



SILLA DE RUEDAS CON ESTRUCTURA DE MATERIAL COMPUESTO

8/2/15

Número de Documento: 01-I-001

RESUMEN

En el presente trabajo se efectuó el desarrollo del diseño de una silla de ruedas para el círculo argentino. Dicha silla tiene como fin ayudar a la gente discapacitada para facilitarle la vida a ellos. Se puede observar en el informe el diseño de las piezas fabricadas a partir de un material compuesto como la fibra de vidrio y resina epoxi. Este diseño innovador permite crear un producto de bajo peso e igual resistencia que una silla convencional. Esta diferencia de peso es muy notable ya que normalmente las sillas tubulares de aluminio o acero tienen un peso entre 13,5 y 21 kilos, mientras que la silla de rueda de material compuesto pesa 6,52 kilos. Considerando estas mejoras respecto a un diseño convencional se puede fabricar un producto de mejores prestaciones. En el desarrollo del diseño se puede observar el proceso propuesto para su fabricación indicando paso a paso como sería este.

Título:

SILLA DE RUEDAS CON ESTRUCTURA DE MATERIAL COMPUESTO

Rev.	Descripción de los cambios	Autor	Revisión	Aprobación
	Nro. de Sección: Descripción del cambio			
A	Emisión Original	Nombre Ferrara Federico	Nombre	Nombre
		Firma	Firma	Firma
		Fecha/...../...	Fecha/...../.....	Fecha/...../.....

Nota:

Los cambios al documento deben ser descriptos en la columna "Descripción de los cambios", de la siguiente manera:
Nro. de sección con cambios: Descripción del cambio

Tabla de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	Objetivo	6
1.2	Alcance.....	6
1.3	Agradecimientos	6
1.4	Documentos de referencia	6
1.5	Definiciones, Acrónimos y Abreviaciones.....	7
2	ANTECEDENTES	8
2.1	Marco Social	8
2.2	Historia del Proyecto.....	12
2.2.1	CVT Toroidal.....	19
3	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	23
3.1	Estructura.....	23
3.1.1	Verificación	24
3.1.1.1	Hipótesis	24
3.1.1.2	Modelado	24
3.1.2	Resultado.....	26
3.1.3	Proceso de Fabricación	30
3.1.3.1	RTM.....	31
3.1.3.2	Laminación Manual.....	34
3.2	Verificación	36
3.2.1	Estabilidad De la silla.....	36
3.3	Armado	42
3.3.1	Moldes	42
3.3.2	Laterales	43
3.3.3	Tijeras	46
3.3.4	Soporte de Personas	49
4	CONCLUSIONES.....	50
5	ANEXO.....	51
5.1	Planos.....	51
5.2	cvt	54
5.2.1	Tensiones de contacto (Hertz).....	57

Índice de Figuras

Figura 1 Población con discapacidad. Cantidad de discapacidades por grupos de edad. Total del País Años 2002-2003	9
Figura 2 Distribución de las discapacidades en hogares por tipo de discapacidad, según regiones.....	10
Figura 3 Primer diseño presentado	12
Figura 4 Detalle sobre transmisión.....	13
Figura 5 Forma de transmisión de fuerza	14
Figura 6 Silla diseñada por el MIT.....	15
Figura 7 Armazón Tubular.....	16
Figura 8 Primer diseño con laterales de GFRP	17
Figura 9 Lateral	18
Figura 10 Diseño de CVT.....	18
Figura 11 CVT Toroidal $i=1$	19
Figura 12 CVT Toroidal $i<1$	19
Figura 13 CVT Toroidal $i>1$	20
Figura 14 CVT Grande	21
Figura 15 CVT Chica.....	21
Figura 16 Disco	22
Figura 17 Estructura Final	23
Figura 18 Modelo Original	25
Figura 19 Mallado, Condiciones de Borde y Carga	25
Figura 20 Zonas donde no Presenta deformación (Densidad de Energía de deformación J/m^3)	26
Figura 21 Desplazamientos en X, Y y Z.....	27
Figura 22 Tensiones Principales (MPa)	27
Figura 23 Concentración de tensión en zona de apoyo de la rueda.....	28
Figura 24 Concentración de tensión en zona de empuje.....	29
Figura 25 Mapa de Tensiones en apoyo principal	29
Figura 26 Pasos para RTM	31
Figura 27 Etapas del Proceso RTM	32
Figura 28 Orientación de la Fibras.....	33
Figura 29 Aplicación de Gel Coat	35
Figura 30 Fibras con orientación.....	35
Figura 31 Persona sentada en la Silla	37

Figura 32 Silla con Carga debido al Ocupante situada puntualmente	38
Figura 33 Reacciones en las Ruedas debido a las Cargas	38
Figura 34 Zona de Seguridad para la aplicación de la carga	40
Figura 35 Angulo de Vuelco	41
Figura 36 Vista frontal del Molde	43
Figura 37 Vista en 3D del molde	43
Figura 38 Lateral	44
Figura 39 Manija para empuje	44
Figura 40 Apoyo de rueda principal	45
Figura 41 Persona sentada en la silla	46
Figura 42 Tijeras en la Silla	47
Figura 43 Unión de la Tijera con Lateral	47
Figura 44 Tela para el Soporte de la Persona	49
Figura 45 Tela sobre la Barra	50
Figura 46 Disposición General de la Transmisión	54
Figura 47 Esquema de Transmisión CVT con los discos	55
Figura 48 Sección de Transmisión CVT	55
Figura 49 Programa para Calculo de Tensiones de Hertz	57

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades de GFRP R.6	24
Tabla 2 Cargas y Condiciones de Borde	24
Tabla 3 Ventajas y Desventajas de Distintos procesos de Fabricación	30
Tabla 4 Propiedades Mecánicas de la fibra de vidrio y Resina	34
Tabla 5 Resultado de Angulo de Vuelco	42
Tabla 6 Propiedades Aluminio	56
Tabla 7 Propiedades Poliuretano	56

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO

Realizar un diseño para presentar ante el Círculo Argentino de Ingenieros, con el fin de mejorar la condición de vida de gente con discapacidad. Al realizar una silla con materiales alternativos como los materiales compuestos para tener un producto con mejores prestaciones, en cuanto a peso y resistencia del mismo. Se presentara la memoria de cálculo de los componentes y del conjunto de la silla de ruedas. En este proyecto se analizaran las piezas para la elaboración de la silla de ruedas. El fin de este proyecto se basa en la posibilidad de crear una silla de rueda liviana, con un diseño novedoso, con materiales novedosos como son los materiales compuestos. Todas estas prestaciones conforman un producto novedoso y resistente.

1.2 ALCANCE

El fin de este proyecto es mostrar los pasos para el armado y realizar un análisis de factibilidad para la fabricación del diseño de silla de ruedas propuesto. Al diseño Se incorporan métodos de fabricación y componentes modernos como ser materiales compuestos incluyendo el respectivo análisis de los mismos. El alcance se concentra en el diseño de la silla en su totalidad, analizando su resistencia, estabilidad y otros factores que impactan en el diseño final de la misma.

1.3 AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no se podría haber realizado sin el apoyo de mucha gente, en principio a mi tutor Vicente Celani, Adrian Botana y Leonel Matias Chiacchiarelli en el asesoramiento con la utilización de materiales compuestos, Nazareno Maggi compañero que inicio el proyecto conmigo y Francisco Gonzales compañero que me ayudo en el desarrollo completo del proyecto.

1.4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- R.1 Propiedades Mecánicas De Las Aleaciones De Aluminio: LUMETAL PLASTIC." *Propiedades Mecánicas De Las Aleaciones De Aluminio: LUMETAL PLASTIC*. N.p., n.d. Web. 5 Julio 2014.<http://www.lumetalplastic.com/dural_carac_mec.html>
- R.2 "Poliuretano - Datos Técnicos." *Poliuretano - Datos Técnicos*. N.p., n.d. Web. 5 Aug. 2014. <<http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Poliuretano/Poliurprop/dtecnicos.htm>>.
- R.3 "Poliuretano Termoplástico (TPU)." *Poliuretano Termoplástico (TPU)*. N.p., n.d. Web. 5 Sept. 2014. <<http://www.habasit.com/es/poliuretano-termoplastico.htm>>.
- R.4 "ToroidalCVTs - HowStuffWorks." *HowStuffWorks*. N.p., n.d. Web. 30 Oct. 2014. <<http://auto.howstuffworks.com/cvt3.htm>>.



R.5 "Obesidad Y Sobrepeso." OMS. N.p., n.d. Web. 10 Oct. 2014.
<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>>.

R.6 Weaver, Graham. "Materials Principles and Practice". Ed. Charles Newey. N.p.: n.p., 1990. Print.

1.5 DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

CVT	Transmisión Variable Continua
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
MIT	Michigan Institute of Technology
ENDI	Encuesta El Nuevo Día
RTM	Resin Transfer Moulding
ENDI	Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad

2 ANTECEDENTES

2.1 MARCO SOCIAL

El concepto de actividad física se define como el conjunto de acciones que conllevan un desgaste energético superior al metabolismo propio de una persona mediante la ejecución de uno o varios movimientos, pudiendo ser los mismos repetitivos o no. Dicho concepto es confundido frecuentemente con el de ejercicio físico, el cual remite a una o varias actividades realizadas con premeditación con el objeto de poder tonificar determinadas secciones del cuerpo.

Los beneficios que acarrea realizar regularmente actividad física son numerosos. En primera medida la calidad de vida se incrementa, se adquieren hábitos más saludables y la posibilidad de muerte súbita disminuye. Otros beneficios asociados son:

- Los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares disminuyen considerablemente

- Reduce el apetito

- Se incrementa el consumo de calorías, lo que puede resultar contraproducente en determinadas situaciones. Pero si se limita el consumo de la mismas mediante una dieta adecuada, la actividad física contribuye a la pérdida de grasa corporal en un porcentaje elevado (90% aproximadamente).

La realización en exceso de estas actividades, por el contrario, puede originar problemas serios de índole inmunológica, ya que al llevarse a cabo de forma repentina y en intervalos de corta duración, se debilitan las células y tejidos por lo que la posibilidades de contraer diversos tipos de enfermedades aumentan.

Por otro lado, la escasa o nula ejecución de cualquiera de estas actividades conduce al sedentarismo. El riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares se incrementa al igual que la retención de grasas lo que conlleva a un incremento de peso. En caso de no revertirse esta situación y dejando que la misma se prolongue en el tiempo, el gasto de calorías por parte del organismo resulta inferior al consumo de las mismas, lo que puede originar un aumento excesivo de masa corporal ocasionando inconvenientes más serios, por ejemplo el sobrepeso.

De acuerdo a estadísticas publicadas por la organización mundial de la salud, alrededor de un 10 % de la población mundial (R.5), 600 millones de personas, padece una imposibilidad permanente de índole física, sensorial y/o mental, entre otras como muestra la Figura 1.

Dicho porcentaje se incrementa a un 40% en lo que respecta a personas que sufren de una discapacidad pero de manera transitoria, por ejemplo personas accidentadas en proceso de rehabilitación sin secuelas.

A nivel nacional, la ENDI es una encuesta complementaria al Censo nacional de población cuyo la finalidad es la de cuantificar y caracterizar a las personas con discapacidad , al igual que su desenvolvimiento en el ámbito físico y social dentro del territorio argentino, cabe destacar que un 7,1% de la población posee algún tipo de discapacidad permanente siendo de ese porcentaje el 39,5% con una discapacidad motriz, del cual el 61,7% corresponde sólo a sus miembros inferiores(ver Figura 2).

Grupos de edad	Población con discapacidad	Cantidad de discapacidades						
		Una discapacidad		Dos discapacidades		Tres discapacidades o más		
		%		%		%		%
Total	2.176.123	100,0	1.609.118	73,9	438.823	20,2	128.182	5,9
0-4	50.854	100,0	38.925	76,5	9.171	18,0	(a)	(a)
5-14	203.643	100,0	166.622	81,8	27.134	13,3	9.887	4,9
15-29	250.677	100,0	211.998	84,6	30.470	12,2	8.209	3,3
30-49	336.868	100,0	281.491	83,6	45.845	13,6	9.532	2,8
50-64	467.823	100,0	360.490	77,1	87.812	18,8	19.521	4,2
65-74	372.217	100,0	256.493	68,9	95.657	25,7	20.067	5,4
75 y más	494.041	100,0	293.099	59,3	142.734	28,9	58.208	11,8

(a) Coeficiente de variación mayor al 25%.

Nota: el total del país abarca al conjunto de los centros urbanos del país con 5.000 habitantes o más.

Figura 1 Población con discapacidad. Cantidad de discapacidades por grupos de edad. Total del País Años 2002-2003

Algo que ha perseguido la administración pública a lo largo de los años, en mayor o menor medida, es la de facilitar a las personas que padecen dicha enfermedad el acceso o el uso de diversos tipos de servicios como es el caso del transporte público o la libertad de transitar por distintos espacios abiertos a toda la población. La presencia de ascensores y/o variados mecanismos que permitan el ascenso y el descenso, espacios reservados exclusivamente para discapacitados e inclusive la creación de organismos encargados de defender sus derechos evidencian los esfuerzos que se han realizado en este último período.

Independientemente de esto muchas personas no "disfrutan" de estos beneficios por diversos motivos.

El principal de los ellos puede atribuirse al hecho de hospedarse en áreas lejanas a las zonas urbanizadas. Además dichas zonas aledañas no cuentan con servicios básicos como por ejemplo el de tener caminos pavimentados que permitan la rápida circulación de las personas. Dichos terrenos son poco uniformes, con muchas subidas y bajadas, por lo que se supone que para una persona discapacitada las posibilidades de transitar de un lugar a otro son bastante dificultosas, principalmente debido a lo agotador que puede resultar dicho trayecto. La necesidad de un dispositivo que se adapte a esta clase de terreno y no requiera por parte del ocupante una gran utilización de energía resulta de gran importancia.

Regiones	Total (1)	Tipo de discapacidad					
		Visual	Auditiva	Del habla	Motora	Mental	Otra discapacidad
Total del país	2.886.443	634.029	520.533	110.073	1.139.792	436.307	45.709
Gran Buenos Aires	875.299	167.973	153.129	28.844	372.221	135.621	17.511
Cuyo	236.412	57.916	41.341	7.310	89.360	37.544	(a)
NEA	212.873	44.901	38.754	12.371	77.909	34.924	(a)
NOA	342.626	78.958	56.545	16.082	130.155	55.185	(a)
Pampeana	1.090.442	257.069	203.485	40.097	420.776	156.419	12.596
Patagonia	128.791	27.212	27.279	(a)	49.371	16.614	(a)
Distribución porcentual							
Total del país	100,0	22,0	18,0	3,8	39,5	15,1	1,6
Gran Buenos Aires	100,0	19,2	17,5	3,3	42,5	15,5	2,0
Cuyo	100,0	24,5	17,5	3,1	37,8	15,9	(a)
NEA	100,0	21,1	18,2	5,8	36,6	16,4	(a)
NOA	100,0	23,0	16,5	4,7	38,0	16,1	(a)
Pampeana	100,0	23,6	18,7	3,7	38,6	14,3	1,2
Patagonia	100,0	21,1	21,2	(a)	38,3	12,9	(a)

(1) Una persona puede estar clasificada en más de una discapacidad.

(a) Coeficiente de variación mayor al 25%.

Nota: el total del país abarca al conjunto de los centros urbanos del país con 5.000 habitantes o más.

La Región Gran Buenos Aires (GBA) comprende Ciudad de Buenos Aires y Partidos del Gran Buenos Aires.

La Región Pampeana abarca al conjunto de los centros urbanos con 5.000 habitantes o más de las provincias de Córdoba, Entre Ríos, La Pampa, Resto de Buenos Aires y Santa Fe

La Región Noroeste Argentino (NOA) abarca al conjunto de los centros urbanos con 5.000 habitantes o más de las provincias de Catamarca, Jujuy, La Rioja, Salta, Santiago del Estero y Tucumán.

La Región del Noreste Argentino (NEA) abarca al conjunto de los centros urbanos con 5.000 habitantes o más de las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa y Misiones.

La Región Cuyo abarca al conjunto de los centros urbanos con 5.000 habitantes o más de las provincias de Mendoza, San Juan y San Luis

La Región Patagonia abarca al conjunto de los centros urbanos con 5.000 habitantes o más de las provincias de Chubut, Neuquén, Río Negro, Santa Cruz y Tierra del Fuego.

Figura 2 Distribución de las discapacidades en hogares por tipo de discapacidad, según regiones.



Uno de los inconvenientes que es común a todas las personas que afrontan ésta situación diariamente es la atrofia de ciertos músculos, tanto por el mal o poco uso de los mismos. La parte superior del tronco como los músculos de los brazos son los que se llevan la peor parte. Además de acuerdo a lo comprobado empíricamente en distintos experimentos, citados en la sección 2-

Antecedentes, en lo que respecta a la eficiencia correspondiente a la fuerza aplicada a la ruedas del dispositivo de translación y al movimiento de rotación de las mismas, es muy baja, es decir el torque proporcionado a las ruedas por parte del ocupante es pequeño comparado a la fuerza que el mismo proporciona. Nuevamente el cansancio se hace presente al igual que la fatiga de los músculos, esto último tiene adicionalmente el potencial de provocar problemas más serios.

2.2 HISTORIA DEL PROYECTO

El proyecto se basó en el rediseño de una silla de rueda presentada frente al círculo argentino. En un primer estudio del diseño presentado se observaron varios puntos que requerían un rediseño, como la dirección y el método de transmitir la fuerza de los brazos a las ruedas. En la Figura 3 se observa este primer diseño, el cual fue la base del proyecto.



Figura 3 Primer diseño presentado

En la Figura 4 se observa la forma de transmisión de fuerza en el primer diseño, esta presentaba ciertas dificultades para transmitir esta fuerza. Realizar este tipo de transmisión requería mucho diseño ya que había partes que no funcionaban correctamente. Mientras que en la Figura 5 se aprecia cómo sería el primer mecanismo para transmitir la fuerza. Este mecanismo presenta un problema ya que implementarlo es muy difícil debido a la complejidad de los componentes por la cual está compuesta. En la parte 1 de la Figura 5 se describe como sería el movimiento cuando una persona aplica el momento en un sentido, luego en la parte dos cuando la persona va a mover la palanca hacia atrás el engranaje se mueve y se acopla a un engranaje inverso el cual en la parte 3 se observa cómo es que este aplica la fuerza para tener un mismo sentido de giro en la rueda y de esta manera poder utilizar toda la fuerza que la persona ejerce sobre la palanca.



