaS	
Sodio – Sulfuro	Zn-air	Tecnología abandonada
Zinc – Aire		

Tabla 3.11: Principales tipos de baterías recargables

Requerimientos específicos

Por el tipo de aplicación (vehículo eléctrico), conviene seleccionar una batería con las siguientes características:

- Alta aceptación de carga: Capacidad de recargarse varias veces
- De recarga rápida
- De ciclo profundo
- Larga vida operativa: Número de ciclos de descarga completa o número de años de servicio esperados

El proveedor MK Powered ofrece baterías que cumplen con todas estas características.

Los requerimientos de la batería están dados por la demanda del motor. La batería debe suministrar:

Tensión nominal V=12V
Corriente nominal I = 4.2 A

Selección

La batería comercial que mejor se adapta a las necesidades de la silla de ruedas es la **ES10-12**, un producto de MK Powered. Se trata de una batería de plomo, en gel, sellada, de ciclo profundo. Ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Soporta hasta 1100 ciclos, para un usuario estándar
- ✓ Es de recarga rápida

- ✓ Alta durabilidad para aplicaciones de alta demanda
- ✓ Es segura en cualquier posición, excepto de cabeza
- ✓ Libre de mantenimiento: no necesita que se le agregue agua en ningún momento
- ✓ No necesita descargarse por completo antes de ser recargada
- ✓ No desarrolla una “memoria” que limite su recarga

Fig. 3.16: Baterías MK Powered



Especificaciones técnicas

Vida útil	1-2 años
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal (Ah) (Durante 20hrs.)	7.2 Ah
Temperatura de operación	-60°C a 60°C
Peso (kg)	3.3
Dimensiones	Largo 151mm Ancho 65 mm Altura 102mm
Contenedor	Polipropileno

Tabla 3.12: Especificaciones técnicas de batería seleccionada

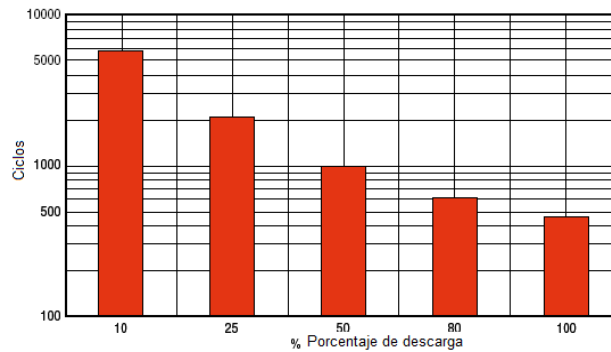


Fig. 3.17: Ciclos de vida vs porcentaje de descarga a 25°C

La batería puede proporcionar hasta $I = (7.2\text{Ah})(20\text{h}) = 144\text{A}$

Si el consumo de la batería es de 4.2Ah, entonces con una sola carga la batería podría durar hasta:

$$t = \frac{144\text{A}}{4.2\frac{\text{A}}{\text{h}}} = 34.3 \text{ horas}$$

3.6 CONCLUSIONES

En este capítulo se eligió la configuración 4, donde el dispositivo cuenta con dos motores que hacen girar a dos llantas directamente en contacto con el suelo. Además los componentes elegidos fueron:

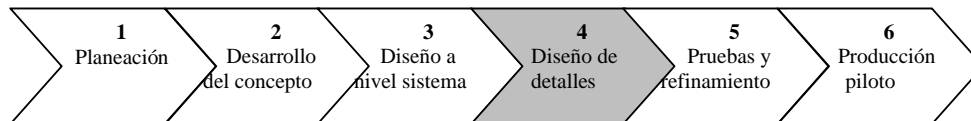
Llanta	6 in	Better Life Healthcare
Motor	RMG-K1K	ROTOMAG
Batería	ES10-12	MK Powered

CAPÍTULO 4:

DISEÑO DE DETALLE DEL DISPOSITIVO ADAPTABLE

El diseño de detalle es la última etapa de la fase teórica del diseño de un producto. En él debe verse reflejada la aplicación de los conocimientos y el trabajo realizado en las etapas anteriores. El resultado es una propuesta bien analizada de un prototipo.

En este capítulo se describen las actividades correspondientes a la cuarta fase del proceso genérico de desarrollo del producto: el diseño de detalle del chasis, soportes y sujetadores del dispositivo adaptable para sillas de ruedas estándar, tomando en cuenta las dimensiones y masas reales de los componentes seleccionados en el capítulo 3.



4.1 ELEMENTOS DIFERENCIADORES

La evaluación comparativa del capítulo 2 demostró que, si bien la idea de un dispositivo que permita transformar una silla de ruedas manual en eléctrica no es nueva, hacer que el dispositivo sea adaptable y desmontable a cualquier silla de ruedas de modelo estándar sí es una innovación. Entonces la adaptabilidad del sistema es, sin duda, un elemento diferenciador que le puede brindar una ventaja competitiva al dispositivo. También cabe destacar que el diseño mecánico del chasis, los soportes y los sujetadores es crítico porque son los componentes que asegurarán que el dispositivo cumplirá con la característica de adaptabilidad.

El **chasis** es el bastidor del dispositivo. Sobre él se montan los demás componentes, que se enlistan en la tabla 2.1. Por lo tanto, el chasis es el elemento integrador que le da forma al conjunto.

Núm.	Cantidad	Elemento	Peso unitario (kg)
1	2	Motor	2.6
2	2	Llanta	
3	2	Batería	6.6

Tabla 4.1: Componentes principales del dispositivo

Los **soportes** son puntos de apoyo que aseguran que el dispositivo se mantenga fijo en su lugar. Pueden también ayudar a asegurar la transmisión de movimiento entre ciertos componentes. Finalmente, los **sujetadores** deben tener el diseño de agarre óptimo para cualquier silla sin importar el tipo de marco, el fabricante o el material. Su objetivo final es asegurar que la silla y el dispositivo PAU actúen mecánicamente como un solo ente.

Variabilidad

En el estudio de verificación de sillas estándar se comprobó que la forma del marco de la silla de ruedas no representa un problema para la adaptabilidad del dispositivo. En cambio, las dimensiones de la silla sí deben ser tomadas en cuenta ya que presentan un rango de variabilidad. Esto quiere decir que las dimensiones son distintas para cada silla y para cada fabricante. El resultado de los estudios de variabilidad se muestra en la siguiente tabla.

Dimensión variable	Rango (cm)	Consideración de diseño
Distancia entre tubos (D_t)	38 – 44	Permitir ajuste horizontal
Altura del pedal con respecto al suelo (H_p)	7.4 – 14	Permitir ajuste vertical
Distancia entre el pedal y el asiento (H_a)	Min. 27	La distancia mínima H_a determina la altura máxima que podría tener el dispositivo para caber en el espacio debajo del asiento de cualquier silla
Distancia entre el tubo vertical y el tubo derecho de la cruz (D_{xd})	Min. 9	La distancia mínima D_{xd} indica la longitud máxima del tubo horizontal que está libre y con el que cuenta para asegurar el dispositivo a la silla
Longitud del pedal (L_p)	Min. 11	La longitud mínima L_p determina la longitud máxima del tubo horizontal que puede usarse como área de sujeción auxiliar

Tabla 4.2: Rango de variabilidad de dimensiones en sillas de ruedas

Dados los rangos de variabilidad, el diseño debe contemplar flexibilidad horizontal y vertical del dispositivo para asegurar que su montaje sea rápido y temporal, sin modificar en ninguna manera la silla de ruedas.

4.2 SOPORTE Y SUJETADOR

El soporte y el sujetador fueron la parte más complicada del diseño porque no hay antecedentes de un mecanismo de sujeción rápido para una estructura tubular que permita la transmisión de movimiento.

Es importante mencionar que para un problema específico existe un gran número de soluciones. Pero corresponde al ingeniero de diseño buscar aquella que sea óptima, de acuerdo a criterios establecidos. Una buena solución puede o no ser compleja. En este caso particular se buscó siempre buscar una solución sencilla pero confiable e innovadora, al mismo tiempo.

4.2.1 Metodología de diseño

La metodología de diseño que se empleó para resolver el problema de los soportes y sujetadores fue la siguiente:

1) Consideración inicial

Los soportes y sujetadores estarán presentes en un mismo elemento: ambos formarán parte integral de él. Aunque la búsqueda de soluciones se haga por separado inicialmente, las soluciones óptimas serán aquellas que puedan trabajar en conjunto para resolver el problema de adaptabilidad.

2) Búsqueda de analogías

Se realizó una lluvia de ideas de sujetadores en contextos completamente diferentes al de las sillas de ruedas.

Falta imagen

Fig. 4.1: Croquis de analogías de sujetadores

3) Observación

Este paso fue fundamental para determinar qué parte del marco de la silla está presente invariablemente en todas las sillas y, por lo tanto, podría ser usado como apoyo del sujetador.



Fig. 4.2: Resultado de observación

La respuesta buscada es la intersección entre los tubos que sirven como soporte del eje de rotación de las ruedas traseras con los tubos que se prolongan hasta llegar a los pedales. Además, en el estudio que se muestra en el capítulo 3, se comprobó que todas las sillas están fabricadas con tubo de 7/8 in de diámetro. Esto simplifica el proceso de diseño pues no es necesario dar adaptabilidad del sujetador al diámetro externo del tubo del marco de la silla.

4) Diseño de soporte

De acuerdo al resultado de la observación, una alternativa para diseñar el soporte sería darle una forma tubular que envuelva a la T invertida que se forma en la intersección. Para ello, el soporte tendría que estar diseñado en dos piezas, de tal forma que pudiera abrirse para permitir el montaje.

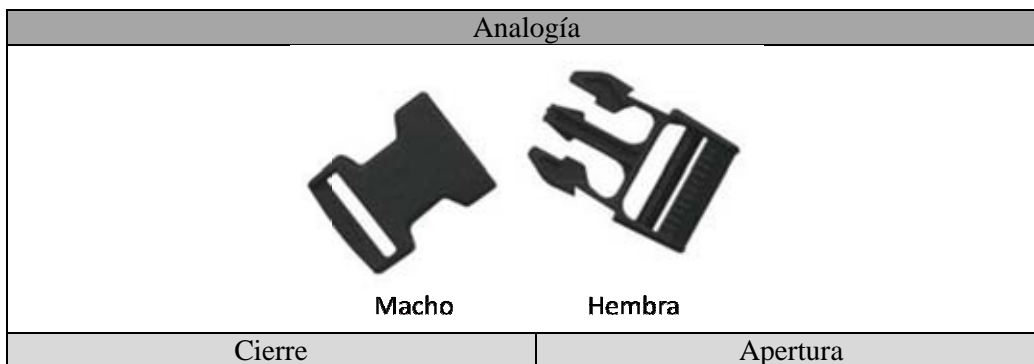


Fig. 4.3: Soporte

5) Evaluación de propuestas de sujetador

Este proceso consistió en analizar cada analogía y considerar si era factible modificarla para usarla como sujetador y que pudiera trabajar junto con el soporte en forma de T para permitir ensamblar y desensamblar las piezas rápida y fácilmente.

El principio de funcionamiento de un broche sencillo como el que se muestra en la figura 4.4 permitió idear un sujetador de dos piezas: la primera sostiene al macho del broche mientras que la otra sostiene a la hembra. Basta con ejercer un poco de presión en ambas piezas del sujetador para que el macho y la hembra se acoplen.



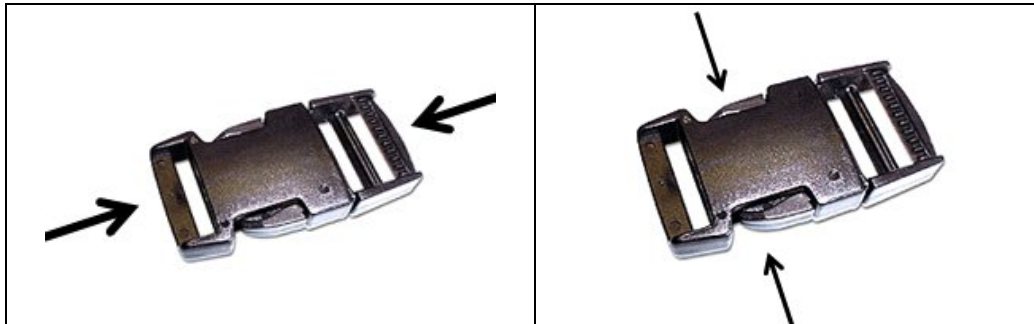


Fig. 4.4: Analogía con broche

4.2.2 Resultado

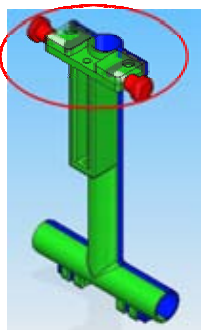


Fig. 4.5: Sistema de sujeción

El resultado de las consideraciones anteriores es el sistema de sujeción para el dispositivo, que está conformado por un par de soportes con broches de sujeción.

Cada uno de los soportes se coloca en un lado del marco de la silla. La estructura tubular de los soportes está dividida en dos secciones (representadas en verde y azul) con un corte longitudinal.

En la parte superior de cada soporte se ubica el broche de sujeción. En la vista general del sistema de sujeción (Fig. 4.5) el broche se muestra encerrado en un círculo.

El principio de funcionamiento del broche sujetador, que se describe a continuación, se observa gráficamente en la figura 4.6:

- Apertura

La sección azul tiene unos ganchos, en negro, que se atorán con la contraparte de la estructura tubular, en verde. Basta con ejercer un poco de presión entre las dos secciones tubulares para acoplar el dispositivo a la silla.

- Cierre

Se debe ejercer presión en los botones laterales. De esta forma se transmite un movimiento lineal que empuja los ganchos del broche y permite que se zafen del candado de la pieza hembra. Esta alternativa de sujetador es atractiva desde el punto de vista de la sencillez y practicidad. Además esta opción es ergonómica ya que la el movimiento se puede hacer con una sola mano y no requiere mucha fuerza.

Broche sujetador	
Cierre	Apertura

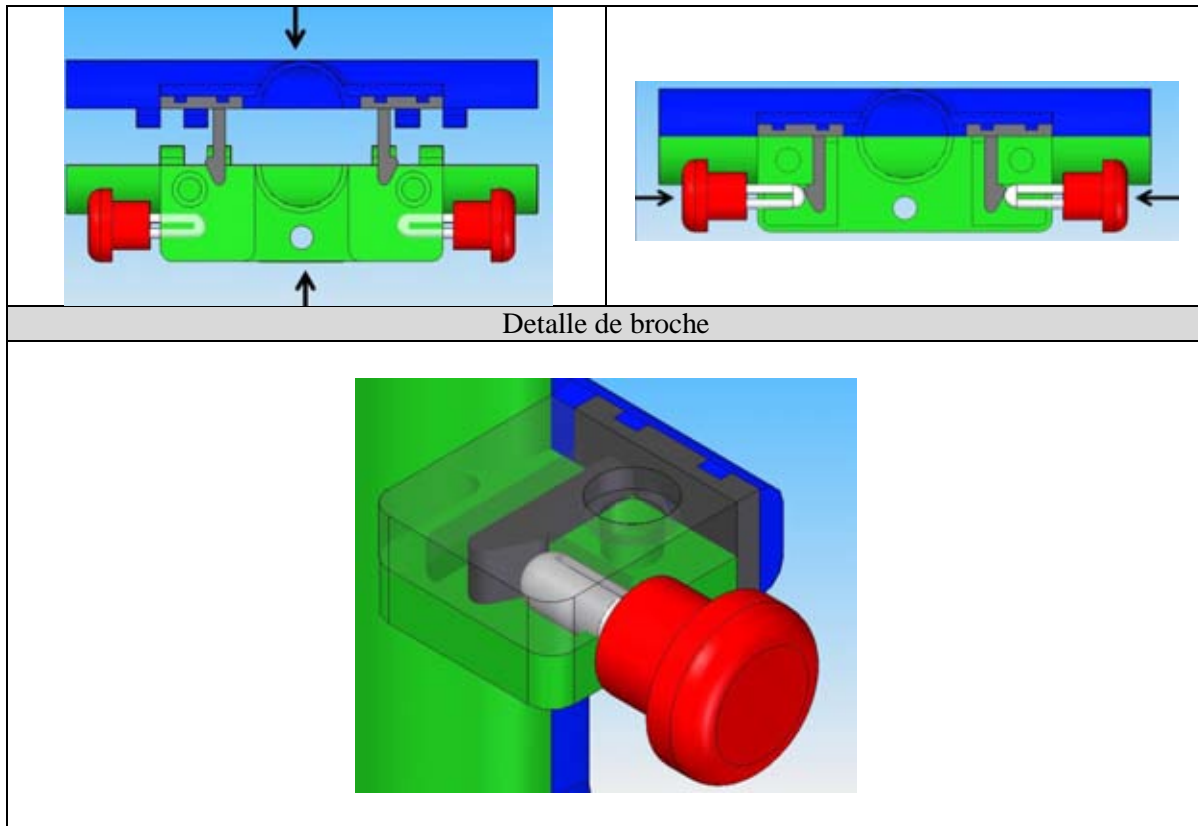


Fig. 4.6: Detalle y principio de funcionamiento del broche de sujeción

El sistema de sujeción es a prueba de fallas, de tal forma que la silla pueda seguir siendo impulsada manualmente con el dispositivo montado, en caso de que hubiera una complicación con el sistema eléctrico.

