

Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de una silla de ruedas low cost fabricada en plástico para situaciones de grandes catástrofes y pocos recursos.

Design and development of a plastic low cost wheelchair for situations of great catastrophes and low resources.

-ANEXOS-

Autor/es

Ángel Laguna Fuertes

Directora

María Aránzazu Martínez Pérez

EINA
2019

-ÍNDICE ANEXOS-

Anexo 1: Introducción a la silla de ruedas	3
Anexo 2: Ergonomía	6
Anexo 3: Proceso de fabricación	9
Anexo 4: Generación de conceptos.....	13
Anexo 5: Desarrollo previo del concepto elegido	22
Anexo 6: Desarrollo detallado de cada pieza del conjunto	28
Anexo 7: Ensayos resistentes mediante elementos finitos.....	37
Bibliografía Anexos	48

1. PARTES DE UNA SILLA DE RUEDAS

1.1 CHASIS [1]

El chasis de una silla de ruedas puede ser **rígido** (fijo), o **plegable**. En las sillas plegables parte de la energía de propulsión se pierde en el movimiento de su estructura, por los puntos de articulación, aprovechándose solo entre un **5% y 8%**. La energía que el usuario tiene que aplicar para propulsarse es más del doble que en una silla con chasis rígido (se aprovecha **15-20% del impulso**).

Otras ventajas que presenta el chasis rígido es que resulta fácil de manejar y es algo más ligero que uno similar plegable. Sin embargo la silla plegable resulta en general más cómoda de transportar y guardar al ocupar menos espacio plegada. La composición del chasis es un factor clave en la funcionalidad de la silla:

Acero	+ Barato +Pesado
Aluminio	+ Caro + Ligero
Titanio y carbono	++Caro ++Ligero

Tabla 1.1 Características del chasis según el material

1.2 ASIENTO Y RESPALDO

Aunque generalmente se entiende que forman parte del chasis es importante recordar que estas dos piezas van por separado.

El asiento suele ser acolchado o de tela dado que es la pieza que más tiempo está en contacto con el usuario y puede generarle algunos problemas cutáneos (escáras) debido a un mal circulamiento sanguíneo provocado por la presión ejercida en los muslos al aguantar el peso del ocupante durante un tiempo prolongado.

El respaldo es de tela, en los casos que sea suficientemente alto puede ejercer la función de cabecero.

1.3 RUEDAS DELANTERAS

El tamaño de la rueda puede oscilar entre los 75 mm de diámetro y los 200 mm. Cuanto más pequeña sean las ruedas delanteras menor rozamiento y mayor facilidad de giro, siendo adecuadas para interiores.

Mientras que las ruedas grandes son más recomendables para exteriores y suelos accidentados ya que resulta más fácil salvar obstáculos y no se clavan en el terreno.

La posición del eje de giro de la horquilla siempre debe encontrarse a 90° con el suelo.

Existen dos tipos de ruedas delanteras:

- **Neumáticas:** amortiguan las imperfecciones del terreno pero requieren mantenimiento (se pueden pinchar y hay que hincharlas).
- **Macizas:** resultan más duras de conducción al no amortiguar, pero no requieren mantenimiento.

1.4 RUEDAS TRASERAS

Existe una amplia variedad de tamaños según la aplicación que se le vaya a dar a la silla. Aunque la rueda trasera más habitual es la de 600 mm de diámetro (24") también se pueden encontrar las siguientes:

- **Mayor de 600mm:** Son las de 650 mm (26") utilizadas por personas muy altas o para deportes.
- **Menor de 600mm:** Son las de 550mm (22") o 500mm (20"). Una rueda más pequeña implica menor esfuerzo para propulsarla, pero también requiere mayor número de impulsos. Son utilizadas en sillas de niño o de personas con limitación del movimiento en los hombros ya que necesitan llegar al suelo para propulsarse con el pie.
Las ruedas traseras pueden mostrar múltiples configuraciones según el tipo de cubierta, neumático o llanta que tenga.

Cubiertas

- **Macizas:** Ofrecen menor resistencia al rodar y

no requieren mantenimiento pero son más pesadas y de conducción más dura al no amortiguar los accidentes del terreno. Presentan peor agarre en superficies mojadas.

- **Neumáticas:** Son de conducción más cómoda porque amortiguan los accidentes del terreno y presentan un buen agarre en la mayoría de las superficies. Son las más ligeras. Como inconveniente tienen que requieren algo más de fuerza para propulsarlas al ser más blandas y requieren mantenimiento (se pueden pinchar, y hay que hincharlas y vigilar la presión de aire para mantener su rendimiento).
- **Inserto sólido:** Son un intermedio entre las macizas y las neumáticas. No requieren mantenimiento, presentan mejor agarre que las macizas en superficies mojadas, aunque no amortiguan tanto como las neumáticas y pesan algo más que éstas.

Neumáticos de alto rendimiento

- **Tubulares:** Muy ligeros, y con mínima resistencia a la rodadura. Inconvenientes: **Poca resistencia a pinchazos** y **elevado mantenimiento**. Se utilizan para sillas de deporte en pista como el baloncesto.
- **Alta presión:** Se utilizan en deportes y en sillas de aluminio (activas). Son neumáticos muy ligeros, de alto rendimiento, que al llevar cámara permiten que su reparación sea más económica (sólo se cambia la cámara).
- **Macizos blandos:** Con un peso similar a los neumáticos, presentan menor resistencia a la rodadura que estos. Tienen mayor durabilidad que el inserto sólido y además son más baratos.

Llantas

- **Llantas de plástico:** apenas requieren mantenimiento, pero pesan más que las ruedas de radios.
- **Llanta de radios de aluminio:** Resulta más ligera que la de plástico, y absorbe mejor las rugosidades del terreno. Los radios cruzados ofrecen un entramado más fuerte. Para deporte se pre-

fieren los radios rectos, que dan mayor rigidez al conjunto, pero los aros deben de ser especialmente fuertes.

1.5 FRENOS

Se encuentran en las ruedas traseras cuando la silla es autopropulsada por el ocupante y en las **empuñaduras** cuando la silla es empujada por una persona externa.

- **Frenos con zapata:** Son los más comunes. Son de montaje alto, es decir se anclan al tubo que queda por debajo del asiento, y pueden ser de dos tipos, según se activen empujando hacia delante o tirando hacia atrás.
- **Frenos de tijera:** Para sillas muy ligeras o deportivas. Este tipo de frenos pueden ser de montaje alto o montaje bajo, según se anclen en el tubo superior o inferior del armazón, quedan recogidos por debajo del asiento cuando no se utilizan por lo que están más protegidos de impactos y no molestan en las transferencias del usuario a otra silla o camilla.
- **Freno de una mano:** Para personas hemipléjicas que solo se propulsan con una mano, existe un tipo de freno que permite frenar las dos ruedas con una sola mano.
- **Frenos con alargador:** El alargador de frenos es un accesorio que se utiliza para facilitar el acceso al freno de usuarios con poca movilidad en los brazos o las manos, y así facilitarles el frenado.
- **Frenos de tambor:** Son frenos que no son activados por el usuario sino por el acompañante. Para ello debe presionar las manetas (tipo frenos de bicicleta) situadas bajo las empuñaduras de la silla. Es el único tipo de freno que sirve tanto para el bloqueo de las ruedas cuando la silla está parada como para reducir la velocidad de la silla cuando está en marcha.

1.6 REPOSABRAZOS

Pueden ser desmontables o abatibles hacia atrás y poseer distintas longitudes del almohadillado, normal o largo. Para gente muy activa se suelen eliminar los reposabrazos y colocar unos protectores laterales para impedir que las ruedas ensucien la ropa al salpicar. Se clasifican según sean:

- **Ajustables en altura:** El almohadillado puede colocarse en diferentes alturas para ajustarse a las necesidades del usuario.
- **De escritorio:** Su forma permite el acercamiento a mesas.
- **Tubulares:** Pesan menos pero tienen una superficie de apoyo inferior.

1.7 REPOSAPIÉS Y PLATAFORMAS

Pueden ser fijos o desmontables siendo estos últimos más recomendables en espacios reducidos, como un ascensor, a razón de poder acortar la longitud de la silla.

La posición anatómica ideal de los reposapiés es a 90°. Sin embargo en adultos los pies pueden interferir con el giro de las horquillas delanteras, por lo que el ángulo se tiende a reducir. Los ángulos más frecuentes son de 90°, 70° y 60°.

También pueden ser elevables para adoptar posturas más cómodas. Se utilizan mucho en sillas con respaldo reclinable.

Las plataformas de reposapiés son normalmente de plástico. Pueden ser dobles o bien una plataforma única, con o sin cintas taloneras. Normalmente el ángulo entre el reposapiés y las plataformas es de 90°, pero hay plataformas que tienen la posibilidad de regular este ángulo, para adaptarse a necesidades concretas de algunos usuarios.

2. POSTURA EN LA SILLA DE RUEDAS

2.1 TAMAÑO DEL ASIENTO [2]

Los principales agentes a tener en cuenta es que el usuario se pueda sentar erguido en una posición simétrica y que la presión que soporten las nalgas-muslos sea la mínima. Por ello es muy importante tener en cuenta el tamaño del asiento puesto que asegura la estabilidad así como la distribución del peso del usuario:

- Si el asiento **es demasiado ancho** el usuario tenderá a no sentarse simétricamente, si es demasiado estrecho existe el riesgo de que se produzcan escaras (úlceras en la piel) por presión.
- Si es **demasiado corto**, los muslos no se apoyan en el asiento en toda su longitud de forma que se acumula mayor presión en las nalgas.
- Si es **demasiado largo**, puede producir tensión en la zona de detrás de la rodilla. También dificultará que el usuario obtenga el soporte adecuado del respaldo, ya que tenderá a deslizarse en el asiento para evitar la tensión.

La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada de dos dedos de espacio entre el final del asiento y la zona interna de las rodillas del usuario.

2.2 FORMA Y ÁNGULO DEL ASIENTO

Si el asiento no es lo suficientemente rígido y flexa, es decir se hunde, esto provocará que el usuario se siente de manera asimétrica (muslos y rodillas se empujan) produciendo un exceso de presión y rozamiento entre los muslos.

Una buena postura sería tener el ángulo de la cadera, entre los muslos y el tronco, a 90°.

2.3 SOPORTE PARA LOS PIES

Una vez establecido el ángulo de la cadera en 90°, la mayoría de las personas se sentirán cómodas si las rodillas se encuentran también en un **ángulo de 90°**.

Este mismo ángulo se debe mantener también en los tobillos.

Por lo tanto desde el punto de vista ergonómico los reposapiés deberían de ser de 90°. Sin embargo en adultos, normalmente no se da, porque de esta forma las plataformas del reposapiés impiden el libre giro de las ruedas delanteras.

En usuarios con piernas largas el ángulo del reposapiés deberá ser inferior para que las plataformas no entorpezcan actividades como subir un bordillo.

La **altura** a la que estén colocadas las plataformas también es importante. Si están demasiado bajas o el asiento demasiado alto, las rodillas del usuario estarán más bajas que sus caderas.

De esta forma el usuario tenderá a deslizarse en el asiento, dificultando la propulsión y aumentando el rozamiento en las nalgas.

2.4 ALTURA DEL RESPALDO

El respaldo debe ser lo bastante alto como para **estabilizar la región lumbar superior**.

Por encima de este nivel la altura del respaldo depende de las necesidades o preferencias particulares del usuario. En lesionados medulares cuanto más alta es la lesión necesitarán un respaldo más alto para dar soporte al tronco.

Se recomienda un respaldo más alto para dar seguridad al usuario que usa por primera vez una silla de ruedas. Una vez acostumbrado y si su lesión lo permite, tenderá a respaldos más bajos que ofrecen mayor libertad de movimientos del tronco.

2.5 FORMA DEL RESPALDO Y ÁNGULO

La mayoría de usuarios se sentirán cómodos con un respaldo que dé adecuado soporte a la región lumbar. La forma, junto con un ángulo de inclinación adecuado, proporciona apoyo y equilibrio a la parte superior del cuerpo. El respaldo debe de estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla.

Un respaldo completamente recto hace que la fuerza de gravedad recaiga en los hombros del usuario por lo que éste tenderá a inclinarse hacia adelante para compensarla.

Un respaldo demasiado reclinado resulta incómodo porque el usuario ve reducido su campo visual.

2.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA MOVILIDAD

En esta tabla se han relacionado los **factores externos** con los **factores directos** mostrando cual es su dependencia y que le hace aumentar o disminuir.

Los **factores externos** en la tabla se definen como aquellas condiciones que depende directamente del entorno en el que se desenvuelve el producto o incluso aquellas partes del producto que estén estrechamente relacionadas con el terreno como es el caso de las ruedas tanto delanteras como traseras. Tanto el material, el tamaño de ruedas como la distancia entre el eje de giro entre las ruedas traseras y delanteras son factores que se engloban en esta clasificación.

Por otro lado los **factores directos** se han definido como aquellos factores físicos que debido a su estrecha relación con el ocupante de la silla de ruedas van a afectarle más durante el tiempo de uso del producto. En este caso los factores serían la estabilidad, la fuerza de empuje para mover la silla y el rozamiento de las ruedas con el suelo

Una silla autopropulsada debe ser producto del balance entre estos factores teniéndose en cuenta el objetivo final de su uso, tanto es así que una silla de ruedas fabricada para un jugador de baloncesto debe requerir poca fuerza de empuje y ruedas traseras colocadas con ángulos superiores a 90° para agilizar los giros y ganar estabilidad.

		Factores externos			
		Material	Distancia entre el eje de las ruedas traseras y el de las ruedas delanteras	Ruedas traseras	Ruedas delanteras
Factores que afectan directamente al usuario	Rozamiento	Aumenta si las ruedas son neumáticas	-	Aumenta al hacerse más grandes. Mejor agarre	Aumenta al hacerse más grandes. Mejor agarre
	Fuerza de empuje	Aumenta si las ruedas son neumáticas	A menor distancia mejor manejo pero mayor energía de propulsión requerida	Aumenta si es duro y liso	Aumenta si es duro y liso
	Manejo / Estabilidad	Las ruedas neumáticas son más cómodas, favorecen la amortiguación	A mayor distancia más fácil mantener un rumbo recto	Es mayor al aumentar el ángulo + de 90° y viceversa	Siempre a 90°
Nótese que la relación entre rozamiento, agarre y fuerza de empuje es directamente proporcional. Al aumentar una de ellas el resto también lo hacen.					

Tabla 2.1 Comparativa entre factores directos y externos

3. BREVE INTRODUCCIÓN A LOS PLÁSTICOS [3][4][5][6]

El término «Plástico» es habitual para describir una amplia gama de materiales sintéticos o semisintéticos. Debido a la inmensa variedad y propiedades que poseen los plásticos se encuentran entre los materiales industriales de mayor crecimiento en la industria moderna.

Mediante la reacción química de **polimerización** los **monómeros**, obtenidos de los gases del petróleo y del carbón, forman moléculas de cadena larga llamadas **polímero**, la estructura del plástico. Principalmente existen dos métodos para este proceso uno es por adición, la cadena larga se genera por reacción directa de dos o más monómeros similares, y otro por condensación en donde se utilizan monómeros que son diferentes y se genera un subproducto, H₂O.

El plástico es un material de múltiples aplicaciones gracias a su propiedad de ser maleable, además posee una alta resistencia a la corrosión y a otros agentes químicos, baja conductividad térmica y eléctrica, es un aceptable aislantes acústicos, etc.

Aunque estas sean sus propiedades generales en realidad los plásticos se componen de un grupo muy amplio en él que se puede encontrar materiales con combinaciones químicas que le confieren cualidades más técnicas, es decir, más adecuadas a su finalidad. Usualmente la clasificación de este gran grupo se puede hacer ya sea por su naturaleza, **naturales** o **sintéticos**, o por su estructura interna:

- **Termoplásticos:** Se forman por estructuras lineales las cuales pueden ser fácilmente desarmadas mediante el calor y al enfriarse vuelven a agruparse. Esto hace que se puedan reciclar múltiples veces aunque hay que tener en cuenta que sus características técnicas irán empeorando. Los principales termoplásticos del mercado son: PET, HDPE, LDPE, PVC, PP y PS. Todos ellos siguen un código de números para su reciclado.

Otros termoplásticos a destacar y que se agrupan en el mismo número de reciclado son: ABS, POM, PA, PBT, PC, PPO, PPS, PIB, PMMA, PVDF, PVA, MBS, PU, CA, SAN y EVA.

- **Termoestables:** Los plásticos termoestables son materiales que, una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales infusibles e insolubles, es decir que solo se pueden conformar una vez.

En este grupo se encuentran: EP, PF, PUR, PTFE y UP.

- **Elastómeros:** Los elastómeros son polímeros amorfos formados por grandes cadenas de moléculas las cuales después de ser deformadas a temperatura ambiente, recobran en mayor medida su tamaño y geometría al ser liberada la fuerza que los deformaba. Esta capacidad de deformación se debe a que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea.

Algunos de los elastómeros más comunes son: TPE-S, TPE-O, TPE-V, TPE-U, TPE-E y TPE-A.

3.1 PROCESOS DE CONFORMADO DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS [7] [8]

[9] [10]

Aunque se ha optado por elegir el proceso de inyección para producir el producto, también se han estudiado otros procesos los cuales se detallan a continuación:

1. **Fundición:** Es el proceso más básico, en él se funde el material para luego verterlo en el molde obteniendo así la forma definitiva tras la polimerización. **Termoestables** y **termoplásticos**.
2. **Moldeado por compresión:** Se introduce la resina (en forma de polvo o granulado) en un molde caliente previamente mecanizado con la forma de la pieza a modelar. Posteriormente se cierra el molde y se aplica calor, entre 140°-170°, y presión consiguiendo así la polimerización de la resina con la forma del molde. Recomendable para producir pequeñas series y piezas de geometría de revolución. **Termoestables**.
3. **Modelado por transferencia:** Es un proceso

intermedio entre la inyección y la compresión. El material se carga en una precámara al molde final dónde se va calentando; posteriormente se aplica presión mediante un pistón obligando al material a fluir a través del bebedero del molde y se deja curar (polimerizar). Finalmente los eyectores del molde expulsan la pieza una vez terminada. **Termoestables** y **termoplásticos**.

4. **Termoformado:** Se coloca una fina capa de material en una presa donde se va calentando. Luego con aire a presión o vacío se obliga a la lámina de material a adoptar la configuración del molde. **Termoplásticos**.
5. **Calandrado:** Se utiliza para revestir otros materiales ya sean textiles, papel, cartón, etc. El proceso se lleva a cabo mediante una secuencia de rodillos que van aplanando el material consiguiendo láminas de revestimiento de hasta 0'3 mm; la superficie de los rodillos determina si la superficie de la lámina resultante será lisa o mate. **Termoplásticos**.
6. **Extrusión:** La configuración de la máquina es similar a la de inyección con la diferencia de que genera la pieza con el troquel de extrusión y no con un molde. El material pasa de la tolva donde se almacena en forma de polvo o granulo a una larga cámara de calefacción donde un tornillo sin fin lo empuja obligándolo a pasar a través de un extrusor preformado, la configuración del troquel determina la forma de la pieza. Este proceso también sirve para recubrir otras piezas con geometría de extrusión como pueden ser los alambres, cables, etc. **Termoplásticos**.
7. **Hilado:** Similar al proceso de extrusión, en este caso el material se hace pasar por una matriz de agujeros muy pequeños de modo que se consiguen hilos de diámetro reducido. Posteriormente se enfrían y estiran para después enrollarlos en forma de boquillas. **Termoplásticos**.
8. **Soplado:** Se aplica aire a presión en una preforma hueca y precalentada, obtenida por extrusión, de este modo se hace que el material se adapte a las paredes del molde consiguiendo así piezas huecas con un orificio de entrada. Este proceso es usado comúnmente para la fabricación de botellas. **Termoplásticos**.

3.2 MOLDEO POR INYECCIÓN [11] [12] [13] [14] [15]

El principal proceso de fabricación para este producto es la inyección por lo que se va a describir con más detalle en este apartado.

3.2.1 PARTES DE UNA MAQUINA INYECTORA

Primero se encuentra la **unidad de inyección** cuya función principal de es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se introduce el material plástico en forma de polvo o granulado en una tolva la cual alimenta a un husillo el cual va empujando el material a la vez que se calienta y funde hasta llegar a la boca de salida. En esta unidad se deben considerar tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero C_p [cal/g °C].
- El calor latente de fusión, si el polímero es **semi-cristalino**.

Posteriormente se encuentra la **unidad de cierre** compuesta por una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Es importante que haya suficiente fuerza para evitar que escape material por la unión del molde, esto provocaría rebabas como defecto en la pieza final.