Figura 4 Detalle sobre transmisión

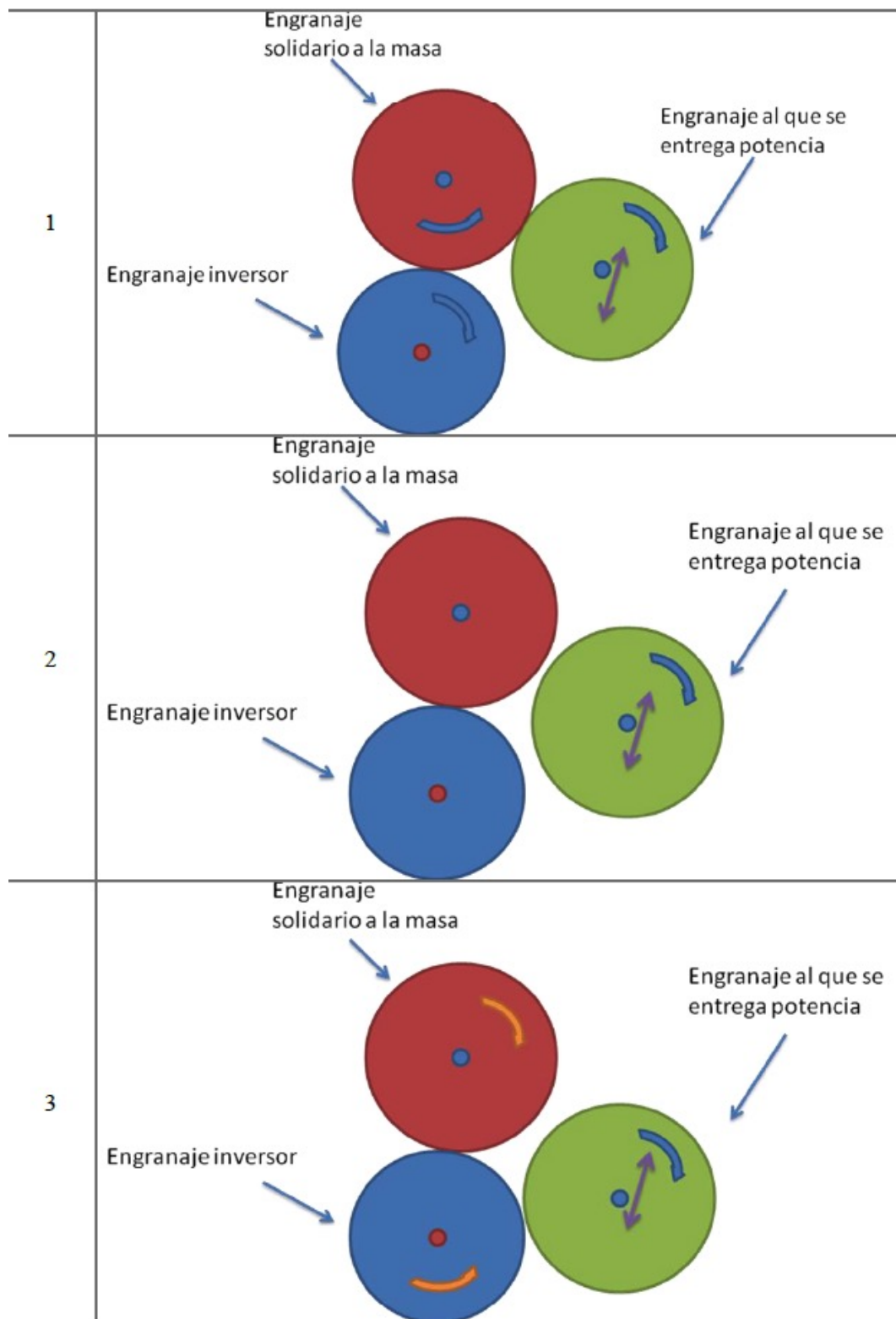


Figura 5 Forma de transmisión de fuerza

Aquí había grandes puntos a desarrollar para poder realizar un producto que funcione y tenga buena movilidad. Luego se empezó a investigar sobre sillas de ruedas similares las cuales tengan similar funcionalidad. Aquí se encontró un diseño presentado en el MIT el cual ya se encontraba en producción con muchas características similares como se observa en la Figura 6.

Este fue un punto muy importante para el proyecto ya que se decidió un cambio en el diseño para poder distinguirnos del proyecto existente, el mismo consistiría en cambiar la forma de transmisión de la silla. En un primer paso se optó por una silla tubular con la transmisión nueva, como se observa en la Figura 7.



Figura 6 Silla diseñada por el MIT

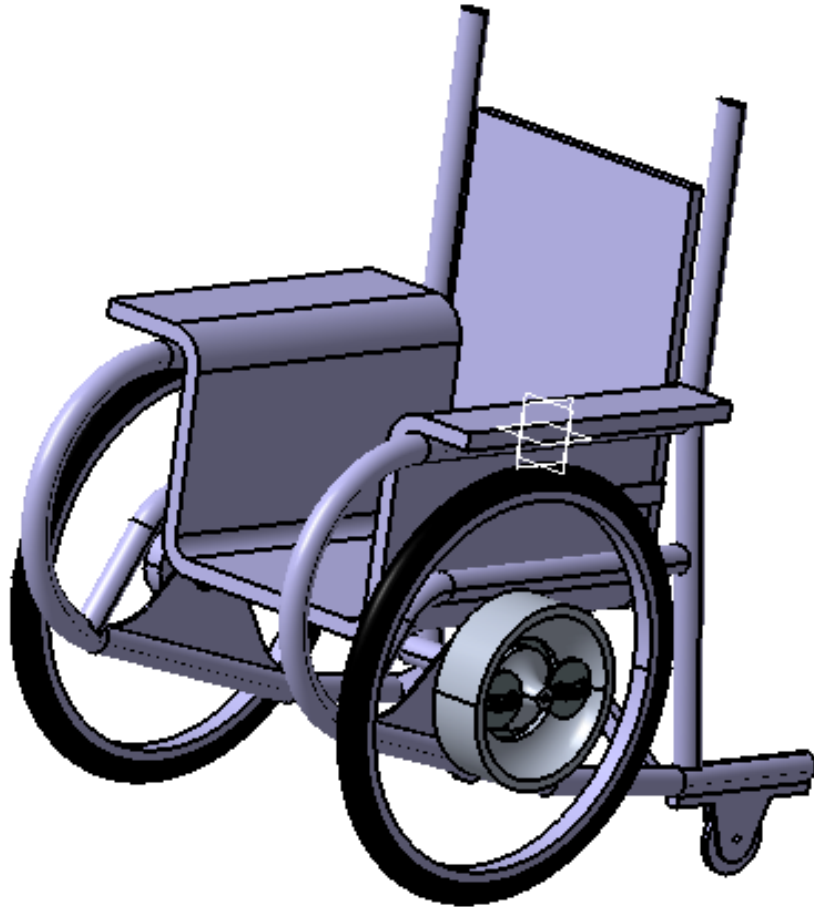


Figura 7 Armazón Tubular

Luego se decidió realizar cambios en la estructura y eliminar el armazón tubular y colocar dos soportes de fibra de vidrio, este cambio lo observamos en la Figura 8. Este diseño presenta varias ventajas contra el diseño anterior. Entre estas ventajas se pueden ver las siguientes:

- Reducción de peso es muy significativa.
- Simplicidad de diseño con pocas piezas las cuales son de fácil procesado y armado.
- Simplicidad en el armado.
- Facilidad en el uso.

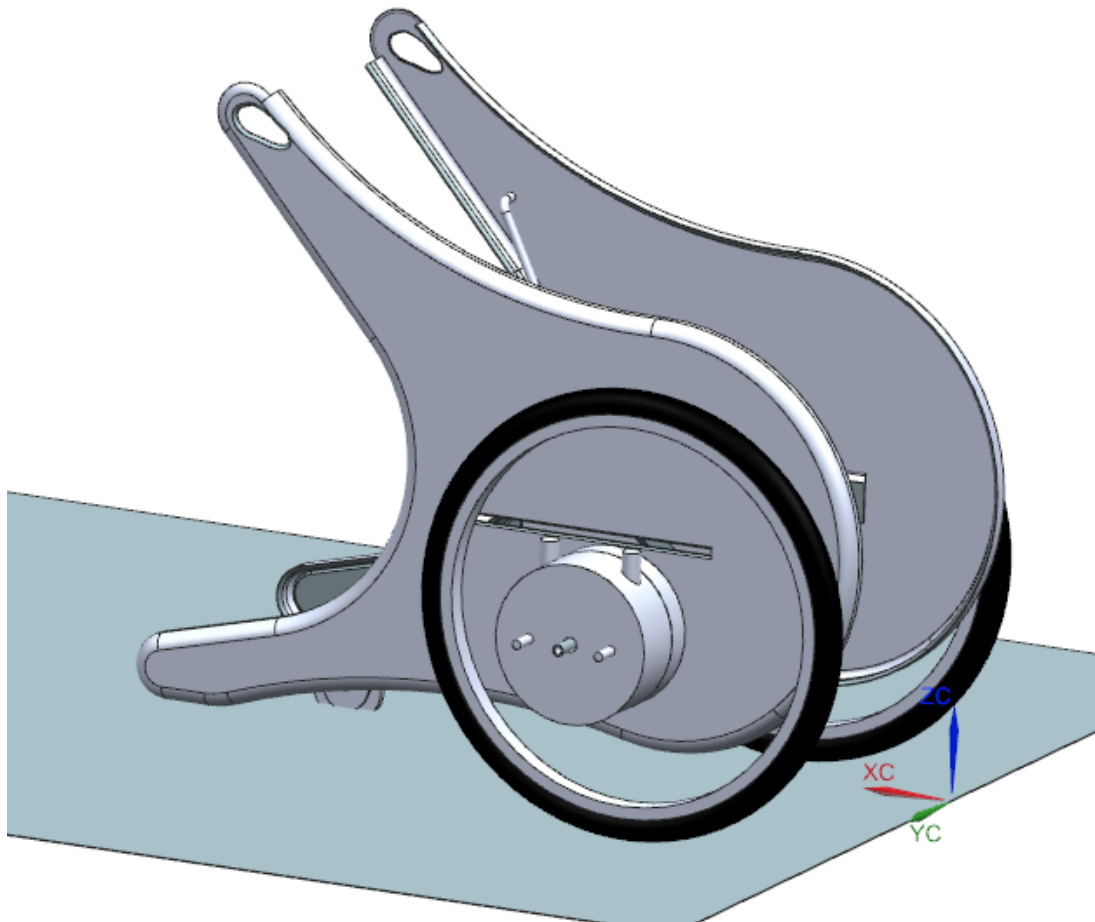


Figura 8 Primer diseño con laterales de GFRP

Esta estructura, está compuesta por dos laterales y un mecanismo tipo tijera para la unión. En la Figura 9 podemos observar uno de estos laterales, esta pieza es la que soporta toda la carga de la persona. El fin es poder con esta pieza remplazar toda una estructura tubular por una única de fibra con igual resistencia o mayor, pero con una reducción de peso mucho mayor.

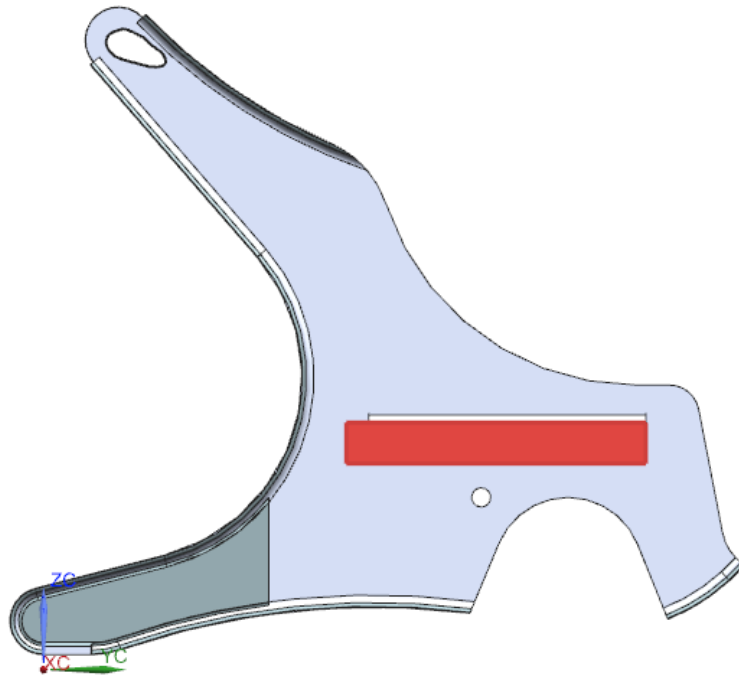


Figura 9 Lateral

Con estos nuevos conceptos el proyecto embarcó nuevos objetivos los cuales implicaron desarrollos de nuevas formas de transmisión de potencia, en la Figura 10 se puede observar un primer diseño el cual se asemeja al producto terminado. La transmisión tiene tres componentes principales. La pieza CVT Grande, CVT Chica y Discos son estos componentes.

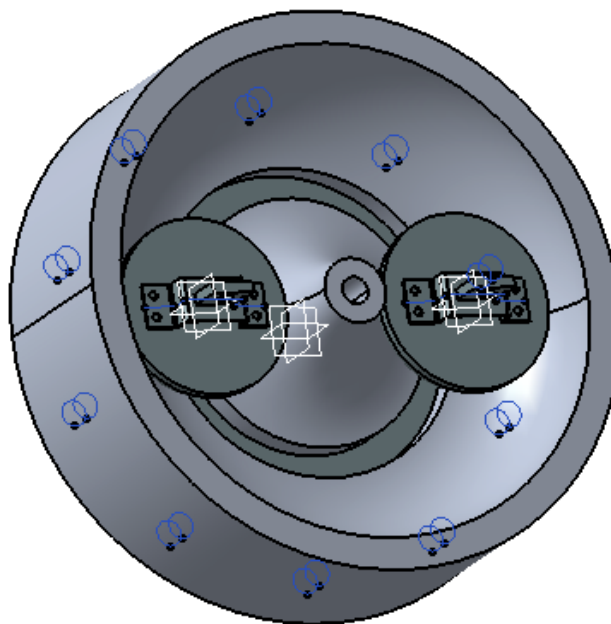
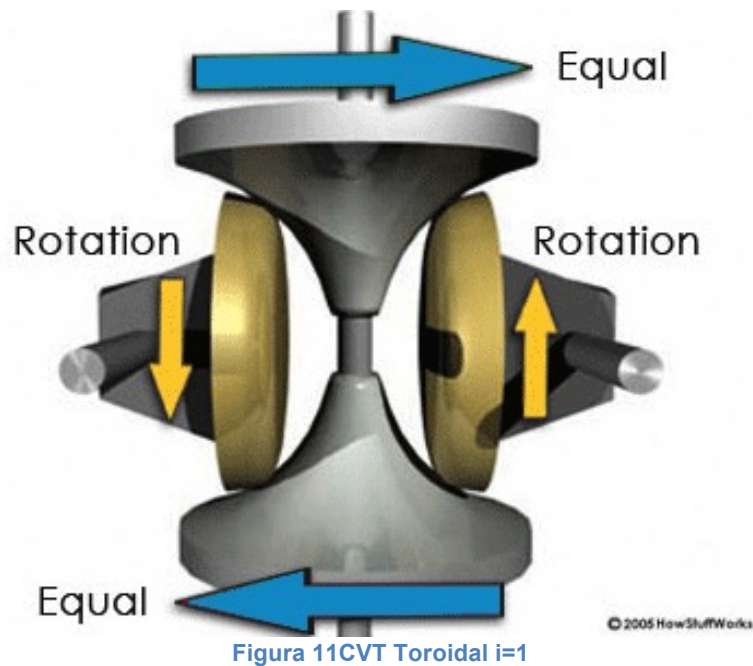


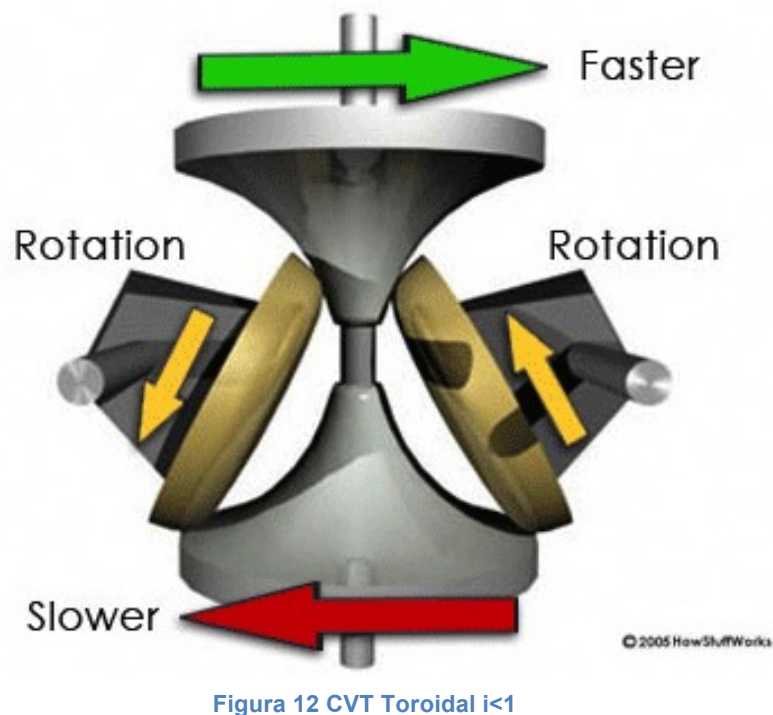
Figura 10 Diseño de CVT

2.2.1 CVT Toroidal

Este tipo de transmisión en principio funciona igual, pero tiene como principal diferencia la forma de los componentes y de la relación de transmisión que puede llegar a alcanzar. En la Figura 11 se observa la CVT toroidal con una relación de transmisión 1:1, lo cual significa que el eje de potencia de entrada gira a igual velocidad que el de salida.