4.3 CHASIS

La siguiente etapa del diseño consistió en la determinación de la forma que debería tener el chasis para concentrar los componentes en el espacio disponible debajo del asiento de la silla.

4.3.1 Análisis y selección de arreglos

La configuración que se eligió en el capítulo 3 para el dispositivo consiste en dos motores que transmiten el movimiento de rotación a las llantas, cada uno con una batería que lo alimenta. Una vez seleccionados los componentes se procedió a dibujar bloques con las dimensiones reales de los componentes.

Bloque	Largo (in)	Ancho (in)	Alto (in)
Batería	6	2.6	4
Motor	7.5	3.75	5.5
Rueda	Diámetro = 6 in ; Ancho = 1.25 in		

Tabla 4.3: Dimensiones de los componentes, considerándolos en forma de bloque.

Se consideraron tres posibles arreglos, que se muestran en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9. En negro se representa una parte del marco de la silla; en azul, las baterías; en amarillo, los motores encapsulados; y en verde, las ruedas.

1) Arreglo A

Las baterías se colocan verticalmente arriba de los motores.

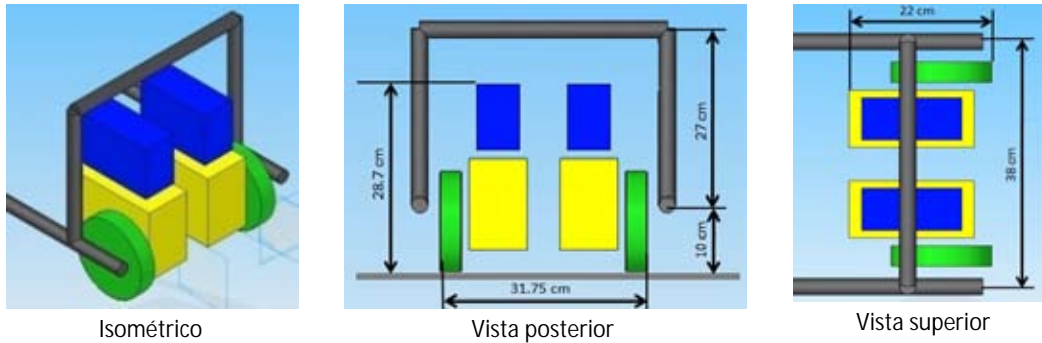


Fig. 4.7: Vistas del arreglo A de componentes

2) Arreglo B

Las baterías se colocan horizontalmente arriba de los motores.

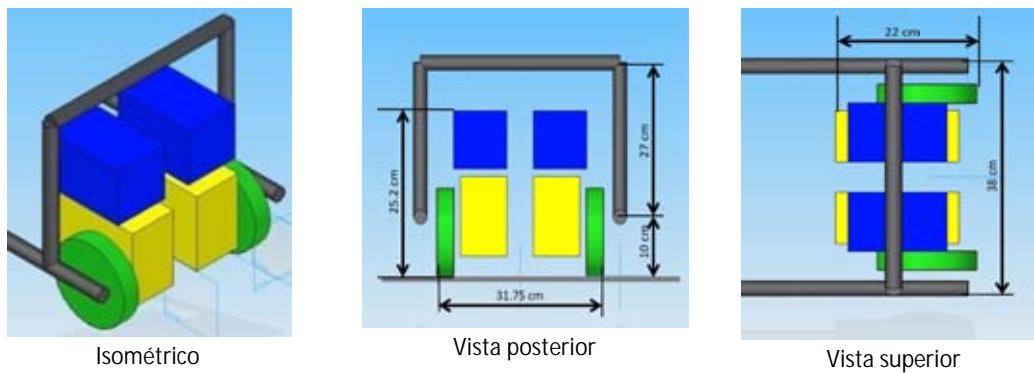


Fig. 4.8: Vistas del arreglo B de componentes

3) Arreglo C

Las baterías se colocan verticalmente delante de los motores.

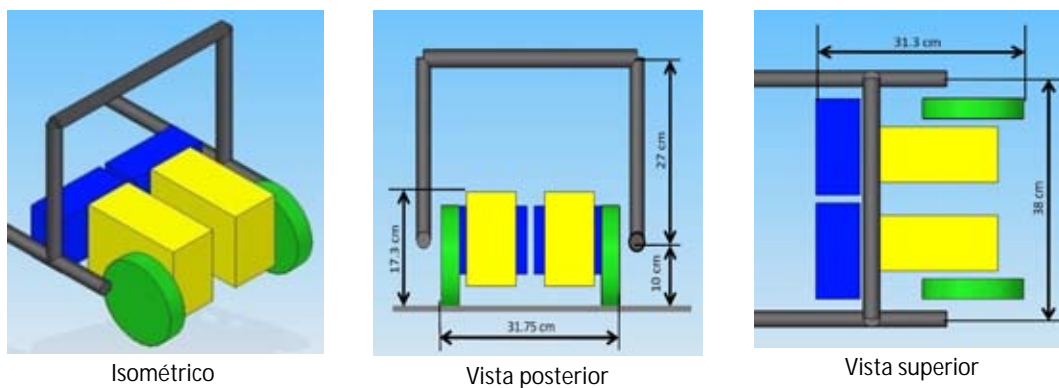


Fig. 4.9: Vistas del arreglo C de componentes

La evaluación de los arreglos se centró en el espacio que ocupan los componentes:

Arreglo	Evaluación
A	El dispositivo ocupa un volumen de 20047 cm ³ (31.75 x 22 x 28.7). La longitud del dispositivo es mínima pero la altura es máxima con este arreglo. La altura deja poco espacio libre con respecto al asiento para ajustes verticales.
B	El dispositivo ocupa un volumen de 17602 cm ³ (31.75 x 22 x 25.2). La longitud del dispositivo es mínima y la altura es menor que en el arreglo A. La altura del dispositivo deja un espacio suficiente con respecto al asiento para poder hacer ajustes verticales, además la longitud es la mínima posible de estos arreglos.
C	El dispositivo ocupa un volumen de 17192 cm ³ (31.75 x 31.3 x 17.3). La longitud del dispositivo es máxima y la altura es mínima con este arreglo. La altura es buena, pero el largo ocasiona que inevitablemente el dispositivo exceda las dimensiones de la silla en la parte posterior.

Tabla 4.4: Evaluación de arreglos

El **arreglo B** es el que se eligió para concretar la forma que debería tener el chasis.

4.3.2 Diseño para ajuste horizontal y vertical

La metodología utilizada en esta etapa se enfocó en un *diseño para funcionalidad*. Es decir, que la forma del chasis se obtuvo a partir del sistema de sujeción y el arreglo de los componentes. Teniendo estos elementos y considerando los ajustes que el chasis debe ser capaz de permitir, únicamente se procedió a darle una forma que respetara el arreglo de componente seleccionado.

Ajuste vertical

Dado que el motor tiene un tren de engranes integrado que proporciona la velocidad de salida requerida para que la silla se desplace a 4km/h, la flecha debe transmitir el movimiento directamente a las ruedas. Por lo tanto, debe considerarse al motor y rueda como una sola unidad.

La tabla 4.2 muestra que la altura del pedal de la silla con respecto al suelo puede variar entre 7.4 y 14 cm, implicando que el dispositivo debe contar con un desplazamiento de ajuste vertical en un rango de 6.6 cm.

En las figs. ___ del capítulo 3 se bosquejó una posible solución para permitir el desplazamiento vertical. La propuesta consistía en usar un sistema piñón-cremallera. Esta alternativa tiene como inconveniente que, por muy pequeño que sea el paso de la cremallera, el desplazamiento vertical es discreto. Siendo así, no hay forma de asegurar que los valores de la altura del dispositivo coincidan con la altura del pedal en todas las sillas.

Entonces se buscó nuevamente una analogía de elementos que permitan el desplazamiento vertical continuo en otros contextos. Se encontró una solución que pudo adaptarse fácilmente al chasis del dispositivo. Se trata de un seguro de bicicleta que permite ajustar la altura del asiento, como el que se muestra en la fig. 4.10.



Fig. 4.10 Seguro

Este seguro se coloca a presión en un tubo que tiene en su interior a otro de menor diámetro. Cuando la palanca es empujada hacia adentro (acercándola a los tubos) ajusta al tubo exterior suficientemente fuerte contra el tubo interior, de tal forma que se evita cualquier desplazamiento entre ambos. De manera opuesta, al jalar la palanca hacia afuera (alejándola de los tubos), el tubo

exterior deja de ejercer presión sobre el tubo interior, permitiendo que éste último pueda desplazarse.

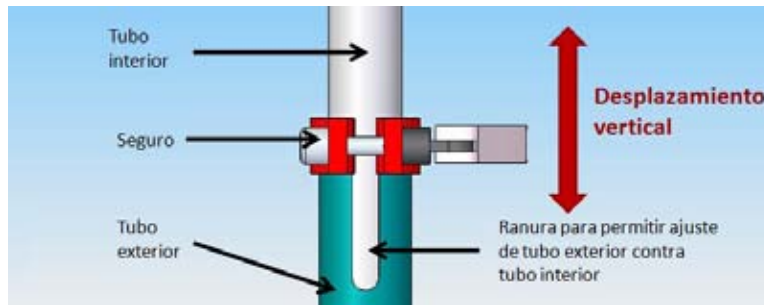


Fig. 4.11: Función de ajuste por medio del seguro

Esta solución permite el desplazamiento vertical requerido (6.6cm), y de ser necesario, puede ofrecer un rango de desplazamiento mucho mayor. El ajuste vertical debe permitir el desplazamiento del conjunto motor-rueda, ya que las ruedas son las que transmiten el movimiento al estar en contacto directo con el suelo.

Ajuste horizontal

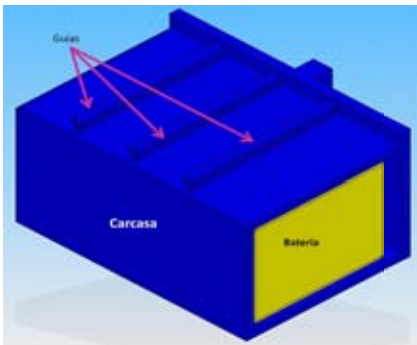


Fig. 4.12 Propuesta de solución para ajuste horizontal

En la tabla 4.2 se muestra que la distancia entre las ruedas traseras ocasiona que la distancia entre tubos D_t varíe entre 38 y 44 cm, es decir que el dispositivo debe ser capaz de ajustarse horizontalmente a lo largo de 6 cm.

El ajuste horizontal debe efectuarse sobre el chasis. Una alternativa es mantener las baterías fijas a cada lado del marco de la silla, y colocar unas guías sobre la carcasa que las sostiene para permitir que el chasis se mueva horizontalmente con el resto de los componentes.

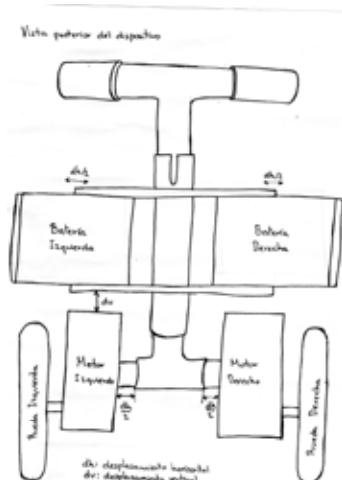


Fig. 4.13: Croquis del dispositivo, incluyendo chasis

Para darle forma al chasis, se procedió a hacer un esbozo del chasis a partir de la vista posterior del arreglo B, considerando los ajustes necesarios (vertical y horizontal) y el arreglo seleccionado.

En la fig. 4.13 se observa que este chasis contempla la posibilidad del movimiento horizontal en dos partes: a la altura de los motores, en la unión entre el manubrio y el encapsulado; y a la altura de las baterías. Esto resulta redundante. Por lo tanto se puede modificar el diseño para que el encapsulado del motor, el manubrio y la unión entre ellos formen una sola unidad. Así, el desplazamiento de ajuste horizontal quedaría a la altura de las baterías.