Para calcular esta fuerza se suele utilizar el área proyectada de la pieza excluyendo huecos o agujeros.

3.2.2 MOLDE

El molde es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde atornillándolo en la **unidad de cierre**. Las partes del molde son:

1. **Cavidad:** Es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
2. **Canales:** Son conductos a través de los cuales

fluye el polímero fundido a la presión de inyección. El **canal de alimentación** se llena a través de la **boquilla**, los siguientes canales son los denominados **bebederos** y finalmente se encuentra la **compuerta**.

3. **Canales de enfriamiento:** Por ellos circula agua para regular la temperatura del molde. Poseen un diseño complejo y es específico para cada pieza y molde. Un correcto enfriamiento de la pieza evita que ésta no se deforme debido a las contracciones irregulares.
4. **Barras expulsoras:** Estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad del molde una vez abierto, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.

3.2.3 DEFECTOS DE LAS PIEZAS MOLDEADAS POR INYECCIÓN [16]

La inyección de plásticos es un proceso ampliamente utilizado en la actualidad y está en continua mejora gracias al análisis de los errores obtenidos en las piezas. En este proyecto se ha querido aprovechar el conocimiento actual que hay sobre errores comunes para prevenir posibles defectos en las piezas que se van a diseñar, por lo que en este apartado solo se expondrá como solucionar los defectos a través del diseño de la pieza sin tener en cuenta otras medidas que se puedan llevar a cabo durante el proceso como sería la regulación de los parámetros de inyección: velocidad, temperatura, volumen, tiempo, presión, etc.

Antes de empezar a citar los posibles defectos conviene conocer que se pueden clasificar según afecten a la **superficie**, al **contorno exterior** (forma) o a las diferentes **propiedades mecánicas**:

1. **Rechupes/hundimientos:** Son defectos visuales típicos que afectan a la estética de la pieza, se muestran como hundimientos en la superficie de la pieza. Se pueden formar o bien durante el proceso de curación debido a que no se ha añadido suficiente material a la cavidad del molde, mientras el plástico se está contrayendo, y las capas externas todavía no son lo suficientemente fuertes para soportar las fuerzas de contracción o bien por que al extraer la pieza del

molde el núcleo de la pieza aún estaba en estado líquido, esto ocurre al inyectar el plástico demasiado rápido, haciendo que el calor todavía almacenado en él contraiga las paredes exteriores de la pieza.

La manera de evitar que ocurra este defecto en cuanto al diseño de la geometría de la pieza es evitar: diferencias de espesor entre paredes, acumulaciones de material debido a la relación por ejemplo entre el grosor de un nervio y su radio.

El grosor de las paredes debe ser como mínimo el 40% o el 60% de las paredes adyacentes, en el caso de que las paredes sean altas se colocan nervios para endurecerlas.

En cuanto a las esquinas externas pueden ser finas pero deben ir acompañadas de un radio interno de modo que se eviten así tensiones que puedan generar deformaciones.

Las inclinaciones colocadas para asegurar un buen desmoldeo deben ser uniformes en toda la pieza, como norma general el ángulo de inclinación es de un 1 grado por 25 mm de altura de pared).

El grosor de la pared viene determinado por el material utilizado:

Resina	MM
ABS	1.143 - 3.556
Acetal	0.762 - 3.048
Acrílico	0.635 - 3.810
Polímero de cristal líquido	0.762 - 3.048
Plásticos reforzados con fibra larga	1.905 - 25.40
Nailon	0.762 - 2.921
Polycarbonato	1.016 - 3.180
Poliéster	0.635 - 3.175
Polietileno	0.762 - 5.080
Polisulfuro de fenileno	0.508 - 4.572
Polipropileno	0.635 - 3.810
Poliestireno	0.889 - 3.810
Poliuretano	2.032 - 19.05

Figura 3.1 Grosos de pared según el material

2. **Pulido no uniforme:** Este defecto se puede apreciar visualmente al fijarse en el brillo superficial de una pieza dado que el brillo de una superficie es mayor en tanto menor sea su rugosidad. Esta rugosidad se compone de microdeformaciones superficiales por donde puede comentar una grieta y posteriormente la fractura total de la pieza por lo que es un factor a tener muy en cuenta. Se recomienda usar un molde con las paredes pulidas al máximo posible y prestar especial atención a las variaciones de espesor de las paredes en la zona visible de la pieza.
3. **Alabeo:** La deformación afecta al contorno exterior, y al igual que el **hundimiento** se produce al utilizar paredes demasiado delgadas para el material elegido. En cuanto a utilizar materiales para reforzar la pieza ProtoLabs dice *“los materiales rellenos de vidrio, que tienen un buen comportamiento en piezas propensas al hundimiento, son menos resistentes al alabeo. Esto se debe a que las fibras de vidrio tienden a alinearse según el llenado, creando tensiones internas”*.

Por último añadir que los soportes internos como escuadras de refuerzo o nervaduras ofrecen un mejor comportamiento frente al alabeo.

3.2.4 PLÁSTICOS USADOS EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN [17]

Material	Atributos
ABS	Aspecto estético Estabilidad dimensional Resistente al impacto
ABS-Like	Precisión Durabilidad Resistencia al impacto
ABS/PC	Aspecto estético Estabilidad dimensional Resistencia al impacto
HDPE	Durabilidad Resistente al impacto Rigidez
LDPE	Resistencia al agrietamiento Flexibilidad Resistencia al impacto

Nailon	Rigidez Resistencia Resistencia a la temperatura
PA (Nailon)	Rigidez Resistencia Resistencia a la temperatura
PBT	Resistencia a productos químicos Estabilidad dimensional Baja absorción de humedad
PC	Estabilidad dimensional Resistencia al impacto
PC-Like	Precisión Rigidez
PEEK	Resistencia a productos químicos Esterilizabilidad Rigidez Resistencia
PEI	Resistencia al calor Resistencia al impacto
Silicona líquida	Durabilidad estética Durabilidad Flexibilidad Resistencia a la temperatura
TPE/TPV	Flexibilidad
POM (Acetal)	Resistencia a la corrosión
PP	Resistencia a la corrosión Resistencia a los disolventes
PP-Like	Precisión Durabilidad Flexibilidad
PPS	Resistencia a productos químicos Resistencia a la temperatura
PS	Resistencia al impacto Rigidez
TPU	Resistencia a la abrasión Flexibilidad Resistencia al impacto

Tabla 3.1 Polímeros y sus atributos

4. METODOLOGÍA

El proceso que se ha llevado a cabo hasta llegar al planteamiento del **concepto final** se puede resumir en estos cuatro apartados:

1. **Listado de los objetivos** del proyecto a cumplir por el producto.
2. Establecer las posibles **funciones secundarias** que acompañaran a la **función principal**.
3. **Descomposición estructural** de una silla de ruedas estándar relacionando sus partes principales acompañaran a la **función principal**.
4. **Especificaciones de diseño del producto (EDP)** a modo de listado de las conclusiones de la fase previa de investigación e información.
5. **Posición y número de las ruedas**.
6. **Generación de ideas** en función de los apartados anteriores.
7. **Selección de las ideas** que mejor cumplen con los objetivos principales.

4.1 LISTADO DE OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es diseñar y desarrollar una silla de ruedas de fácil montaje, almacenaje y transporte que conlleve un reducido precio, dado que la finalidad de este producto es hacerlo llegar de manera rápida y sencilla a zonas de grandes catástrofes, que además pudieran tener reducidos recursos.

Por lo tanto el resultado del proyecto debe cumplir con:

- **Fácil montaje:** Este objetivo se resuelve vigilando el número de piezas principales y auxiliares teniendo en cuenta que la unión entre ellas sea sencilla. Se debe evitar lo máximo posible el uso de elementos externos de unión como tornillos, tuercas etc.
- **Fabricación y transporte económico:** Debido a la reducción de piezas así como la optimización

del peso de las piezas y la capacidad de minimizar las zonas vacías en su apilado.

- **Ergonomía:** La versatilidad del diseño conservando medidas antropométricas que permitan que el producto sea usado por la mayor cantidad de personas. Aunque las piezas se adapten en cierto modo a las medias del usuario esto no debe afectar a la fabricabilidad del producto sabiéndose que es en plástico.

4.2 FUNCIÓN PRINCIPAL Y SECUNDARIAS

La **función principal** de la silla de ruedas es el **transporte de personas de un punto a otro**.

Es importante definir las funciones secundarias dado que afectan directamente al número de elementos que componen el producto:

- **Plegarse:** La silla de ruedas podría constar de piezas previamente ensambladas por un bisagra de modo que el voluntario solo deba desplegar los diferentes subconjuntos y unirlos favoreciendo el **fácil montaje**.
- **Regulación:** Permitir que haya partes de la silla que se adapten a la longitud real de las extremidades del usuario ayudaría a la **ergonomía**.
- **Servir de camilla:** Puede que el paciente usuario de la silla esté demasiado dañado como para ir sentado, una silla versátil que pudiera transformarse en camilla para poder transportarlo adecuadamente tumbado aumentaría la utilidad del producto cumpliendo con el objetivo de **ergonomía**.
- **Guardar material quirúrgico:** Esta función secundaria favorece la versatilidad pero empeora la **fabricabilidad** dado que debería poder cumplir con la normativa de transporte de materiales quirúrgicos para asegurar que no sufren durante el transporte.
- **Apilarse:** Si la silla puede ser desmontada o configurada a través de rotaciones de sus piezas para poder ocupar menos espacio en el transporte este será más **económico**.

4.3 DESCOMPOSICIÓN ESTRUCTURAL

Se ha procedido a analizar la relación que existe entre cada una de las piezas que conforman una silla de ruedas convencional, es decir, la conectividad entre las diferentes partes principales.

El esquema de abajo muestra las piezas más comunes en una silla de ruedas.

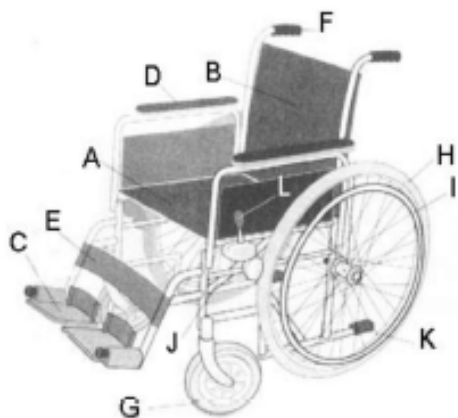


Figura 4.1 Índice alfabético de las partes de una silla de ruedas

- A. Asiento:** Es la pieza que más tiempo va a estar en contacto con el **ocupante** por lo que suele ir ligada a un cojín para mejorar la comodidad en los muslos del ocupante e incluso mejorar la posición que adoptará este en la silla.
- B. Respaldo:** Lugar en el que reposa la espalda del ocupante y en algunos casos también la cabeza si el respaldo es lo suficientemente alto.
- C. Reposapiés:** Esta pieza permite mantener una distancia fija entre los pies del **ocupante** y sus muslos de modo que si las rodillas forman un ángulo de 90° los muslos evitan el esfuerzo que genera el peso de las piernas.
- D. Reposabrazos:** Sirve para aligerar la carga a soportar por los hombros debido al peso de los brazos.
- E. Reposapiernas:** Junto a los reposapiés sirven de alivio para las cargas en los muslos y además para evitar que las piernas del **ocupante** se va-

yan hacia atrás en un momento en el que la silla de ruedas esté inclinada.

- F. Empuñadura de empuje:** Es la zona de agarre que usa el **usuario voluntario** para ejercer una fuerza que mueva el conjunto de la silla. Esta fuerza es positiva cuando hace avanzar al conjunto, se referirá a partir de ahora como empuje, y es negativa cuando lo hace retroceder, llamándose en este caso fuerza de tirado (es igual que la de empuje si es plano es llano).
- G. Ruedas delanteras:** Generalmente no están restringidas en su giro por lo que permite que la silla de ruedas pueda girar con facilidad.
- H. Ruedas traseras:** Transforman la fuerza de empuje generada en la empuñadura en traslación de la silla de un punto a otro debido a la rotación de las ruedas y a su fricción con el suelo.
- I. Aro de propulsión:** El **ocupante** de la silla puede moverla desde su posición sentada mediante el giro de esos aros. En rampas inclinadas pueden generarse momentos de inestabilidad en las que en el peor de los casos la silla se venza hacia atrás volcando al **ocupante**.
- J. Chasis:** Estructura que además de dar rigidez y proteger el conjunto de impactos une las diferentes piezas principales mediante piezas de ensamblaje como tornillos, tuercas, rodamientos etc.
- K. Barras de inclinación:** Ya que el tamaño de las ruedas delanteras es generalmente pequeño estas barras al ser pisadas ayudan al **usuario voluntario** a inclinar la silla de modo que pueda superar la altura de un bordillo, escalón u otro tipo de obstáculo del terreno cuando se enfrenta a este de frente.
- L. Frenos:** Restringen el giro de las ruedas delanteras de modo que la silla no pueda avanzar.

De todos estas piezas el reposapiernas, las barras de inclinación y los aros de propulsión han sido descartadas para el análisis posterior debido a que no son piezas cruciales en el contexto de diseño de esta silla de ruedas en específico.

En la siguiente tabla se muestran las relaciones entre los elementos de la silla. Con esto se consigue definir cuales van a ser las principales uniones, entre que elementos y de qué modo se produce.

Debido a la extensión del texto en algunas celdas se ha preferido colocar números que hacen referencia a su apartado correspondiente:

	Respaldo	Reposapiés	Reposabrazos	Empuñadura	R.delanteras	Frenos
Asiento	1	2	3			
Respaldo			4	5		
Reposapiés					6	
Empuñadura						
R.traseras						
Maneta						
Palanca						

Tabla 4.1 Índice numérico de las uniones entre los distintos elementos de una silla de ruedas

1. Asiento - Respaldo: Lo más común es que no estén directamente unidas sino que cada una esté unida individualmente al chasis. Puede encontrarse el caso en el que el respaldo esté insertado mediante un tubo en un agujero en la parte de atrás del asiento.



Figura 4.2 Vista de la unión asiento con respaldo

2. Asiento - Reposapiés: Puede ser también a través del chasis o bien mediante unas barras que llevan los reposapiés atornillados, estos pueden incluso girar en varios sentidos, y en el otro extremo tienen una serie de inserciones que se anclan a dos salientes del asiento. Con esto se permite un fácil desmontaje de los reposapiés, es importante poder quitarlos dado que aumentan notablemente la longitud de la silla e impiden que esta se pliegue correctamente en el caso de que sea plegable.



Figura 4.3 Vista de la unión asiento con los reposapiés

En algunos reposapiés incluso se puede modificar el ángulo con respecto al asiento de modo que las piernas puedan quedar en horizontal. Esto es común en sillas de ruedas con respaldo reclinable.



Figura 4.4 Vista de la unión asiento con reposapiés inclinables

3. Asiento - Reposabrazos: En este caso existen muchas variables de uniones. Se podrían resumir entre reposabrazos fijos y regulables. En el caso de los fijos el reposabrazos puede formar parte del propio asiento o del chasis.



Figura 4.5 Vista de la unión asiento con reposabrazos

Mientras que en el caso de los regulables lo que es propiamente el reposabrazos va unido a una estructura fija del chasis mediante un tubo que desliza por un agujero con un tornillo de apriete si el tubo no tiene agujeros, si se ejerce la suficiente fuerza el tubo puede deslizar, o con un tornillo pasante si el tubo tiene agujeros, es más fiable para mantener la posición.



Figura 4.6 Vista de la unión asiento con reposabrazos regulable

4. Respaldo - Reposabrazos: En modelos en los que no hay tantos requerimientos técnicos y el uso de la silla es puntual los reposabrazos pueden aparecer saliendo del propio respaldo, es decir que están en voladizo. En la unión con el respaldo aparece un mecanismo que permite plegar los reposabrazos de modo que formen la misma línea con el respaldo.

Este sistema deja al ocupante con mayor libertad para mover las piernas y el tronco puesto que no su ancho no está limitado por dos "paredes" como en el caso de asiento - reposabrazos. No se recomienda usarlo para personas con lesiones medulares.



Figura 4.7 Vista de la unión respaldo con reposabrazos

5. Respaldo - Empuñadura: La unión es a través del chasis en todos los casos, en esta unión se suelen situar los frenos.



Figura 4.8 Vista de la unión respaldo con empuñadura

6. Reposapiés - Ruedas delanteras: En modelo deportivos se da este tipo de unión debido a que permite mejores giros al situar las ruedas en los laterales del reposapiés en vez de atrás. Se unen a través del chasis, generalmente formado por tubos.



Figura 4.8 Vista de la unión reposapiés con ruedas delanteras

4.4 DISPOSICIÓN Y NÚMERO DE RUEDAS

Se ha realizado una tabla en la que se resume las variaciones posibles que pueden obtenerse teniendo en cuenta el tamaño de la rueda y el número y disposición de las mismas. Solo se ha considerado hasta 4 ruedas por que la intención de la tabla es buscar alternativas más simples a las sillas de ruedas estándar para reducir material y peso.

Hay que tener en cuenta que las ruedas frontales (el triángulo naranja dispuesto delante del dibujo indica la dirección en la que mira la silla) rotan a la vez que giran sobre el eje perpendicular al plano y las traseras giran en su eje pero no direccionan.

	1	2	3	4
Ruedas grandes ATRÁS				
Ruedas grandes DELANTE				
MISMO tamaño ruedas				

Figura 4.9 Combinaciones de posición y número de ruedas

De la tabla anterior las alternativas de una única rueda, el transporte se realiza a modo de carretilla, no se consideran viables puesto que el ocupante estaría inestable durante el traslado además de que

el usuario **voluntario** debería realizar un esfuerzo enorme para poder trasladar todo el peso del ocupante y parte de la silla.

En el caso de la configuración de dos ruedas aparecería el problema de la inestabilidad cuando se disponen las ruedas a modo de bicicleta y el problema del esfuerzo cuando las ruedas se encuentran en el mismo eje.

Dicho esto solo queda elegir entre disposiciones de 3 o 4 ruedas. La más común de todas ellas es la opción D, también se pueden encontrar ejemplos comerciales de otras:



Figura 4.10 Combinación C (3 ruedas, grandes atrás)



Figura 4.11 Combinación J (4 ruedas de mismo tamaño)



Figura 4.12 Combinación D (4 ruedas, grandes atrás)
Como mención especial, arriba a la derecha, se ha

encontrado una silla de ruedas de cuatro ruedas pero que puede desplegarse de tal manera que en momentos determinados se clasifique como silla de dos ruedas. El ocupante queda prácticamente de pie, el uso de esta silla suele ser para momentos muy puntuales.



Figura 4.13 Combinación I (2 ruedas grandes)

En la siguiente tabla aparece la valoración de las propuestas de 3 y 4 ruedas atendiendo a parámetros que se han determinado como importantes. La puntuación se ha obtenido ordenando del 1 al 5 las diferentes configuraciones de ruedas siendo el 5 la versión que mejor cumple con el parámetro.

		Nº de ruedas				
		3		4		
Código según figura 4.9		C	G	D	H	J
Estabilidad		3	1	5	2	4
Minimiza esfuerzo de empuje		3	1	5	2	4
Ahorra espacio		4	2	3	1	5
Manejo		3	1	5	2	4
Sortea bordillos	De frente	1	4	2	5	3
	De espalda	4	1	5	2	3
Puntuación		18	10	24	14	23

Tabla 4.2 Selección de la mejor combinación para el proyecto

La opción D, silla de 4 ruedas donde las ruedas traseras son las de mayor tamaño, es la más adecuada para el contexto en el que trabajará la silla donde debido a la urgencia de transportar a personas a una zona de atención médica ésta debe ser manejada sin dificultad y a la vez aportar estabilidad al ocupante.

4.5 CONCEPTOS DE PLEGADO

4.5.1 PLEGADO SOLO DELANTERO

Un concepto que se propone es que la silla no sea desmontable (permanezca siempre como un único bloque) y para guardar sea plegable.

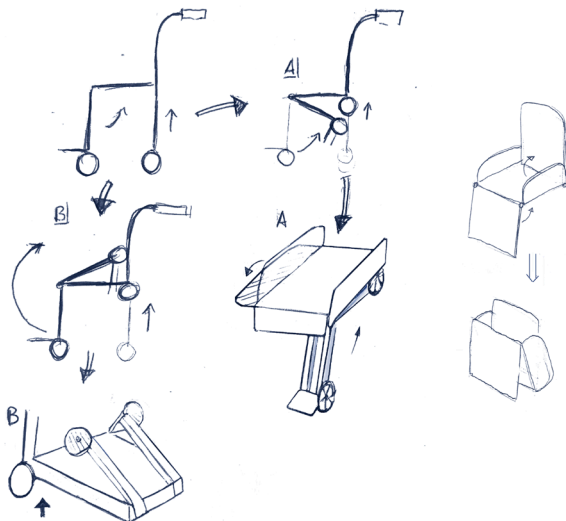


Figura 4.13 Boceto concepto 1

Entre la idea A y B la diferencia es la dirección de plegado del reposapiés, si bien en la opción B no serían necesarios mecanismos de sujeción para el reposapiés puesto que la fuerza que ejercería el ocupante sería contraria al giro de la bisagra, el problema es que el plegado resulta menos eficiente que en la opción A en donde queda más compacto.