De la misma manera se puede apreciar ya sea una relación menor a 1 en la Figura 12 y una relación mayor a 1 en la Figura 13.



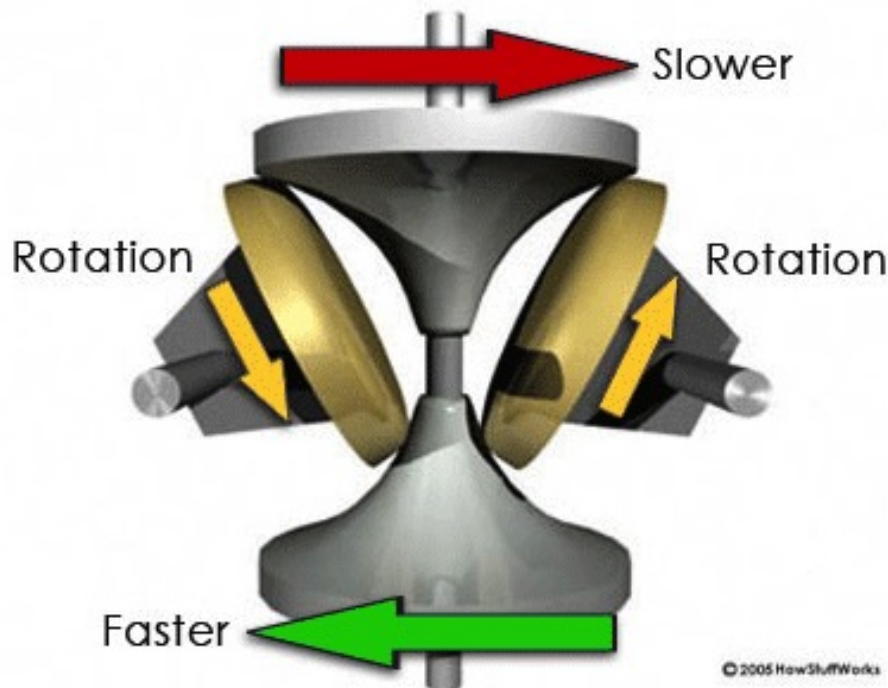


Figura 13 CVT Toroidal $i > 1$

Esta posibilidad de tener relaciones mayores y menores a uno es la principal diferencia con la CVT diseñada para la silla de rueda, pero esta ventaja conlleva tener un tamaño mayor de los componentes. Si el diseño no requiere tener relaciones mayores a uno y la limitación del tamaño es muy importante como en este caso se prioriza el tamaño y peso por sobre la variación de la relación de transmisión.

Este tipo de transmisión toroidal es usada comúnmente en automóviles. Es decir que este diseño ya fue ampliamente estudiado lo cual facilita la verificación de los componentes usados por su gran similitud entre un diseño y el otro.

En el diseño realizado se puede ver las piezas que componen el conjunto. En la Figura 14 se observa la primera pieza, CVT Grande, la cual es la que transmite la fuerza a la rueda. Mientras que en la Figura 15, CVT Chica, es la pieza que uno le entrega la fuerza para que esta pueda transmitirla. La forma de unir estos dos componentes es mediante el disco, Figura 16.

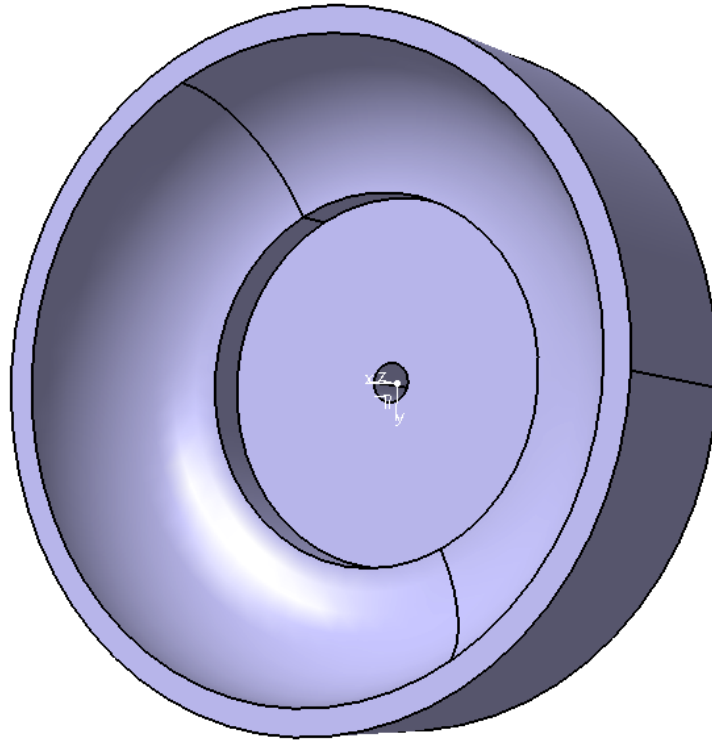


Figura 14 CVT Grande

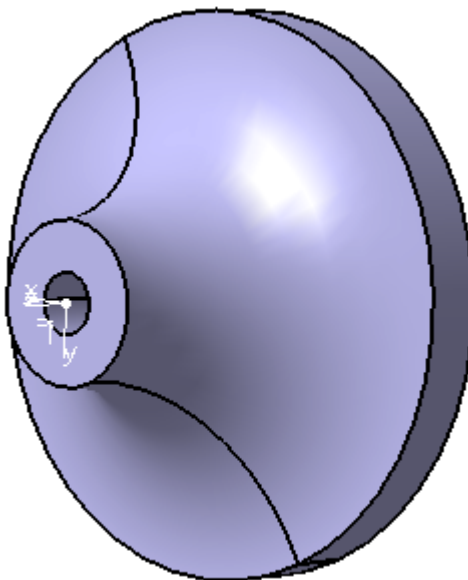


Figura 15 CVT Chica

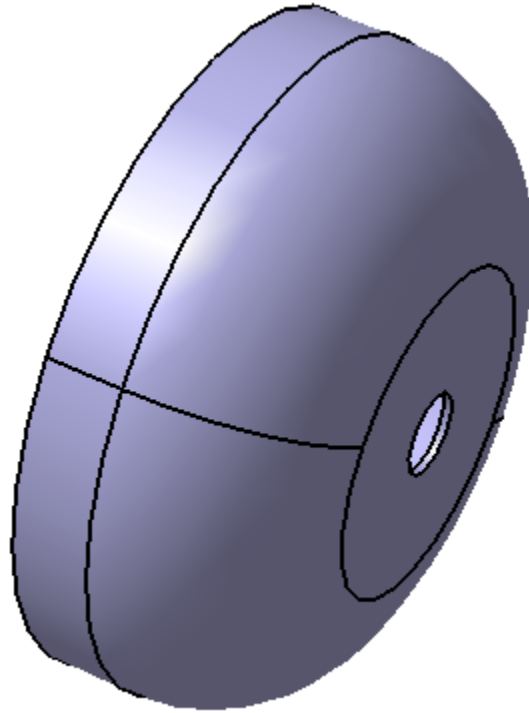


Figura 16 Disco

A todos estos componentes se le debe realizar un análisis el cual debe ser realizado en otra etapa del proyecto.

3 MEMORIA DESCRIPTIVA

Se decide dividir las verificaciones de los elementos en dos conjuntos principales, los estructurales y la transmisión. En esta sección se basa en mostrar los resultados del análisis de las piezas que componen la silla de rueda. Tanto el desarrollo y comprobación de los elementos, proceso de fabricación de la silla, estabilidad de la silla y armado de la misma. Todos estos aspectos se desarrollan con más detalle en los siguientes puntos.

3.1 ESTRUCTURA

En este apartado se puede encontrar el análisis de los materiales que componen la estructura que soporta la carga. En la Figura 17 se puede observar la composición de la silla. Este diseño final paso por distintas etapas y modificaciones del diseño inicial. Lo cual será explicado en secciones siguientes del presente informe.

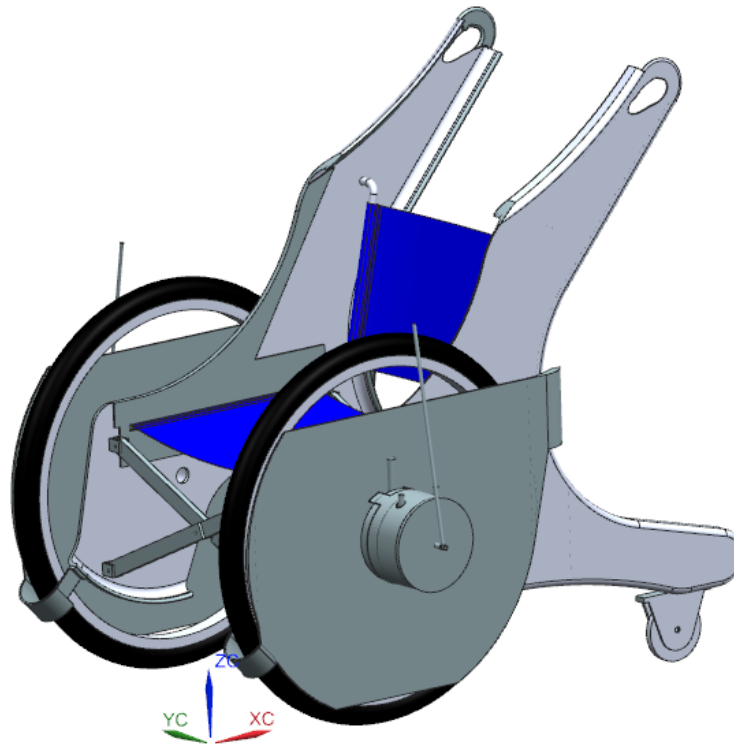


Figura 17 Estructura Final

En la Tabla 1 se puede observar las propiedades utilizadas para el cálculo estructural de la silla de rueda.

Aquí se aprecian las dos estructuras principales las cuales están compuestas por resina epoxi reforzado con fibra de vidrio organizada aleatoriamente logrando una cuasi isotropía en el material. GFRP		
Módulo de Young	10	GPa
Densidad	1540	Kg/m ³
Límite Elástico a la tracción	138	MPa
Módulo de Poisson	0,35	---

Tabla 1 Propiedades de GFRP R.6

3.1.1 Verificación

En la presente sección se presenta los resultados del análisis estructural del lateral de la silla de ruedas mediante el método de los elementos finitos.

3.1.1.1 Hipótesis

- Los materiales son isótropos, elásticos y lineales
- Se propone un modelo de pequeñas deformaciones y pequeños desplazamientos
- Se modela la mitad del diseño por simetría.

3.1.1.2 Modelado

En la presente sección se describen tanto el mallado en elementos 3D, las condiciones de borde y las cargas aplicadas sobre la estructura. En este caso se utilizaron elementos 3D tetraédricos de 10 nodos. En la siguiente Tabla 2 se muestran las diferencias de las cargas y las condiciones de borde de los dos modelos, el diseño inicial y el diseño final.

	Modelo Inicial	Modelo Final
Carga vertical	60kg	60kg
Carga horizontal	15kg	15kg
Carga de empuje horizontal	75kg	75kg
Condición de borde en rueda Trasera	No tiene permitido el movimiento en el eje Z	
Condición de borde en rueda Delantera	Permite únicamente el giro en el eje X que es el de la rueda.	
Condición de simetría	---	Se restringe el movimiento en X para la simetría.

Tabla 2 Cargas y Condiciones de Borde

En un principio se comenzó el análisis con una estructura semejante como se aprecia en la Figura 18 siguiente.

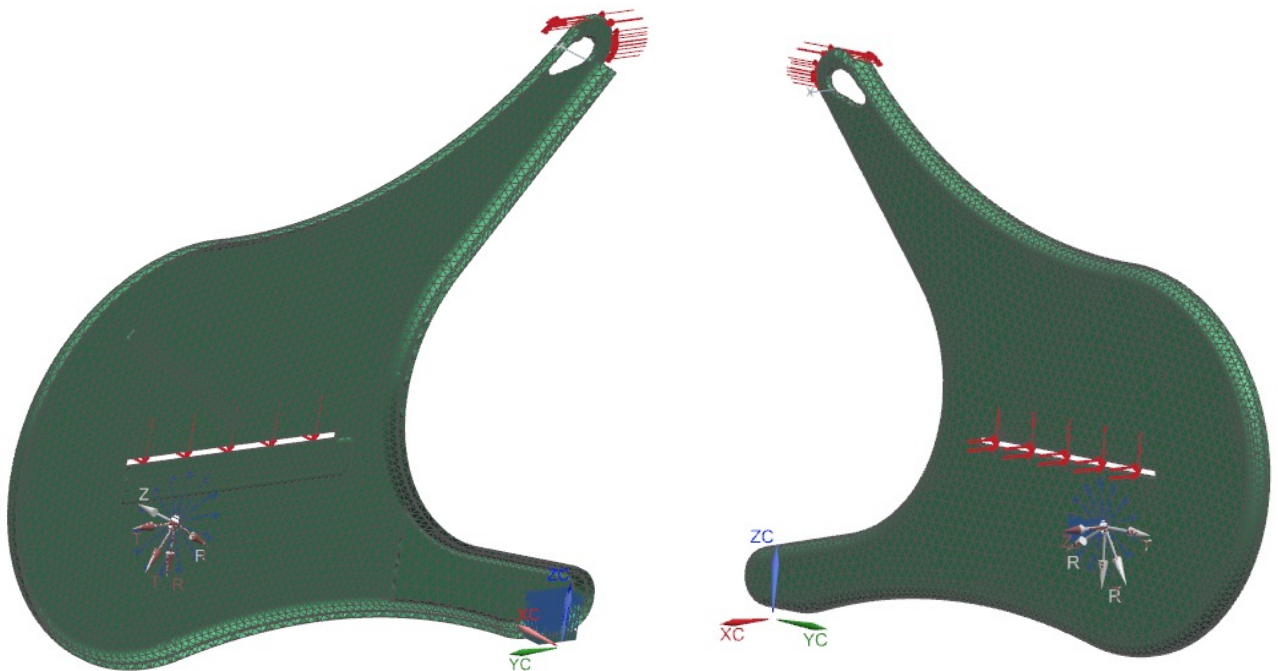


Figura 18 Modelo Original

La siguiente Figura 19 nos muestra la estructura con lo anterior mencionado.

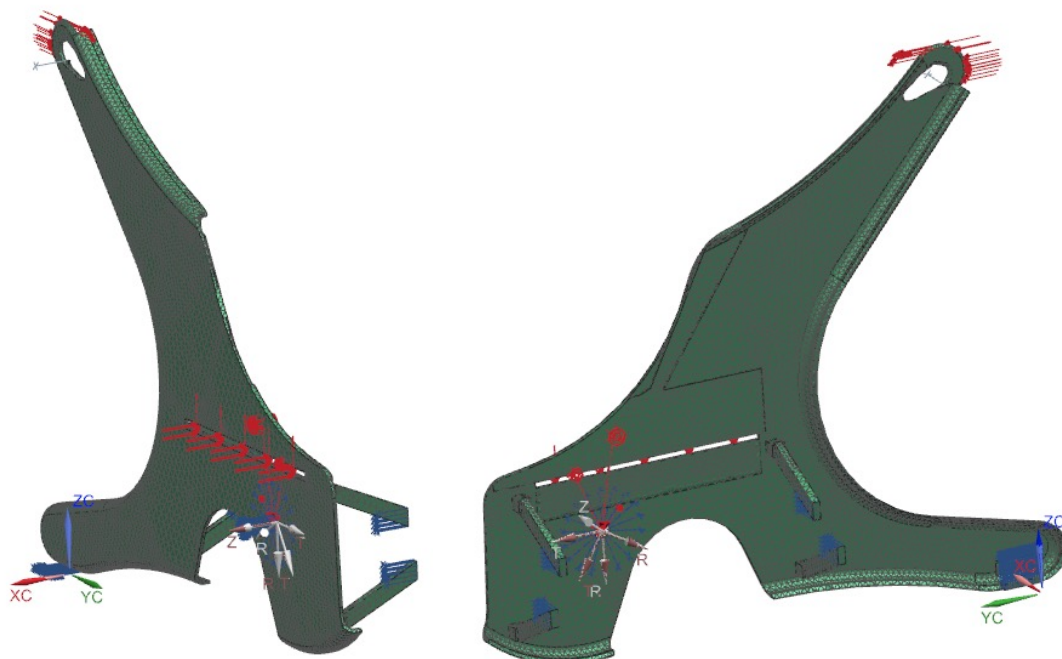


Figura 19 Mallado, Condiciones de Borde y Carga

La principal diferencia de los dos modelos es la forma que presenta la estructura resistente de fibra de vidrio. Esto se explica en la sección 3.1.2 Resultado, aquí está explicado porque la diferencia entre estos.

3.1.2 Resultado

En esta sección se muestran los resultados del análisis realizado. En una primera instancia antes de observar los resultados del modelo final se puede observar en la Figura 20 que existían zonas donde la pieza no presentaba energía de deformación asociada, mientras las zonas que se deformaron es decir las que trabajaron son las coloreadas de azul. A partir de este análisis se pueden eliminar las zonas sin deformación llegando a la geometría final con una considerablemente disminución el peso. Ciertas zonas que se podrían haber eliminado pero se decidió que queden, debido a que si se eliminan estas no se pueden unir la estructura en total, como sería la zona que va hacia la manija para que una persona empuje. Todas estas zonas las cuales se pueden eliminar debido a que no trabajan, siempre y cuando no se comprometa la estabilidad de la misma y la resistencia del producto.