4.3.3 Resultado preliminar

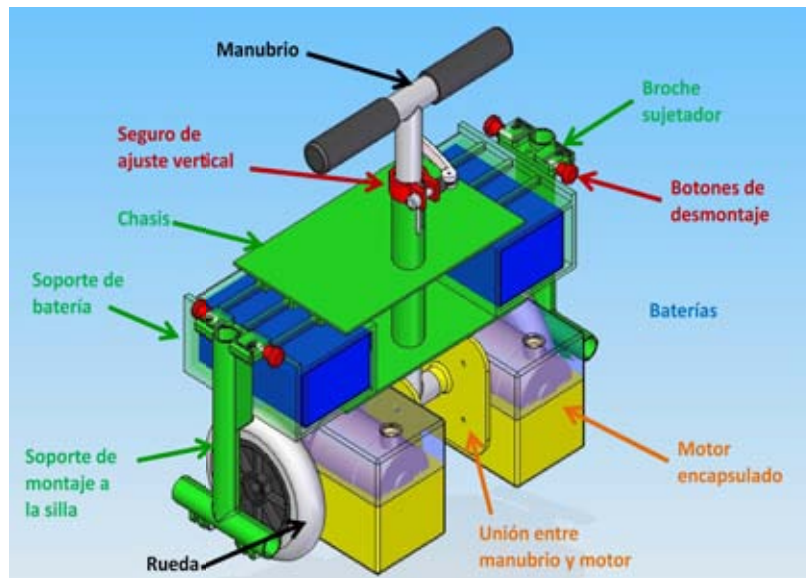


Fig. 4.14: Modelo virtual del dispositivo

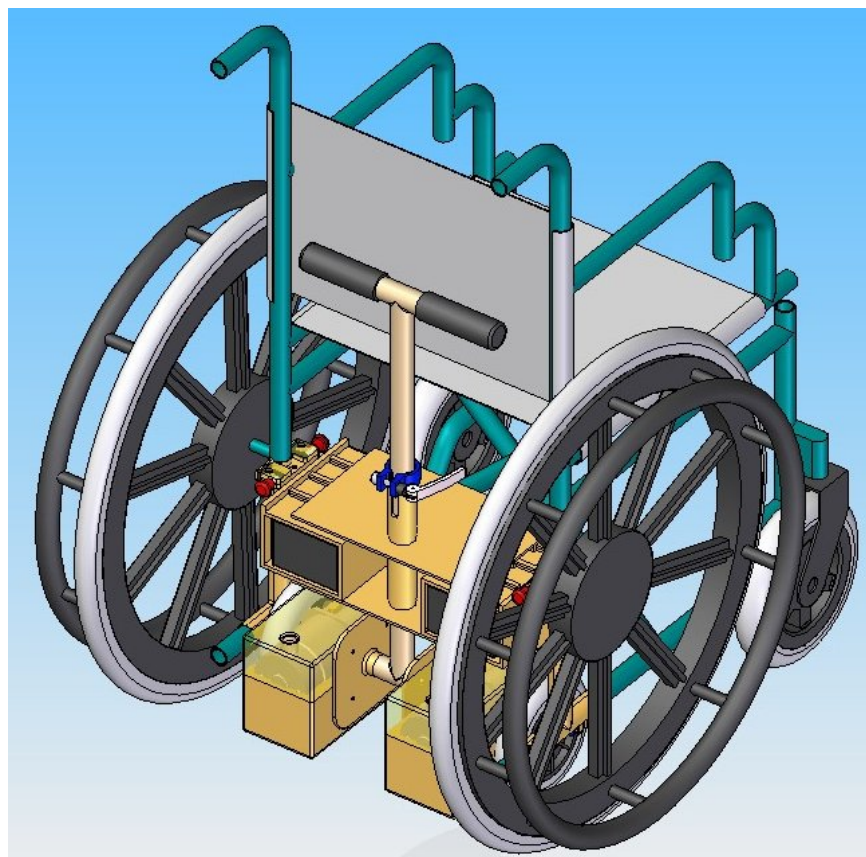


Fig. 4.15: Modelo virtual del sistema silla-dispositivo

La figura 4.14 muestra un modelo virtual del dispositivo muy cercano a la propuesta final, donde se muestran las partes que componen al chasis en color verde. Este modelo permitió descubrir dos inconvenientes:

- 1) En amarillo se muestran componentes que pueden rediseñarse para que también sean parte del chasis, pues cumplen con la función de integración de elementos.
- 2) Si se desea adaptar el dispositivo a distintas alturas de pedal, todo el dispositivo debe ser levantado. Con esta configuración, el manubrio puede permitir el levantamiento del dispositivo con la condición de que el seguro de ajuste vertical impida el desplazamiento vertical entre los tubos, pero el problema radica en que:
 - a. El peso total del dispositivo complica la operación de montaje
 - b. Las ruedas del dispositivo no ayudarían en el montaje, siendo que con un pequeño rediseño pueden facilitar la operación

Además, cabe mencionar que hasta este momento no se habían considerado dimensiones reales del espesor del chasis.

4.4 RESULTADO

El chasis se compone de tres piezas (Fig. 4.16) que permiten desplazamiento vertical y horizontal entre ellas:

- 1) Dos sistemas de sujeción y porta-baterías
Al sistema de sujeción descrito arriba, se le añadió una caja porta-baterías que forma parte de la misma pieza.
- 2) Manubrio y elevador
En el nuevo diseño el manubrio es ahora el tubo exterior, que forma una sola pieza con el elevador. Éste último, a su vez, consiste en una placa, en lugar de dos, como se tenía contemplado anteriormente.
- 3) Tubo interior y porta-motores
El tubo interior y los dos porta-motores también constituyen una pieza.

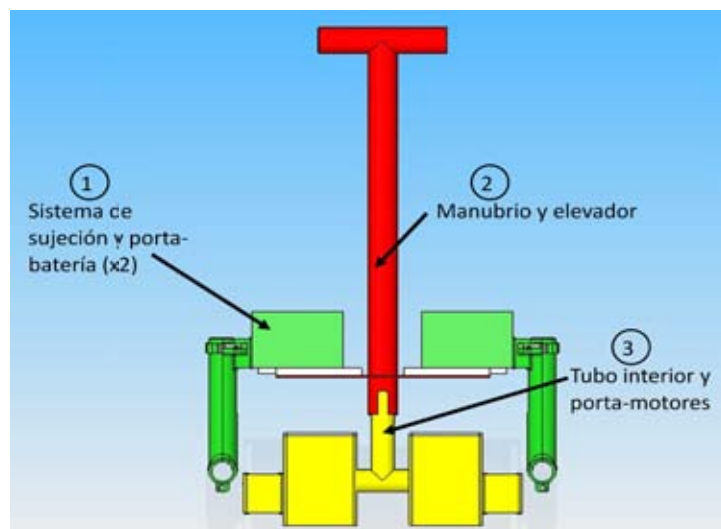


Fig. 4.16: Chasis

4.4.1 Materiales

El modelo virtual de la figura 4.15 fue dibujado en base a dimensiones y espesores de materiales comerciales, que pueden ser adquiridos fácilmente en México¹. La siguiente tabla muestra los materiales elegidos para cada pieza.

Posición	Cantidad	Denominación	Sub-componente	Catálogo	Material	Observaciones
1	2	Sistema de sujeción y porta-batería	Caja de batería	323	Aluminio aleación 1100	Lámina en hoja lisa calibre BWG 16 (1.65mm / 0.065in) Peso aprox. por m ² : 4.47 kg
			Caja del broche	1118	Aluminio aleación 6063 T-5	Solera ¼ x 1 in Peso aprox. por metro: 0.437 kg
			Barra de unión de la caja de la batería con el soporte	14005	Aluminio aleación 6061 T-6	Barra L = 5/8 in Peso aprox. por metro: 0.683kg
			Envoltentes en forma de T	884	Aluminio aleación 6061 T-6	Tubo redondo $\Phi_n = 1$ in Espesor de pared: 3.38mm $\Phi_{ext} = 33.4$ mm ; $\Phi_{int} = 26.64$ mm Peso aprox. por metro: 0.864 kg
2	1	Elevador y manubrio (tubo exterior)	Placa de elevador	311	Aluminio aleación 1100	Lámina en hoja lisa calibre BWG 10 (3.4mm / 0.134 in) Peso aprox. por m ² : 9.22 kg
			Manubrio	884	Aluminio aleación 6061 T-6	Tubo redondo $\Phi_n = 1$ in Espesor de pared: 3.38mm $\Phi_{ext} = 33.4$ mm ; $\Phi_{int} = 26.64$ mm Peso aprox. por metro: 0.864 kg
3	1	Tubo interior y porta-motores	Porta-motores	311	Aluminio aleación 1100	Lámina en hoja lisa calibre BWG 10 (3.4mm / 0.134 in) Peso aprox. por m ² : 9.22 kg
			Tubo de desplazamiento vertical de motores	883	Aluminio aleación 6063 T-6	Tubo redondo $\Phi_n = 3/4$ in $\Phi_{ext} = 26.67$; $\Phi_{int} = 20.93$ mm Espesor de pared: 2.87mm

Tabla 4.5: Lista de componentes y materiales del chasis

Para los materiales empleados, se muestran las propiedades mecánicas:

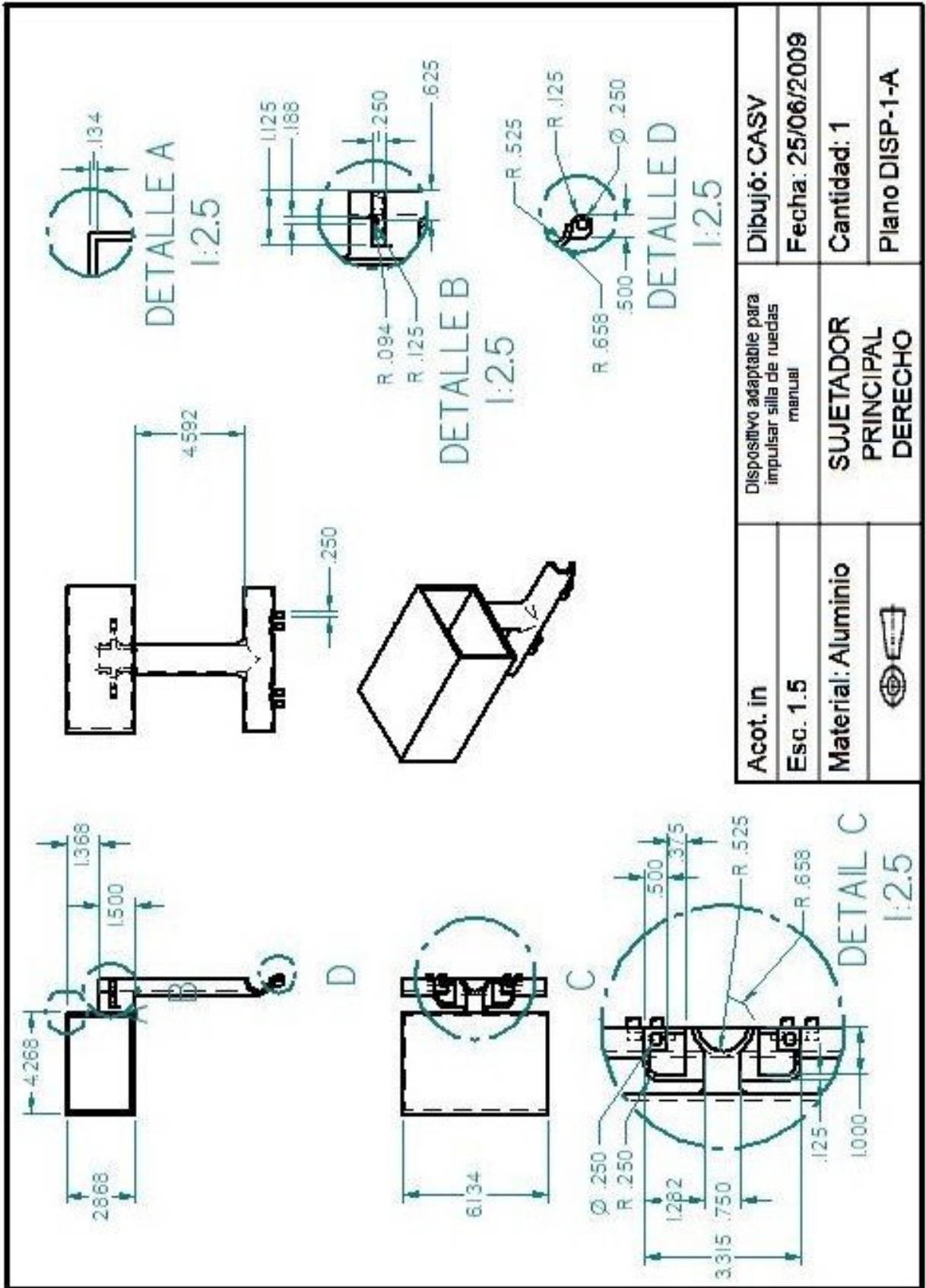
Aleación y temple	Resistencia a la tensión kg/mm ²					Dureza 500 kg Esfera Diam. 10 mm	Corte kg/ mm ² Esfuerzo al corte inicial	Fatiga kg/ mm ² Límite de endurecimiento	Módulo Módulo de elasticidad
	Esfuerzo de ruptura		Punto cedente	Elongación Porcentaje en 50.8 mm					
	Mín	Max.	Mín.	Prueba espesor 65mm	Prueba esfera Diam. 12.7 mm				
1100	8	11	2.5	35	45	23	6	4	10.0
6061 T-6	30	--	25	12	--	--	19	--	10.0
6063 T-5	19	15	8	12	--	60	12	7	10.0
6063 T-6	25	22	8	12	--	73	15	7	10.0

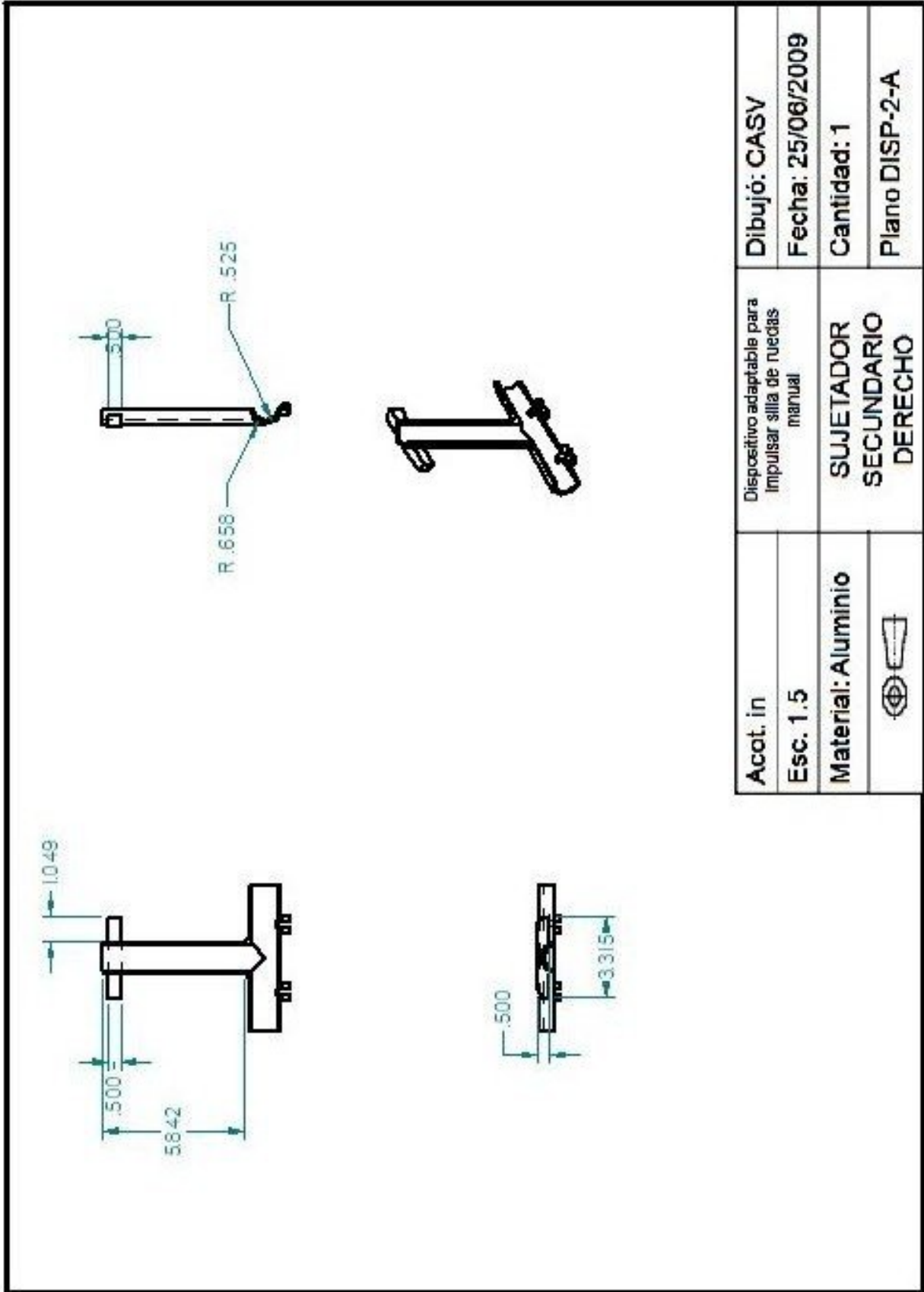
Tabla 4.6: Propiedades mecánicas del aluminio para chasis

