



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

# **PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Diseño y análisis de un Remolque para tres  
motocicletas**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Ingeniería Técnica Industrial de Mecánica**

**Autor: Héctor Madueño Tajuelo**

**Tutor: Dra. Dña. Beatriz López Boada**

Leganés, Julio de 2012



## Agradecimientos

*A mis padres que me han brindado la posibilidad de llegar hasta este punto tan importante de mi vida, apoyándome cuando más lo necesitaba y haciéndome ver que aunque sea difícil, todo duro trabajo tiene su recompensa.*

*A mi tutora Beatriz López, por todos sus aportes para que este proyecto cobre sentido y armonía.*

*A mis compañeros, que tras duros años de estudio juntos se han convertido en grandes amigos a los que espero poder seguir teniendo siempre a mi lado.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
1.1	Objetivos	9
1.2	Estructura del proyecto	9
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>11</b>
2.1	Los remolques	11
2.2	Tipos de remolque para vehículos	11
2.2.1	<i>Remolque simple</i>	11
2.2.2	<i>Remolque cerrado o carrozado</i>	13
2.2.3	<i>Remolques de altas prestaciones (gran capacidad de carga)</i>	15
2.3	Remolque ligero MMA 750 kg	16
2.3.1	<i>Real Decreto 2140/1985</i>	16
2.3.1.1	<i>Artículo 1. Homologación de tipo</i>	16
2.3.1.2	<i>Artículo 2. Exenciones y casos especiales homologación de tipo</i>	18
2.3.1.3	<i>Artículo 9. Requisitos aplicables a las exenciones</i>	19
2.3.2	<i>Normativa de homologación</i>	19
<b>3</b>	<b>PROGRAMAS DE SIMULACIÓN</b>	<b>21</b>
3.1	Diseño asistido por computador (CAD)	22
3.2	Método de elementos finitos (FEM)	23
3.2.1	<i>SolidWorks</i>	25
<b>4</b>	<b>DISEÑO DE REMOLQUE LIGERO</b>	<b>30</b>
4.1	Dimensionamiento	31
4.1.1	<i>Chasis</i>	31
4.1.1.1	<i>Lanza</i>	34
4.1.2	<i>Sub-Chasis</i>	35
4.1.3	<i>Cabeza de enganche</i>	37
4.1.4	<i>Rueda Jockey</i>	39
4.1.5	<i>Guías</i>	42
4.1.6	<i>Eje</i>	44
4.1.7	<i>Conjunto neumático</i>	47
4.1.8	<i>Guardabarros</i>	49
4.1.9	<i>Sistema de iluminación</i>	50
4.1.10	<i>Otros elementos</i>	51
4.1.10.1	<i>Rueda de repuesto</i>	51
4.1.10.2	<i>Rampa de subida</i>	52
4.1.10.3	<i>Ganchos de anclaje</i>	52
4.2	Materiales	53
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE REMOLQUE LIGERO</b>	<b>55</b>
5.1	Una moto en guía central	57
5.1.1	<i>Cálculos previos</i>	57
5.1.2	<i>Carga de una motocicleta</i>	61
5.1.3	<i>Cálculos previos aceleración y frenada</i>	63
5.1.4	<i>Aceleración</i>	66
5.1.5	<i>Frenada</i>	67
5.1.6	<i>Aceleración y bache</i>	68
5.1.7	<i>Frenada y bache</i>	69
5.2	Una motocicleta en guía izquierda	70

5.2.1	<i>Cálculos previos</i> .....	70
5.2.2	<i>Carga de una motocicleta a la izquierda</i> .....	76
5.2.3	<i>Aceleración</i> .....	78
5.2.4	<i>Frenada</i> .....	79
5.2.5	<i>Aceleración y bache en mismo lado</i> .....	80
5.2.6	<i>Frenada y bache en mismo lado</i> .....	81
5.2.7	<i>Aceleración y bache en lado opuesto</i> .....	81
5.2.8	<i>Frenada y bache en lado opuesto</i> .....	82
5.3	Una moto en guía central .....	83
5.4	Dos motocicletas en guías opuestas .....	83
5.4.1	<i>Cálculos previos</i> .....	83
5.4.2	<i>Carga de dos motocicletas</i> .....	90
5.4.3	<i>Aceleración</i> .....	92
5.4.4	<i>Frenada</i> .....	92
5.4.5	<i>Aceleración y bache</i> .....	93
5.4.6	<i>Frenada y bache</i> .....	94
5.5	Dos motocicletas sitas a la izquierda .....	95
5.5.1	<i>Cálculos previos</i> .....	96
5.5.2	<i>Carga de dos motocicletas a la izquierda</i> .....	97
5.5.3	<i>Aceleración</i> .....	99
5.5.4	<i>Frenada</i> .....	100
5.5.5	<i>Aceleración y bache mismo lado</i> .....	100
5.5.6	<i>Frenada y bache mismo lado</i> .....	101
5.5.7	<i>Aceleración y bache lado opuesto</i> .....	102
5.5.8	<i>Frenada y bache lado opuesto</i> .....	102
5.6	Dos motocicletas sitas a la derecha .....	103
5.7	Tres motocicletas.....	103
5.7.1	<i>Cálculos previos</i> .....	104
5.7.2	<i>Carga de tres motocicletas</i> .....	108
5.7.3	<i>Aceleración</i> .....	110
5.7.4	<i>Frenada</i> .....	110
5.7.5	<i>Aceleración y bache</i> .....	111
5.7.6	<i>Frenada y bache</i> .....	112
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>116</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>117</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1	Remolque de una motocicleta [2].....	12
Figura 2-2	Remolque de dos motocicletas [2].....	12
Figura 2-3	Remolque de tres motocicletas [2].....	12
Figura 2-4	Remolque cerrado de fibra [3].....	14
Figura 2-5	Interior remolque cerrado de aluminio [4].....	14
Figura 2-6	Remolque para el transporte de vehículos abierto [5].....	15
Figura 2-7	Remolque para el transporte de vehículos carrozado [6].....	15
Figura 3-1	Elección tipo de estudio.....	25
Figura 3-2	Menú de herramientas.....	26
Figura 3-3	Catálogo de materiales.....	27
Figura 3-4	Tipos de sujeciones.....	27
Figura 3-5	Tipos de fuerza.....	28
Figura 3-6	Conexiones.....	29
Figura 3-7	Malla y ejecución.....	29
Figura 4-1	Detalle partes de remolque simple.....	30
Figura 4-2	Longitud motocicleta de campo.....	32
Figura 4-3	Longitud motocicleta de carretera.....	32
Figura 4-4	Croquis chasis remolque.....	33
Figura 4-5	Diseño final chasis.....	33
Figura 4-6	Detalle perfil chasis.....	34
Figura 4-7	Croquis lanza.....	35
Figura 4-8	Croquis Sub-chasis.....	36
Figura 4-9	Diseño final Sub-chasis.....	36
Figura 4-10	Vista lateral Sub-chasis.....	37
Figura 4-11	Vista frontal Sub-chasis.....	37
Figura 4-12	Catálogo de bolas de enganche.....	38
Figura 4-13	Catálogo de cabezas de enganche.....	39
Figura 4-14	Catálogo Rueda Jockey.....	40
Figura 4-15	Bridas Rueda Jockey.....	41
Figura 4-16	Brida y Rueda Jockey.....	41
Figura 4-17	Accesorios remolque.....	43
Figura 4-18	Ejes con suspensión de caucho.....	45
Figura 4-19	Detalle funcionamiento eje.....	47
Figura 4-20	Características conjunto neumático.....	48
Figura 4-21	Catálogo guardabarros.....	49
Figura 4-22	Reproducción guardabarros seleccionado.....	50
Figura 4-23	Instalación eléctrica.....	51
Figura 4-24	Elementos de soporte del remolque.....	52
Figura 4-25	Muestra de acero galvanizado en caliente [15].....	53
Figura 5-1	Enumeración partes remolque.....	56
Figura 5-2	Vista frontal motocicleta cargada guía central.....	58
Figura 5-3	Vista lateral motocicleta cargada guía central.....	58
Figura 5-4	Descomposición de fuerzas una moto en guía central.....	59
Figura 5-5	Distribución de cargas una moto en guía central.....	62
Figura 5-6	Von Mises carga una moto en guía central.....	62
Figura 5-7	Desplazamientos una moto en guía central.....	63
Figura 5-8	Von Mises aceleración una moto en guía central.....	67
Figura 5-9	Von Mises frenada una moto en guía central.....	68
Figura 5-10	Von Mises aceleración y bache una moto guía central.....	69
Figura 5-11	Von Mises frenada y bache una moto guía central.....	69
Figura 5-12	Vista frontal motocicleta en guía izquierda.....	71
Figura 5-13	Vista lateral motocicleta en guía izquierda.....	71

Figura 5-14	Descomposición de fuerzas correa derecha.....	72
Figura 5-15	Descomposición de fuerzas correa izquierda .....	74
Figura 5-16	Distribución de cargas una moto guía izquierda.....	76
Figura 5-17	Von Mises carga una moto guía izquierda.....	77
Figura 5-18	Desplazamientos una moto guía izquierda .....	78
Figura 5-19	Von Mises aceleración una moto guía izquierda.....	78
Figura 5-20	Von Mises frenada una moto guía izquierda .....	79
Figura 5-21	Von Mises aceleración y bache moto guía izquierda.....	80
Figura 5-22	Von Mises frenada y bache una moto guía izquierda .....	81
Figura 5-23	Von Mises aceleración y bache una moto guía izquierda.....	82
Figura 5-24	Von Mises frenada y bache guía izquierda .....	83
Figura 5-25	Vista frontal dos motocicletas .....	84
Figura 5-26	Vista lateral dos motocicletas.....	84
Figura 5-27	Descomposición de fuerzas correa derecha.....	85
Figura 5-28	Descomposición de fuerzas correa izquierda .....	87
Figura 5-29	Distribución de cargas dos motocicletas .....	90
Figura 5-30	Von Mises carga dos motocicletas .....	91
Figura 5-31	Desplazamientos dos motocicletas.....	91
Figura 5-32	Von Mises aceleración dos motocicletas .....	92
Figura 5-33	Von Mises frenada dos motocicletas.....	93
Figura 5-34	Von Mises aceleración y bache dos motocicletas .....	94
Figura 5-35	Von Mises frenada y bache dos motocicletas .....	95
Figura 5-36	Distribución de cargas dos motocicletas izquierda .....	97
Figura 5-37	Von Mises carga dos motocicletas izquierda .....	98
Figura 5-38	Desplazamientos dos motocicletas izquierda.....	98
Figura 5-39	Von Mises aceleración dos motocicletas izquierda .....	99
Figura 5-40	Von Mises frenada dos motocicletas izquierda .....	100
Figura 5-41	Von Mises aceleración y bache dos motocicletas izquierda .....	101
Figura 5-42	Von Mises frenada y bache dos motocicletas izquierda .....	101
Figura 5-43	Von Mises aceleración y bache dos motocicletas izquierda .....	102
Figura 5-44	Von Mises frenada y bache dos motocicletas izquierda .....	103
Figura 5-45	Vista trasera motocicleta en guía central.....	104
Figura 5-46	Vista lateral motocicleta guía central .....	105
Figura 5-47	Descomposición de fuerzas .....	105
Figura 5-48	Reparto de cargas tres motocicletas .....	108
Figura 5-49	Von Mises carga tres motocicletas .....	109
Figura 5-50	Desplazamientos tres motocicletas.....	109
Figura 5-51	Von Mises aceleración tres motocicletas .....	110
Figura 5-52	Von Mises frenada tres motocicletas.....	111
Figura 5-53	Von Mises aceleración y bache tres motocicletas .....	112
Figura 5-54	Von Mises frenada y bache tres motocicletas .....	113

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto está movido por la necesidad de diseñar un vehículo que permita transportar motocicletas de campo de una forma más sencilla y económica que el resto de remolques ofertados en el mercado.

A pesar de la cantidad de empresas que trabajan en la realización de remolques, y la variedad de tipos que se ofertan en el mercado, una buena medida para abrirse un hueco en este mercado es diseñar uno de estos vehículos tratando de solucionar los inconvenientes que presentan los que fácilmente se pueden adquirir en tiendas como pueden ser el elevado peso, dificultad para maniobrarlos o su desproporcionado coste.

Para comprender y entender con claridad el diseño del remolque, lo primero que se debe hacer es explicar cual es el motivo de su creación y la utilidad y finalidad que va a obtener, así como el uso al cual se va a ver destinado.

El mundo del motor es muy amplio y diverso, y a la vez rico en su cantidad de formas y modos de actuación.

Un sector muy importante dentro de este segmento es el espacio dominado por los vehículos de dos ruedas. Gracias a la comodidad que presenta este grupo de vehículos a la hora de desplazarse por cualquier terreno, el motociclismo es una actividad que gana adeptos por momentos. Y con ello, se ve en cifras muy claras el aumento de ventas de estos vehículos, así como de todos los elementos necesarios para la correcta utilización y disfrute de los mismos.

Cuando se habla de motociclismo se tiende a pensar en las motocicletas que más se conocen o que habitualmente se observan por las calles. Pero existen más modelos, menos conocidos, pero no por ello con menor importancia, como pueden ser las motocicletas de Enduro, Cross y Trial. Destinadas al uso por campo, o circuitos de competición.

Estos vehículos de extrema preparación para su finalidad, el campo, no son del todo aptos para una circulación cómoda y correcta por las vías urbanas. Es aquí donde entra en juego la importancia del proyecto dentro de este sector, dado que



todo aquel que posee una motocicleta de estas características, tiene la necesidad de desplazarse sirviéndose de un remolque para el correcto transporte de ésta.

El uso de remolque no se cierra exclusivamente a usuarios con motocicletas de campo. Éstos también son utilizados por conductores de motocicletas de carretera, sean del tipo que sean. Su uso alivia el cansancio y la incomodidad que estos vehículos ocasionan al conductor en largos trayectos principalmente.

Por todo ello es conveniente la realización de un proyecto de dichas características.

### **1.1** *Objetivos*

El objetivo de este proyecto es el diseño, cálculo y estudio de los elementos necesarios para la construcción de un remolque ligero para el transporte de motocicletas.

Trata de remediar todos los problemas e inconvenientes que presentan el resto de vehículos para el transporte de motocicletas ofertados en el mercado.

El diseño de dicha estructura se lleva a cabo mediante el uso del software de Diseño Asistido por Computador (CAD) Solid Edge V17. Los cálculos de distribución de tensiones en los diferentes componentes de la estructura se realizan utilizando como herramienta el software SolidWorks 2010.

### **1.2** *Estructura del proyecto*

El proyecto consta de siete capítulos. En el primero se realiza una breve introducción al tema analizado y se expone la importancia de su desarrollo, así como los objetivos planteados.

Seguidamente, en el capítulo dos es desarrollado el estado del arte. En él se analiza todo lo referente a los remolques para vehículos y más concretamente, los remolques para motocicletas. Se toma especial atención al remolque de tipo ligero, estudiando sus características y normativa necesaria para homologación.

En el capítulo tres se explican los programas de simulación en que se apoya el proyecto, mostrando los puntos básicos para su utilización.



Por otro lado, en este mismo capítulo se definen también los puntos en que basan sus análisis estos software de simulación como son el Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Método de Elementos Finitos (FEM).

Seguidamente, en el capítulo cuatro se procede a dimensionar las partes del remolque dividiéndose este capítulo en dos partes. En primer lugar, se diseñan elementos como son el chasis y el sub-chasis con ayuda de Solid Edge. En segundo lugar, se explican y seleccionan todas aquellas partes del remolque que se adquieren a empresas ajenas.

En el quinto capítulo se realiza el análisis de la estructura final del remolque. Se le somete a diferentes estados de carga y distintas situaciones, siendo estas aceleraciones bruscas, frenadas de emergencia y desperfectos del firme.

Posteriormente, en el capítulo seis se enumeran conclusiones derivadas del trabajo realizado y por último, en el séptimo capítulo se sigue una serie de líneas de investigación futuras en las cuales se debe profundizar.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 *Los remolques*

La definición de remolque por la Real Academia de la Lengua Española es “Vehículo sin motor que es remolcado por otro”.

Para el proyecto que se lleva a cabo, un remolque es un objeto relativamente sencillo, se trata de un vehículo de carga no motorizado cuya finalidad es el transporte de mercancía que, por diversos motivos, como el tamaño, espacio, comodidad, seguridad, etc. no puede ser transportada en el vehículo principal o tractor.

Un remolque consta como mínimo de chasis, ruedas, superficie de carga y, dependiendo de su peso y dimensiones, frenos propios. Al no estar motorizado, no tiene la capacidad de moverse por sus propios medios, por tanto, es arrastrado por otro vehículo.

### 2.2 *Tipos de remolque para vehículos*

#### 2.2.1 Remolque simple

Un remolque simple se caracteriza por presentar una estructura muy sencilla. En su diseño y fabricación no se suele incluir sistemas de suspensión ni frenos de inercia. Acostumbran a realizarse con un eje único. Los vehículos que transporta quedan al aire libre puesto que se fabrican sin carrocería. Son empleados únicamente para el transporte de vehículos de reducido peso y tamaño como pueden ser bicicletas, motocicletas, vehículos náuticos de bajo peso, etc. [1].

Estas características lo convierten en el modelo mas económico variando su precio en función de las mismas. Si su función es la de transportar motocicletas, el precio aumenta dependiendo del número de éstas para el que se desee habilitar. Si por el contrario se desea transportar un vehículo náutico, el precio aumenta considerablemente dependiendo de los elementos de seguridad de los que conste.

Centrándose en los remolques destinados al transporte de motocicletas, la capacidad de carga depende del número de guías para la colocación de éstas

instaladas, pudiendo ser de una (Figura 2-1), dos (Figura 2-2) y tres motocicletas (Figura 2-3).



Figura 2-1 Remolque de una motocicleta [2]



Figura 2-2 Remolque de dos motocicletas [2]



Figura 2-3 Remolque de tres motocicletas [2]

### 2.2.2 Remolque cerrado o carrozado

La principal característica de estos remolques es que la carga se encuentra protegida mediante una cubierta, pudiendo ser fabricada en distintos materiales dependiendo de las exigencias del usuario y de las condiciones de uso a las que se piensa someter el remolque, siendo las más empleadas fibras (Figura 2-4) y aluminio (Figura 2-5). De este modo se protege el contenido de la misma y se asegura su correcta fijación en los trayectos.

Al proporcionar un espacio diáfano, este tipo de remolques permite el transporte de no sólo motocicletas, sino cualquier otro material o vehículo sin sobrepasar las dimensiones ni características para las que fue diseñado.

La capacidad de carga está limitada principalmente por el tamaño y las dimensiones de la carcasa del remolque.

En función de la capacidad y dimensiones, se analiza la necesidad de instalar frenos de inercia, suspensión, sistemas avanzados de luces, etc. Siendo necesarios si se diseña con el fin de transportar grandes bultos.

Estas características los convierten en los más indicados para medias cargas y desplazamientos largos. La mercancía se transporta de forma más segura y eficiente.

Es lógico comprender que su precio aumente con respecto a los remolques simples. Son muchas las ventajas, aunque también desventajas que se presentan, como problemas de espacio a la hora de almacenarlos, o la dificultad de maniobrar con el a mano, si se comparan con remolques simples.



Figura 2-4 Remolque cerrado de fibra [3]



Figura 2-5 Interior remolque cerrado de aluminio [4]

### 2.2.3 Remolques de altas prestaciones (gran capacidad de carga)

Este tipo de remolques son capaces de remolcar cargas muy elevadas. Suelen estar dotados de elementos adicionales de seguridad como suspensiones, frenos de inercia, más avanzados sistemas de iluminación, etc.

También pueden estar dotados de varios ejes (Figura 2-6), y pueden ser cubiertos o carrozados (Figura 2-7).

Su precio se ve encarecido debido a su más específica función y las especiales características anteriormente citadas.



Figura 2-6 Remolque para el transporte de vehículos abierto [5]



Figura 2-7 Remolque para el transporte de vehículos carrozado [6]

## 2.3 Remolque ligero MMA 750 kg

Se entiende por remolque ligero aquel para el que el conjunto entre el peso del remolque y la carga tiene un PMA no superior a 750 kg [7].

Una característica muy importante de este tipo de vehículos es que no necesitan una matrícula propia. Les sirve con llevar incorporada una copia de la matrícula del vehículo motriz. También hay que destacar que no necesitan seguro obligatorio para poder circular, aunque es recomendable el uso de este para tener una salvaguarda en un posible accidente.

La documentación necesaria para circular consiste en un certificado (ficha técnica del vehículo) que especifica las características dotadas al remolque por el fabricante. En caso de que el fabricante presente la documentación tipo, entonces el remolque estará provisto de una tarjeta de ITV sin número de expediente.

Para la conducción con este tipo de remolque no es necesario ningún carnet de conducción especial. Es suficiente con tener el que permite conducir coches, el carnet de tipo **B**.

Las condiciones más importantes referentes a la matriculación y la necesidad de realizar revisiones periódicas de este tipo de vehículos vienen recogidas en el Real Decreto 2140/1985.

### 2.3.1 Real Decreto 2140/1985

Según el Real Decreto 2140/1985, **los remolques ligeros  $PMA \leq 750\text{Kg}$  no están obligados ni a matricularse ni a pasar las revisiones periódicas en las estaciones de ITEUVE** [8].