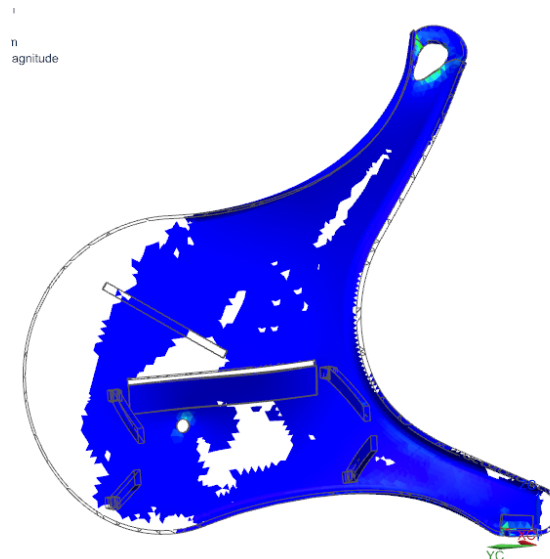
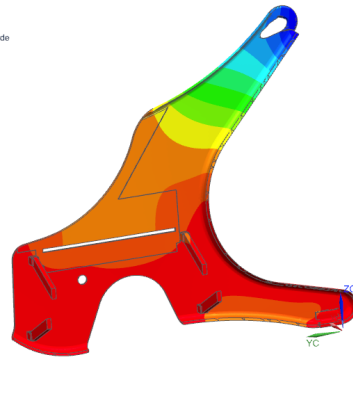


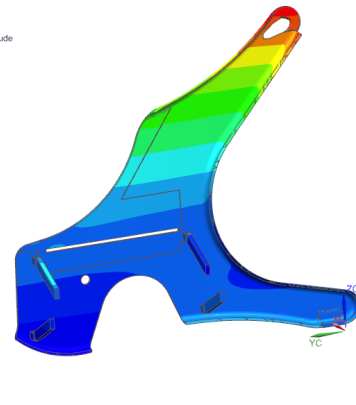
Figura 20 Zonas donde no Presenta deformación (Densidad de Energía de deformación J/m³)

En la Figura 21 se puede observar desplazamientos presentadas en el análisis en las tres direcciones. En la misma se puede apreciar que el desplazamiento en X (cuyo sentido normal a la estructura) es el que se ve más afectado por las cargas.

estructura_03_calpart_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, X
Min : -6.575, Max : 0.486, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



estructura_03_calpart_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Y
Min : -0.673, Max : 3.694, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



estructura_03_calpart_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Z
Min : -0.756, Max : 2.889, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

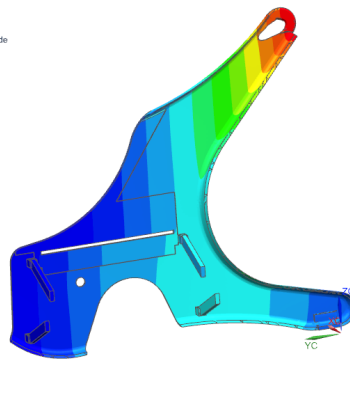


Figura 21 Desplazamientos en X, Y y Z

Luego en la Figura 22 se pueden observar las tensiones máximas principales que aparecen en la estructura.

estructura_03_calpart_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 28.60, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

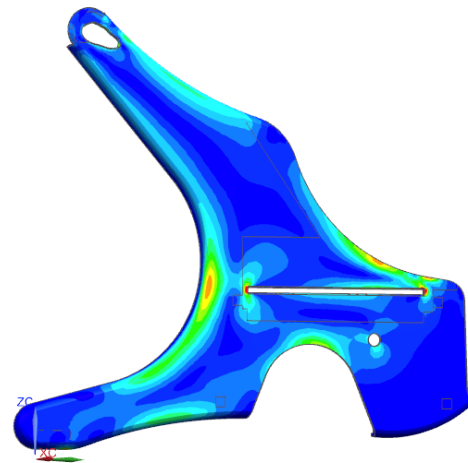
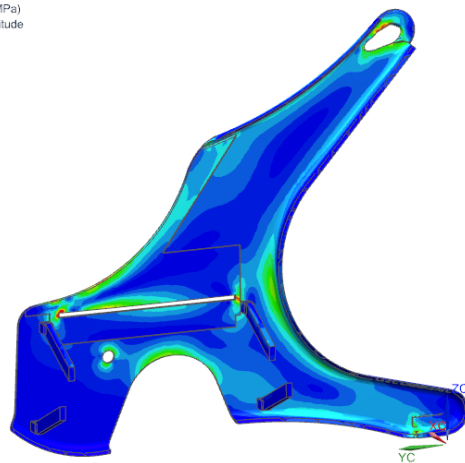
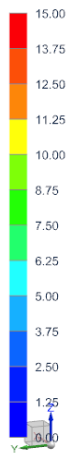


Figura 22 Tensiones Principales (MPa)

En la Figura 23 y Figura 24 se pueden observar dos zonas que presentan una pequeña concentración de tensión en las cuales se recomienda colocar un refuerzo para reducir la posibilidad de falla del material.

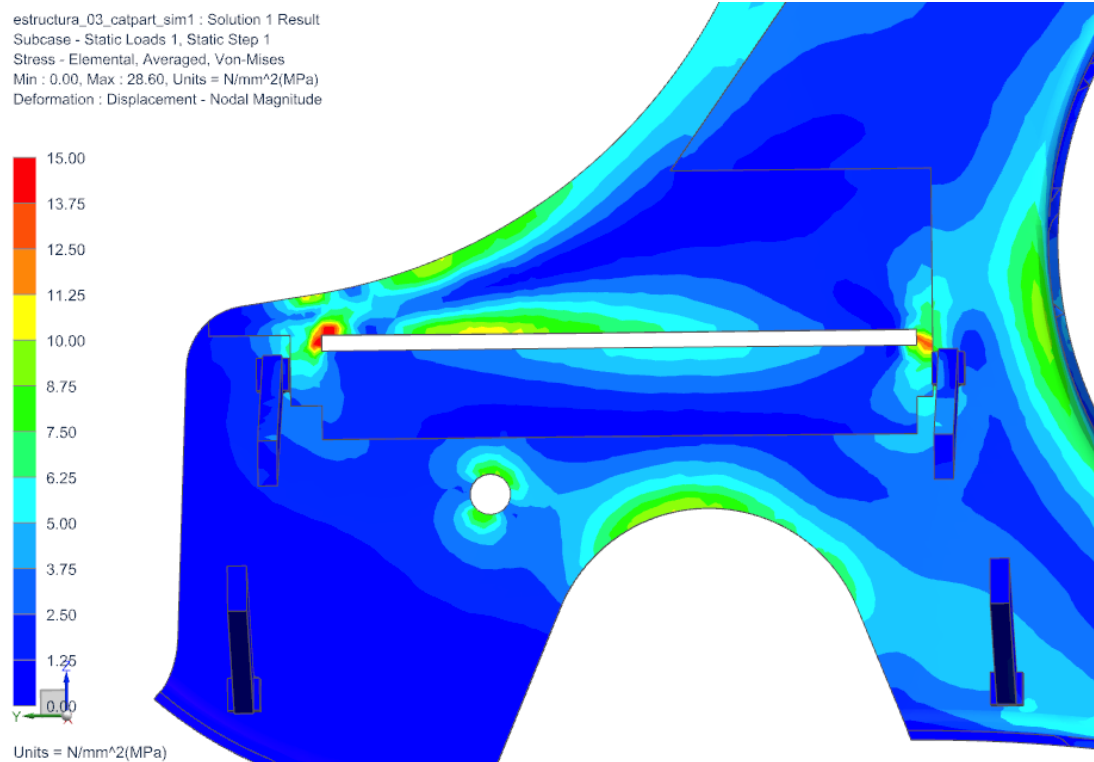


Figura 23 Concentración de tensión en zona de apoyo de la rueda

estructura_03_catpart_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 28.60, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

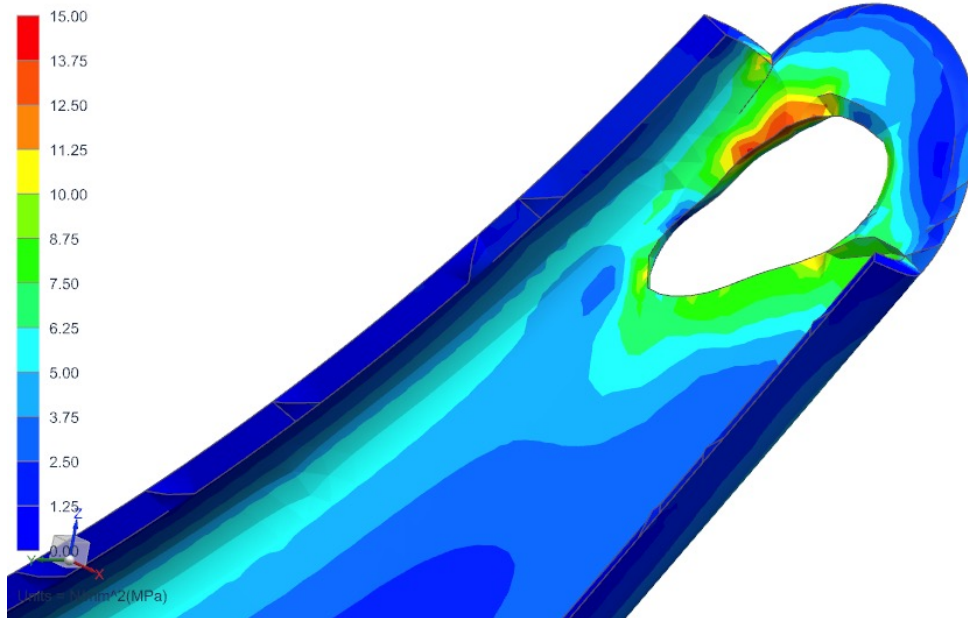


Figura 24 Concentración de tensión en zona de empuje

En la Figura 25 se observa cómo es que las concentraciones de tensión afectan el apoyo de la rueda siendo las mismas de compresión por lo cual limitan a la resistencia de la estructura haciendo que esta misma se vea muy comprometida ya que es mucho menor. Con estos resultados se logro reducir un 78,64% en el peso, y una estructura igual de resistente haciendo que el peso se vea reducido considerablemente.

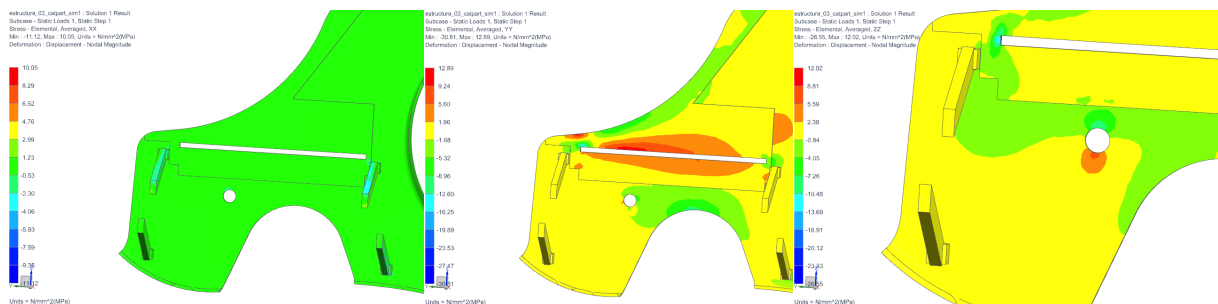


Figura 25 Mapa de Tensiones en apoyo principal

3.1.3 Proceso de Fabricación

Se comenzará introduciendo los diferentes procesos para la fabricación de materiales compuestos. En la Tabla 3 se puede comparar las ventajas y desventajas de distintos métodos para poder seleccionar el adecuado para la fabricación de los laterales.

	Ventajas	Desventajas
Moldeo Manual	• Se pueden fabricar partes grandes y complejas. • Mínima inversión. • Mínima inversión en herramientas. • Hornos de curado no necesarios.	• Una sola superficie del molde tiene buen acabado superficial. • La calidad superficial depende del operario. • Alta emisión de componentes volátiles y dañinos. • Es difícil obtener productos iguales. • Baja relación volumen de fibra matriz
Moldeo manual de Pre Impregnados	• Alta relación volumen de fibra, matriz.	• Trabajo lento y tedioso y caro por el costo de la material compuesto pre impregnado.
Extrusión	• Alto peso molecular. • Distribución de peso molecular ancha.	• Alto inversión. • Forma limitada de fabricación.
Moldeo por Inyección	• Permite obtener piezas de formas muy complejas. • Alta repetitividad de piezas • Bajo costo en personal	• Alto costo en equipo y moldes. • Generación de gran cantidad de desperdicio.
Bobinado de Filamento	• Automatizable. • Rápido. • Buenas propiedades mecánicas.	• Formas convexas únicamente. • Alto costo de maquinaria. • Normalmente se utilizan resinas de baja viscosidad lo cual implica malas propiedades.
Moldeo por Transferencia de Resina (RTM)	• Buen acabado superficial en ambas caras de la pieza. • Espesor constante y exacto. • Piezas iguales	• Costo en la maquinaria. • Se requiere un conocimiento alto para saber donde debe ingresar la resina.

Tabla 3 Ventajas y Desventajas de Distintos procesos de Fabricación

Analizando lo anterior se puede deducir que los procesos a utilizar se reducen a algunos pocos, como el moldeo manual o con pre impregnado, y moldeo por transferencia de resina (RTM). A continuación se procede a explicar más de cada uno de estos métodos.

3.1.3.1 RTM

El proceso de RTM consta de colocar en un molde las fibras que van a componer el material compuesto, luego el molde es cerrado para comenzar el proceso de transferencia de resina. Estos pasos se pueden observar en la Figura 26.

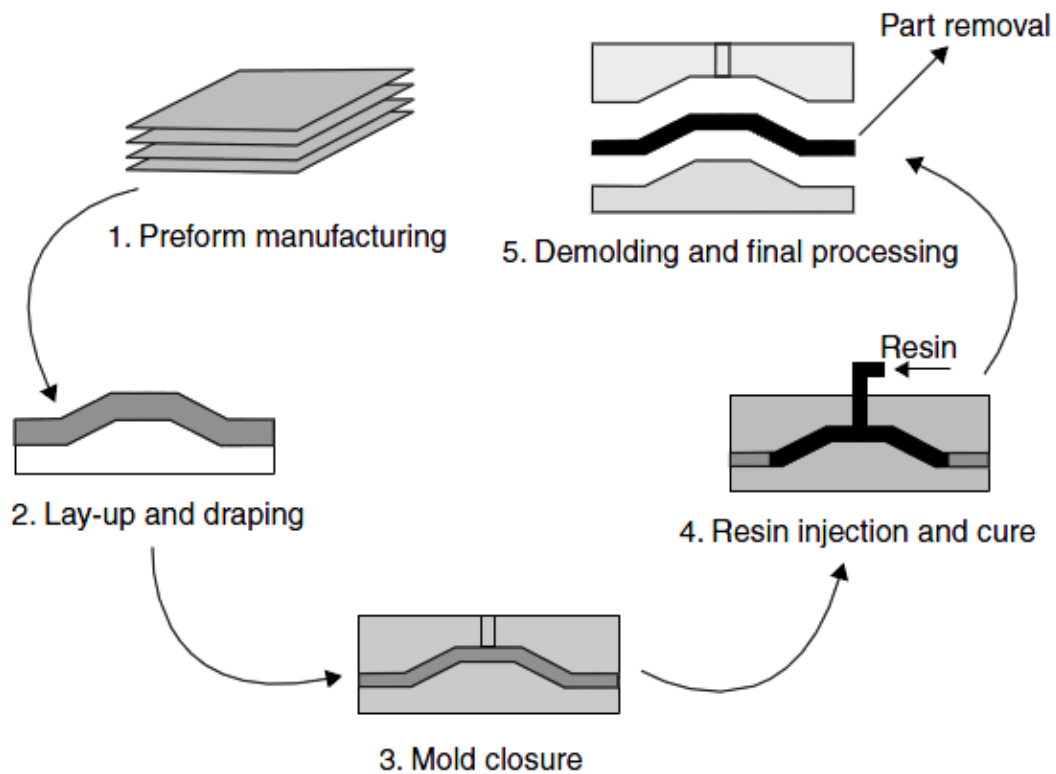


Figura 26 Pasos para RTM

Para la fabricación de la estructura se decide optar por un proceso de RTM o RTM light debido a la gran facilidad para conformar las piezas y su posibilidad de generar piezas con alta resistencia mecánica, para así poder resistir las cargas a la cual es sometida. Las etapas del proceso se resumen en la Figura27.