4.5.2 PLEGADO TENDEDOR

La siguiente idea surge de la observación de que como se pliegan otros productos (en este caso un tendedero).

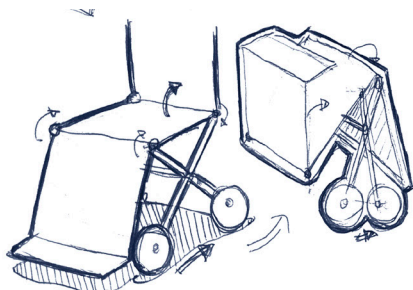


Figura 4.14 Boceto concepto 2

4.5.3 PLEGADO BASADO EN SILLAS DEL MERCADO

La silla de la figura 14.15 puede plegarse hasta generar un plano de un espesor de escasos centímetros con lo cual podría apilarse una gran cantidad de las mismas.



Figura 4.15 Imagen de una silla plegable comercial [X]



Figura 4.16 Boceto concepto 3

La silla podría disponer de unas láminas de plástico a modo de persiana que permitieran un plegado más óptimo.



Figura 4.17 Imagen silla de asiento-respaldo laminado [X]

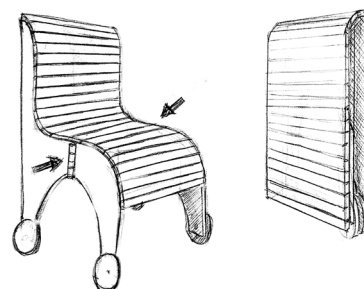


Figura 4.18 Boceto concepto 4

4.5.4 PLEGADO BASADO EN ROTACIONES

Se parte de la idea de usar volúmenes que se sabe que son eficientes en cuanto al aprovechamiento del espacio y su manera de apilado como es el caso de los cilindros y prismas. A partir de ahí se realizarían una serie de rotaciones generando el volumen final de la silla.

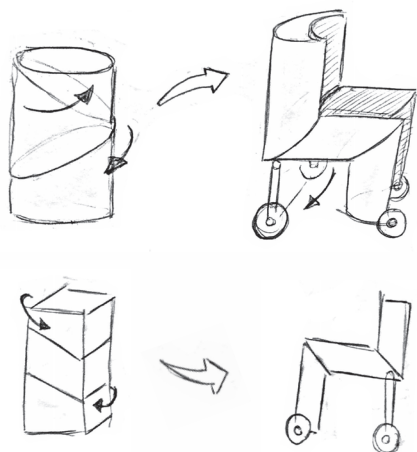


Figura 4.19 Boceto concepto 5

El problema es que debido a las grandes dimensiones de una silla de ruedas esto generaría volúmenes demasiado grandes para ser manejados con facilidad por lo que se buscó la manera de seguir con esta idea pero optimizando el uso del material al pensar en la silla como un conjunto de planos unidos.

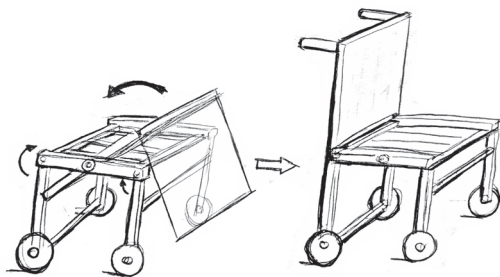


Figura 4.20 Boceto concepto 6

4.7 CONCEPTOS DE MONTAJE

En esta idea se propone una silla de piezas rígidas que se van montando, solo tienen un modo de montaje por lo que no puede haber errores de montaje. Una vez las piezas desmontadas se consigue un mejor apilado.

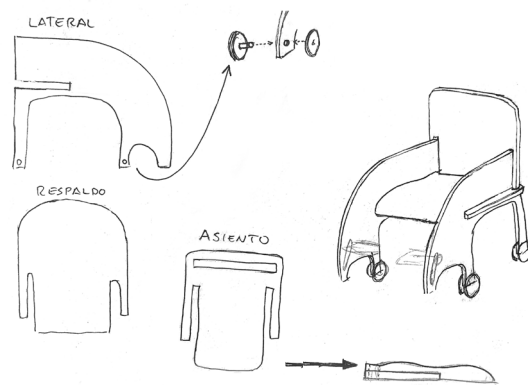


Figura 4.21 Boceto concepto 7

La disposición del respaldo con respecto al asiento sugiere que se podría disponer de una sola pieza que viniera acoplada en la esquina del reposapiernas con respecto al asiento.

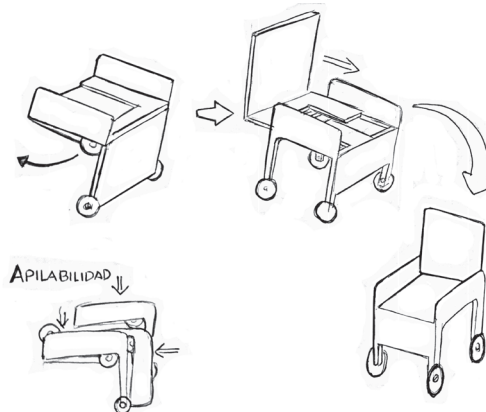


Figura 4.22 Boceto concepto 8

Se ha pensado que podría ser una opción para el futuro del producto, dejar unos agujeros en los laterales del mismo de modo que se puedan insertar ruedas de propulsión y así darle una segunda vida al producto después de haber sido utilizado como silla auxiliar siendo ahora de autopropulsión manual.

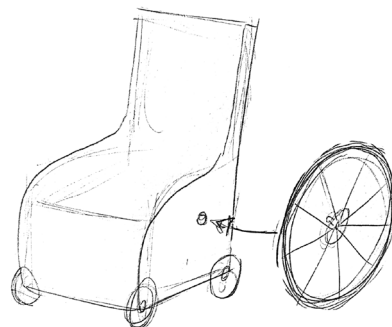


Figura 4.23 Boceto concepto 8 ampliado

4.6 CONCEPTOS DE REGULACIÓN

4.6.1 REGULACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE ASIENTO Y REPOSAPIÉS

El **reposapiés** es una pieza necesaria para aumentar la comodidad del ocupante e incluso para restringir ciertos movimientos que no se desea que el ocupante haga con las piernas.

Esta pieza se encuentra atornillada a una barra que la une al **asiento** (ver apartado 4.3, 2. Asiento - Reposapiés) y puede regularse en distancia con respecto al asiento, en ángulo entre el tobillo y la tibia e incluso ser plegada con respecto a la barra citada.

Lo que se propone en este concepto es poder solventar la regulación en distancia con respecto al asiento, la más importante de las anteriormente mencionadas, pero reduciendo el número de piezas que usualmente se usan ya que consistiría en una pieza **clipada** a unos salientes del propio asiento.

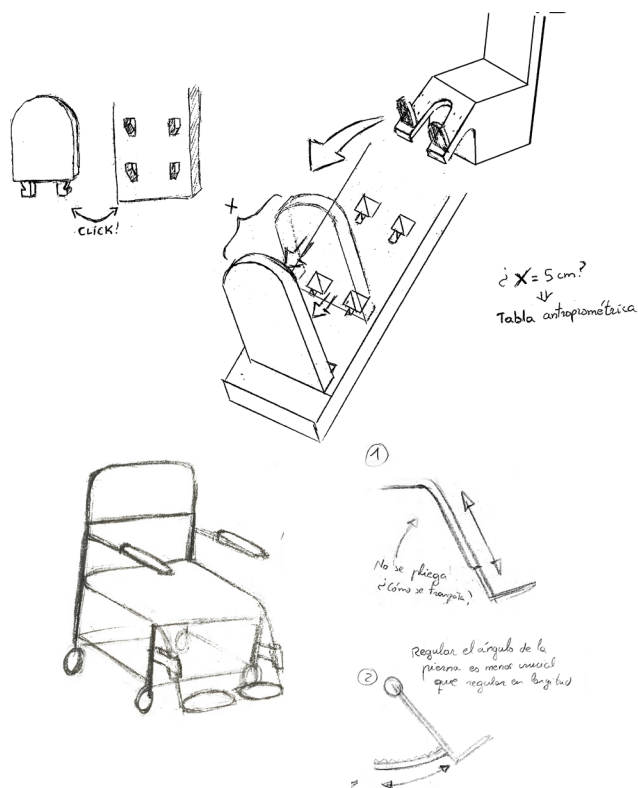


Figura 4.24 Boceto concepto 9

4.6.2 SILLA CON DESLIZAMIENTO

Esta idea parte de pensar en la silla como un prisma a la hora de ser transportada, de modo que se apilan una encima de otra sin dejar huecos entre ellas. Dicho prisma es partido por la diagonal de su cara rectangular generando dos triángulos rectángulos que deslizan por la diagonal, ganando altura una de ellos si el otro se mantiene estático.

Esto traducido a efectos prácticos sería un bloque formado por el asiento junto a los reposabrazos, el respaldo y las empuñaduras él que deslizaría sobre otro bloque formado por las cuatro ruedas y el reposapiés. De este modo conforme se desliza hacia arriba el bloque en el que está el asiento, **éste gana distancia con respecto al reposapiés** permitiendo la regulación en distintas alturas. Si se desliza el bloque del asiento hacia abajo entonces quedaría recogido formando un solo bloque compacto.

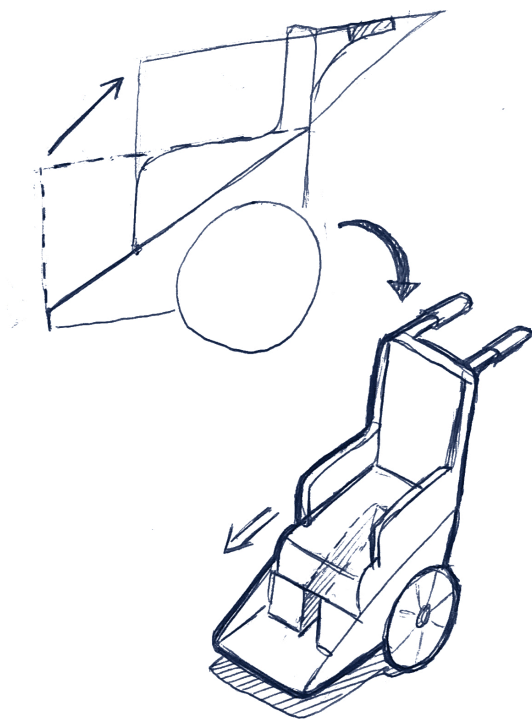


Figura 4.25 Boceto concepto 10

4.7 CONCEPTO DE REDUCCIÓN DE RUEDAS

Con este concepto se proponía reducir el número de ruedas a razón de simplificar el montaje y el número de recursos utilizados.

Pero finalmente se vio que surgían problemas que empeoraban la calidad del transporte del ocupante, lo cual es crucial a la hora de elegir el concepto final.

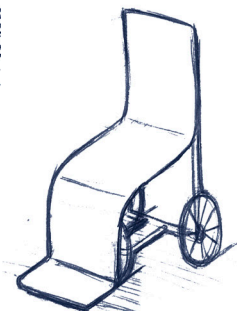
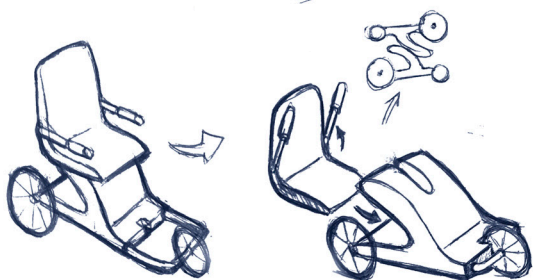
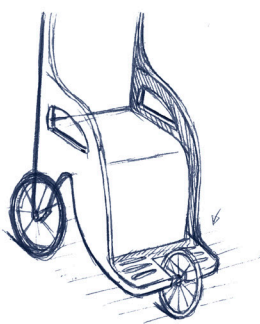
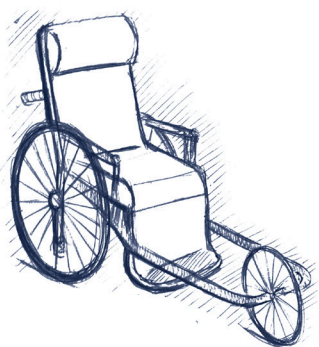


Figura 4.26 Bocetos concepto 11

4.8 CONCEPTO DE FUNCIONES SECUNDARIAS

La silla podría tener doble funcionalidad cumpliendo como silla de transporte y como camilla auxiliar, de modo que pudiera accederse con ella hasta el lugar donde se encuentra la persona herida en los momentos en el que el terreno imposibilitara el uso de la silla de transporte.

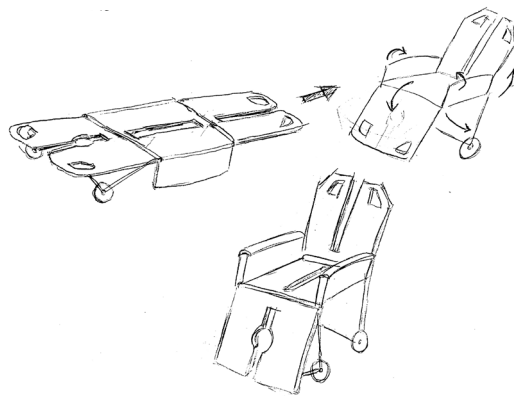


Figura 4.27 Boceto concepto 12

Se ha pensado que podría ser una opción para el futuro del producto, dejar unos agujeros en los laterales para poder incrustar ruedas de propulsión, dándole una segunda vida al producto después de haber sido utilizado como silla auxiliar.

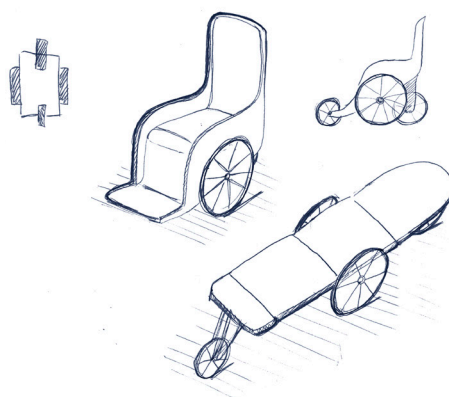


Figura 4.28 Boceto concepto 12 con diferente disposición de ruedas

5.1 CONCEPTO CAJA

El concepto parte de la idea de que sus componentes deben poder confinarse en el espacio de una caja cuadrada siendo dicha caja parte de la silla de ruedas. La intención es que el conjunto recogido pueda transportarse debido a la reducción de tamaño. En la siguiente imagen se muestra un esquema de las piezas que se van a utilizar.

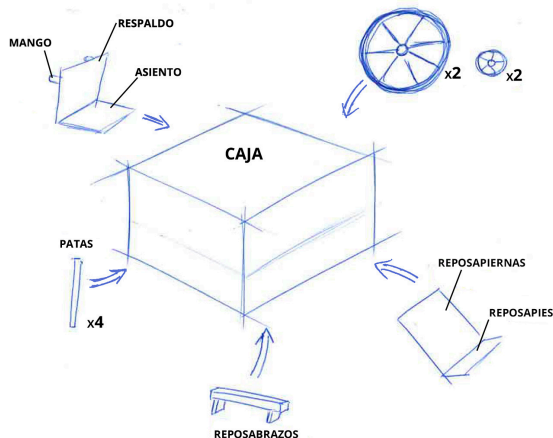


Figura 5.1 Concepto de silla-caja

Se han valorado dos alternativas para llevar a cabo la idea de la caja. En la primera las piezas serían elementos que van guardados dentro de la propia caja formada por los reposabrazos como paredes, el asiento como base, el respaldo como tapa y el reposapiés como uno de los fondos. Las piezas se sacarían de dentro y se montarían en el exterior de la "caja".

El problema vendría determinado por el tamaño de los elementos que deben ir dentro de la caja, siendo críticas las ruedas traseras que generalmente son de mayor tamaño que el ancho de un asiento.

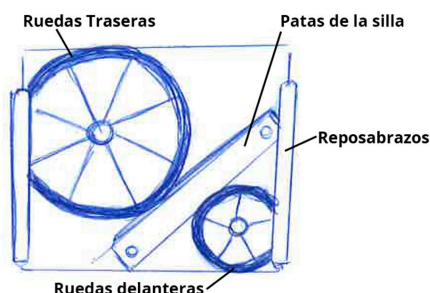


Figura 5.2 Disposición de las piezas en una caja

Por lo tanto se decidió que las ruedas traseras debían ir fuera.

La segunda alternativa que se planteó es que hubiese partes previamente ensambladas al asiento de modo que simplemente se plegaran y desplegaran con una unión de bisagra.

En el primer boceto se ve como el asiento y los reposabrazos forman una única pieza unida a otra compuesta por un reposapiernas y reposapiés que podrían girar en la unión para ser plegado (más adelante se habla de ello). También habría un respaldo que se plegaría para cerrar la "caja". Este respaldo tendría incorporado dos empuñaduras de empuje y un asa que permitiría coger el conjunto con facilidad una vez plegado.

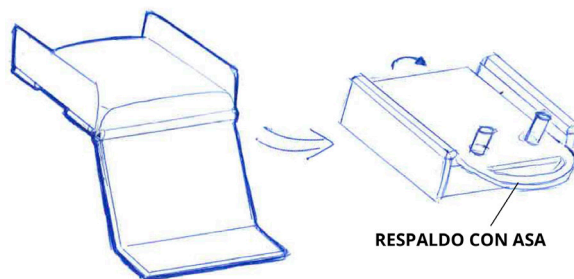


Figura 5.3 Vista frontal y plegado del respaldo sobre el asiento

Se valoraron distintas alternativas de plegado de las patas de modo que quedaran recogidas debajo del asiento y posteriormente protegidas por el reposapiés al ser plegado. El problema de este sistema es que las uniones con giro como las bisagras absorben mucha energía haciendo que la silla sea menos eficiente en el transporte además de peligroso dado que podría ocurrir que las patas se plegaran en un momento de uso y poner sistemas de fijación aumentaría el número de piezas.

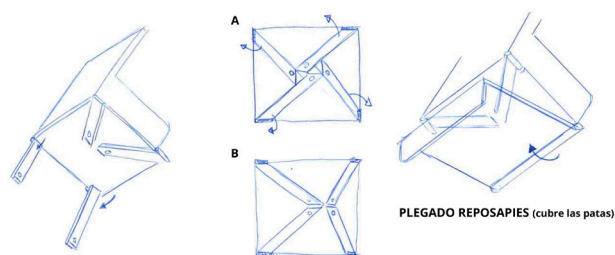


Figura 5.4 Plegado de las 4 patas por debajo del asiento

Este problema de las bisagras no es tan significativo en la unión del respaldo con el asiento, por lo que sería viable que estas dos piezas rotaran entre sí.

La rotación puede darse en dos sentidos, uno en el que el respaldo fuera hacia la parte superior del asiento y otro en el que fuera hacia la parte de abajo.

En el primer sentido el respaldo cerraría la "caja". Se podría bloquear el giro usando la geometría de las propias piezas y así evitar que el ocupante se fuera hacia atrás y se lastimara.

En el segundo sentido habría que usar un elemento externo que fijara la posición del respaldo para que no se fuera para atrás durante su uso. Las ventajas serían que se podrían aprovechar las propias empuñaduras para ser el elemento de anclaje en la parte de abajo del asiento mientras que el reposapiés por su geometría se plegaría protegiendo la parte de arriba del asiento, cerrando perfectamente la "caja".

Otra configuración posible del respaldo es que en vez de plegarse se deslizara usando los reposabrazos como raíles y las empuñaduras para usarse de agarre facilitando la extracción del respaldo.