#### 2.3.1.1 Artículo 1. Homologación de tipo

Los puntos más destacables del Artículo 1 del Real Decreto 2140/1985 son los siguientes:

*1. Todos los vehículos automóviles, remolques, semirremolques, motocicletas, ciclomotores y vehículos agrícolas, deberán corresponder a tipos homologados en España de acuerdo con este Real Decreto o en la Unión Europea conforme a la*



*Directiva 70/156/CEE, 74/150/CEE, o 92/61/CEE o en el Espacio Económico Europeo cuando éstas le sean de aplicación, como condición previa para que puedan ser matriculados y/o puestos en circulación.*

*2. La homologación de tipo de los tractores agrícolas y sus remolques será sin perjuicio de las competencias del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en lo que se refiere a la homologación de bastidores, cabinas y otros dispositivos de seguridad, así como las potencias y prestaciones de funcionamiento y operaciones agrícolas.*

*3. A los efectos de este Real Decreto se considerarán como vehículos del mismo tipo aquellos que no presenten entre si ninguna de las diferencias señaladas en los apéndices 1 de los anexos correspondientes.*

*4. La homologación de tipo se aplicará a vehículos completos, salvo lo que se establece en los párrafos 4.1, 4.2 y 4.3 siguientes, sin perjuicio del cumplimiento de los reglamentos parciales.*

*4.1 Se podrán homologar también tipos de chasis-cabina y autobastidores y chasis de remolques y semirremolques. En el carrozado de estos vehículos deberán cumplirse las limitaciones señaladas en la ficha de características de las citadas unidades sin carrozar.*

*4.2 Cuando se trate de autobastidores destinados a ser carrozados, como autobuses, autocares o autocarabanas, por un carrocerero distinto del fabricante del autobastidor, podrá obtenerse separadamente la homologación del autobastidor, y opcionalmente de la carrocería, utilizándose la ficha de características prevista para cada caso en los anexos correspondientes.*

*4.3 También podrá obtenerse la homologación separada del autobastidor y la carrocería en aquellos casos distintos de los autobuses, autocares o autocarabanas en los que las carrocerías sean fabricadas en grandes series, cuando los carrocereros puedan acreditar que disponen de tecnología y capacidad industrial adecuada para su aplicación al desarrollo, fabricación y control de calidad del producto, en las condiciones que reglamentariamente se determinen.*

### 2.3.1.2 Artículo 2. Exenciones y casos especiales homologación de tipo

También es importante destacar los siguientes puntos referentes al Artículo 2 del Real Decreto 2140/1985:

*1. En desarrollo de lo establecido en el apartado II del artículo 241 del Código de la Circulación, quedan eximidos de la homologación de tipo, o de algunas de las homologaciones parciales, como condición previa a su matriculación o puesta en circulación, en su caso, cuando se cumpla lo señalado en el artículo noveno de este Real Decreto, los siguientes vehículos:*

*1.1 Los vehículos fabricados por un fabricante del Espacio Económico Europeo que no dispongan de homologación de tipo podrán obtener la exención hasta un máximo de 50 unidades por tipo.*

*1.2 Prototipos o preseries que pertenezcan a los proyectos en fase de desarrollo por los fabricantes.*

*1.3 Vehículos fabricados para usos específicos muy concretos.*

*1.4 Vehículos no matriculados anteriormente, procedentes del Espacio Económico Europeo o de terceros países, adquiridos directamente por su titular.*

*1.5 Vehículos, procedentes de subastas oficiales, realizadas en España, y que deben ser objeto de matriculación ordinaria.*

*1.6 Vehículos matriculados en el Espacio Económico Europeo.*

*1.7 Vehículos del Cuerpo Diplomático extranjero acreditado en España.*

*2. El procedimiento de homologación individual de vehículos, previsto en el artículo 1 de la Directiva 70/156/CEE, deberá cumplir los requisitos establecidos en los anexos I y II del Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, acreditados mediante un informe de un laboratorio reconocido para la homologación de tipo, sin que en ningún caso pueda comportar ensayos destructivos. El procedimiento de homologación individual será aplicable a los vehículos contemplados en las Directivas 74/150/CEE y 92/61/CEE.*

### 2.3.1.3 Artículo 9. Requisitos aplicables a las exenciones

Por último, es mencionado el tercer punto del Artículo 9 del Real Decreto 2140/1985 referente a la homologación de vehículos fabricados para usos específicos.

*3. Vehículos fabricados para usos específicos muy concretos.*

*3.1 El fabricante o su representante legal, podrá solicitar la exención de la homologación de tipo o de alguno de los Reglamentos parciales cuando su aplicación sea incompatible con las características de utilización del vehículo, para los vehículos fabricados para usos específicos muy concretos, que no pueden considerarse como pequeña serie ni como prototipos o preseries en fase de desarrollo.*

*3.2 La exención del cumplimiento de determinados reglamentos parciales o de homologación de tipo se efectuará por resolución expresa del Centro directivo competente en materia de seguridad industrial del Ministerio de Industria y Energía, ante petición justificada, que incluirá las razones para solicitar dicha exención, una memoria explicativa de los Reglamentos parciales cuyo cumplimiento no es posible satisfacer, y las razones para dicho incumplimiento, así como el número de vehículos y sus números de bastidor.*

*3.3 Estos vehículos, deberán someterse a inspección técnica unitaria de acuerdo con el párrafo 1.3, y presentarán la documentación mencionada en el párrafo 1.4, pero sustituyendo lo referente al libro de Registro por una copia o fotocopia certificada de la autorización expresa, mencionada en el párrafo 3.2.*

### 2.3.2 Normativa de homologación

Los remolques de un eje deben estar provistos de un enganche de acoplamiento homologado, de una enchufe heptapolar según norma UNE 26-170-84 para alimentar las luces traseras y si procede las laterales y delanteras [9].

El eje de remolque como mínimo tiene que estar preparado para aguantar la MMA del remolque; lo mismo sucede con los neumáticos; es decir, si el remolque tiene un MMA de 750 Kg, el eje estará preparado para aguantar como mínimo 750 Kg y

si el remolque es de un solo eje (semi-remolque) la carga mínima de los neumáticos será  $750/2= 375$  Kg.

El kit de luces y catadióptricos debe estar compuesto por los elementos mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1** Kit de luces y catadióptricos

ELEMENTO	UNIDADES
Luces de posición traseras	2 Ud.
Luces de posición delanteras	2* Ud.
Luces de frenada traseras	2 Ud.
Luces intermitentes laterales	2 Ud.
Luz antiniebla trasera	1 Ud.
Luz placa matrícula	2 Ud.
Luz de posición lateral si longitud > 6 m*	1 Ud./lateral
Catadióptricos triangulares traseros	2 Ud.
Catadióptricos no triangulares delanteros	2 Ud.
Catadióptricos no triangulares laterales	1 Ud./lateral**
Enganche secundario tipo cadena que impide que la barra toque el suelo	
*Para remolques de más de 1,60 metros de anchura	
**1 luz/catadióptrico cada 2mts y a un máximo de 1mts de cada extremo de la caja	

### 3 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Como su nombre indica, un programa de simulación es una herramienta informática con la que se modela un sistema real o hipotético para comprobar su funcionamiento, y de esta manera, predecir su comportamiento. Se trata de un medio utilizado en infinidad de campos con un fin común, tratar de asegurar el correcto funcionamiento de un sistema antes de llevarlo a la práctica en la vida real.

Una vez estudiado un sistema con esta herramienta, es estrictamente necesario ensayarlo en una zona de pruebas. Muchas variables que no se pueden tener en cuenta, o que simplemente no se han interpretado correctamente, pueden provocar pequeños problemas o catástrofes dependiendo de la magnitud proyecto a estudio.

La historia y la evolución de la simulación por ordenador han ido paralelas a la evolución de la Informática. Sus orígenes los encontramos en la segunda Guerra Mundial cuando dos matemáticos, J. VNeumann y S. Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para abordarlo mediante técnicas analíticas. La aproximación que cogieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado "método de Montecarlo" por el paralelismo entre la generación de números aleatorios y el juego de la ruleta.

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc. Muchos de estos problemas exigen la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron ordenadores analógicos que usaban elementos electrónicos para resolver las operaciones matemáticas: integración, suma, multiplicación, generación de funciones, etc.

La revolución que se produjo en la informática a partir de los años 80, tiene un impacto importante en la simulación por ordenador. El uso de simuladores se

generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería, como predicción del tiempo o entrenamiento de pilotos, obligados en la actualidad a entrenar periódicamente en sofisticados simuladores para estar preparados para resolver cualquier problema que pueda aparecer en el vuelo [10].

### ***3.1 Diseño asistido por computador (CAD)***

CAD significa Diseño Asistido por Computador o Computer Aided Design, según la denominación en inglés y que da lugar a la sigla. El CAD se desarrolló en los años 60 y hoy es el método más generalmente adoptado para diseñar y optimizar el desarrollo de productos de la más diversa naturaleza. La industria usa herramientas CAD para el diseño de prácticamente todos los productos que se ven y usan a diario.

El diseño CAD es el uso de paquetes informáticos basados en programas o software que ayudan a los ingenieros, arquitectos, diseñadores industriales y otros profesionales en sus tareas de diseño. CAD es la parte principal del proceso de diseñar e implica tanto el empleo de software como de hardware. Este proceso de diseño consiste en trasladar la idea instalada en la mente del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto.

La disponibilidad de programas de diseño modernos, va desde sistemas de dibujo en 2D, basado en la gráfica de vectores, a modeladores de sólidos en 3D. Los programas CAD pueden dividirse en dos grupos: los que son paquetes informáticos de dibujo en 2D y los de elaboración en 3D. Los primeros realizan trazos y formas geométricas primitivas, que se inscriben en el plano o lo que equivale a decir, no tienen altura o elevación alguna. Los segundos, pueden representar sólidos que muestran con exactitud las características de forma y dimensión del objeto que se busca recrear [11].

### 3.2 Método de elementos finitos (FEM)

Los programas de simulación utilizados en este proyecto, basan sus resultados en el Análisis de Elementos Finitos.

El análisis de elementos finitos es el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el propósito de encontrar y resolver potenciales problemas estructurales o de rendimiento. FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que es utilizado por ingenieros y científicos para matemáticamente modelar y resolver numéricamente problemas de complejas estructuras, fluidos y de multifísica. El software FEA puede ser utilizado en una amplia gama de industrias, pero es más comúnmente utilizado en las industrias aeronáutica, biomecánica y de automoción.

Uno de los modelos de elementos finitos (FE) cuenta con un sistema de puntos, llamados "nodos", que constituyen la forma del diseño. Conectados a estos nodos están los mismos elementos finitos que forman la malla de elementos finitos y contienen el material y las propiedades estructurales del modelo, la definición de cómo va a reaccionar a ciertas condiciones. La densidad de la malla de los elementos finitos puede variar a través del material, en función del cambio esperado en los niveles de estrés de un área en particular. Partes que experimentan grandes cambios en esfuerzo por lo general requieren una densidad de malla superiores a los que la experiencia de variación supone poco o ningún esfuerzo. Los puntos de interés pueden incluir los puntos de fractura del material previamente probado, esquinas, detalles complejos y zonas de concentración de tensiones.

Los modelos FE pueden ser creados usando elementos en una dimensión (1D haz), dos dimensiones (2D shell) o tridimensionales (3D sólido). Mediante el uso de vigas y placas en lugar de elementos sólidos, un modelo representativo se puede crear con menos nodos sin comprometer la precisión. Cada combinación de modelos requiere una diversa gama de propiedades que se definen como:

- Áreas de la sección
- Momentos de inercia



- Torsión constante
- Espesor de la chapa
- Resistencia a la flexión
- Corte transversal

Para simular los efectos de los entornos reales de trabajo en la FEA, los distintos tipos de carga se puede aplicar al modelo de elementos finitos, incluyendo:

- Nodal: fuerzas, momentos, desplazamientos, velocidades, aceleraciones, temperatura y flujo de calor
- Elemental: carga distribuida, presión, temperatura y flujo de calor
- Las cargas de aceleración del cuerpo (la gravedad)

Los tipos de análisis son:

- Estática lineal: análisis lineal con las cargas aplicadas y las limitaciones que son estáticas
- Estática y dinámica no lineal: los efectos debidos al contacto (donde una parte del modelo entra en contacto con otra), las definiciones de material no lineal (plasticidad, elasticidad, etc.) y el desplazamiento de gran tamaño.
- Modos Normal: frecuencias naturales de vibración
- Respuesta dinámica: las cargas o movimientos que varían con el tiempo y la frecuencia
- Pandeo: carga crítica en la que una estructura se vuelve inestable
- La transferencia de calor: el cambio de conducción, radiación

FEA puede ser utilizado en el diseño de nuevos productos, o para refinar un producto ya existente, para asegurar que el diseño será capaz de realizar las especificaciones antes de la fabricación [12].



### 3.2.1 SolidWorks

SolidWorks es un programa de CAD que basa sus cálculos en el método de elementos finitos (FEM). Este software permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción.

SolidWorks permite determinar muchos parámetros para realizar un correcto análisis de la estructura que se pretende estudiar.

Este software da la posibilidad de realizar estudios tanto en estática, estudio de frecuencia, de pandeo, estudio térmico, de caída, de fatiga y análisis de recipientes a presión (Figura 3-1).

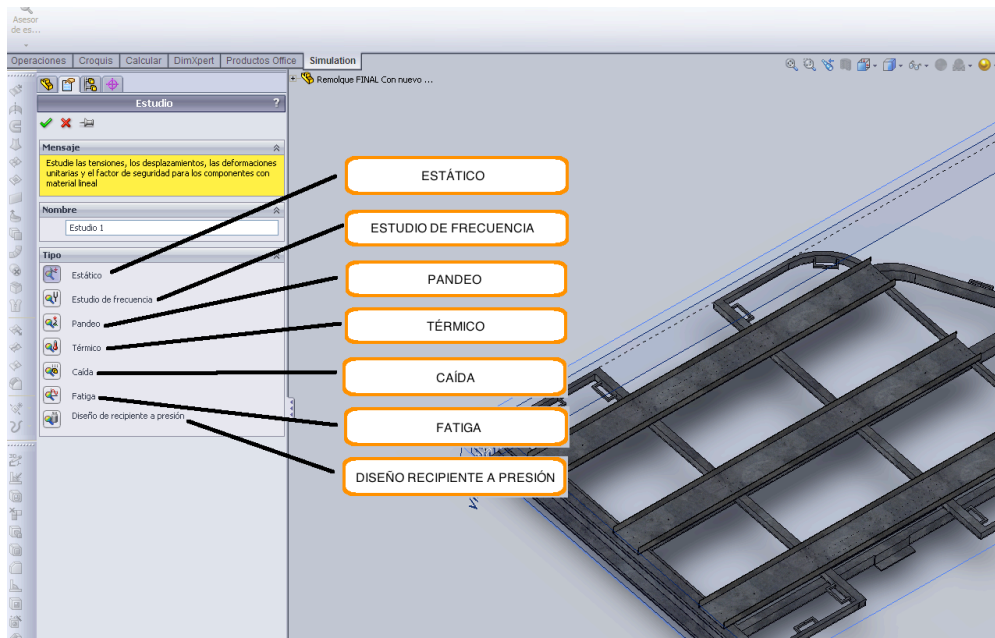


Figura 3-1 Elección tipo de estudio

Son analizados a continuación todos los puntos correspondientes al estudio de tipo “Estático”. Este es el tipo de análisis que se utiliza en la simulación del remolque.

Como se muestra en la figura 3-2, una vez seleccionado el estudio de tipo estático, se muestra en la barra de herramientas un menú con los diferentes parámetros a establecer en el estudio. Estos son:

1. Aplicación de material
2. Determinación de sujeciones
3. Determinación de cargas
4. Conexiones
5. Ejecución

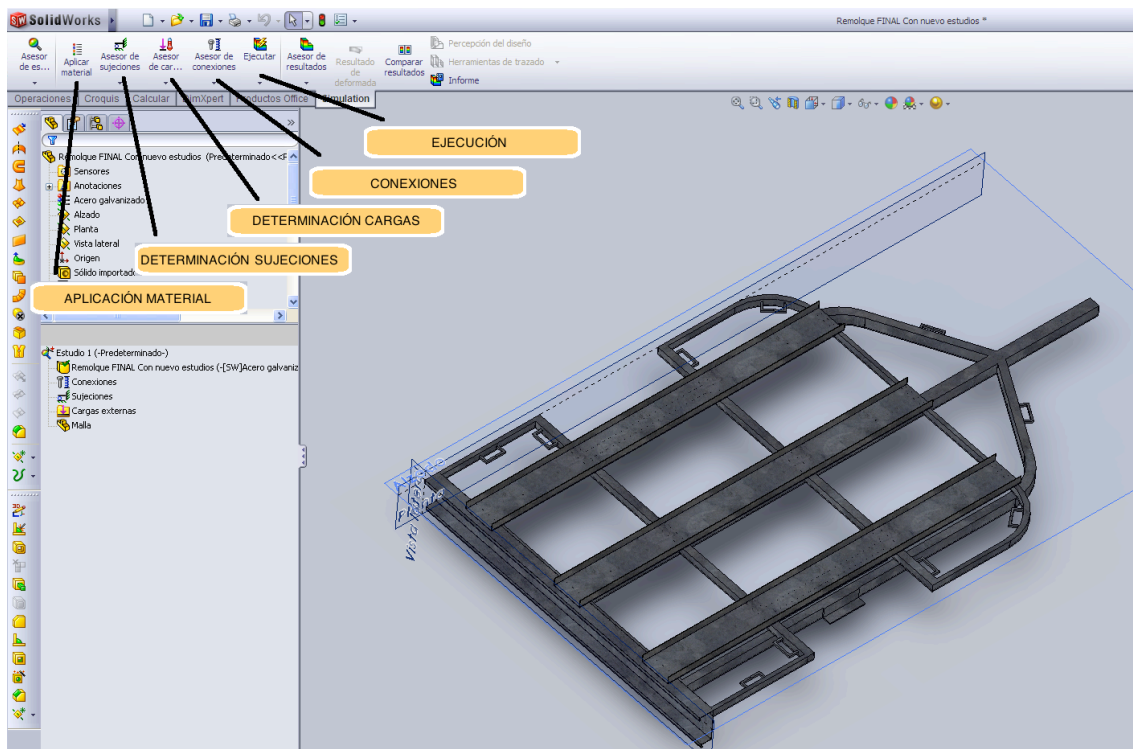


Figura 3-2 Menú de herramientas

Cuando se abre el menú “Aplicación de material”, son mostrados los diferentes tipos de material con que se puede analizar la estructura, siendo diferenciados en grandes grupos como son aceros, hierros, aleaciones de aluminio, de cobre, de titanio, de zinc, plásticos, fibras, etc.

De todos los materiales propuestos, el más importante para el estudio que se realiza es el acero galvanizado, incluyéndose dentro del grupo de aceros. Junto a él se proporcionan sus características más importantes, como se muestra en la figura 3-3.

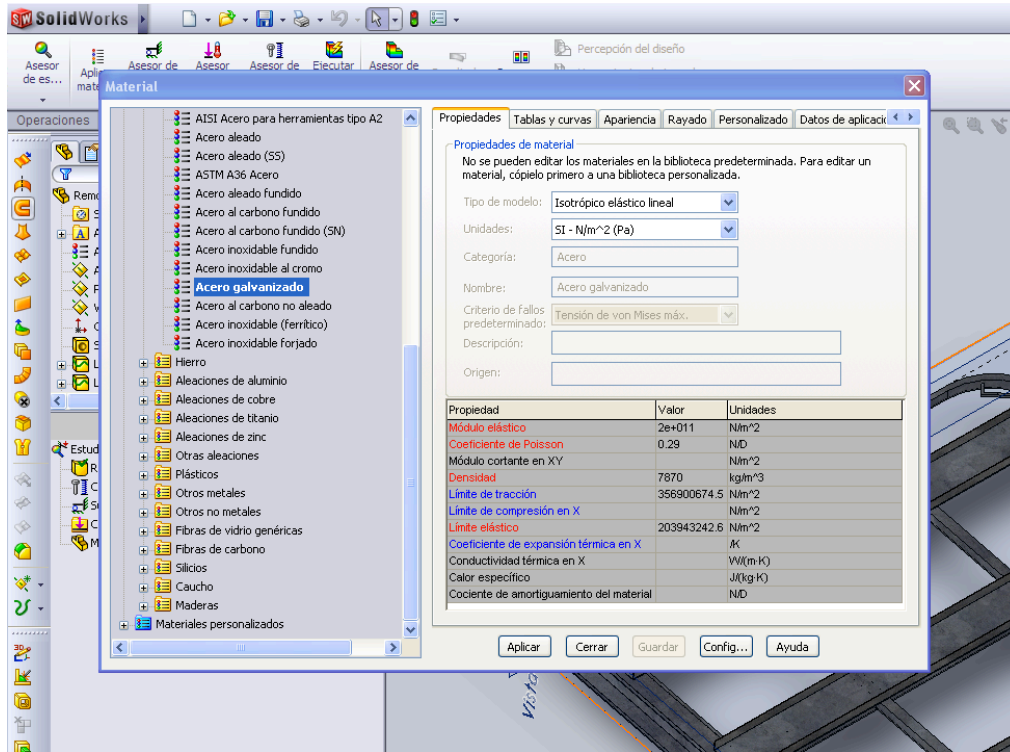


Figura 3-3 Catálogo de materiales

Una vez determinado el material, es momento de establecer las sujeciones de la estructura. Éstas se seleccionan en el menú “Determinación de sujeciones” mostrado en la figura 3-4.

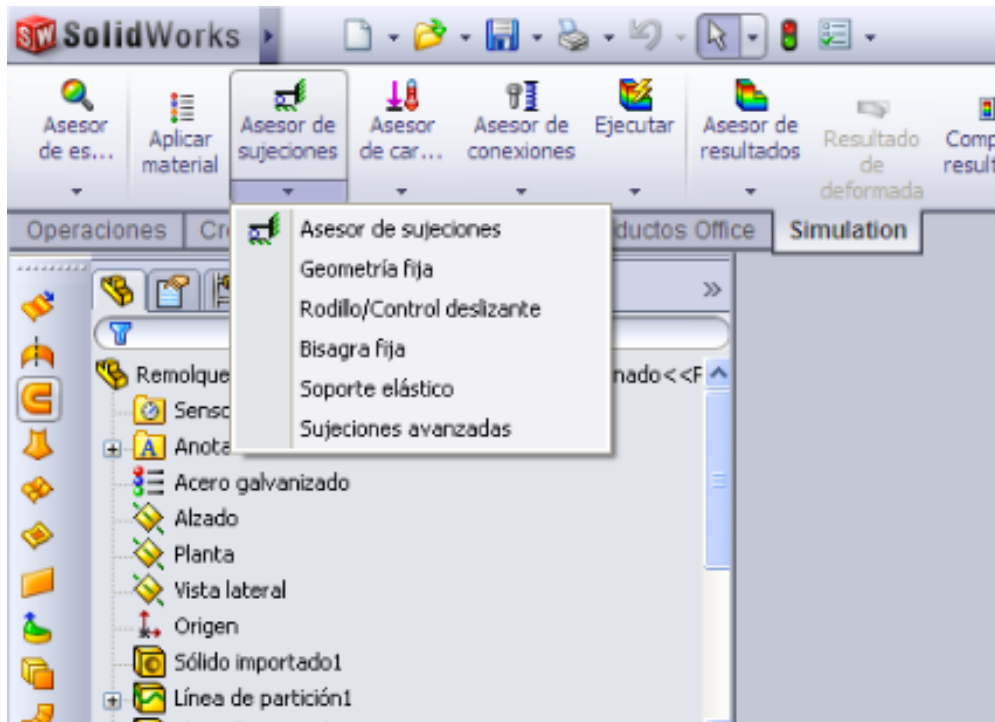


Figura 3-4 Tipos de sujeciones

Las más importantes y utilizadas en el análisis son las dos primeras, “Geometría fija” y “Rodillo/Control deslizante”. Estas determinan las condiciones de contorno del remolque en sus diferentes estudios.

Escogido el material y establecidas las condiciones de contorno, es hora de definir las cargas a que se somete el remolque. Todas ellas se muestran en la figura 3-5.