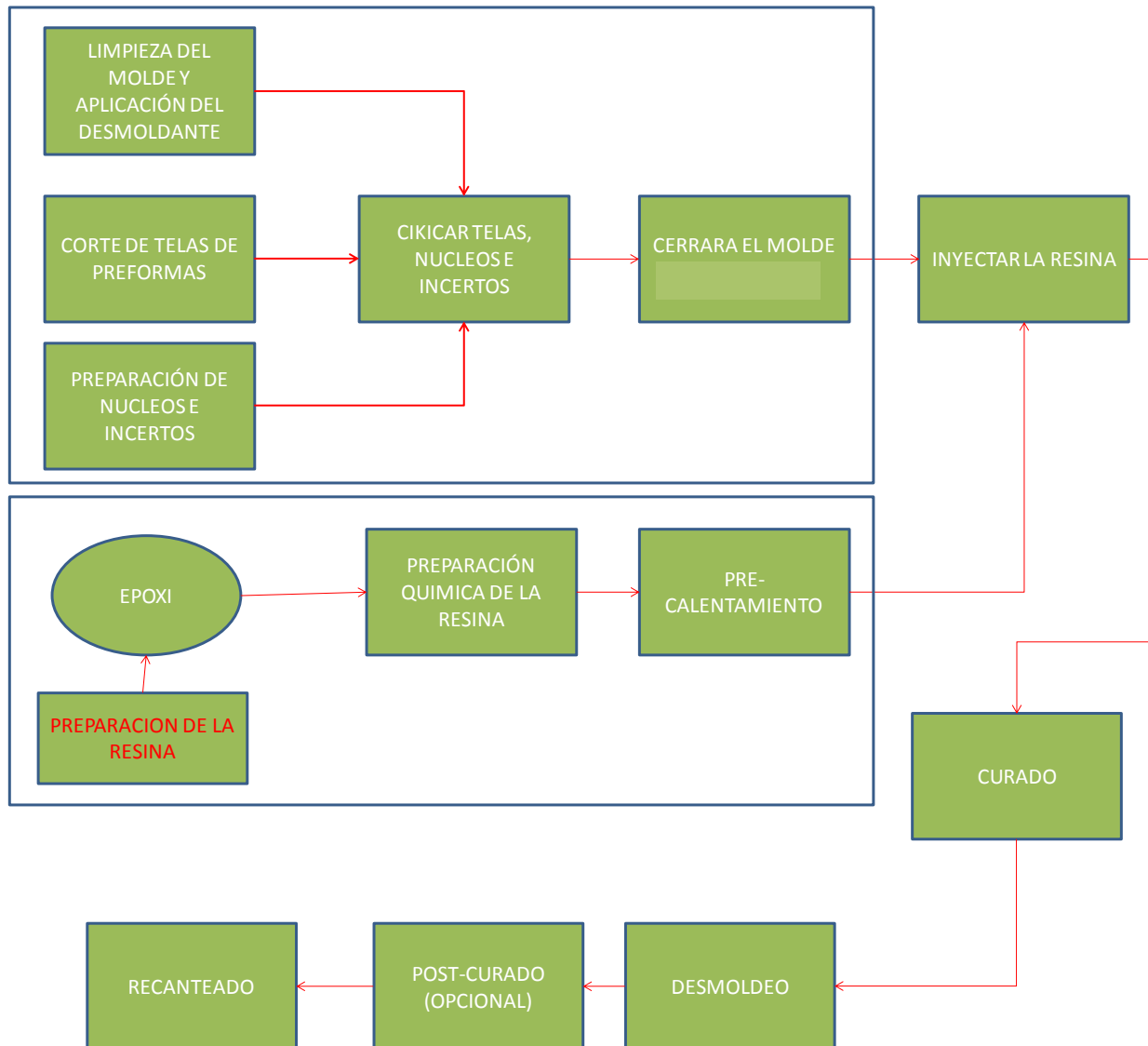


Figura27 Etapas del Proceso RTM

La fabricación consta de dos bloques importantes. Primero se coloca un desmoldante en el molde. En el siguiente paso es muy importante colocar las telas sobre el molde de la manera correcta ya que la orientación dada es la que nos proporciona la resistencia deseada sobre la pieza. Aquí también se colocan insertos de aluminio sobre el eje donde ira la rueda para mejorar la resistencia a la compresión que hay en ese lugar. También serán ubicados los soportes para las tijeras de la silla. Realizar estos pasos en este momento es muy importante ya que facilitan la fabricación del conjunto. Una vez realizado esto se dispone a cerrar el molde y realizar el vacío para luego inyectar la resina.

El otro bloque principal para la fabricación es la resina, este componente es el que une todas las piezas y aquí radica su importancia. Debemos preparar químicamente o catalizar la resina para luego precalentarla, esto dependen del tipo de resina puede ocurrir que no

sea necesario precalentar, para poder inyectarla en el molde. Luego se procede a la etapa de curado para una vez finalizada poder desmoldar la pieza terminada.

Dado que la orientación y el corte de la tela son muy importantes ya que esto determina la resistencia del producto creado en la figura se observa un esquema tentativo de la orientación de las fibras, con una sugerencia de la orientación preferencial que estas deben presentar. Primero se aplica una primera capa con orientación aleatoria y en ciertos lugares hay una orientación preferencial como se observa en la Figura 28.

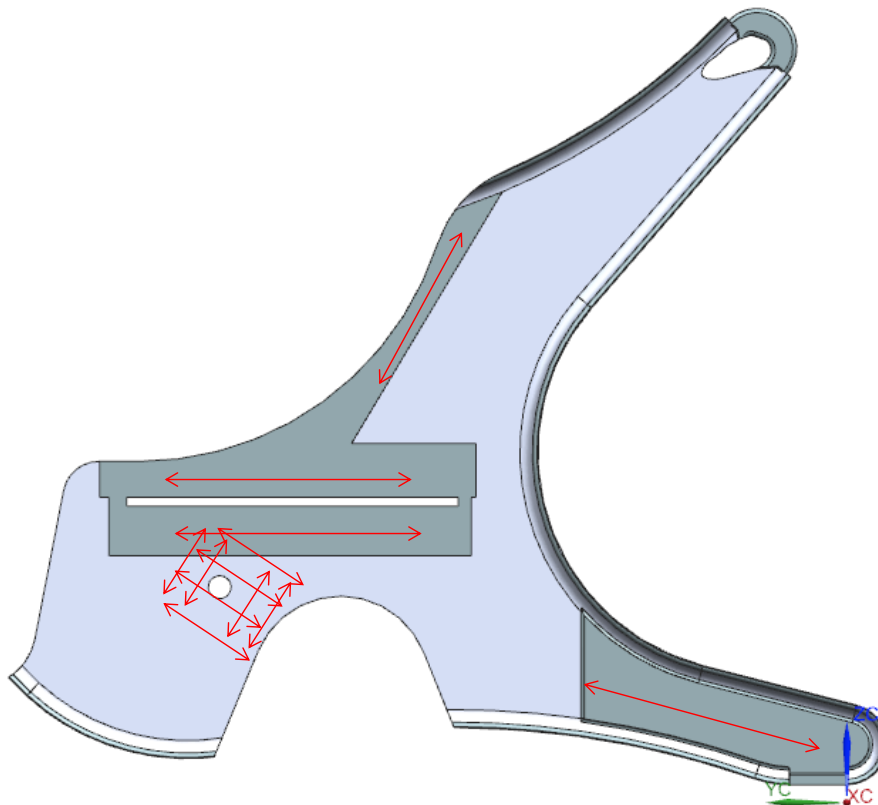


Figura 28 Orientación de la Fibras

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se recomienda que el molde cuente con el desmoldante correspondiente y los respectivos insertos para su futura fabricación. Es muy importante seguir las etapas de fabricación y realizarlas de manera correcta ya que esto garantiza una buena resistencia mecánica en la estructura fabricada. La orientación de las fibras es muy importante ya que son la que soportan la carga aplicada. Las orientaciones preferenciales se deben a que en esas zonas hay cargas de tracción la cual es la única forma que las fibras trabajen para soportar la carga.

Con los cálculos anteriormente realizados se puede realizar una elección de la relación de la fibra y matriz por lo cual esto será compuesto. Al aumentar la relación la resistencia del material aumenta y esto es favorable ya que se puede disminuir el peso del conjunto. Aquí observamos una relación de matriz fibra del 60%, la cual nos proporciona las propiedades mecánicas mostradas en la Tabla 4. Si comparamos estos valores con los que se inició el cálculo podemos observar un gran aumento en ellos. Esto es debido a la relación entre la fibra y matriz. Al realizar estas mejoras se puede bajar el peso de la silla de rueda mejorando así la conducción de la misma.

Property	E-Glass/ Epoxy	S-Glass/ Epoxy	E-Glass/ Isophthalic Polyester	Kevlar 49/ Epoxy	Carbon/ Epoxy AS4/3501-6	Carbon/ Epoxy T800/3900-2	Carbon/ Epoxy IM7/8551
Density [g/cc]	2.076	1.993	1.85	1.380	1.58	–	–
Longitudinal Modulus E_1 [GPa]	45	55	37.9	75.8	142	155.8	151
Transverse Modulus E_2 [GPa]	12	16	11.3	5.5	10.3	8.89	9.0
Inplane Shear Modulus G_{12} [GPa]	5.5	7.6	3.3	2.07	7.2	5.14	5.6
Poisson's Ratio ν_{12}	0.19	0.28	0.3	0.34	0.27	0.3	0.3
Longitudinal Tensile Strength F_{1t} [MPa]	1020	1620	903	1380.0	1830	2698	–
Transverse Tensile Strength F_{2t} [MPa]	40	40	40	34.5	57	–	–
Inplane Shear Strength F_6 [MPa]	60	60	40	44.1	71	–	–
Longitudinal Compressive Strength F_{1c} [MPa]	620	690	357	586.0	1096	1691	–
Transverse Compressive Strength F_{2c} [MPa]	140	140	68	138.0	228	–	–
Intralaminar Shear Strength (F_4 or F_5) [MPa]	60	80	76	48.69	–	–	–
Longitudinal Tensile Strain ϵ_{1t} [%]	2.3	2.9	2.4	1.8	1.29	1.68	1.64
Longitudinal CTE α_1 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	3.7	3.5	6.5	–2.0	–0.9	–	–
Transverse CTE α_2 [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	30	32	22	60	27	–	–
Longitudinal moisture expansion β_1	0	0	0	0.01	0	0.0095	–
Transverse moisture expansion β_2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.321	–
Fiber Volume Fraction V_f [%]	60	60	50	60	60	–	57.3
Void Content V_v [%]	–	–	2.0	–	–	–	0.1
Fiber Misalignment Ω [deg]	–	–	3.53	–	–	–	–

Tabla 4 Propiedades Mecánicas de la fibra de vidrio y Resina

3.1.3.2 Laminación Manual

Para la fabricación mediante laminación manual hay que tener en cuenta distintos pasos. Los mismos tienen que respetar un orden para poder obtener un resultado óptimo.

En un primer paso es necesario crear de la misma manera que con el proceso anterior el molde para poder luego crear la pieza. Es muy importante la calidad superficial del molde ya que esta es la que se le trasmite a la pieza y es la que queda a la vista del usuario, y si esta es mala puede pensarse en un producto defectuoso o con pobre terminación superficial.

Luego de tener un molde con una buena terminación superficial el primer paso es tratarlo con un agente desmoldante para cuando el proceso esté terminado se pueda retirar del molde fácilmente. Luego se aplica un producto llamado Gel Coat el cual cumple la función de acabado superficial el cual le da la estética deseada si el producto lo requiere (ver Figura 29).



Figura 29 Aplicación de Gel Coat

El siguiente paso es la colocación de las fibras o refuerzos, estos pueden poseer cierta orientación para mejorar la relación matriz fibra la cual no afecta en su resistencia y peso de la pieza finalizada. Estas fibras se pueden observar en la Figura 30.



Figura 30 Fibras con orientación

Luego se coloca la resina con el sistema de catalización de acuerdo a lo establecido por el fabricante de resina para que el mismo empiece el proceso de curado para poder tener la resistencia mecánica final. Este proceso de laminado y de curado se realiza a temperatura ambiente, dependiendo del tipo de resina puede necesitar un curado en un horno.

Este es un proceso el cual presenta grandes ventajas como:

- Producir productos grandes y complejos.
- Baja inversión.
- Mucha variedad de materiales.
- Los insertos dentro del molde y los refuerzos estructurales son posibles.

Pero a su vez también presentan ciertas desventajas como:

- Las piezas tiene una sola cara con terminación superficial que la reproduce la superficie del molde.
- La proporción de fibras que se pueden incorporar es baja, del orden del 30 o 40%. Esta proporción no es controlable y depende del operador.
- Las resinas deben ser de baja viscosidad para poder ser trabajadas.

Estas consideraciones son muy importantes ya que son todas cosas que hay que tener en cuenta en la elección de la forma de construcción de la parte en material compuesto.

3.2 VERIFICACIÓN

3.2.1 Estabilidad De la silla

Al igual que en la sección anterior se pretende presentar todos los cálculos relacionados con el dimensionamiento de los componentes de la transmisión.

En primera instancia se realiza un análisis dinámico respecto de las fuerzas intervinientes en una situación estática frente a una inclinación nula (0 grados). Posteriormente se realiza el mismo cálculo de manera genérica para una determinada inclinación.

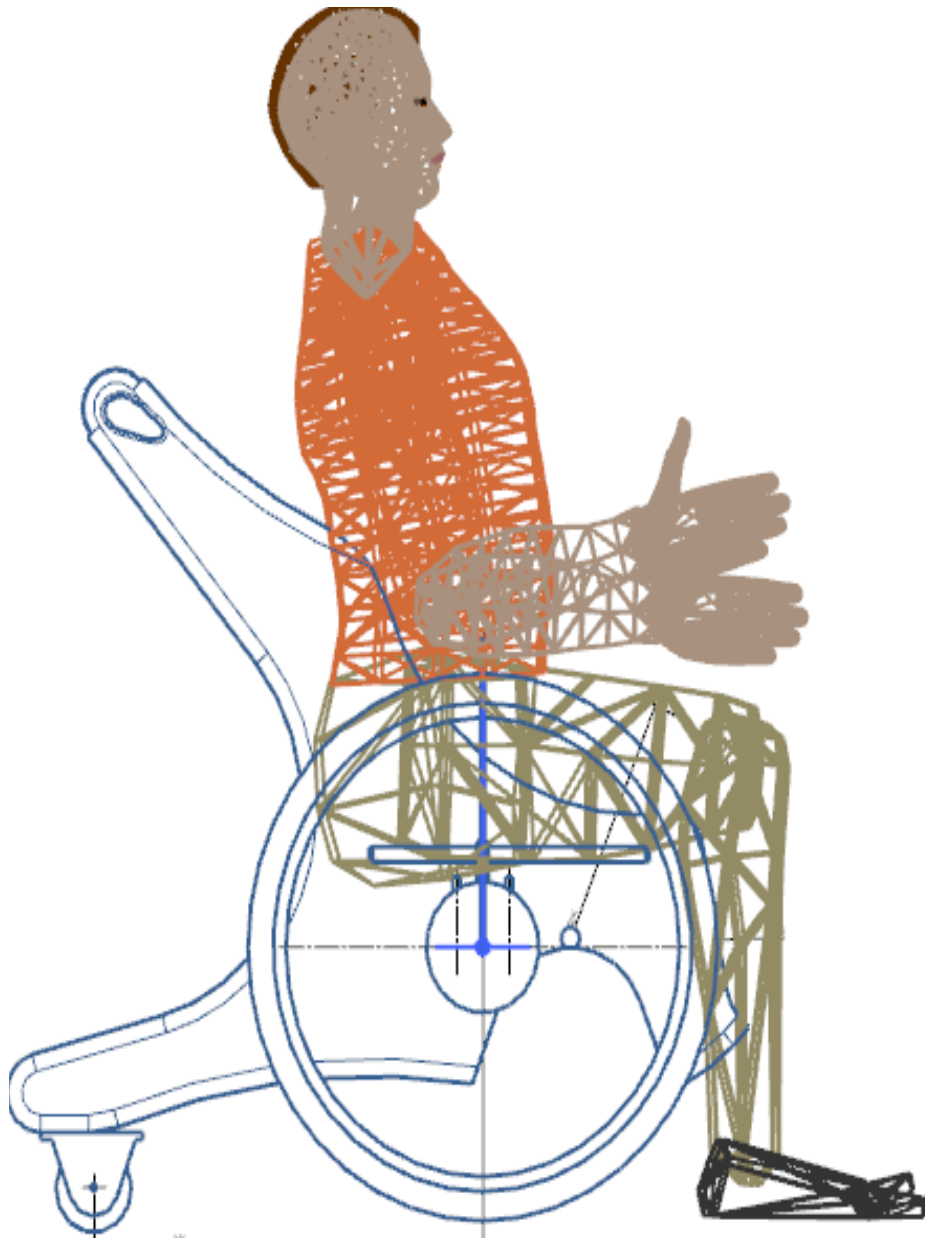


Figura 31 Persona sentada en la Silla

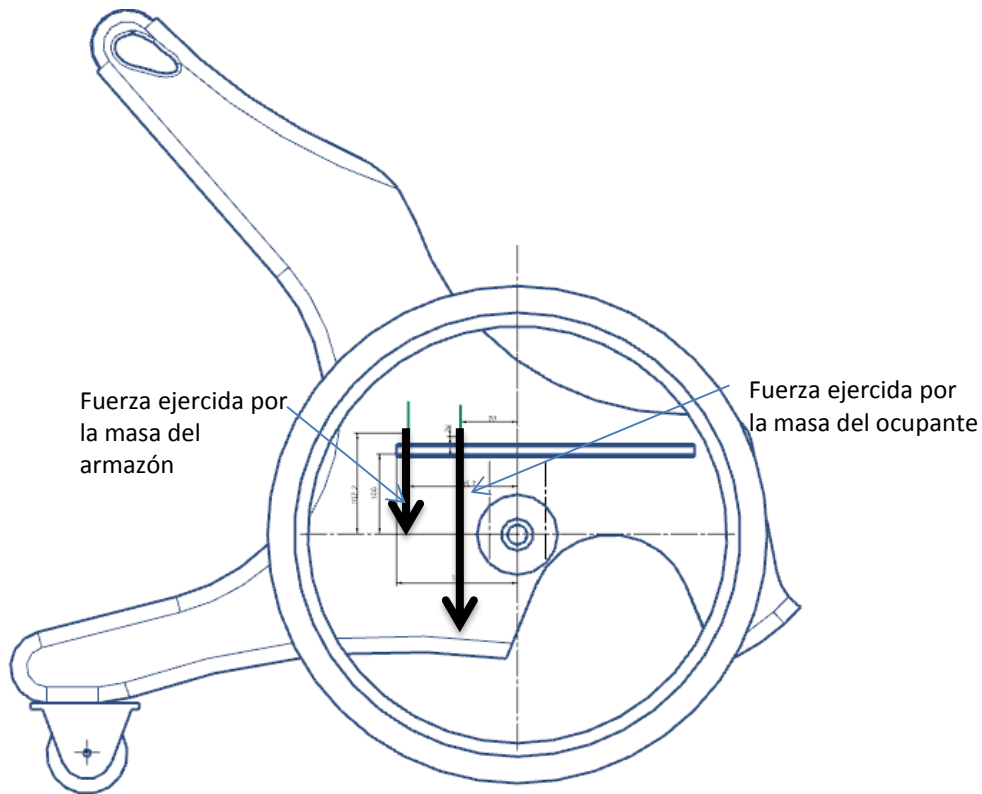


Figura 32 Silla con Carga debido al Ocupante situada puntualmente

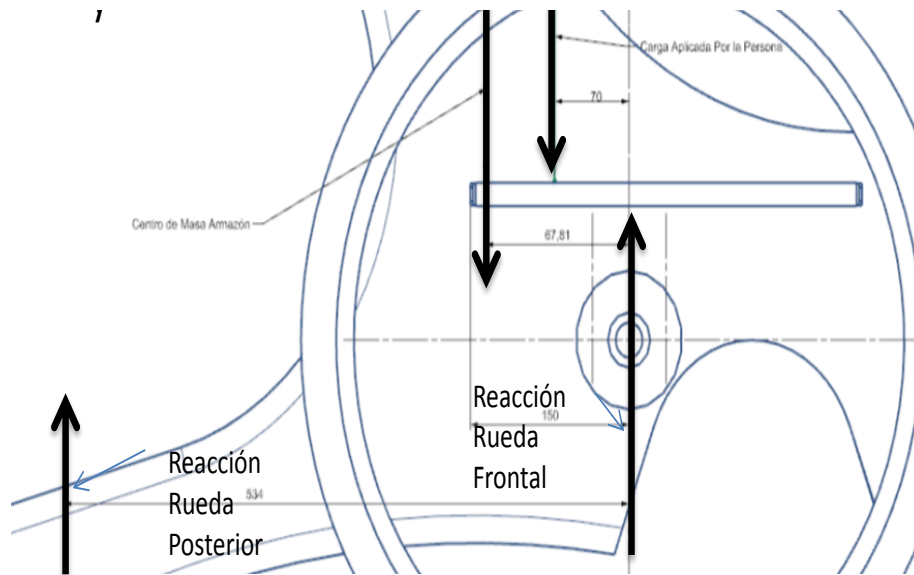


Figura 33 Reacciones en las Ruedas debido a las Cargas

Se establece un sistema de coordenadas con la finalidad de otorgar signo a cada fuerza y momento presente, como se puede ver en la Figura 33. Para dicho análisis se establece que el ocupante posee como máximo 100 kg y una altura de 1,80m(ver Figura 31), lo que arroja

un índice de masa corporal aproximadamente de 30,86 que de acuerdo a la organización mundial de la salud^{R.5} corresponde a una persona con sobrepeso.