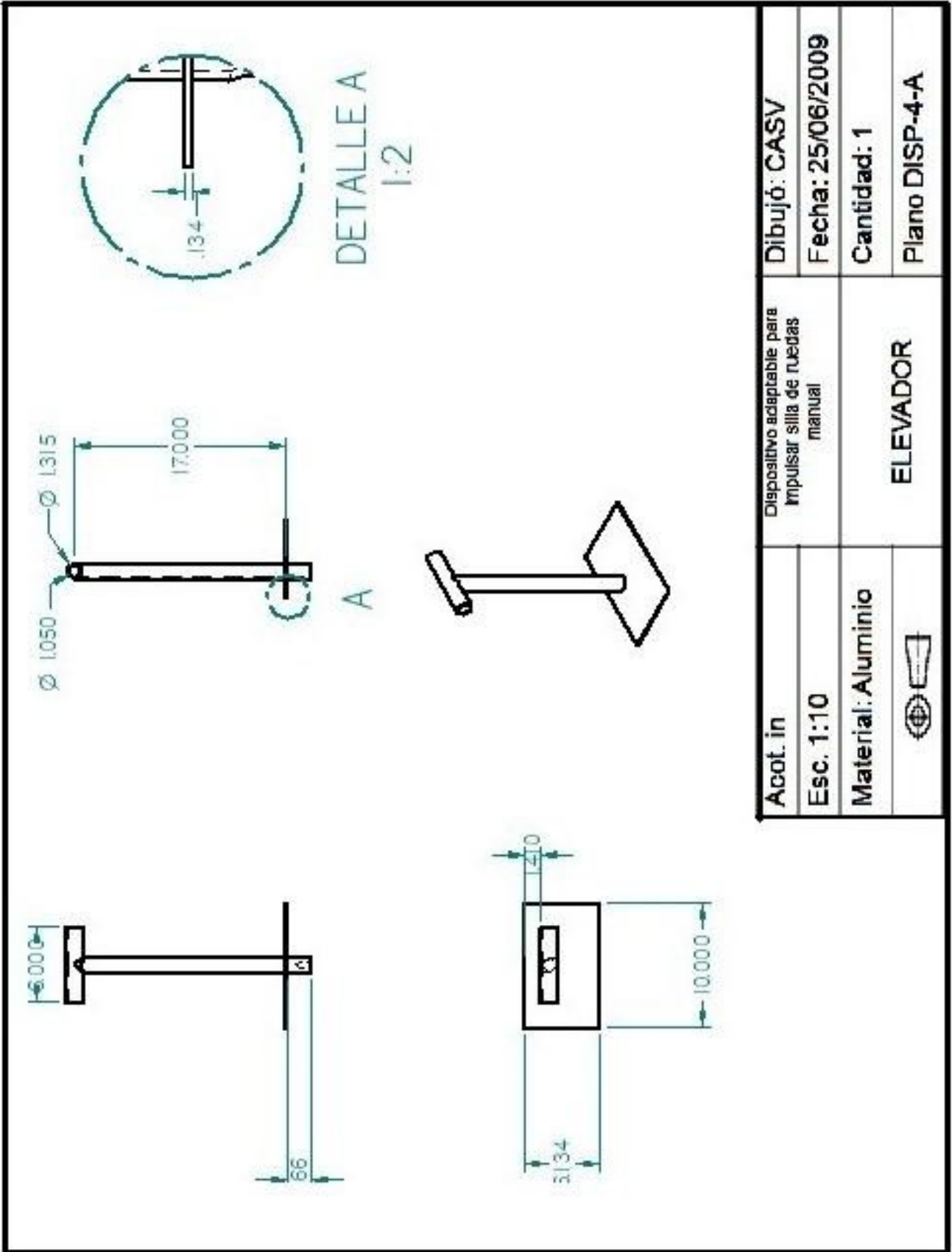
4.4.2 Planos de detalle

Asimismo, los planos siguientes muestran a detalle las dimensiones de las piezas.

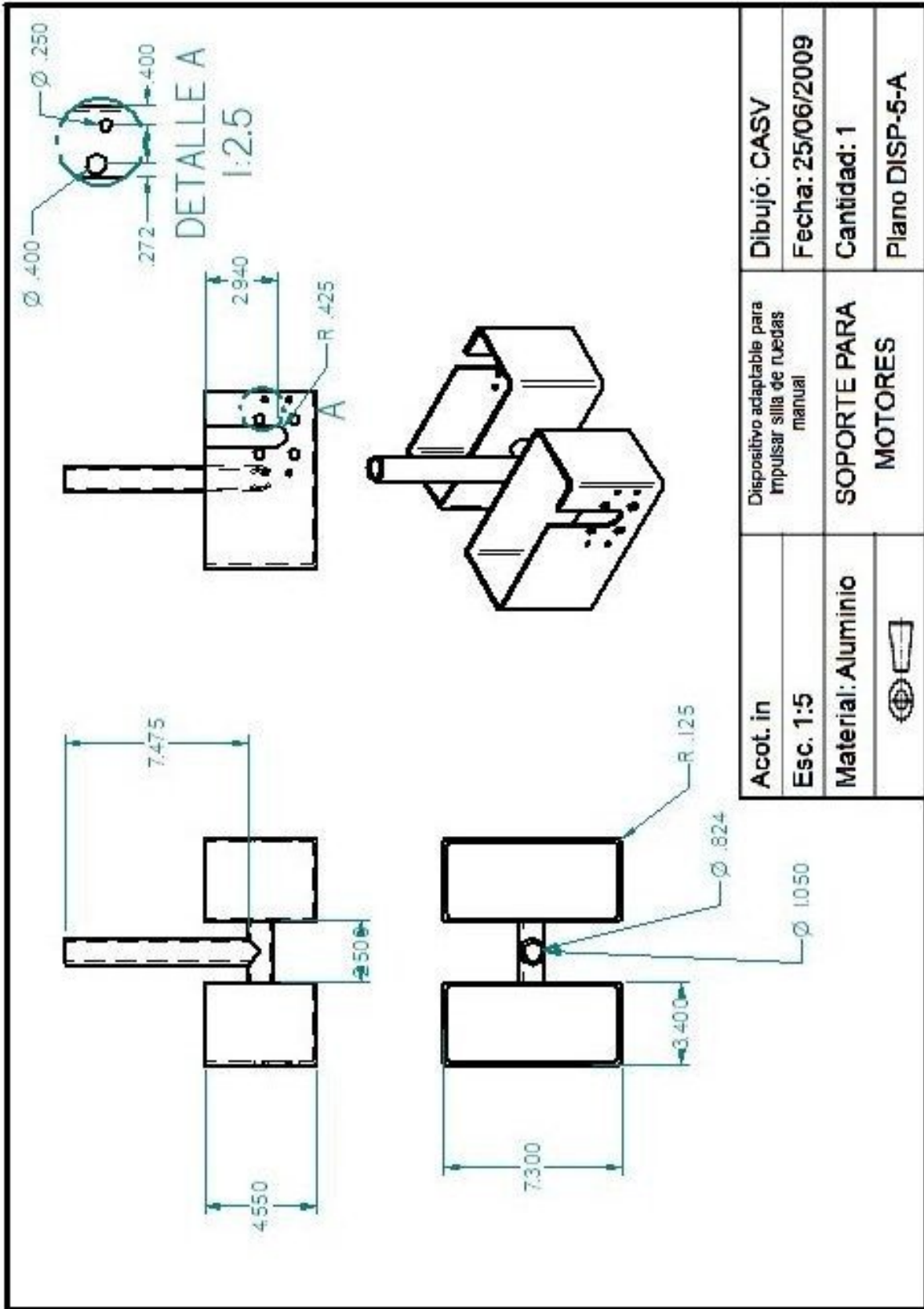
¹ Referencia: Catálogo de Metales Díaz

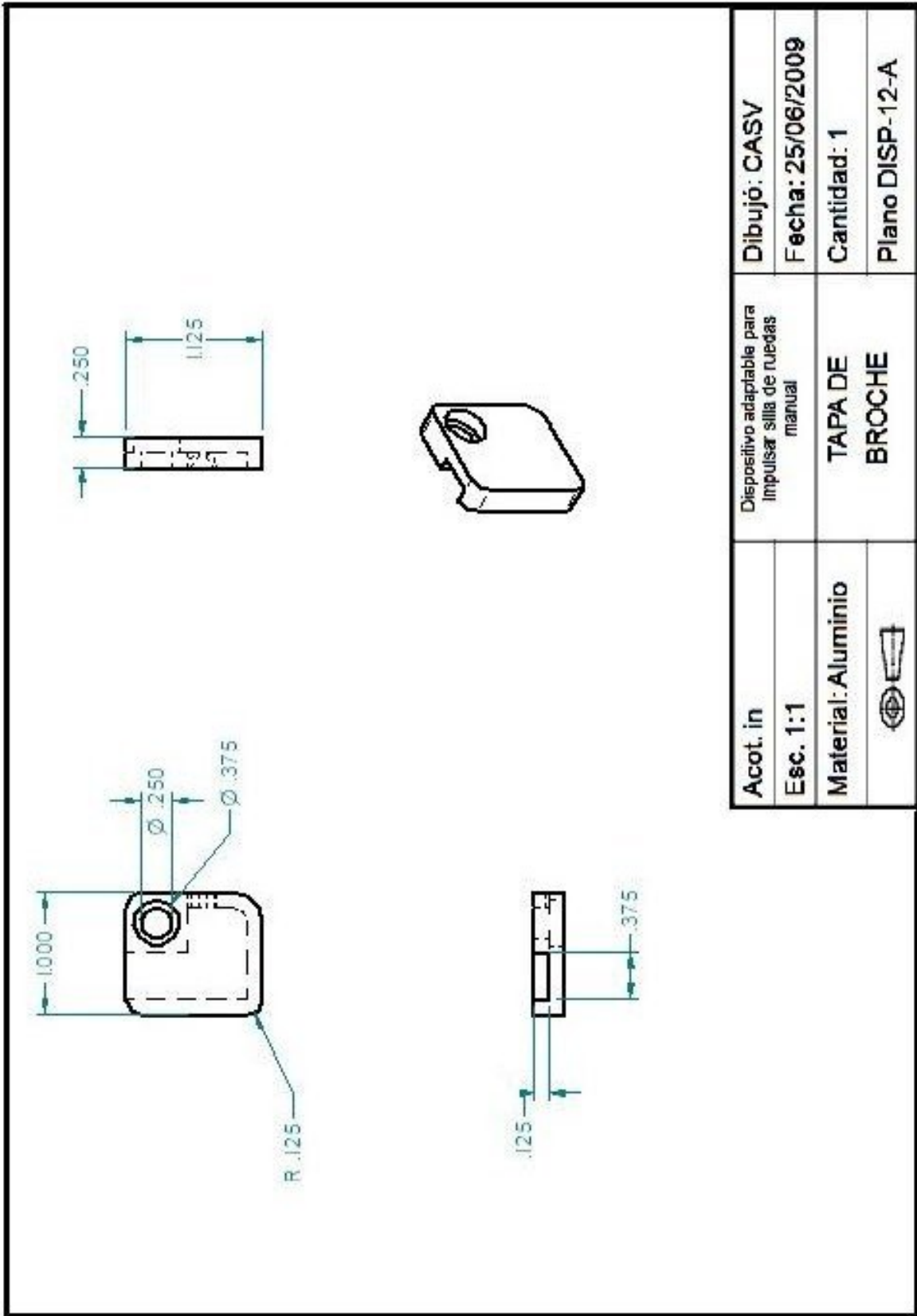






Acot. in	Dispositivo adaptable para impulsar silla de ruedas manual	Dibujó: CASV
Esc. 1:10		Fecha: 25/06/2009
Material: Aluminio	ELEVADOR	Cantidad: 1
		Plano DISP-4-A





Acot. in	Dispositivo adaptable para impulsar silla de ruedas manual	Dibujó: CASV
Esc. 1:1		Fecha: 25/06/2009
Material: Aluminio	TAPA DE BROCHE	Cantidad: 1
		Plano DISP-12-A

4.4.3 Dispositivo

La propuesta final de dispositivo consiste en un chasis modular con:

- Soportes que envuelven a la T invertida del marco de la silla y que soportan el peso de las baterías
- Broche único que permite acoplar y desacoplar el dispositivo a la silla en cuestión de segundos
- Un manubrio que permite levantar el dispositivo para ajustarlo verticalmente a las diferentes alturas que pudieran tener los pedales de la silla y que, cuando el dispositivo está desensamblado, permite trasladarlo cómodamente arrastrándolo, sin necesidad de cargarlo
- Un elevador que ayuda a soportar el peso de las baterías y que también permite la función de ajuste horizontal para que el dispositivo se adapte a diferentes distancias entre tubos de la silla
- El porta-motores

Las figuras 4.16 y 4.17 muestran el modelo virtual del dispositivo, cuyos componentes se enlistan a continuación:

Posición	Cantidad	Componentes
1	1	Soporte izquierdo con porta-batería
2	1	Soporte derecho con porta-batería
3	1	Media envolvente con forma T
4	1	Manubrio con elevador
5	1	Porta-motores con tubo interior de desplazamiento vertical
6	2	Rueda
7	2	Gancho izquierdo
8	2	Gancho derecho
9	4	Botón
10	4	Tapón
11	2	Tapa izquierda de broche
12	2	Tapa derecha de broche
13	1	Anillo de presión

Tabla 4.7: Listado de componentes

En la figura 4.18 se muestran las dimensiones del dispositivo con todos sus componentes.