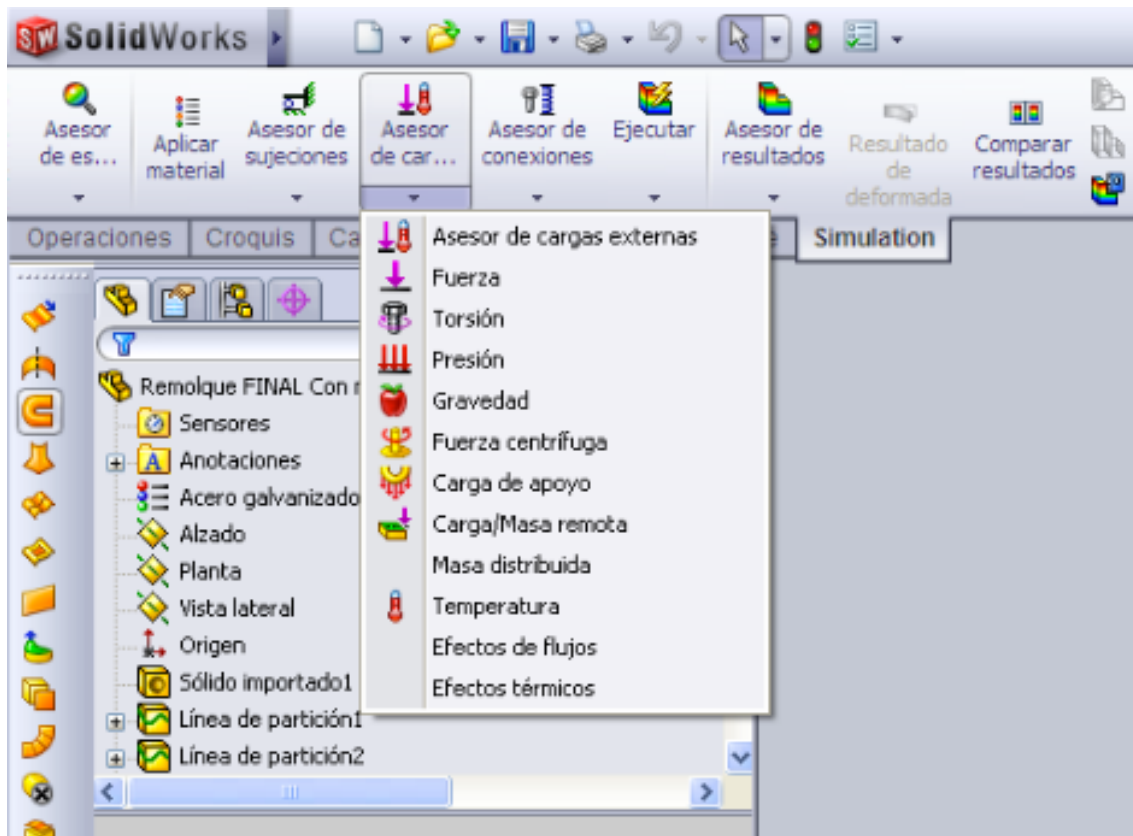


Figura 3-5 Tipos de fuerza

En el estudio se utilizan las definidas como “Fuerza” y “Gravedad”.

También se pueden definir conexiones si en la estructura a estudiar se presentan resortes, pernos o rodamientos (Figura 3-6).

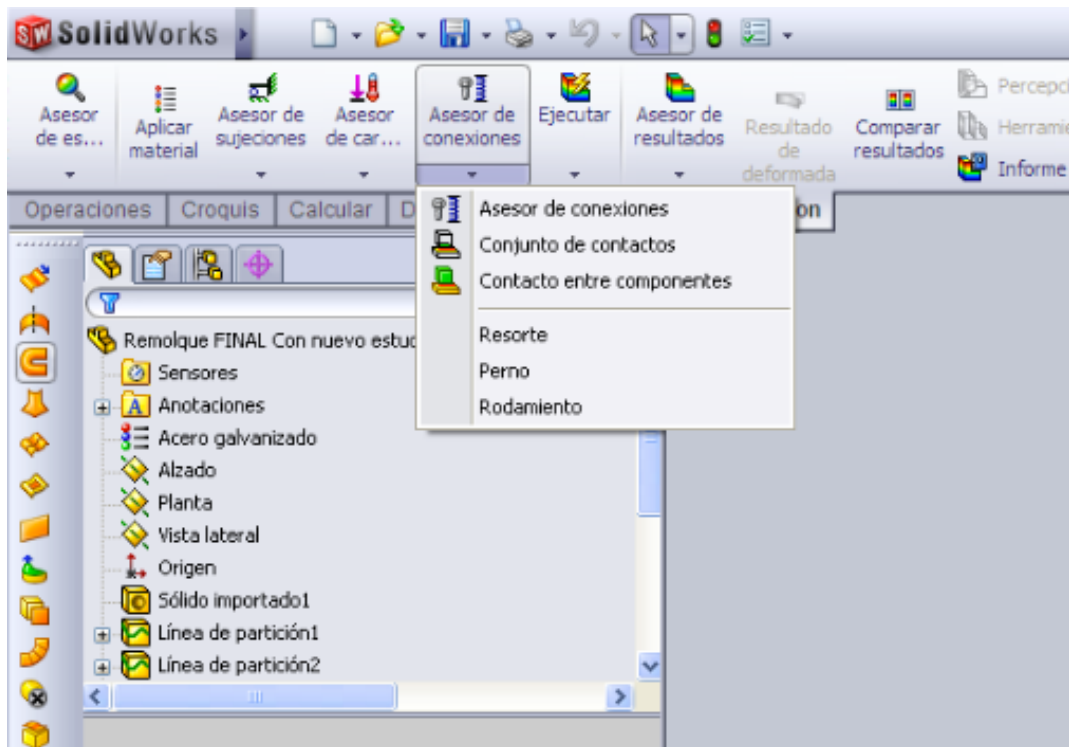


Figura 3-6 Conexiones

Por último, cuando ya se han definido todos los parámetros que intervienen en la estructura en cada situación, es momento de establecer la malla, ejecutar el análisis y comprobar los resultados (Figura 3-7).

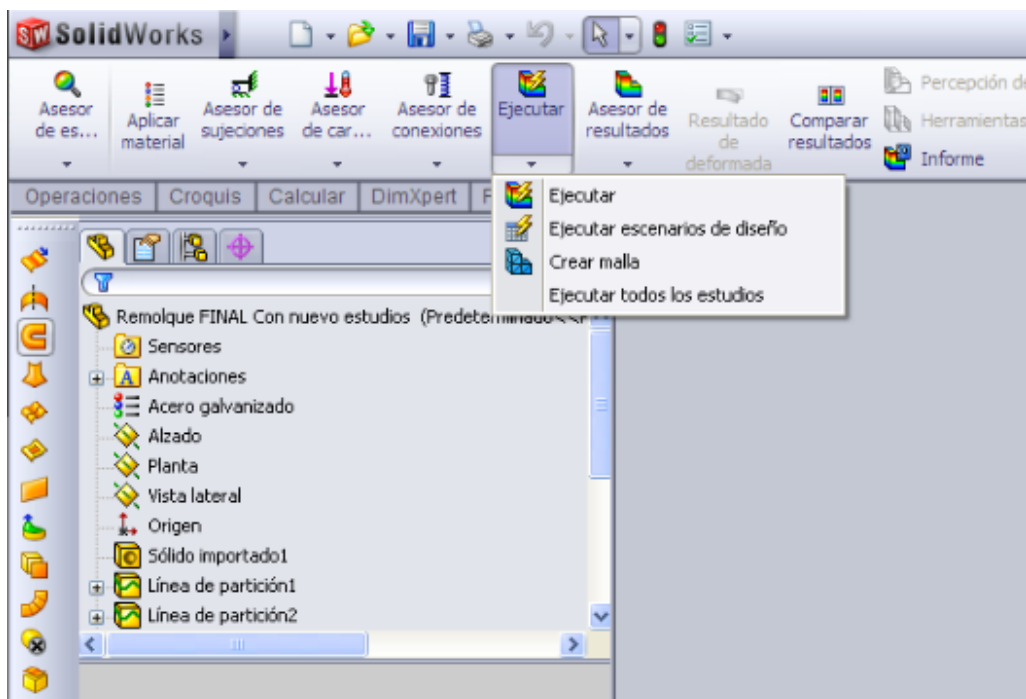


Figura 3-7 Malla y ejecución

## 4 DISEÑO DE REMOLQUE LIGERO

El diseño del remolque comienza con el diseño de los elementos del mismo en que se centra el grueso del análisis del proyecto. Estos elementos son estudiados más adelante por los programas de diseño y simulación anteriormente explicados. Se trata de chasis y sub-chasis, partes de la estructura principal del remolque. Seguidamente, son seleccionados el resto de componentes que son adquiridos a empresas colaboradoras, tratándose en su mayoría de elementos de seguridad verificados y homologados.

En la figura 4-1 se muestra un remolque ligero habilitado para una motocicleta. En él se nombran los elementos que componen este tipo de remolque y, por tanto, que forman parte del vehículo a diseñar.

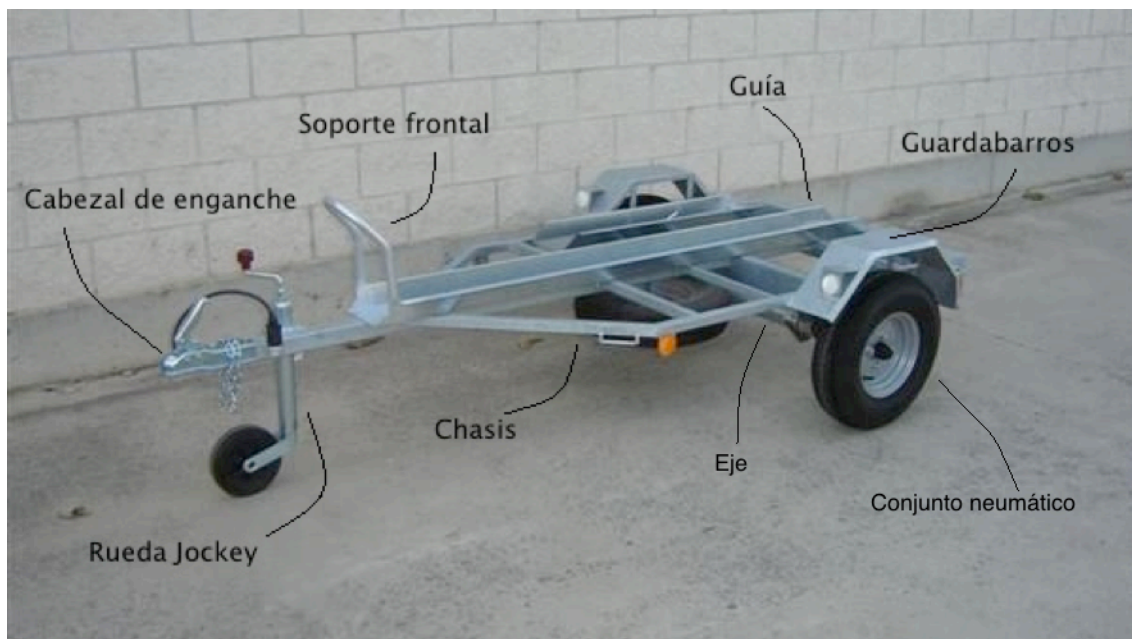


Figura 4-1 Detalle partes de remolque simple

Para mejorar la estabilidad y fiabilidad del mismo, en el remolque se instala un Sub-Chasis. Este va situado sobre el chasis del remolque favoreciendo el reparto de cargas sobre la estructura del chasis.

## 4.1 Dimensionamiento

### 4.1.1 Chasis

El chasis es el elemento principal del cuerpo del remolque siendo similar a la columna vertebral del mismo. Por ello, a él se unen el sub-chasis y el resto de elementos que conforman el conjunto.

El chasis se dimensiona de modo que sea capaz de soportar la carga del resto de elementos más el peso de los vehículos transportados.

El chasis se diseña en función al tamaño, peso y propiedades de las motocicletas que se transportan en el remolque, pudiendo ser el número de motocicletas transportadas de entre 1 y 3.

Por norma general, las motocicletas a diferencia de otros vehículos, varían de tamaño y peso entre unos márgenes diferenciales bastante ajustados.

La longitud de una motocicleta ronda un máximo de 1.500 milímetros entre ejes (Figura 4-2; Figura 4-3). Mientras que su anchura no suele superar los 900 milímetros. Dimensión que se da en el manillar de la misma.

Su peso está comprendido entre 100 kg y 200 kg. De modo que si el remolque va a estar pensado para el transporte de tres motocicletas, éste se dimensiona según el caso más extremo. Es decir, la situación en que los tres vehículos cargados rondaran su máximo peso.



Figura 4-2 Longitud motocicleta de campo



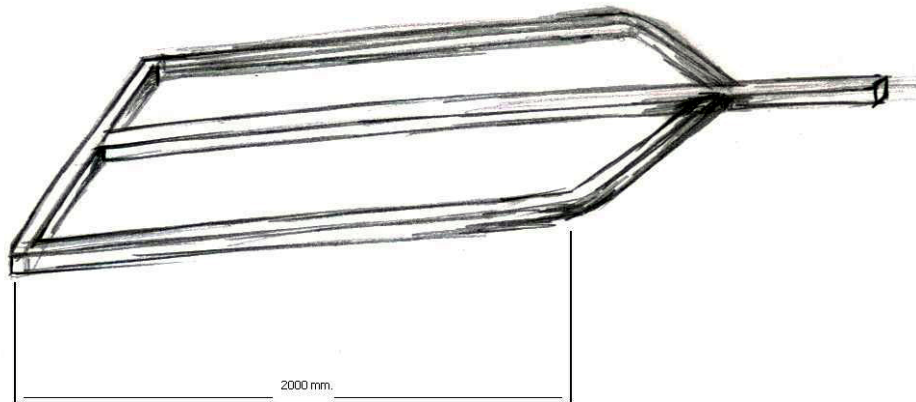
Figura 4-3 Longitud motocicleta de carretera

El chasis del remolque a estudiar tiene por tanto, unas medidas que se adaptan a las características de las motocicletas.

Al tener en cuenta la longitud entre ejes más probable de las motocicletas, se trabaja con 1.500 milímetros, pero a esto se deben sumar los radios de ambas ruedas, delantera y trasera, que es muy diferente entre los distintos modelos de motocicletas.

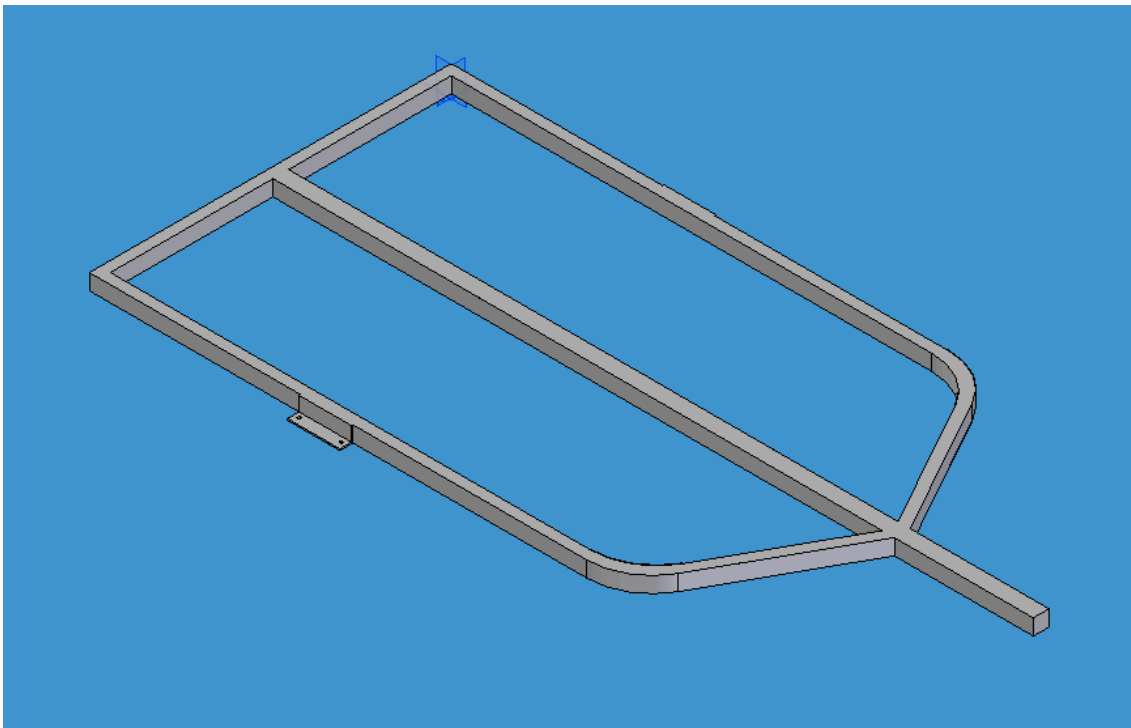


Con esto, y dando un margen cómodo para que el remolque no se vea limitado por motocicletas de longitudes mayores, se dota al mismo con la capacidad de albergar en él vehículos con longitud total máxima de 2.000 milímetros (Figura 4-4).



**Figura 4-4** Croquis chasis remolque

Como se comenta con anterioridad, el chasis se diseña con el programa de CAD Solid Edge para ser sometido a simulación posteriormente con SolidWorks.



**Figura 4-5** Diseño final chasis

El chasis se construye con perfil de sección rectangular de 60x60 mm y espesor 3 mm, para la barra central (lanza), y 40x60 mm y espesor también de 3 mm, para el resto del chasis (Figura 4-5; Figura 4-6).

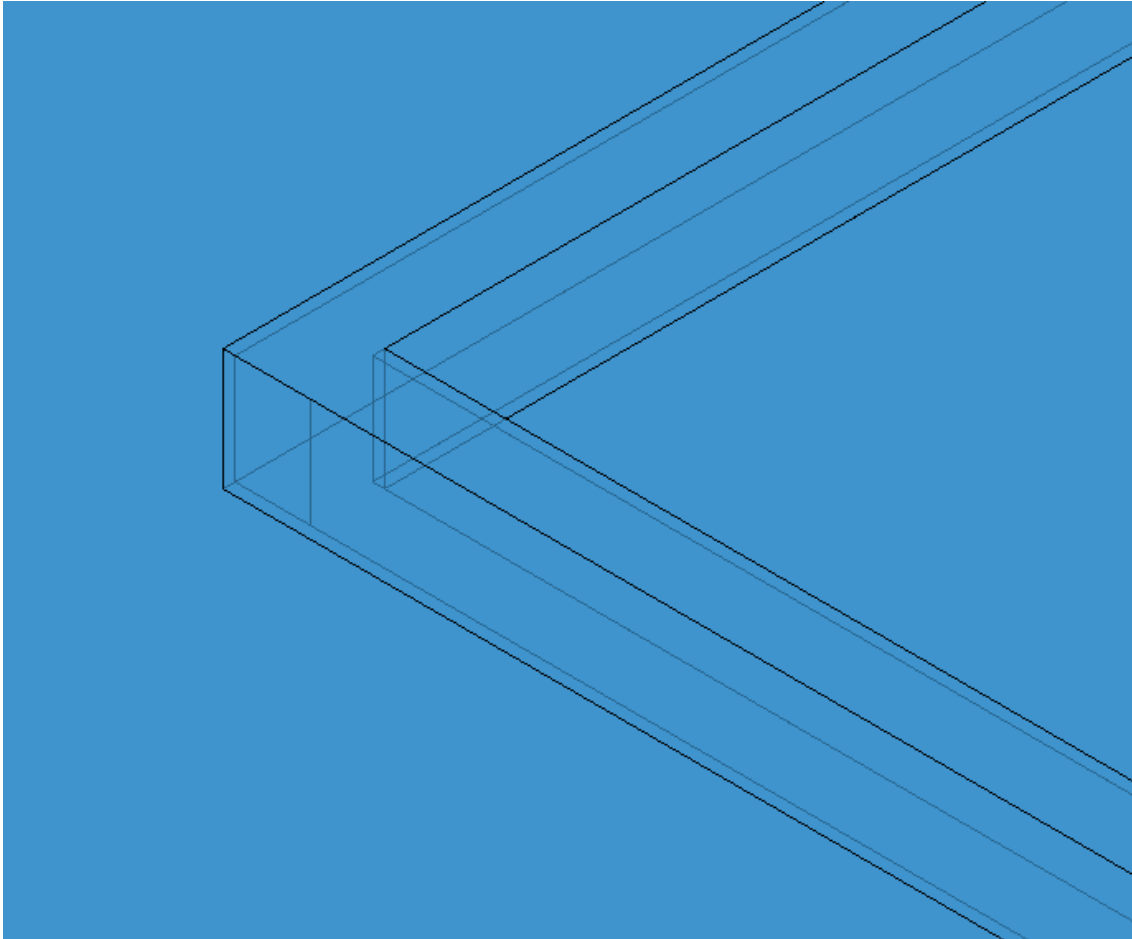


Figura 4-6 Detalle perfil chasis

#### 4.1.1.1 Lanza

Es necesario destacar en la lanza del remolque (Figura 4-7). Se trata de la barra longitudinal situada en el centro del cuerpo del chasis, cuya misión es dar rigidez al conjunto y estabilidad. Al mismo tiempo, es la encargada de unir el chasis con el elemento de unión entre remolque y coche, este elemento recibe el nombre de cabezal de enganche.

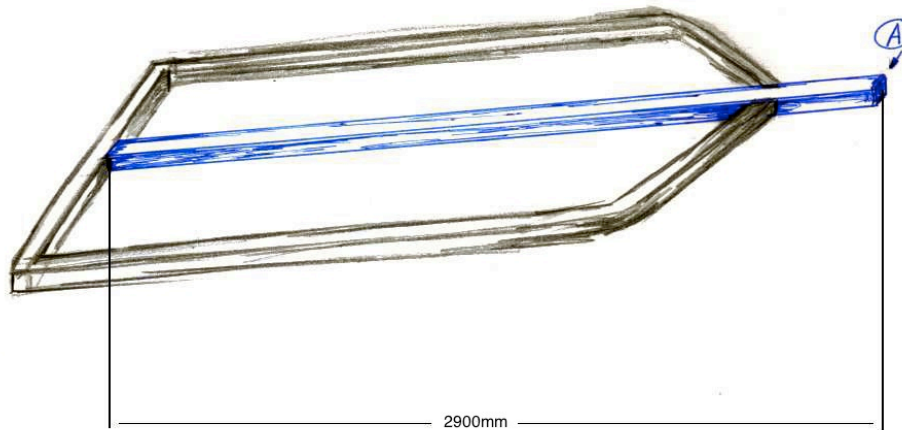


Figura 4-7 Croquis lanza

Estas características dotan al remolque de la ligereza y robustez suficientes para proporcionarle características tan importantes como la agilidad y maniobrabilidad buscadas

#### 4.1.2 Sub-Chasis

El sub-chasis es un elemento de características similares a las del chasis, cuya misión es la de dar rigidez al sistema reforzando el chasis y sirviendo como soporte a otros elementos del conjunto.