RESPALDO DESLIZANTE

RUEDAS EXTRAÍBLES

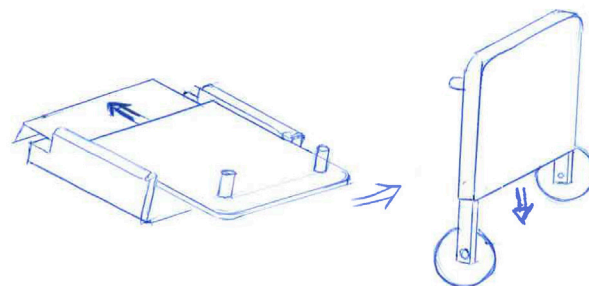


Figura 5.5 Inserción del respaldo, con ruedas traseras en tubos telescópicos, entre los reposabrazos

5.2 EVOLUCIÓN A CARRITO

Esto originó la idea de que las ruedas traseras podrían ir unidas a dos tubos que deslizarían en dos huecos en los laterales del respaldo. Se ahorraría altura y el problema de tener las ruedas como elementos sueltos quedaría resuelto ya que vendrían directamente ensambladas de la fábrica.

RESPALDO PLEGADO [DIRECCIÓN 1]

RESPALDO PLEGADO [DIRECCIÓN 2]

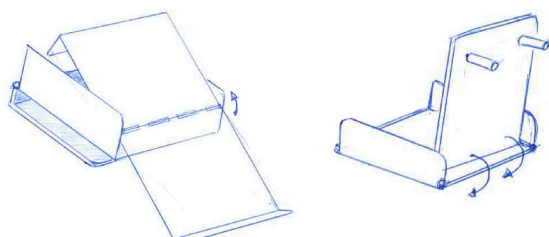


Figura 5.3 Modos de plegado del respaldo

Si el respaldo se plegara en la primera dirección podría aprovecharse para proteger otras piezas más delicadas como son los reposabrazos.

Los reposabrazos tendrían unos salientes a los lados que se insertarían en el asiento permitiéndoles girar y de este modo poder plegarse debajo del respaldo.

REPOSABRAZOS PLEGADOS

RESPALDO PLEGADO

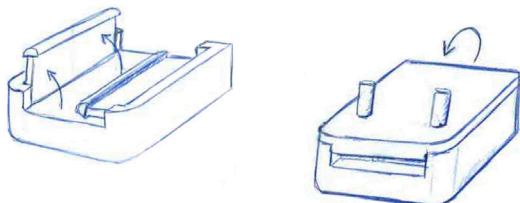


Figura 5.4 Plegado del reposabrazos

RUEDAS TRASERAS DESLIZANTES

RUEDA DELANTERA

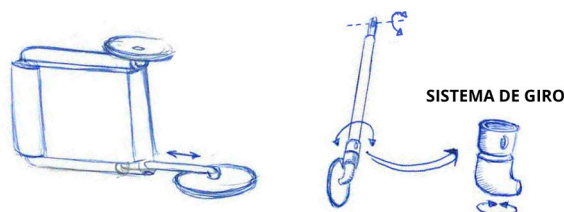


Figura 5.6 Ruedas traseras en tubos telescópicos

El siguiente paso era resolver las ruedas delanteras. Se pensó unirlas a un tubo cilíndrico con una unión que permitiera su giro. Este tubo estaría unido por su otro extremo al asiento de modo que pudiera plegarse hacia atrás quedando recogido debajo del asiento.

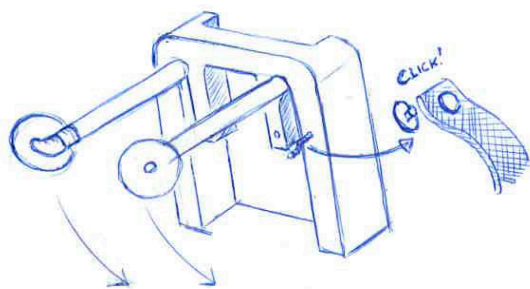


Figura 5.7 Patas delanteras plegables

Cambiando las dos ideas del plegado de las ruedas traseras y delanteras más la idea de que el respaldo tuviera un asa en su parte superior surgió el concepto de que la silla en vez de ser recogida a modo de maletín fuera tipo carrito. Con esto se consigue reducir los esfuerzos del transporte manual de la silla y además se aprovechan las ruedas traseras.

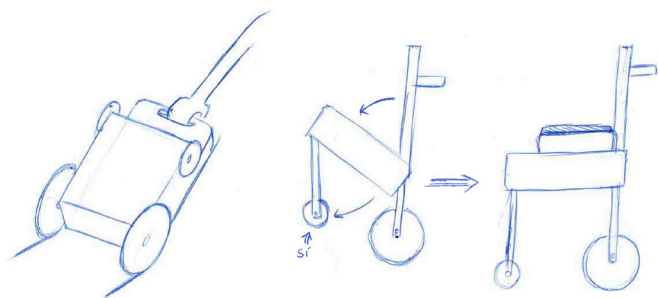


Figura 5.8 Concepto de plegado carrito

Posteriormente se realizaron bocetos tanteando las maneras en las que este concepto podría ser apilado teniendo en cuenta que vendría totalmente montado de fábrica. Aquí se intuyó que las ruedas traseras iban a suponer un problema ya que al estar en los laterales de la silla y no ser un elemento reducible (no se recomienda el uso de ruedas plegables) iban a ocupar un espacio constante que dificultaba configuraciones de mayor ahorro y aprovechamiento del espacio del camión.

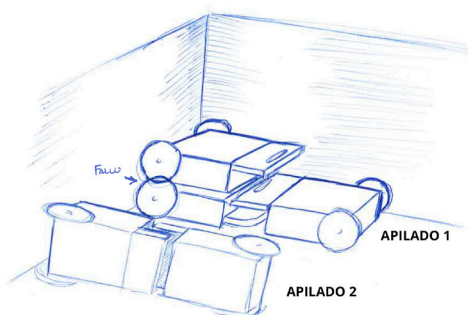


Figura 5.10 Valoración de las posiciones de apilado

5.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL CONCEPTO

Para la realización de este apartado se han usado en todos los casos dos modelos antropométricos a escala 1:10, uno de ellos representando las medidas del percentil 95 de la población española en edad de trabajar y otro con las medidas del percentil 5. Usando ambos modelos se consigue dimensionar los elementos de modo que sean válidos para la mayor cantidad de población.

En el uso de una silla de ruedas de transporte coexisten dos tipos diferentes de usuarios, uno es el que se ha denominado como voluntario (el que empuja la silla) y otro es el ocupante (el que va sentado).

Cada tipo de usuario entra en contacto con una parte diferente de la silla y en una posición distinta por lo que hay que dimensionarla atendiendo a sus necesidades:

- **Voluntario:** Se va a encontrar de pie todo el rato y estará en contacto con la silla a través de la empuñadura, por lo tanto la primera medida a dimensionar es la altura a la que va a estar esta empuñadura.

Superponiendo ambos modelos como se ve en la imagen de abajo y posicionando sus brazos en un ángulo cómodo (indicada por el área pintada en verde) se obtiene una altura de 1000 mm en la que ninguno de los percentiles adoptaría posturas incómodas o dañinas para la salud. Hay que tener en cuenta que el usuario real puede acercarse o alejarse de la silla hasta encontrar su posición ideal.

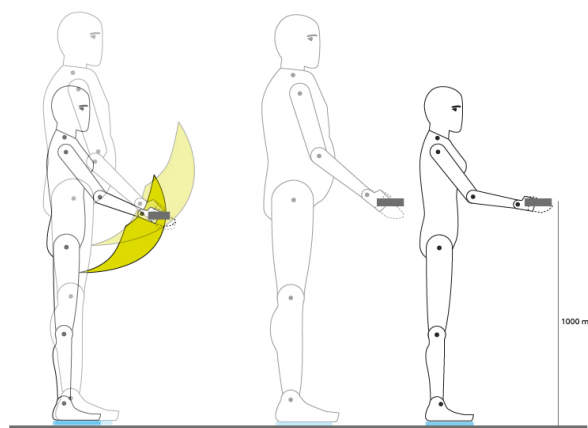


Figura 5.11 Zona de agarre del asidero

- **Ocupante:** Estará sentado y en algunos casos apoyado en el respaldo de la silla. Es el usuario con más requerimientos dado que es que más tiempo pasa con el producto y por su situación física (probablemente con algún tipo de lesión).

Las piezas que entran en contacto son el respaldo, el asiento, el reposabrazos y el reposapiés.

Comenzando con la longitud del asiento esta debe ser tal que un usuario con una longitud de fémur corta pueda doblar la rodilla sin problemas y su espalda se encuentre a una distancia mínima del respaldo, mientras que un usuario de fémur de largo pueda apoyar la totalidad de los muslos sin problemas. Esta distancia se a determinado como 460 mm.

En cuanto a la anchura del asiento esta será un poco más ancha que las caderas del percentil 95, es decir que el 95% de la población cabrá en este asiento. La medida resultante es 460 mm de ancho para el asiento.

El respaldo tiene que cubrir la altura suficiente para que los hombros se puedan apoyar y de manera adicional la cabeza también. Para poder cumplir con el percentil 95 se ha pensado en crear una pieza que pueda insertarse en la zona superior del respaldo y haga apoya-cabezas.

La anchura del respaldo es un poco mayor a la del asiento ya que generalmente los hombros tienen mayor envergadura que las caderas.

Se vuelve a usar al percentil 95 obteniendo 520 mm de anchura.

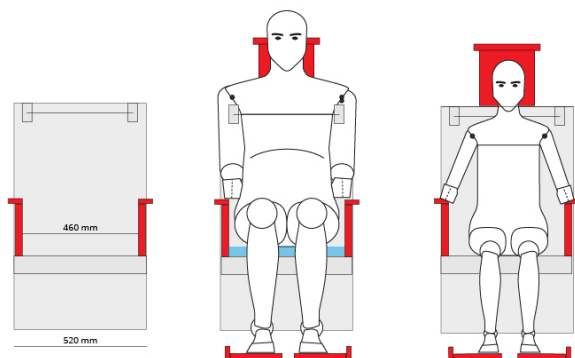


Figura 5.12 Ergonomía de la silla (medidas de anchura)

Lo siguiente es determinar la distancia a la que la silla se encuentra del suelo. Lo importante aquí es vigilar que la altura del reposapiés respecto al suelo no suponga una dificultad a la hora de que el ocupante quiera bajarse del asiento, siendo 80 mm una altura aceptable.

Las ruedas traseras serán de 300 mm, suficiente diámetro para sortear un bordillo de altura media. Al no tener el usuario que autopropulsarse y por lo tanto tener que alcanzar los aros de propulsión esta medida no afecta al dimensionamiento ergonómico, como si ocurre en las sillas de autopropulsión.

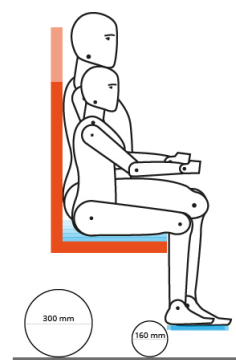


Figura 5.13 P.95 usa cojines, en azul, para estar más elevado

Por último, se va a procurar que la pieza que sea el reposabrazos sirva también de reposapiés y apoya cabezas para ahorrar costes. Vendrá determinada por el antebrazo y pie del percentil 95 que curiosamente es la misma.

La altura debe ser aquella que permita que el ocupante mantenga un ángulo recto en sus codos.

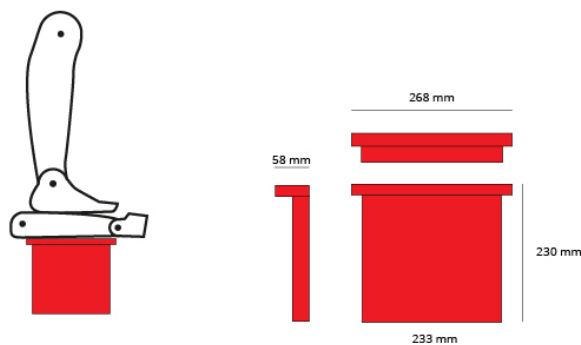


Figura 5.14 Ergonomía apoyabrazos y reposapiés

Una vez obtenidas las medidas de ambos usuarios hay que juntarlas en un solo producto teniendo en cuenta que ambos usuarios comparten el mismo nivel de suelo.

Como se observa en la imagen el ocupante no llega a tapar la vista del voluntario por lo que este puede saber en todo momento su trayectoria.

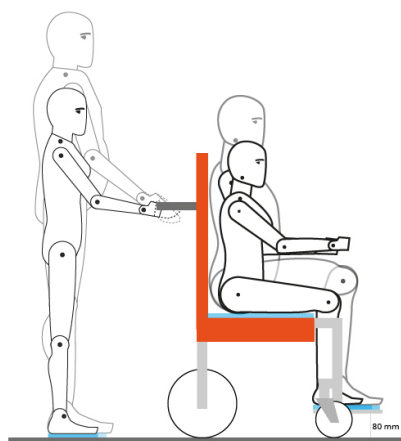


Figura 5.15 Ergonomía conjunta voluntario-paciente

Antes de empezar con el desarrollo de cada pieza individual se realizó un primer modelado con las medias obtenidas y se le colocó un modelado del percentil 5 que se encontró en Internet a modo de comprobación en 3D ya que pudiera ser que alguna medida importante se hubiera obviado durante el proceso.

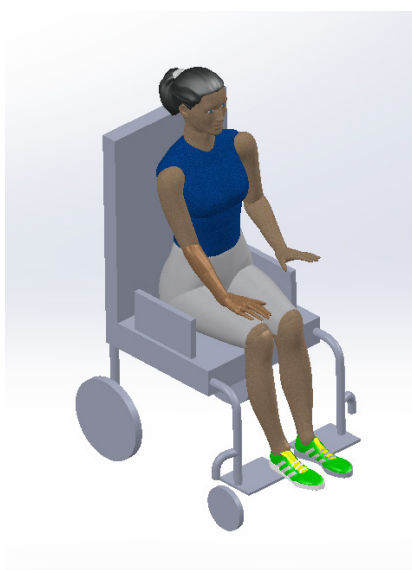


Figura 5.16 Comprobación de medidas antropométricas en 3D

Una vez hechas las comprobaciones acerca de las dimensiones generales del producto, se tomaron una serie de decisiones para comenzar a diseñar en detalle cada una de las piezas del conjunto. Los criterios fueron reducir el número de piezas de la silla, buscar que una misma pieza pueda tener más de una función, usar elementos conocidos montados en otros productos como contenedores de basura, y en definitiva buscar la simplicidad del montaje y el bajo coste del producto.

A continuación se listan las piezas definitivas (más desarrolladas en el Anexo 6) que forman parte de la silla de ruedas:

1. **Respaldo:** Va a ser una pieza única a la que se le añadirá un reposa cabezas desmontable. El respaldo inyectado en plástico también comprende las patas traseras sirviendo de soporte para el eje y las ruedas.
2. **Asiento:** También inyectado en plástico es la pieza central donde desembocan la mayoría de uniones, tales como la unión por bisagra con el respaldo, clipada con los antebrazos y unido a las patas delanteras mediante una pieza adicional de plástico que permite el plegado de dichas patas.
3. **Pieza multifuncional:** Se ha llamado así a una pieza inyectada en plástico que hará la función de reposapiés (2 uds.) y adicionalmente de reposabrazos (2 uds.) y de reposa cabezas (1 ud.). Tanto reposabrazos como reposa cabezas irán alojados en el respaldo cuando la silla esté desmontada y se transporte a modo de carrito. Los reposapiés irán montados desde el inicio en su posición definitiva.
4. **Ruedas traseras:** Serán compradas y estarán unidas por un tubo de acero a modo de eje, éste insertado en unos alojamientos del respaldo.
5. **Ruedas delanteras:** Se va a aprovechar el reposapiés para que estas ruedas comerciales vayan atornilladas por debajo.

6. **Manetas:** Se componen de dos piezas clipadas cuya función va a ser bloquear el plegado del asiento contra el respaldo y que a la vez supondrá dos apoyos adicionales para el asiento en su posición de desplegado.
7. **Patas delanteras:** Será la única pieza metálica formada por un tubo soldado plegado en forma de U al que se unirán dos conjuntos de reposapiés más rueda delantera.

ANEXO 6: DESARROLLO DETALLADO DE CADA PIEZA DEL CONJUNTO

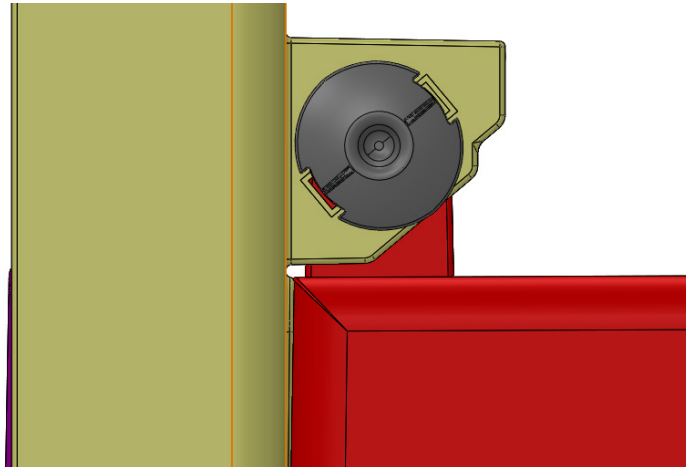


Figura 5.2 Vista del saliente con el asiento

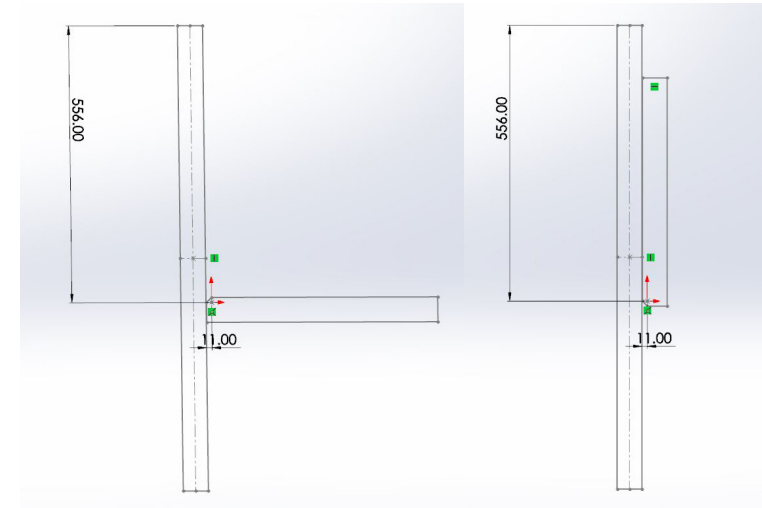


Figura 5.3 Cálculo posición bisagra

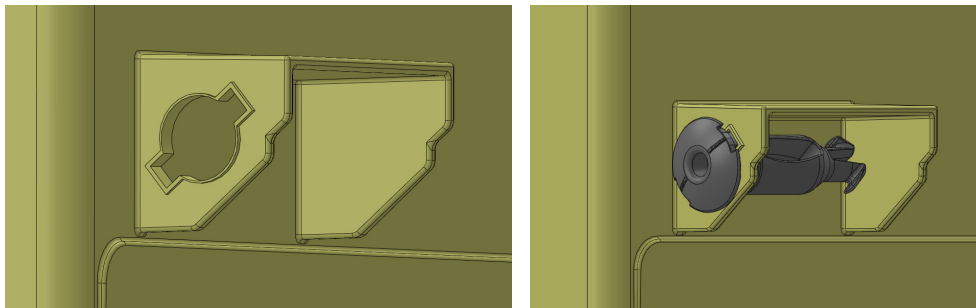


Figura 5.4 Bisagra en el respaldo



Figura 5.5 Vista lateral del tapón

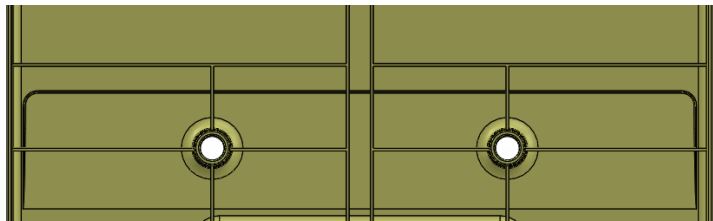
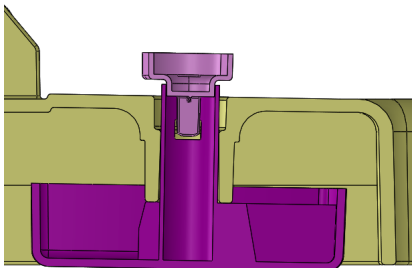


