



Universidad
Carlos III de Madrid

Ecodiseño de una silla de ruedas a medida.

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Álvar Palencia Diéguez

Tutora: Vanesa Zorrilla Muñoz

Madrid, Septiembre de 2016

ÍNDICE

1.	Índice de ilustraciones.	3
2.	Índice de tablas.	6
3.	Resumen.	7
4.	Introducción.	9
5.	Motivaciones.	11
6.	Objetivos.	13
7.	Antecedentes y características de la silla de ruedas actual.	14
8.	Proceso metodológico.	16
8.1.	Gestión ambiental.	16
8.2.	Planificación del proyecto.	16
8.2.1.	Partes de una silla de ruedas.	16
8.2.2.	Consideraciones de desarrollo.	17
8.2.3.	Estrategia en el ciclo de vida.	18
8.2.4.	Recursos materiales y reutilización.	19
8.3.	Estudio mecánico y de seguridad.	21
8.4.	Ensayos técnicos y funcionales.	23
8.5.	Dimensionado estándar y ergonómico.	25
8.6.	Normativa ISO 14006.	28
8.7.	Ecoetiquetado, certificaciones y ecoindicadores.	28
8.8.	Materiales, tecnología e innovación.	29
8.8.1.	El acero y el aluminio.	29
8.8.2.	El bambú.	32
8.8.3.	El algodón orgánico, látex, viscoelástico y el Nylon.	33
8.8.4.	Otros materiales.	34
9.	Resultados.	37
9.1.	Dimensiones finales y opciones de diseño.	37
9.1.1.	Mediciones del usuario modelo.	37
9.1.2.	Dimensionado en boceto y diseños descartados.	38

9.2. Diseño final.....	40
9.2.1. Chasis.....	40
9.2.2. Silla.....	43
9.2.3. Ruedas.....	44
9.2.4. Apoyabrazos.....	45
9.2.5. Reposapiés.....	47
9.2.6. Piezas de unión.....	48
9.2.7. Frenos y otros accesorios.....	49
9.3. Estudio mecánico y de seguridad.....	52
9.3.1. Proceso iterativo y preparación del programa.....	52
9.3.2. Prueba base.....	54
9.3.3. Pruebas críticas adicionales.....	58
9.4. Cumplimiento de objetivos dimensionales y peso total.....	60
9.5. Fabricación, transporte, montaje y mantenimiento.....	63
9.6. Resumen de medidas para la reducción del impacto ambiental.....	66
10. Estudio económico.....	68
10.1. Costes directos.....	68
10.2. Costes indirectos y precio final del producto.....	72
11. Conclusiones.....	74
12. Futuras ampliaciones.....	75
13. Referencias.....	76
14. Anexos.....	79
14.1. Anexo A.....	79
14.2. Anexo B.....	80

1. Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Prototipo de la silla de rueda en 3D.....	8
Ilustración 2. Huella ecológica mundial desde 1961 a 2010 [4].	11
Ilustración 3. Silla de ruedas eléctrica.	14
Ilustración 4. Silla de ruedas manual.....	14
Ilustración 5. Silla de ruedas rígida y plegable.....	15
Ilustración 6. Ciclo de vida de un producto.....	18
Ilustración 7. Pirámide de jerarquía de impacto ambiental en el fin de ciclo de vida.	19
Ilustración 8. Tuberías de acero inoxidable excedentes.	20
Ilustración 9. Carro de supermercado y bicicleta vieja para reciclaje.	21
Ilustración 10. Dimensiones máximas de la silla de ruedas según UNE 111915 [11].	25
Ilustración 11. Dibujo de las medidas de la tabla 3. Dimensiones ergonómicas [12].	26
Ilustración 12. Posición retrasada del eje.	27
Ilustración 13. Posición adelantada del eje.....	27
Ilustración 14. Posición recomendada del eje.	27
Ilustración 15. Relación entre ISO 14001, ISO 9001, ISO/TR 14062, IEC 62430 e ISO 14006 y las áreas de conocimiento funcionales.....	28
Ilustración 16. Etiqueta de Certificación de ecodiseño en España.	28
Ilustración 17. Comparación del ciclo de vida de materiales metálicos con función estructural [14].....	29
Ilustración 18. Influencia del porcentaje de reciclado en el impacto ambiental [14].	30
Ilustración 19. Techo de bambú de la terminal T4 del aeropuerto Madrid-Barajas.	32
Ilustración 20. EI y ESI de fibras textiles y otros materiales. [19].	33
Ilustración 21.. Dibujos de cubiertas de ruedas de bicicletas.	34
Ilustración 22. Huella de carbono de polímeros comunes [22].	35
Ilustración 23. Bobinas de PLA en diferentes colores.....	36
Ilustración 25. Boceto lateral de la silla de ruedas.	39
Ilustración 24. Boceto frontal de la silla de ruedas.	39
Ilustración 26. Diseño descartado.....	39
Ilustración 27. Plano de la pieza del chasis A.	40

Ilustración 28. Plano de la pieza del chasis B.	41
Ilustración 29. Plano de las piezas del chasis C.	41
Ilustración 30. Plano de las piezas del chasis 7 y 8.	42
Ilustración 31. Plano del asiento.....	43
Ilustración 32. Plano del respaldo.	43
Ilustración 33. Rueda de carro de supermercado.....	44
Ilustración 34. Ruedas de bicicleta de montaña.	44
Ilustración 35. Plano del aro de propulsión.	45
Ilustración 36. Plano de la tabla lateral derecha.	45
Ilustración 37. Plano de la tabla lateral izquierda.....	46
Ilustración 38. Plano de la tabla del reposapiés.....	47
Ilustración 39. Plano de los pernos de unión.	48
Ilustración 40. Plano de las tuercas y arandela.	48
Ilustración 41. Plano de los tapones de los tubos.	49
Ilustración 42. Plano del prototipo de freno alternativo.	50
Ilustración 43. Prototipo de freno en posición activado.	50
Ilustración 44. Prototipo de freno en posición desactivado.....	50
Ilustración 45. Frontal y lateral de la superficie de contacto del freno activado.....	51
Ilustración 46. Freno de zapata estándar.	51
Ilustración 47. Datos físicos del acero inoxidable.....	53
Ilustración 48. Características del mallado en el análisis por elementos finitos.	54
Ilustración 49. Dirección y magnitud de Fuerza 1.....	54
Ilustración 50. Dirección y magnitud de Fuerza 2.....	54
Ilustración 51. Dirección y magnitud de Fuerza 3.....	54
Ilustración 52. Posición de las restricciones fijas de la prueba base.	55
Ilustración 53. Tensión de Von Misses en la prueba base, vista superior55	55
Ilustración 54. Tensión de Von Misses en la prueba base, vista inferior.	56
Ilustración 55. Deformaciones elásticas en la prueba estándar.	56
Ilustración 56. Factor de seguridad en la prueba base.....	57
Ilustración 57. Dirección y magnitud de Fuerza 2 prueba crítica.....	58
Ilustración 58. Factor de seguridad en la prueba crítica 1.	58

Ilustración 59. Dirección y magnitud de la fuerza en la prueba crítica 2.	59
Ilustración 60. restricciones fijas de la prueba crítica 2.	59
Ilustración 61. Factor de seguridad en la prueba crítica 2.	60
Ilustración 62. Lateral proyectado y acotado de la silla de ruedas diseñada en 3D.	61
Ilustración 63. Frontal proyectado y acotado de la silla de ruedas diseñada en 3D.	62
Ilustración 64. Esquema de doblado por arrastre.	63
Ilustración 65. Defectos típicos del doblado de tubos.	63
Ilustración 66. Eje de rueda de bicicleta.	64
Ilustración 67. Herramientas de montaje.	65
Ilustración 68. Diferencias acero frente a aluminio.	66
Ilustración 69. Diferencias de la madera frente al acero.	66

2. Índice de tablas.

Tabla 1. Ensayos técnicos estándar y normativas de aplicación [10].....	24
Tabla 2. Ensayos de carácter funcional [10].....	24
Tabla 3.Recomendaciones dimensionales para una adaptación cómoda y ergonómica en una silla de ruedas [13] [12].	26
Tabla 4. Medidas del usuario final.	37
Tabla 5. Márgenes dimensionales para el diseño de la silla de ruedas.....	38
Tabla 6. Tabla espesores tubería de acero inoxidable ASME B36.19M. [24]	52
Tabla 7.Cálculo coste máximo y mínimo tubos de acero inoxidable.....	69
Tabla 8. Composición, dimensiones y precio proporcionados por el proveedor MOSO.	69
Tabla 9. Cálculo coste de las tablas de 16mm.....	69
Tabla 10. Cálculo coste unitario de las tablas laterales.	70
Tabla 11. Cálculo coste del aceite de teca por unidad de silla de ruedas. [26]	70
Tabla 12. Cálculo coste del PLA.	70
Tabla 13. Cálculo coste de las piezas de unión. [27].....	71
Tabla 14. Coste directo total de la silla de ruedas.	72
Tabla 15. Costes indirectos de máquinas y herramientas de la silla de ruedas.	72
Tabla 16. Precio final de la silla de ruedas.	73

3. Resumen.

En este proyecto se ha elaborado el diseño de una silla de ruedas a medida, en este caso se han tomado las medidas de un usuario concreto. Las dimensiones de este producto han sido determinadas según las recomendaciones funcionales y ergonómicas de distintos organismos, y las normativas específicas sobre las sillas de ruedas.

Como elemento diferenciador, este diseño se ha realizado de acuerdo a la normativa internacional sobre ecodiseño con el fin de minimizar el impacto ambiental del producto. Para ello se han seleccionado los materiales y se ha elaborado una serie de criterios para su desarrollo y producción.

Paralelamente al diseño, se han realizado sucesivos análisis mecánicos simulados con cargas estáticas sobre la estructura ensamblada, de acuerdo a los criterios normativos y a los establecidos en este proyecto.

Finalmente se han estimado los costes directos, y algunos indirectos, para obtener un precio final estimado de la silla de ruedas.

Ecodiseño de una silla de ruedas a medida.



Ilustración 1. Prototipo de la silla de rueda en 3D.

4. Introducción.

La silla de rueda es hoy en día uno de los medios de asistencia más frecuente para mejorar la vida de las personas con discapacidades motoras, tanto por factores accidentales, naturales o por avanzada edad. Gracias a ella el usuario puede disfrutar, en la medida de sus posibilidades, de una mayor facilidad de movimiento y acción. La accesibilidad, la participación en la sociedad, el derecho a una vida digna, y el considerable aumento de productividad son algunos de los principales motivos de su extendido uso a lo largo del tiempo. Para muchos, una silla de ruedas adecuada, bien diseñada y armada puede constituir el primer paso hacia la inclusión e intervención en la sociedad [1].

Desde un punto de vista técnico, la silla de ruedas se ha beneficiado en las últimas décadas de nuevos materiales y tecnologías para el diseño, lo que ha provocado un aumento en su diversidad. En parte, la innovación y los programas informáticos han hecho posible la creación de nuevos modelos y estructuras, mejoras de eficiencia y mayor comodidad. El diseño de silla de ruedas, por tanto, ha estado sujeto a cambios, redefiniciones y nuevas ideas que cubran las necesidades de sus usuarios. Teniendo en cuenta que los discapacitados en todo el mundo se estiman en 785 millones (15,6%) de los cuales 190 millones (3,8%) [2] son personas con una discapacidad grave¹, se puede extrapolar que las necesidades son muy diversas y son una parte importante y cada vez más visible de la sociedad.

En el presente proyecto se va a diseñar una silla de ruedas a medida del usuario final. Este producto, como otros elementos sanitarios, debe cumplir normativas que se detallarán durante el proyecto y que implican una mayor complejidad del mismo. Este reto es aún mayor si se tiene en cuenta factores de ergonomía y mantenimiento, puesto que deben ser altamente confortables para el usuario final y no ser difícil de mantener en buen estado. Como novedad en esta área se añade el factor medioambiental, pues se va a aplicar la normativa de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14006 sobre gestión ambiental que establece las bases del ecodiseño².

1 Todos los discapacitados graves no son necesariamente dependientes de una silla de ruedas, pero muchos leves sí pueden serlo manera temporal. No se ha encontrado ninguna encuesta mundial del número de usuarios de sillas de ruedas de una fuente fiable.

2 Ecodiseño: metodología de integración de aspectos ambientales en el diseño y desarrollo del producto con el objetivo de reducir los impactos ambientales adversos a lo largo del ciclo de vida de un producto (además del resto de factores tradicionales, como estética, funcionalidad, coste, etc.) [3].

La aplicación de esta norma, y otras con objetivos similares, son implementadas cada vez más en los diversos procesos y desarrollos de productos en las empresas, ya que generan un valor añadido que es tenido en cuenta de forma muy positiva por los usuarios. Este valor se ve incrementado por sus beneficios económicos, la sostenibilidad a largo plazo de su fabricación y la optimización de los recursos disponibles. Por ejemplo, las cajas y embalajes de numerosos productos han cambiado sus materiales de plástico por cartón reciclado sin serigrafías contaminantes, las guías o instrucciones en papel se reducen en volumen o se sustituyen por páginas web, etc.

Es un cambio importante, y un ejemplo del giro que dan cada vez más las empresas hacia un mercado sostenible para el planeta. Aparte de ser una fuerte estrategia publicitaria no difumina los efectos positivos que generan estos cambios. Esta tendencia, aunque si es notoria en algunos sectores, en otros no es tan visible o va más ralentizada, tanto por razones tecnológicas, viabilidad económica o práctica o, simplemente, inexistencia de otras opciones para los consumidores.

Para toda esta transformación ha sido necesaria una normativa acorde. En concreto la normativa ISO 14006, titulada: “Sistemas de gestión ambiental: Directrices para la incorporación del ecodiseño”, e implantada desde la iniciativa española y europea con normativa Una Norma Española (UNE)- Norma Europea (EN) 150.301, engloba todos los procesos por los cuales pasa el ciclo de vida de un producto. No solo se limita a su análisis, sino también a su aplicación y a su posterior estudio y consecuencias. Gracias a ella se modifica la forma de organización, pues el diseño y el desarrollo acaban siendo, no solo una sección del proceso, sino parte integral de toda la organización, siendo, por ejemplo, la producción y el servicio postventa también participantes de dicho desarrollo [3].

En resumen, el ecodiseño de una silla de ruedas debe tener en cuenta el medioambiente como elemento importante además de los criterios tradicionales del diseño (estética, mecánica, coste económico, etc.).

5. Motivaciones.

Hoy en día un producto más ecológico atrae en el mercado, puesto que es un factor que empieza a tener relevancia en la decisión de compra; pero existen otras razones que hacen necesario implementar este valor.

Los estudios más recientes sobre la capacidad del planeta para mantener nuestro estilo de vida demuestran que actualmente necesitamos 1,6 planetas como la Tierra para mantenernos [4], y para 2030, si no varía la tendencia, se necesitarán 2 planetas. Estas cifras son el resultado de la suma de todos los usos que le damos a los recursos del planeta, y no se pueden extrapolar a casos concretos. A pesar de ello, y aunque son cifras que pueden parecer alarmistas, dan una idea rápida, sencilla y contundente sobre la necesidad de un cambio productivo global.

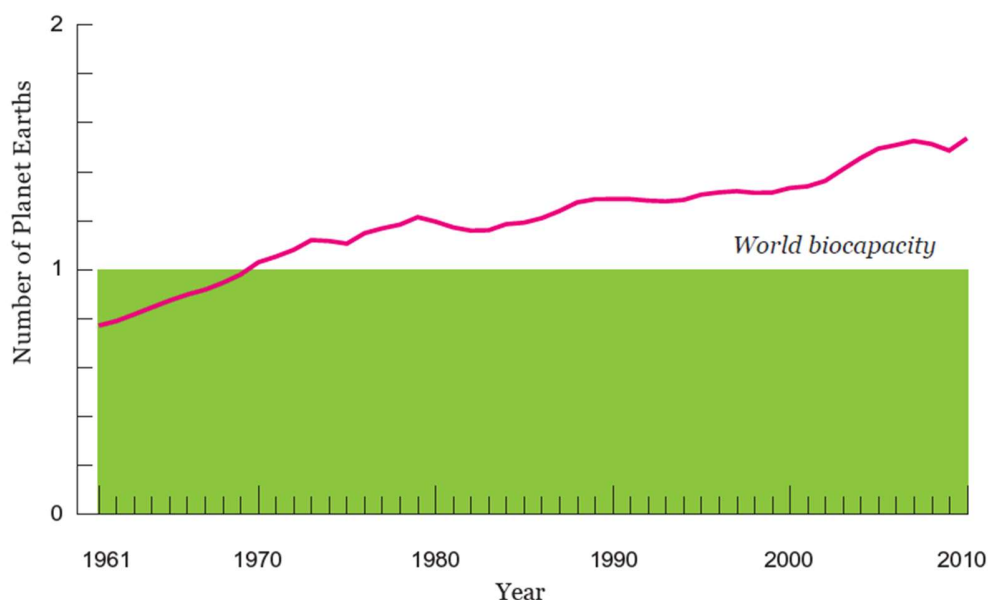


Ilustración 2. Huella ecológica mundial desde 1961 a 2010 [4].

Otros estudios hacen proyecciones futuras sobre que en el año 2050 la población mundial rozará los 10.000 millones [5], por tanto, como medida de prevención, será necesario optimizar cada vez más el uso de los recursos limitados y no renovables disponibles. Por todo ello se vuelve un imperante ético medioambiental para con nuestra descendencia reducir al máximo esa progresión.

El desaprovechamiento de materiales, almacenándolos de forma insostenible o perjudicial para la salud, el consumo sin control, la obsolescencia programada³, la supremacía del beneficio económico en periodos cortos de tiempo en decremento de la sostenibilidad, son algunos ejemplos que afectan directa o indirectamente a la sobreexplotación de los recursos naturales. Además, el rendimiento y la participación del reciclaje, aunque ha experimentado una creciente subida en el último lustro, no alcanza todavía los requisitos mínimos para un abastecimiento global sostenible.

La elección de una silla de ruedas como producto de ecodiseño se basa en la falta de alternativas sostenibles de calidad en esta clase de productos. La experiencia en el entorno social sobre las dificultades que entraña el uso y dependencia de una silla de ruedas es también un factor que genera un interés especial en este producto.

Por último, demostrar que es viable su implantación en productos complejos y con normativas adicionales, como son los productos sanitarios, puede promover y extender el uso generalizado de la normativa ISO 14006.

³ Se extiende a todos los productos en los cuales en su diseño se establece un tiempo de vida útil limitado, con el fin de garantizar la venta de nuevos productos de iguales características.

6. Objetivos.

Dentro de los criterios de este trabajo se incluyen los objetivos para encauzar y delimitar el alcance del proyecto.

- ♦ **Diseñar una silla de ruedas** a medida, de fácil montaje y mantenimiento, con materiales reciclables o reutilizados que minimicen su impacto ambiental.
- ♦ **Realizar un modelo virtual en 3D** de la silla de ruedas, y optimizar su diseño en función de los resultados de un **estudio mecánico** estático iterativo por un análisis de elementos finitos (FEM).
- ♦ **Aplicar la normativa internacional de ecodiseño ISO 14006**, teniendo en cuenta los factores más relevantes del diseño de una silla de ruedas, como la ergonomía, funcionalidad, estética y coste económico.

Para conseguir estos objetivos se debe establecer un plan integral de desarrollo de la silla de ruedas considerando todos los demás factores que afecten al desempeño de la misma. Además de estos objetivos, se establecerá un conjunto de ensayos técnicos y funcionales para un futuro prototipo real de la silla de ruedas. Así mismo, se aplicarán medidas preventivas en mantenimiento, se innovará en el concepto de las sillas de ruedas para establecer nuevas perspectivas del producto, y se tendrá en cuenta el uso de las nuevas tecnologías para aumentar el valor añadido.

Finalmente se realizará un estudio de viabilidad económica sobre el coste total del producto.

En este proyecto se deberá tener en cuenta la disponibilidad de los elementos necesarios, las herramientas y demás recursos establecidos.

Se entiende que el desarrollo de un prototipo real basado en este proyecto se puede extender en complejidad y dificultad durante su elaboración y prueba, por ello este trabajo se debe focalizar exclusivamente en las bases normativas, mecánicas y conceptuales, estableciendo criterios de desarrollo y plasmando en un programa informático de diseño 3D dichos resultados en un prototipo virtual.

7. Antecedentes y características de la silla de ruedas actual.

La concepción de la silla de ruedas no está atribuida oficialmente a ningún inventor. En el siglo VI a.C. se tiene constancia de las primeras concepciones de este objeto en Grecia y en China [6].

La primera silla de ruedas autopropulsable se construyó en 1655. Fue construida por Stephen Farfler, un relojero en situación parapléjica, que utilizó sus conocimientos para lograr que una silla de ruedas pudiese ser movida por quien la utilice.

El concepto más simple de este objeto es la utilización de una silla con 3 o 4 ruedas como base, existiendo distintas formas de propulsión.

En la actualidad hay una infinidad de diseños con múltiples aplicaciones, muy especializadas en el usuario y su estilo de vida. Se puede distinguir entre aquellas enfocadas a la vida diaria, y otras específicas por actividad o superficie, por ejemplo: las deportivas de carreras, impulsadas con los brazos y en posición aerodinámica, o las sillas de ruedas flotantes para poder disfrutar de baños en el mar a la orilla de una playa.

A rasgos generales existen dos tipos según el sistema de propulsión utilizado:

- ♦ **Manuales.** Se determinan por el uso de la fuerza humana para su movimiento. Pueden ser tanto asistidas como autopropulsadas. En el primer caso las más comunes son por empuje desde la parte trasera, y en el segundo mediante el movimiento de las ruedas traseras por las manos del usuario a través de aros de agarre.
- ♦ **Eléctricas.** Estas son todas aquellas en las que la propulsión proviene de un motor eléctrico. Es necesario el uso de baterías y por tanto son mucho más pesadas y caras que las anteriores. Son idóneas para usuarios con incapacidad de autopropulsión que quieran o necesiten independencia.



Ilustración 3. Silla de ruedas eléctrica.



Ilustración 4. Silla de ruedas manual.

Dentro de las manuales existe otro factor que las clasifica según el tipo de chasis. Existen principalmente dos modelos:

- ♦ **Fijas o rígidas.** son aquellas que tienen una estructura firme y sólida. Suelen ser robustas y requieren menos mantenimiento. Por otro lado, son más difíciles de transportar y ocupan mucho espacio si no están siendo utilizadas.
- ♦ **Plegables.** Son aquellas que tienen un sistema que reduce su tamaño significativamente. Suelen ser fáciles de transportar, pero más pesadas que las anteriores para precios y calidades equivalentes, y su eficiencia de impulso es bastante menor, esto se debe a las pérdidas de energía en el movimiento de los puntos de articulación de la estructura.