Este es dimensionado de tal manera que el ancho total del remolque no sobrepase el ancho de un vehículo relativamente grande. Teniendo en cuenta las dimensiones de un BMW 530d, vehículo de gama media-alta que se vuelve a utilizar más adelante para analizar otros puntos importantes, con un ancho total de 1850 mm, se establece el ancho del remolque en 1800 mm.

La longitud total del sub-chasis, elemento sobre el que se apoyan las guías en que se disponen las motocicletas, es de 2010 mm. Esta longitud permite colocar guías de 2000 mm, longitud suficiente para el transporte de motocicletas.

Los cuerpos “A” y “B” se construyen con perfiles de sección rectangular de 20x40 mm y espesor de 3 mm (Figura 4-8).

Los cuerpos “C” y “D” se construyen con perfiles de sección en U de 45x80 mm y espesor de 6 mm (Figura 4-8).

El cuerpo “E” es un perfil de sección particular fabricado con un espesor de 2 mm (Figura 4-8).

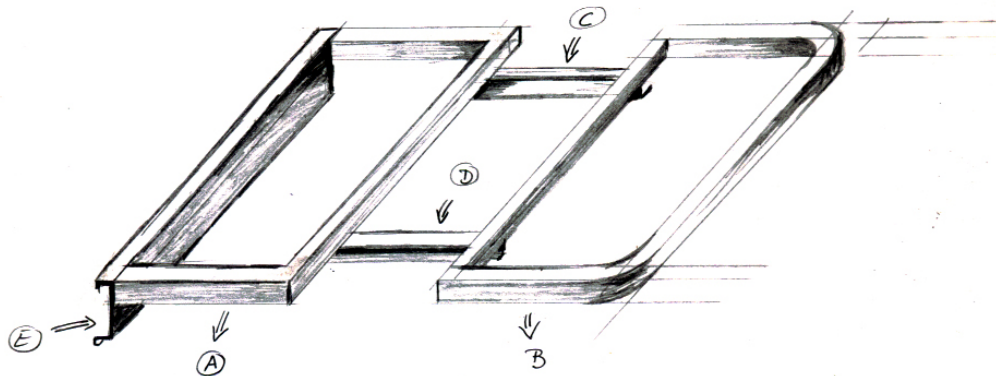


Figura 4-8 Croquis Sub-chasis

Las figuras 4-9, 4-10 y 4-11 muestran respectivamente las vistas en isométrica, lateral y frontal, del diseño final del sub-chasis realizado con Solid Edge.

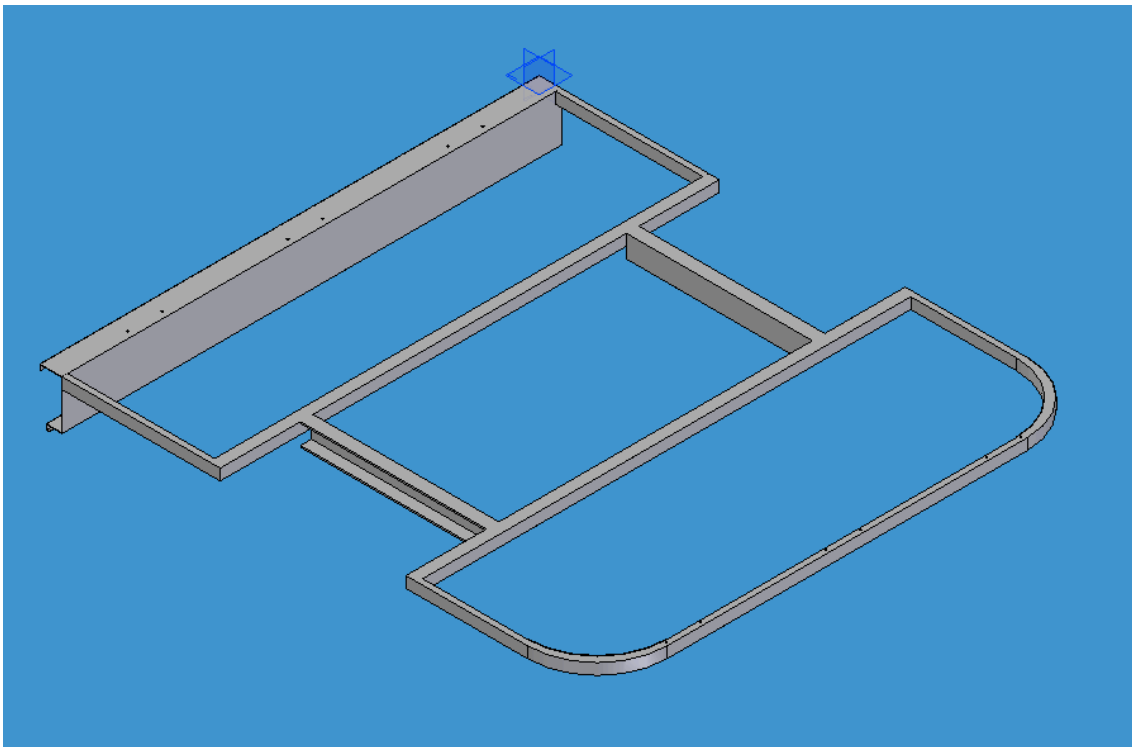


Figura 4-9 Diseño final Sub-chasis

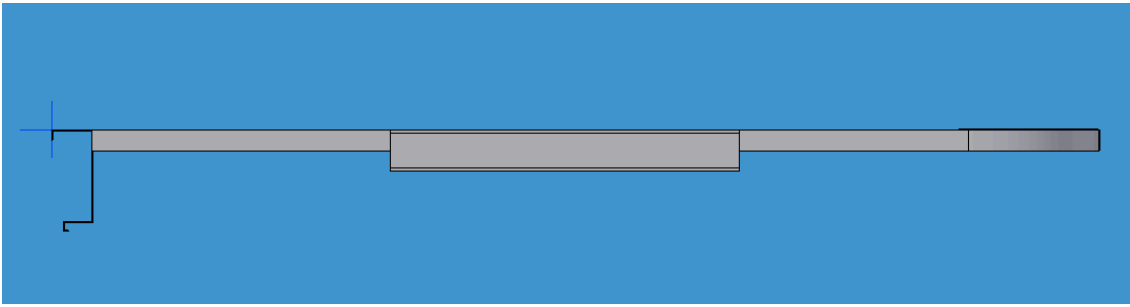


Figura 4-10 Vista lateral Sub-chasis

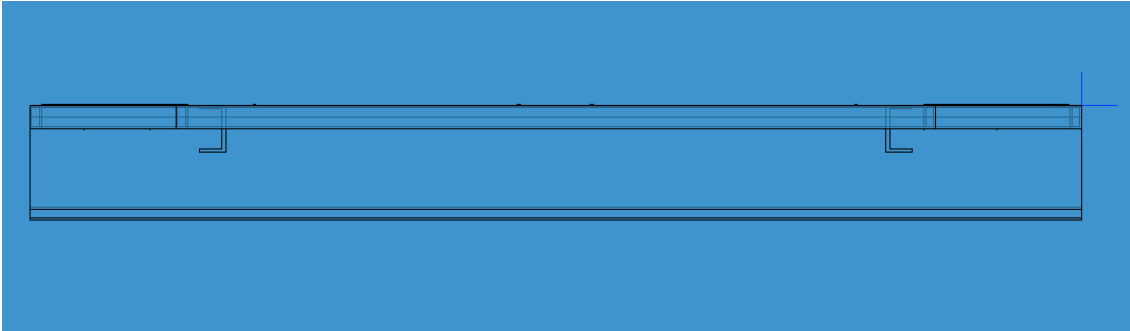


Figura 4-11 Vista frontal Sub-chasis

### 4.1.3 Cabeza de enganche

La cabeza de enganche es el elemento que sirve como nexo de unión entre el remolque y el vehículo tractor que remolca al mismo.

Esta cabeza tiene que estar capacitada para acoplarse con precisión el elemento remolcador, o bola de remolque instalada en el vehículo tractor a la vez de ser capaz de soportar todos los esfuerzos producidos sobre ella en el acto de remolque.

Dicha cabeza de enganche, además, debe proporcionar en el punto de unión la libertad de movimientos deseados, impidiendo así los movimientos en los ejes vertical y longitudinal.

De este modo, se permiten los movimientos de giro y oscilación producidos por las maniobras del conjunto, las irregularidades del terreno, etc.

Existen distintos tipos de elementos remolcadores o bocas de enganche para instalar en el vehículo tractor.

En la figura 4-12 se muestran los diferentes modelos existentes de bolas de remolque según el catálogo de GEPLASMETAL, fabricante de remolques y de elementos para los mismos [13].

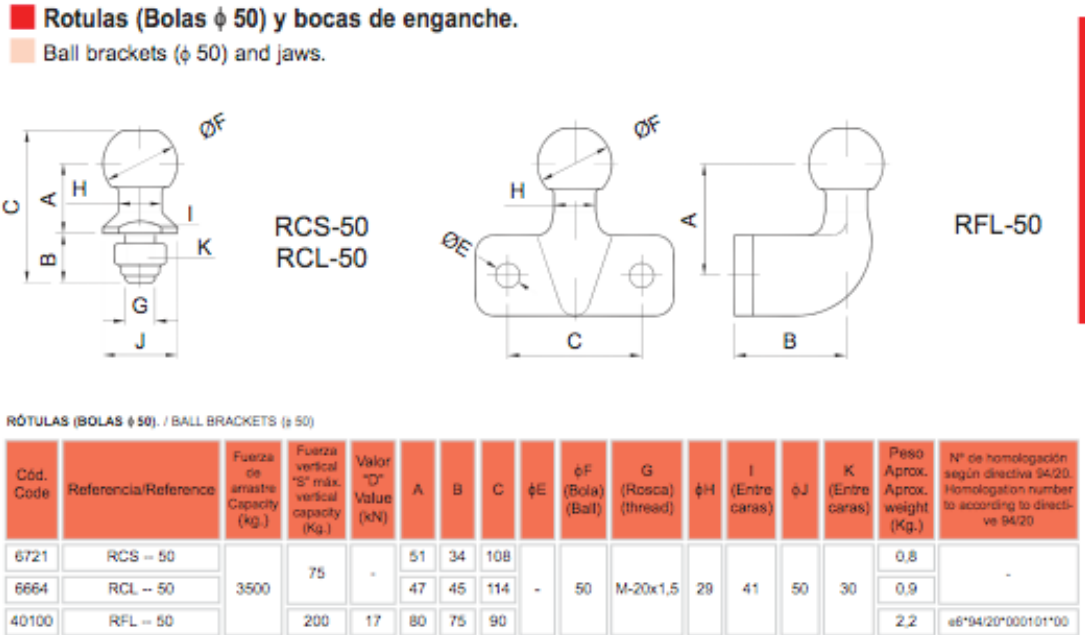
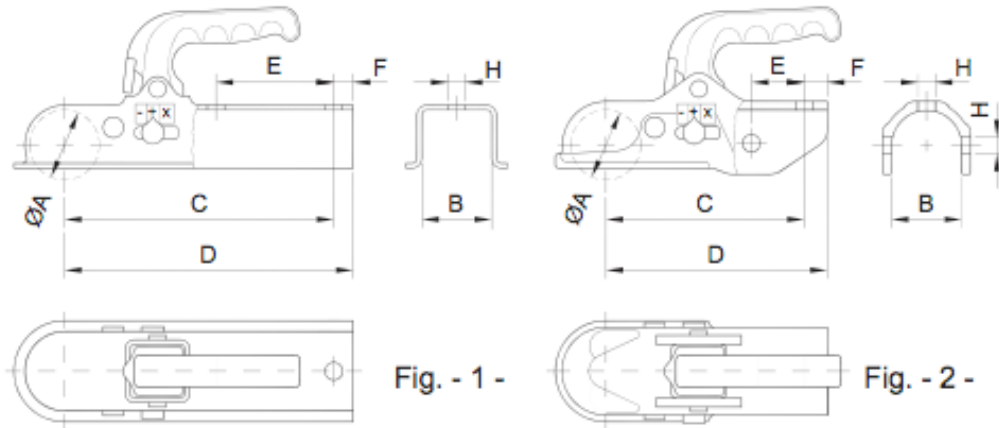


Figura 4-12 Catálogo de bolas de enganche

De los modelos de la figura 4-12, los más comúnmente utilizados son las bolas de enganche correspondientes a las referencias RCS-50 y RF-50 L con un diámetro de bola de 50 mm, de modo que se instala en el remolque una cabeza de enganche apta para este tipo de boca.



CABEZAS DE ENGANCHE "ALBE", / "ALBE" COUPLING HEADS.

Cód. Code	Referencia/Reference		Referencia de origen Original Reference	Fig.	Fuerza de arrastre Capacity (kg.)	Fuerza vertical "S" máx. vertical capacity (Kg.)	Valor "D" Value (kN)	A	B	C	D	E	F	ØH	Peso Aprox. weight (Kg.)	Nº de homologación según directiva 94/20. Homologation number according to directive 94/20
	Tipo Type	Fuerza Capacity														
6729	EM - 800 - C50		EM 80 V/E	1	600	75	7,7	50	51					11	1,2	e1*94/20*000414*01
6733	EM - 800 - C80		EM 80 V/F		1500	100	14,1		81	205	220	90	15			
6739	EM - 1500 - C60		EM 150V/F													
6665	EM - 3500 - R50		EM 350 R/B	2	3500	200	31,0		51	159	177	40	18		2,8	e1*94/20*000380*02

Figura 4-13 Catálogo de cabezas de enganche

Se selecciona un cabezal de enganche de diámetro 50 mm, con una fuerza de arrastre de al menos 750 kg. Además, la longitud B (Figura 4-13) ha de ser de al menos 60 mm ya que el perfil de la lanza del chasis es 60x60 mm. Se selecciona el cabezal de enganche tipo EM-800-C60 (Figura 4-13).

La instalación es hecha mediante uniones de tortillería en el extremo "A" de la lanza del remolque (Figura 4-7).

El motivo de que su instalación sea mediante tortillería es la de permitir la sustitución de la pieza por posibles defectos producidos por el desgaste del uso. Se trata de uno de los elementos del remolque que necesitan mantenimiento aunque éste sea escaso, y durante períodos muy espaciados en el tiempo, o por simple control preventivo de seguridad.

#### 4.1.4 Rueda Jockey

La rueda jockey es un elemento útil, pero no necesario, que es instalado por norma general en remolques. Mejora la calidad de su uso y facilita las maniobras del mismo.

Gracias a este tercer apoyo móvil, se permite dejar cargado el remolque sin necesidad de que éste se encuentre anclado al vehículo tractor.

La rueda empleada es seleccionada del catálogo facilitado por GEPLASMETAL (Figura 4-14) [13].

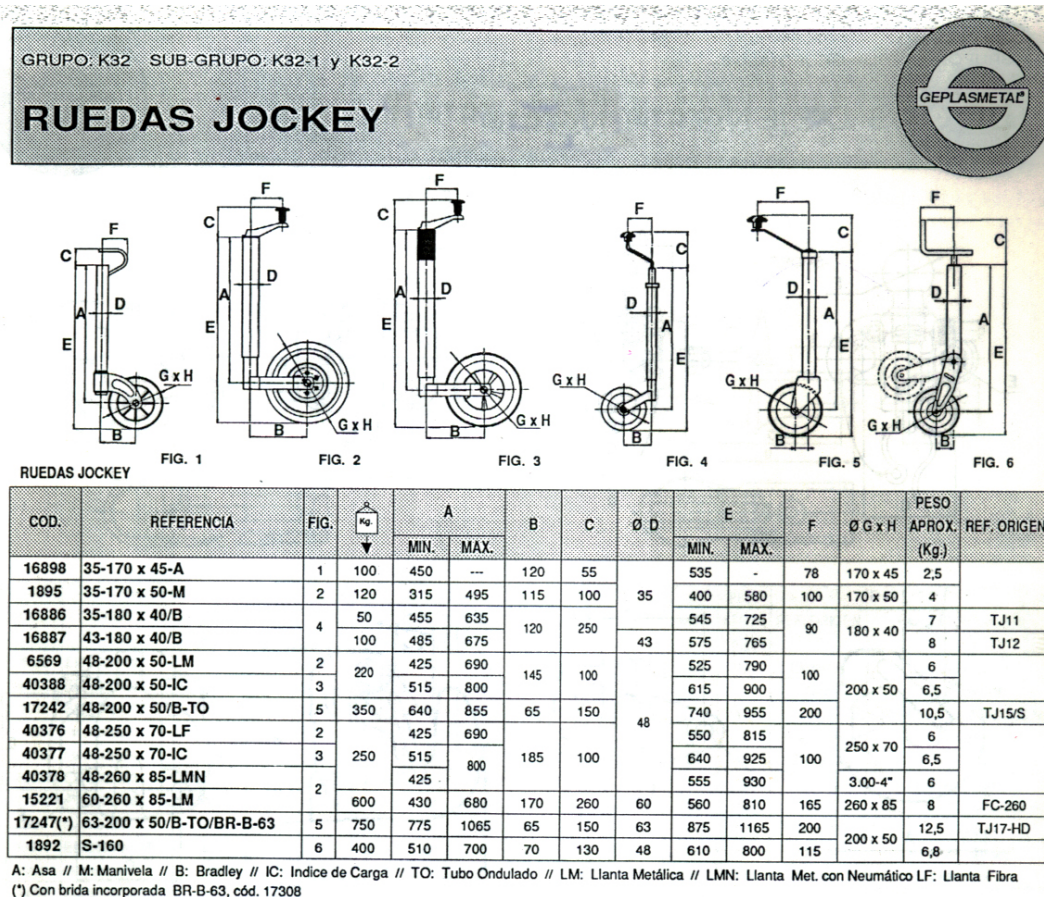


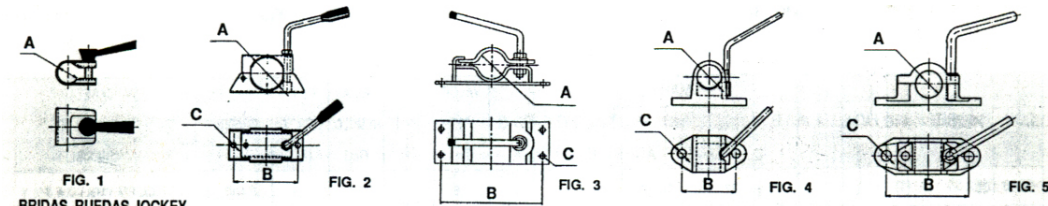
Figura 4-14 Catálogo Rueda Jockey

Del catálogo (Figura 4-14) es seleccionada una RUEDA JOCKEY con REF. 48-250X70-LF.

Esta rueda soporta una carga vertical de 250 kg (suficiente para el remolque estudiado).

Para la instalación de la RUEDA JOCKEY en la lanza del remolque, es necesario la utilización de una BRIDA PARA RUEDA JOCKEY (Figura 4-15).





BRIDAS RUEDAS JOCKEY

COD.	REF.	FIG.	Ø A	Nº AG.	B	Ø C	PESO APROX. (Kg.)	REF. ORIG.	RUEDAS JOCKEY ADMISIBLES
17079	BRF-35	1	35	---	---	---	0,5	---	35-170 x45-A
1899	BR-35	2	48	2	105	10,5	1	---	35-170x50-M
1900	BR-48						1,2		48-200x50-LM//48-200x50-IC//48-250x70//48-250x70-IC//48-260x85-LMN
17042	BR-B-35	4	35	2	101	11	2	P-100	35-180x40/B
16884	BR-B-43	43	2,5				P-200	43-180x40/B	
16883	BR-B-48	5	48				3	P-300	48-200x50/B-TL//48-200x50/B-TO
15254	BR-60	3	60	4	213x55	11	3,3	---	60-260x85-LM
17308	BR-B-63	5	63		171x45	13	3,5	P-400	63-200x50/B-TO

Figura 4-15 Bridas Rueda Jockey

La brida que corresponde a la RUEDA JOCKEY seleccionada es la BRIDA con REF. BR-48 (Figura 4-15), seleccionada del catálogo de GEPLASMETAL [13].

La misión de la misma es la de sujetar la rueda jockey, pudiéndose liberar para que en los trayectos de remolque esté suficientemente separada del pavimento, evitando así que pudiera rozar y con ello deteriorarse rápidamente.

En la figura 4-16 se muestran detalles de una brida para rueda jockey y de una rueda jockey respectivamente.

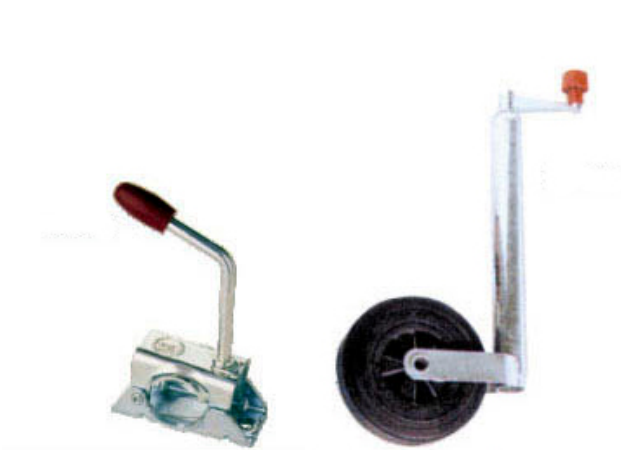


Figura 4-16 Brida y Rueda Jockey

### 4.1.5 Guías

Las Guías son planchas longitudinales colocadas en el remolque con el fin de evitar desplazamientos horizontales de la motocicleta. En ellas se apoya la carga o parte de la carga en caso de transportar una o varias motocicletas. De modo que tiene dimensiones y características muy concretas para llevar a cabo su misión.

Según las características comentadas en el dimensionamiento de chasis (sección 4.1.1) y sub-chasis (sección 4.1.2), las guías han de tener una longitud de 2000 mm.

En el extremo delantero se instala un apoyo (“SOPORTE FRONTAL EN “U”, Figura 4-17) para una de las ruedas de la motocicleta transportada, de manera que ésta queda totalmente impedida en su posible desplazamiento longitudinal, asegurando así la carga.

La instalación de las mismas es realizada mediante uniones remachadas al sub-chasis del remolque. Se trata de un elemento que no necesita mantenimiento y que ha de permanecer anclado de forma segura.

Debido a que el fabricante al que se han comprado el resto de elementos no puede proporcionar guías, se pide a otro fabricante de piezas para remolques, IBERICA DE REMOLQUES S.A. [14].