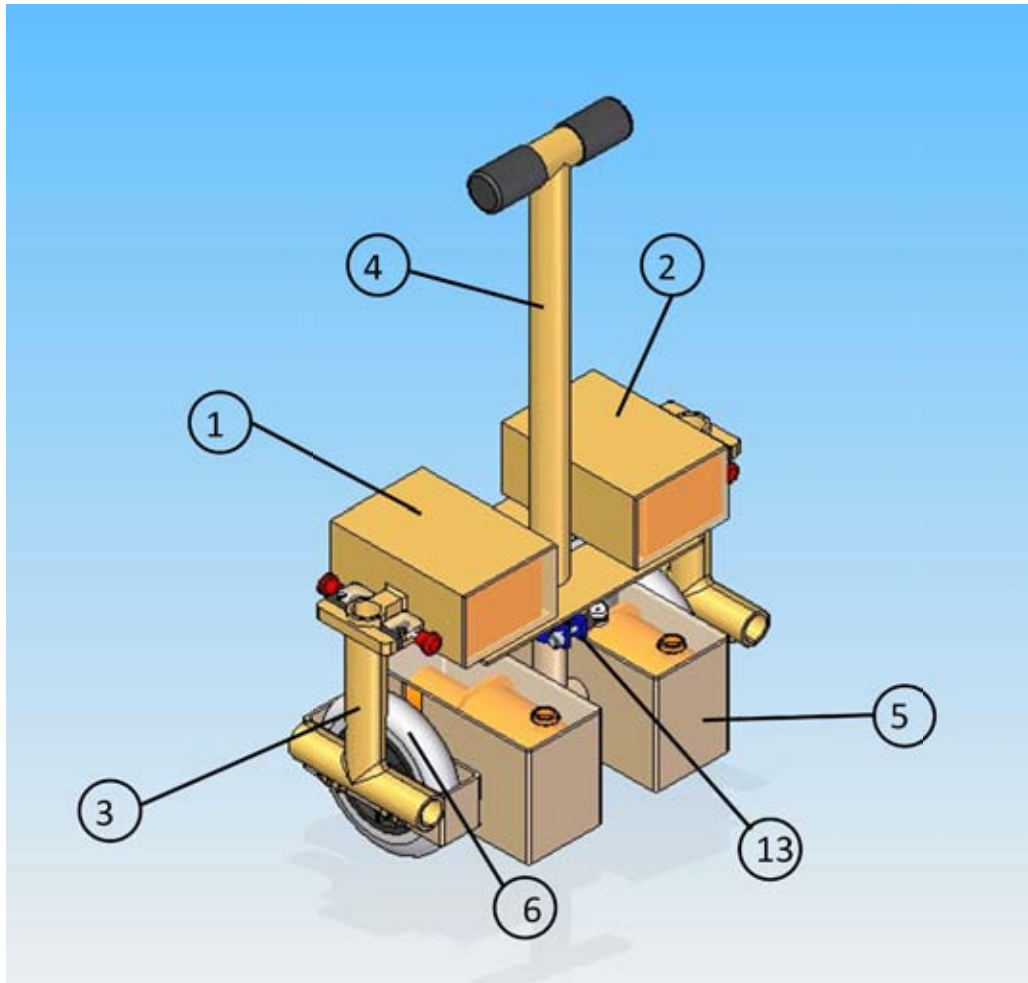


Fig. 4.17: Señalización de componentes del dispositivo

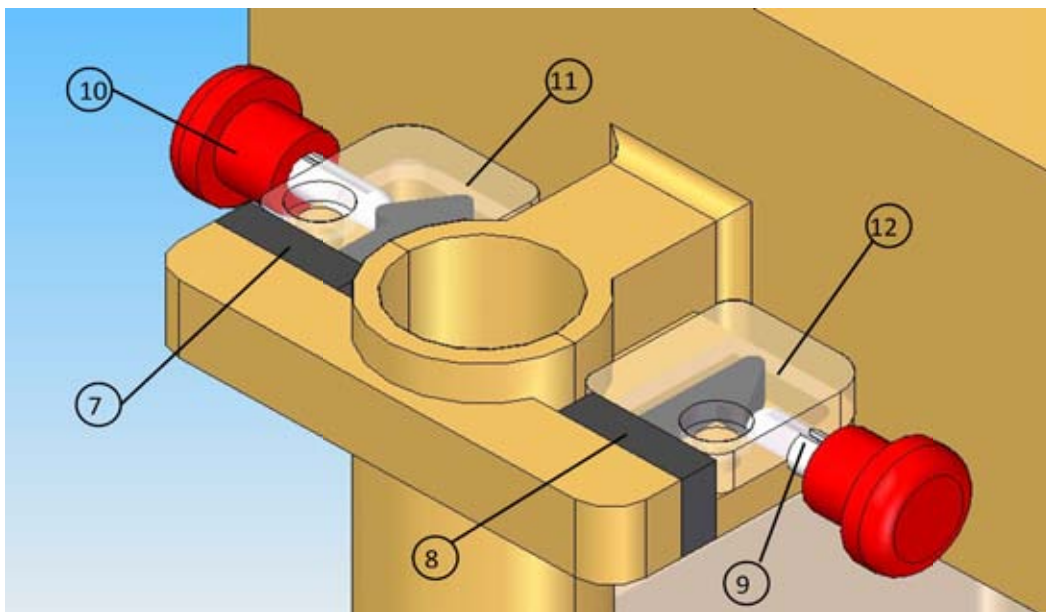


Fig. 4.18: Señalización de componentes (detalle)

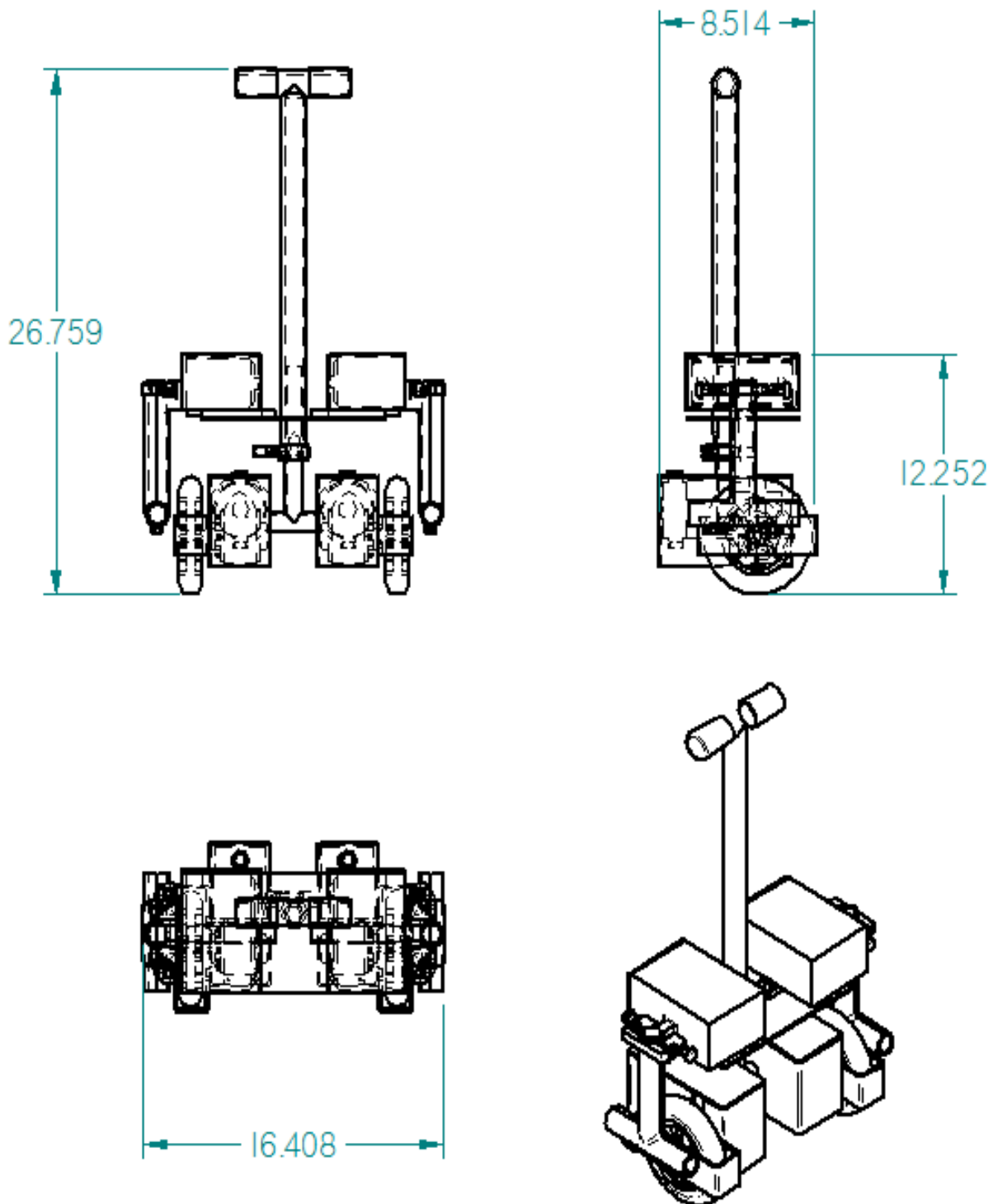


Fig. 4.19: Dimensiones generales del dispositivo

4.5 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEA²)

El Análisis por Elementos Finitos, FEA por sus siglas en inglés, es una herramienta ampliamente usada durante el proceso de diseño de un producto ya que permite transformar la etapa de pruebas sobre prototipos físicos en ingeniería predictiva. Esto es posible gracias a que el FEA reemplaza la etapa de verificación de fallas por un proceso de análisis de las propiedades mecánicas de un modelo virtual, de tal forma, que las iteraciones de diseño se reducen a simulaciones hechas en computadora. La figura 4.19 muestra las ventajas del proceso de diseño del producto empleando FEA con respecto al diseño tradicional:

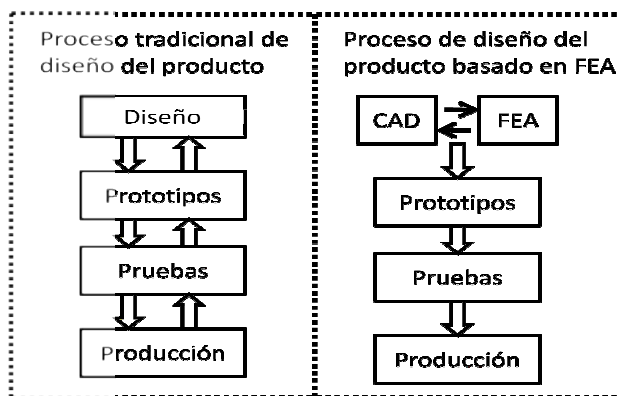


Fig. 4.20: Comparación de procesos de diseño tradicional y diseño con FEA

El FEA es una herramienta de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE³) que ayuda a obtener productos mejores y más seguros con bajos costos. Por ello, es ampliamente usado para desarrollo de productos en la industria automotriz, aeroespacial, médica, de defensa, energía, etc.

Como última etapa de la parte teórica de diseño del dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas, se procedió a hacer el Análisis por Elementos Finitos de las piezas más críticas, por medio del software ALGOR⁴. En todas las piezas analizadas se simuló fuerzas mayores a las de diseño para asegurar que la estructura aguantará el peso de los componentes. Cabe destacar que, como se muestra en la tabla 4.5, aunque todas las piezas son de aluminio, cada pieza se manufactura con diferentes tipos de aluminio. Por lo tanto, las propiedades mecánicas de las piezas no son heterogéneas en toda la pieza. Así que para fines prácticos, al realizar el FEA se consideró el aluminio con las propiedades mecánicas más limitadas. Los resultados de los análisis muestran los resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises y el desplazamiento que sufre cada parte.

4.5.1 Soporte porta-batería

Esta pieza es una de las más importantes. Cumple una doble función: por una parte es la envolvente que permite acoplar el dispositivo a la silla; y por otra parte, es el principal soporte de la batería (mas no el único).

² Finit Element Anaylisis

³ Computer Aided Engineering

⁴ Software de análisis de elementos finitos de propósito general, desarrollado por ALGOR Incorporated (ahora propiedad de Autodesk) y que es compatible con los sistemas operativos Microsoft Windows y Linux.

Restricciones y fuerzas aplicadas

Para el análisis de esta pieza se consideró que su geometría impide cualquier movimiento de rotación. El material de análisis de la pieza fue el Aluminio 1100-O. Se aplicó una restricción en el área que resulta del corte longitudinal en la forma tubular con dirección x. La fuerza que actúa directamente sobre la pieza es el peso de la batería (6.6kg). Sin embargo, el comportamiento de la pieza se analizó para el caso en que tuviera que soportar poco más del doble del peso de la batería y que dicha fuerza recaerá en dos puntos localizados en el interior de la batería y distribuidos uniformemente. La dirección de la fuerza es el eje z, con sentido negativo y con una magnitud de 75N.

Falta imagen

Fig. 4.21: Restricciones y fuerzas aplicadas al soporte porta-batería

Resultados de esfuerzo según teoría de Von Mises

Los resultados (Fig. 4.21 y 4.22) muestran que en la caja porta-batería y en la forma tubular con dirección por los resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises es apenas de 4.12 N/mm^2 . La mayor tensión se ubica en los puntos de unión de las dos formas tubulares. La tensión máxima que tendría que soportar la pieza para las condiciones citadas sería de 41.2 N/mm^2 , que es menor a los 8 N/mm^2 que se obtiene de las especificaciones dadas por el fabricante (tabla 4.6). Por lo tanto, el material y las dimensiones de la pieza son adecuados.

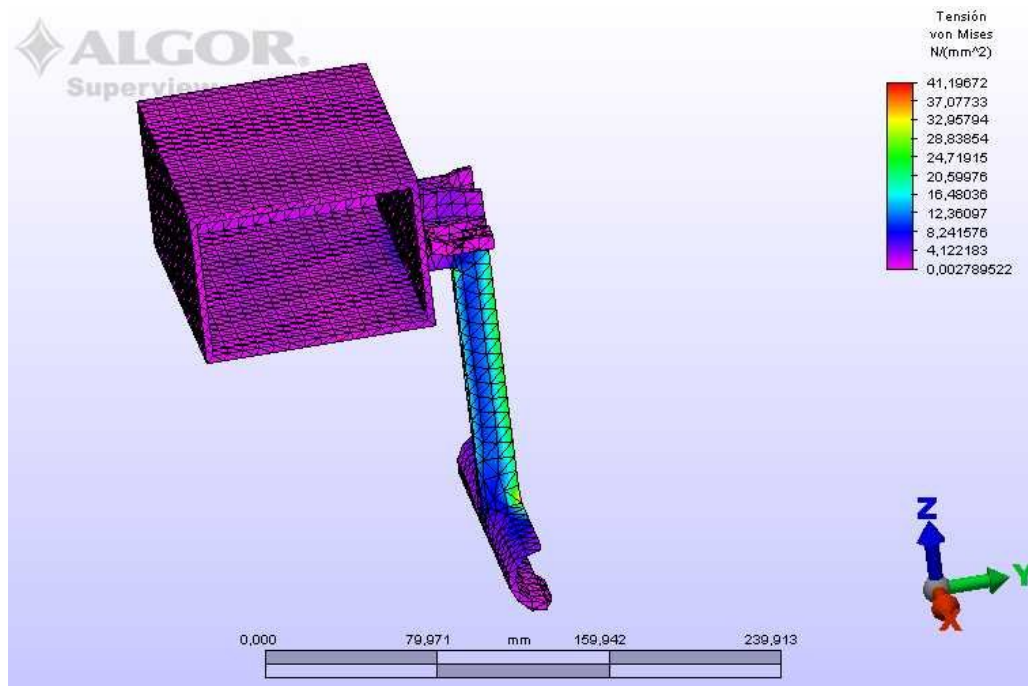


Fig. 4.22: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general del soporte con porta-baterías

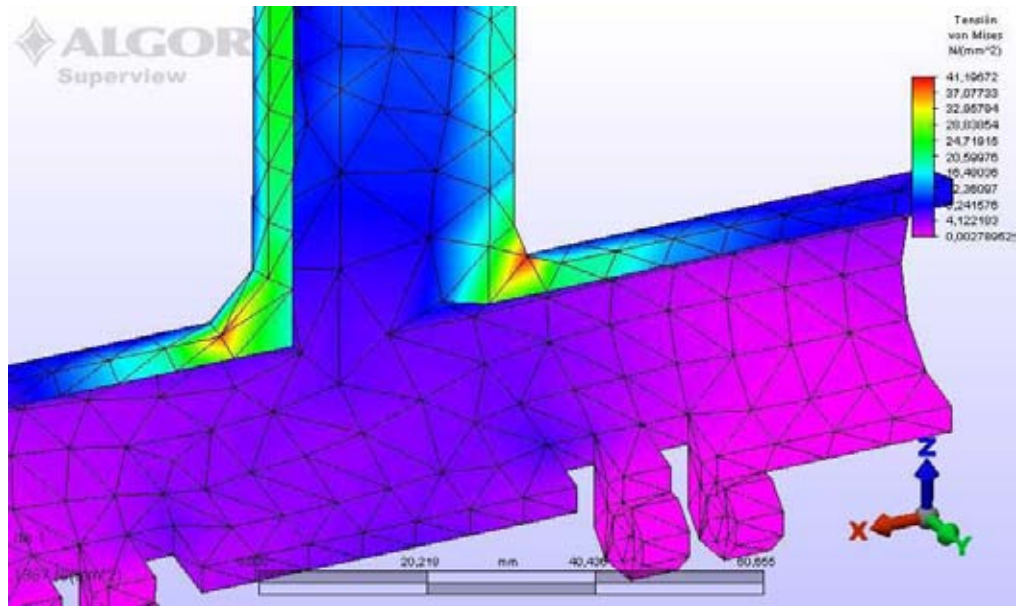


Fig. 4.23: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en detalle del soporte con porta-baterías

Desplazamiento

Este resultado muestra las deformaciones que sufriría la pieza: en morado, las zonas sin desplazamiento; y en rojo, las de mayor desplazamiento. En las figuras 4.23 y 4.24 se observa que la zona más afectada es la parte que se encuentra en voladizo (la parte de la caja porta-baterías más alejada de la estructura tubular). Sin embargo, el desplazamiento máximo sería de $7\mu\text{m}$, que es totalmente despreciable. Además, como se aprecia en la figura 4.16 el elevador también contribuye a soportar el peso. Por lo tanto, el efecto real del peso de la batería es aún menor del que se muestra.