Ilustración 5. Silla de ruedas rígida y plegable.

Además de estas clasificaciones existen características adicionales, tales como el diámetro de las ruedas delanteras y traseras, el grosor y tipo de cubiertas, la altura e inclinación del respaldo, etc., pero a rasgos generales todas cumplen una función compartida: ayudar a la movilidad de las personas.

8. Proceso metodológico.

En este proyecto se va a utilizar la metodología incluida en la normativa sobre ecodiseño. En dicha normativa existen ciertas recomendaciones y directrices que se tomarán como guía para elaborar el diseño y desarrollo del producto. Las características técnicas y ergonómicas propias de una silla de ruedas son también factores relevantes y tienen su normativa propia en cuanto a dimensionado y seguridad.

8.1. Gestión ambiental.

Según el ecodiseño existen en primer lugar una serie de pautas globales a nivel organizativo y de gestión ambiental de la organización que se deben llevar a cabo. Al ser este un proyecto focalizado en el diseño y no contar con una empresa de producción, la subcontratación de muchos de los servicios será necesaria, y por tanto la aplicación de las pautas a nivel organizativo se ven acotadas sustancialmente.

La falta de proyección de un departamento de calidad que realice un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) obliga a realizar un plan estratégico para la reducción del impacto. Dicho trabajo es implementable, según la normativa, para todo tipo de organizaciones con mayor o menor capacidad de recursos o volúmenes de negocio.

8.2. Planificación del proyecto.

8.2.1. Partes de una silla de ruedas.

En el diseño de una silla de ruedas existen características intrínsecas, como son por ejemplo las ruedas, un asiento, y otras prescindibles, como, las manillas de propulsión trasera, los frenos, etc. Es por ello necesario hacer una lista de los elementos principales de la silla de ruedas para dividir el producto en elementos más simples para facilitar el diseño, sin dejar de tener en cuenta su interrelación.

Esta división constará de las siguientes partes:

- ♦ **Chasis.**
Estructura en el cual se sustentan todos los demás elementos de la silla de ruedas.
- ♦ **Silla.**
Soporte para el usuario consistente en un asiento y un respaldo. En el caso de las sillas de ruedas, este elemento debe tener cierta comodidad.
- ♦ **Ruedas.**
Estas permiten que la silla se desplace por distintos terrenos.
- ♦ **Apoyabrazos.**
Destinado al soporte de los brazos en estado de reposo. También evita que la ropa interfiera en el eje y radios de las ruedas traseras, y facilita las transferencias y los cambios posturales
- ♦ **Reposapiés.**
Soporta el peso de parte de las piernas, mantiene los pies en reposo y en correcta posición, y equilibra las cargas que soporta el asiento en los muslos y glúteos.
- ♦ **Frenos de estacionamiento.**
Facilitan las transferencias y permiten fijar la posición si se requiere. No son obligatorios, pero son un elemento fundamental para casi todos los usuarios.
- ♦ **Elementos adicionales.**
Piezas de unión, acolchados especiales, elementos estéticos etc. Existen multitud de accesorios en este segmento con las más variadas funciones.

8.2.2. Consideraciones de desarrollo.

El montaje de la silla de ruedas deberá ser fácil sin requerir herramientas complejas ni maquinas especiales, puesto que se prevé que sea posible realizarlo en el domicilio del usuario final. Como consecuencia el producto será enviado de una forma compacta y por tanto el impacto ambiental en el transporte será menor.

El mantenimiento correrá a cargo de la organización haciéndose cargo de forma integral y garantizando la optimización de las entradas y salidas de recursos, y con ello el reciclaje, reacondicionamiento y tiempo de vida útil se verán incrementados.

La fabricación con materiales locales puede reducir el coste y garantizar que la silla de ruedas está en consonancia con el contexto ambiental ya que “un gran número de sillas de ruedas de países de ingreso bajo y mediano, donadas por la comunidad internacional sin los servicios correspondientes, son rechazadas debido a que no son las adecuadas para el usuario en su ambiente.” P. 133 [2]. Es por ello que se usarán, cuando sea viable, materiales reciclables procedentes de fuentes cercanas a la zona de destino del usuario.

También se investigará la posibilidad de realizar ciertas piezas gracias a la tecnología de las impresoras 3D, ya que esta elimina una cantidad importante de transporte de materiales y tiene múltiples beneficios, como la posibilidad de modificación de las piezas, la reducción de costes y la producción unidad a unidad según demanda, lo que aumenta su sostenibilidad. Esta apuesta por nuevas tecnologías puede aportar un valor añadido y un incremento en reducción de impacto ambiental, costes totales y disponibilidad global.

8.2.3. Estrategia en el ciclo de vida.

La definición de ciclo de vida establece el estudio del tiempo requerido desde la obtención de la materia prima para su producción hasta su reciclaje y/o desecho como producto no útil, con excepción de los productos sin fin, aquellos que por sus características no se reciclan ni se desechan, únicamente se usan.

La definición de ese tiempo depende tanto del producto como del objetivo de dicho estudio. En este proyecto la silla de ruedas propuesta debe tener un ciclo de vida corto y tiempo de vida útil largo.

La eliminación del producto diseñado deberá ser aprovechado para fabricar otros equivalentes o para la reparación o creación de nuevos. Es por tanto objetivo de este proyecto cerrar al máximo el ciclo, minimizando así las entradas y salidas de material.

Para ello se ha decidido minimizar la variedad de piezas a producir, es decir, deben ser piezas separables e intercambiables, para que sean reutilizadas o sustituidas por otras que estaban en una posición diferente. Esto provoca que el reciclaje de la silla de ruedas, al final de

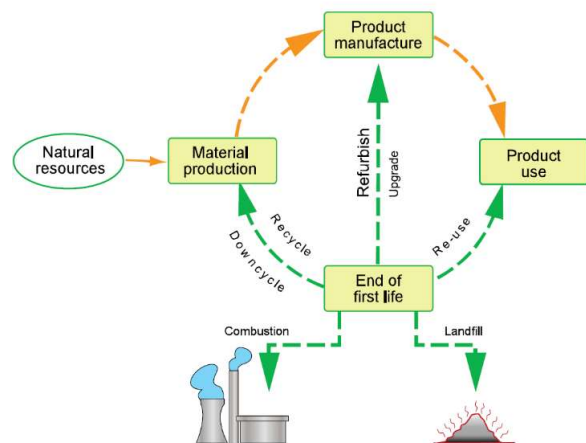


Ilustración 6. Ciclo de vida de un producto.

su ciclo de vida, pueda ser dividida en elementos simples sin dificultad. Además, producirá un aumento considerable en tiempo de vida útil, pues la sustitución de piezas será mucho más fácil a nivel productivo y se reducirán las necesidades de energía y maquinaria [7].

En la actualidad las estructuras de las sillas de ruedas más comunes se realizan en aluminio o acero, pero también se fabrican de fibra de carbono o fibra de vidrio. Otros materiales también son el nylon, cauchos y diversos plásticos, como el policarbono y el ABS.

Estos materiales pueden tener un impacto mayor o menor en función de qué consideraciones se tengan en cuenta de cara a su impacto ambiental; pero en general no se han encontrado ofertas de calidad que incluyan factores ecológicos, más allá de prototipos poco estéticos y prácticos.

8.2.4. Recursos materiales y reutilización.

El principio de jerarquía de residuos es priorizar estrategias de final de ciclo de vida hacia la parte superior, tales como la reducción y reutilización, ya que ayudan a retener el valor y la calidad de los materiales, frente a la combustión y el desecho en vertederos, donde se pierde dicho valor [7].

Es importante tener en cuenta que el enfoque apropiado de la estrategia de ciclo de vida para un conjunto no está determinado simplemente por el final del propósito de vida de las partes constituyentes. Es decir, no se debe únicamente pensar que la vida de un producto termina en cuanto acaba su tiempo de vida útil como tal, sino como un conjunto de piezas y materiales, y, por lo tanto, también dependerá esa estrategia de factores tales como los métodos utilizados para unir materiales, la estructura del producto y la necesidad de ciertas piezas a tratar por separado para cumplir con los requisitos legales. Por ejemplo, incluso si todas las partes de un producto se consideran como reciclables, esto no significa necesariamente siempre que el conjunto pueda ser reciclado.

En primer lugar, el cumplimiento de cualquier fase del proyecto debe tener como meta minimizar el impacto ambiental de todas las fases de su ciclo de vida, e incluir funcionalidad, atractivo estético y precio asequible.



Ilustración 7. Pirámide de jerarquía de impacto ambiental en el fin de ciclo de vida.

El criterio a seguir será la de eliminar, en la medida de lo técnicamente posible, el uso de materiales nuevos no renovables o no reciclables, y evaluar comparativamente su impacto ambiental. La reutilización de productos es un valor de sostenibilidad más favorable que el mismo reciclaje [7].

El elemento estructural principal de las llantas de ruedas generalmente son tubos metálicos. Se propone que sean reutilizables o nuevos, procedentes de excedente en obras de construcciones. Estos excedentes suelen revenderse como material usado y en muchos casos acaban siendo redirigidos a las plantas de reciclaje, pues son un reingreso económico que se tiene en cuenta en la gestión de los proyectos.



Ilustración 8. Tuberías de acero inoxidable excedentes.

Sin embargo, dadas las estrictas normas de calidad, es posible que esta adquisición sea compleja; por tanto, se optará alternativamente por empresas productoras que garanticen su procedencia a partir de materiales reciclados.

Otro elemento que se reutilizará serán las ruedas de bicicleta y las ruedas de carros de supermercado desechadas. Solo en lo que va de año 2016 se han producido más de 100 millones de bicicletas nuevas [8], lo que supone una cantidad inmensa de residuos al finalizar su ciclo de vida. Las ruedas de estas suelen tener diámetros iguales o similares a los utilizados generalmente en las sillas de ruedas, y por tanto son un valor muy importante y básico para disponer de una silla de ruedas manual autopropulsable.

Las ruedas de los carros de supermercado son menos fáciles de obtener, pues son productos que se espera de ellos un tiempo de vida útil muy alto y suelen tener un plan de reutilización y reciclaje. A pesar de ello se procurará obtenerlo de forma constante a través de las propias plantas de reciclaje o las cadenas de supermercado. Para prevenir un posible fallo de abastecimiento de este producto se estimará también la compra de ruedas nuevas pequeñas.



Ilustración 9. Carro de supermercado y bicicleta vieja para reciclaje.

Como paso previo a la recogida de los materiales a reutilizar se deberá realizar una inspección para observar posibles deterioros que no sean posibles reparar, como oxidación profunda o deformidad excesiva, en cuyo caso se descartarán y se procederá a su reciclaje final.

Una vez seleccionadas, se deberán limpiar y reparar si es necesario. La limpieza puede realizarse con baños de agua caliente y productos naturales de limpieza y, en caso necesario, agentes químicos cuyo impacto ambiental debe ser evaluado.

8.3. Estudio mecánico y de seguridad.

El estudio mecánico se realizará con el programa de Autodesk Inventor 2016 en su versión para estudiantes, el cual incluye simulación de tensiones por análisis de elementos finitos (FEA) con un motor de tecnología ANSYS. La malla generada en este análisis se deberá ajustar con mayor detalle de las zonas más sensibles a los valores propuestos.

La resistencia de una silla de ruedas depende del usuario, en este caso el usuario final es un hombre adulto de aproximadamente 83kg de peso y 180cm de altura.

Las cargas máximas estáticas que debe soportar una silla de ruedas, por lo general suelen estar entre el mínimo normativo de 100kg hasta los 180 kg para los modelos estándar. En este proyecto se propone una carga máxima establecida según la normativa ISO 7176 para usuarios de pesos inferiores a 100kg. La silla por tanto deberá soportar una carga máxima total de 1000N sobre el asiento y el respaldo con un maniquí especialmente diseñado para ello.

Para evaluar esta carga máxima se realizará una prueba base en la que se evaluará la carga máxima de **1000N sobre el asiento**, y una carga del 20% de esta carga, es decir, **200N, sobre el respaldo** en dirección normal a su superficie. Adicionalmente se añadirá una carga del 50% de la carga máxima de la normativa, un total de **500N, sobre el reposapiés**, ya que este será fijo y por precaución puede sufrir grandes cargas.

Como prueba adicional también se evaluarán otros límites que alcancen un factor de seguridad crítico de 1 para así tener datos más precisos del límite tensional elástico de la estructura. En el caso de realizar pruebas estructurales de empuje horizontal esta deberá ser

superior al doble de la fuerza de empuje máxima establecida en la normativa UNE-EN 12183. En esta norma la situación más restrictiva es de 80N, por lo tanto, deberá soportar un mínimo de 160N de empuje horizontal [9].

Para optimizar el diseño se realizará el estudio en función a los siguientes valores:

- ♦ **Tensión de Von Misses:** Tensión de los materiales bajo efectos de fuerzas constantes aplicadas sobre ellos. Se usará para determinar las zonas críticas que soportan mayor tensión y rediseñar aquellos puntos débiles que requieran mayor resistencia.
- ♦ **Desplazamiento:** Máximos desplazamientos bajo tensión que se producen en el modelo en las 3 coordenadas geométricas. Servirá para localizar los puntos que requieran mayor apoyo estructural.
- ♦ **Factor de seguridad** (previamente estableciendo como unidad el límite elástico): Formulado automáticamente por el programa Autodesk Inventor, evalúa la fiabilidad del diseño en cuanto a fallos estructurales. El límite inferior establecido en este proyecto será 1,75.

Para que el estudio sea realista en cuanto a los materiales reutilizados disponibles variaremos el diámetro externo e interno de los tubos en función a la norma American National Standards Institute (ANSI)/American Society of Mechanical Engineers (ASME), y las dimensiones del resto de materiales en función de los disponibles por los fabricantes. Las normas ANSI/ASME no son las únicas que se utilizan para el dimensionado de tubos y tuberías, pero si es una de las más extendidas entre algunas de las grandes compañías de construcción españolas.

Es posible que una carga repetida tenga como resultado una rotura por fatiga, pero la licencia obtenida de Inventor no es capaz de simular dichas cargas y el objetivo del proyecto se limita exclusivamente a las estáticas. Se deberá estudiar este fenómeno en futuras ampliaciones para continuar optimizando las dimensiones del prototipo.

Para crear y estudiar una simulación en Inventor seguiremos los siguientes pasos:

- ♦ Crear las piezas sólidas de forma individual y aislada.
- ♦ Ensamblar todos los componentes y verificar que no hay movimientos relativos.
- ♦ Crear restricciones de movimiento y puntos de apoyo.
- ♦ Crear las condiciones de carga del entorno para simular la realidad.
- ♦ Analizar los resultados.

8.4. Ensayos técnicos y funcionales.

Este proyecto se limita al estudio del prototipo virtual, pero en previsión de una ampliación del mismo, este deberá adaptarse las normativas internacionales y españolas equivalentes por razones de cercanía geográfica. Esta decisión es de carácter preventivo ya que, según el ecodiseño, se debe tener en cuenta este aspecto.

Deberá realizarse las siguientes pruebas una vez sea fabricado el prototipo real y se tomarán como referencian para una evaluación y rediseño del mismo.

La fuente de estas medidas es el Servicio de Evaluación de Sillas de Ruedas (SESIR) que realizan en el Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo y que fueron preparadas junto al Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).

♦ Ensayos técnicos.

Existe una serie de pruebas técnicas que deberá aprobar el prototipo real. Estas están directamente vinculadas con las normativas ISO y UNE-EN correspondientes.

Como la silla de ruedas planteada se diseña a medida del usuario final no es necesario cumplir todos los requisitos normativos. Sin embargo, se han seleccionado aquellos criterios que proporcionan seguridad y se pueden realizar en la misma.

Ensayos técnicos y normas de aplicación		
Objeto del ensayo	Descripción del ensayo	Normativa que aplica
Preparación de la silla	Se configuran la silla y los maniqués correspondientes para la realización de los ensayos.	ISO 7176-22
Dimensiones máximas	Se realiza una medición de las dimensiones máximas de la silla de ruedas.	UNE-EN 111915
Estabilidad estática	Se determinan los ángulos de vuelco en diferentes orientaciones.	UNE-EN12183
Fuerza de empuje	Se determina la fuerza mínima necesario para mantener empujado por los mangos de empuje la silla de ruedas a una velocidad constante de 1m/s.	UNE-EN 12183
Características de rodadura	Se calcula la desviación de la silla de ruedas con respecto a una línea teórica de progresión en recto	UNE-EN12183
Efectividad de los frenos	Se determina la efectividad de los frenos de estacionamiento con las palancas ajustadas a un límite de fuerza estandarizada.	UNE-EN12183
Resistencia estática e impactos	Se determina la resistencia a cargas de tracción y de compresión, así como a impactos en puntos críticos producidos con péndulos normalizados.	UNE-EN12183

Fatiga de rodillos	Se simulan las condiciones de uso de la silla de ruedas en un doble rodillo que hace girar las ruedas a una velocidad constante y predeterminada, golpeándolas con unos listones solidarios a la superficie de los rodillos.	UNE-EN12183
Fatiga a caídas	Se simulan las condiciones de uso de la silla de ruedas haciéndola caer desde una altura determinada	UNE-EN12183
Fatiga de las palancas de freno	Se simula el uso continuado del mecanismo de activación del freno.	UNE-EN12183

Tabla 1. Ensayos técnicos estándar y normativas de aplicación [10].

♦ **Ensayos funcionales.**

Otro tipo de ensayos son los funcionales. Como en el caso de los ensayos técnicos, se deberán llevar a cabo con el prototipo realizado junto con un equipo de entre 3 y 5 usuarios experimentados con el uso de sillas de ruedas.

Como las características dimensionales son variables y están adaptadas a las medidas que cada cliente proporcione, estos ensayos deberán realizarse junto al usuario final, incluso si este no tiene experiencia en el uso de sillas de ruedas.

Ensayos funcionales	
Objeto del ensayo	Descripción del ensayo
Maniobrabilidad	Capacidad que el usuario tiene de maniobrar con la silla en distintas situaciones, tanto al aire libre como en actividades de la vida diaria.
Estabilidad	Definida como la estabilidad que el usuario tiene durante el manejo de la silla de ruedas, obtenida por la interacción entre el usuario y la silla, condicionada por los restos motores del usuario.
Comodidad	La sensación percibida por el usuario durante el uso normal de la silla, tanto al aire libre como en actividades de la vida diaria.
Facilidad de propulsión	Se entiende como el grado de fatiga al propulsar la silla de ruedas, en distintas situaciones, valorándose tanto subjetiva como objetivamente mediante el índice de coste fisiológico, el tiempo de ejecución y la velocidad media.
Facilidad en transferencia	Se entiende como el grado de comodidad que el usuario percibe al realizar las transferencias.

Tabla 2. Ensayos de carácter funcional [10].

8.5. Dimensionado estándar y ergonómico.

Para asegurar que las dimensiones máximas de diseño son compatibles con las normativas de edificación UNE-ISO 21542 sobre Accesibilidad del entorno edificado, adecuaremos las dimensiones máximas a las establecidas por la normativa UNE 111915 (idéntica a la ISO 7193) para las dimensiones máximas de una silla de ruedas estándar. Esto asegura que el usuario final de la silla de ruedas sea capaz de moverse sin problemas en aquellos espacios o edificaciones que hayan sido planteadas según dicha normativa de accesibilidad.

- ♦ **Ancho máximo, l:** 700mm
- ♦ **Largo máximo, b:** 1200mm
- ♦ **Altura máxima, h:** 1090mm

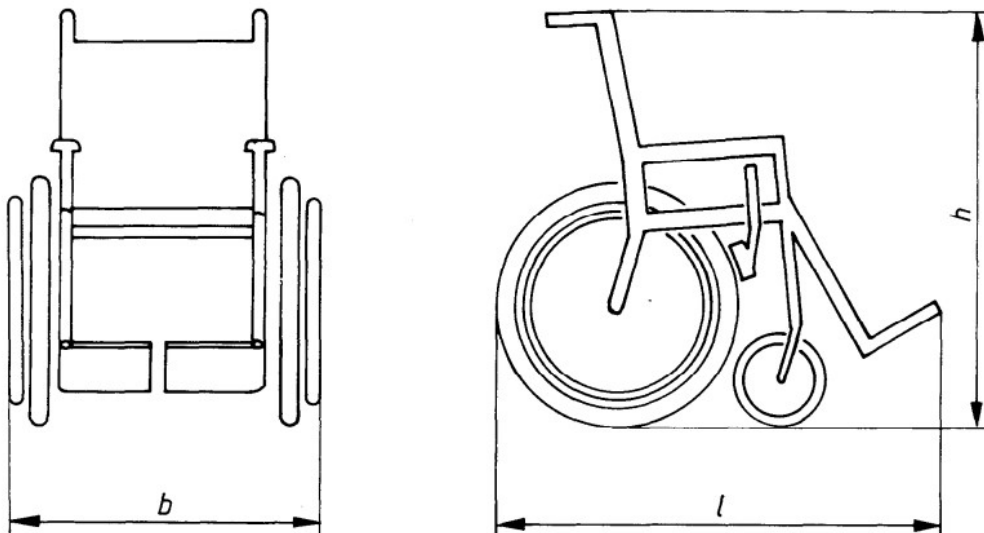


Ilustración 10. Dimensiones máximas de la silla de ruedas según UNE 111915 [11].

Las dimensiones generales de las sillas de ruedas son por lo general muy variadas, pero en este proyecto se tomarán aquellas a medida del usuario que se adapten según criterios ergonómicos y recomendaciones que establece el Centro Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas (CEAPAT), la Confederación Coordinadora Estatal de Minusválidos Físicos de España. (CCEMFE) y la Confederación Española de Personas con Discapacidad Física y orgánica (COCEMFE) junto al IBV.

La información que aportan estas instituciones aparecen resumidas en la siguiente tabla e ilustración [12] [13].