**CONJ. ACCESORIOS MOTOS**

2CJCQUADS	RAMPA DE SUBIDA MOTOS QUADS
2CJCQUADS1N	RAMPA TRASERA TUBULAR
2CJMR1225	RAMPA SUBIDA MOTOS (1250x310) MOTOS-2/3
2CJMR2025	CARRIL MOTOS Con Taco 2000x330
4ES250	ESLINGA 2,5m TENSOR AZUL
4ES500	ESLINGA 5m TENSOR AZUL
CAJONMO1	CAJON REMOLQUE MOTOS-1/TRIAL
CAJONMO2	CAJON REMOLQUE MOTOS-2/3
CAJONMQUADS	CAJON REMOLQUE MOTOS-3E/3C/QUADS
TACOMOTOS	TACOS DE MOTOS

Figura 4-17 Accesorios remolque

Es seleccionado el conjunto de elementos con referencia 2CJMR2025, soporte frontal en "U" incluido (Figura 4-17). Tiene una longitud de 2000 mm, que coincide exactamente con la longitud necesaria.

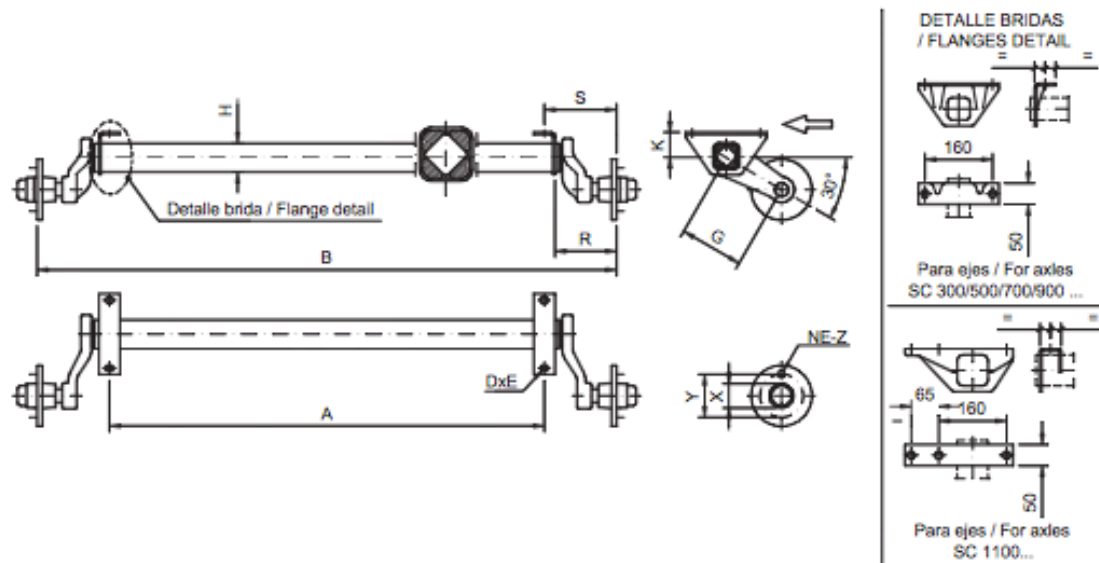


### 4.1.6 Eje

Se trata de uno de los elementos de mayor importancia a la hora de dimensionar dado que es el lugar donde confluyen el mayor número de esfuerzos del conjunto. Es el elemento encargado de soportar casi todo el peso (ayudado en parte por el punto de conexión entre remolque y vehículo tractor).

Con el fin de mejorar el funcionamiento del remolque se decide instalar en el mismo un eje con suspensión de caucho, encargada de absorber algunas de las irregularidades del terreno, proporcionando estabilidad y comodidad en los trayectos.

Como en el caso de otros componentes empleados en la fabricación del remolque, se selecciona un eje del catálogo de GEPLASMETAL (Figura 4-18) [13].



Cód. Code	Referencia/Reference							Desplazamiento necesario de la rueda Recommended wheel offset Min./Max.(mm.)	Dimensiones/Dimensions				Peso Aprox. Approx. weight (Kg.)	
	Tipo Type	M.M.T.A.	At. W.F.	G	K	A	B		H	D x E	R	S x 2		Ataque Wheel fixing X x Y/NE-Z
43562	SC	300	058	/145	/060	/950	/1190	0	53	13X17	95	240	58x98/4-M12 Asiento Cónico 60°	14,10
40303	SC	300	058	/145	/060	/1000	/1270				110	270		14,40
40847	SC	500	058	/145	/060	/950	/1220				150	350		18,60
43527	SC	500	058	/145	/060	/950	/1300				110	270		19,00
40306	SC	500	058	/145	/060	/1000	/1270				150	350		18,80
42734	SC	500	058	/145	/060	/1000	/1350				110	270		19,20
43820	SC	500	058	/145	/060	/1050	/1320				110	270		19,10
44893	SC	500	058	/145	/060	/1100	/1450				150	350		19,60
40309	SC	700	058	/145	/060	/1000	/1350				150	350		21,00
43528	SC	700	058	/145	/060	/1050	/1400				150	350		21,10
40849	SC	700	058	/145	/060	/1100	/1450				150	350		21,20
42000	SC	700	058	/145	/060	/1150	/1500				150	350		21,40
43440	SC	700	058	/145	/060	/1200	/1550				150	350		21,70
45391	SC	700	058	/145	/060	/1250	/1600	150	350	22,00				
44409	SC	700	058	/145	/060	/1450	/1800	150	350	22,60				
40318	SC	900	058	/145	/060	/1000	/1370	+ 15 / +30	67	180	370	28,10		
44498	SC	900	058	/145	/060	/1050	/1420					28,20		
45354	SC	900	058	/145	/060	/1100	/1470					29,80		
41744	SC	900	058	/145	/060	/1150	/1520					28,90		
44434	SC	900	058	/145	/060	/1200	/1570					30,20		
45451	SC	900	058	/145	/060	/1250	/1620					30,50		
44802	SC	900	058	/145	/060	/1450	/1820					31,50		
45629	SC	900	058	/145	/060	/1500	/1870					31,90		
45247	SC	1100	058	/160	/052	/1250	/1690					41,40		
45812	SC	1100	058	/160	/052	/1600	/2040					45,00		
								+ 20 / +30	73	φ18	195	440		

Figura 4-18 Ejes con suspensión de caucho

Teniendo en cuenta que un remolque ligero acepta una MMA de 750 kg, es suficiente con escoger uno de los ejes capaz de soportar una PMA de 900 kg (Figura 4-18).



Dentro del conjunto de ejes que cumplen estas características, se selecciona uno que no exceda el ancho del sub-chasis anteriormente dimensionado (sección 4.1.1), más el ancho de los guardabarros que a más adelante se seleccionan (sección 4.1.8).

El eje seleccionado del catálogo es el correspondiente a la referencia SC-900-058/145/052/1450/1820 (Figura 4-18). Unido al chasis del remolque mediante tortillería.

Esta elección establece que el ancho del chasis al que va unido es de 1450 mm para permitir la correcta colocación del eje.

Como se comenta anteriormente, se trata de un eje con un sistema de suspensión de caucho. Consiste en un conjunto de dos tubos, uno con forma de cruz alojado en el interior del otro de sección cuadrada, con caucho inyectado en los huecos existentes.

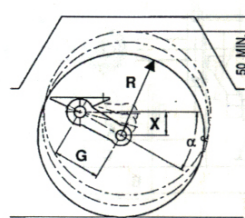
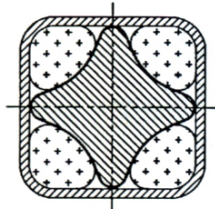
Gracias a este caucho, se absorben los esfuerzos torsores producidos por la carga, las ruedas, y las irregularidades del terreno entre otros, de la forma que se explica a continuación (Figura 4-19).

GRUPO: K10 SUB-GRUPO: K10-1A

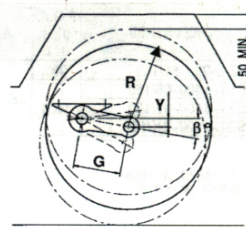
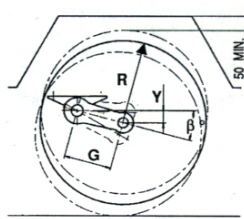
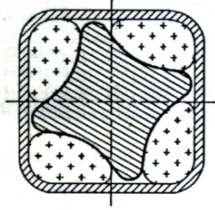
**INFORMACION TECNICA , SUSPENSION DE CAUCHO  
DESPLAZAMIENTO DE BRAZOS Y RUEDAS**



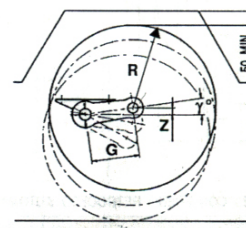
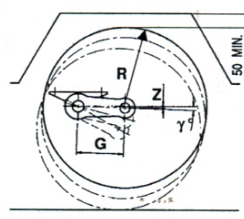
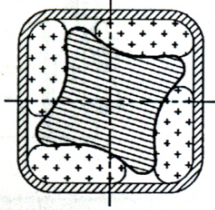
POSICION EN VACIO



POSICION BAJO P.M.A. ESTATICO



POSICION BAJO DOBLE P.M.A. DINAMICO



PARA COTA "G" = 100 / 130 / 145

PARA COTA "G" = 160 / 200

BRAZO (Cota G)	$\alpha^\circ$	X (mm)	$\beta^\circ$	Y (mm)	$\gamma^\circ$	Z (mm)	R
100	30°	50	15°	26	2°	3	EN FUNCION DEL RADIO DEL NEUMATICO
130	30°	65	15°	34	2°	4	
145	30°	72	15°	38	2°	5	
160	30°	80	10°	28	8°	- 22	
200	30°	100	10°	36	8°	- 28	

Figura 4-19 Detalle funcionamiento eje

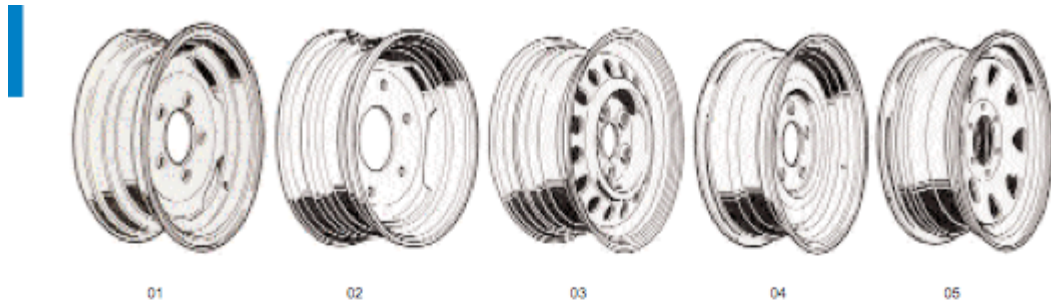
### 4.1.7 Conjunto neumático

En primer lugar, es necesario especificar que se entiende por neumático al conjunto de la rueda, llanta y aire interior.

Por motivos de seguridad y para facilitar la reparación de neumáticos en caso de pinchazo se selecciona un tipo de neumático tipo tubeless, sin cámara interior.

Ya que el remolque está pensado para el transporte de carga considerable y sobre todo transporte en carretera, se decide instalar neumáticos de 13", que proporcionan mayor estabilidad a altas velocidades.

El neumático que se escoge para el conjunto remolque es el correspondiente con la referencia K-13-S-1651-S-1 (Figura 4-20). Este neumático soporta una carga vertical a más de 40 km/h de 450 kg.



RUEDAS CON LLANTA DE BASE HONDE "BH" / WHEELS WITH "BH" DEEP BASE RIM.

COD.	Ref. de origen Original Ref.	00	+	V= Km/h	Kg				Kg			
					25	30	40	> 40				
1959	3.50B x 10"	K 10 S 1100 S 1	05	04/58.5x98x15.5-E16	+5	5	680	650	570	400	3,38	
2134	3.00B x 12"	K 12 N 002	01	05/94x140x18.5-E1	2,5	3,5	630	600	530		3,5	
710		K 12 S 225									3,7	
5701	4.00B x 12"	K 12 S 1451	01	04/58.5x98x15.5-E16	0	3	1050	1000	890		4	
717	4.25 x 12"	K 12 S 001									5,6	
720	7.00 x 12"	K 12 S 007									7,5	
1894	4J x 13"	K 13 N 002	03	04/58.5x98x15.5-E16	+30	2,5	3,5	630	600	530		5,1
2136		K 13 S 1651 S 1										5,9
1550	4 <sup>1/2</sup> J x 13"	K 13 N 004	01	05/94x140x18.5-E1	0	2,5	3,5	840	800	710		4,9
1403		K 13 S 1641 S 1										6,2
14889	5J x 14" CAR	K 14 S 2850 S 1	04	05/94x140x18.5-E1	0	3	5	1450	1400	1200	850	8
5321	5J x 14"	K 14 N 003										
13777	5 <sup>1/2</sup> J x 14"	K 14 S 2060 S 1	03	04/58.5x98x15.5-E16	+30	2,5	3,9	940	900	800	650	8
14256		K 14 S 2170 S 1										
15950	6J x 14" CAR	K 14 S 2040 S 1	02	06/161x205x21.5-B2	-5	4	8	2350	2250	2000	1250	11,2
11503	4J x 15"	K 15 N 002	01	05/94x140x18.5-E1	0	2,5	3,5	840	800	710		6
14867	5J x 15" CAR	K 15 S 7380 S 1	04									
14418	6J x 15"	K 15 N 0041	01	06/100x139.7x15-EB0 <sup>9</sup>	+25	3	6	1260	1200	1070		9,5
18801		K 15 S 6750 S 1	03									
6192	7J x 15"	K 15 N 005	01	05/94x140x18.5-E1	0	3	5	1260	1200	1070		9,5
5694		K 15 N 006										
13354	8W x 15"	K 15 N 008	01	06/161x205x21.5-E2	0	3,5	5	1470	1400	1240		11

Figura 4-20 Características conjunto neumático



De este neumático se adquieren tres unidades. Dos de las cuales se instalan mediante tortillería al eje del remolque, y uno más que es colocado de forma auxiliar en la lanza con una brida, cuya función es de rueda de repuesto.

### 4.1.8 Guardabarros

La misión de los guardabarros es la de proteger al propio remolque, a la carga y a los demás vehículos de salpicaduras producidas por la rodadura de los neumáticos en el firme. Se trata de uno de los elementos más sencillos del conjunto.

Ya que sólo se ve sometido a la fuerza producida por el viento y su peso propio, generalmente se fabrica de PVC o por estética en chapa galvanizada.

En el remolque a estudiar se monta uno de chapa que va unido al sub-chasis del remolque mediante tortillería.

Este guardabarros se solicita a IBERICA DE REMOLQUES S.A. (Figura 4-21) [14].

**2.8.- ALETAS**

ALETAS 1 EJE IBERICA	
ALIR10	ALETA 10" 1E IR GALVANIZADA
ALIR10MA	ALETA 10" 1E IR GALVANIZADA SIMETRICA
ALIR13	ALETA 13" 1E IR GALVANIZADA (155)
ALIR131651	ALETA 13" 1E IR GALVANIZADA (175)
ALIR13MA	ALETA 13" 1E IR GALVANIZADA SIMETRICA
ALIR14	ALETA 14" 1E IR GALVANIZADA
ALIR14N	ALETA 14" 1E IR GALVANIZADA SIMETRICA
ALIR15	ALETA 15" 1E IR GALVANIZADA
ALIR16	ALETA 16" 1E IR GALVANIZADA
ALIR8	ALETA 8" 1E IR GALVANIZADA



Figura 4-21 Catálogo guardabarros

Para el tamaño de neumático escogido anteriormente, la aleta o guardabarros más apropiado es el correspondiente a la REF. ALIR13 (Figura 4-21), para remolques con neumáticos de 13" y un ancho inferior a 155 mm. Este modelo de guardabarros se fabrica en chapa de acero galvanizado.

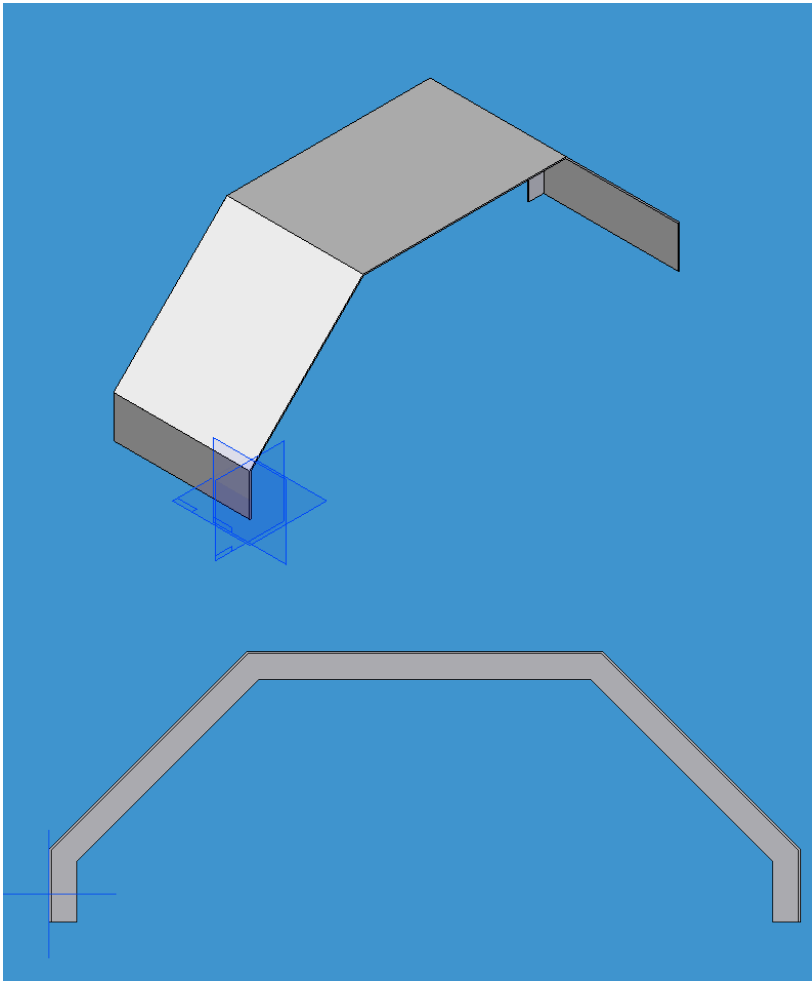


Figura 4-22 Reproducción guardabarros seleccionado

#### 4.1.9 Sistema de iluminación

Se trata de grupos completos con todas las luces necesarias incorporadas, junto con el cableado y el enganche heptapolar específico que se utiliza para conectar las luces al vehículo tractor.

Se opta por la instalación de un sistema de iluminación que esté incluido directamente en la placa porta matrículas, elemento que se atornilla al sub-chasis del remolque.

Se selecciona una de las existentes en el catálogo de IBERICA DE REMOLQUES S.A. (Figura 4-23) [14]. Sus características y dimensiones se ajustan a las necesidades.



Figura 4-23 Instalación eléctrica

La seleccionada es la correspondiente a la REF. PAA 1800 (Figura 4-23), con un ancho de 1800 mm.

Esta placa porta matrículas viene provista de dos faros completos, en los que se incluyen todas las luces necesarias para su correcta homologación. Además de llevar incorporados el conjunto los triángulos reflectantes de posición.

Este conjunto se instala en la placa corresponde con la parte "E" del sub-chasis en la figura 4-8.

### 4.1.10 Otros elementos

Existen otros elementos que en muchos remolque se venden a parte como accesorios. En el remolque diseñado se incluyen algunos de ellos dado su importancia para una correcta utilización del mismo.

#### 4.1.10.1 Rueda de repuesto

Como se ha mencionado en el apartado destinado a los neumáticos del conjunto, se selecciona para la rodadura del mismo unos neumáticos de la serie de GEPLASMETAL, con referencia K-13-S-1651-S-1 (Figura 4-20).

Si para la rodadura del remolque se han seleccionado estos neumáticos, para la función de rueda de repuesto se escoge uno de idénticas características, que es colocado mediante una brida metálica en la lanza, para que tenga un fácil acceso sin que su colocación dificulte o estorbe en el uso del remolque.

#### 4.1.10.2 Rampa de subida

Para facilitar la subida de las motocicletas al remolque, se coloca en éste una rampa de subida, sujeta con un tornillo apto para ser desatornillado a mano.

La rampa tiene las mismas características mecánicas y de diseño que las guías de sujeción colocadas en el sub-chasis para sujetar las motocicletas.

IBERICA DE REMOLQUES S.A. proporciona esta pieza de su catálogo de accesorios para remolques. REF. 2CJMR1225 (Figura 4-17).

#### 4.1.10.3 Ganchos de anclaje

La sujeción de las motocicletas al remolque se hace mediante correas especiales destinadas a tal efecto. Dichas correas hay que anclarlas en puntos del remolque destinados a este fin. Y para que la correa quede sujeta e inmóvil en el punto deseado se instalan en el remolque asas proporcionadas por IBÉRICA DE REMOLQUES S.A. (Figura 4-24) [14]. Los asas seleccionados para atar las motocicletas son los nombrados con referencia ASA3.



Figura 4-24 Elementos de soporte del remolque

## 4.2 Materiales

El material en que se va a fabricar el remolque ha de reunir ciertas características que se enumeran a continuación.

1. Se debe escoger un material que cumpla estrictamente las características necesarias citadas con anterioridad respecto a su diseño.
2. Es imprescindible tener en cuenta el uso al que se va a destinar el remolque. Dado que va a ser un elemento con uso de carga, y su utilización es en el exterior, se necesita un material de buenas características frente a corrosión, para que sus propiedades no se vean afectadas.
3. Bajo precio. Para no encarecer de manera excesiva el precio del remolque, se descarta la utilización de materiales de altas prestaciones que cumplirían todas las exigencias menos esta.

La mejor elección es el empleo de un acero galvanizado en caliente con Zinc (Figura 4-25). Se trata del proceso más común a la hora de galvanizar un acero.

Este proceso proporciona al material las características de resistencia mecánica del acero y la resistencia a la corrosión del Zinc y consiste en la inmersión en un crisol de zinc fundido a 450 °C de piezas terminadas de acero. Su principal objetivo es evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre el material sin tratar.



Figura 4-25 Muestra de acero galvanizado en caliente [15]

Las propiedades del acero galvanizado con Zinc empleado son las mostradas en la tabla 2.

**Tabla 2** Propiedades del acero galvanizado

Módulo elástico	2.0e+011 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29
Densidad	7870 kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	356,901 MPa
Límite elástico	203,943 MPa

## 5 ANÁLISIS DE REMOLQUE LIGERO

Para el análisis y comprobación del correcto dimensionamiento del remolque diseñado, se opta por la utilización del software de simulación SolidWorks.