Figura 5.6 Detalle maneta para bloquear el desplegado

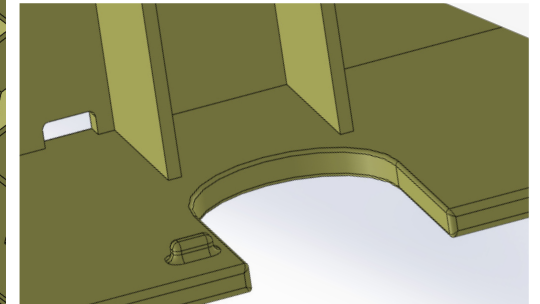
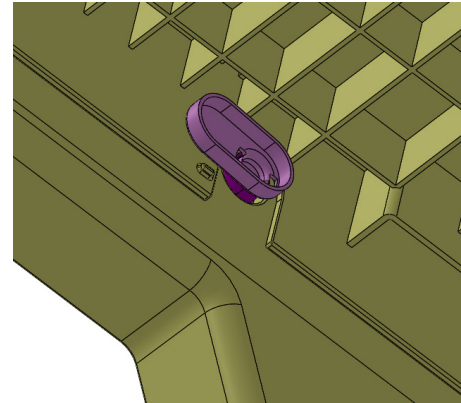


Figura 5.7 Detalle maneta bloqueo

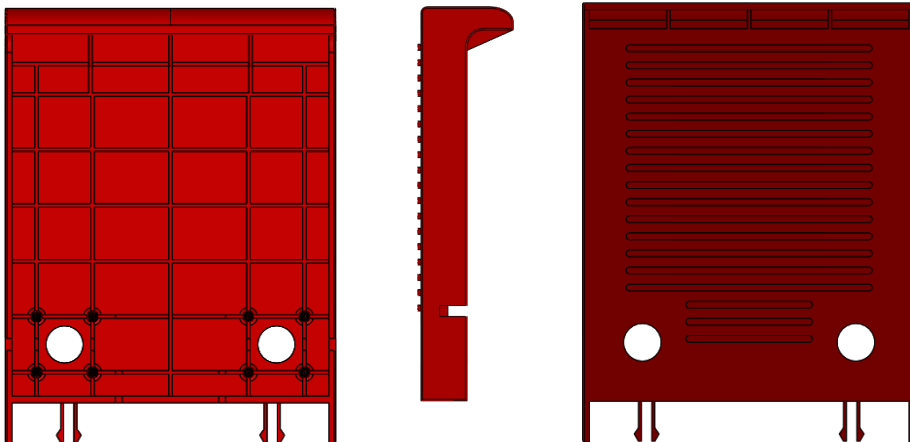


Figura 5.8 Pieza multifunción

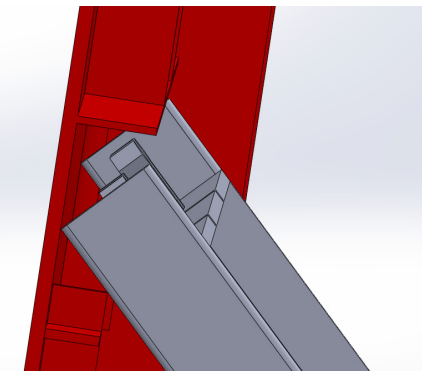
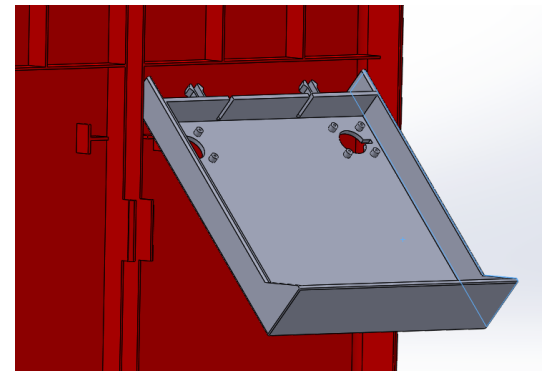


Figura 5.9 Vista general y detalle del alojamiento de la pieza multifunción en el respaldo

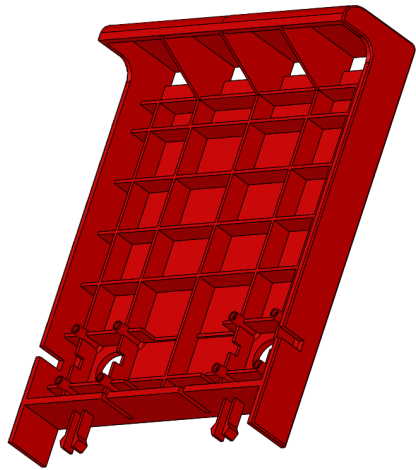


Figura 5.10 Vista general del nervado y el saliente

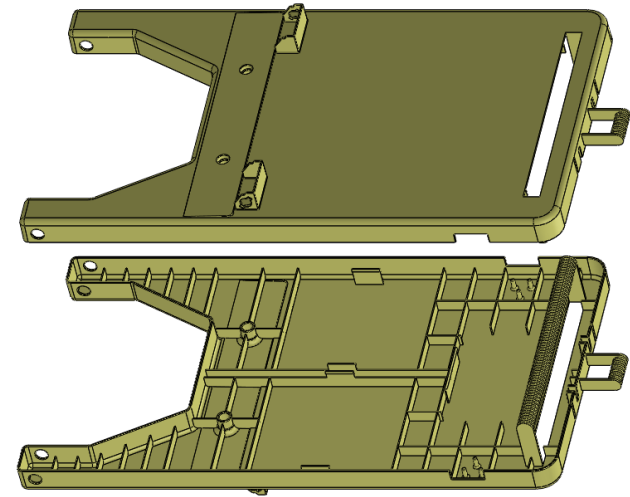


Figura 5.11 Vista delantera y trasera del respaldo

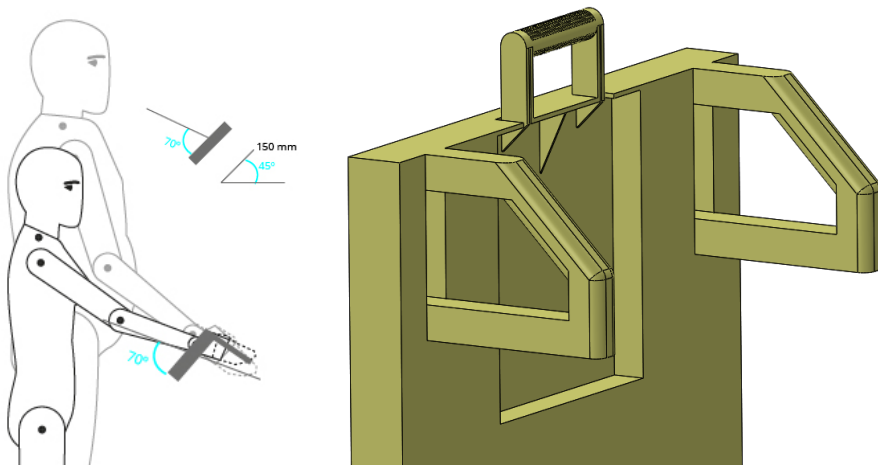


Figura 5.12 Percentiles llegando a los mangos

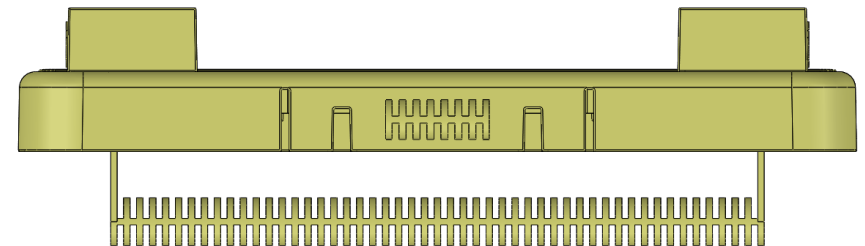


Figura 5.13 Vista del asidero

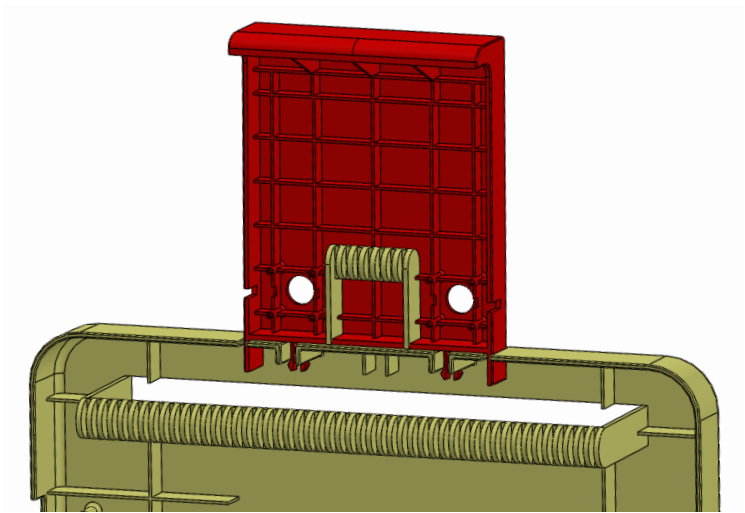


Figura 5.14 Vista del cabezal apoyado en el asa.

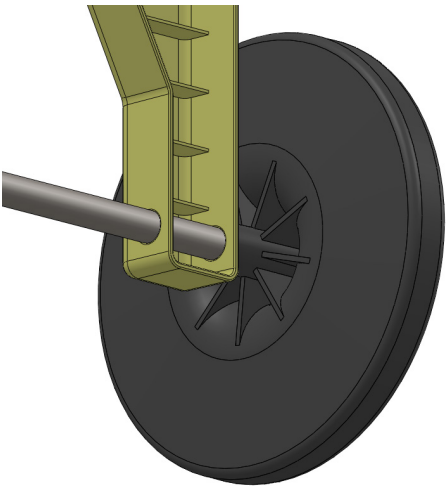
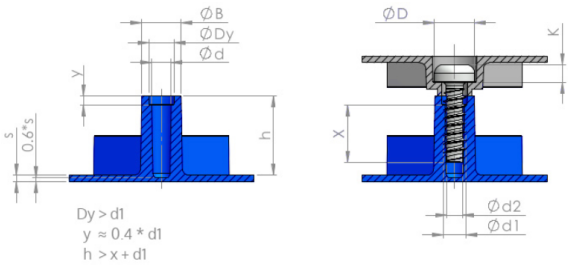


Figura 5.15 Montaje rueda trasera

Tabla de diámetro interior y exterior de la torreta respecto diámetro tornillo plástico



Material	Agujero ϕd	Externo ϕ tubo B	Atornillar X
PE LD	$0,76 \times d1$	$2,00 \times d1$	$2,00 \times d1$
PE HD	$0,81 \times d1$	$1,80 \times d1$	$1,80 \times d1$

Figura 5.16 Criterio de diseño para torretas en HDPE

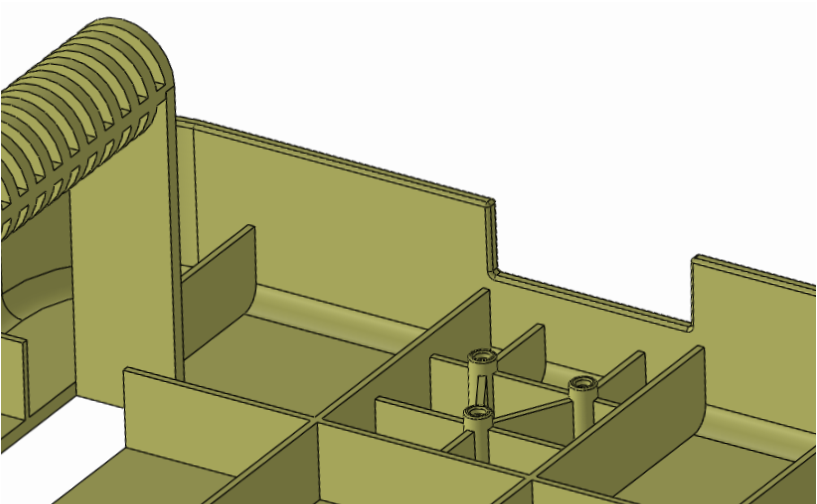


Figura 5.17 Vista de las torretas y el recorte en el respaldo

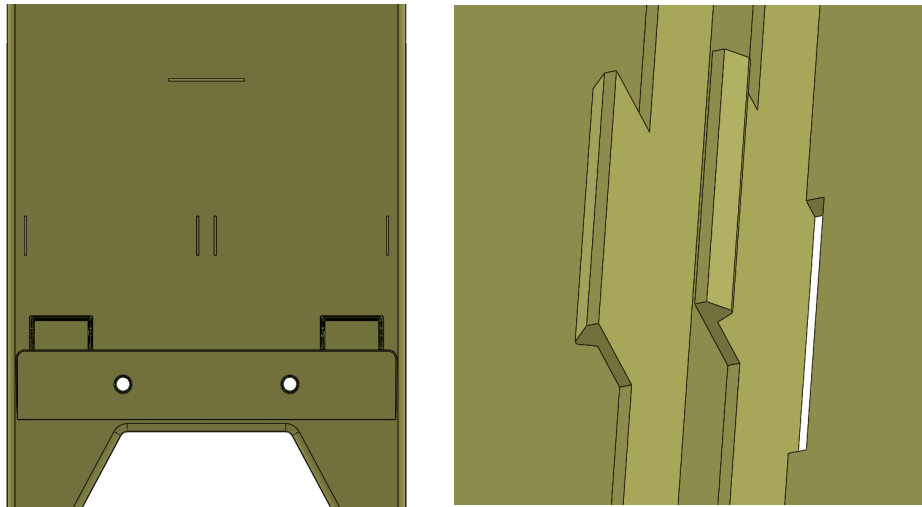


Figura 5.18 Clips en los alojamientos de la pieza multifuncional en el respaldo

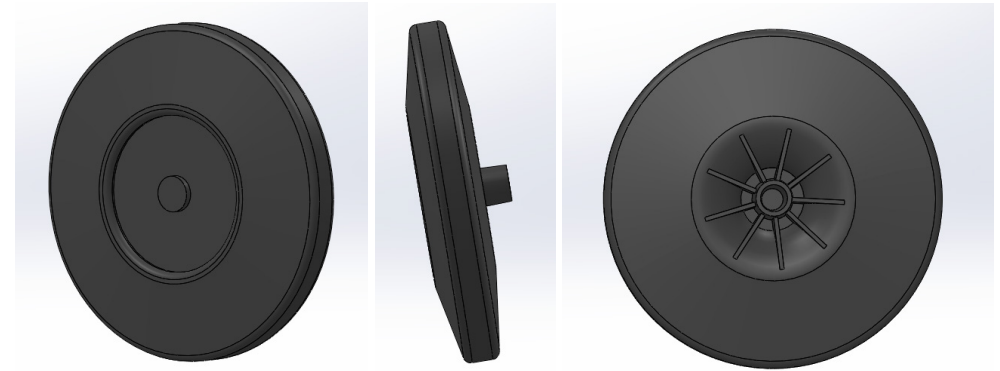


Figura 5.19 Vistas de la rueda trasera

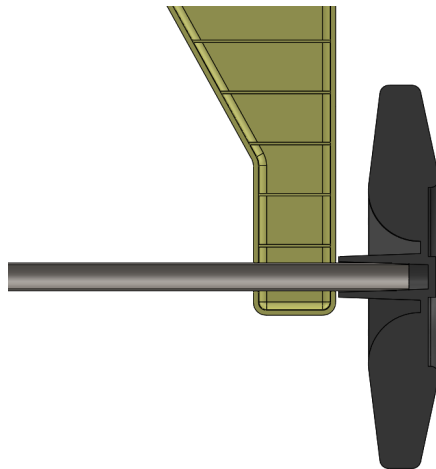


Figura 5.20 Unión eje con rueda trasera

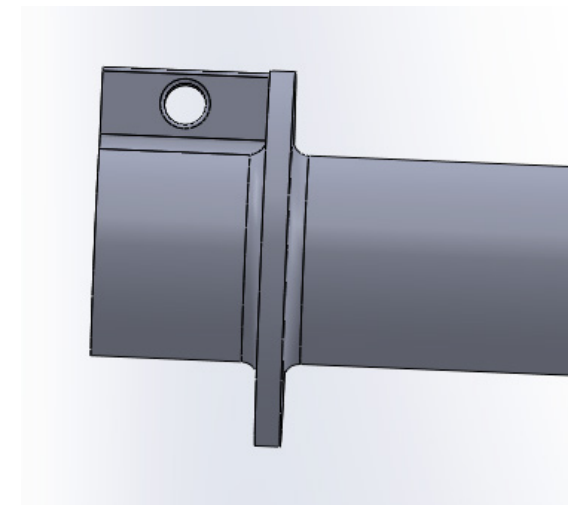


Figura 5.21 Detalle de primera propuesta para ensamblaje de patas con rueda delantera