Posición	Medida	Descripción
A	Holgura del asiento	Añadir 2.5 cm entre los muslos y el lateral de la silla. También 2.5 cm entre muslos y reposabrazos. Si se utiliza ropa muy ancha es necesario dejar más espacio.
B	Borde delantero del asiento	Entre 3 y 5 cm entre el asiento y la parte posterior de la rodilla.
C	Inclinación respaldo-asiento	Entre 100° y 110° dependiendo de la actividad. Para que el centro de gravedad del tronco superior no genere posturas incorrectas ni problemas lumbares a largo plazo. En caso de que el usuario no tenga discapacidad motora inferior, la posición ergonómica es de 90°.
D	Ángulo entre brazo y antebrazo	Aproximadamente 120° con la mano agarrando la parte más alta del aro propulsor o también alcanzar con los dedos los ejes de las ruedas traseras en una posición relajada
E	Inclinación del asiento	Entre 1° y 4° hacia atrás; es importante evitar el deslizamiento hacia delante y que no haya mucha presión sobre el hueso sacro.
F	Altura del respaldo	Añadir 2.5 cm por debajo de la escápula; el respaldo no debe interferir al mover el brazo hacia atrás; para las personas con lesiones recientes o enfermedades degenerativas son más adecuados respaldos completos de la espalda o incluso con reposacabezas en caso necesario.
G	Altura del reposabrazos	Añadir 2 cm por encima del codo con el brazo extendido
H	Altura del reposapiés	Como mínimo 5 cm, pero se recomienda entre 10 y 15 cm para evitar tropiezos. Hay que evitar que el pie se deslice entre los reposapiés o hacia atrás.

Tabla 3. Recomendaciones dimensionales para una adaptación cómoda y ergonómica en una silla de ruedas [13] [12].

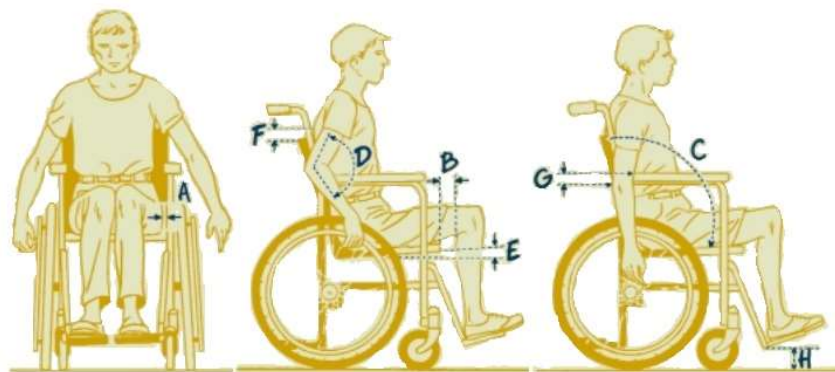


Ilustración 11. Dibujo de las medidas de la tabla 3. Dimensiones ergonómicas [12].

Otras recomendaciones importantes de diseño que se deberán tomar en cuenta son:

- ♦ La posición del eje de la rueda trasera debe estar alineada verticalmente con el punto más profundo del asiento en el cual comienza el respaldo. Esta medida optimiza la estabilidad de la silla de ruedas con el usuario. Ponerlo más atrás implica mayor estabilidad, pero dificulta el autopropulsado, y ponerla más hacia delante aumenta demasiado las probabilidades de vuelco en rampas pronunciadas.



Ilustración 13. Posición adelantada del eje.

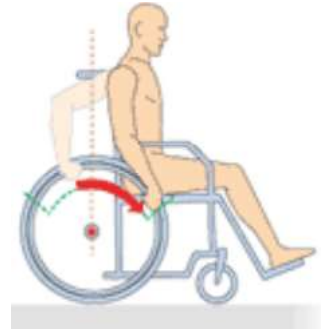


Ilustración 12. Posición retrasada del eje.



Ilustración 14. Posición recomendada del eje.

- ♦ El ángulo de las rodillas no será nunca inferior a 90° para sillas de ruedas no deportivas. Esto impide molestias en las rodillas debidas a exceso de flexión.

Además, en este proyecto se tendrán en cuenta otras recomendaciones de diseño de menor calado establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en materia de fabricación de sillas de ruedas [1].

8.6. Normativa ISO 14006.

En 2003 la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) aprobó la primera norma certificable sobre ecodiseño UNE 150301 “Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño”. En ella se describen los requisitos y características que se deben aplicar al sistema. En el año 2008, la ISO inició la creación de una nueva norma internacional para ecodiseño basada en la UNE 150301. Y en 2011 se publica la versión definitiva de esta norma, la ISO 14006.

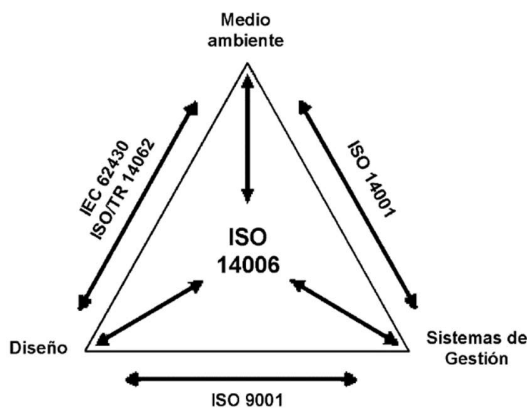


Ilustración 15. Relación entre ISO 14001, ISO 9001, ISO/TR 14062, IEC 62430 e ISO 14006 y las áreas de conocimiento funcionales.

Esta normativa tiene una relación muy estrecha con otras normativas, como son la ISO 9001 y la ISO 14001.

La normativa ISO 14006 afecta a todo el ciclo de vida del producto, es decir, es una forma de previsión de todos los factores que van a determinar el valor añadido del producto desde una perspectiva de diseño y desarrollo, y teniendo en cuenta siempre el impacto ambiental.

8.7. Ecoetiquetado, certificaciones y ecoindicadores.

La normativa de ecodiseño no se propone como un medio para ecoetiquetado de productos. Es una normativa focalizada en la gestión, y propone una serie de criterios para proceder al diseño y desarrollo de un producto teniendo en cuenta el medioambiente y los diversos impactos que este pueda tener. Como se ha definido anteriormente, es una metodología para el diseño en el proceso de creación de un producto.

El ecoetiquetado es sin duda uno de los recursos imprescindibles para la diferenciación comercial y acercar al cliente final el valor añadido del producto. Es por ello que se debe tener en cuenta en el proceso de compra de materias primas las certificaciones que disponga cada proveedor [3].



Ilustración 16. Etiqueta de Certificación de ecodiseño en España.

Los ecoindicadores sirven para distinguir características de impacto ambiental y de sostenibilidad entre distintos materiales o procesos. Estos ofrecen una base estandarizada en la cual evaluar correctamente cada material seleccionado en este proyecto.

8.8. Materiales, tecnología e innovación.

Los materiales principales más comunes que se usan en la fabricación de las sillas de ruedas son el acero y el aluminio. Otros materiales, como la fibra de carbono, se descartan por su dificultad de mecanizado, reciclado y toxicidad, aun así, no debe cerrarse la posibilidad a nuevas tecnologías y desarrollos que disminuyan estos efectos.

8.8.1. El acero y el aluminio.

La consideración de la durabilidad de las estructuras de acero y sus componentes tiene importantes consecuencias económicas, ambientales y sociales; algunas de ellas son menos evidentes que otras. En ambos materiales el mayor impacto ambiental se produce en la fabricación del material, con una diferencia cercana al doble según el Eco-Indicador 99⁴.

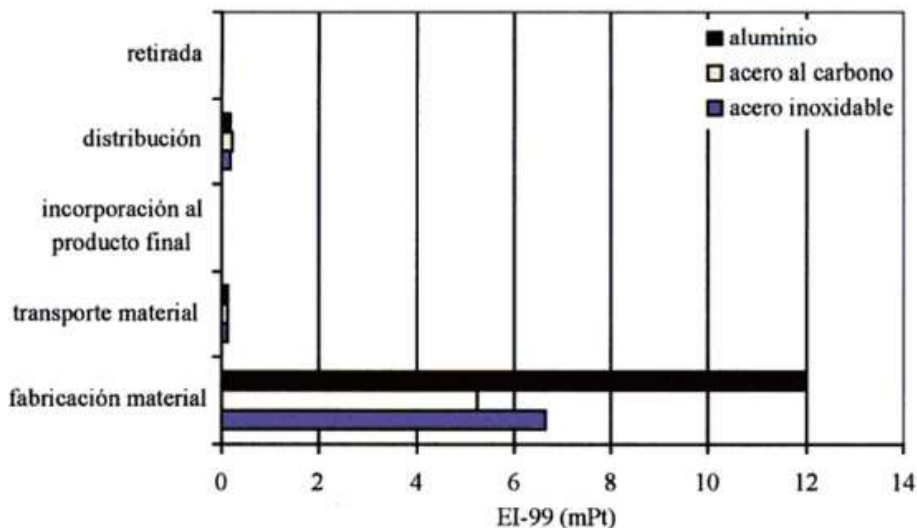


Ilustración 17. Comparación del ciclo de vida de materiales metálicos con función estructural [14].

El acero es un producto que actualmente se llega a vender de procedencia reciclada entre un 75 y 95% [15]. De este material se puede aprovechar el 100% del mismo para su reciclaje, al

⁴ Es un método de medición de daños orientado al ciclo de vida del producto en un sentido de sustentabilidad, ofrece una manera de medir los impactos ambientales y muestra el resultado final en una calificación final.

igual que en el caso del aluminio. En este último solo es necesario en su reciclado el 5% de la energía que se utiliza en su producción a partir del mineral (bauxita), ya que en la extracción de la materia prima para elaborar aluminio la demanda energética total es realmente alta, superando el doble de la requerida para acero [16].

El impacto ambiental que genera el aluminio entre el fundido de nuevo material y de procedencia reciclada es muy dispar y esto genera que a medida que aumentamos el porcentaje de aluminio reciclado este disminuye sus emisiones de manera más pronunciada que el acero. Su reciclaje en la industria es todavía menor, pero si se comparan los balances del anterior Eco-indicador 99 y el porcentaje de producto reciclado contenido, se observa que a partir de un 70% aproximadamente el aluminio tiene un impacto menor según este indicador.

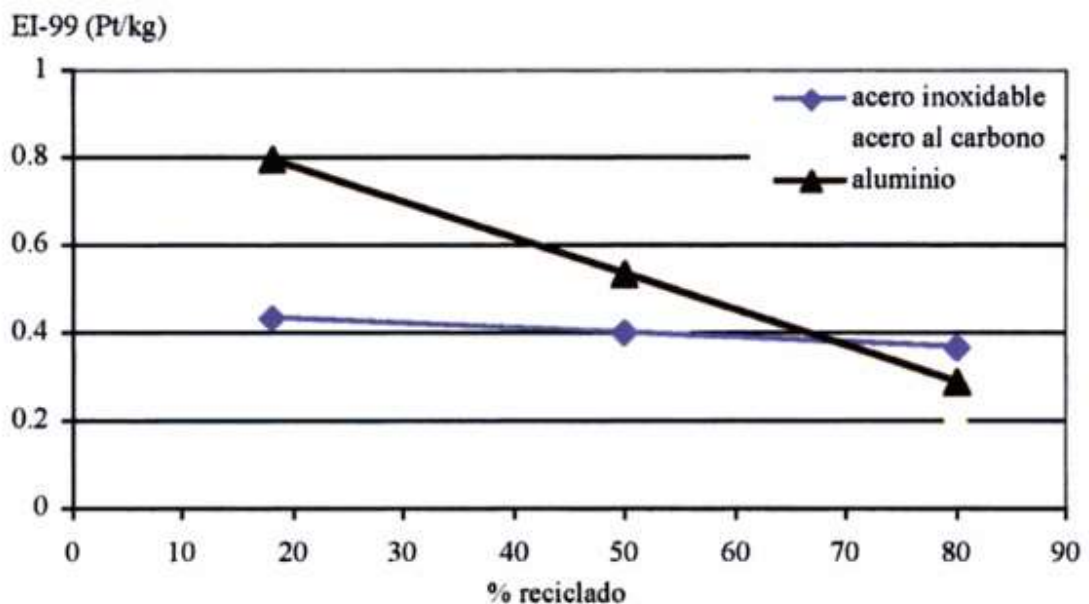


Ilustración 18. Influencia del porcentaje de reciclado en el impacto ambiental [14].

A pesar de esto, el aluminio y el acero reciclado son productos con un impacto ambiental muy alto si se compara con productos reutilizados, los cuales no necesitan etapa de fabricación. El uso de ambos materiales de manera cíclica y reciclada proporciona un ahorro tanto a nivel de recursos hídricos como energéticos, pero en el caso del acero se debe añadir que su utilización está ampliamente extendida en la fabricación de tubos y tuberías en la construcción, principalmente debido a su bajo coste económico directo para las características mecánicas que ofrece. Gracias a ello su disponibilidad como producto reutilizable es mucho mayor que la del aluminio.

El acero tiene una mayor vida útil debido a su gran resistencia a la fatiga. Esta es la característica principal del acero, es un material que casi no tiene memoria. También su dureza superficial es mucho mayor que la del aluminio y resistirá mejor los posibles golpes ocasionales.

El aluminio es más ligero que el acero. La silla de ruedas estándar suele tener un peso de entre 12 hasta 25 kg⁵, esa diferencia se debe fundamentalmente al material escogido, y afecta tanto a la comodidad como a la eficiencia de propulsión.

La sensibilidad a la oxidación es mayor en el acero, pero en este caso se puede optar por una protección galvánica o una aleación inoxidable, descartando otros tipos de acero, pues se estima que el coste económico general de la corrosión en el mundo está en torno al 3-4% del Producto Interior Bruto (PIB) de cada país [17], y es un coste económico y ambiental que no se puede asumir.

♦ **Acero galvanizado frente acero inoxidable.**

El precio del acero inoxidable es superior al del acero galvanizado, pero este tiene una durabilidad también superior.

La durabilidad a largo plazo proporcionada por la galvanización se consigue con una carga medioambiental relativamente baja en términos de energía y de otros impactos globales relevantes, especialmente en comparación con el montante del valor de la energía del acero al que protege.

Si se selecciona acero galvanizado reutilizado se necesita una regalvanización en frío para su protección después de ser mecanizado. Si no se realiza esa operación las capas superficiales de este no protegerían al material de la corrosión en esos puntos que, junto a los efectos de la luz solar, la lluvia y el viento, producirían una degradación del material rápidamente. Es por ello que si la elección final es por tubos de acero deberá realizarse un proceso de protección adicional después de su procesado, en caso de ser galvanizado.

Las dimensiones de tubería de acero galvanizado y acero inoxidable aparecen establecidas en las normas ANSI/ASME; en concreto la B36.10M establece las de este último.

⁵ Valores de peso sin tener en cuenta ningún tipo de accesorio ni reposapiés extraíbles.

8.8.2. El bambú.

Algunas revistas de ingeniería califican el bambú como “el acero vegetal”, este calificativo es derivado de sus múltiples y excelentes propiedades mecánicas. Tradicionalmente el bambú se ha utilizado con unos resultados todavía sorprendentes, pero su uso industrial es por el momento muy reducido en comparación con otros por las dificultades que entraña seleccionar, mecanizar y tratar este material.

A pesar de ello existe en la actualidad empresas que proporcionan con gran calidad planchas laminadas de distintos grosores de este material manteniendo sus propiedades.

El uso principal que se le va a dar en este proyecto es para el asiento, el respaldo, el reposapiés y los laterales internos del apoyabrazos, pues se pueden aprovechar dichas propiedades mecánicas,

proporcionando flexibilidad, durabilidad y una estética atractiva al consumidor, evitando el uso de otros materiales más contaminantes.

Como es un material rígido la comodidad no es óptima, pero entre los beneficios de una superficie de este tipo destaca la estabilidad en la postura del usuario. Para maximizar la comodidad será necesario usar acolchados que protejan los glúteos, muslos y espalda del usuario de una compresión constante que impida la correcta irrigación de los tejidos, lo que puede generar llagas localizadas en personas con paraplejia o tetraplejia, o dolores musculares en personas mayores [1].

Este tipo de maderas son muy resistentes a la intemperie, incluso cuando están en contacto permanente con el agua. Sin embargo, con el tiempo se vuelven grises y degradan. Con unos cuidados mínimos este problema se puede evitar y la madera puede perdurar mucho tiempo. Se aplicará aceite de teca ecológico que evitará los efectos negativos de la exposición al sol y aumentará su resistencia al agua. Este producto está libre de disolventes artificiales y es apto para todo tipo de madera.

También es más resistente al fuego que la madera habitual, y el agua o el calor generan unas contracciones y expansiones despreciables comparadas con otras maderas.



Ilustración 19. Techo de bambú de la terminal T4 del aeropuerto Madrid-Barajas.

Por último, este material es biodegradable, y aunque no es reciclado generalmente, es un contenedor natural de CO₂ de la atmósfera y tiene un crecimiento natural extremadamente rápido que hace más sostenible y asequible su uso [18]. Gracias a sus características como madera puede ser mecanizada fácilmente.

8.8.3. El algodón orgánico, látex, viscoelástico y el Nylon.

Como se ha mencionado anteriormente, se necesitarán cojines para aumentar la comodidad del usuario. Estos se fabricarán con algodón orgánico en el paquete básico de la silla de rueda ya que es biodegradable, reciclable, barato y muy accesible a nivel comercial.

El Nylon (o poliamida) es duro y resistente, y en su forma de fibra es utilizado de forma generalizada en la fabricación de sillas de ruedas como un elemento principal para el soporte del usuario en el asiento y el respaldo. Su resistencia a la corrosión ambiental, su no biodegradabilidad y el complejo reciclaje de este, además de los productos químicos que deja en la tierra que son extremadamente contaminantes, hacen de este material un recurso que se debe reducir en su uso.

Un estudio comparativo del EI (Eco-Indicator 99) y el ESI (Ecological Sustainability Index) en distintas fibras refleja las grandes diferencias entre ambos materiales.

Fibre	EI	ESI
Cotton	16	57
Organic cotton	11	71
Wool	21	44
Flax	12	68
Nylon 6	29.5	21
Nylon 66	30.5	19
Polyester	29.5	21
PP	33.5	11
Acrylic	37.5	0
Viscose	19	49
Paper	12	68
LDPE	31.5	17
HDPE	31.5	17

Ilustración 20. EI y ESI de fibras textiles y otros materiales. [19].

Las puntuaciones más bajas de EI y más alta de ESI corresponden al algodón orgánico, mientras que cerca del extremo opuesto se encuentran los otros dos tipos de Nylon estudiados.

Esto dificulta la concepción de una silla de ruedas de calidad, pues la sustitución de este material puede ocasionar un aumento muy alto en el peso total del producto, y por lo tanto una disminución de eficiencia de propulsión del usuario que conlleva menor comodidad y movilidad.

Según diversos estudios realizados en el algodón convencional se utilizan más del 10% de los pesticidas del mundo [20]. El algodón ecológico procura prescindir de estos pesticidas y usa remedios naturales no contaminantes para el control de las plagas. Su uso cada vez es más extendido, y las empresas productoras son cada vez más conscientes de ello, y algunas implementan en sus procesos medidas para certificar parte de su producto de manera ecológica o sostenible.

El látex es biodegradable ya que tiene procedencia vegetal, este material tiene unas buenas prestaciones como material de acolchado antiescaras, pero su peso y la necesidad de mantenimiento especial hacen que la mayoría de usuarios prefieran el uso de viscoelástico. Este último es un material artificial no biodegradable con una alta adaptabilidad, mucho más ligero y que no requiere mantenimiento. Además, su peso es mucho menor y las firmezas son variables a gusto del usuario. La elección entre ellos dependerá del usuario final.

8.8.4. Otros materiales.

♦ Goma, caucho y sílice.

Los neumáticos de bicicleta generalmente contienen estos materiales como principales en la fabricación de sus cubiertas, es por ello que se deberá tener en cuenta su uso reutilizable.

Dichos materiales son normalmente contaminantes y no biodegradables. Como se ha explicado antes, el nylon es un material que debemos sustituir en este proyecto, pero se considera útil únicamente el precedente de la reutilización de los neumáticos de ruedas de bicicletas ya usadas, ya que no necesita ningún tipo de transformación.

Se considerará viable ambientalmente siempre que se realice un mantenimiento y recubrimiento de las rodaduras de las ruedas de manera que evite su necesario reciclaje por desgaste. Su uso en bicicletas es muy común, aunque el grosor y el dibujo cambian en función del tipo de bicicleta, siendo más fino, liso y ligero si se trata de una bicicleta pensada para el



Ilustración 21.. Dibujos de cubiertas de ruedas de bicicletas.

asfalto, o más grueso, duro y con dibujos en relieve si es una de montaña. La diferencia entre ambos será el agarre en distintos suelos y será un detalle a tener en cuenta en función del estilo de vida del usuario final.

El caucho de las ruedas será otro elemento importante ya que en este proyecto se utilizarán cámaras de aire a presión.

♦ **PLA (ácido poliláctico).**

Con la nueva tecnología de la impresión en 3D existen una serie de materiales que actualmente se están utilizando. Los más extendidos, debido a sus buenos resultados tanto de resistencia como de forma, son el ABS y el PLA, ambos plásticos.

El ABS es un material artificial procedente del petróleo, como la mayoría de plásticos; pero el PLA es un polímero 100% biodegradable y reciclable formado generalmente a partir de almidón de maíz, de remolacha y de trigo. Tiene características parecidas a los derivados plásticos del petróleo, pero ninguno de sus perjuicios ambientales directos asociados.

El PLA ha existido desde hace décadas, pero en los últimos años es cuando se ha desarrollado y expandido rápidamente. Su uso está recomendado en multitud de aplicaciones, entre ellos el empaquetado o la cirugía médica [21].

Según los resultados de emisiones de CO₂ equivalentes⁶ en todo su ciclo de vida, en comparación con distintos plásticos, el PLA obtiene los mejores resultados.

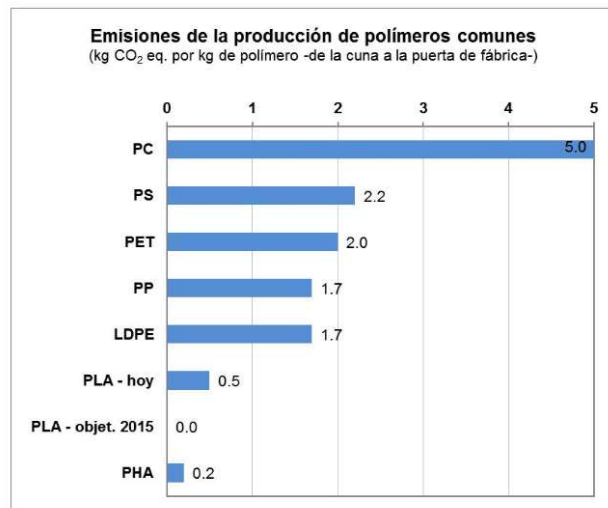


Ilustración 22. Huella de carbono de polímeros comunes [22].