Se trata de un programa de simulación y estudio mediante el método de elementos finitos, que tras un cálculo interno nos facilita con datos numéricos y representaciones gráficas el entendimiento de lo sucedido en la estructura.

Las propiedades de la estructura diseñada y que se analiza en los siguientes puntos se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3** Propiedades estructura

Peso	92,65 kg
Volumen	11.580,7 cm <sup>3</sup>
Área de superficie	73.443,9 cm <sup>2</sup>

Las propiedades del acero galvanizado con Zinc, material seleccionado para la fabricación de la estructura del remolque, se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4** Propiedades acero galvanizado

Módulo elástico	2,0e+011 N/m <sup>2</sup>
Módulo de Poisson	0,29
Límite elástico	203,943 MPa
Límite de tracción	356,901 MPa
Densidad	7870 kg/m <sup>3</sup>

Con el fin de realizar un estudio completo, se analiza el comportamiento de la estructura en diferentes situaciones, tanto de carga, como de situaciones extremas.

Para facilitar los cálculos, se muestra la figura 5-1 del alzado del remolque enumerando las guías y apoyos del mismo.

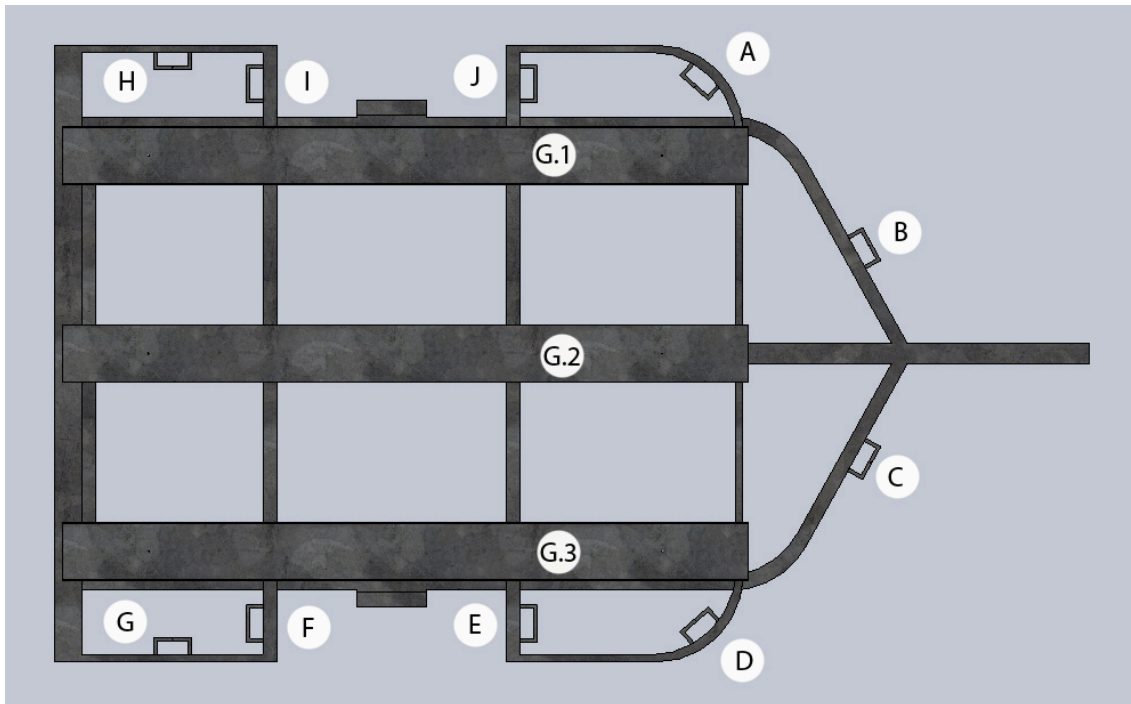


Figura 5-1 Enumeración partes remolque

De ahora en adelante, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del remolque en la situación más extrema, se incrementa el peso de cada motocicleta en un 50% del valor máximo, siendo el peso de cada motocicleta igual a 300 kg. Con este incremento se simula la posibilidad de que una persona de 100 kg esté subida en el remolque junto a cada motocicleta.

Los pesos de cada motocicleta más ocupante se reparten en su correspondiente guía provocando cargas puntuales e iguales a la mitad del peso total por motocicleta (300 kg) en el punto de apoyo de cada una de las ruedas. Es decir, 150 kg por eje separados 1500 mm.

Se analizan siete supuestos de carga:

1. Una motocicleta en guía central
2. Una motocicleta en guía izquierda
3. Una motocicleta en guía derecha
4. Dos motocicletas en guías opuestas
5. Dos motocicletas sitas a la izquierda
6. Dos motocicletas sitas a la derecha
7. Tres motocicletas



A su vez, en cada uno de estos supuestos de carga se analizan diferentes situaciones que se detallan más adelante.

El factor de seguridad mínimo para todos los estudios y que hace que se considere correcto el análisis es de 1,5. En caso de obtener un factor de seguridad menor se solucionará el problema corrigiendo posibles errores o realizando modificaciones estructurales.

Este coeficiente o factor podría muy bien llamarse de *inseguridad* o de *ignorancia* debido a la función que cumple cuando se tienen en cuenta las tensiones admisibles en los materiales y se igualan a las tensiones de cálculo. Es un número adimensional generalmente comprendido, en sus valores más extremos, entre 1 y 15, cuando se calcula bajo criterios estáticos. El valor depende de la forma de aplicación de las cargas y del tipo de fallo elegido en el material y que puede estar basado en el fallo por fluencia o por el fallo por rotura [16].

### 5.1 Una moto en guía central

En la primera suposición de carga, el remolque tiene que soportar el efecto provocado por el peso de una sola motocicleta. Ésta se dispone en el lugar más idóneo para su transporte, guía central del remolque (G.2, Figura 5-1).

#### 5.1.1 Cálculos previos

Para obtener unos resultados lo más aproximados a la realidad posibles, se comienza calculando las fuerzas en ejes X, Y, Z provocadas por las tensiones de las correas en las asas de atar cuando están sujetando las motocicletas.

Cada motocicleta se ata con dos correas. Cada una de ellas se coloca por un extremo en un lado del manillar y se lleva hasta la correspondiente asa del remolque en el otro extremo.

La tensión de cada correa cuando se encuentra en su punto de máxima tensión sujetando su correspondiente motocicleta es de 200 N.

Las figuras 5-2 y 5-3 muestran esquemas de la vista frontal y lateral respectivamente, de una motocicleta colocada en la guía central del remolque. Los

elementos de color rojo simulan las correas atadas por un lado al manillar y por otro a su correspondiente asa en el remolque.

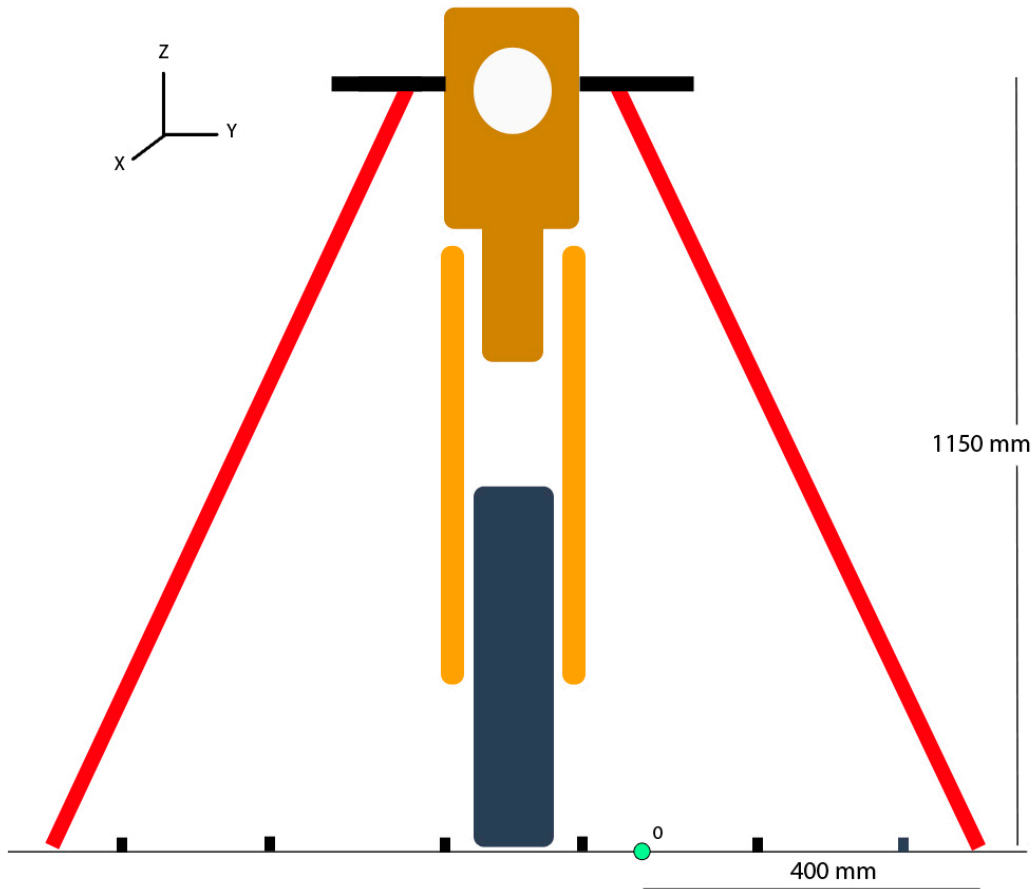


Figura 5-2 Vista frontal motocicleta cargada guía central

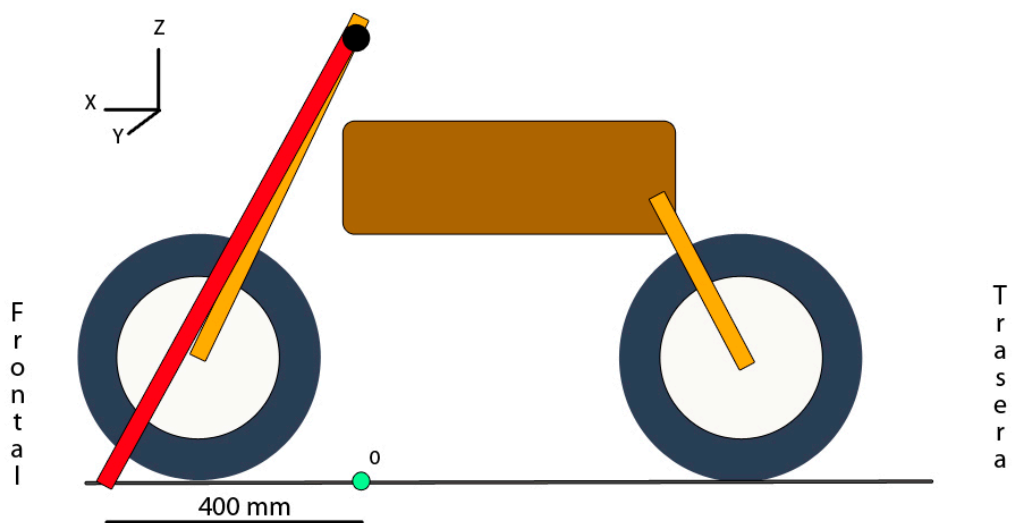


Figura 5-3 Vista lateral motocicleta cargada guía central

En este caso, ambas correas son simétricas. No es necesario realizar las descomposiciones de ambas correas ya que tan solo cambian los sentidos de algunas de sus fuerzas.

Se descompone la tensión de 200 N provocada por la correa derecha desde la vista frontal del remolque. Esta correa se ata al asa "A" (Figura 5-1).

La figura 5-4 detalla la tensión provocada por la correa en el asa "A" y las resultantes en ejes X, Y, Z.

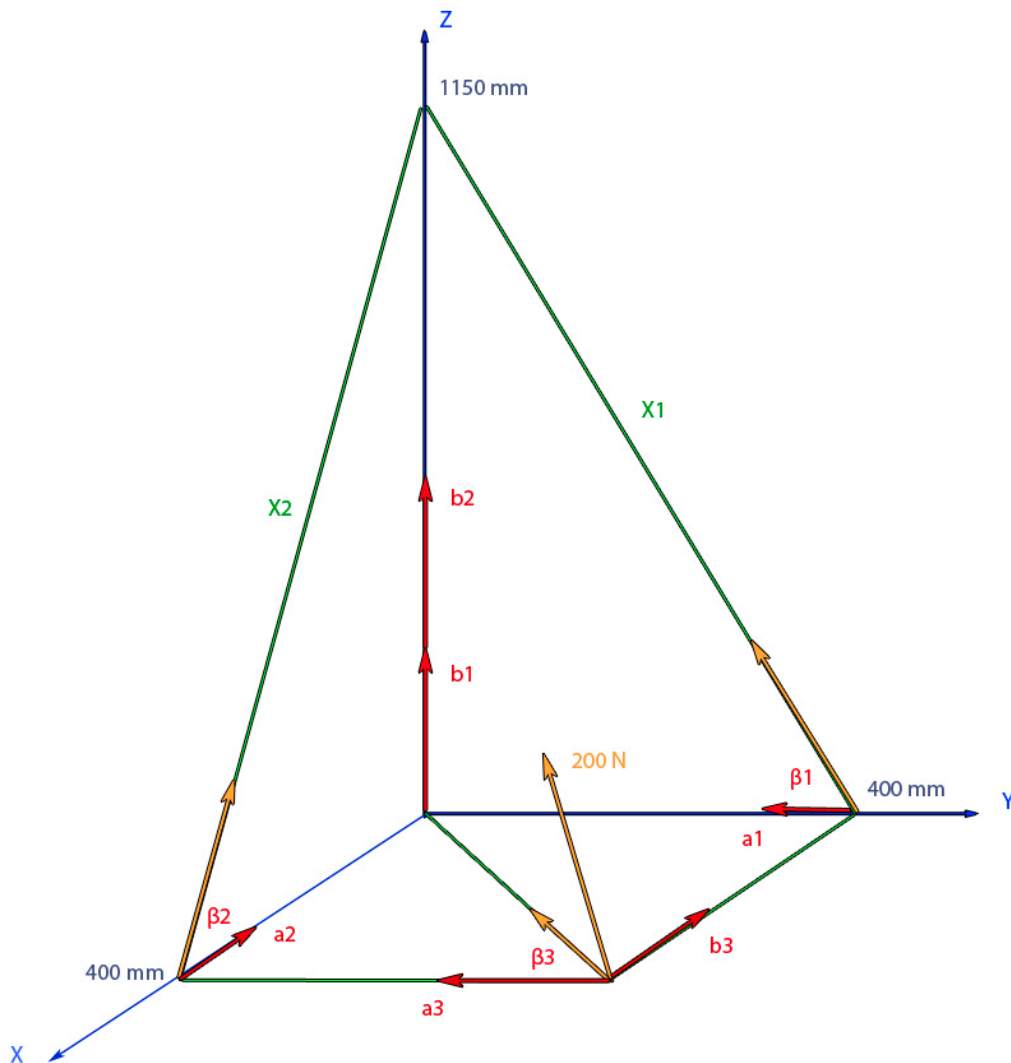


Figura 5-4 Descomposición de fuerzas una moto en guía central

La tabla 5 muestra las variables y datos de cálculo necesarios para el estudio y que se irán utilizando a lo largo de éste.

**Tabla 5 Variables y datos de cálculo**

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	400 mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	400 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano X-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Y	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$

La tangente de un ángulo es el cociente entre las distancias opuestas y contigua a éste. Para  $\beta_1$  y  $\beta_2$  respectivamente, son iguales a:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{400}$$

Despejando de esta ecuación  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , se obtiene que estas dos tiene el mismo valor e igual a:

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta = 70,82^\circ$$

Descomponiendo con estos ángulos la tensión de 200N en planos Y-Z, X-Z, se obtienen los valores de  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  (Figura 5-4):

$$a_1 = a_2 = \cos\beta \cdot 200 = 65,71 \text{ N}$$

$$b_1 = b_2 = \operatorname{sen}\beta \cdot 200 = 188,89 \text{ N}$$

Del mismo modo, en el plano X-Y (Figura 5-4):

$$\beta_3 = 45^\circ$$

$$a_3 = \operatorname{sen}45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

$$b_3 = \operatorname{cos}45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

Con todos estos resultados, se calculan las resultantes en ejes X, Y, Z provocadas por la tensión de cada correa.

Por un lado, para la correa derecha atada en el apoyo "A" (Figura 5-1):

$$\sum F_x = -a_2 - b_3 = -207,13 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -a_3 - a_1 = -207,13 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 377,78 \text{ N}$$

Por otro, para la correa izquierda atada en el apoyo "D" (Figura 5-1):

$$\sum F_x = -a_2 - b_3 = -207,13 \text{ N}$$

$$\sum F_y = a_3 + a_1 = 207,13 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 377,78 \text{ N}$$

### 5.1.2 Carga de una motocicleta

Como se comentó con anterioridad, se incrementa el peso de cada motocicleta en un 50%. En este supuesto de carga, el remolque se ve sometido a la acción de una motocicleta cargada en la guía central.

La figura 5-5 representa las cargas a las que se ve sometido el remolque. Los elementos de color morado simulan las cargas. Las que se muestran sobre la guía son las cargas provocadas por la motocicleta transportada, divididas al 50% en el eje delantero y trasero. Las que se dividen en los tres ejes en las asas para atar las motocicletas, son las correspondientes a las correas y que anteriormente fueron explicadas.

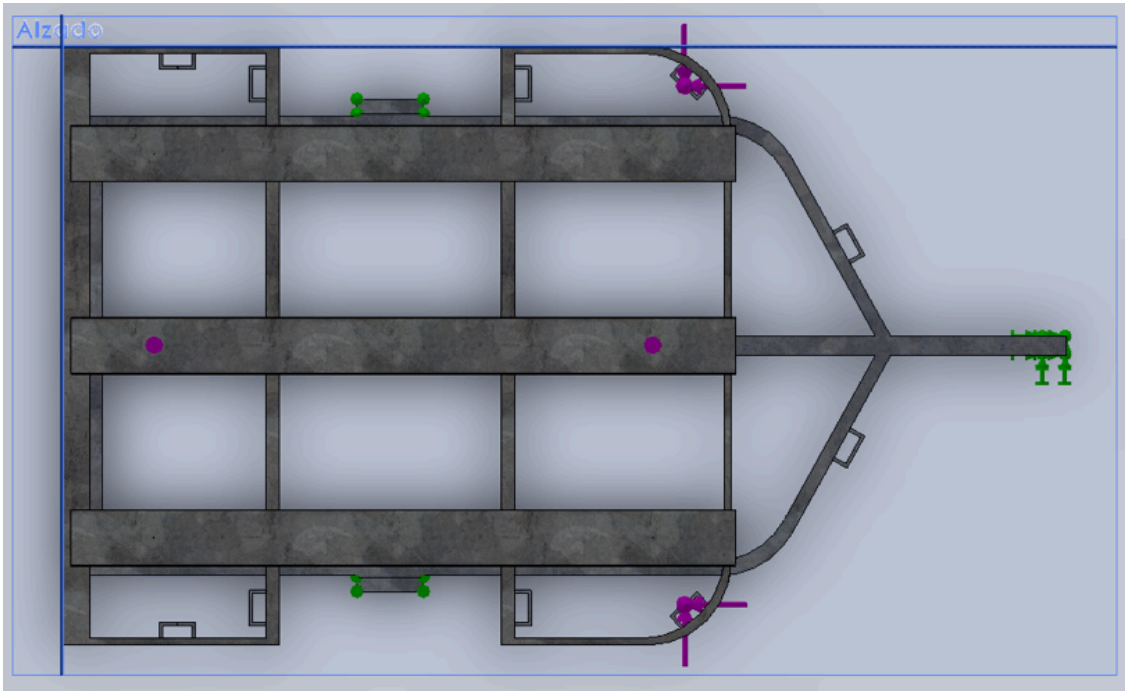


Figura 5-5 Distribución de cargas una moto en guía central

La figura 5-6 muestra las tensiones de Von Mises en el remolque provocadas por la carga de una motocicleta en la guía central.

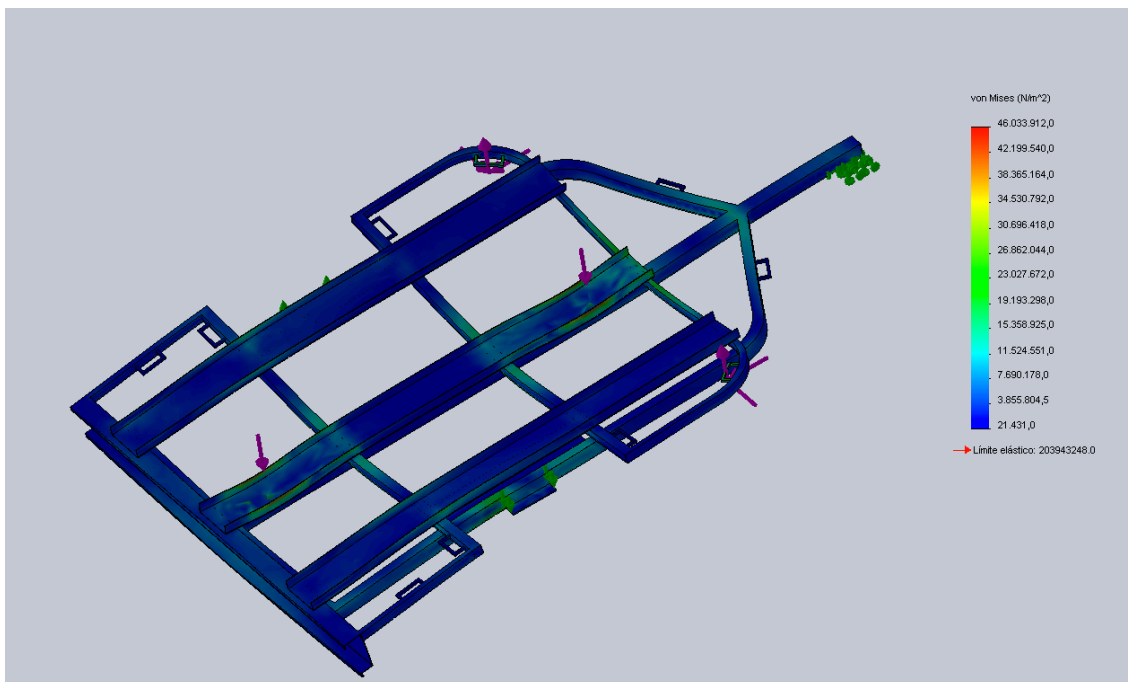


Figura 5-6 Von Mises carga una moto en guía central

La máxima tensión en el remolque es de 46,03 MPa mientras que el límite elástico proporcionado por las características del material es de 203,6 MPa.