Se ubica el centro de masa del ocupante a una distancia del eje de la rueda frontal de acuerdo a la contextura de una persona con las características mencionadas anteriormente, como muestra la Figura 32. Posteriormente se plantean las ecuaciones correspondientes a la sumatoria de fuerzas y momentos teniendo en consideración que el sistema se encuentra en equilibrio, es decir, la sumatoria de dichas fuerzas y momentos debe ser igual a cero. Vale recalcar que la fuerza originada por la masa del ocupante se reparte en igual proporción entre los dos armazones.

$$\sum F_y = -F_{PERSONA} - F_{ARMAZÓN} - (m_{R.FRONTAL} \times g) + F_{R.FRONTAL} + F_{R.POSTERIOR} = 0$$

$$\sum M_{R.FRONTAL} = -(F_{PERSONA} \times R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL}) - (F_{ARMAZÓN} \times R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL}) + (F_{R.POSTERIOR} \times R_{R.POSTERIOR,R.FRONTAL}) = 0$$

En donde:

$F_{PERSONA}$: Fuerza ejercida por la masa del ocupante $(50 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2})$

$F_{ARMAZÓN}$: Fuerza ejercida por la masa del armazón $(3,26 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2})$

$F_{R.FRONTAL}$: Fuerza normal a la superficie que ejerce la rueda frontal

$F_{R.POSTERIOR}$: Fuerza normal a la superficie que ejerce la rueda posterior

$m_{R.FRONTAL}$: Masa de la rueda frontal $(2,5 \text{ kg } ^c/_\text{rueda})$

$R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL}$: Distancia del centro de masa del ocupante hasta el punto de contacto superficial de la rueda frontal (240 mm)

$R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL}$: Distancia del centro de masa del armazón hasta el punto de contacto superficial de la rueda frontal (383 mm)

$R_{R.POSTERIOR,R.FRONTAL}$: Distancia del eje de la rueda posterior hasta el punto de contacto superficial de la rueda frontal (650 mm)

Realizando las operaciones algebraicas correspondientes se obtiene:

$$F_{R.POSTERIOR} = \frac{(F_{PERSONA} \times R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL}) + (F_{ARMAZÓN} \times R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL})}{R_{R.POSTERIOR,R.FRONTAL}}$$

$$F_{R.FRONTAL} = F_{PERSONA} + F_{ARMAZÓN} - \frac{(F_{PERSONA} \times R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL}) + (F_{ARMAZÓN} \times R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL})}{R_{R.POSTERIOR,R.FRONTAL}}$$

$$F_{R.POSTERIOR} = 199,5 \text{ N}$$

$$F_{R.FRONTAL} = 322,52 \text{ N}$$

En los cálculos anteriores no se ha incluido el peso de la rueda posterior debido a que el mismo modifica de manera insignificante los resultados (entre un 2 y 3 %).

Es de suma importancia tener presente la ubicación del centro de masa del ocupante con la finalidad de evitar un momento “volcante”.

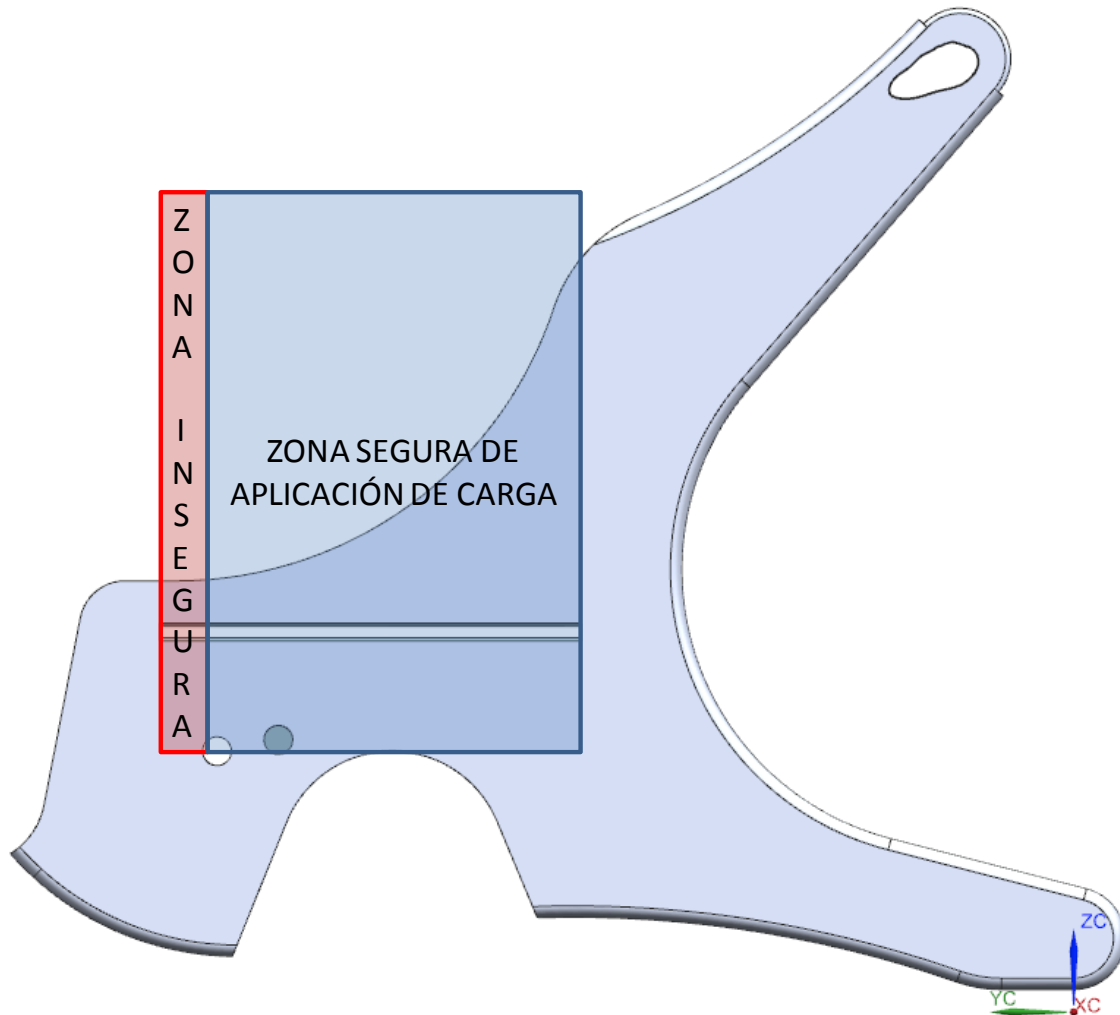


Figura 34 Zona de Seguridad para la aplicación de la carga

Como se observa en la Figura 34 la situación en donde es factible la aparición de dicho momento es cuando el centro de masa del ocupante se encuentra desplazado de su ubicación deseada. A partir de una sumatoria de momentos se puede calcular cual sería la situación límite, en términos más técnicos esta situación se presenta cuando la fuerza normal a la superficie ejercida por la rueda posterior es nula.

$$\sum M = (F_{PERSONA} \times R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL-VUELCO}) - (F_{ARMAZÓN} \times R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL}) = 0$$

$$(R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL-VUELCO}) = \frac{(F_{ARMAZÓN} \times R_{CM-ARMAZÓN,R.FRONTAL})}{F_{PERSONA}}$$

$$(R_{CM-PERSONA,R.FRONTAL}) = 24,9716 \text{ mm}$$

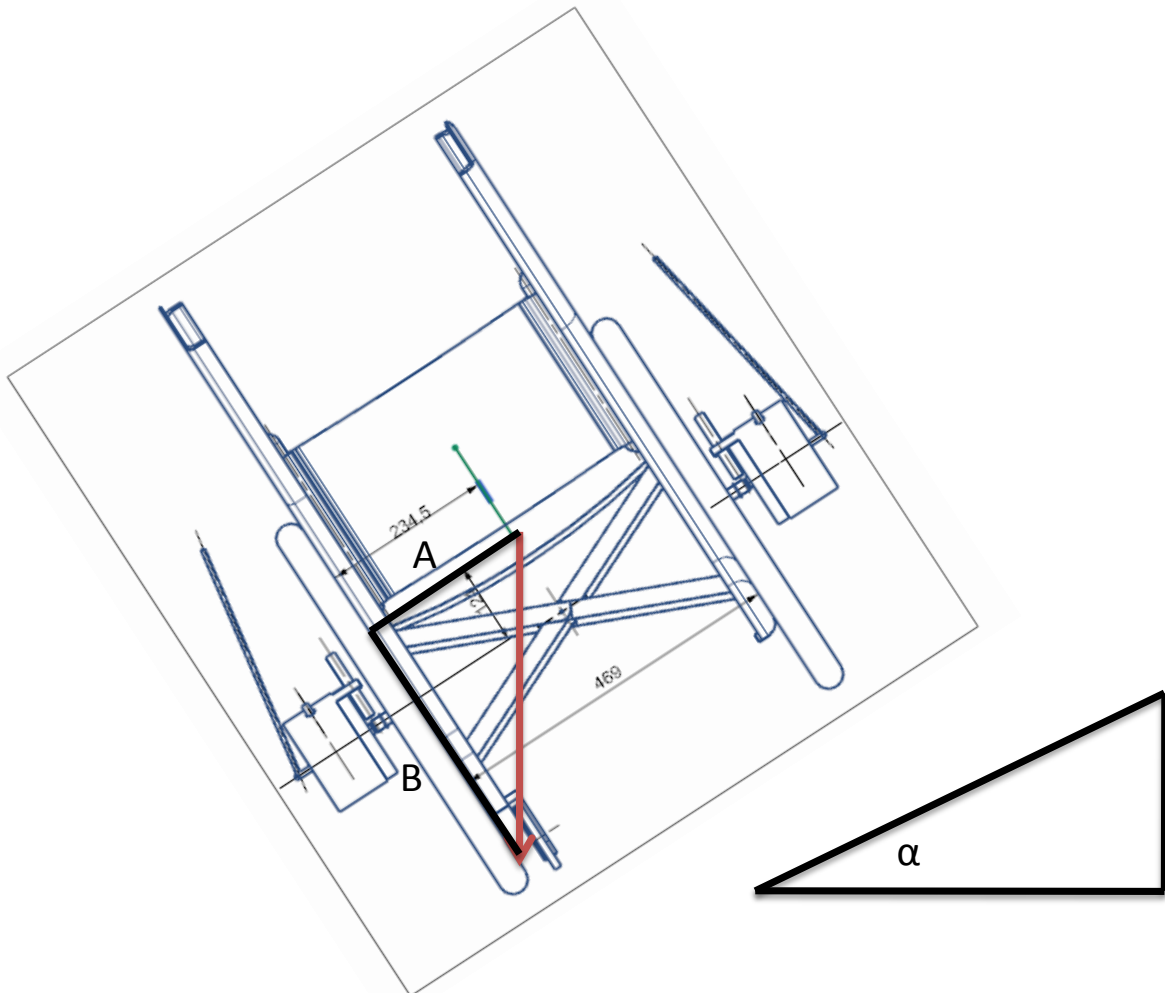


Figura 35 Ángulo de Vuelco

Otro parámetro de utilidad es el de ángulo de vuelco lateral. Al haber un desequilibrio de fuerzas y momentos, el sistema se vuelve inestable. Cuando la inclinación del centro de masa es tal que se alinea verticalmente con el punto de contacto de la rueda frontal con el piso, la silla se encuentra en una situación de desequilibrio. El ángulo de vuelco lateral se define como el ángulo límite para el cual se establece esta situación. La Figura 35, que se ha presentado anteriormente, explica gráficamente esto. Este cálculo se basa de una suposición la cual es la proyección de la carga sobre la tela donde se sienta una persona, ya que si se tiene en cuenta la altura a la cual está el centro de gravedad de la misma se vuelve un cálculo iterativo.

Para obtener dicho ángulo

$$\tan \alpha = A/B$$

Los resultados se presentan en la Tabla 5,

	A (mm)	B (mm)	A/B	alfa (ángulo Radianes)	alfa (ángulo Grados)
Ángulo de vuelco lateral	234,5	428,8	0,547	0,500	28,673

Tabla 5 Resultado de Angulo de Vuelco

Por lo cual la máxima inclinación de la silla es de 28°

3.3 ARMADO

3.3.1 Moldes

Para la producción de la silla de ruedas es importante tener en cuenta todos los pasos. El primero es realizar el molde para poder fabricar las piezas que componen el conjunto. El diseño de los moldes se debe adaptar a las piezas diseñadas para garantizar la fabricación. En la Figura 36 y Figura 37 se puede observar el diseño del molde. Este es un molde que puede ser fabricado de varias maneras ya que no está sometido a grandes esfuerzos ni condiciones que comprometan su integridad. Existen distintas posibilidades para el material del molde, como la madera o plástico. Si se utiliza madera es necesario que esta pase por un mecanizado para poder tomar la forma necesaria y luego trabajar la superficie para obtener una terminación superficial deseada. Si se utiliza plástico es recomendable realizar el molde mediante una impresión 3D para asegurar que el producto final es muy similar a lo deseado, de todas maneras es necesario realizar una terminación superficial deseada.

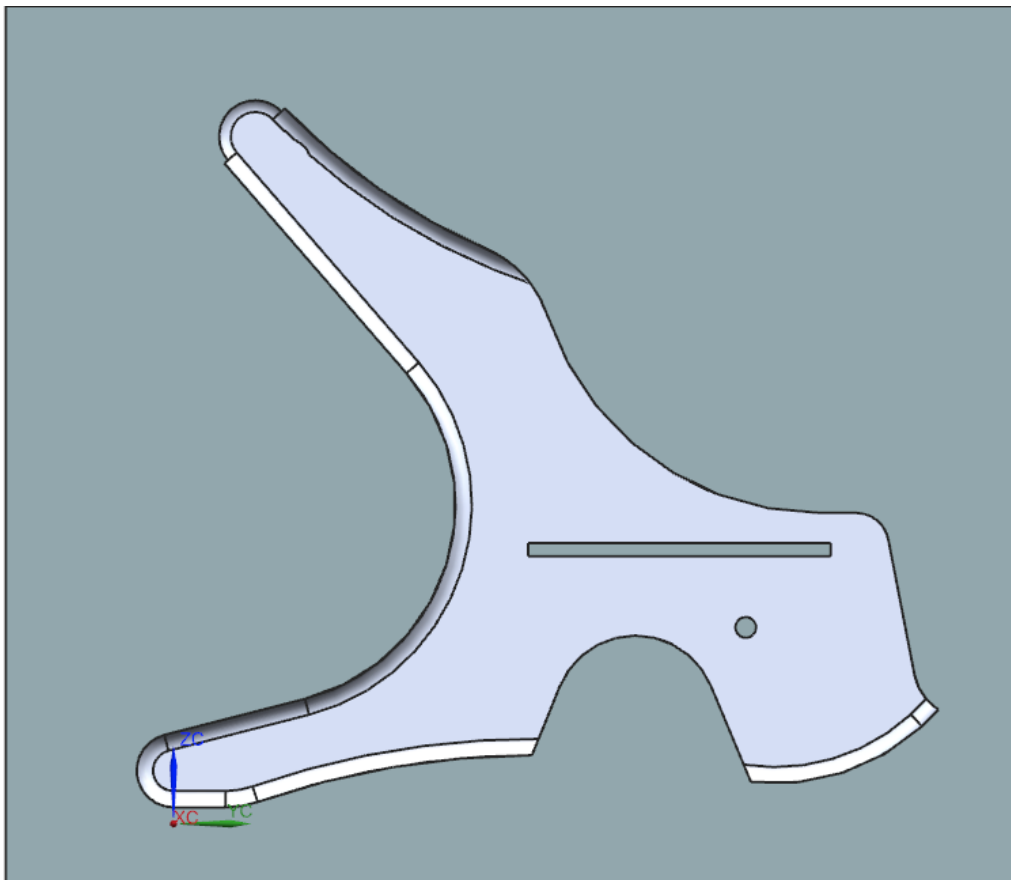


Figura 36 Vista frontal del Molde

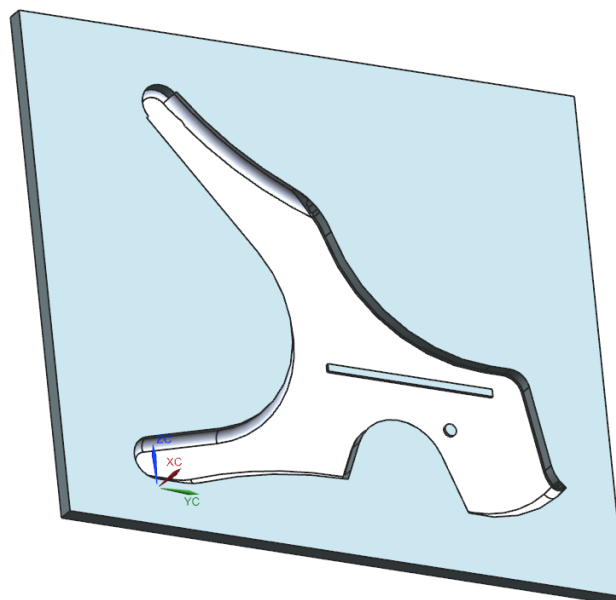


Figura 37 Vista en 3D del molde

3.3.2 Laterales

Los laterales son el principal componente de la silla, los mismos soportan toda la fuerza. Estos componentes se pueden observar en la Figura 38. Los laterales poseen zonas que

cumplen funciones específicas como se observa en la Figura 39, cuya función es ser una manija para mover la silla. Otra zona importante es la que se observa en la Figura 40, que sirve para soportar el peso de la persona y hacer de vínculo con la rueda.