⁶ El equivalente de CO₂, es una medida de la emisión de gases de efecto invernadero, resultado de sumar todas las masas de esos gases en su equivalencia en masa de CO₂ según su potencial de calentamiento global.

En nuestro caso será principalmente para tapar los extremos de los tubos, pues estas esquinas pueden generar cortes en el usuario [1] y malos olores si se introducen por ellos material biológico que se pueda descomponer. También se hará una propuesta de fabricación de unos frenos con este material, pero deberá ser evaluado de forma individual en futuras ampliaciones del proyecto.



Ilustración 23. Bobinas de PLA en diferentes colores.

Su resistencia a tracción y el módulo de elasticidad es comparable al del polietileno. También es estable a los rayos UV y no se decolora. Lo que significa que puede ser un importante atractivo estético gracias a la amplia selección de colores de los que se puede disponer.

Las impresoras 3D tienen un nivel de precisión extremadamente alto, pudiendo realizar diseños muy complejos sin necesitar mecanizado posterior. Con un modelo virtual en 3D de la pieza se puede introducir en el programa de la impresora y, junto con el suministro de material en filamentos de 1,75 y 3 mm, reproducirá la pieza con una tolerancia muy baja y pudiendo elegir la rigidez con que se requiera la pieza.

9. Resultados.

En el presente proyecto se ha decidido usar el programa Autodesk Inventor 2016 en versión estudiante tanto por razones de disponibilidad de licencia como por capacidad del programa para desarrollar cálculo en elementos finitos en estructuras complejas sin requerir licencias profesionales, y tener la posibilidad de evaluar el impacto de los materiales utilizados de manera comparativa. Las habilidades técnicas adquiridas en la Universidad Carlos III de Madrid, y prácticas en empresas de diseño industrial con programas similares como AutoCAD, facilitan la adaptación de trabajo con esta herramienta.

9.1. Dimensiones finales y opciones de diseño.

Las dimensiones finales han sido establecidas en función a las medidas tomadas en el usuario y ajustándolas según los criterios mencionados anteriormente.

La situación médica del usuario final es una lesión medular en la región lumbar que le permite la autopropulsión mediante los brazos y una estabilidad relativa en el abdomen. Su estilo de vida es relajado y no muy activo. Por todo ello el respaldo deberá ser bajo y de una inclinación en torno a 105-110°.

9.1.1. Mediciones del usuario modelo.

Las medidas obtenidas del usuario modelo se realizan con una regla flexible y extensible de la marca Kondor de 10m de longitud. Estas medidas se toman aproximadas y en ningún caso se tratarán los errores de medida pues las desviaciones son despreciables para la comodidad del usuario.

Medidas del usuario final	Magnitud (mm)
Ancho de la cadera	410
Longitud horizontal desde la espalda a la parte posterior de la rodilla	480
Altura desde la parte baja de la escápula hasta el glúteo	350
Ancho de axilas	450
Ancho de hombros	520
Altura del codo con el hombro relajado hasta el glúteo	180
Altura de la parte posterior de la rodilla al talón	400
Altura de los hombros	540
Longitud desde el hombro al codo	310
Longitud de los antebrazos desde la flexión del codo a los dedos	360

Tabla 4. Medidas del usuario final.

Se considera que a la altura del asiento se añaden 5cm de acolchado.

Las magnitudes están establecidas para las dimensiones de la tabla anterior y se han modificado en función de los requisitos iniciales del proyecto.

Se debe tener en cuenta que en caso de adaptar el diseño para una mujer el ancho del asiento es posible que deba ser incrementado. Esto puede suponer un aumento considerable debido a las diferencias fisiológicas existentes entre hombres y mujeres, pero, en cualquier caso, estas y otras modificaciones del diseño propuesto deberán reevaluarse del mismo modo que en el presente proyecto.

Dimensiones finales	Magnitud estimada ergonómica (mm)
Ancho total de la silla de ruedas	700
Longitud máxima de la silla de ruedas	1200
Ancho interior del asiento	460
Profundidad del asiento	430
Altura del respaldo	320
Ancho del respaldo	460
Altura del reposabrazos	200
Altura del reposapiés al asiento	400
Altura del asiento	550-600

Tabla 5. Márgenes dimensionales para el diseño de la silla de ruedas.

9.1.2. Dimensionado en boceto y diseños descartados.

En función a estos datos se ha iniciado un proceso de creatividad realizando distintos bocetos en 2D preliminares para adaptar aproximadamente las características dimensionales de la silla de ruedas. En este proceso creativo se han establecido las bases geométricas del nuevo concepto del chasis de la silla de ruedas, y se han tenido en cuenta todos los requisitos establecidos anteriormente.

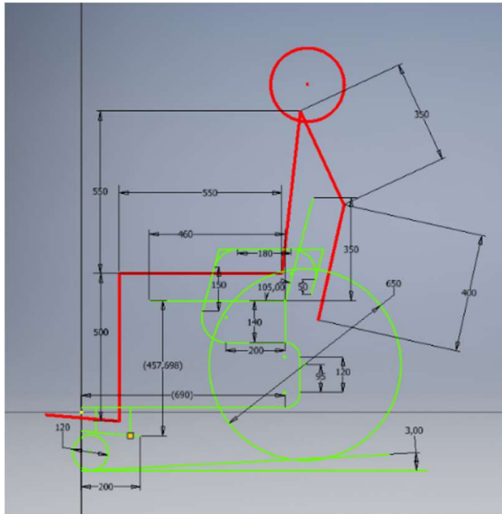


Ilustración 25. Boceto lateral de la silla de ruedas.

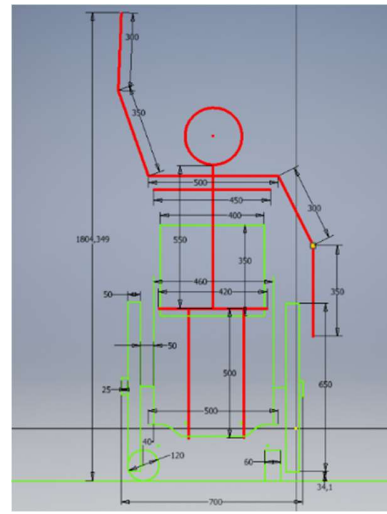


Ilustración 24. Boceto frontal de la silla de ruedas.

Después de este proceso se han realizado sucesivos diseños alternativos. Entre ellos el que aparece en la siguiente ilustración.

Se puede observar que en este diseño todos los tubos son perpendiculares. Se realizó un estudio de carga vertical estática con buenos resultados, pero en la realización de las pruebas más exigentes, con cargas horizontales, las uniones actuaban de como apoyos rotulados y eran las piezas de bambú las que debían soportar estas fuerzas, provocando que las mismas fallasen con demasiada facilidad y debiendo aumentar en exceso el grosor de las mismas tablas para su compensación. Se tomó la decisión de sustituir varios tubos horizontales por tubos con un ángulo suficiente para aguantar este tipo de tensiones.

También se pretendía que los apoyabrazos fuesen planos para otorgar mayor estabilidad a los brazos y el respaldo curvado para mayor comodidad del usuario final.



Ilustración 26. Diseño descartado.

Finalmente, analizando que el uso en las transferencias se vería afectado, conociendo las dificultades y costes que entraña el plegado de las tablas de bambú, e incorporando un respaldo acolchado suficientemente alto para comodidad del usuario final, se desestimó el diseño planteado.

9.2. Diseño final.

El diseño base de esta silla de ruedas parte de la idea de utilizar únicamente piezas lo más planas posibles para que su fabricación sea más fácil, y la estructura desmontada pueda ser empaquetada de forma muy compacta. El radio máximo de doblado de los tubos se ha establecido en 2 veces el diámetro exterior.

Todos los planos que aparecen a continuación están representados en tamaños de hoja DIN A4, por tanto, las escalas que aparecen en ellos son acorde al tamaño de las ilustraciones.

9.2.1. Chasis.

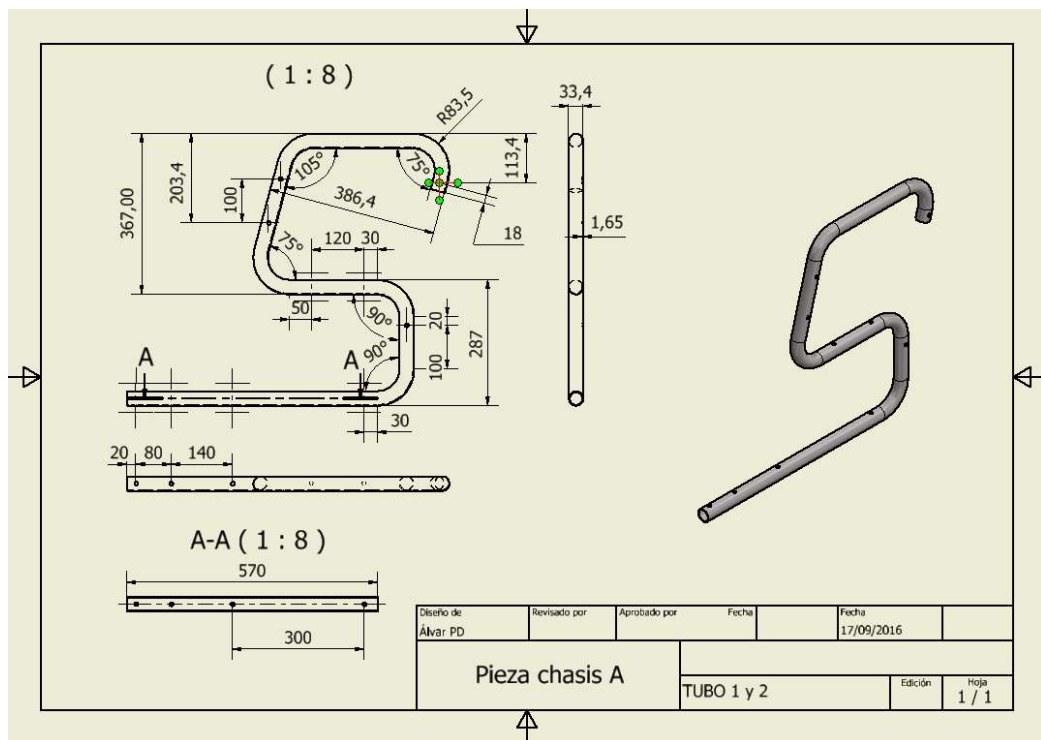


Ilustración 27. Plano de la pieza del chasis A.

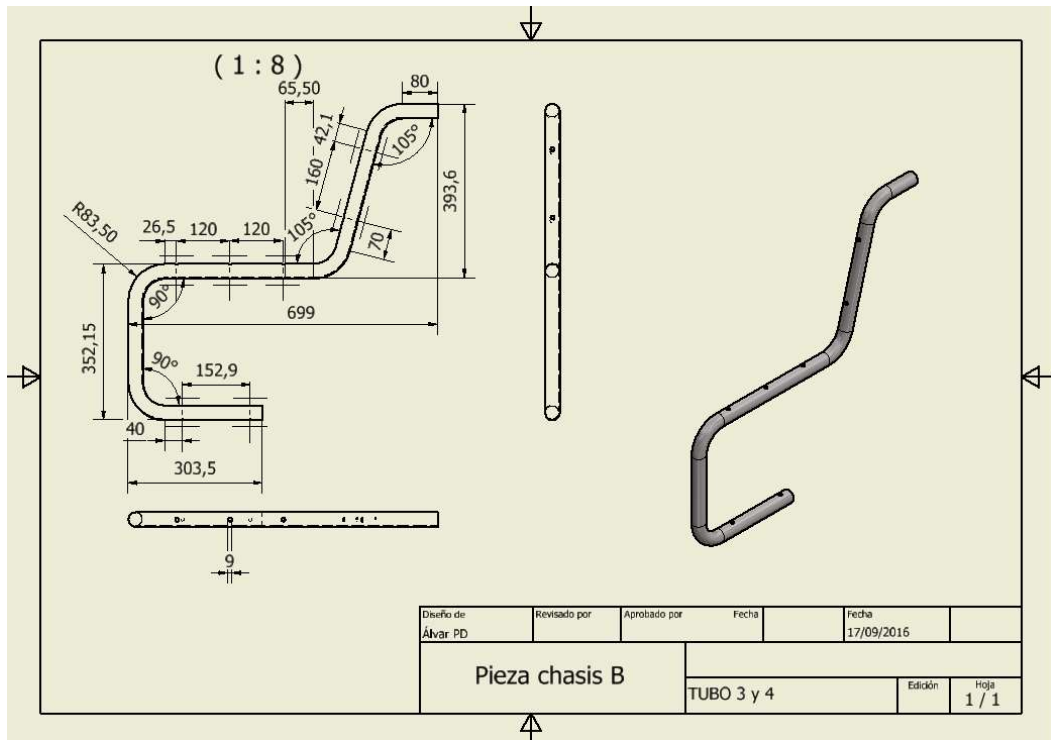


Ilustración 28. Plano de la pieza del chasis B.

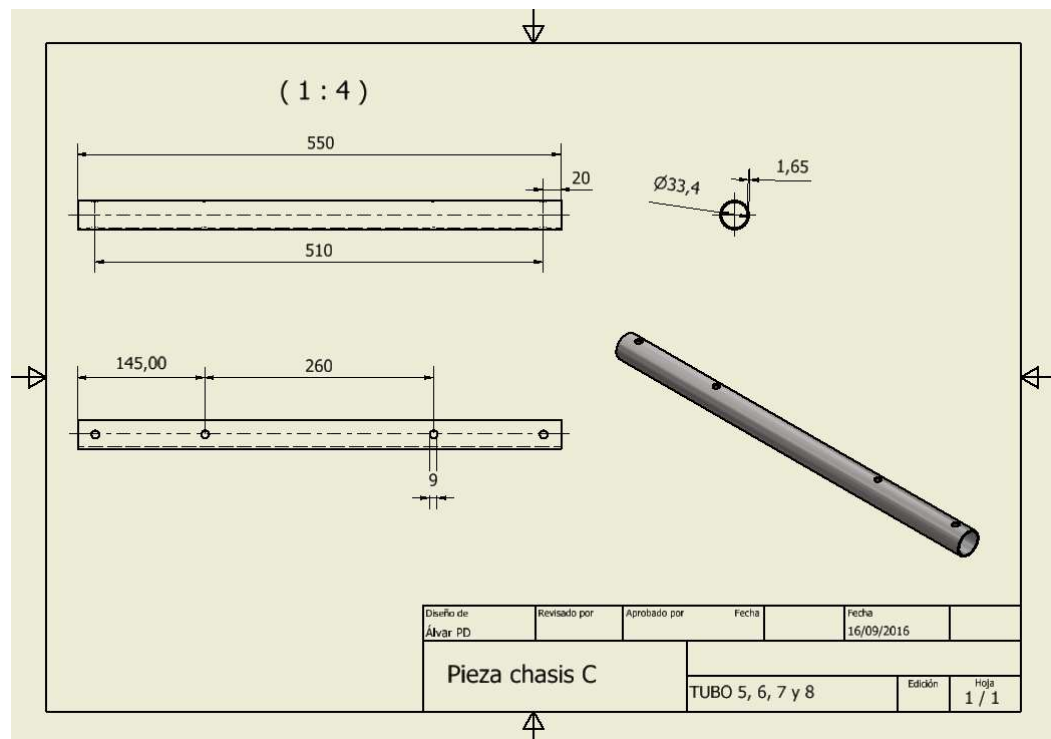


Ilustración 29. Plano de las piezas del chasis C.

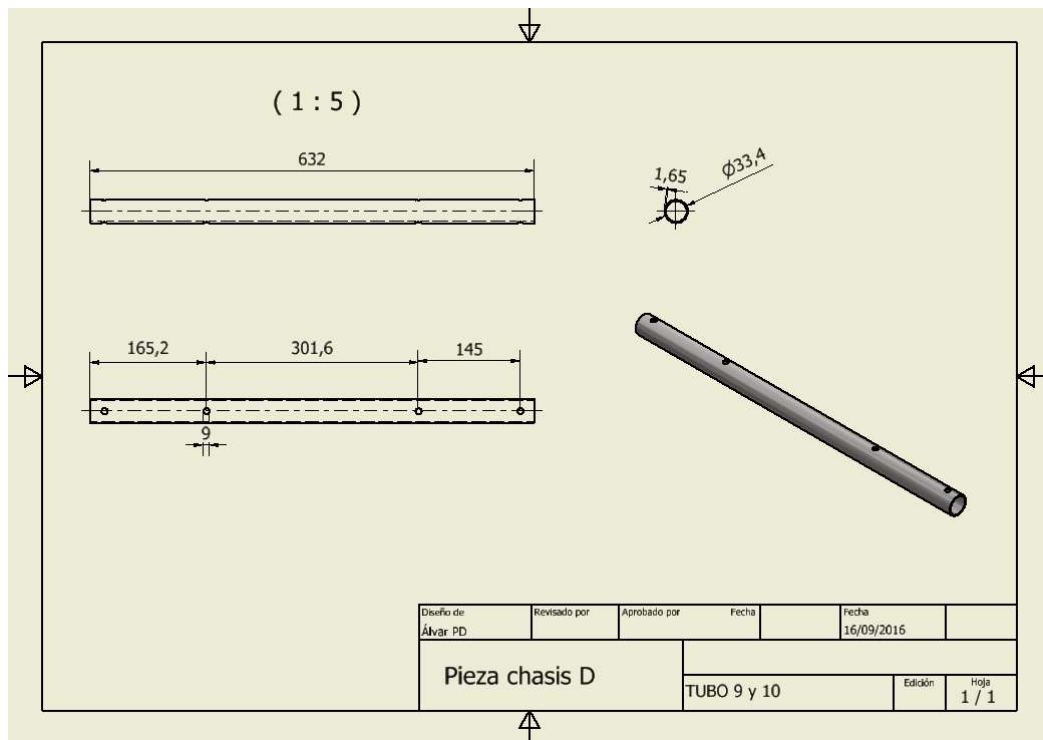


Ilustración 30. Plano de las piezas del chasis 7 y 8.

El chasis consta de 4 piezas distintas, de las cuales tres se repiten 2 veces y una 4, alcanzando un total de 10 piezas. Esta decisión facilita su fabricación, mantenimiento y sustitución parcial.

La pieza de chasis A realiza las funciones de unión con las ruedas, y actúa de reposabrazos fijo.

La pieza de chasis B es la que sostiene el asiento y el respaldo, y también su parte superior realiza la función adicional de ser las empuñaduras de empuje asistido.

La pieza de chasis C realiza dos funciones separadas: la primera es unir físicamente las piezas anteriores y transmitir las cargas de las piezas de chasis B a las piezas de chasis A, y la segunda es dar soporte a la tabla del reposapiés.

La pieza de chasis D realiza la función de unir las piezas principales A y B, y mantener el conjunto del chasis en estado rígido sin rotaciones.

El diámetro y grosor de los tubos se han determinado según la optimización realizada durante el estudio mecánico de este elemento.

9.2.2. Silla.

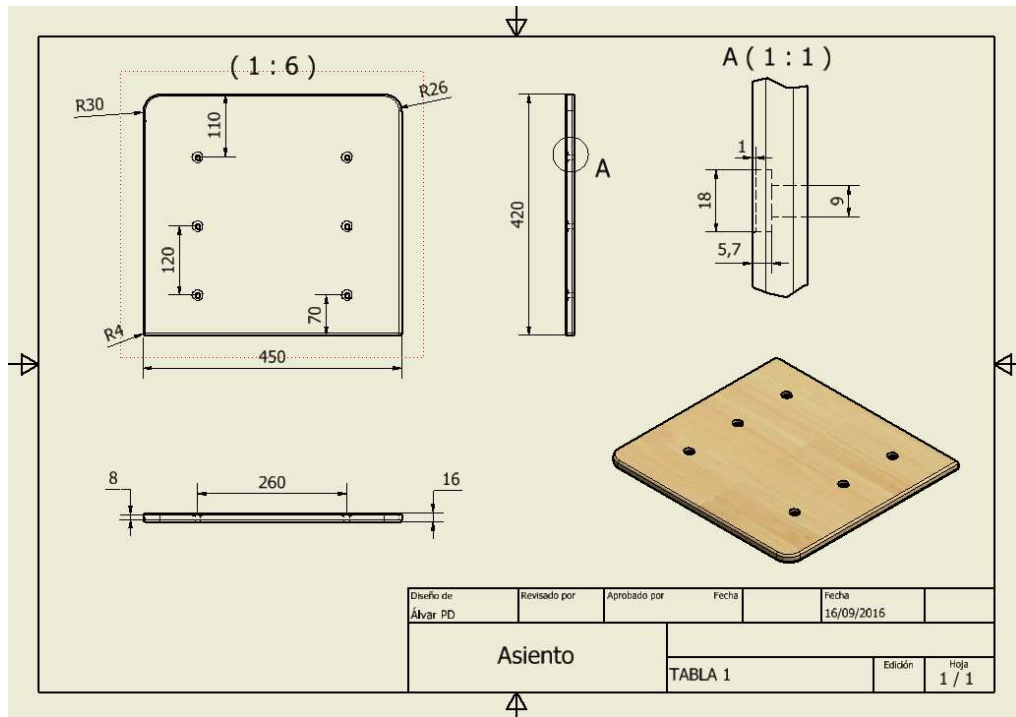


Ilustración 31. Plano del asiento.

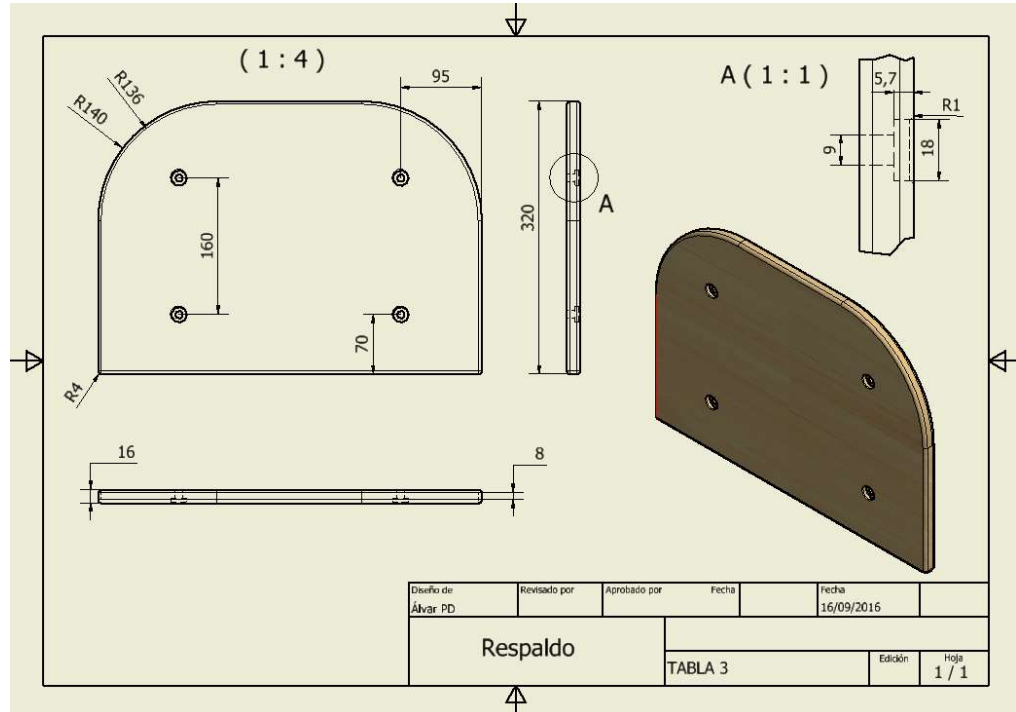


Ilustración 32. Plano del respaldo.