Con estos datos se determina el factor de seguridad, siendo éste el cociente entre el límite elástico y la máxima tensión de Von Mises en el remolque.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{4,603 \cdot 10^7} = 4,2$$

El factor de seguridad es mucho mayor que 1,5. Se trata del estudio menos desfavorable por tanto no se considera ilógico este resultado.

La figura 5-7 muestra los desplazamientos que se dan en la pieza. Estos desplazamientos son muy pequeños con respecto a la distancia entre el punto más desplazado de la pieza y el suelo.

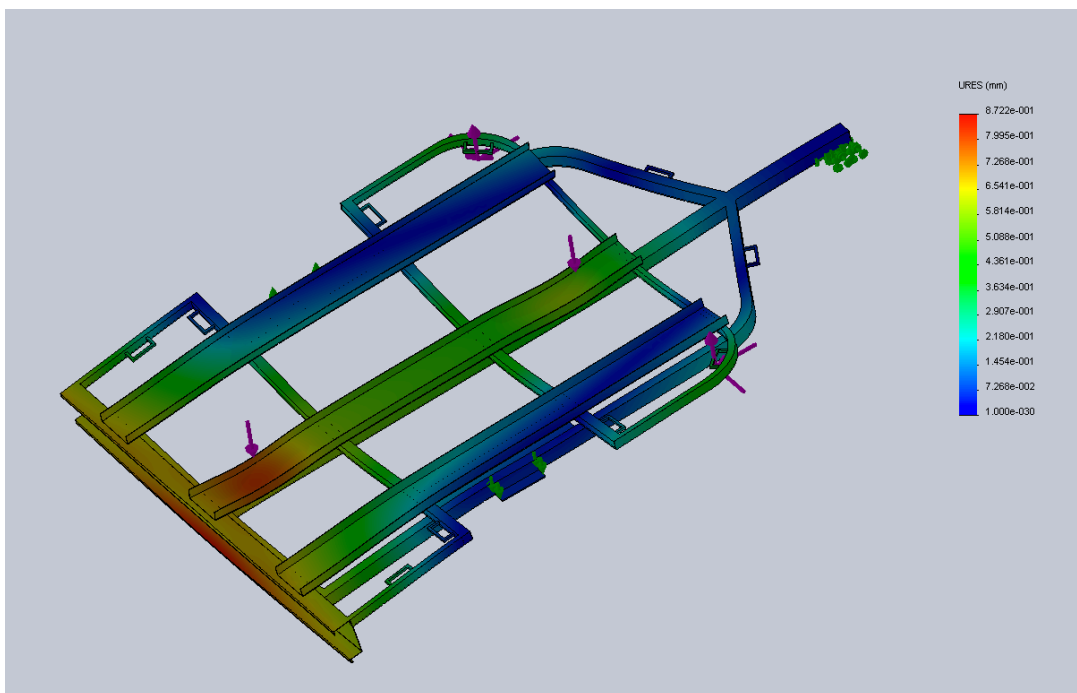


Figura 5-7 Desplazamientos una moto en guía central

### 5.1.3 Cálculos previos aceleración y frenada

Antes de comenzar con el análisis del remolque ante los casos en que el vehículo tractor realice una aceleración brusca o un frenada de emergencia, es necesario llevar a cabo unos cálculos previos que sirven para todos los estudios que de ahora en adelante se realizan.

Para este análisis, se selecciona un vehículo de gama media-alta para el cual las exigencias del remolque sean mayores.

El vehículo seleccionado para llevar a cabo todos los cálculos es un BMW 530 d, con una potencia de 218 Cv [17].

Las distancias y tiempos de frenado con calzada seca del vehículo empleado para el estudio, se muestran en la Tabla 6 [18].

**Tabla 6** Tiempos y distancias de frenado

Velocidad inicial (km/h)	Distancia (m)	Tiempo (s)
60	14.1	1.72
100	39.1	2.29
120	56.1	3.40
140	75.7	3.95

Puesto que la velocidad máxima con la que se puede circular en autopista con un remolque ligero es 90 km/h [20], utilizamos los datos correspondientes a 100 km/h. De este modo se asegura la fiabilidad del remolque a la velocidad máxima permitida.

El peso total del remolque cargado es igual a la suma entre el peso propio del mismo más el peso de las motocicletas transportadas.

Se presentan tres casos:

1. En el primer caso, el remolque está cargado con sólo una motocicleta. El peso total con el que es cargado el remolque en esta situación es:

$$P_{\text{Total}} = (150 + 300) \cdot 9,81 = 4414,5 \text{ N}$$

2. En el segundo caso, el remolque se carga con dos motocicletas. La carga a la que se ve sometido es:

$$P_{\text{Total}} = (150 + 600) \cdot 9,81 = 7357,5 \text{ N}$$

3. Por último, el remolque se carga con tres motocicletas soportando una carga total de:

$$P_{\text{Total}} = (150 + 900) \cdot 9,81 = 10.300,5 \text{ N}$$



Seguidamente se calcula la fuerza necesaria para detener el remolque en 2,29 s a lo largo de 39,1 m correspondientes a 100 km/h (Tabla 6).

La Tabla 7 determina todas las variables que se emplean para obtener las fuerzas necesarias para detener el vehículo en el tiempo y espacio determinados [19].

Tabla 7 Variables de cálculo

Término	Definición	Unidades
D	Distancia	m
a	Aceleración	m/s <sup>2</sup>
t	Tiempo	s
F	Fuerza	N
m	Masa	kg
g	Aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>
P	Peso	N

Con la ecuación de posición para un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) y sabiendo que  $v_0$  y  $x_0$  son iguales a 0:

$$D = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$$

Sabiendo que fuerza es igual a masa multiplicada por aceleración:

$$F = m \cdot a$$

Se despeja de la definición de Fuerza la aceleración:

$$a = \frac{F \cdot g}{P}$$

Sustituyendo la ecuación de la aceleración en la ecuación de un MRUA se obtiene:

$$D = \frac{F \cdot g \cdot t^2}{2 \cdot P}$$

De la última expresión de D se despeja F:

$$F = \frac{2 \cdot P \cdot D}{g \cdot t^2}$$

En la tabla 8 se calculan las fuerzas necesarias para detener el remolque en caso de estar cargado con una, dos o tres motocicletas respectivamente.

**Tabla 8** Fuerzas para detener remolque en función del número de motocicletas

NÚMERO DE MOTOCICLETAS	FUERZA
1 Motocicleta	$F = \frac{2 \cdot 4414,5 \cdot 39,1}{9,81 \cdot 2,29^2} = 6.710,4\text{N}$
2 Motocicletas	$F = \frac{2 \cdot 7357,5 \cdot 39,1}{9,81 \cdot 2,29^2} = 11184\text{N}$
3 Motocicletas	$F = \frac{2 \cdot 10300,5 \cdot 39,1}{9,81 \cdot 2,29^2} = 15657,6\text{N}$

### 5.1.4 Aceleración

Para simular la aceleración del vehículo tractor desde parado hasta la velocidad de 100 km/h en el menor tiempo posible, se aplica una fuerza en la punta de la lanza del remolque, lugar donde mediante el cabezal de enganche el remolque se une al vehículo, que simula la reacción que provoca el coche sobre el remolque en el momento en que acelera. El valor de esta fuerza es igual al calculado en la sección 5.1.3, correspondiente a una motocicleta.

La figura 5-8 muestra las tensiones que se presentan en el remolque en esta situación.

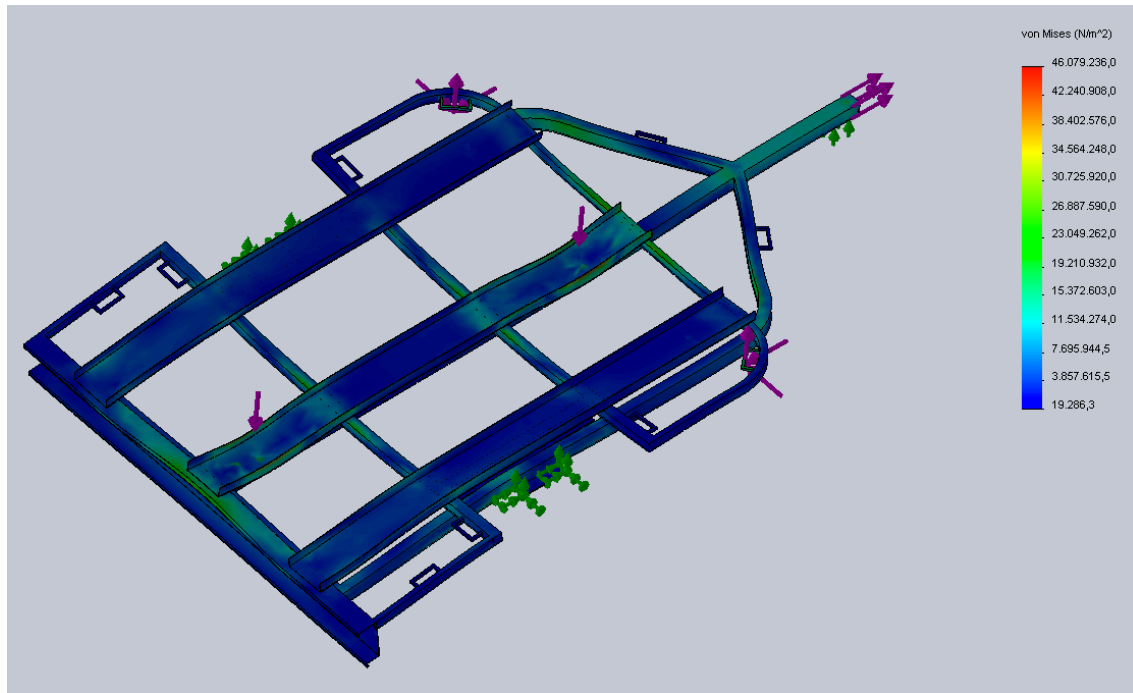


Figura 5-8 Von Mises aceleración una moto en guía central

El factor de seguridad, igual que con anterioridad, se obtiene del cociente entre el límite elástico y la máxima tensión de Von Mises en la estructura y es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{4,608 \cdot 10^7} = 4,4$$

### 5.1.5 Frenada

De forma semejante al caso de aceleración brusca, para simular el caso en que el vehículo tractor realiza una frenada de emergencia, se aplica una fuerza en la punta de la lanza pero ahora en sentido contrario al movimiento que llevaría el remolque en una marcha normal.

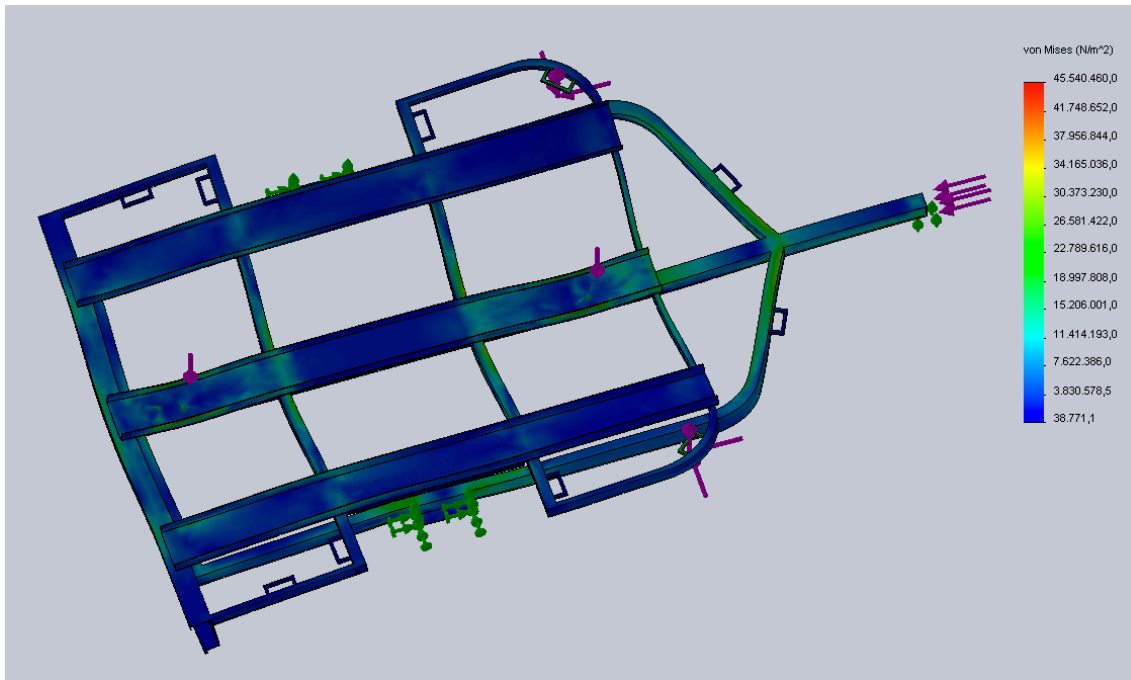


Figura 5-9 Von Mises frenada una moto en guía central

El factor de seguridad se calcula con el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura y es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{4,554 \cdot 10^7} = 4,4$$

En ambos casos el factor de seguridad es mucho mayor que 1,5. El remolque cargado con una sola motocicleta no tiene problemas estructurales que se deban tener en consideración a la hora de realizar una frenada de emergencia o aceleración brusca.

### 5.1.6 Aceleración y bache

Con el fin de asegurar la seguridad del remolque, se le somete a la acción tanto de aceleración o de frenada, de forma simultánea al paso de una de las ruedas por un bache en la carretera que provoca una aceleración de 1,5 veces la aceleración de la gravedad.

La figura 5-10 muestra el reparto de tensiones en la estructura provocadas por una aceleración brusca y un bache de forma simultánea.

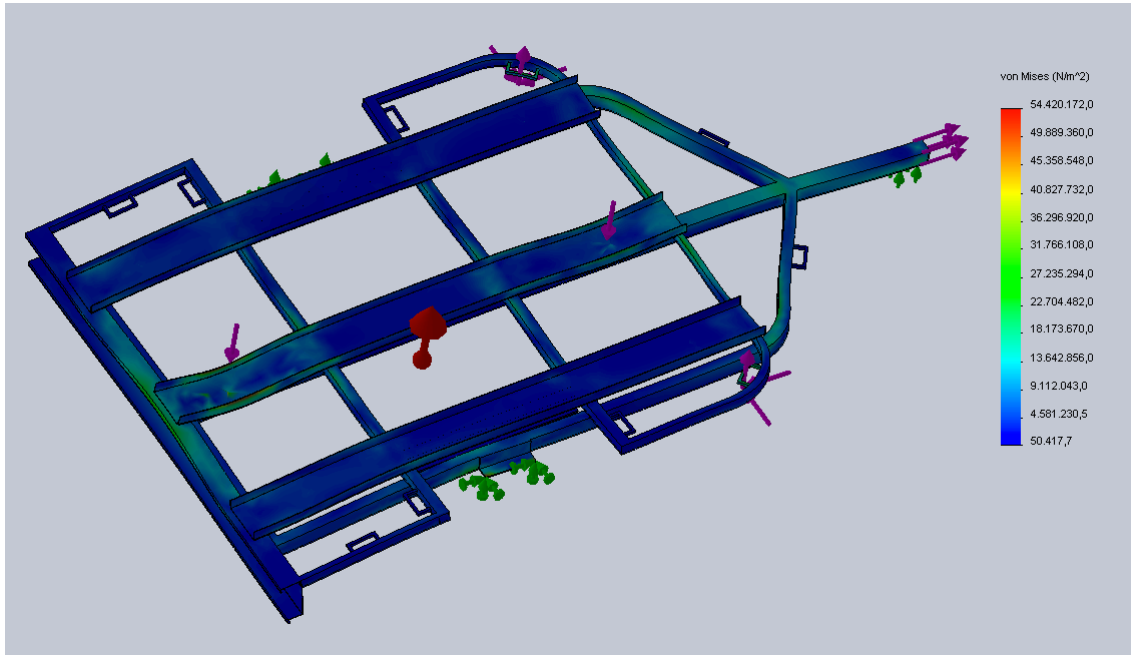


Figura 5-10 Von Mises aceleración y bache una moto guía central

El factor de seguridad vuelve a ser el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura en el análisis.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{5,442 \cdot 10^7} = 3,7$$

### 5.1.7 Frenada y bache

Este nuevo análisis se realiza aplicando un bache en una de las uniones entre el eje y el chasis que provoca una aceleración de 1,5 veces la aceleración de la gravedad, al que estudia el remolque en caso de una frenada de emergencia,

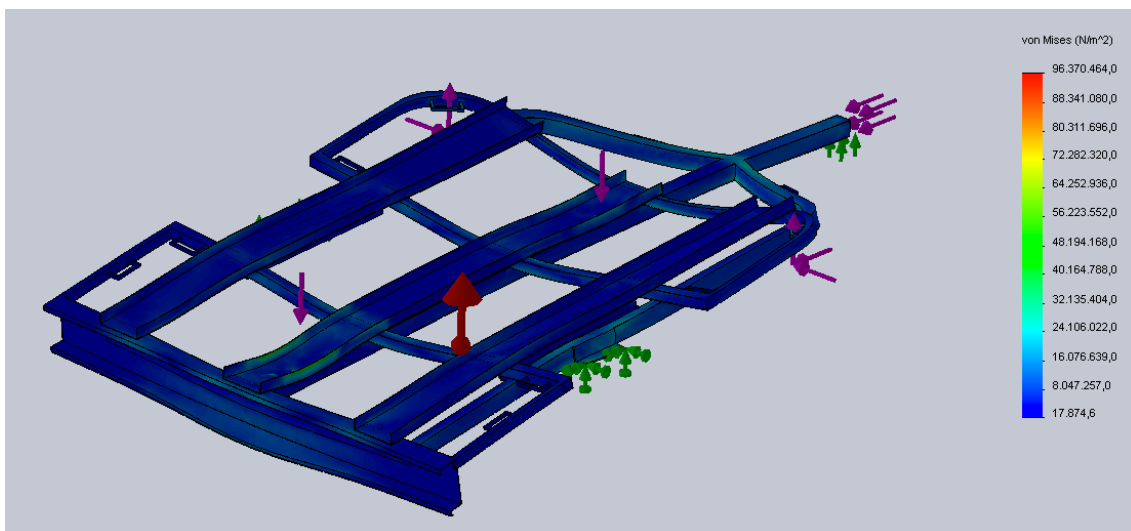


Figura 5-11 Von Mises frenada y bache una moto guía central

El factor de seguridad se determina del mismo modo al empleado en análisis anteriores siendo el cociente entre la tensión admisible por el material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura. Éste es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{\text{adm}}}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,637 \cdot 10^7} = 2,1$$

## 5.2 Una motocicleta en guía izquierda

En este nuevo análisis la carga es provocada por una motocicleta situada en la guía izquierda (G.3, Figura 5-1), contigua a la central.

### 5.2.1 Cálculos previos

Como en el caso anterior, la motocicleta vuelve a estar atada con dos correas, pero a diferencia de éste, ahora no se disponen de forma simétrica. Se presenta la necesidad de realizar dos descomposiciones en ejes X, Y, Z, una para la correa izquierda que se ata en el asa “D”, y otro para la correa derecha que se ata en el asa “B” (Figura 5-1).

De nuevo, la tensión que cada correa provoca en las asas para atar las motocicletas son igual a 200 N.

Las figuras 5-12 y 5-13 muestran la vista frontal y lateral respectivamente, de una motocicleta colocada en la guía izquierda del remolque. Los elementos de color rojo simulan las correas atadas por un lado al manillar y por otro a su correspondiente asa en el remolque.

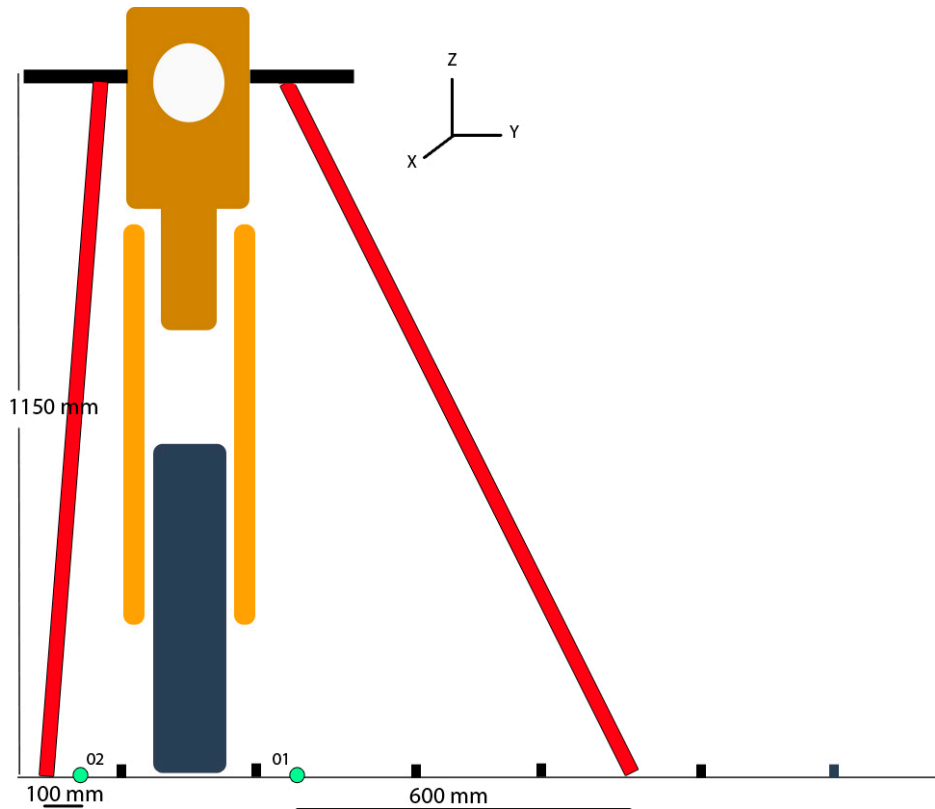


Figura 5-12 Vista frontal motocicleta en guía izquierda

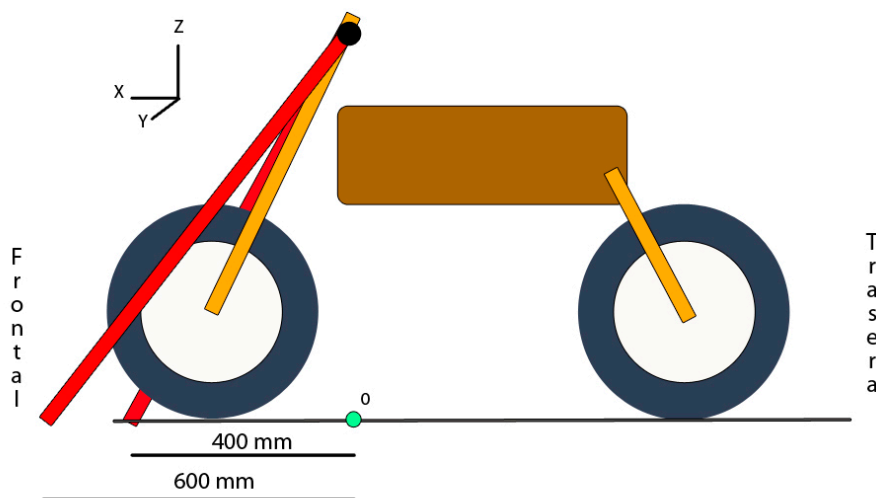


Figura 5-13 Vista lateral motocicleta en guía izquierda

Se comienza obteniendo los resultados para la correa derecha. Estos cálculos se realizan con referencia al punto 01 (Figura 5-12).