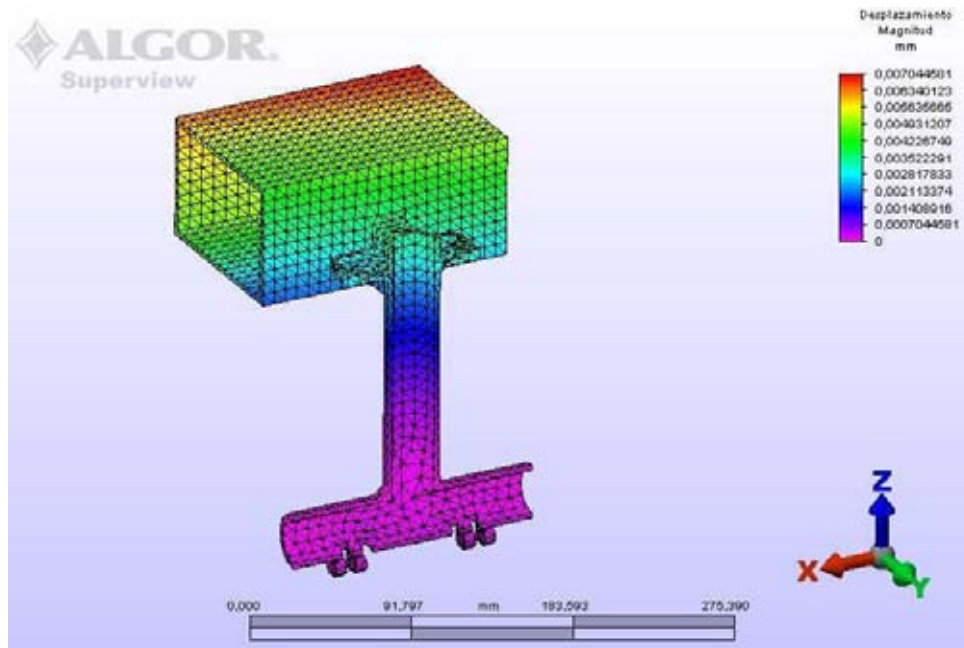


Fig. 4.24: Desplazamiento en vista general I del soporte con porta-baterías

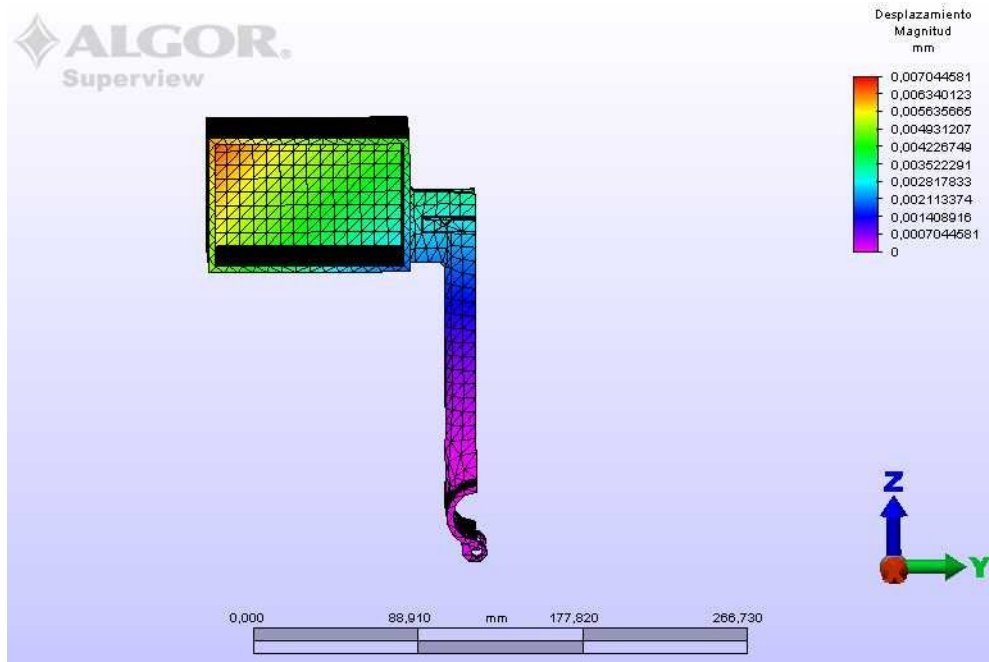


Fig. 4.25: Desplazamiento en vista general 2 del soporte con porta-baterías

4.5.2 Manubrio con elevador

Esta pieza tiene varias funciones importantes:

- Con el manubrio, el dispositivo puede ser jalado para transportarlo sin tener que cargarlo
- El elevador ayuda a soportar el peso de las baterías
- Esta pieza ayuda a ajustar verticalmente el dispositivo a diferentes alturas de pedal. Para ello, al levantar el elevador con el manubrio, las dos baterías también se levantan junto con el soporte porta-batería.

Por lo tanto, la pieza debe ser capaz de soportar el peso total del dispositivo. El material que se le asignó a esta pieza para realizar el FEA fue Aluminio 1100-O.

Restricciones y fuerzas aplicadas

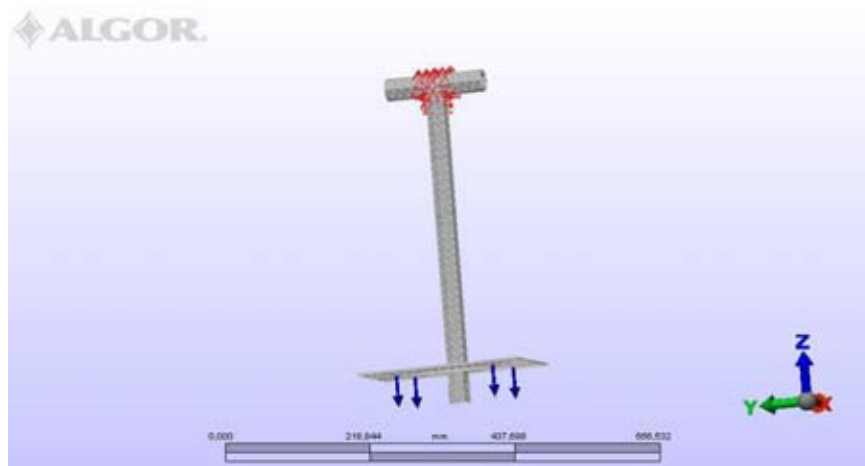


Fig. 4.26: Restricciones y fuerzas aplicadas al elevador

Al igual que en el soporte porta-batería, el peso recae en dos puntos localizados en cada lado del elevador y distribuidos uniformemente (en total, cuatro puntos). Las fuerzas están aplicadas en dirección del eje z, con sentido negativo y con una magnitud de 75N. La restricción se ubicó en la intersección entre los tubos que forman el manubrio ya que ese es el lugar idóneo para sostener el manubrio con una mano.

Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises

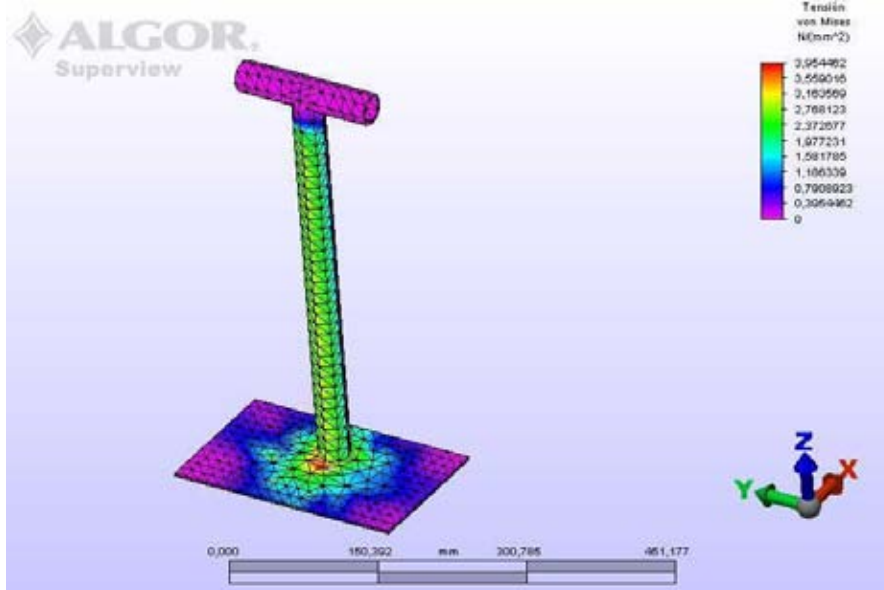


Fig. 4.27: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del manubrio elevador

Nuevamente, el punto más crítico de los resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises fue una unión: esta vez, entre el tubo y el elevador. Los resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises máxima es de 3.95 N/mm², que es menor que el esfuerzo mínimo de ruptura del Aluminio 1100-O.

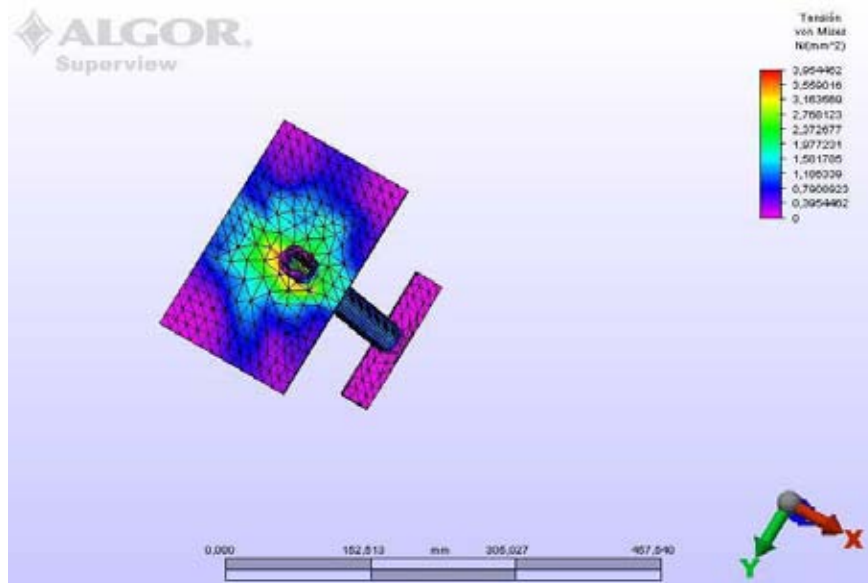


Fig. 4.28: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 2 del manubrio elevador

Desplazamiento

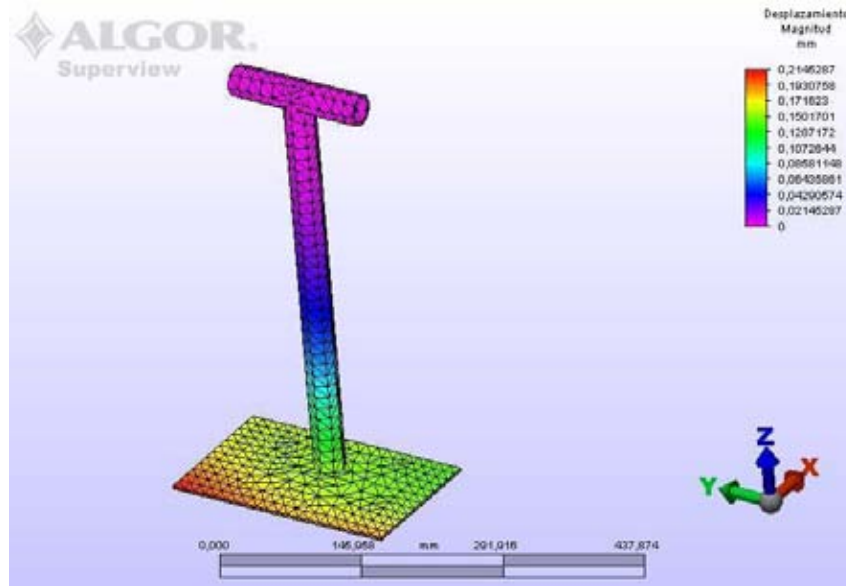


Fig. 4.29: Desplazamiento en vista general I del soporte con porta-baterías

El tubo vertical está localizado excéntricamente con respecto a la lámina del elevador, lo que ocasiona que el desplazamiento máximo se encuentre en la parte de la lámina más alejada de la unión entre ambos componentes. El desplazamiento máximo en esta área es de 0.21 mm, que es muy pequeño. Vale la pena recordar que puesto que en condiciones normales de uso, el manubrio con elevador no será quien soporte todo el peso del dispositivo, sino sólo una parte de él, el diseño de esta pieza es adecuado.

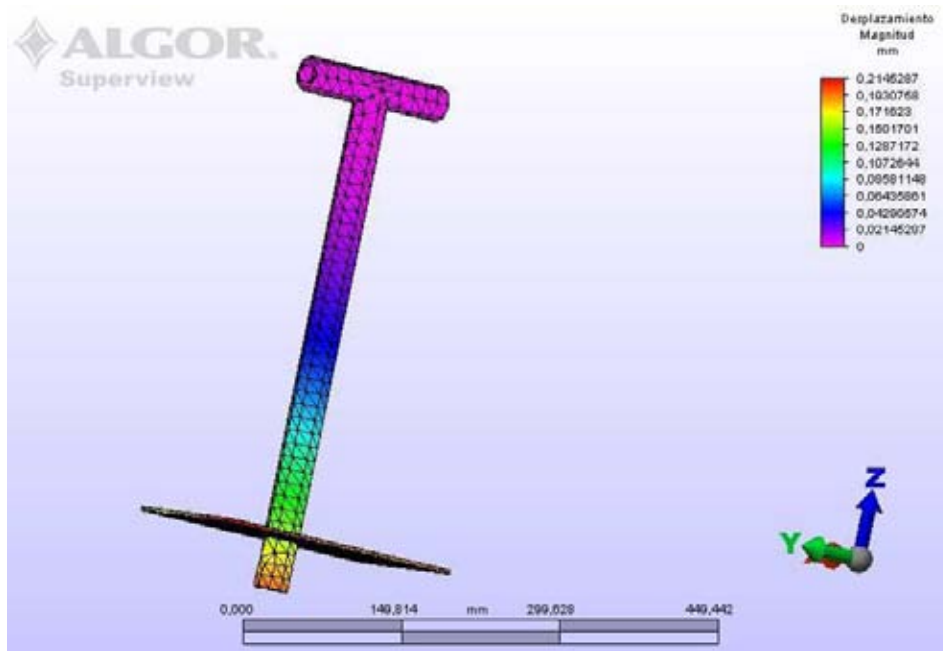


Fig. 4.30: Desplazamiento en vista general I del soporte con porta-baterías

4.5.3 Porta-motores con tubo interior de desplazamiento vertical

Esta estructura también es de interés para el FEA ya que debe soportar el peso de los motores (cada uno de 2.6 kg). Se une con el manubrio con elevador por medio del anillo de presión, permitiendo así el desplazamiento vertical. El porta motores tampoco soporta por completo el peso de los motores ya que las ruedas también contribuyen con este fin. El material que se consideró para el análisis fue Aluminio _____.