En el respaldo y el asiento se ha decidido realizar avellanados planos para que la cabeza de los pernos quede completamente plana con respecto al plano superior del asiento y del respaldo. Así se interfiere lo menos posible en la comodidad de los mismos o el daño que puedan provocar en los acolchados. Las esquinas se lijarán para que queden bordes no cortantes al tacto y no puedan producir arañazos o desperfectos, tanto en el usuario como en su ropa [1]. Estas piezas van unidas directamente a las piezas de chasis B.

9.2.3. Ruedas.

Los diámetros de las ruedas delanteras procedentes de carros desechados de supermercado están entre los 90 y hasta los 250mm. La elegida en este proyecto es de 120mm de diámetro. Es importante señalar que el tipo de unión debe ser de un solo tornillo o perno.

El peso medido de la rueda de carro de supermercado ha sido en torno a 400gr y su altura total de 145mm. Estas ruedas van unidas a las piezas de chasis A y a una de las piezas de chasis C, simultáneamente.

La rueda trasera es de 650 mm de radio exterior, 600mm de llanta de aluminio, 8cm de ancho máximo por el eje y su peso aproximado es de 1,5Kg.

Los pesos de ambas ruedas han sido medidos con una balanza analógica de la marca Stube de máximo 10Kg. Las medidas de las ruedas han sido realizadas con el medidor Kondor de 10m y un escalímetro. Estas medidas han sido realizadas para crear el modelo 3D lo más realista posible y así poder dimensionar con menos errores.



Ilustración 33. Rueda de carro de supermercado.



Ilustración 34. Ruedas de bicicleta de montaña.

También es necesario añadir unos aros a las llantas de las ruedas traseras. Estas se realizarán si es posible con el mismo tubo de acero escogido. Esta pieza se doblará con un radio aproximado de 540mm en forma circular y se le añadirán de 6 plaquitas de acero que servirán para unirlo a la llanta mediante 6 tornillos de pequeñas dimensiones.

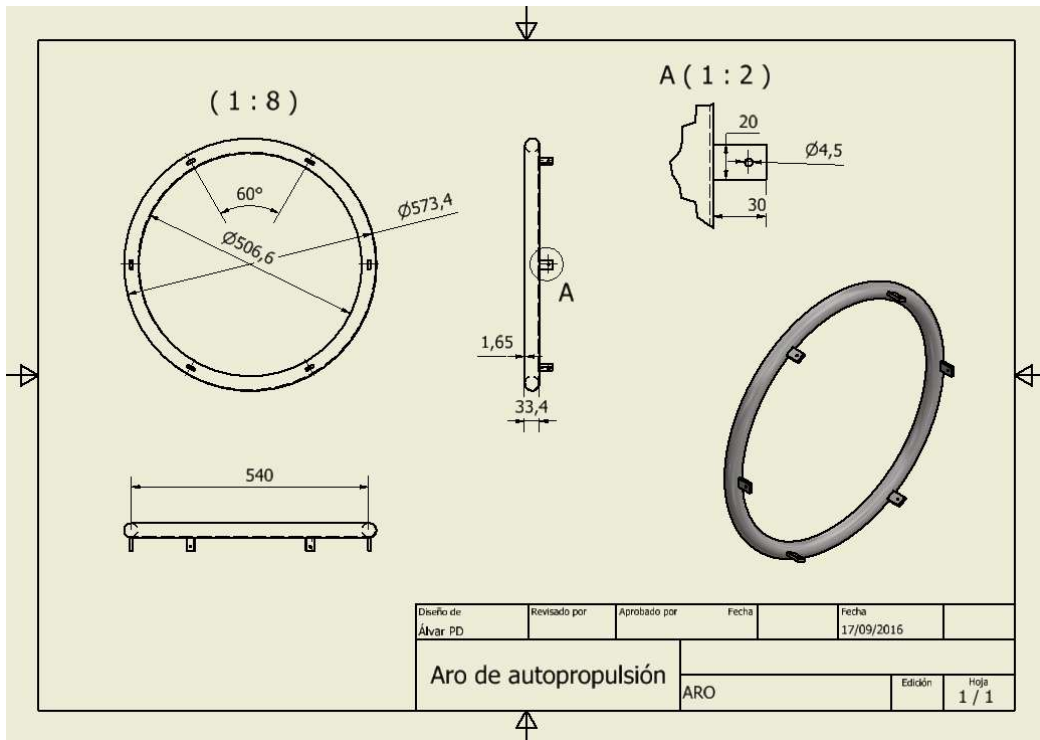


Ilustración 35. Plano del aro de propulsión.

9.2.4. Apoyabrazos.

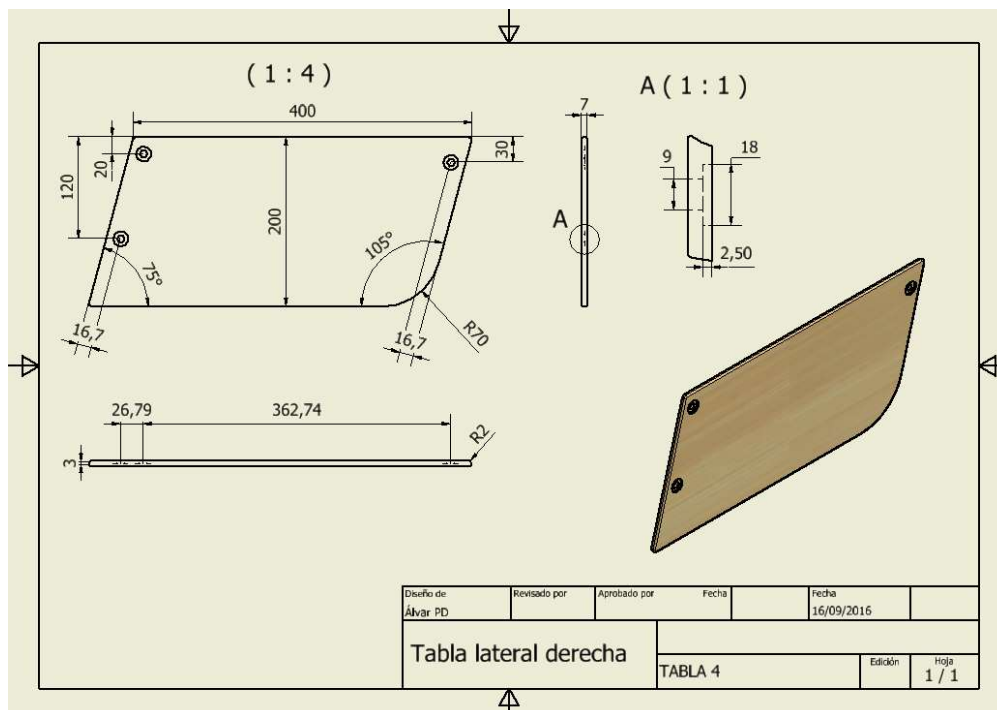


Ilustración 36. Plano de la tabla lateral derecha.

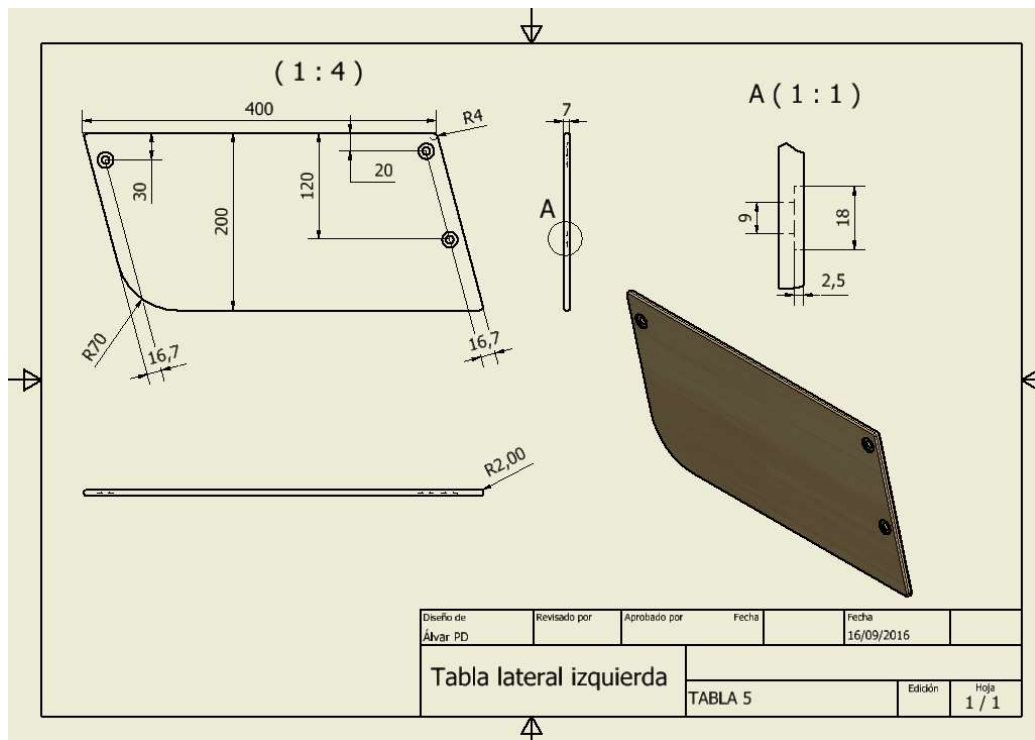


Ilustración 37. Plano de la tabla lateral izquierda.

El reposabrazos está integrado en el chasis. La función principal de estas tablas es la de impedir que la ropa entre en contacto con los radios de las ruedas traseras, y a su vez, evitar que el cojín, el respaldo o el usuario se deslice lateralmente provocando una posición incorrecta del mismo.

En estas piezas se ha decidido usar un grosor de tabla de 7mm porque no es necesaria una alta resistencia mecánica, ya que este elemento no debe soportar cargas; y se necesita un grosor mínimo para realizar un avellanado plano, suficientemente profundo para que las cabezas de los pernos no molesten al usuario. Además, un escaso grosor puede comprometer la integridad de la tabla y podría agrietarse con mayor facilidad.

9.2.5. Reposapiés.

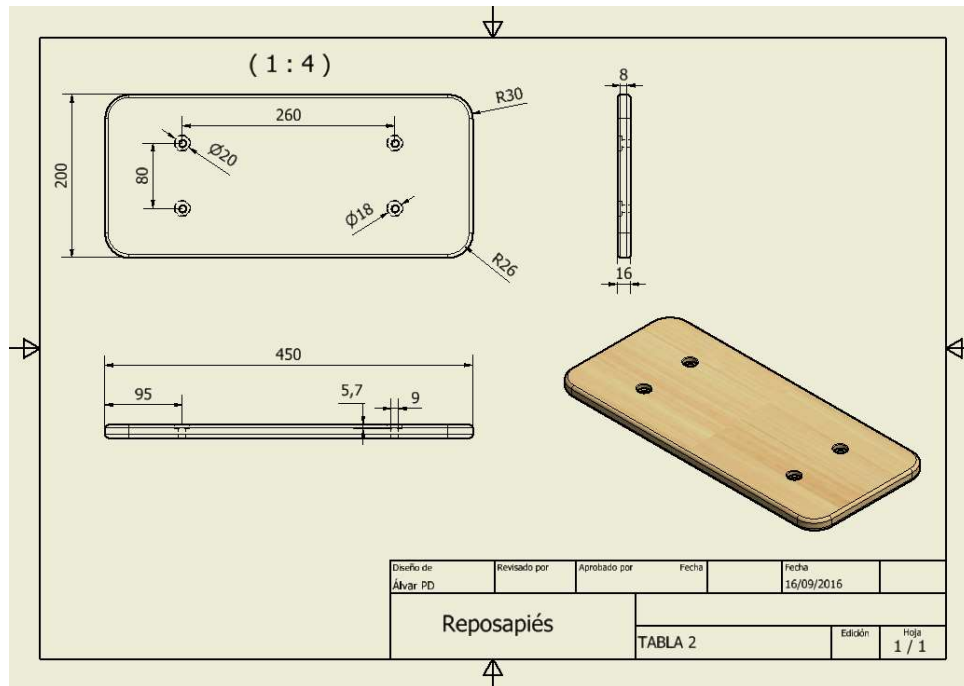


Ilustración 38. Plano de la tabla del reposapiés.

El ancho de esta tabla se ha establecido teniendo en cuenta la longitud de la planta de los pies. El movimiento lateral se ve impedido por los tubos de las piezas de chasis A, para que los pies no deslicen lateralmente y salgan del reposapiés.

Como este elemento es fijo en este proyecto, se ha decidido realizar una prueba crítica en el estudio mecánico para verificar que esta pieza puede soportar el peso íntegro del usuario por un uso inadecuado.

9.2.6. Piezas de unión.

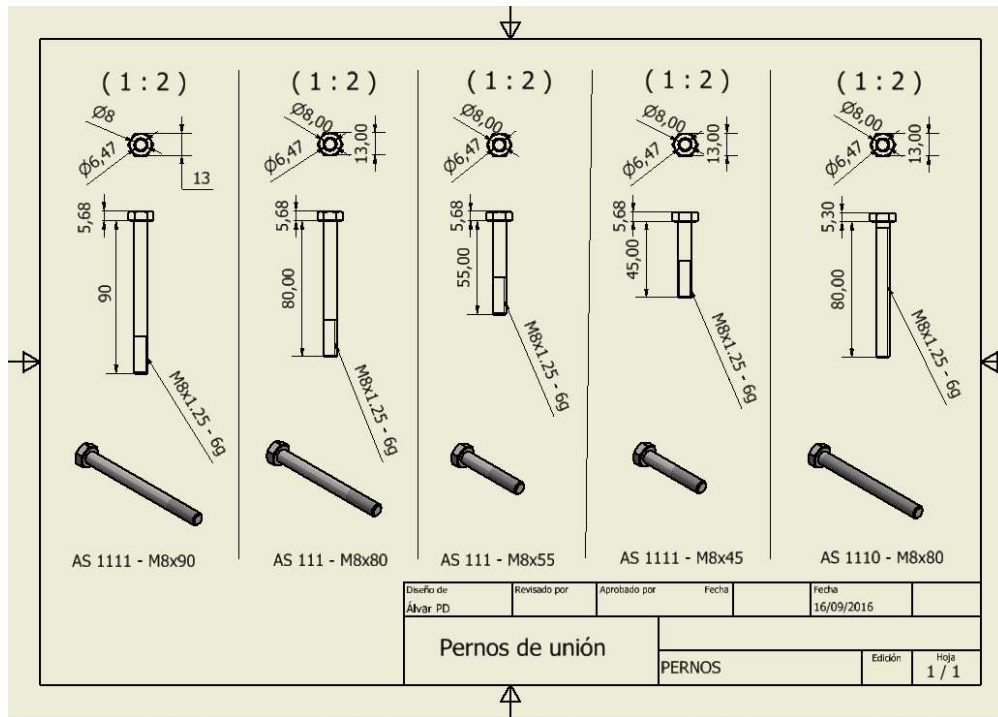


Ilustración 39. Plano de los pernos de unión.

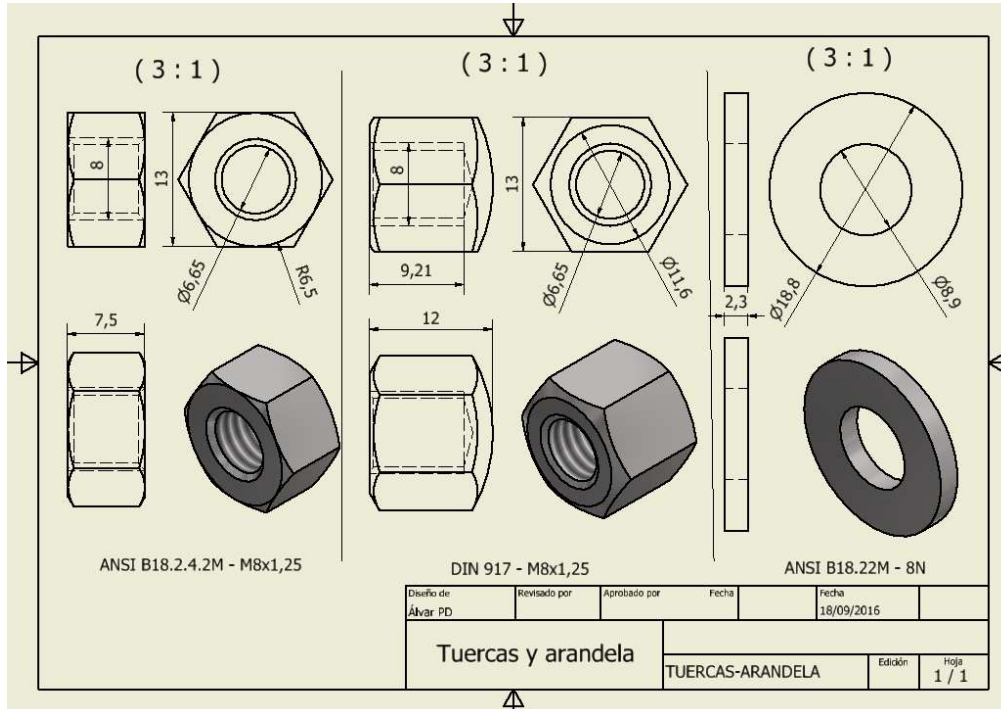


Ilustración 40. Plano de las tuercas y arandela.

Las piezas de unión han sido elegidas según el extenso catálogo de tornillería del programa Inventor, por tanto, está sujeto a cambios en función de la disponibilidad, precio y otros factores.

La elección de utilizar tuercas con tapa se debe a que existen pernos que pueden entrar en contacto con los brazos del usuario con facilidad, por ejemplo, al empujar las ruedas traseras, y esto puede provocar cortes o heridas en el usuario [1]. Estas tuercas también sirven para asegurar que las piezas del prototipo de freno no salgan de su posición.

Las arandelas sirven de protección para los tubos, aumentando el área de contacto entre estos, los pernos y las tuercas, tolerando así un mayor par de apriete. Esto incrementa la rigidez y fuerza de unión entre las partes y el tiempo de vida útil de todos los componentes.

La elección del material de las tuercas, pernos y arandelas deberá ser acorde a las exigencias mecánicas, la resistencia a tracción, flexión y torsión. Los coeficientes de seguridad deberán ser altos, ya que se entiende que estos elementos soportarán cargas muy concentradas y en movimiento. En la medida de lo posible deberán ser ligeros, pues se utilizará un gran número de ellos y es un peso que se debe considerar.

9.2.7. Frenos y otros accesorios.

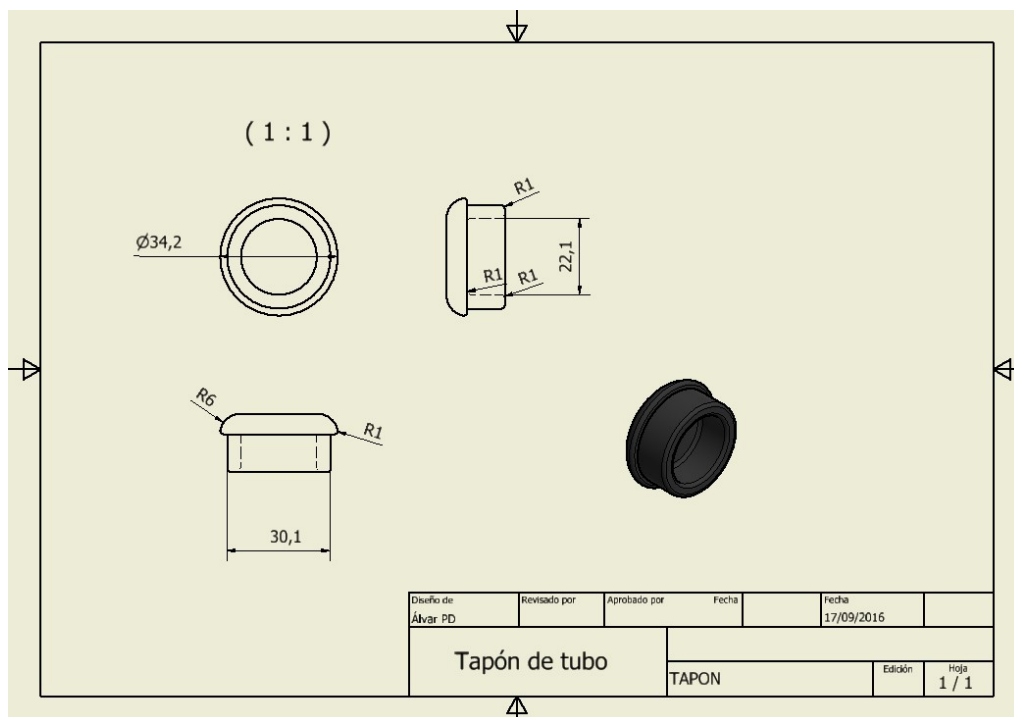


Ilustración 41. Plano de los tapones de los tubos.