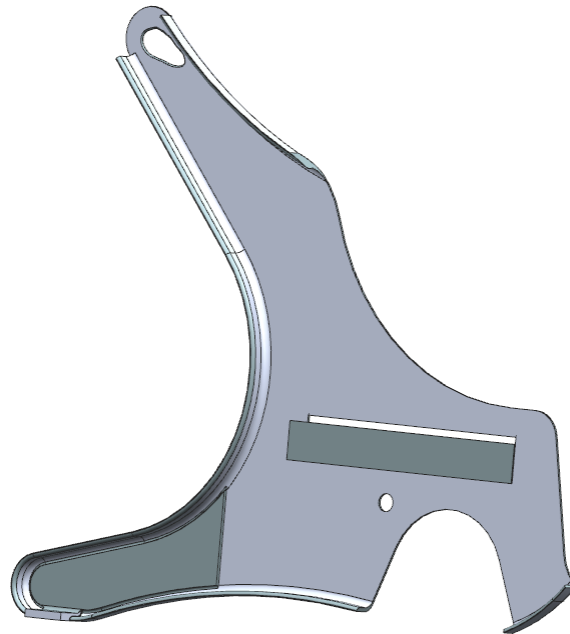


Figura 38 Lateral

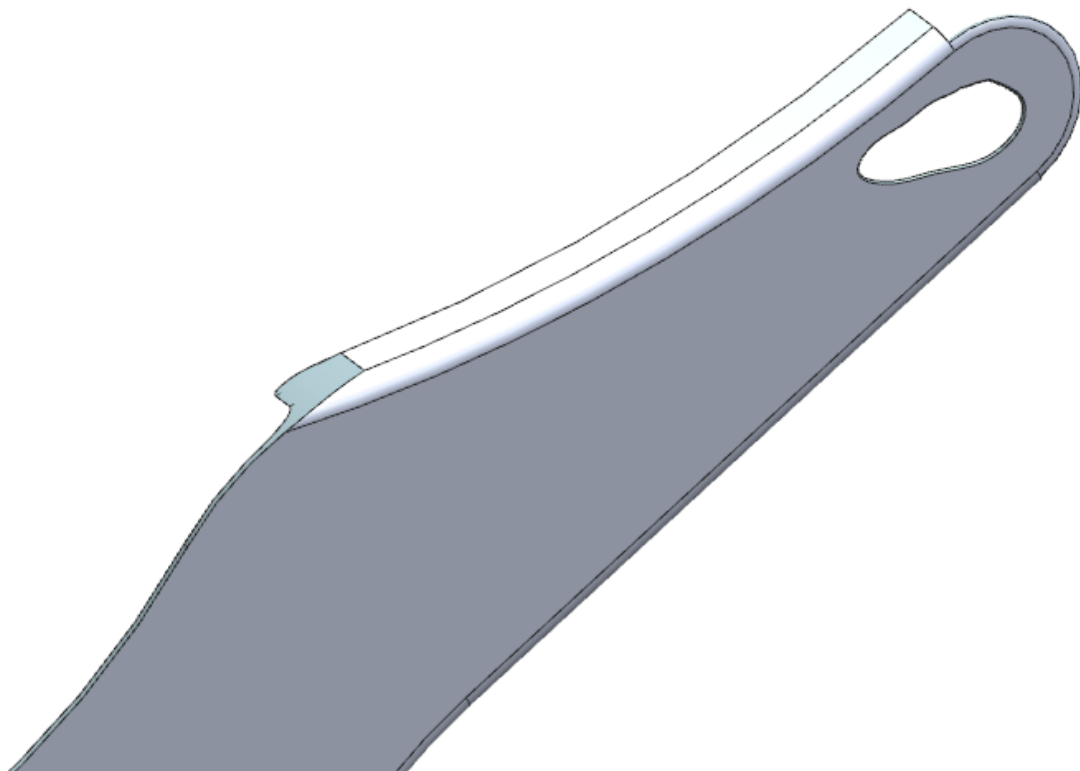


Figura 39 Manija para empuje

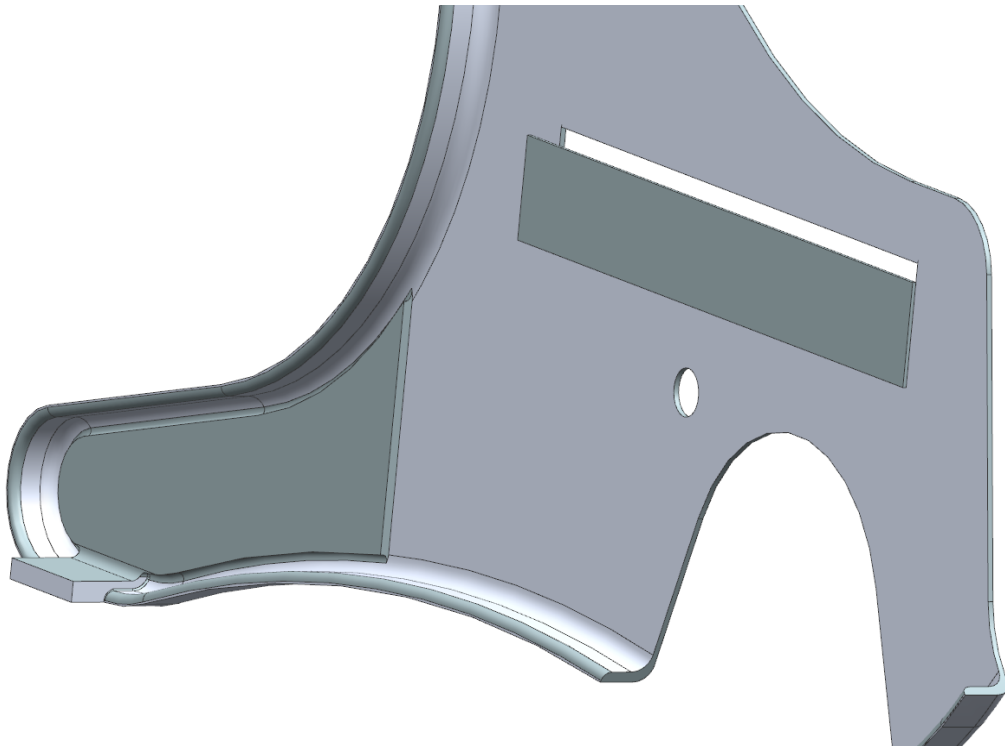


Figura 40 Apoyo de rueda principal

A su vez en la Figura 41 se observa cómo es que una persona se sienta en la misma para de esta manera tener un vínculo entre la tela que soporta a la persona y al lateral de la silla.



Figura 41 Persona sentada en la silla

3.3.3 Tijeras

Para la unión de los laterales se utilizan uniones tipo tijera para poder soportar la fuerza que se transmite de manera lateral entre los mismos, como se observa en la Figura 42. Estas piezas son fundamentales para la estabilidad de la silla al igual que su unión para poder unir la tijera con los laterales se colocan sobre los laterales soportes que permiten colocar un perno para de esta manera poder hermanar las partes como se observa en la Figura 43. Estas se basan en una sección rectangular de 25,4mm x 10mm con esto y siendo un acero SAE 1010, puede soportar una fuerza siguiendo los siguientes cálculos.

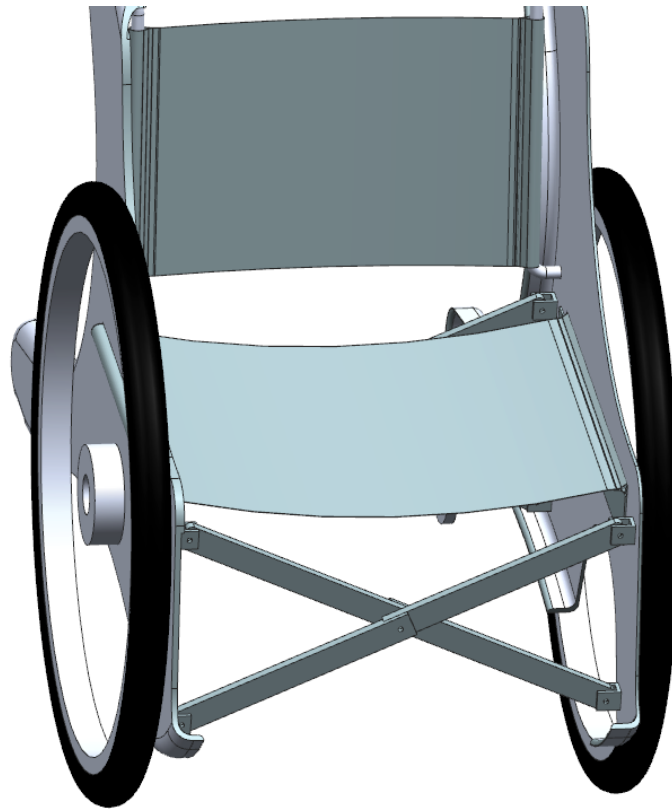


Figura 42 Tijeras en la Silla

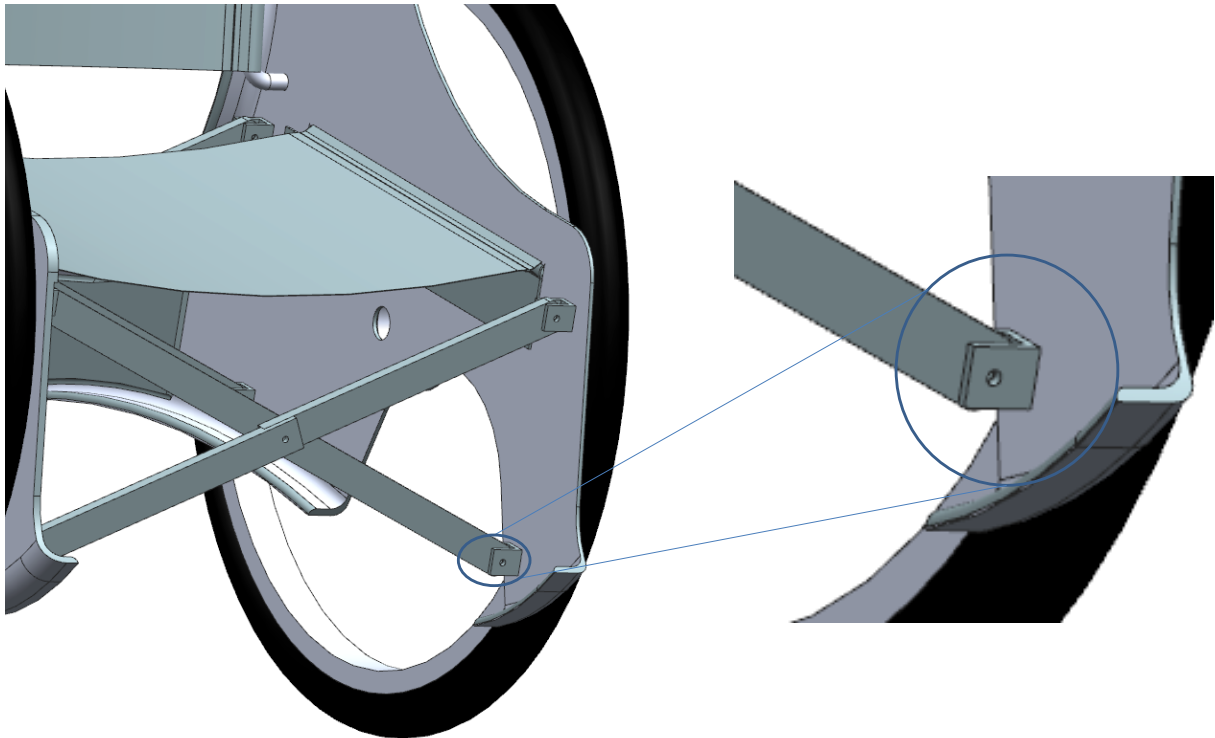


Figura 43 Unión de la Tijera con Lateral

Esta se basa en una sección rectangular de 25,4mm x 10mm con esto y siendo un acero SAE 1010, puede soportar una fuerza siguiendo los siguientes cálculos:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ despejando la fuerza obtenemos } F = \sigma \times A$$

Con un $\sigma = 220 \text{ MPa}$ y un $A = 25,4 \times 10 = 254 \text{ mm}^2$ de aquí obtenemos que para obtener esa tensión se requiere una $F = 55,88 \text{ KN}$. Con esto se ve que es un valor muy por encima a la que una persona puede llegar a ejercer, siendo que el peso de la persona si ronda los 100 kilos genera una fuerza de 1KN con esto se puede asegurar que las tijeras van a soportar cualquier carga a la que sea sometida.

Mientras que los pernos que vinculan las tijeras con la estructura se debe verificar su resistencia al corte.

Suponiendo que son del mismo material se procede a realizar el cálculo de la siguiente manera.

Observando la Figura 43 vemos que el perno se ve sometido a corte en dos secciones, entonces la tensión de corte se calcula de la siguiente manera: $\tau = \frac{F}{2A} = 0,577\sigma$

De aquí se despeja la fuerza que podemos aplicar.

$$F = 2A \times 0,577\sigma = 2 \times 254 \times 0,577 \times 220 = 64,48 \text{ KN}$$

De la misma manera que el cálculo anterior se puede ver que la fuerza necesaria para romper el perno de unión es mucho mayor a cualquier fuerza aplicada sobre la silla de ruedas.

Con esto se concluye que la función principal de las tijeras diseñadas es de estabilidad y de unión entre las dos estructuras.

3.3.4 Soporte de Personas

En este paso del armado se procede a la colocación de la tela para soportar a la persona. En la Figura 44 se puede observar como esta tela se une a la estructura mediante una barra que soporta el peso y lo transmite a la estructura.

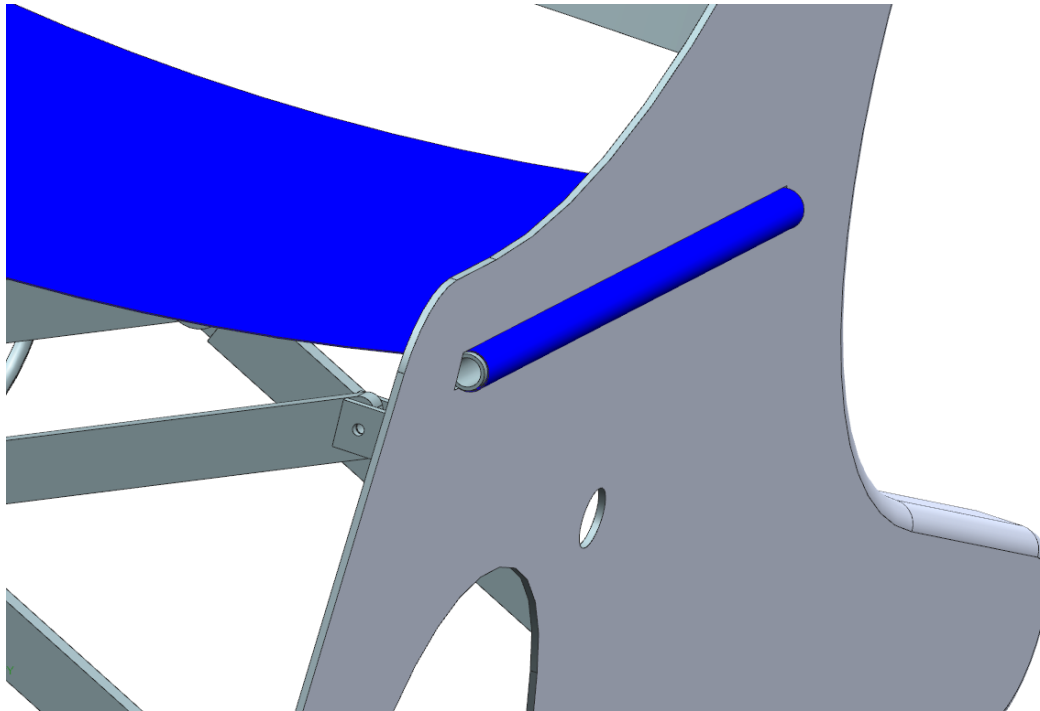


Figura 44 Tela para el Soporte de la Persona

Lo importante a mostrar en este paso es donde apoyan y la forma que se toma, en la Figura 45 se puede ver que se apoya sobre el centro de la estructura haciendo que no genere un momento y solamente aplique la carga directamente sobre las fibras. A su vez se puede observar que la tela pasa todo alrededor de la barra y sujetándose nuevamente sobre sí misma.