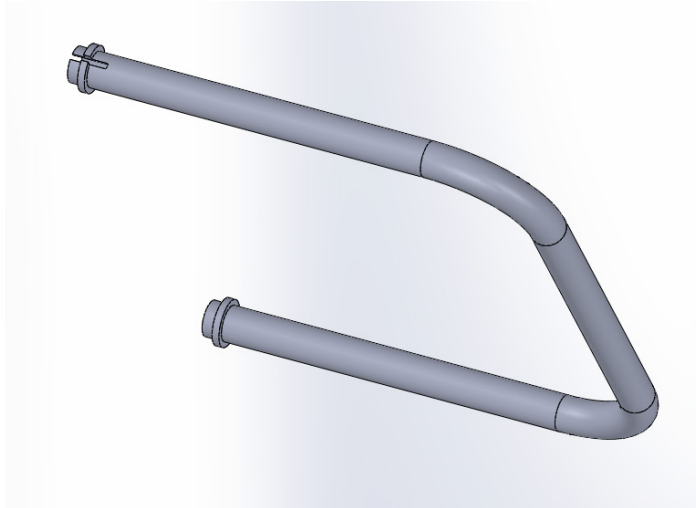


Figura 5.22 Vista general patas delanteras

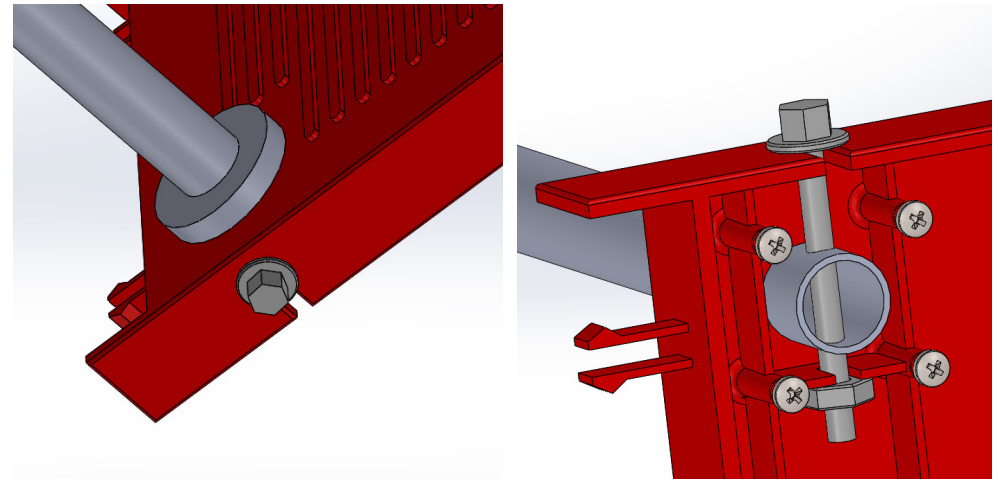


Figura 5.23 Detalle montaje definitivo reposapiés en pata delantera

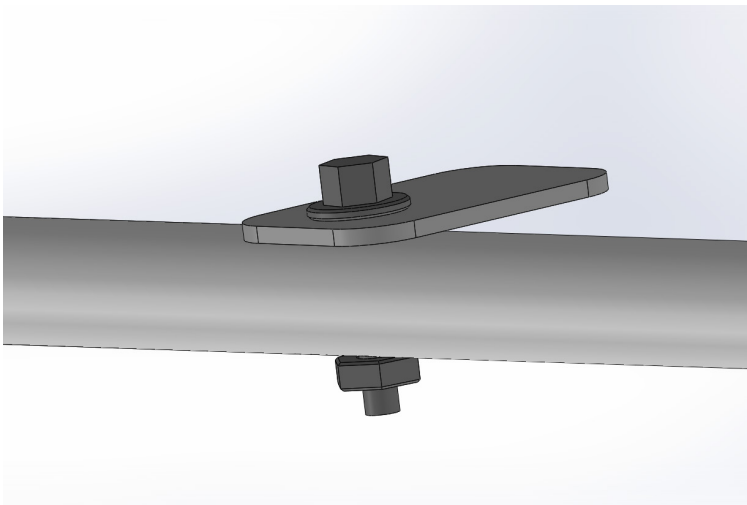


Figura 5.24 Pletina de bloqueo en patas delanteras

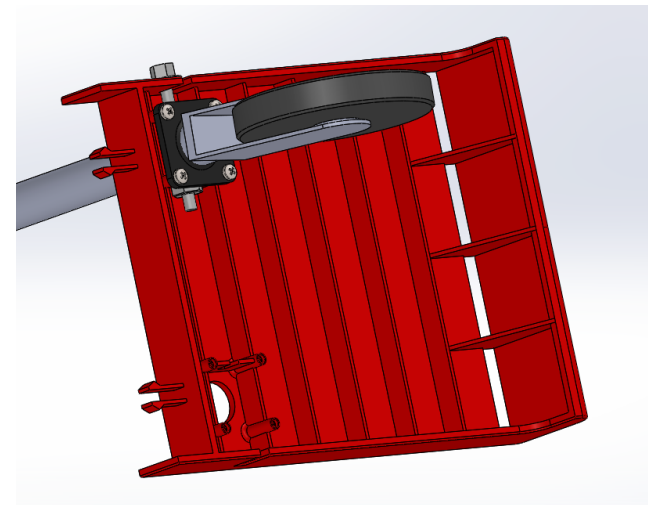


Figura 5.25 Montaje rueda delantera en reposapiés

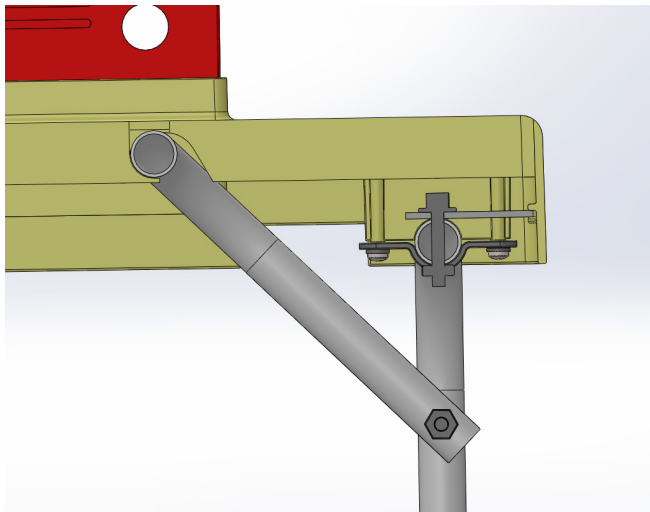


Figura 5.26 Detalle tubo antiplegado

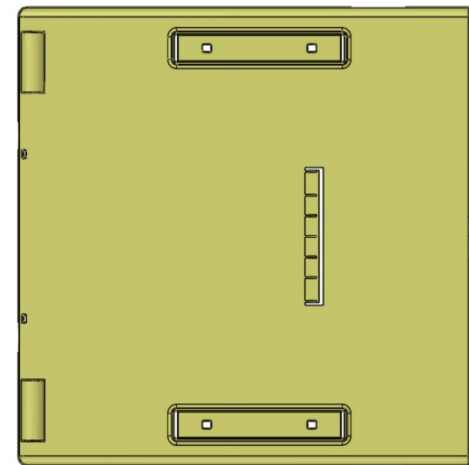


Figura 5.27 Vista en planta del asiento

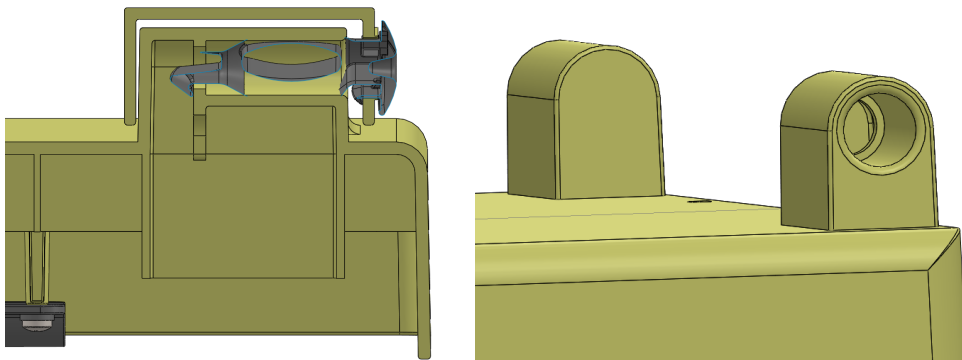


Figura 5.28 Detalle de la bisagra

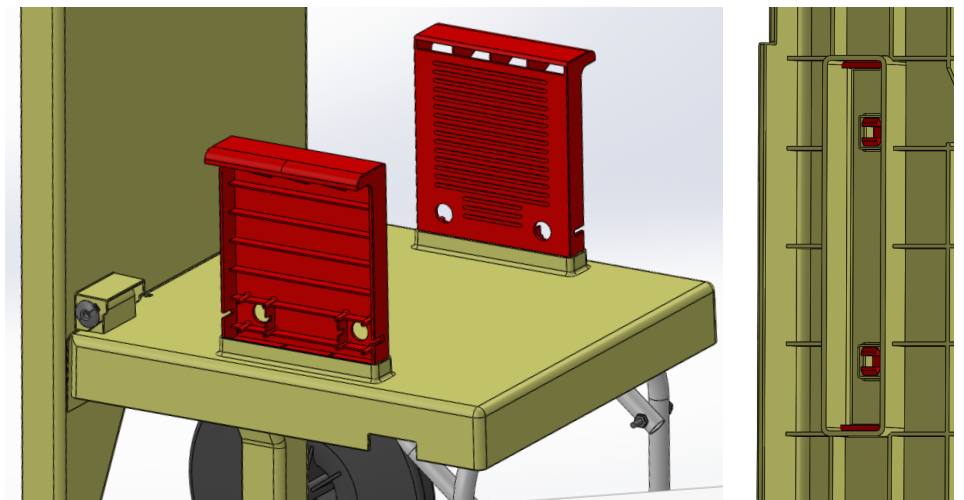


Figura 5.29 montaje reposabrazos sobre el asiento

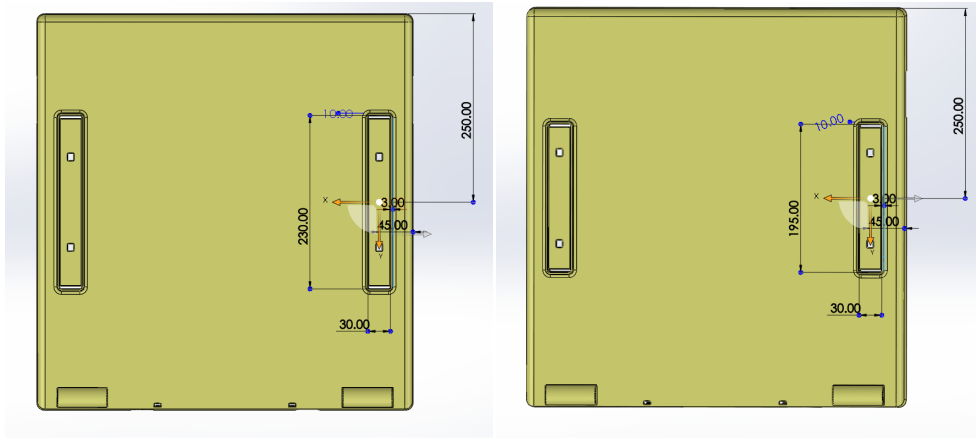


Figura 5.30 Variación de tamaño en el alojamiento del reposabrazos

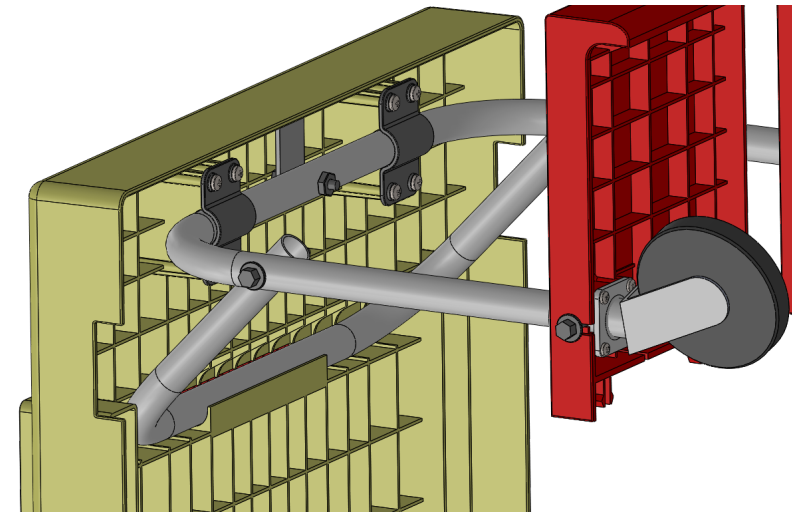


Figura 5.31 Conjunto patas delanteras montadas sobre el asiento

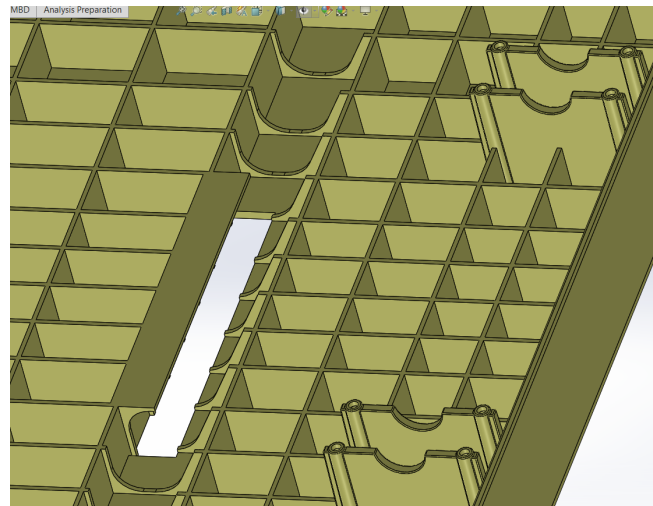


Figura 5.32 Detalle del alojamiento para el tubo antiplegado

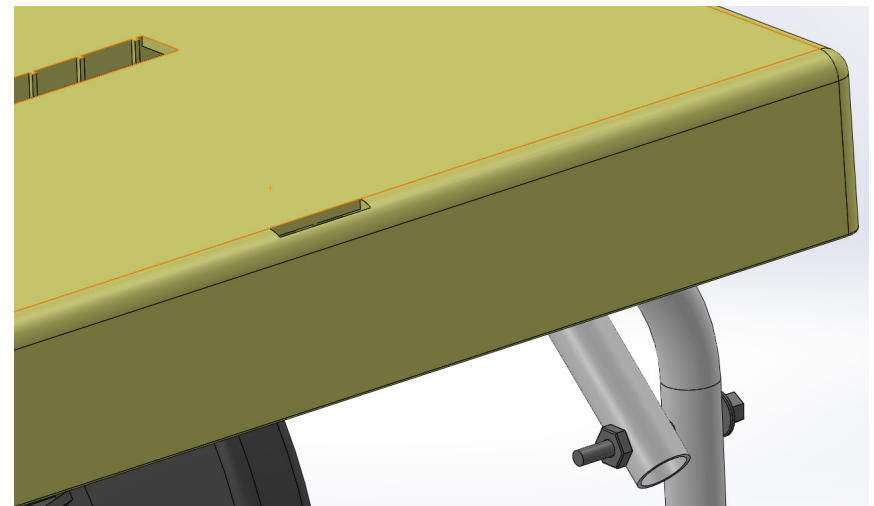


Figura 5.33 Articulación entre patas delanteras y tubo antiplegado

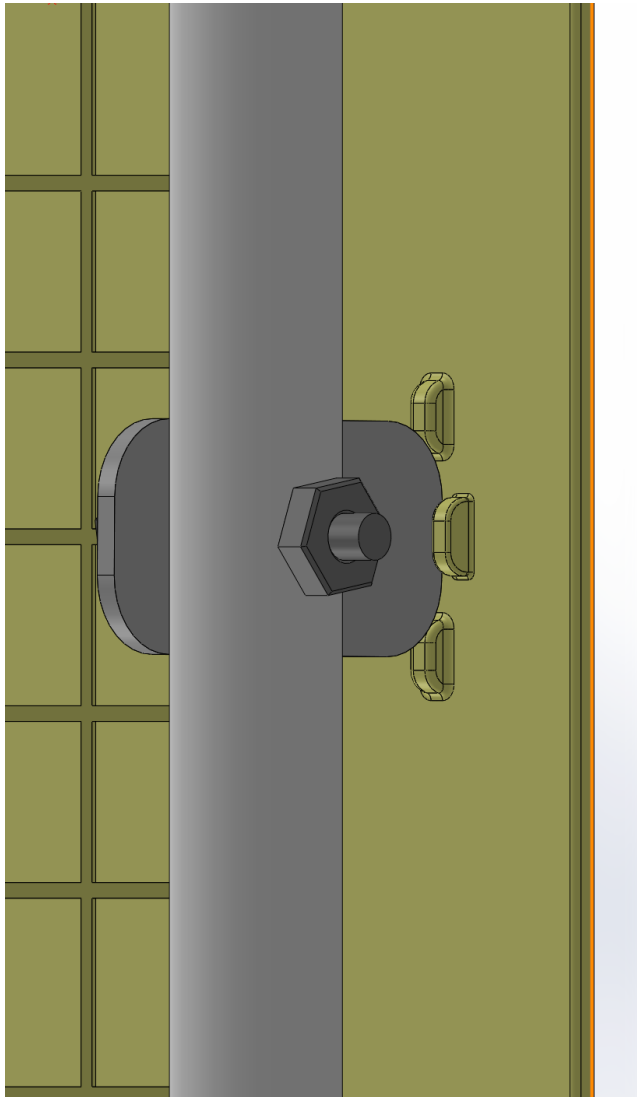


Figura 5.34 Detalle chapa antipegado

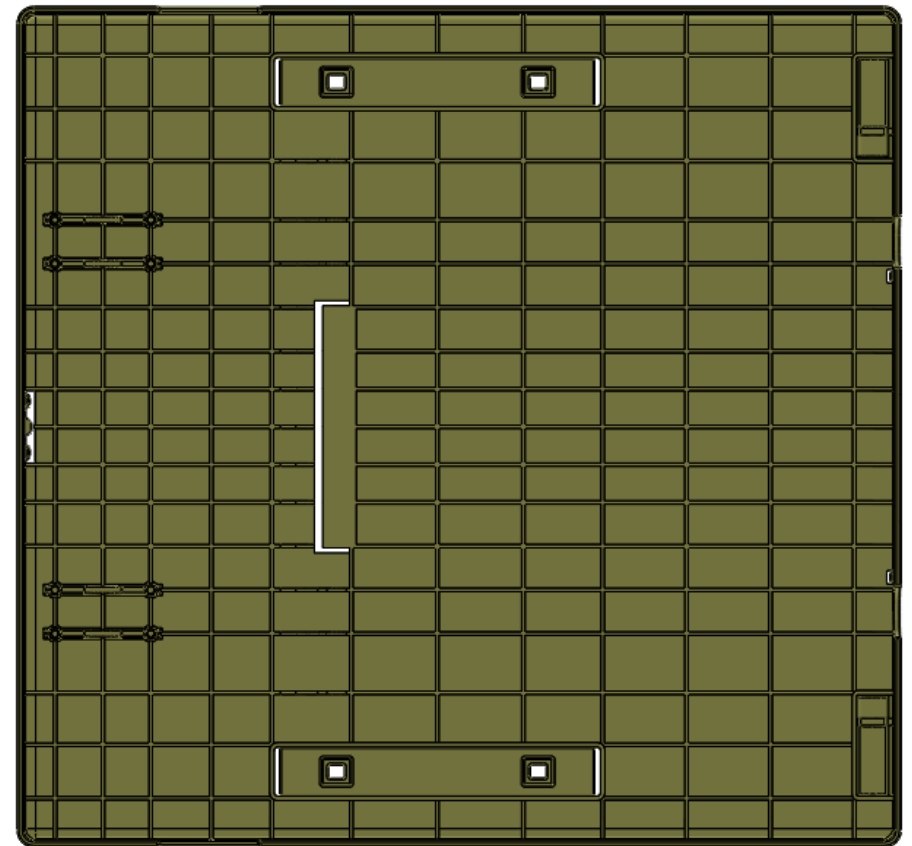


Figura 5.35 Nervado del asiento

ANEXO 7: ENSAYOS RESISTENTES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

7.1 CASO ASIENTO INDIVIDUO SENTADO

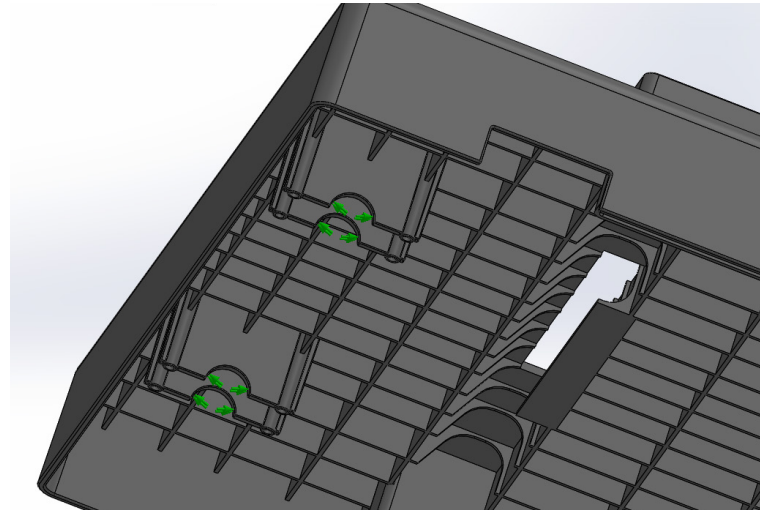
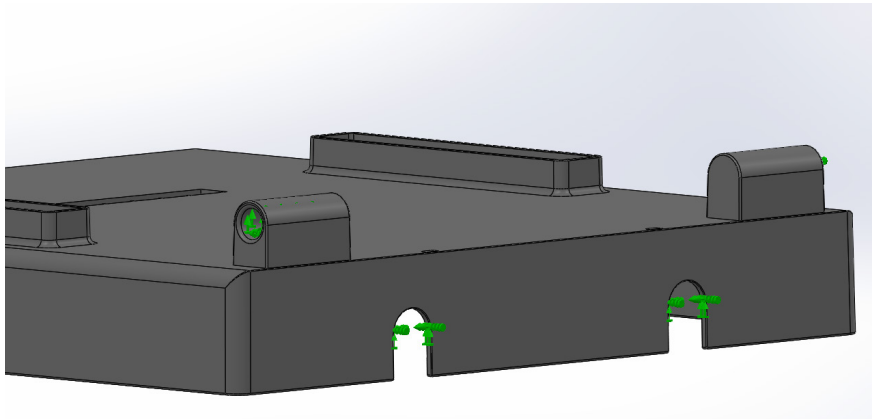