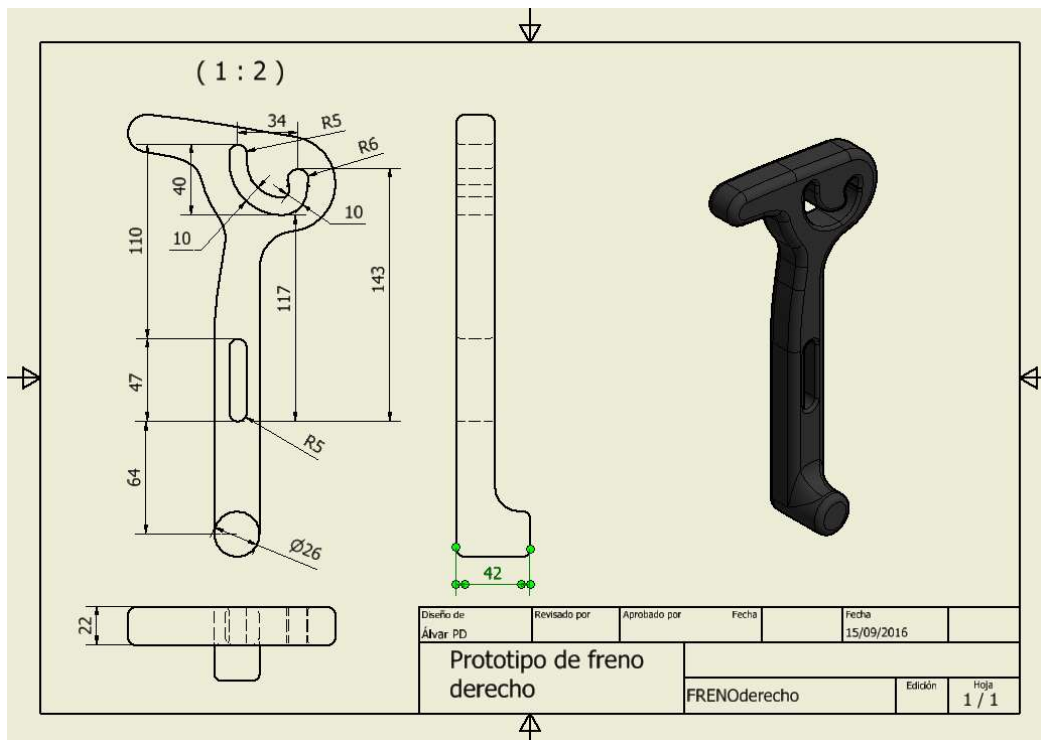


Ilustración 42. Plano del prototipo de freno alternativo.

Las medidas externas ofrecidas en este concepto de freno son aproximaciones iterativas realizadas junto al modelo 3D, y no se han tenido en cuenta aspectos mecánicos debido a que no se ha realizado un estudio específico de este elemento.

Para su colocación se han determinado las distancias necesarias en los huecos para que esta pieza encaje en los pernos donde iría colocado y deslice correctamente sin moverse lateralmente. El ancho de 22mm es un valor límite debido a la distancia máxima que ofrece el perno una vez colocadas las tuercas y arandelas necesarias.



Ilustración 44. Prototipo de freno en posición desactivado.



Ilustración 43. Prototipo de freno en posición activado.

El tamaño y grosor de esta pieza dependerá por tanto de las dimensiones de las ruedas a utilizar y las medidas del usuario final. El mecanismo de frenada se ha basado en el concepto de un freno de zapata manual de una silla de ruedas convencional, pero simplificando este mecanismo y reduciendo el número de piezas totales a una sola de un único material. La desventaja principal es que este prototipo de freno multiplica varias veces en tamaño a uno convencional y puede ocasionar molestias con un uso diario y frecuente.



Ilustración 45. Frontal y lateral de la superficie de contacto del freno activado.

Para prevenir estas incomodidades se dará la opción al usuario de sustituir el prototipo por un freno de zapata estándar.



Ilustración 46. Freno de zapata estándar.

9.3. Estudio mecánico y de seguridad.

Para el estudio mecánico se ha tenido en cuenta en la parte del reposapiés, al ser fija en este diseño, puede darse la situación de que el usuario la utilice como apoyo ocasional, aunque no se recomiende y en ningún caso se pretenda sea un apoyo para el peso total del usuario. Para evitar que un uso inadecuado derive un deterioro prematuro del producto se ha evaluado una prueba de **factor de seguridad crítico de 1000N sobre el reposapiés.**

Adicionalmente se ha evaluado una carga horizontal de empuje con restricciones fijas unilaterales simulando un bloqueo de las ruedas de un único lado de la silla, entendiendo que la madera de bambú puede sufrir efectos mecánicos adversos en esa situación.

9.3.1. Proceso iterativo y preparación del programa

Las medidas que proporciona el fabricante MOSO de tableros de bambú son: 3, 5, 7, 16, 19, 20, 25, 30, 38 y 40mm. El grosor final escogido es de 16mm. [23]

A continuación, se muestra la tabla de diferentes dimensiones de las tuberías de acero inoxidable y destacado en verde las dimensiones finales. En caso de utilizar acero galvanizado las medidas estándar son iguales, aunque se recomienda su revisión previa.

Tabla espesores tubería menor de Acero Inoxidable según ASME B36.19M						
Tamaño Nominal		Diámetro exterior tubería	SCH 5S	SCH 10S	SCH 40S	SCH 80S
NPS (in)	DN (mm)	in (mm)	in (mm)	in (mm)	in (mm)	in (mm)
1/8	6	0.405 (10.3)	... (...)	0.049 (1.24)	0.068 (1.73)	0.095 (2.41)
1/4	8	0.54 (13.7)	... (...)	0.065 (1.65)	0.088 (2.24)	0.119 (3.02)
3/8	10	0.675 (17.1)	... (...)	0.065 (1.65)	0.091 (2.31)	0.126 (3.2)
1/2	15	0.84 (21.3)	0.065 (1.65)	0.083 (2.11)	0.109 (2.77)	0.147 (3.73)
3/4	20	1.05 (26.7)	0.065 (1.65)	0.083 (2.11)	0.113 (2.87)	0.154 (3.91)
1	25	1.315 (33.4)	0.065 (1.65)	0.109 (2.77)	0.133 (3.38)	0.179 (4.55)
1 1/4	32	1.66 (42.2)	0.065 (1.65)	0.109 (2.77)	0.14 (3.56)	0.191 (4.85)
1 1/2	40	1.9 (48.3)	0.065 (1.65)	0.109 (2.77)	0.145 (3.68)	0.2 (5.08)
2	50	2.375 (60.3)	0.065 (1.65)	0.109 (2.77)	0.154 (3.91)	0.218 (5.54)

Tabla 6. Tabla espesores tubería de acero inoxidable ASME B36.19M. [24]

La elección en este proyecto del acero inoxidable es en previsión de ahorrar los procesos contaminantes de galvanizar en frío o proteger con pintura las tuberías una vez mecanizadas. Esta decisión aumenta el precio de la silla de ruedas, pero optimiza los beneficios medioambientales como se explicó en el apartado de materiales. Las tuberías de aluminio se descartan por su baja disponibilidad como recurso de procedencia reutilizable.

♦ **Datos Físicos de los materiales.**

Las resistencias del acero inoxidable, acero galvanizado y aluminio se han tenido en cuenta en el estudio mecánico y se han realizado informes paralelos con dichos materiales, los cuales proporcionaban resultados similares, tanto en Tensión de Von Misses como en Factor de seguridad.

La información de estos materiales la proporciona automáticamente la base de datos de Autodesk Inventor 2016, con la excepción del bambú, la cual se ha buscado en el catálogo del vendedor de los tableros MOSO y en diversos estudios sobre este [18].

▼ Mecánico	
Comportamiento	Isótropo
Módulo de Young	193,000 GPa
Coeficiente de Poisson	0,30
Módulo cortante	86000,000 MPa
Densidad	8,000 g/cm ³

▼ Resistencia	
Límite de elasticidad	250,000 MPa
Resistencia máxima a tracción	540,000 MPa

Ilustración 47. Datos físicos del acero inoxidable.

En el caso del bambú se han introducido los siguientes valores:

- Módulo de Young: 7,3 GPa
- Coeficiente de Poisson: 0,4
- Densidad 0,7g/cm³

La máxima tensión de rotura del bambú es de aproximadamente 90Mpa. [18] [25]

Se ha despreciado el comportamiento ortótropo de la madera de bambú por cuestiones prácticas, eligiendo únicamente los valores más restrictivos de este material.

♦ **Mallado.**

La preparación de la malla es automática en Inventor 2016, pero dado que existían puntos sensibles y el sistema no reconocía correctamente el grosor de las tuberías se procedió a reducir el tamaño mínimo de elemento un 50%.

Configuración común

Tamaño medio de elemento
 (como fracción de la longitud del cuadro delimitador)

Tamaño mínimo de elemento
 (como fracción del tamaño medio)

Factor de modificación

Ángulo máximo de giro

Crear elementos de malla curva

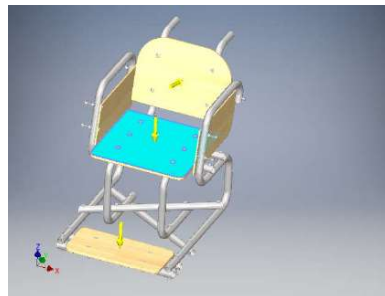
Opción de ensamblaje

Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje

Ilustración 48. Características del mallado en el análisis por elementos finitos.

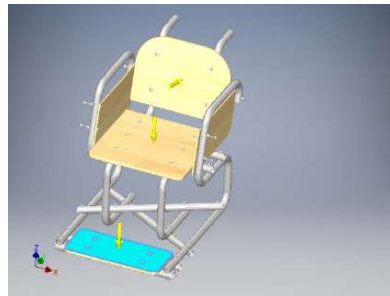
9.3.2. Prueba base.

◆ Cargas.



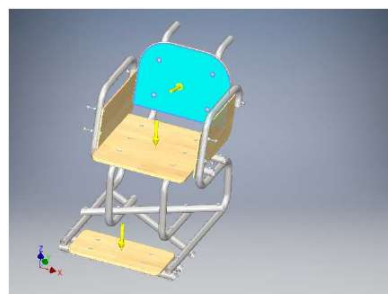
Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-1000,000 N

Ilustración 49. Dirección y magnitud de Fuerza 1.



Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	500,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-500,000 N

Ilustración 50. Dirección y magnitud de Fuerza 2.



Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	200,000 N
Vector X	-0,001 N
Vector Y	193,185 N
Vector Z	-51,764 N

Ilustración 51. Dirección y magnitud de Fuerza 3.

♦ **Restricciones fijas.**

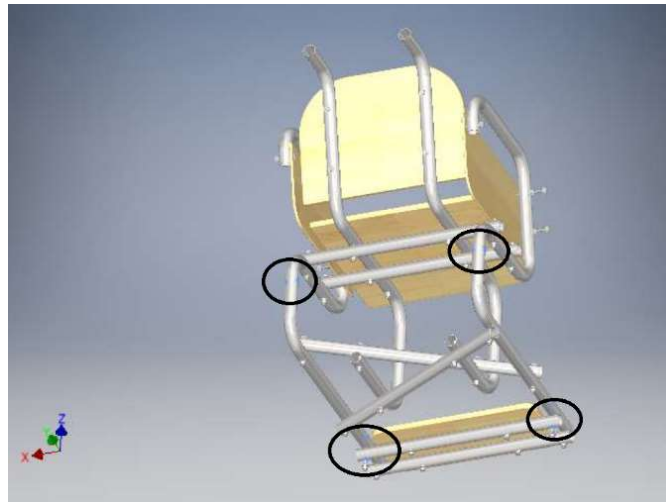


Ilustración 52. Posición de las restricciones fijas de la prueba base.

♦ **Tensión de Von Mises.**

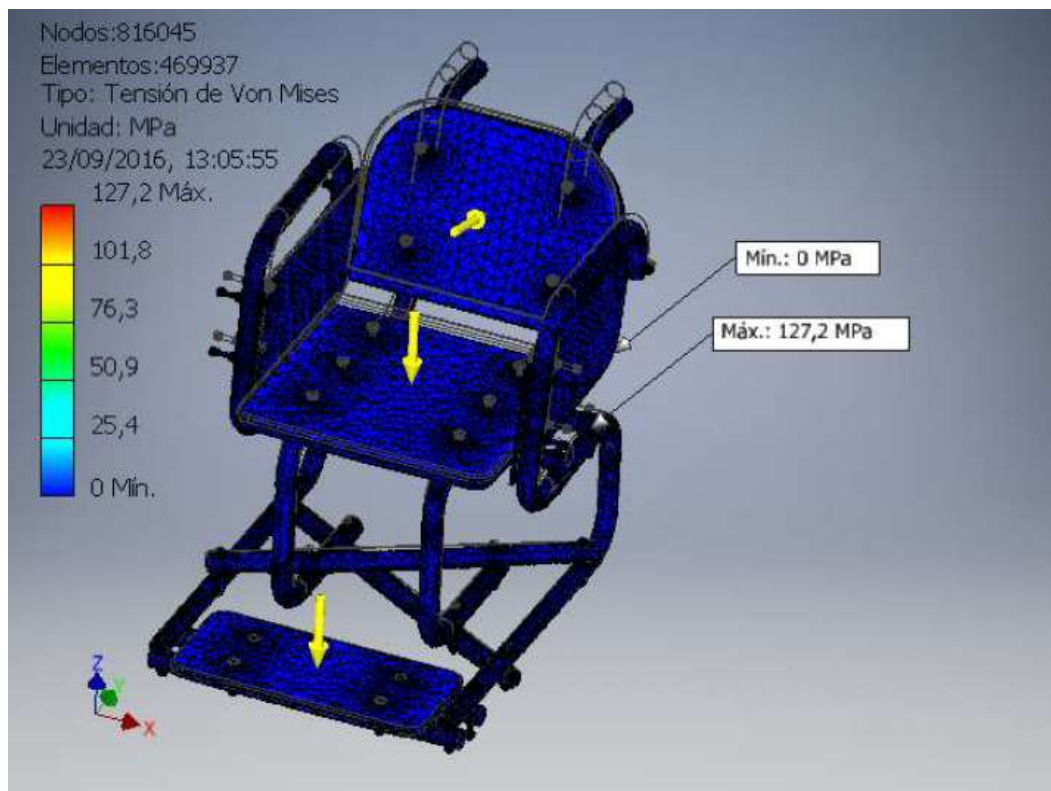


Ilustración 53. Tensión de Von Mises en la prueba base, vista superior

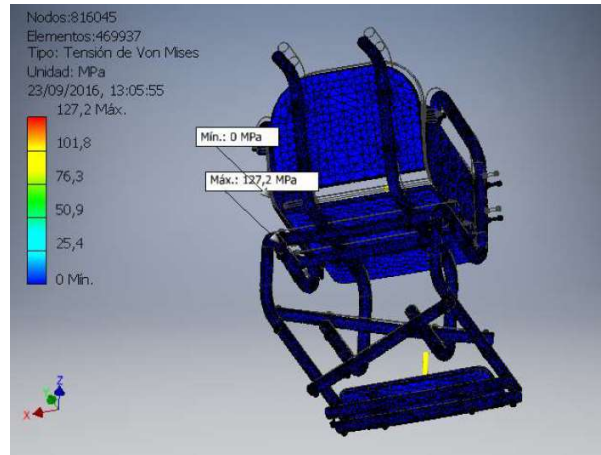


Ilustración 54. Tensión de Von Misses en la prueba base, vista inferior.

Se observa que la tensión máxima de Von Misses es de 127,2Mpa situado sobre el acero en la zona más próxima al eje de la rueda trasera, este valor es muy inferior al límite elástico de 250Mpa.

En el caso del bambú se analiza por separado que este no supera valores de 10Mpa, por debajo de 90Mpa que es la tensión máxima de rotura del bambú.

♦ **Deformaciones.**

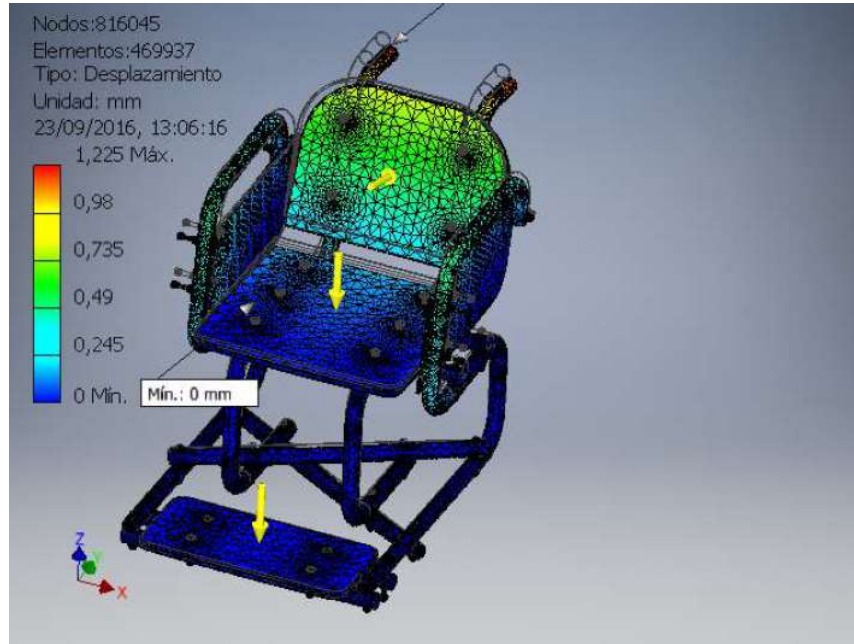


Ilustración 55. Deformaciones elásticas en la prueba estándar.

La deformación máxima es de 1,23mm en la zona del respaldo, esto es admisible ya que es una deformación elástica y no es excesiva.

♦ **Factor de seguridad.**

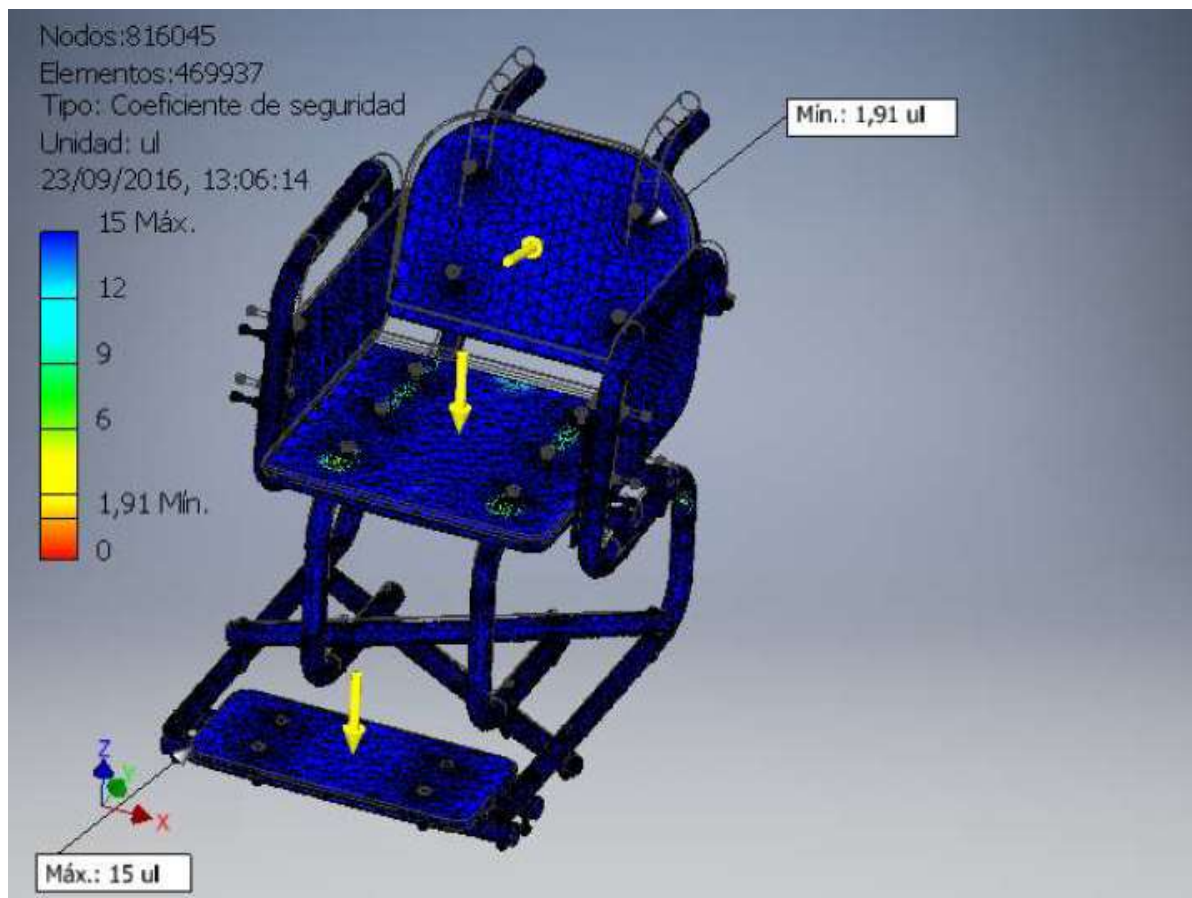


Ilustración 56. Factor de seguridad en la prueba base.

Al no superar el requisito inicial de 1,75 como factor de seguridad, la estructura está acorde a los criterios establecidos. Se puede observar como la pieza solo sufre en determinados puntos de unión entre la madera y los tubos de acero, y cerca de los ejes de las ruedas traseras.

Como punto final, se entiende que las ruedas de bicicleta soportan fuertes golpes dinámicos y esfuerzos, es por ello que son realmente las que resisten el peso de toda la estructura y del usuario. Una rueda estándar de bicicleta debe tolerar pesadas cargas sobre el mismo eje, por tanto, los márgenes de resistencia de estas ruedas se asumen aceptables.

Se debe tener en cuenta que estas fuerzas normalmente son equilibradas a ambos lados de la rueda, es por tanto necesario ajustar sus ejes para que puedan ser unidos a la estructura unilateralmente.

También las ruedas de carro de supermercado pueden soportar grandes pesos, 50Kg cada una (Anexo A).

9.3.3. Pruebas críticas adicionales.

- ◆ **Cargas prueba crítica 1.**

En la esta prueba crítica 1 se han mantenido las mismas fuerzas que en la prueba base, únicamente doblando la magnitud de la Fuerza 2 sobre el reposapiés.



Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-1000,000 N

Ilustración 57. Dirección y magnitud de Fuerza 2 prueba crítica.

- ◆ **Restricciones fijas prueba crítica 1.**

Las mismas restricciones fijas que en la prueba base.