Con esto y las ruedas la silla queda armada en su totalidad haciendo posible su uso. Al tener todo el conjunto armado y las ventajas presentes queda un diseño superior.

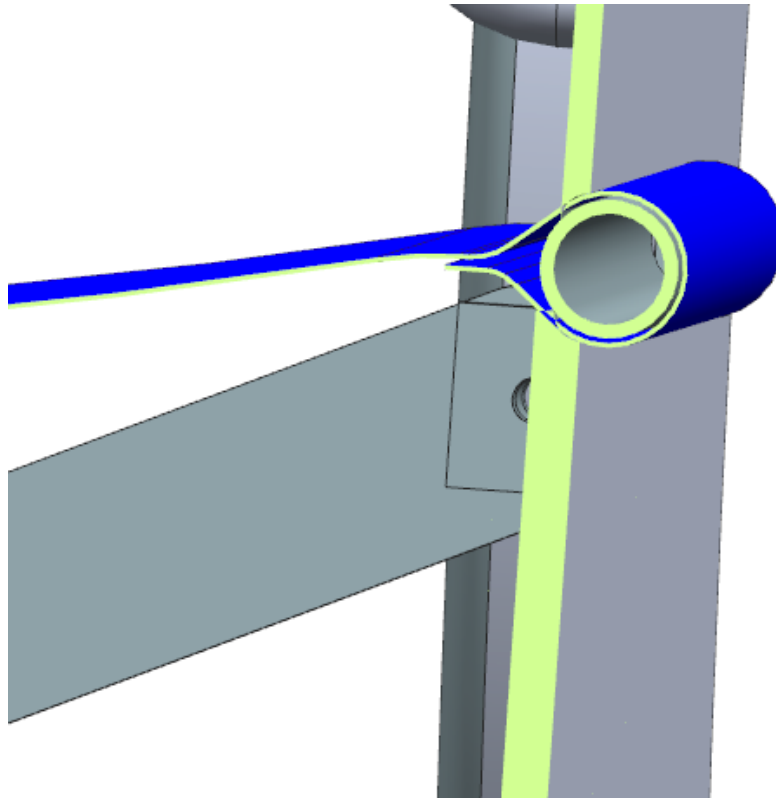


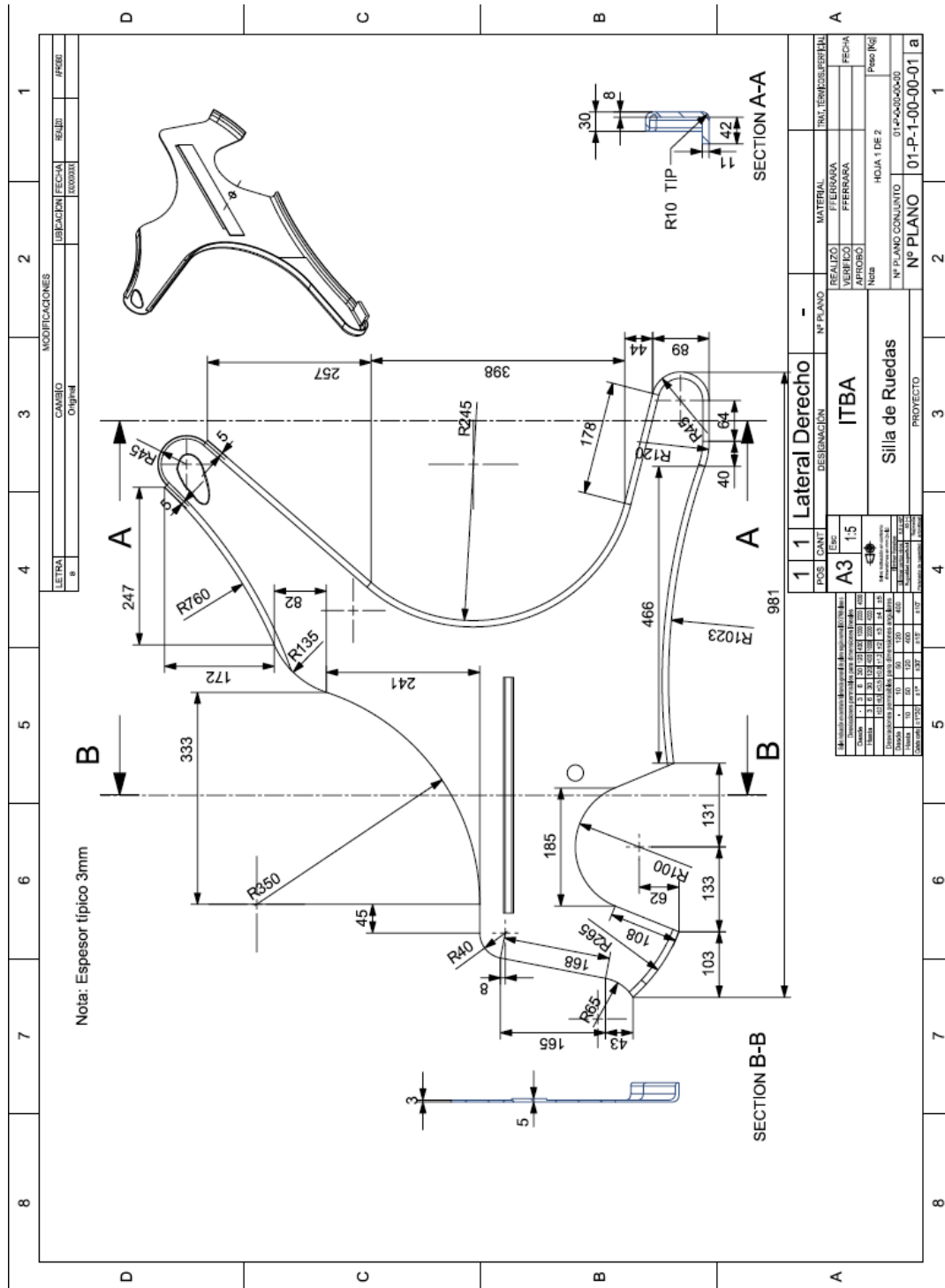
Figura 45 Tela sobre la Barra

4 CONCLUSIONES

El proyecto tuvo varios cambios durante su desarrollo, pero se puede observar cómo se obtuvo un diseño con prestaciones superiores a sillas de diseños convencionales. Entre estas prestaciones se destaca la reducción del peso de la misma haciendo que esta sea más cómoda para su usuario. Esta ventaja se ve reflejada en su uso ya que será menor el peso que el usuario debe mover, además del de sí mismo. Otra ventaja es la facilidad de fabricación de la silla, ya que una vez que se tiene el molde reproducir los laterales es una tarea más sencilla y barata. El proceso de RTM nos presenta la posibilidad de reproducir piezas de una manera rápida y sencilla.

5 ANEXO

5.1 PLANOS



5.2 CVT

En esta sección se presenta una introducción a la forma de transmisión que será dejada a desarrollar en proyectos siguientes.

La transmisión diseñada tiene distintas partes a tener en cuenta, en el cual se debe desarrollar un análisis tanto de estático como dinámico de los componentes y del funcionamiento de la silla. Así como una transmisión mejora el funcionamiento de la silla.

Esta transmisión se asemeja a una transmisión continua variable CVT^{R.4}. A diferencia de una CVT la transmisión en la silla de ruedas carece de un rango continuo de relaciones de transmisión. Las Figura 46 y Figura 47 muestran el conjunto ensamblado.

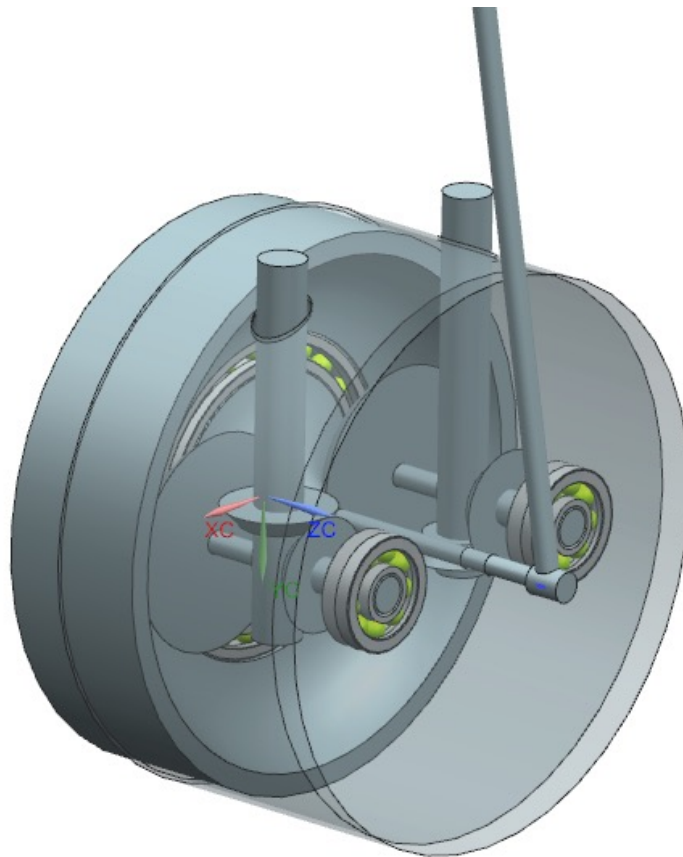


Figura 46 Disposición General de la Transmisión

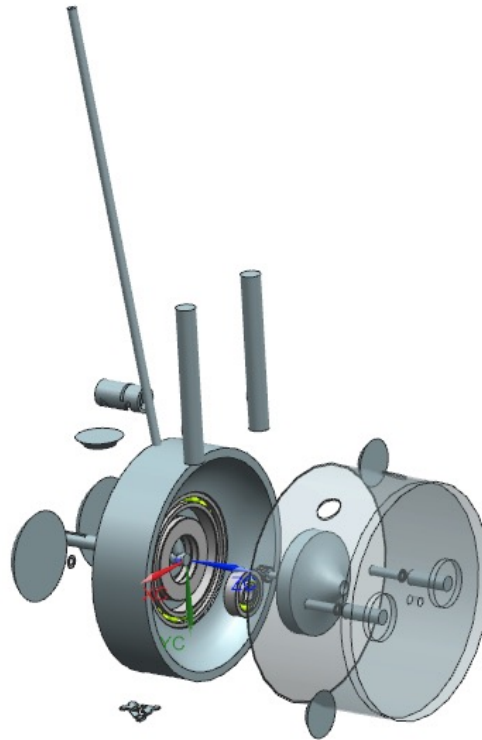


Figura 47 Esquema de Transmisión CVT con los discos

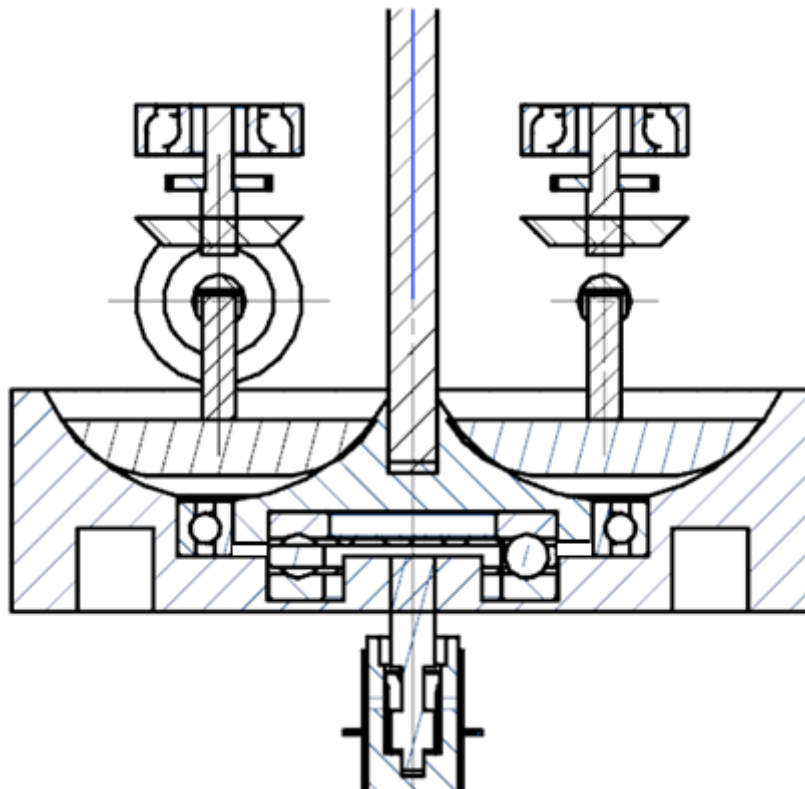


Figura 48 Sección de Transmisión CVT

Como puede apreciarse en la Figura 48 la variación de las posiciones de los discos, ergo la variación en la relación de transmisión, es llevada a cabo mediante el uso de dos engranajes cónicos, dispuestos de una determinada manera con el fin de que roten en sentidos contrarios y asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo. Dicha rotación la realiza el ocupante del dispositivo mediante el movimiento angular de dos barras colineales entre sí que poseen otro par de engranajes cónicos y un par de piñones unidos con una cadena. Estos últimos se colocan con el fin de que el usuario sólo rote una de las barras logrando un movimiento idéntico en la otra asegurando que la relación de transmisión sea idéntica a ambos lados del dispositivo central. Dichos discos rotan además en un eje perpendicular al descripto anteriormente con el fin de transmitir la velocidad del dispositivo central al dispositivo radial.

El material utilizado para la construcción de dicha transmisión será aluminio 2014 (2014-T4 Normas A.A). Para los discos además se utilizará Poliuretano para evitar el desgaste de la sección cóncava de la transmisión ya que en caso contrario el funcionamiento correcto del mecanismo se vería interrumpido. Siempre se prioriza el desgaste del disco al de las partes toroidales debido a su facilidad de reemplazo y construcción. A continuación se presentan las Tabla 6 y Tabla 7 con las propiedades de cada uno de los materiales mencionados con anterioridad.

ALEACIÓN NORMAS A.A	ROTURA [N/MM ²]	LIM. ELÁSTICO [N/MM ²]	ALARGAMIENTO	DUREZA BRINNEL
2014-T4	430	275	18	110

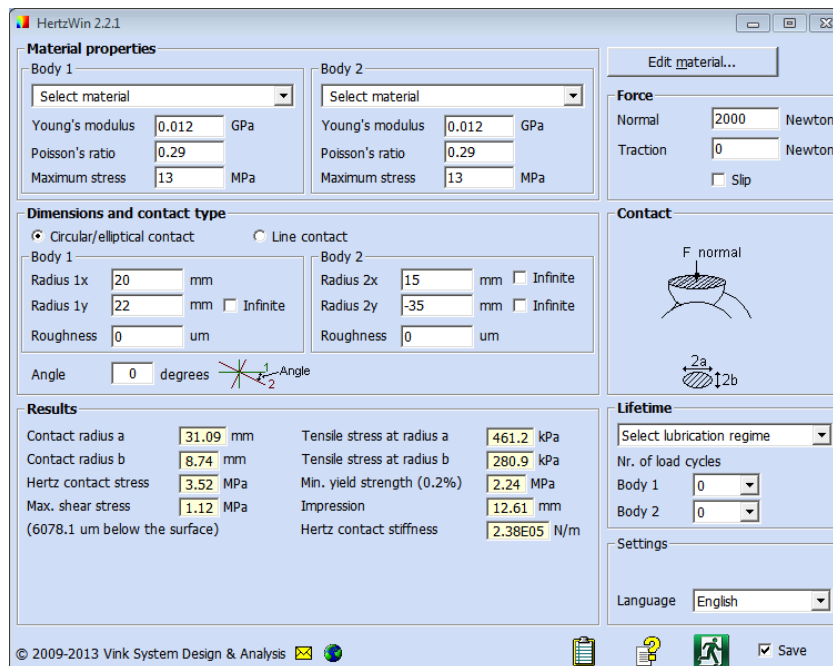
Tabla 6 Propiedades Aluminio

PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.15
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	130 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	2.5 / 4.3
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	--
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	90
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	120
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	48 (95 A)
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		0.5 A 0.6
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.3 A 0.4
RES. AL DESGASTE POR ROCE				BUENA

Tabla 7 Propiedades Poliuretano

5.2.1 Tensiones de contacto (Hertz)

El contacto entre los discos y ambos componentes de la "CVT" es de suma importancia. Se debe garantizar que dichas tensiones no excedan las tensiones características de los materiales involucrados con el fin de evitar cualquier avería de los mismos. Según lo dictado por las fórmulas y conociendo la fuerza ejercida entre los discos y la transmisión, 2000 N, las tensiones poseen un valor de 3,52MPa como muestra la Figura 49, lo que garantiza el correcto funcionamiento del dispositivo. Las mismas fueron calculadas utilizando el programa HertzWin 2.2.1



HertzWin 2.2.1

Material properties

Body 1: Select material, Young's modulus: 0.012 GPa, Poisson's ratio: 0.29, Maximum stress: 13 MPa

Body 2: Select material, Young's modulus: 0.012 GPa, Poisson's ratio: 0.29, Maximum stress: 13 MPa

Force

Normal: 2000 Newton, Traction: 0 Newton, ☐ Slip

Dimensions and contact type

☒ Circular/elliptical contact, ☐ Line contact

Body 1: Radius 1x: 20 mm, Radius 1y: 22 mm, Roughness: 0 um

Body 2: Radius 2x: 15 mm, Radius 2y: -35 mm, Roughness: 0 um

Angle: 0 degrees

Results

Contact radius a	31.09 mm	Tensile stress at radius a	461.2 kPa
Contact radius b	8.74 mm	Tensile stress at radius b	280.9 kPa
Hertz contact stress	3.52 MPa	Min. yield strength (0.2%)	2.24 MPa
Max. shear stress	1.12 MPa	Impression	12.61 mm
(6078.1 um below the surface)		Hertz contact stiffness	2.38E05 N/m

Contact

F normal, 2a, 2b

Lifetime

Select lubrication regime, Nr. of load cycles: Body 1: 0, Body 2: 0

Settings

Language: English

© 2009-2013 Vink System Design & Analysis

Figura 49 Programa para Calculo de Tensiones de Hertz