Restricciones y fuerzas aplicadas

La restricción se aplicó en la unión de las piezas tubulares. Para cada caja porta-motor se aplicó un peso total de 30N, distribuido en tres puntos ubicados en la base de la caja. En cada punto hay una fuerza con la dirección del eje z, en sentido negativo y con una magnitud de 10 N.

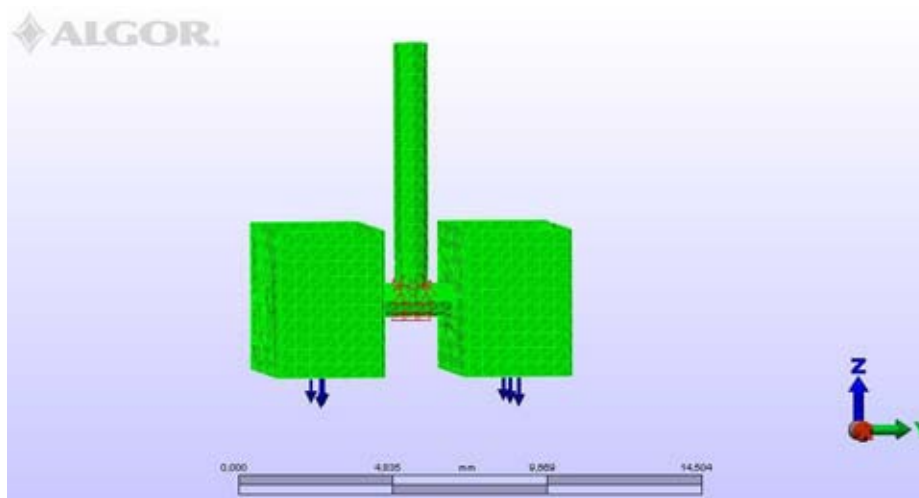


Fig. 4.31: Restricciones y fuerzas aplicadas al porta-motores

Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises

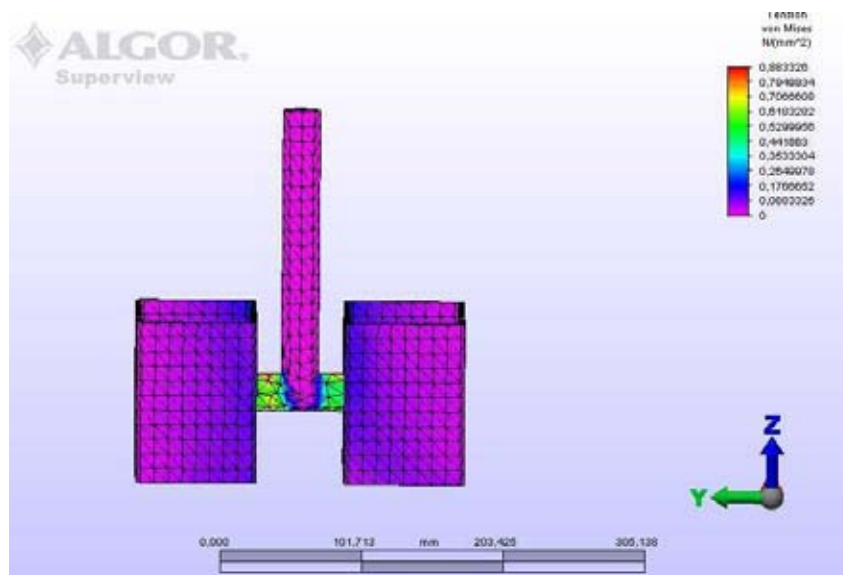


Fig. 4.32: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del porta-motores

Para este cuerpo, en el punto más crítico los resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises es 0.88 N/mm^2 , que es mucho menor que el esfuerzo mínimo de ruptura del Aluminio 1100-O.

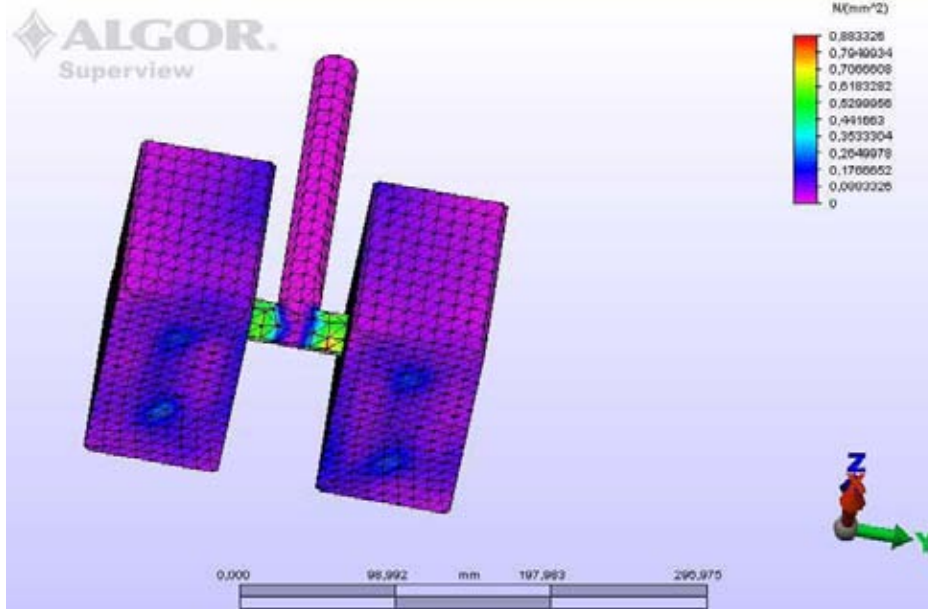


Fig. 4.33: Resultados de esfuerzo según la teoría de Von Mises en vista general 1 del porta-motores

Desplazamiento

El desplazamiento que sufre el cuerpo también es despreciable, pues es únicamente de $7.7 \mu\text{m}$ y como se mencionó anteriormente, las ruedas ayudan a disminuir este efecto.

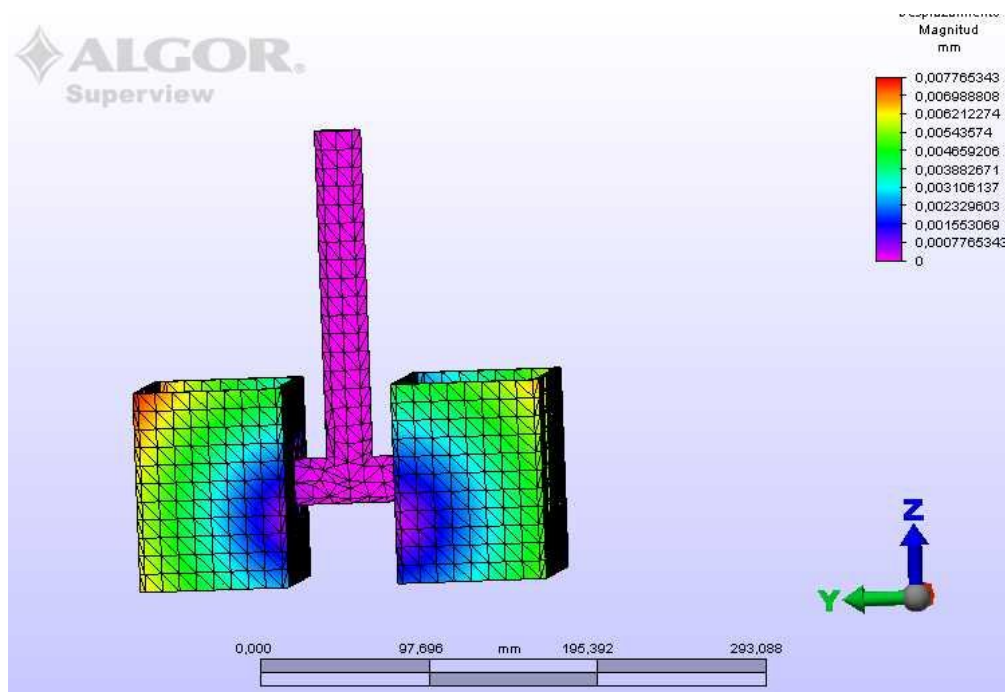


Fig. 4.34: Desplazamiento en vista general 1 del porta-motores

La figura 4.34 muestra varias zonas en rojo, que son las que más se desplazarían. Aquí es importante recalcar que para el FEA se usó el modelo virtual del porta-motores, tal y como sería la pieza real. Pero para el FEA hay detalles que no son necesarios y que es recomendable omitir si no son críticos para el análisis. En este caso, esos detalles son los orificios que permitirán unir el porta-motores con otra pieza. Estos orificios son importantes para el ensamble del dispositivo, pero no lo son para el FEA. En cambio pueden complicar el proceso de FEA y mostrar desplazamientos más grandes de lo que realmente pasaría, como en la figura 4.34.

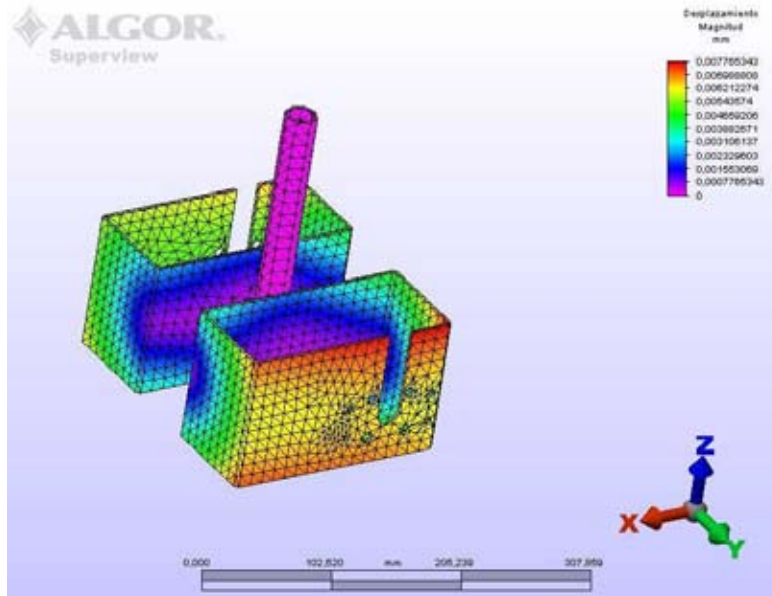


Fig. 4.35: Desplazamiento en vista general 2 del porta-motores

4.6 CONCLUSIONES

Considerando como condiciones máximas de diseño:

- Masa máxima del usuario: $m = 100\text{kg}$
- Pendiente máxima de una rampa para silla de ruedas de 10%

Se diseñó el chasis, los soportes y los sujetadores, empleando materiales comerciales fáciles de obtener. Se generaron planos de cada pieza y se realizó el Análisis por Elementos Finitos. Se comprobó que las piezas pueden soportar las fuerzas a los que serán sometidas sin sufrir deformación.

Por último, las características finales del dispositivo son:

Característica	Descripción
Peso total aproximado	11 kg
Costo total aproximado de los materiales para el prototipo	\$ 15000.00 MXN

CONCLUSIONES

El trabajo de diseño es una labor ardua que requiere la sinergia de varias disciplinas y un conocimiento amplio del tema, que va más allá del dominio de la ingeniería. En el caso particular de esta tesis, el diseño de un dispositivo adaptable para una silla de ruedas exigía considerar aspectos más humanos y sociales. Adentrarse en la problemática y el contexto que la envuelve fue la mejor manera de comprender la situación de las personas discapacitadas, para así, ofrecer una solución práctica a un grupo de personas que históricamente ha sido marginado por la sociedad.

En primer lugar, me esforcé en hacer una investigación sólida del contexto del problema. Investigué el tema desde el punto de vista estadístico, social, médico, económico y legal. El primer obstáculo a vencer fue la falta de información confiable, veraz y oportuna. En ningún medio (electrónico, impreso, auditivo) se cuenta con información suficiente ni adecuada sobre el tema ni para las personas discapacitadas y sus familias ni para los diseñadores de ayudas técnicas. En este último aspecto, una razón importante de la escasez de literatura sobre el diseño especializado es que los fabricantes protegen su información confidencial y, naturalmente, poseen los derechos de propiedad intelectual. Por su parte, los aspectos legales están claramente atrasados con respecto a las necesidades de los discapacitados. Esto se refleja en la falta de infraestructura accesible de que adolecen las ciudades. Sin embargo, el mayor obstáculo es la sociedad, que carece de cultura de respeto hacia los discapacitados. Este trabajo de tesis corresponde a un esfuerzo realizado para contribuir con un grano de arena a mejorar la situación de las personas discapacitadas.

Las hipótesis con que se inició el trabajo fueron:

- 1) El dispositivo que se propone es único e innovador
- 2) La propuesta beneficiará a personas con discapacidad motriz y adultos mayores
- 3) Existe una silla de ruedas estándar (forma y dimensiones)

Los resultados fueron, respectivamente:

- 1) El estudio de mercado (benchmarking) reveló que ya se han diseñado diversos dispositivos adaptables para impulsar una silla de ruedas manual. Sin embargo, la innovación tecnológica del que aquí se propuso es el sistema de acople rápido que no requiere la instalación permanente de ningún componente en la silla ni modificar su estructura.
- 2) Tras analizar el contexto médico y social, se determinó que los grupos de consumidores potenciales del producto pueden ser más amplios de lo que se pensaba. Además de los ancianos y discapacitados motrices, pueden incluirse también:
 - a. Personas temporalmente discapacitadas, para quienes no valdría la pena comprar una silla de ruedas eléctrica o un PAU y que pudieran preferir rentar un dispositivo de impulsión de bajo costo
 - b. Personas con múltiple esclerosis que tienden a perder movilidad de una o ambas piernas
 - c. Usuarios débiles sin fuerza suficiente para impulsar su propia silla de ruedas (ejemplo: mujeres puérperas)
 - d. Usuarios con sobrepeso y que no pueden empujar su propio peso
 - e. Paraplégicos y amputados
 - f. Personas diabéticas que no pueden permitirse tener una herida abierta ocasionada por empujar su silla de ruedas
- 3) Por medio de observación continua y entrevistas con médicos se determinó que existe una forma estándar de silla de ruedas manual, mas no dimensiones estándar (las dimensiones no están normalizadas). Por lo tanto, una característica del dispositivo con gran peso fue la adaptabilidad.

Durante el desarrollo del proyecto un aprendizaje muy importante fue que la elección de componentes no es una tarea sencilla, ya que:

- 1) Para determinar las características técnicas idóneas del componente se requieren conocimientos teóricos vastos y específicos.
- 2) Las características teóricas determinadas durante la fase de diseño no necesariamente, y casi nunca, se encuentran en componentes comerciales. Por lo tanto, la selección del componente implica:
 - a. Búsqueda de proveedores
 - b. Búsqueda de componentes con características cercanas a las deseadas
 - c. Un método de selección de componentes y un buen criterio. Se pueden considerar características técnicas, costos, disponibilidad del material, ubicación del proveedor, riesgos, ventajas, desventajas, etc.
- 3) Los proveedores y fabricantes chinos ofrecen una amplia variedad de productos en todas las ramas. Es sencillo ubicar sus productos pero su desventaja es que rara vez se encuentra toda la información técnica que uno desearía
- 4) Los proveedores estadounidenses ofrecen productos de alta calidad, pero a precios mucho más elevados con respecto a los chinos. Tienen como ventaja proporcionar todas las características técnicas de los productos que ofrecen, incluyendo planos e incluso modelos virtuales.