- ◆ **Factor de seguridad prueba crítica 1.**

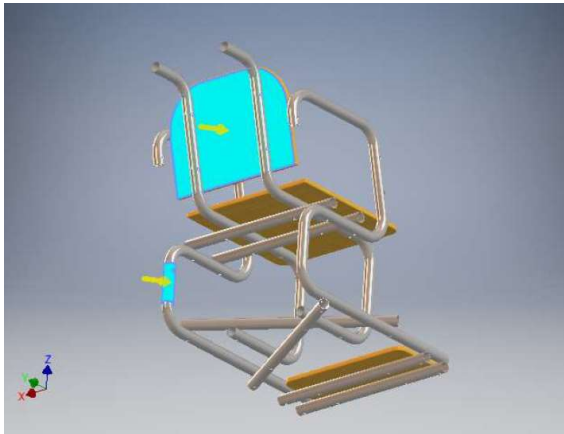


Ilustración 58. Factor de seguridad en la prueba crítica 1.

En este caso se observa que el factor de seguridad de la prueba crítica 1 supera la unidad y, por tanto, la deformación no superará el punto límite de deformación elástica y no perderá forma de manera plástica, evitando así que el uso indebido la deteriore antes de tiempo.

♦ **Cargas prueba crítica 2.**

En esta prueba se ha colocado una carga horizontal de empuje de 200N para simular el efecto de un bloqueo de las ruedas. Para maximizar el efecto se ha añadido un punto de aplicación en el lado izquierdo.



Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	200.000 N
Vector X	0.001 N
Vector Y	-193.185 N
Vector Z	51.764 N

Ilustración 59. Dirección y magnitud de la fuerza en la prueba crítica 2.

♦ **Restricciones fijas prueba crítica 2.**

Se ha restringido únicamente el movimiento en los puntos de unión de ambas ruedas del lado derecho.



Ilustración 60. restricciones fijas de la prueba crítica 2.

♦ **Factor de seguridad prueba crítica 2.**

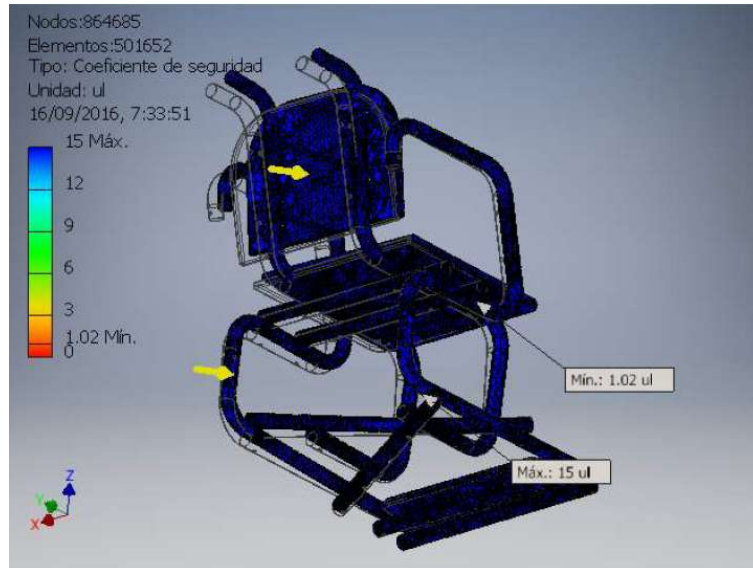


Ilustración 61. Factor de seguridad en la prueba crítica 2.

Al igual que en la prueba crítica 1, esta carga es soportada por encima del límite elástico. Y se observa que las barras colocadas en cruz resisten sin problemas la estructura, ayudando así a que las uniones de la madera no dañen la misma durante los giros o los golpes laterales.

9.4.Cumplimiento de objetivos dimensionales y peso total.

A continuación, se muestran dos ilustraciones del prototipo de la silla de ruedas en 3D en perspectiva frontal y lateral para comprobar las dimensiones máximas y las establecidas durante el diseño, y verificar que este se ha realizado de acuerdo a los criterios establecidos durante el proyecto.

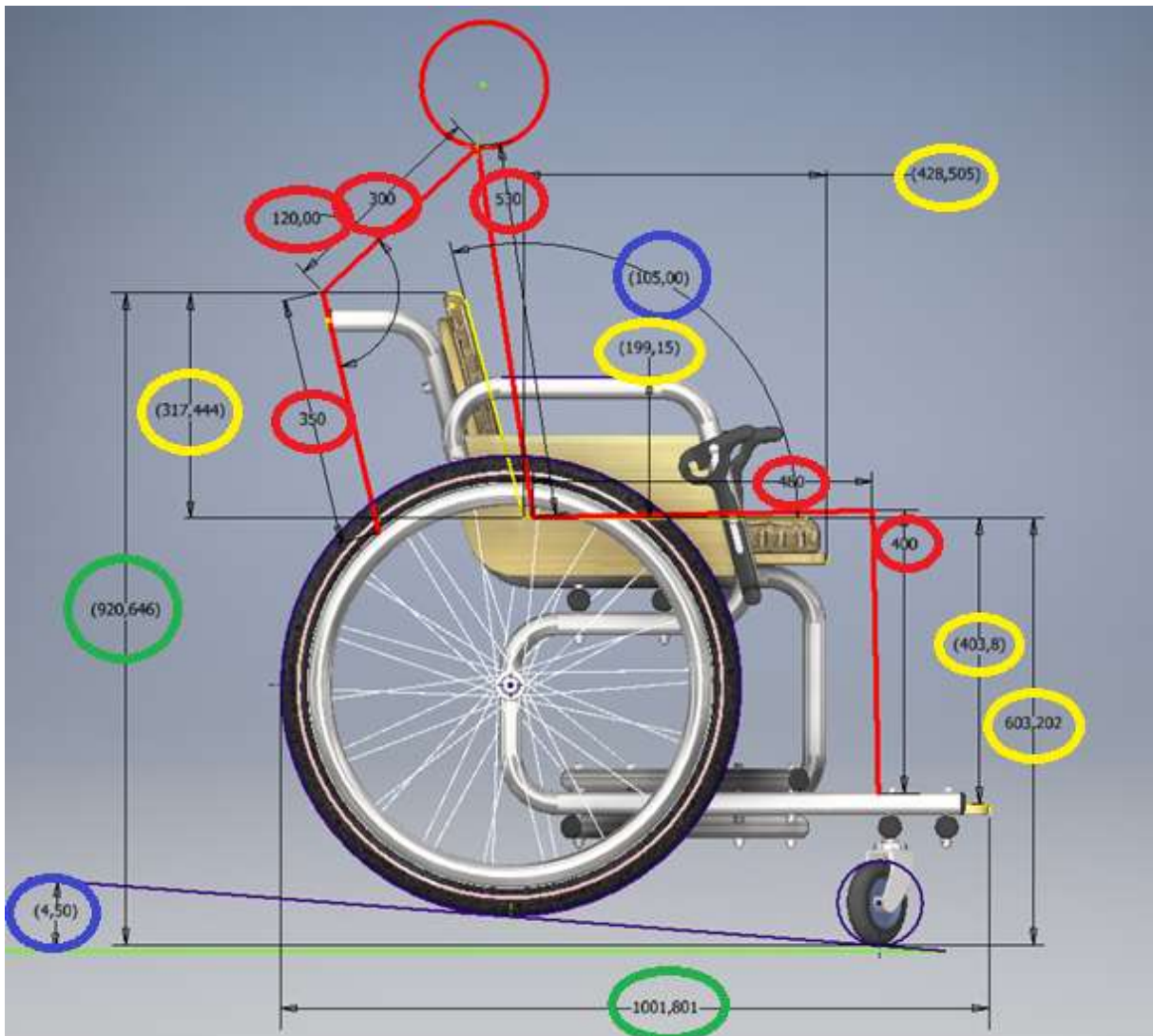


Ilustración 62. Lateral proyectado y acotado de la silla de ruedas diseñada en 3D.

Las dimensiones de longitud y altura máximas de la silla de ruedas (verde) se cumplen, siendo estas menores de 1200mm y 1080mm respectivamente. [11]

Para simular el alcance de los brazos en 120° se han representado las medidas del usuario final (rojo) sobre la silla proyectada.

La inclinación del asiento (azul) es de 4,5° para que el usuario no se deslice hacia delante durante un uso normal, y el ángulo del respaldo es de aproximadamente 110° (105° + 4,5°), que es la posición más relajada recomendada.

La altura y la profundidad del asiento, la altura del respaldo, la altura de los reposabrazos y la altura del reposapiés con respecto al asiento (amarillo), corresponden con las dimensiones establecidas antes del inicio del diseño y las medidas simuladas del usuario.

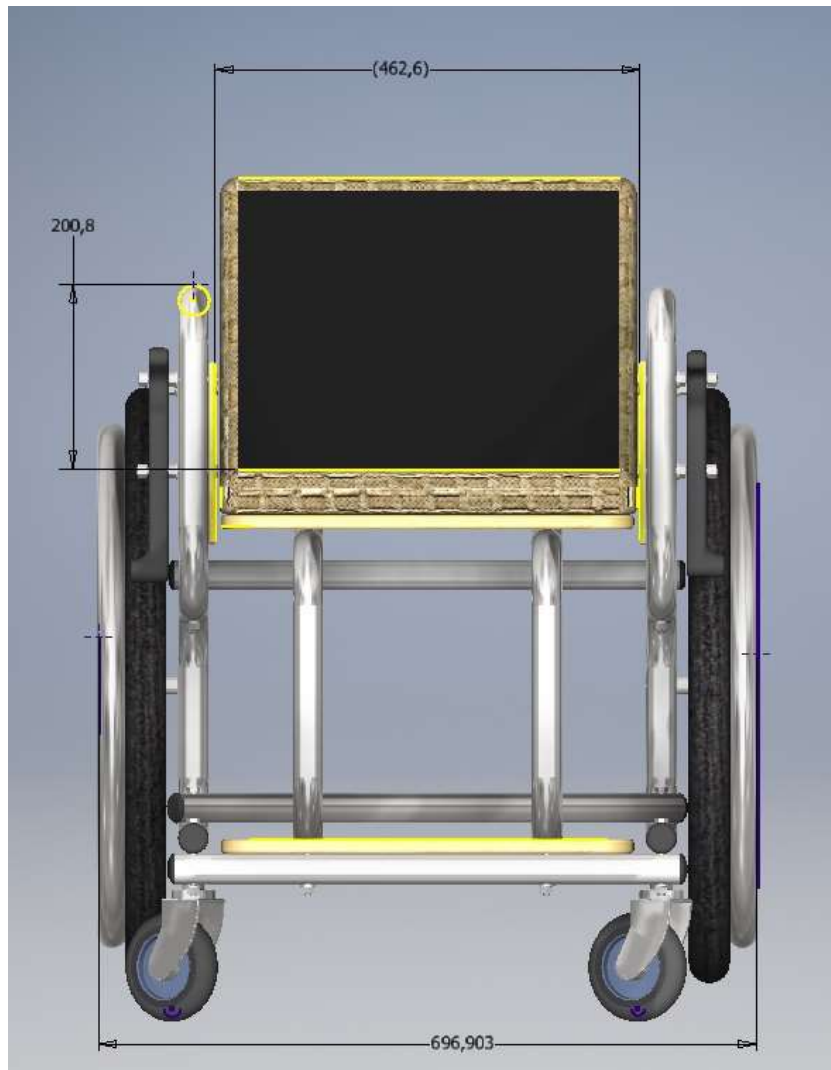


Ilustración 63. Frontal proyectado y acotado de la silla de ruedas diseñada en 3D.

Se puede observar en esta vista frontal como las dimensiones máximas de ancho de la silla de ruedas [11], y el ancho del asiento, coinciden también con las previamente establecidas en este proyecto.

El peso total de la silla de ruedas es de 29,7Kg. Este dato lo proporciona Autodesk Inventor y es el resultado de la suma de todas las piezas y las distintas densidades de los materiales junto con el peso medido de las ruedas.

Es un dato relativamente objetivo, pues tiene en cuenta también la tornillería, los tapones, y los prototipos de freno manual de PLA.

Puede considerarse un peso excesivo según los criterios de un usuario habitual de silla de ruedas, pero debe tenerse en cuenta que esta tiene tableros de madera que incrementan

notablemente el peso final, mientras que la suma de todo el acero utilizado de los tubos es aproximadamente 9kg.

9.5. Fabricación, transporte, montaje y mantenimiento.

♦ Fabricación.

Los tubos de acero se deben comprar en lotes de 2m de largo como mínimo, ya que la pieza continua más larga del chasis mide menos de esa longitud.

Como se ha establecido en apartados anteriores, el curvado de estos tubos es 2 veces el diámetro. El curvado debe realizarse con máquinas con cierta precisión, y tener en cuenta la recuperación elástica del material, en cuanto al ángulo que se necesite realizar.

En este proyecto se debe utilizar el doblado por arrastre o con brazo giratorio, ya que el grosor de la pared del tubo es suficientemente delgado para este tipo de doblado. Además, de esta forma se consigue una precisión mayor en cuanto al ángulo necesario.

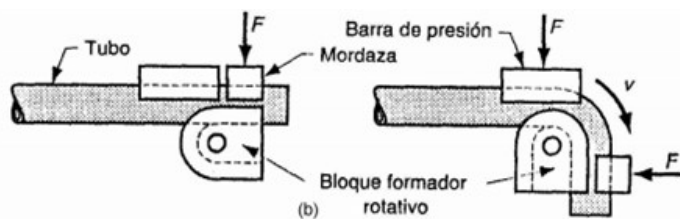


Ilustración 64. Esquema de doblado por arrastre.

En el caso del curvado de los tubos destinados para fabricar los aros de propulsión se tendrá que usar una curvadora de rodillos, debido al elevado radio de estos. Las uniones de los extremos de los aros se soldarán; por tanto, se abre la posibilidad de que se utilice un material distinto al disponible para el chasis si este no es soldable. Además, se unirán del mismo modo 6 placas, de tamaños y posiciones especificados en el plano de diseño, del mismo material que los aros.

Para evitar deformaciones internas o externas de los tubos se recomienda rellenar de arena su interior, con el fin de mantener cierta estabilidad durante el proceso.

En el caso del taladrado de los tubos se deben usar brocas para metales duros, y los cortes utilizando una radial con disco que admita ese material.

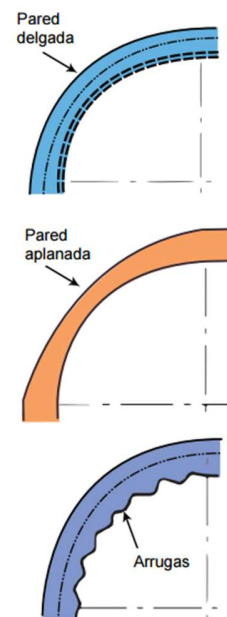


Ilustración 65. Defectos típicos del doblado de tubos.

Con el bambú se tienen que usar brocas para madera y un avellanador plano. Para los cortes de los tableros se usará una sierra de calar o una sierra de mesa para añadir estabilidad en el corte. Finalmente, los bordes deberán ser lijados y cada pieza barnizada con el aceite de teca por ambos lados.

La rueda de bicicleta consta de un eje principal con doble rodamiento de bolas. Para asegurarlo a la estructura de acero se hará pasar este eje a través de los agujeros preparados para ello, y ajustar por ambos lados de los tubos dos tuercas del mismo grosor. Normalmente las ruedas de bicicleta ya tienen esas dos tuercas, pero algunas pueden ser demasiado pequeñas para asegurar lateralmente el eje, en ese caso se tiene que adquirir una tuerca extra acorde a las medidas del eje. En ambos casos se usarán arandelas para proteger las superficies durante el proceso de montaje.



Ilustración 66. Eje de rueda de bicicleta.

♦ **Transporte.**

Durante el transporte, las piezas desmontadas estarán en un embalaje sostenible con elementos de sujeción para evitar daño en estas. Se puede utilizar cartón reciclado, este sería empleado para ambas partes.

Se recomienda al usuario que guarde el embalaje para reutilizarlo en caso de que necesite transportar la silla de ruedas desmontada; o en su defecto lo deposite en el punto de reciclaje más cercano.

El producto se entregará desmontado y empaquetado de forma óptima para la minimización del volumen del paquete.

♦ **Montaje**

Se realizará al menos un montaje completo de la estructura principal antes de ser enviado, sin ruedas ni elementos accesorios, con el fin de verificar que las piezas de la silla de ruedas encajan.

Los tapones de PLA se colocarán en los extremos de los tubos con un martillo de goma, con el fin de minimizar las tareas del usuario final y comprobar su ajuste exacto.

Las únicas piezas que el usuario no necesitará unir serán los aros de propulsión, que vendrán anclados a las llantas de las ruedas traseras.

Opcionalmente, en caso de ser posible geográficamente, se le dará la posibilidad al comprador, o beneficiario de la silla de ruedas, un servicio de montaje a domicilio, ya sea por falta de destreza, de herramientas o que quiera recibir información de manera personal.

Este elemento de servicio puede proporcionar seguridad al usuario en cuanto a la calidad del producto, y como añadido generar una relación más cercana y fluida entre el consumidor y la organización, ya que esta última deberá hacerse cargo de la silla de ruedas una vez acabe su ciclo de vida [3].

Se ha procurado que sea posible su desmontaje temporal si la silla no es necesaria por periodos prolongados de tiempo o en trayectos muy largos. Aparte de ahorrar espacio esta medida proporciona una flexibilidad en cuanto a sustitución de piezas. El uso de pernos, arandelas y tuercas de gran dimensión, aseguran su durabilidad después de ser montada y desmontada sucesivas veces.

Las herramientas básicas necesarias serán las siguientes:

- Destornillador de vaso hexagonal de 13mm. Su función será la de sujetar el perno por su cabeza.
- Una llave inglesa de 13mm o ajustable. Con ella se apretarán las tuercas.
- Inflador de neumáticos.

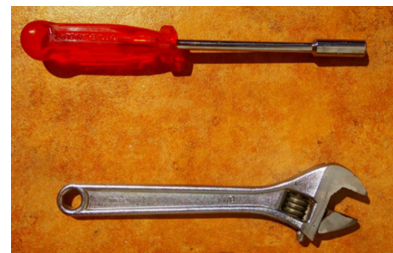


Ilustración 67. Herramientas de montaje.

♦ **Mantenimiento.**

Durante el mantenimiento general solo será necesaria una inspección regular, y un apretado de las tuercas en función de la frecuencia de uso de la silla de ruedas.

Cada cierto tiempo se efectuará una revisión interna del eje de las ruedas traseras. Estas se extraerán y se comprobará que no han sufrido curvaturas por flexión o grietas, y que los rodamientos funcionan con normalidad y sin dificultad. Este análisis previene de accidentes al usuario, y además alarga el ciclo de vida del producto, ya que dichos accidentes podrían dañar otras piezas en buen estado.

Como consecuencia de la sencillez del montaje, el usuario final conoce los distintos componentes y es capaz de identificarlos, simplificando así su mantenimiento. [1]

9.6. Resumen de medidas para la reducción del impacto ambiental.

En esta parte del proyecto se van a resumir las medidas adoptadas contra el impacto ambiental, implantadas en el diseño de la silla de ruedas. Es por tanto información de alto valor para un futuro Análisis de Ciclo de Vida (ACV)⁷ del producto diseñado.

No hay base científica para reducir los resultados de los ACV a un solo indicador o número, ya que la evaluación de los distintos impactos requiere juicios de valor y experiencia para ser precisos. A pesar de ello existen bases de datos creadas para reducir los tiempos de elaboración de esta clase de análisis. [7]

♦ Recursos materiales.

El programa de diseño Autodesk Inventor incluye una herramienta, de prueba en la versión estudiante, que analiza comparativamente el coste energético, la huella de carbono, la huella hídrica y el coste global. Aunque sus resultados son meramente superficiales, sí parece que coinciden con otros estudios realizados al respecto. [14]

La utilización de acero galvanizado o acero inoxidable en lugar de aluminio proporcionan los beneficios medioambientales que se muestran a la derecha, pero se debe tener en cuenta que estos resultados son sobre productos nuevos.

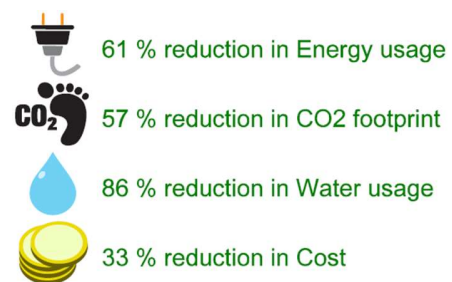


Ilustración 68. Diferencias acero frente a aluminio.

La utilización de madera frente al acero, es un valor que reduce los impactos ambientales. Este material es un contenedor natural de CO₂, y su procesado es más sencillo que en los metales.

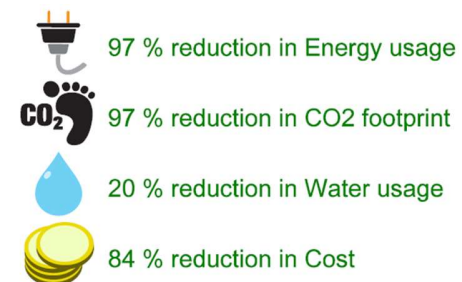


Ilustración 69. Diferencias de la madera frente al acero.

Los resultados en este caso son sobre madera de pino, ya que la base de datos de Inventor no dispone del bambú. Con el resto de maderas disponibles en la base de datos del programa se obtienen resultados similares y, por tanto, es posible extrapolar estos

beneficios también al bambú, teniendo en cuenta el alcance limitado de este análisis.

⁷ El ACV está regulado por la normativa ISO 14040 y es un proceso generalmente muy profundo sobre las implicaciones medioambientales y de impacto de todos los recursos y acciones que produce el producto en todo su ciclo de vida.

Los productos usados, o calificados como tal por excedente, son una de las medidas más relevantes e importantes en materia medioambiental en este proyecto, pues supone recuperar el valor de los materiales en su estado original. Además, el producto, una vez finalice su ciclo de vida, deberán ser recicladas o reutilizadas las partes no degradadas o dañadas. El bambú se podrá convertir en biocombustible. En definitiva, el ciclo de vida de esta silla de ruedas, es bastante aislado en cuanto a entradas y salidas de nuevos recursos materiales

Dentro de los materiales nuevos se ha elegido aquellos que se certifiquen con ecoetiquetas y evaluaciones ambientales, tales como ACV, que verifiquen la procedencia ecológica o sostenible de los mismos. Un ejemplo son los productos de la empresa Moso, fabricante de tableros de bambú (Anexo B).

Además, se han establecido criterios de selección con ecoindicadores estandarizados, tales como el EI'99 y el ESI, y estudios comparativos de emisiones de CO₂ equivalente.

En resumen, este proyecto ha tenido en cuenta el impacto ambiental de los recursos materiales en todo su ciclo de vida.