Figura 8.1 de la memoria. Restricciones en el asiento

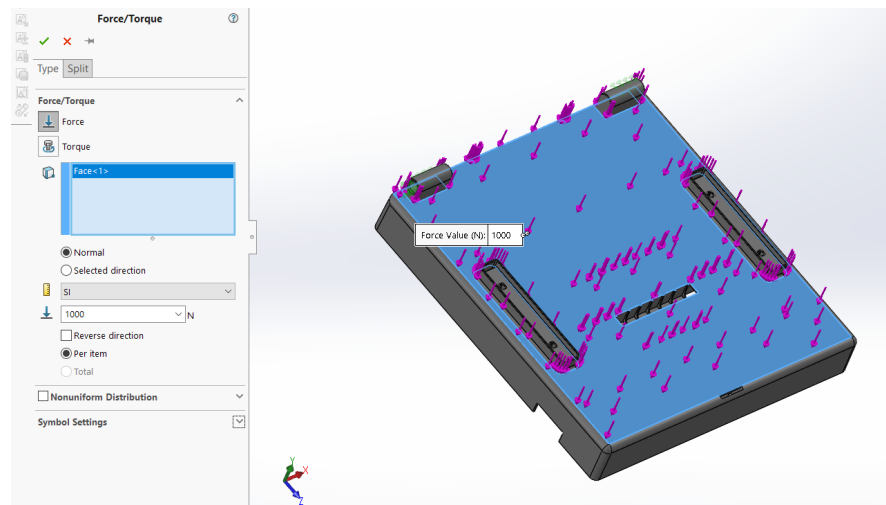
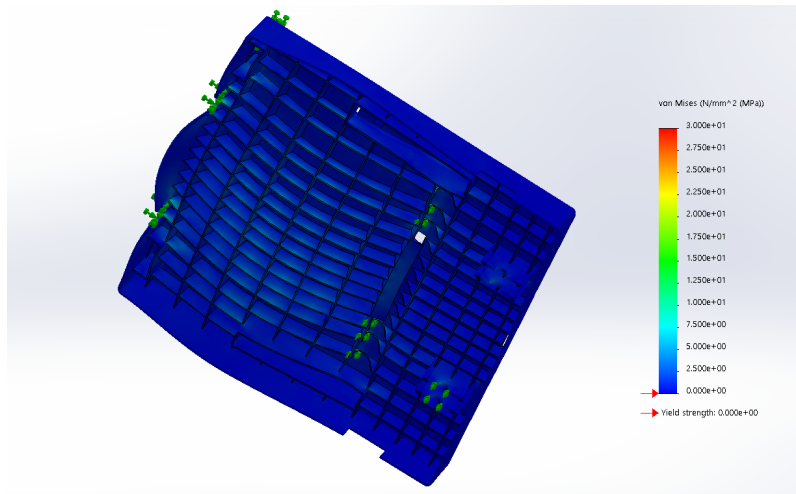
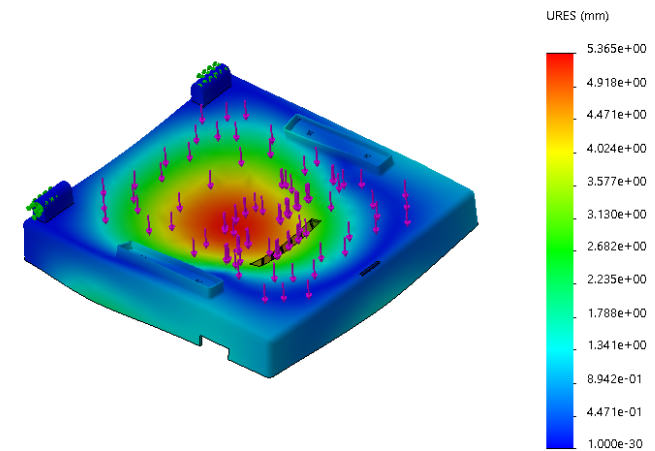


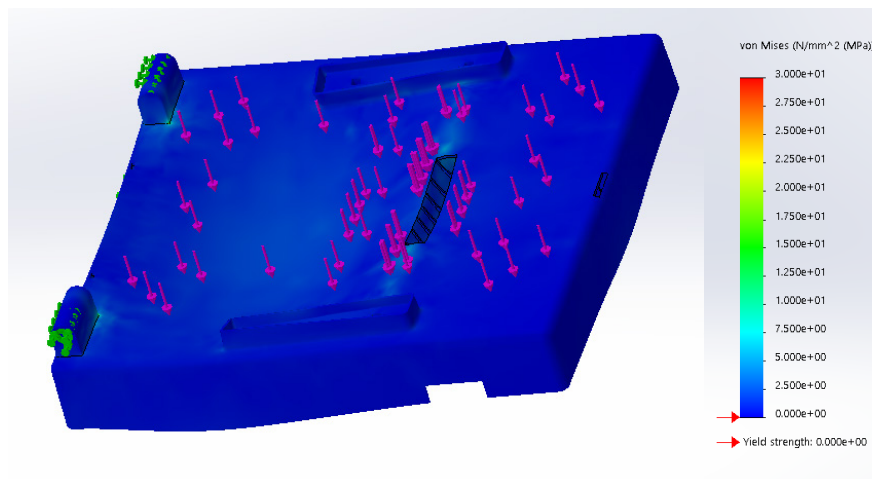
Figura 8.2 de la memoria. Cargas en el asiento



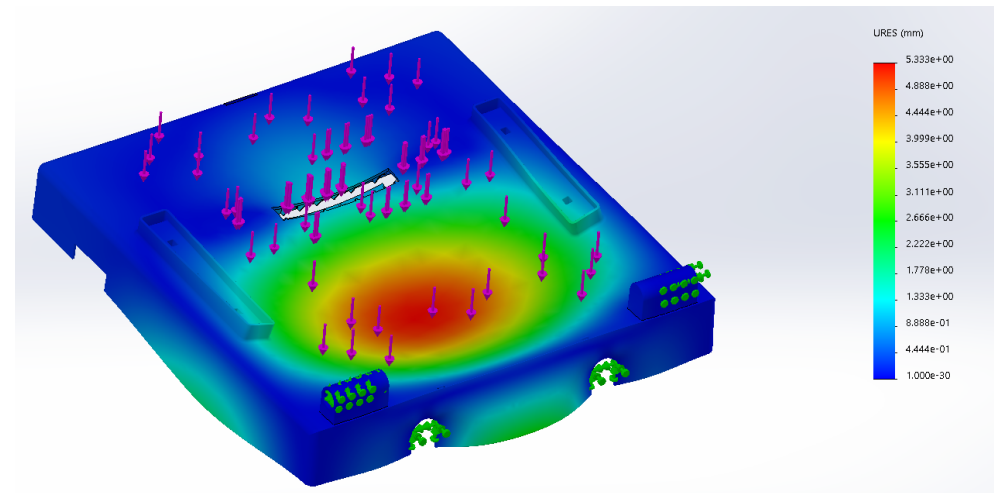
Tensiones en asiento de 4 mm de espesor



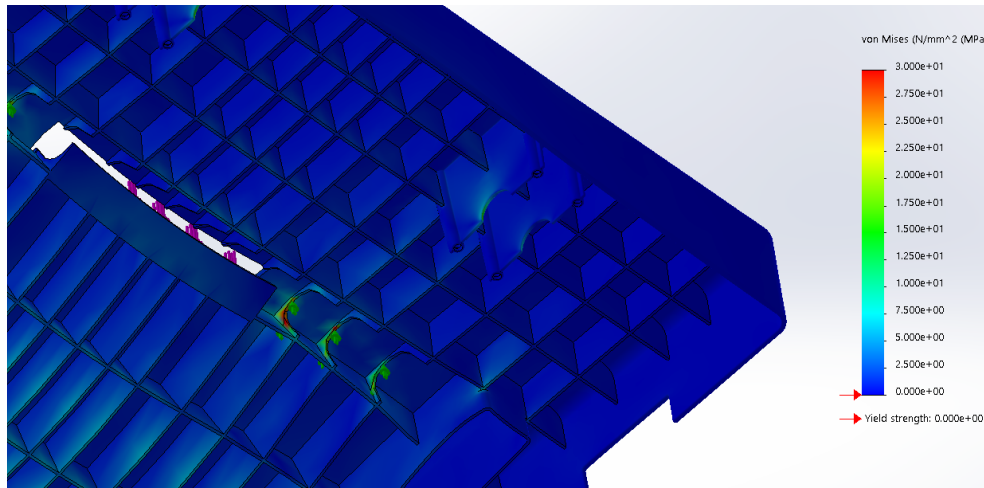
Desplazamientos en asiento de 4 mm de espesor



Tensiones en asiento de 3 mm de espesor

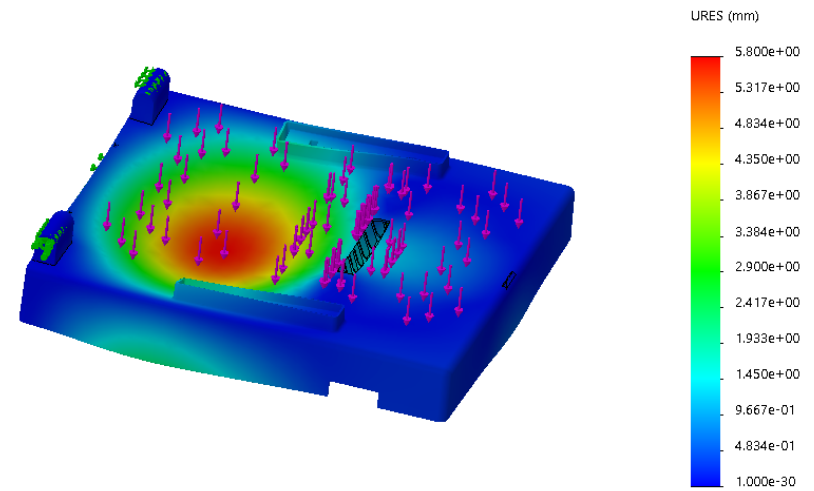


Desplazamientos en asiento de 3 mm de espesor



Tensiones en asiento de 2,7 mm de espesor

Figura 8.3 de la memoria. Tensiones en la zona de apoyo anti-plegado



Desplazamientos en asiento de 2,7 mm de espesor

7.2 CASO ASIENTO CHOQUE PATAS DELANTERAS

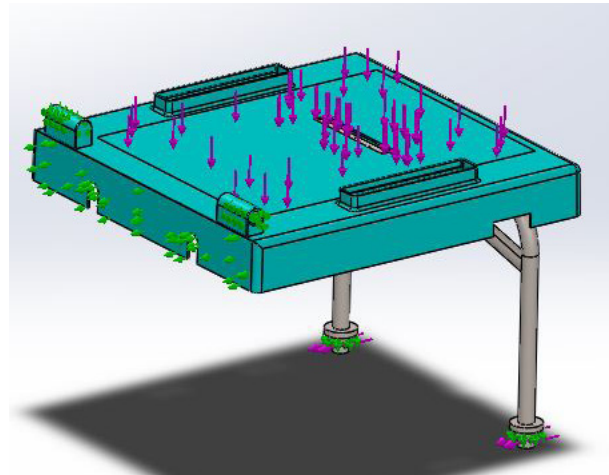


Figura 8.4 de la memoria. Cargas y restricciones para el caso de choque con individuo sobre la silla

7.2.1 SILLA SIN OCUPANTE TENSIONES ASIENTO (HDPE)

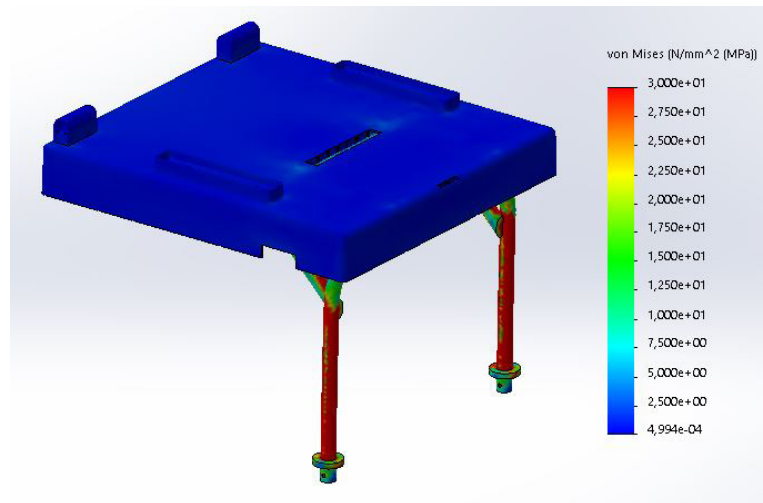


Figura 8.5 de la memoria. Tensiones escaladas a 30 MPa (sin ocupante)

7.2.2 SILLA SIN OCUPANTE TENSIONES ASIENTO (ACERO)

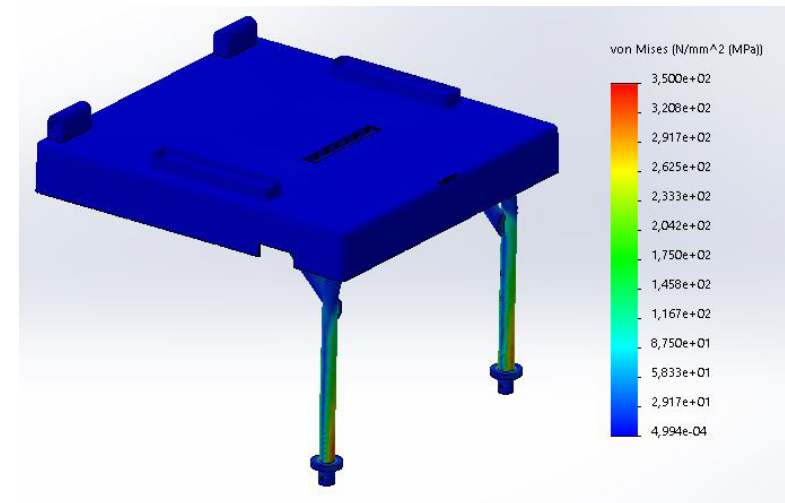


Figura 8.6 de la memoria. Tensiones escaladas a 350 MPa (sin ocupante)

7.2.3 SILLA CON OCUPANTE TENSIONES ASIENTO (HDPE)

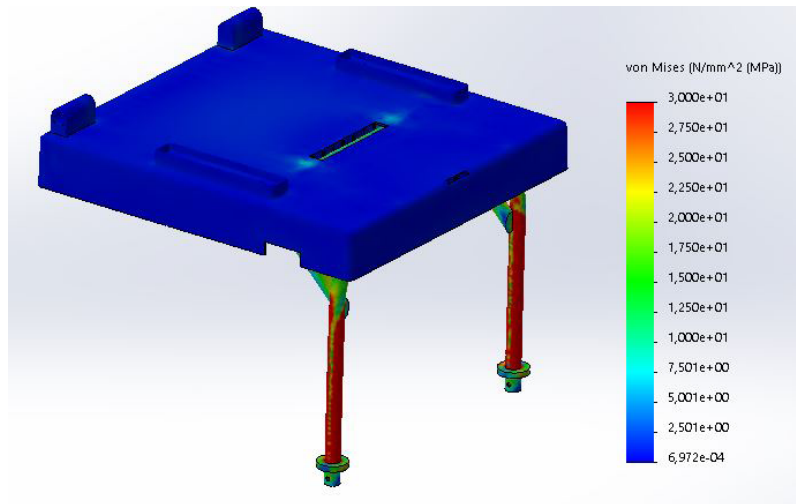


Figura 8.7 de la memoria. Tensiones escaladas a 30 MPa (con ocupante)

7.2.4 SILLA CON OCUPANTE TENSIONES ASIENTO (ACERO)

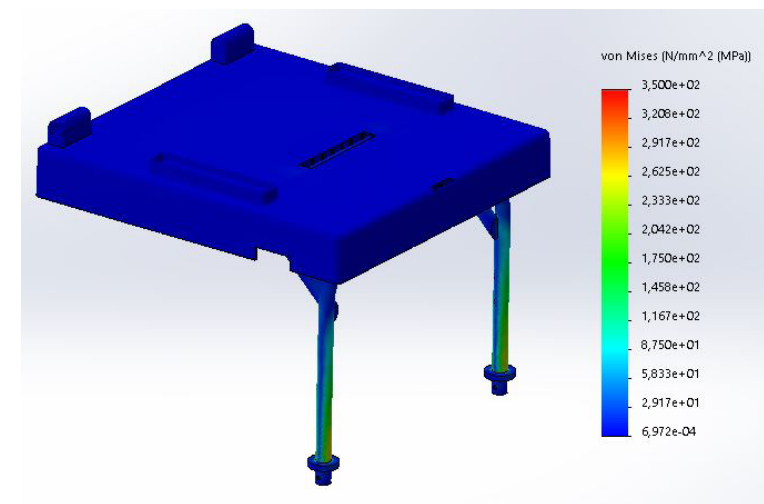


Figura 8.8 de la memoria. Tensiones escaladas a 350 MPa (con ocupante)

7.2.5 COMPARATIVA DESPLAZAMIENTOS SIN OCUPANTE Y CON OCUPANTE

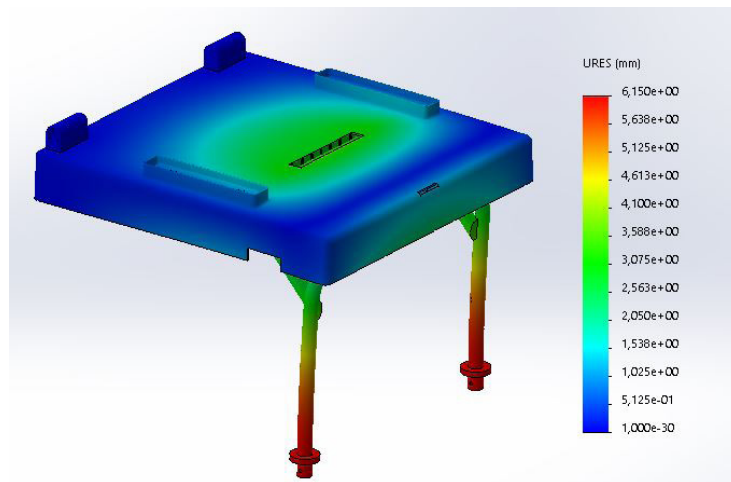


Figura 8.9 de la memoria. Desplazamientos (sin ocupante)

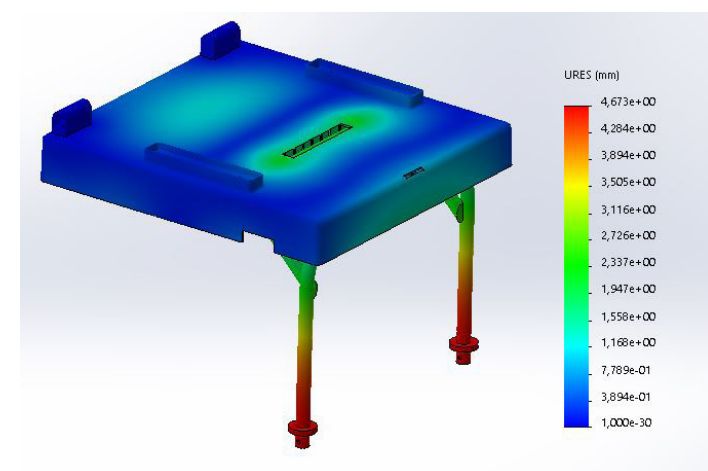


Figura 8.10 de la memoria. Desplazamientos (con ocupante)