Técnicamente, las decisiones de diseño más relevantes fueron las siguientes:

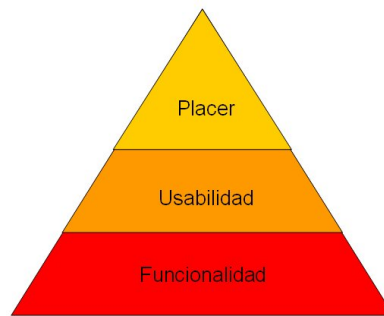
- 1) Se recomienda el uso de llantas neumáticas para disminuir la potencia requerida para impulsar una silla de ruedas ya que presentan resistencia a la rodadura más baja y por amortiguar las imperfecciones del camino
- 2) En general, para los vehículos en desplazamiento, la resistencia por rodadura es mucho mayor que la debida al aire hasta una cierta velocidad, siendo a partir de ésta siempre menor. Esa frontera está alrededor de los 80 km/h. Una silla de ruedas se desplazará sin duda por debajo de esa velocidad, por lo que en la etapa de diseño se consideró que la resistencia del aire es despreciable.

El trabajo de diseño requiere el uso de diversas herramientas, como CAD, catálogos, cálculos y dibujos a mano, libros de texto, apoyo en otras investigaciones y Análisis por Elementos Finitos. Hoy en día, las herramientas de cómputo facilitan mucho el proceso de diseño en comparación con los métodos de prueba y error sobre prototipos que se usaban antes. Así, el FEA es una herramienta de CAE que se ha popularizado por permitir analizar modelos virtuales hechos con CAD antes de que se construyan. De esta manera, se obtienen ahorros significativos de tiempo, esfuerzo y dinero. Sin embargo, cabe mencionar que un inconveniente del FEA es que considera que toda la pieza tiene las mismas propiedades, sin tomar en cuenta los métodos de manufactura a los que la pieza haya sido sometida. Por lo tanto, aunque el FEA es de gran ayuda, hay que estar conscientes de que deben tomarse en cuenta ciertos márgenes de error.

Por otra parte, considero que la idea del dispositivo adaptable para silla de ruedas es viable y que efectivamente aporté propuestas en torno al tema, también estoy consciente de que aún se requiere trabajo a futuro para concluir el diseño del producto. Así, los principales puntos a tratar serían:

- 1) Diseñar e integrar parte eléctrica y de control
- 2) Mejorar estética y crear la identidad del producto por medio de Diseño Industrial

- 3) Manufacturar un prototipo físico y registrar los problemas o dificultades que se presenten
- 4) Realizar las siguientes pruebas:
 - Detección de errores
 - Funcionamiento adecuado, de acuerdo a objetivos de diseño
 - Análisis de posibles usos inadecuados que las personas podrían hacer del dispositivo
 - Evaluación por parte de usuarios (visual y práctica)
 - Evaluación, por medio de observación, de la facilidad de uso y seguridad del dispositivo con usuarios líderes usándolo
- 5) Determinar dimensiones máximas de los obstáculos que el sistema silla-dispositivo puede evadir
- 6) Radio de curvatura mínimo
- 7) Escalar lo más posible en la jerarquía de las necesidades del usuario (Jordan,1999)



El diseño mecánico también es perfectible. Otras líneas de investigación que se proponen son:

- 1) Disminución de las dimensiones del dispositivo
Se puede ofrecer una solución más compacta y ligera usando un hub motor para silla de ruedas. Actualmente el inconveniente es que estos elementos no son muy comunes y tienen un costo elevado. Además sacrificarían por completo la función de adaptabilidad.
- 2) Disminución de costo y peso
Se puede lograr analizando una configuración con un solo motor, que requeriría un elemento transmisor de movimiento hacia las llantas, de tipo par diferencial mecánico o eléctrico.

Finalmente, este trabajo también me dejó aprendizajes personales, dentro de los que destacan:

- 5) En un proyecto, la etapa de investigación es más fuerte durante el inicio del mismo, y aunque es menor en etapas posteriores, nunca termina. Se realiza de manera continua y se hace de manera específica de acuerdo a las necesidades de la etapa del desarrollo donde uno se encuentre
- 6) La planeación y administración de un proyecto permite que éste se desarrolle en tiempo y forma
- 7) Para planear un proyecto se requiere experiencia y autoconocimiento de la forma de trabajo. De esta manera es posible determinar de manera realista en cuánto tiempo se pueden lograr los objetivos propuestos.
- 8) La experiencia permite ahorrar tiempo

- 9) Cada problema que se presenta durante la vida profesional de un ingeniero es diferente, pero el ingeniero debe tener la capacidad de ser autodidacta: aprender y solucionar un problema aunque sea la primera vez que se enfrenta a él.
- 10) Cambió mi visión respecto a los discapacitados: ahora los veo como personas capaces que merecen respeto y deben hacer valer sus derechos

ANEXO 1

Avances a favor de la discapacidad

De manera paralela al desarrollo de este trabajo de tesis, se han observado avances en la sociedad a favor de las personas discapacitadas. Así, algunas entidades gubernamentales han realizado acciones para mejorar la calidad de vida de los discapacitados. Cabe destacar los siguientes hitos:

3 de diciembre de 1982	Aprobación del Programa de Acción Mundial para los Impedidos
10 de junio de 2005	Entrada en vigor de la Ley General de las Personas con Discapacidad CONADIS Consejo Nacional para las Personas con Discapacidad
3 diciembre de 2006	International Day of Disabled Persons: E-Accessibility
3 diciembre de 2007	Día Internacional de las Personas con Discapacidades: Trabajo Digno para Personas con Discapacidad
3 diciembre de 2008	Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad: Dignidad y Justicia para todos
9 de diciembre de 2008	El Presidente de la República anunció que el gobierno federal estaba trabajando en la elaboración de una estrategia nacional para la atención de las personas con discapacidad
16 de febrero de 2009	El jefe de Gobierno del Distrito Federal encabezó la inauguración del Programa de Inclusión de Personas con Discapacidad, que pretende hacer accesible el ciento por ciento de la obra pública nueva en la ciudad (todas las obras deberán ser certificadas por organismos autónomos), colocar cien mil rampas en vías secundarias, entre otras acciones.

En estos actos, el Gobierno ha aceptado que los discapacitados no cuentan con accesibilidad a los servicios más elementales, como el transporte público y oficinas. El primer paso para solucionar un problema es aceptar su existencia, por lo tanto, es posible que poco a poco se vayan viendo más acciones a favor de las personas discapacitadas.

Por lo pronto, se ha anunciado que, como primera medida, se determinará el número de personas discapacitadas y el tipo de discapacidades que presentan a nivel nacional. Los planes del Programa de Inclusión de Personas con Discapacidad incluyen:

- Campañas que promuevan el consumo de ácido fólico durante el embarazo con el fin de evitar malformaciones y enfermedades congénitas que producen discapacidad
- Profesionalización de las personas con discapacidad
- Mejora de la infraestructura de los centros de rehabilitación del DIF
- Organización de mesas regionales de trabajo interdisciplinarias para la integración social de las personas con discapacidad y de sus familias

El objetivo es instaurar una cultura de respeto, vigilancia y promoción de los derechos y las oportunidades de vida plena de las personas con discapacidad. Como parte de la estrategia también se promueve el Concurso Nacional de Tesis sobre la Discapacidad, cuyo objetivo es reconocer los trabajos de investigación encaminados al desarrollo de propuestas para la integración social con discapacidad en México.

ANEXO 2

Análisis por Elementos Finitos

Antecedentes históricos

El periodo clásico de ingeniería se basó en el uso extensivo de pruebas y en el desarrollo y uso de principios fundamentales. En la década de 1940 se desarrollaron métodos numéricos para predecir el comportamiento de estructuras generales. Esos años también atestiguaron el nacimiento de la computación digital. Aunque las computadoras de la época eran primitivas con respecto a los estándares actuales, pavimentaron el camino para las herramientas ingenieriles actuales. En 1943, Richard Courant propuso descomponer un sistema continuo en segmentos triangulares, y en 1960 el Dr. Ray Clough acuñó el término “elemento finito”.

Asimismo, al principio de la década de los 60, un pequeño fabricante de computadoras análogas y consultor para la industria aeroespacial ganó un contrato con la NASA para desarrollar un código de FEA de propósito general. Esta compañía desarrolló lo que ahora se conoce como NASTRAN, cuyo código original contemplaba 68000 grados de libertad. Posteriormente este código estuvo disponible para el público y sentó las bases de los paquetes de FEA que existen hoy en día.

Principio

El FEA se basa en que un cuerpo continuo tiene un número infinito de grados de libertad¹⁷. La discretización lo reemplaza con un sistema que tiene un número finito de grados de libertad posibles para resolver las ecuaciones con métodos numéricos.

La principal consideración en la formulación del elemento finito es que todo lo que hay que saber acerca del comportamiento del elemento se determina por desplazamientos nodales. Tan pronto como se encuentran desplazamientos nodales, se puede calcular el desplazamiento de cualquier punto dentro del elemento finito o a lo largo del borde, usando funciones de interpolación llamadas “funciones de forma”. El número de incógnitas es igual al número de grados de libertad del modelo. El primer paso del FEA es el *Meshing*, que es un proceso de discretización donde el dominio de solución se divide en subdominios más simples: los “elementos finitos”.

El inconveniente del FEA es que la discretización del meshing trae consigo un error de discretización debido a la distorsión del cuerpo al ser mapeado. Por ello, el criterio del ingeniero es fundamental para analizar los resultados obtenidos.

¹⁷ El número de incógnitas es igual al número de grados de libertad del modelo.

ANEXO 3

Información útil

- 8) Programa radiofónico “Entre nos, desde otra perspectiva”
- 9) Libre Acceso, A.C.
- 10) Sitio <http://padresespeciales.com/>
- 11) Norma NORMA Oficial Mexicana NOM-233-SSA1-2003, que establece los requisitos arquitectónicos para facilitar el acceso, tránsito, uso y permanencia de las personas con discapacidad en establecimientos de atención médica ambulatoria y hospitalaria del Sistema Nacional de Salud.
- 12) Ley General de las Personas con Discapacidad
Rehabilitación Internaonal (RI)

GLOSARIO

Acromion: Apófisis del omóplato, con la que se articula la extremidad externa de la clavícula.

Analogía: Relación de semejanza entre dos o más cosas distintas.

Apófisis: Parte saliente de un hueso, que sirve para su articulación o para las inserciones musculares.

Biacromial: Relativo a las dos apófisis acromiales. (cf. acromion)

Benchmarking: Es el estudio de productos existentes que poseen una funcionalidad similar a aquella del producto en desarrollo, o a los sub-problemas en los que está enfocado el equipo.

Calidad de vida:

Cliente:

Concepto: Descripción de la forma, función y características de un producto.

Croquis: Dibujo rápido limitado a los elementos esenciales de un mecanismo con el objeto de presentar la idea de conjunto y de explicar su funcionamiento

Deltoides: Se dice del músculo propio de los mamíferos, de forma triangular, que en el hombre va desde la clavícula al omóplato y cubre la articulación de este con el húmero.

Ergonomía: Estudio de la interacción entre las personas y las máquinas y los factores que afectan dicha interacción. Su propósito es mejorar el desempeño de los sistemas al mejorar la interacción hombre-máquina.

Innovación: Un cambio positivo en el proceso de producción, producto o servicio, u organización, que se traduce en mayor eficiencia, mayor calidad, o mejor desempeño de un proceso, producto o servicio.

Nomenclatura: Lista completa de los elementos que constituyen un conjunto. Su relación con el dibujo está asegurada mediante referencias.

PAU: (Power Add-On Units) Dispositivos montables para motorizar sillas de ruedas manuales

Poplíteo: Pertenece o relativo a la corva. *Músculo poplíteo*.

Producto: Bien material que responde a necesidades específicas del mercado y puede ser producido y vendido en masa

Puerperio: Periodo que sigue al parto.

Usuario final:

Usuario líder: Es quien experimenta necesidades meses o años antes que la mayoría del mercado, y llega a beneficiarse de manera sustancial de una innovación del producto.

TRIZ

BIBLIOGRAFÍA

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Ley para las personas con discapacidad del Distrito Federal

World Health Organization: International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)

<http://www.who.int/classifications/icf/en/index.html>

Convención internacional sobre los derechos de las personas con discapacidad
ONU Nueva York Agosto 2006

http://www.unic.org.ar/pag_esp/esp_discap/archivos/hoja_Informativa.pdf

Mann, W.C. (2005). *Smart technology for aging, disability, and Independence*. United States of America: Wiley-Interscience.

Kroemer, K. H. E. (2006). *“Extra-ordinary” ergonomics*. United States of America: Human Factors and Ergonomics Society.

Decharme, P. (1986). *Mythologie de la Grèce antique (2eme édition)*. France: Ed. Garnier Frères

Chávez, C. (2008, 28 de enero). *México, segundo sitio en sobrepeso y obesidad*. *Gaceta UNAM*, p.30.

Portal mayores (n.d.). *Monográfico sobre México*. Obtenida el 1 de septiembre de 2008 de: <http://www.imsersomayores.csic.es/internacional/iberoamerica/mexico/indicadores.html>

Chairdex (n.d.). *Wheelchair history*. Obtenida el 9 de agosto de 2008 de: <http://www.chairdex.com/history.htm>

Sunrise Medical Company (2008). *Consideraciones biomecánicas*. Obtenido el 11 de agosto de 2008 de: <http://www.imagina.org/archivos/biomecanica.htm#Tipos%20de%20componentes>

Valdez, A. (2004). *Al rescate del Centro Histórico (Distrito Federal)* [versión electrónica]. México Desconocido. Obtenida el 1 de septiembre de 2008 de: [http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/1307-Al-rescate-del-Centro-Hist%F3rico-\(Distrito-Federal\)](http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/1307-Al-rescate-del-Centro-Hist%F3rico-(Distrito-Federal))

Sitio oficial Carlos Slim Helú. (2007). *Fundación Centro Histórico*. Obtenida el 1 de septiembre de 2008 de: <http://www.carlosslim.com/fch.html>

Notimex. (2008). *Detalla GDF inversión para rehabilitar Centro Histórico* [versión electrónica]. El Universal. Obtenida el 1 de septiembre de 2008 de: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/534459.html>

Bridger, R. S. (2003). *Introduction to ergonomics* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis Inc.

Alcántara, L. (2008, 3 de diciembre). *Llaman a prevenir malformaciones*. El Universal, p. F1.

Clark, L. (1997). *Design and testing of a quick-connect wheelchair power add-on unit* [Electronic version]. *Chapter 2: Literature review*, 5-17. url: http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-12898-74432/unrestricted/literature_review.pdf
Date of retrieval: September 9, 2008.

Frank Mobility Systems, Inc. (2008). Obtenido el 17 de septiembre de 2008 de <http://www.frankmobility.com/index.php>

ATEC. (2008). Swiss Trac. Obtenido el 22 de septiembre de 2008 de <http://www.swisstrac.ch/english/swisstrac/index.htm>

DECON (2008). E-Walk. Obtenido el 22 de septiembre de 2008 de <http://www.decon.se/>

Magicwheels Inc. (2008). Obtenido el 22 de septiembre de 2008 de <http://www.magicwheels.com/index.htm>

Drive Medical. (2008). Powerstroll PCWPP004, PCWPP005 y PCWPP006. Obtenido el 30 de septiembre de 2008 de <http://www.drivemedical.co.uk/>

Ulrich, K.T., Eppinger, S.D. (2004). *Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario*. Tercera edición. Mc Graw Hill. México.

DIF es tu familia. (2008). Obtenido el 6 de octubre de 2008 de http://www.dif.df.gob.mx/dif/discapacidad_pob.php

Kurowsky, P. (2004). *Finite element analysis for design engineers*. USA: SAE International.

Adams, V. and Askenazi, A. (1999). *Building better products with FEA*. USA: Onward Press.