♦ **Recursos energéticos.**

Para minimizar aún más el impacto ambiental en la fabricación de esta silla de ruedas, la energía necesaria deberá proceder al 100% de fuentes de energía renovable. Para ello, se tendrá que utilizar, por ejemplo, placas solares fotovoltaicas, aerogeneradores, o calderas de combustión de biomasa sostenible.

Este tipo de energías tienen unas emisiones globales de CO₂ muy bajas, incluso teniendo en cuenta las emisiones derivadas de su fabricación y reciclado. Su uso también reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otros recursos energéticos [20].

10. Estudio económico.

A continuación, se estimará un precio total de la silla de ruedas diseñada. Estos valores son orientativos para dar una idea general del coste económico que implica la adquisición de esta silla de ruedas.

Los cálculos se deben hacer en función de cuantas unidades se van a fabricar. Si se considera el coste de un prototipo, la inversión inicial de la maquinaria, los impuestos asociados a una empresa, sus costes en recursos humanos, etc., el precio de la venta de una única silla podría ser exagerado. Por ello, se realizará un estudio de mercado para tener datos de previsión de ventas.

A pesar de esto, se va a calcular aproximadamente un precio final del producto, teniendo en cuenta los costes directos de material considerando un elevado número de ventas por encima de 1000 unidades, y los costes indirectos estimados de las máquinas y herramientas necesarias. Se desprecian los gastos de gestión, comerciales, publicitarios y otros gastos indirectos. Además, no se incluirá porcentaje de beneficios económicos, dejando esa parte para un estudio y evaluación de negocio.

Todos los precios y costes que aparecen a continuación no tienen incluido ningún tipo de impuesto.

10.1. Costes directos.

El empleo de materiales excedentes catalogados como usados, o productos procedentes de plantas de reciclaje, provoca que los precios sean inferiores a los que normalmente encontramos en las tiendas como nuevos. Estos materiales no se encuentran disponibles de manera convencional, y suelen ir ligados a estrictas normas y contratos con empresas recicladoras, constructoras o fabricantes. Es por ello necesario contactar con empresas que dispongan de estos recursos de forma habitual para asegurar el suministro de los mismos.

Se puede estimar el precio de los elementos reutilizables según su valor material, haciendo una búsqueda de los mismos en distintos mercados de segunda mano. Hay que tener en cuenta que los precios de estos productos suelen ser superiores a los pactados con empresas recicladoras y, por tanto, verse reflejado de manera sustancial en el precio final.

♦ **Coste de los tubos de acero inoxidable.**

El precio de las tuberías de acero inoxidable puede ir de los 2\$ a los 10\$ el kg de tubería. El cambio de US Dólar (\$) a Euro (€) a 15/09/2016 es de 1\$ = 0,889€.

	Unidades	Peso unidad (Kg)	Peso total (Kg)	Precio mínimo (€)	Precio máximo (€)
TUBO 1	2	2,481	4,962	8,82	44,12
TUBO 2	2	1,937	3,874	6,89	34,44
TUBO 3,4,5,6	4	0,717	2,868	5,10	25,50
TUBO 7,8	2	0,825	1,7	2,93	14,67
ARO-PROPULSOR	2	0,315	0,63	1,12	5,60
		TOTAL	9,022	16,04	80,21

Tabla 7. Cálculo coste máximo y mínimo tubos de acero inoxidable.

Se estima una cifra intermedia baja de 30€ en concepto de tubos de acero.

♦ **Coste de las tablas de bambú.**

	Composición	Dimensiones (mm)	Precio unidad (€)
Tabla 16mm	Tricapa 4-8-4 mm	2440x1220	250,05
Tabla 7mm	Tricapa 2-3-2 mm	2440x1220	168,69

Tabla 8. Composición, dimensiones y precio proporcionados por el proveedor MOSO.

		Dimensiones del diseño (mm)	Dimensiones del proveedor (mm)	Filas-columnas máximas	Piezas posibles por unidad.	Precio por unidad (€)
Tabla asiento de 16mm						
Opción A	Largo	420	2440	5,81	10	25,00
	Ancho	450	1220	2,71		
Opción B	Largo	420	1220	2,90	10	25,00
	Ancho	450	2440	5,42		
Tabla reposapiés de 16mm						
Opción A	Largo	200	2440	12,20	24	10,42
	Ancho	450	1220	2,71		
Opción B	Largo	200	1220	6,10	30	8,33
	Ancho	450	2440	5,42		
Tabla respaldo de 16mm						
Opción A	Largo	350	2440	6,97	12	20,84
	Ancho	450	1220	2,71		
Opción B	Largo	350	1220	3,49	15	16,67
	Ancho	450	2440	5,42		
					TOTAL	50,01

Tabla 9. Cálculo coste de las tablas de 16mm.

Las opciones A y B representan las dos combinaciones posibles del corte de las tablas de 16mm del proveedor, según los tamaños de las piezas del diseño final de este proyecto.

Se ha estudiado también la posibilidad de utilizar una única tabla de bambú del proveedor para obtener todas las piezas necesarias del diseño por unidad de silla de ruedas, pero el precio asciende a los 151,28 € por todas ellas; lo que inclina a decidir que la mejor combinación posible es la obtención de cada pieza por separado. Si se observa las unidades obtenidas se puede ver que se obtienen aproximadamente 30 unidades completas por cada 6 tablas del proveedor. Lo mismo sucede con los tableros de 7mm.

		Dimensiones del diseño (mm)	Dimensiones del proveedor (mm)	Filas-columnas máximas	Piezas posibles por unidad	Precio por unidad (€)
Tablas laterales de 7mm						
Opción A	Largo	200	2440	12,20	24	7,03
	Ancho*	400	1220	2,78		
Opción B	Largo	200	1220	6,10	30	5,62
	Ancho*	400	2440	5,83		

Tabla 10. Cálculo coste unitario de las tablas laterales.

*Debido a que estas piezas son romboides, y tienen un ángulo de 75°, se ha tenido en cuenta que se debe dejar un margen redondeando al alza de 54mm en cada extremo de la tabla de origen.

	Precio unitario (€)	Precio por litro (€/l)	Superficie tratada por litro de aceite (m ² /l)	Superficie total a tratar (m ²)	Precio de aceite por unidad de producto (€)
Bidón 30 litros aceite de teca	483,55	16,12	15	0,5165	0,56

Tabla 11. Cálculo coste del aceite de teca por unidad de silla de ruedas. [26]

El coste total del bambú y el aceite de teca asciende a **61,82 €**.

♦ **Coste del PLA.**

Precio bobina PLA 1kg (€)	13,21
---------------------------	-------

	Unidades	Peso unidad (kg)	Peso total (kg)	Precio total (€)
Frenos PLA	2	0,279	0,558	7,37
Tapones PLA	20	0,013	0,26	3,44
			TOTAL	10,81

Tabla 12. Cálculo coste del PLA.

Este coste está estimado en función a precios unitarios en un comercio minorista, por tanto, puede disminuir notablemente si se hacen pedidos de más de 10 bobinas. Los pesos son los datos que proporciona el programa Inventor con una densidad de 1,52g/cm³.

♦ **Coste de las piezas de unión.**

Pieza	Unidades	Peso unidad (kg)	Peso total (kg)	Precio por caja (€)	Unidades por caja	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
M8x90	4	0,024	0,096	9,84	100	0,0984	0,3936
M8x80	18	0,022	0,396	8,84	100	0,0884	1,5912
M8x55	10	0,016	0,16	14,27	200	0,07135	0,7135
M8x45	2	0,014	0,028	11,57	200	0,05785	0,1157
Tuerca M8x1,25	38	0,004	0,152	9,62	1000	0,00962	0,3656
Arandela M8	36	0,002	0,072	5,45	1000	0,00545	0,1962
TOTAL			0,904				3,38

Tabla 13. Cálculo coste de las piezas de unión. [27]

A este coste hay que añadirle el de los tornillos utilizados para unir las llantas de las ruedas con los aros de propulsión, que aproximadamente son unos 0,05€ por unidad. En total el coste de las piezas de unión será de **3,98€**.

♦ **Coste de las ruedas.**

La rueda de bicicleta reutilizada se estima un valor de 8€ por unidad, y la de carro de supermercado en 3€. El coste de una rueda delantera nueva es de 10 a 15€.

Este precio se ha tomado en función a una búsqueda exhaustiva de precios de segunda mano, pero puede ser aún menor si estos productos proceden de puntos limpios de reciclaje, o con un coste directo nulo si se realizan campañas de recogida a domicilio.

En caso de ser necesaria la reparación de una rueda, ya sea su eje, neumáticos, etc., estos costes no deben superar en ningún caso al valor unitario de un elemento equivalente nuevo. Por ejemplo, si se necesita nuevo lubricante al rodamiento de la rueda, le faltan bolas, tiene radios partidos y la llanta está aplastada, probablemente su coste de reparación sea más caro que la compra de una rueda nueva.

Se presupone un coste total en ruedas de **30€**, contando los gastos directos de reparación y puesta a punto.

♦ **Coste cojín antiescaras de algodón orgánico y látex o viscoelástico.**

El coste de este producto puede ir desde los 20€, los de peor calidad, hasta los 80€ de alta calidad y prestaciones [28]. Escogiendo uno de buena calidad, pero con un precio bajo y un respaldo equivalente, el coste estimado de este producto es de **60€**.

Este elevado precio es debido a las altas prestaciones que este elemento proporciona, y el trabajo y estudio que lleva incluido. La elección entre látex o viscoelástico puede aumentar o disminuir la calidad del producto en función este precio máximo establecido.

♦ **Coste directo total.**

	Tubos	Bambú	PLA	Ruedas	Piezas de unión	Cojín algodón	TOTAL
coste directo (€)	30	61,82	10,8	30	3,98	60	196,61

Tabla 14. Coste directo total de la silla de ruedas.

10.2. Costes indirectos y precio final del producto.

Los precios de las máquinas y las herramientas se dividen por un valor de 500 y 10 unidades de sillas de ruedas, respectivamente en función de cuantas se esperan que se puedan fabricar; esta diferencia se debe al desgaste desigual entre las máquinas y las herramientas utilizadas

Máquinas de fabricación	Precio compra estimado (€)	Coste por cada 500 unidades de producto final (€)
Curvadora por rodillos eléctrica	3000	6
Curvadora por arrastre eléctrica	1500	3
Impresora 3D industrial	400	0,8
Taladradora eléctrica de broca	70	0,14
Soldador de arco eléctrico	200	0,4
Herramientas de fabricación	Precio compra estimado (€)	Coste por cada 10 unidades de producto (€)
Martillo de goma	5	0,5
Lija de madera	2	0,2
Brocha de barnizado	2	0,2
Suministro de soldadura	30	3
Broca para acero de 9mm	3	0,3
Broca para madera 9mm	1,5	0,15
Avellanador plano para madera 15mm	2,5	0,25

TOTAL	14,94
--------------	--------------

Tabla 15. Costes indirectos de máquinas y herramientas de la silla de ruedas.

Este cálculo sirve únicamente para observar los costes indirectos de estos elementos. Sería necesario añadir el coste de mano de obra, pero no es objetivo de este proyecto calcular el tiempo de producción de la silla de ruedas, aunque se estima será bajo debido a su simplicidad.

♦ **Precio final de la silla de ruedas.**

Con previsión de un 10% como margen de seguridad del coste de todos los cálculos realizados anteriormente, se estima un precio de la silla de ruedas, sin impuestos, de:

	Costes directos (€)	Costes indirectos (€)	TOTAL +10% (€)
Precio de la silla de ruedas	196,61	14,94	232,71

Tabla 16. Precio final de la silla de ruedas.

Este precio final es similar al precio medio de otras sillas de ruedas, garantizando una máxima comodidad con el uso de cojines antiescaras de gran calidad, y con la propiedad de ser, además, a medida del usuario final.

11. Conclusiones.

En el presente proyecto se ha elaborado un diseño de silla de ruedas innovador, con el añadido, de utilizar la normativa sobre ecodiseño para elaborar un producto que, además de ser funcional, ergonómico, cómodo y rentable, sea también respetuoso con el medio ambiente.

La exclusión de productos potencialmente contaminantes, y la selección de materiales reciclables o biodegradables proporcionan un valor añadido que los consumidores más exigentes en estos factores pueden tener muy en cuenta de cara a la adquisición de una silla de ruedas.

La aplicación del ecodiseño en este caso se demuestra viable, y contribuye a reducir significativamente el impacto medioambiental sin encarecer el producto.

Como se ha señalado en el apartado anterior, el coste final de la silla de ruedas resulta comparable al precio medio de las sillas de ruedas comercializadas actualmente, destacando la adaptación específica al usuario final, la alta comodidad por el uso de un cojín antiescaras y un respaldo especial de alta calidad, y la buena estabilidad que proporciona un asiento rígido.

Una ventaja adicional es la facilidad del montaje y desmontaje total del producto, con el objetivo de reducir la complejidad del mantenimiento y la reposición individual de las piezas, esto es debido a la notable simplificación de un producto relativamente complejo.

La utilización de programas de diseño industrial en 3D, como Autodesk Inventor, es una herramienta sumamente útil de cara a la concepción de nuevos productos, pues permite acceder a información que antes únicamente era accesible a través de prototipos reales con evidente coste económico y de recursos. Por lo tanto, el uso de estos programas se vuelve indispensable hoy en día en cualquier situación y proceso productivo que pretenda ser sostenible.

12. Futuras ampliaciones.

Debido a las limitaciones que suponen el uso de una herramienta informática destinada a uso educativo, se propone hacer un análisis dinámico para estudiar la eficiencia de propulsión por empuje o con autopropulsión. Un estudio de estas características proporcionaría datos sobre la estructura que podría revertir en una reducción de material necesario para su fabricación.

También sería factible realizar un estudio dinámico de los efectos sobre los ejes de las ruedas traseras. Al tener estas unos apoyos laterales, cabría la posibilidad que se produjeran deformaciones en el eje, lo que provocaría un deterioro del producto y un acortamiento de su tiempo de vida útil. A pesar de ello, la sustitución de un eje por estos problemas no sería un inconveniente según el estado general de las ruedas.

♦ **Diseño alternativo: Reducción del ancho total sin reposabrazos.**

Un diseño alternativo sería el de eliminar las tablas de los reposabrazos y recortar la parte superior de las piezas de chasis A. Esto generaría la posibilidad de disminuir las dimensiones de las barras horizontales y del reposapiés, lo que significaría reducir el ancho total máximo de la silla de ruedas en 70mm, alcanzando cifras inferiores a los 630mm, lo que permitiría al usuario pasar por puertas más estrechas, no adaptadas para discapacitados.

Este diseño alternativo estaría destinado a usuarios dependientes de la silla de ruedas, y que quisieran una completa autonomía, o que necesiten atravesar puertas estrechas frecuentemente.

Un inconveniente sería la dificultad añadida de realizar transferencias sin el reposabrazos, y la precaución de usar ropa apropiada para evitar que esta interfiera en las ruedas traseras.

13. Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud, ISPO, USAID, Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos., Ginebra: Biblioteca de la OMS, 2008.
- [2] Organización Mundial de la Salud y Banco Mundial, «Informe Mundial sobre la Discapacidad,» Malta, 2011.
- [3] AENOR, *UNE-ISO 14006. Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño.*, Madrid: AENOR, 2011.
- [4] WWF, Global Footprint Network, Water Footprint Network ZSL Living conservation, «Living Planet Report 2014: Species and spaces, people and places,» 2014.
- [5] United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division., «UN website,» World Population Prospects. The 2015 Report., 2015. [En línea]. Available: <http://esa.un.org/unpd/wpp/>. [Último acceso: 20 julio 2016].
- [6] Observatorio de la Accesibilidad, «Breve historia de la sillade ruedas,» COCEMFE, [En línea]. Available: <http://www.observatoriodelaaccesibilidad.es/productos-apoyo/productos-apoyo/breve-historia/>. [Último acceso: 12 Julio 2016].
- [7] A. Aranda Usón, I. Zabalza Bribián, A. Martinez Garcia, A. Valero Delgado y S. Scarpellini, *El analisis del ciclo de vida como herramineta de gestión empresarial*, Madrid: FC Editorial. Fundación CIRCE, 2006.
- [8] Dadax, «Worldometers,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.worldometers.info/es/>. [Último acceso: 16 Julio 2016].
- [9] AENOR, *UNE-EN 12183. Silla de ruedas de propulsión manual. Requisitos y métodos de ensayo.*, Madrid: AENOR, 2010.

- [10] F. Gómez Sendra, A. Gil Agudo, I. Pereira Carrillo y R. Poveda Puente, «SESIR. Nuevo servicio de evaluación de sillas de ruedas.,» *Revista de Biomecánica*, vol. 1, nº 52, pp. 47-50, 2009.
- [11] AENOR, *UNE 111915 Sillas de ruedas: Dimensiones totales máximas*, madrid: AENOR, 1991.
- [12] R. Poveda Puente, J. Sánchez Lacuesta, J. Prat Pastor y R. Barberá i Guillem, «CEAPAT. Centro Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas.,» 2002. [En línea]. Available: <http://www.ceapat.es/InterPresent1/groups/imserso/documents/binario/cmoelegirtu silladeruedasmanual.pdf>. [Último acceso: 2 Agosto 2016].
- [13] Confederación Española de Persnoas con Discapacidad Física y Orgánica., «cocemfecyl,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas#pos>. [Último acceso: 24 Agosto 2016].
- [14] M. Bovea Edo, E. Camacho Cuenca y M. Vidal Nadal, «¿Es rentable diseñar productos ecológicos?: El caso del mueble,» Universidad Jaime I, Castellón, 2002.
- [15] UNESID, «Informe 2013 sobre el reciclaje del acero en la Industria Siderúrgica Española,» IRIS, Madrid, 2013.
- [16] X. Elias Castells, *Reciclaje de residuos industriales*, Madrid: Ediciones Díaz Santos S.A. , 2000.
- [17] G. Smith, «Global needs for knowledge dissemination, research, and development in materials deterioration and corrosion control,» NACE International, Houston, 2009.
- [18] O. González Yérba, *Caracterización del bambú Guadua (Guadua Angustifolia) para el diseño e industrialización en España.*, Almería: Editorial Universidad de Almería, 2014.
- [19] S. S. Muthu y Y. Li, *Assessment of environmental impact by grocery shopping bags. An eco-functional approach.*, hong Knog: Springer, 2014.

- [20] E. Assadourian, C. Flavin, H. French y G. Gardner, «La situación del mundo 2004. Informe anual del Worldwatch Institute sobre progreso hacia una sociedad sostenible.,» Icaria, Barcelona, 2004.
- [21] L. T. Sin, A. Razak Rahmat y W. A. W. A. Rahman, *Polylactic Acid. PLA Biopolymer Technology and applications.*, Chennai: Elsevier; Book AID International; Sabre Foundation, 2012.
- [22] D. Font y S. Espino, «El auge de los bioplásticos al amparo de la sostenibilidad.,» nº 195, 2013.
- [23] MOSO, «Catálogo de productos,» 2016. [En línea]. Available: https://www.moso.eu/es/direct-download/1479/Catalogo_tecnico_SP_LLQ.pdf. [Último acceso: 12 Septiembre 2016].
- [24] ASME, B36.19M. Stainless Steel Pipe. An american national standard., New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2004.
- [25] S. Schröder, «Comparing mechanical properties of bamboo: Guadua vs Moso,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.guadubamboo.com/guadua/comparing-mechanical-properties-of-bamboo-guadua-vs-moso>. [Último acceso: 12 Agosto 2016].
- [26] EcoTenda, «EcoTenda.net,» 2016. [En línea]. Available: http://ecotenda.net/es/aceite-para-madera-eco/4384-aceite-de-teca.html#/capacidad-30_litros. [Último acceso: 2016 Septiembre 5].
- [27] .comprartornillos.com, «Precios de tornillería,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.comprartornillos.com/>. [Último acceso: 2 Septiembre 2016].
- [28] Sunrise Medical, «Catálogo de cojines y respaldos antiescaras,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sunrisemedical.es/posicionamiento/jay/cojines-antiescaras>. [Último acceso: 10 Septiembre 2016].

14. Anexos.

14.1. Anexo A.



Ficha técnica

Rueda M-PGAIB 2-0326

Codigo				Tipo cojinete Eje					
2-0326	80	50	21	—	-	-	10	102	74



Características

Fabricada con chapa de acero hasta 2 m/m de espesor.
 Soporte con doble rodamiento a bolas.
 Acabado cincado.
 Especialmente diseñada para: Carros de Supermercado.
 Fabricadas según normas europeas EN 12530.

Datos técnicos

Diámetro: 80 mm
Carga: 50 kg
Tipo de cojinete: Cojinete Liso
Ancho de Banda de rodadura: 21 mm
Diámetro agujero pasante: 10 mm
Altura total: 102 mm
Radio de giro: 74 mm

14.2. Anexo B.

huella de carbono

MOSO® ha encargado a la Universidad Tecnológica de Delft la ejecución de una evaluación del ciclo de vida oficial (incluyendo la huella de carbono). El informe, que se puede solicitar, concluye que todos los productos MOSO® evaluados (suelos de bambú macizos, tarima de exterior, paneles y chapas) son CO₂ neutros o mejor durante el ciclo de vida completo.



emisiones en el interior de locales

Para tener un clima interior saludable en su vivienda es importante utilizar materiales que tengan emisiones muy bajas, los cuáles cumplan con la norma europea E1 (EN 717-1). Todos los productos MOSO® cumplen con este estándar y varios productos MOSO® están producidos con adhesivos sin formaldehído añadido, cumpliendo con la norma E0, la norma más estricta existente, la cuál es sólo alcanzada por productos que muestran emisiones mínimas, casi indetectables (emisión de formaldehídos <0,025 mg/m³) y por productos fabricados con colas sin emisiones de formaldehídos (NAF). Además, todos los parquets de bambú MOSO® han sido clasificados A y A+ en emisiones de compuestos volátiles: la mejor clasificación posible!



certificación FSC®

Reconocido globalmente como el sistema de certificación mejor y más imprescindible de sostenibilidad en la industria de madera. Recientemente, la certificación FSC® fue introducida para el bambú. Siendo innovador en la industria de bambú, MOSO® puede suministrar productos de bambú con certificación FSC® (FSC C002063). Sólo los productos marcados como tal en este catálogo están certificados FSC®.



LEED & BREEAM

La utilización de los productos de bambú MOSO® puede contribuir con varios créditos para LEED y BREEAM, las más importantes certificaciones de construcción sostenible utilizadas en todo el mundo. Contáctenos a sustanibility@moso.eu para una información más detallada y documentación.