7.2.6 SILLA VACÍA DEFORMADA CON ESCALA

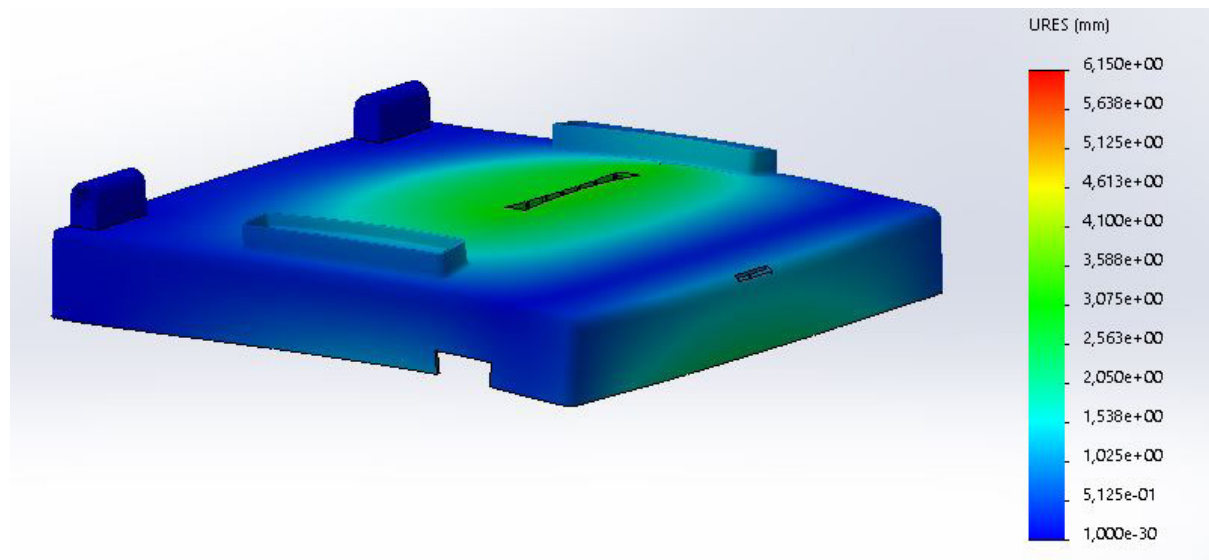


Figura 8.11 de la memoria. Deformada con factor de escala 10

7.3 CASO RESPALDO CON CARGAS PASADAS POR ACCIÓN-REACCIÓN

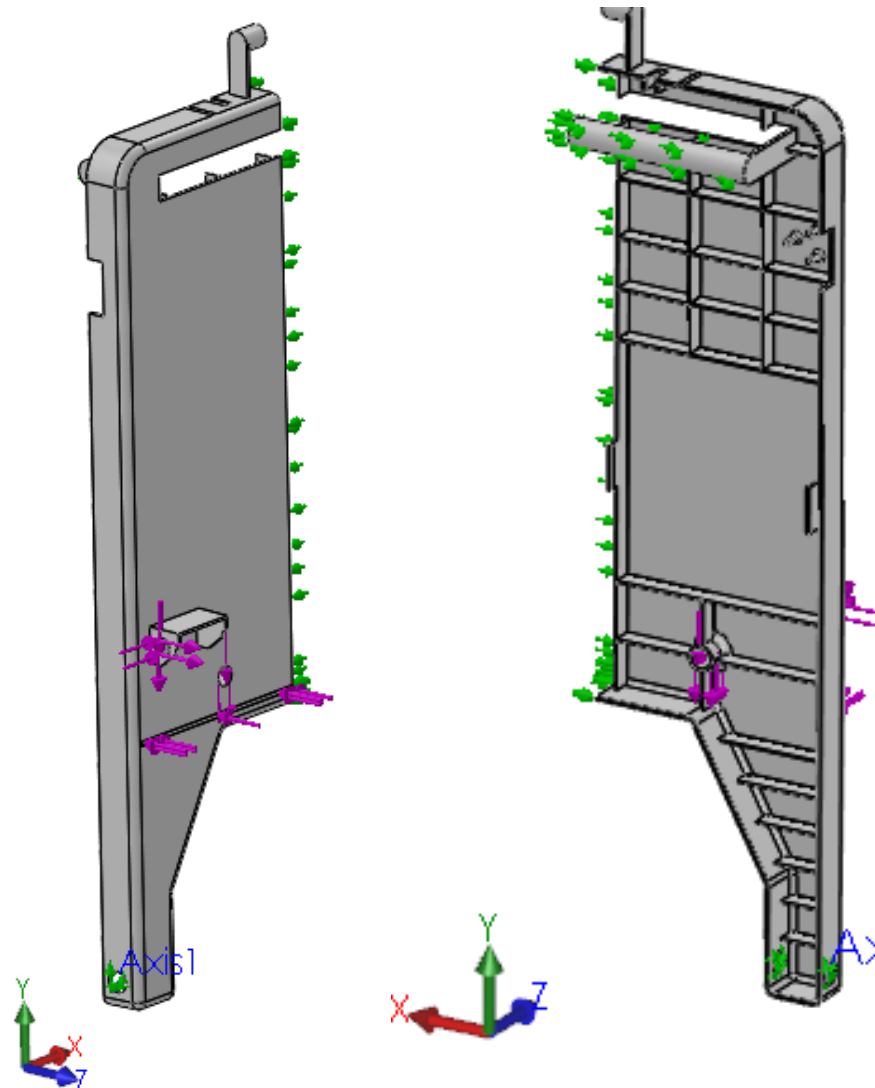
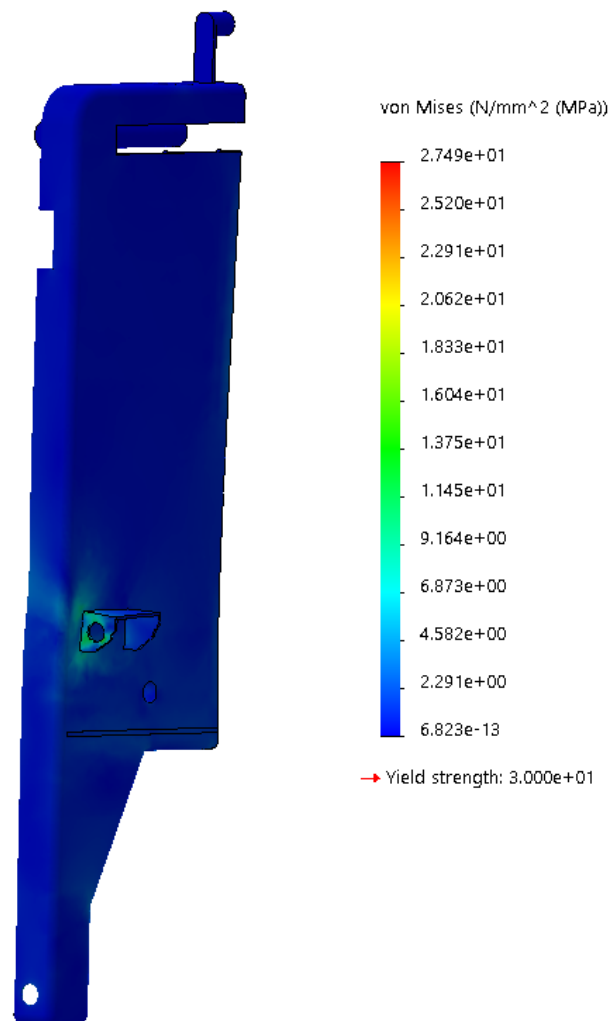
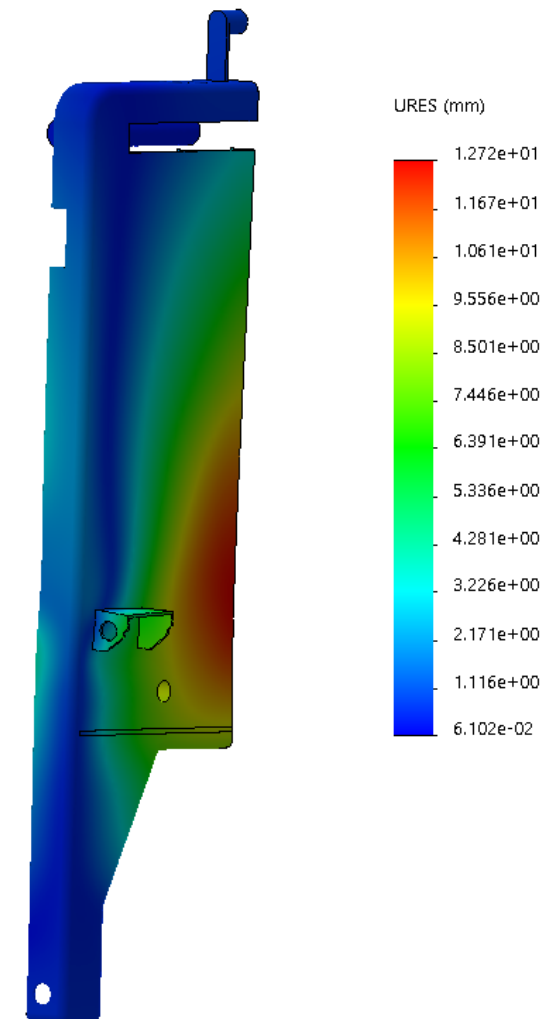


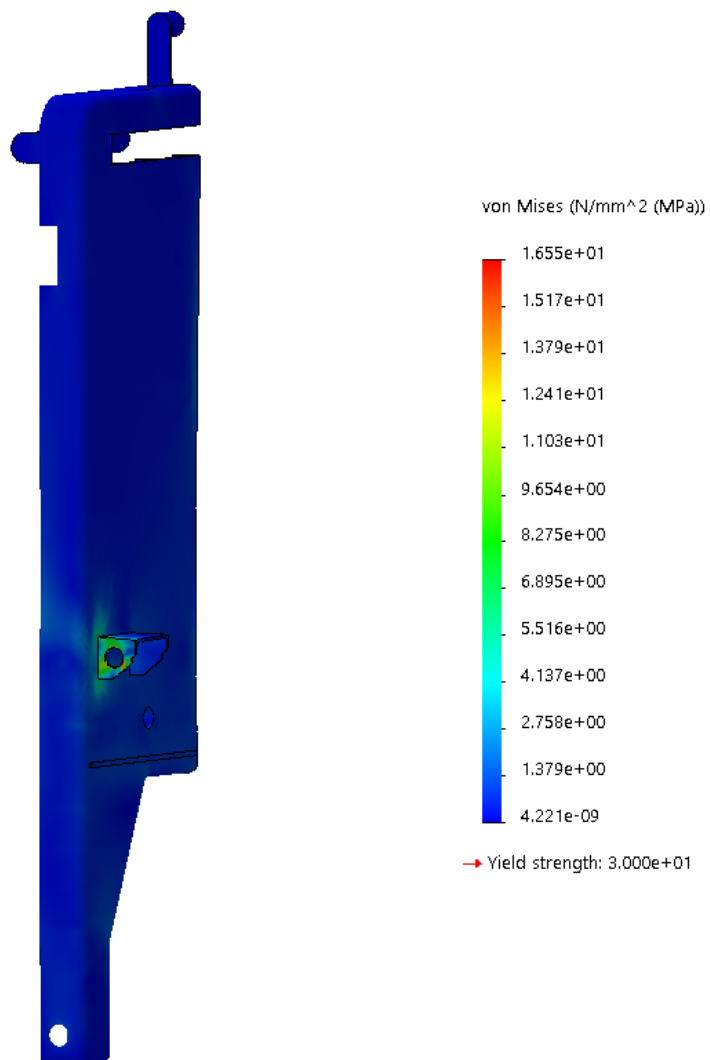
Figura 8.12 de la memoria. Restricciones en el respaldo



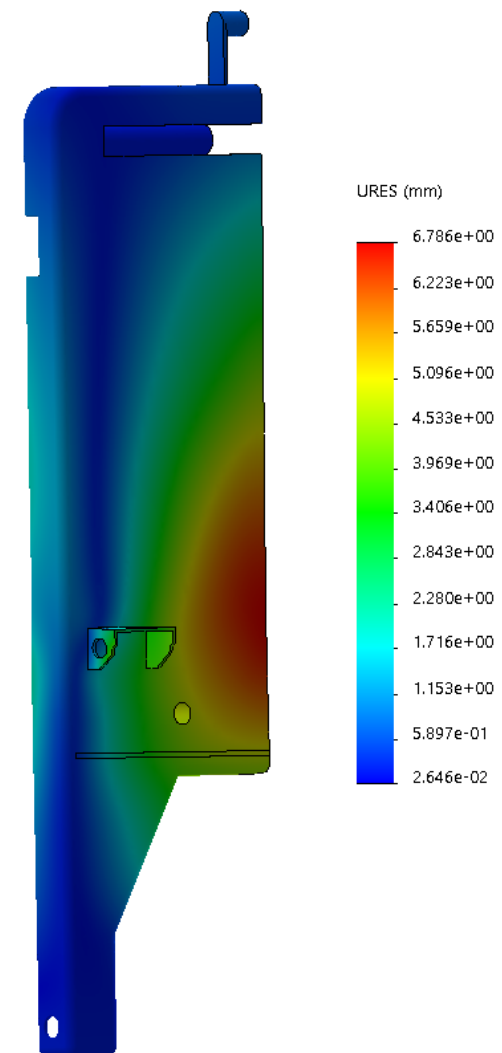
Tensiones en respaldo de 4 mm de espesor



Desplazamientos en respaldo de 4 mm de espesor

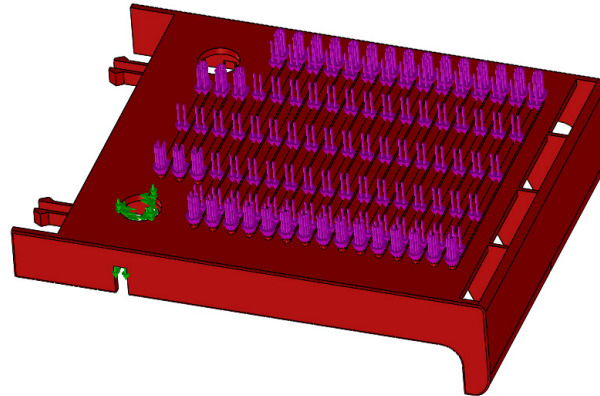


Tensiones en respaldo de 2 mm de espesor

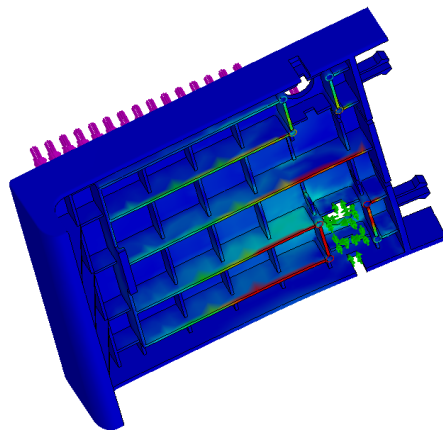


Desplazamientos en respaldo de 2 mm de espesor

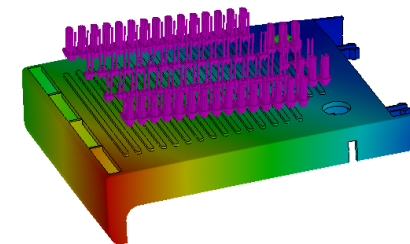
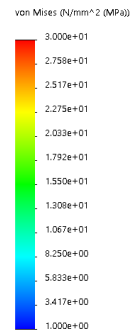
7.4 CASO ESTUDIO PIEZA MULTIFUNCIONAL



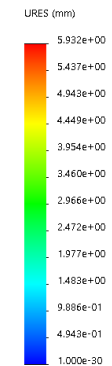
Carga central y restricciones en el alojamiento derecho para la pata delantera

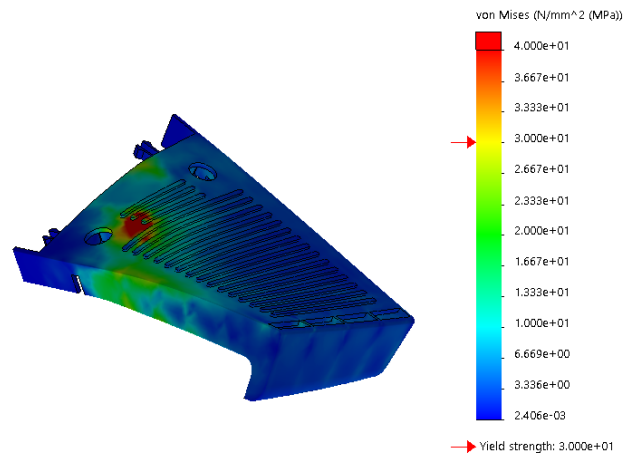


Tensiones en pieza multifuncional con nervios de 2 mm de espesor (10 kg)

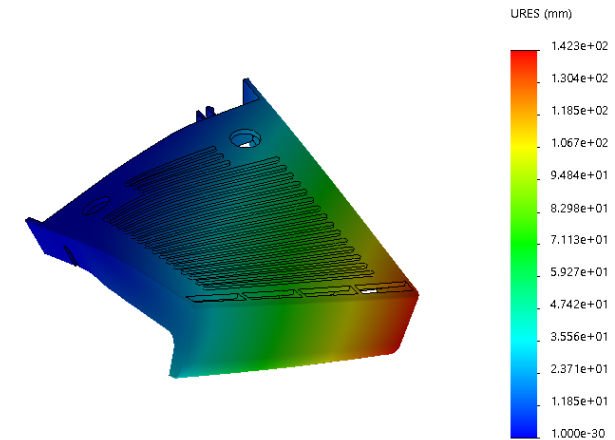


Desplazamientos en pieza multifuncional con nervios de 2 mm de espesor (10 kg)

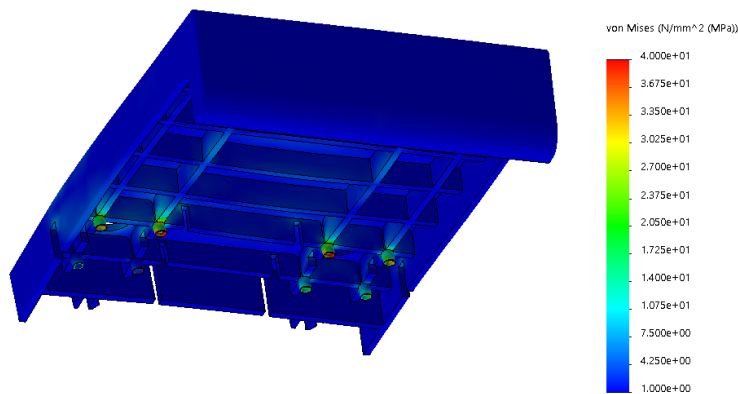




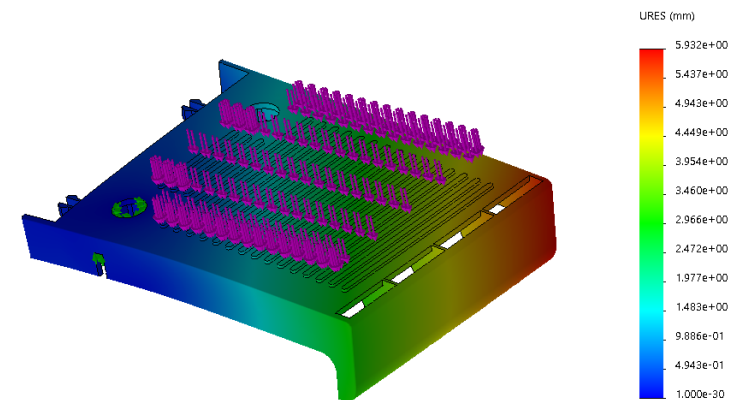
Tensiones en pieza multifuncional con nervios de 4 mm de espesor (100 kg)



Desplazamientos en pieza multifuncional con nervios de 4 mm de espesor (100 kg)



Tensiones en pieza multifuncional con nervios de 4 mm de espesor y refuerzo metálico (100 kg)



Desplazamientos en pieza multifuncional con nervios de 4 mm de espesor y refuerzo metálico (100 kg)

- [1] TODO DISCA, «TODO DISCA,» 22 10 2013. [En línea]. Available: <https://www.tododisca.com/como-elegir-la-silla-de-ruedas-correcta/>. [Último acceso: 2019 05 20].
- [2] «COCEMFE CASTILLA Y LEÓN,» [En línea]. Available: <http://www.cocemfecyl.es/index.php/dis-capacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas>. [Último acceso: 11 02 2019].
- [3] PlasticsEurope, «PlasticsEurope Productores de Materias Plásticas,» [En línea]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>. [Último acceso: 20 04 2019].
- [4] I. D. G. Alva, «monografías.com,» 05 08 2013. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos97/tipos-polimeros/tipos-polimeros.shtml>. [Último acceso: 18 04 2019].
- [5] Dentis Ltd., «DENTIS recycling ITALY,» [En línea]. Available: <https://www.dentispet.it/plasticos/principales-tipos-de-termoplasticos/?lang=es>. [Último acceso: 24 04 2019].
- [6] D. Járez Varón, R. Balart Gimeno, S. Ferrándiz Bou y D. García Sanoguera, «“ESTUDIO, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE ELASTÓMEROS”,» 3Ciencias, p. 22, 13 08 2012.
- [7] I. L. A. M. Soberón, «Monografía.com,» 09 04 2006. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos32/procesamiento-plasticos/procesamiento-plasticos.shtml>. [Último acceso: 04 20 2019].
- [8] Alberto Manuel de Falla, «ALBERTOMANUELDEFALLA,» 2016 04 25. [En línea]. Available: <https://albertomanueldefalla.wordpress.com/tipos-de-materiales-plasticos/>. [Último acceso: 21 04 2019].
- [9] I. D. G. Alva, «monografías.com,» 05 08 2013. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos97/tipos-polimeros/tipos-polimeros.shtml>. [Último acceso: 18 04 2019].
- [10] Twister Technology, Inc., «Twister Technology,» Twister Technology Inc. , 11 10 2011. [En línea]. Available: <http://www.twistertechnology.com/Process%20Capabilities.html>. [Último acceso: 20 04 2019].
- [11] QuimiNet.com, «Las partes de una máquina inyectora,» 20 03 2007. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/las-partes-de-una-maquina-inyectora-18874.htm>. [Último acceso: 20 04 2019].
- [12] A. Meza Martinez y C. L. Rueda Cadena, «Diseño de una máquina inyectora de plástico,» Universidad de Santander, Escuela de ingeniería mecánica de Bucaramanga, 2006. [En línea]. Available: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/124274.pdf>. [Último acceso: 19 04 2019].
- [13] D. Jiménez, «Tecnología del plástico,» 01 10 2017. [En línea]. Available: <http://www.plastico.com/temas/Inyeccion-o-termoformado+122421>. [Último acceso: 24 04 2019].

[14] Wikipedia, «Moldeo por inyección,» 01 06 2006. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n. [Último acceso: 18 04 2019].

[15] I. M. Ojeda, «Tecnología de los Plásticos,» 03 06 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologia-delosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>. [Último acceso: 25 04 2019].

[16] Proto Labs Ltd., «Mejorar el diseño de las piezas mediante el grosor uniforme de las paredes,» [En línea]. Available: <https://www.protolabs.es/recursos/sugerencias-de-diseno/9-defectos-esteticos-y-como-evitarlos/>. [Último acceso: 20 04 2019].

[17] Proto Labs Ltd, «Materiales de Fabricación,» [En línea]. Available: <https://www.protolabs.es/materiales/guia-comparativa/?filter=injection-molding-materials>. [Último acceso: 19 04 2019].