La figura 5-14 detalla la tensión provocada por la correa en el apoyo "B" (Figura 5-1) y las correspondientes resultantes en ejes X, Y, Z.

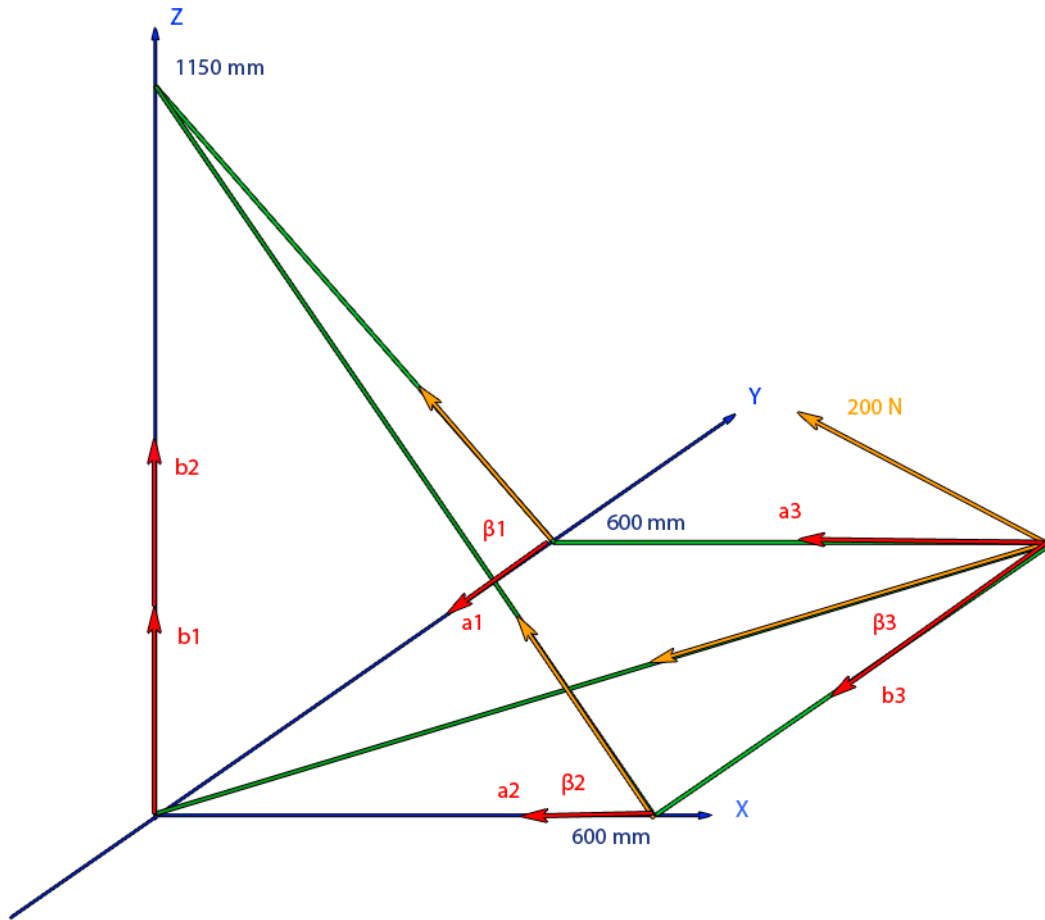


Figura 5-14 Descomposición de fuerzas correa derecha

En la tabla 9 se detallan todas las variables necesarias para el estudio y que se determinan a continuación

Tabla 9 Datos de cálculo

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	600mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	600 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano X-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-X	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$



Del cociente entre las distancias horizontal y vertical en planos X-Z, Y-Z se obtiene que:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{600}$$

Los ángulos que forman la correa con ejes X e Y en estos planos,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , tienen el mismo valor e igual a:

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta = 62,45^\circ$$

Descomponiendo con estos ángulos la tensión de 200 N correspondiente a la correa en planos Y-Z, X-Z, se obtienen los valores de  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  (Figura 5-14):

$$a_1 = a_2 = \cos\beta \cdot 200 = 92,51 \text{ N}$$

$$b_1 = b_2 = \operatorname{sen}\beta \cdot 200 = 177,32 \text{ N}$$

El ángulo que forma esta tensión con ejes X e Y respectivamente en el plano X-Y es igual a:

$$\beta_3 = 45^\circ$$

De forma semejante a lo antes realizado, se obtienen las resultantes en X e Y,  $a_3$  y  $b_3$  (Figura 5-14):

$$a_3 = \operatorname{sen}45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

$$b_3 = \cos45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

Con todos estos resultados se pueden calcular las fuerzas resultantes en ejes X, Y, Z provocadas por la tensión de la correa:

$$\sum F_x = -a_3 - a_2 = -233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -a_1 - b_3 = -233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 354,64 \text{ N}$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes a punto O1, se llevan a cabo los mismos pasos para la correa izquierda con centro en O2 (Figura 5-12).

La figura 5-15 detalla la tensión provocada por la correa en el apoyo "D" (Figura 5-1) y las correspondientes resultantes en ejes X, Y, Z.

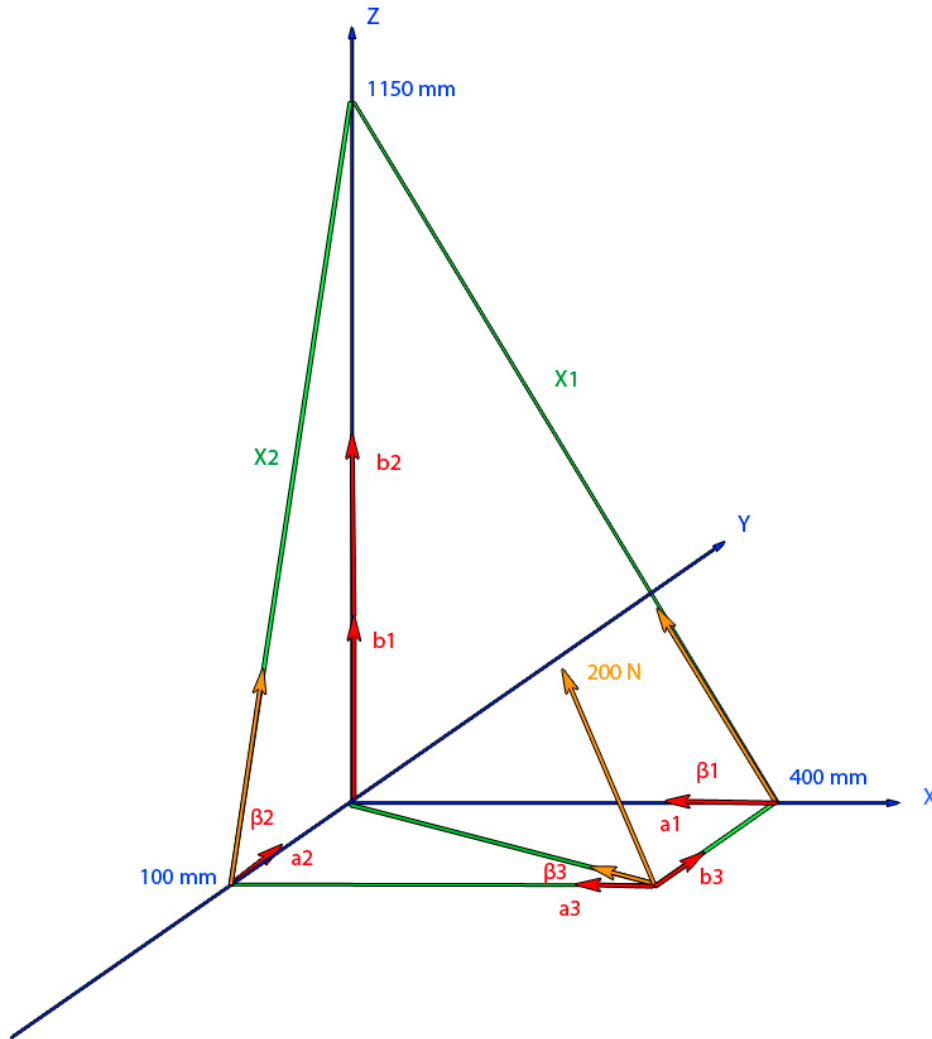


Figura 5-15 Descomposición de fuerzas correa izquierda

En la tabla 10 se detallan todas las variables necesarias para esta parte del estudio.

Tabla 10 Variables de cálculo

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	400mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	-100 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano X-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Y	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$

A diferencia de antes, los ángulos  $\beta_1$  y  $\beta_2$  ya no tienen igual valor y se han de realizar cálculos diferentes para ambos términos.

En el plano X-Z, el cociente entre la distancia vertical y horizontal es igual a la tangente del ángulo:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{1150}{400}$$

De esta forma se obtiene que el ángulo  $\beta_1$  es igual a:

$$\beta_1 = 70,82^\circ$$

Las fuerzas resultantes en el plano X-Z provocadas por esta tensión de la correa son iguales a:

$$a_1 = \cos\beta_1 \cdot 200 = 65,71 \text{ N}$$

$$b_1 = \operatorname{sen}\beta_1 \cdot 200 = 188,89 \text{ N}$$

Por otro lado, en el plano Y-Z, el cociente entre las distancias vertical y horizontal proporciona la tangente del ángulo que forman la tensión de 200 N con el eje Y.

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{100} \rightarrow \beta_2 = 85,03^\circ$$

Las fuerzas resultantes en estos ejes son:

$$a_2 = \cos\beta_2 \cdot 200 = 17,33 \text{ N}$$

$$b_2 = \operatorname{sen}\beta_2 \cdot 200 = 199,25 \text{ N}$$

Por último, en el plano X-Y, el ángulo que forma la tensión de la correa con el plano X se nombra como  $\beta_3$  y se obtiene con la tangente de ese ángulo:

$$\operatorname{tg}\beta_3 = \frac{100}{400}$$

$$\beta_3 = 14,04^\circ$$

La resultante en ejes X e Y son iguales al coseno del ángulo multiplicado por la tensión de la correa (Figura 5-15):

$$a_3 = \cos\beta_3 \cdot 200 = 194,03 \text{ N}$$

$$b_3 = \operatorname{sen}\beta_3 \cdot 200 = 48,53 \text{ N}$$

Con todos los valores obtenidos, se despeja el valor resultante al descomponer la tensión de 200N de la correa en ejes X, Y, Z:

$$\sum F_x = -a_3 - a_1 = -259,74 \text{ N}$$

$$\sum F_y = a_2 + b_3 = 65,85 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 388,14 \text{ N}$$

### 5.2.2 Carga de una motocicleta a la izquierda

Las cargas se distribuyen como se muestra en la figura 5-16.

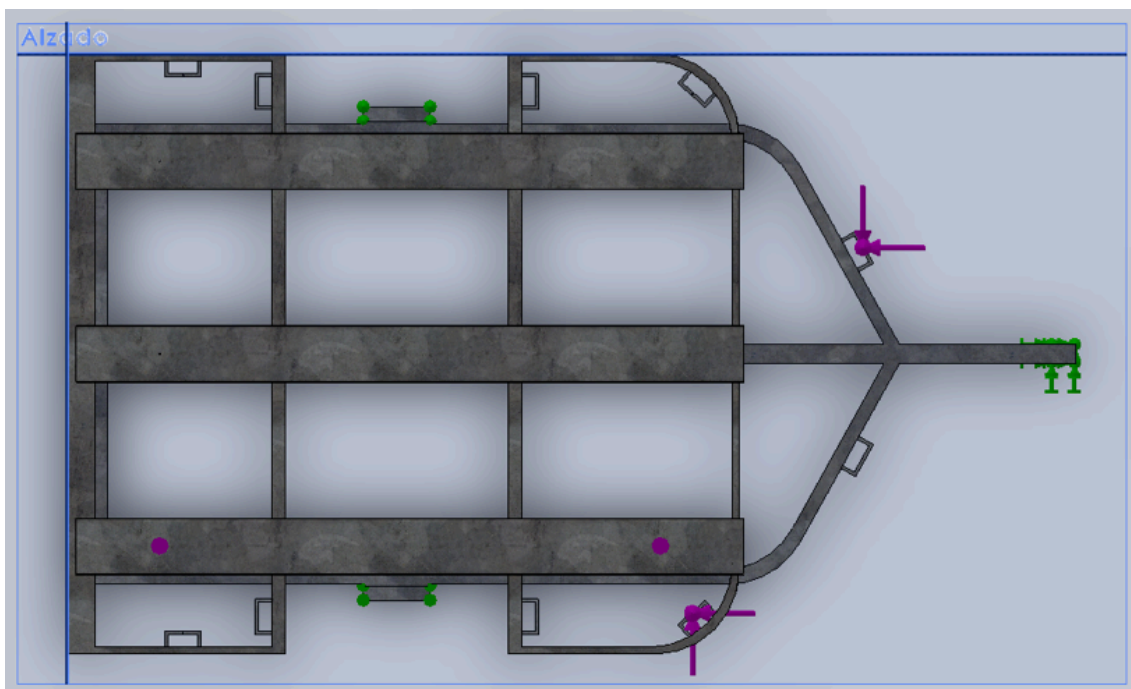


Figura 5-16 Distribución de cargas una moto guía izquierda

Con la tensión máxima de Von Mises que se toma de la figura 5-17 y el límite elástico del material se calcula el factor de seguridad de la estructura en esta situación de carga.

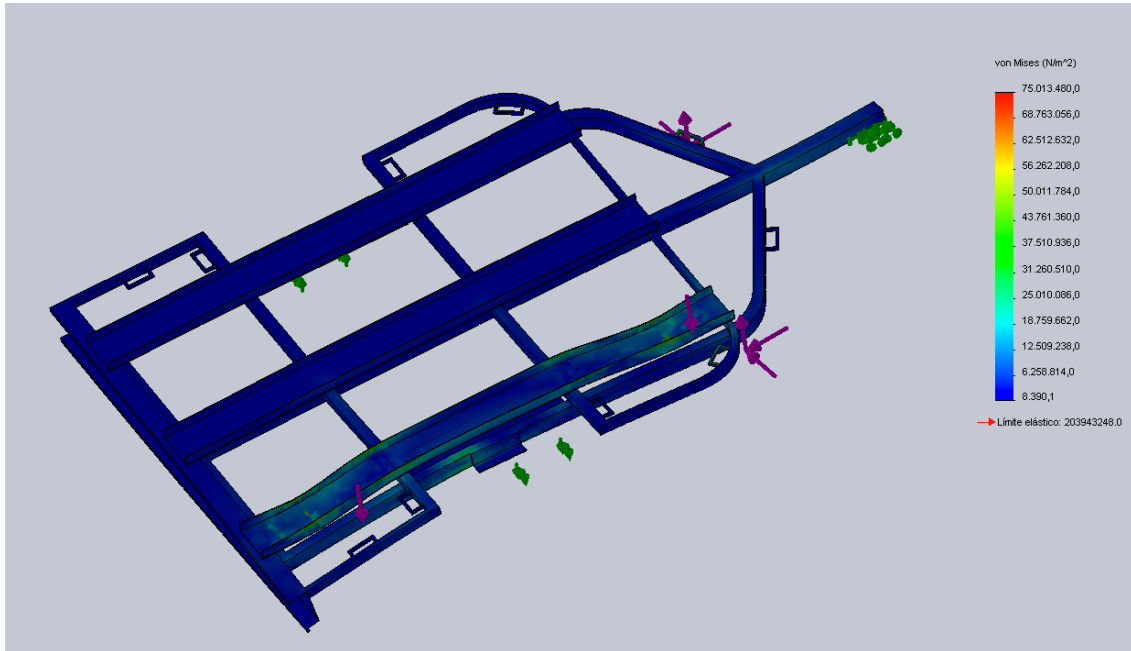


Figura 5-17 Von Mises carga una moto guía izquierda

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{7,501 \cdot 10^7} = 2,7$$

El factor de seguridad ahora se ajusta más al valor de 1,5. El hecho de estar descompensada la carga hace que el remolque sufra mayores tensiones, aunque no se llega a valores que puedan provocar deficiencias mecánicas en éste.

Se producen desplazamientos de 2,7 mm (Figura 5-18), pero la distancia del punto más desplazado del remolque hasta el suelo es mucho mayor, sin provocar alteraciones en el correcto funcionamiento del mismo.

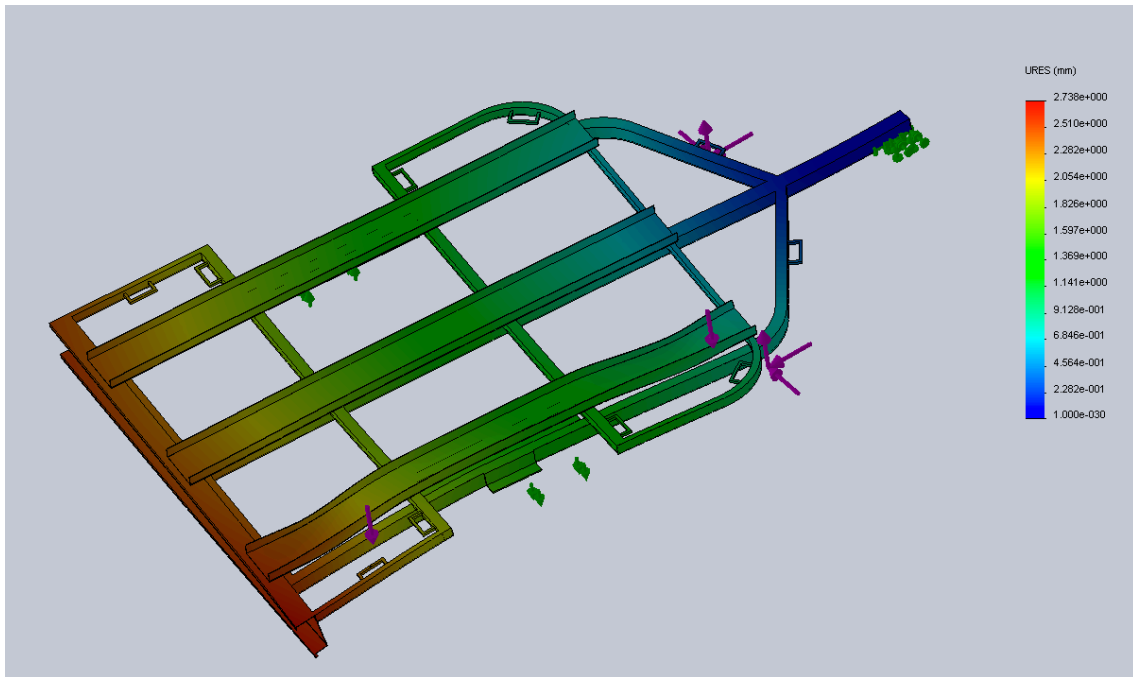


Figura 5-18 Desplazamientos una moto guía izquierda

### 5.2.3 Aceleración

Cuando el vehículo tractor realiza una aceleración brusca, en el remolque se producen las tensiones mostradas en la figura 5-19.

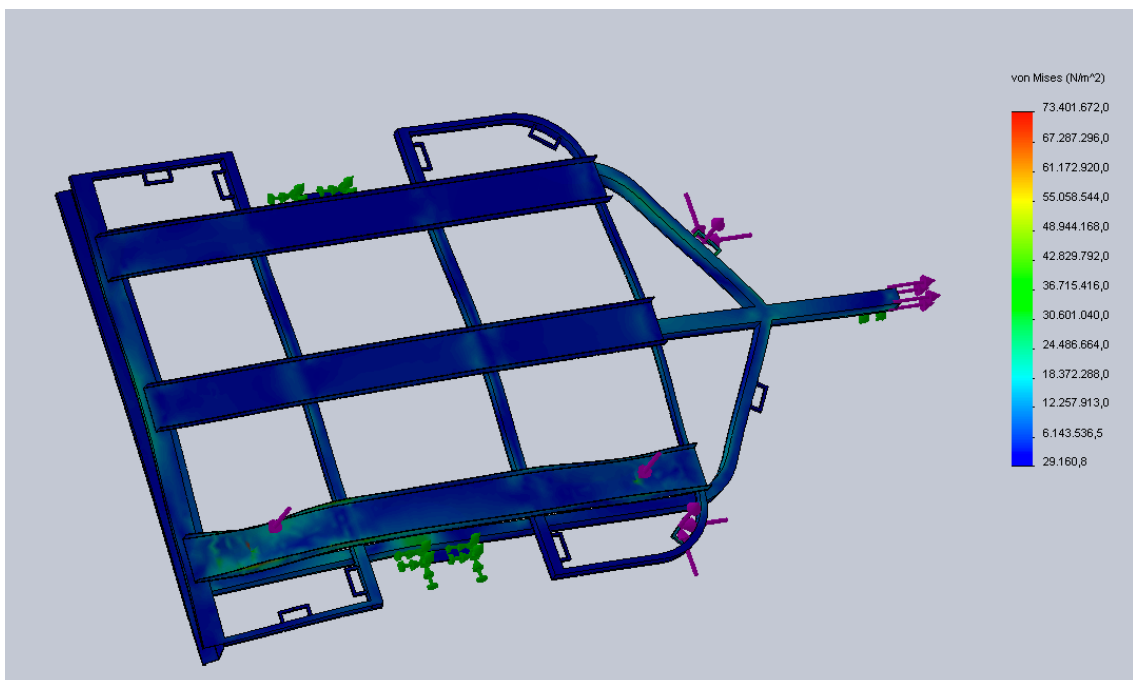


Figura 5-19 Von Mises aceleración una moto guía izquierda

El factor de seguridad vuelve a ser el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura y es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{7,340 \cdot 10^7} = 2,7$$

### 5.2.4 Frenada

La simulación de este caso es semejante a la anterior pero ahora la fuerza aplicada en la punta tiene sentido contrario, imitando el efecto que el vehículo tractor tiene sobre el remolque cuando frena bruscamente.

El reparto de tensiones en la pieza se muestra en la figura 5-20.

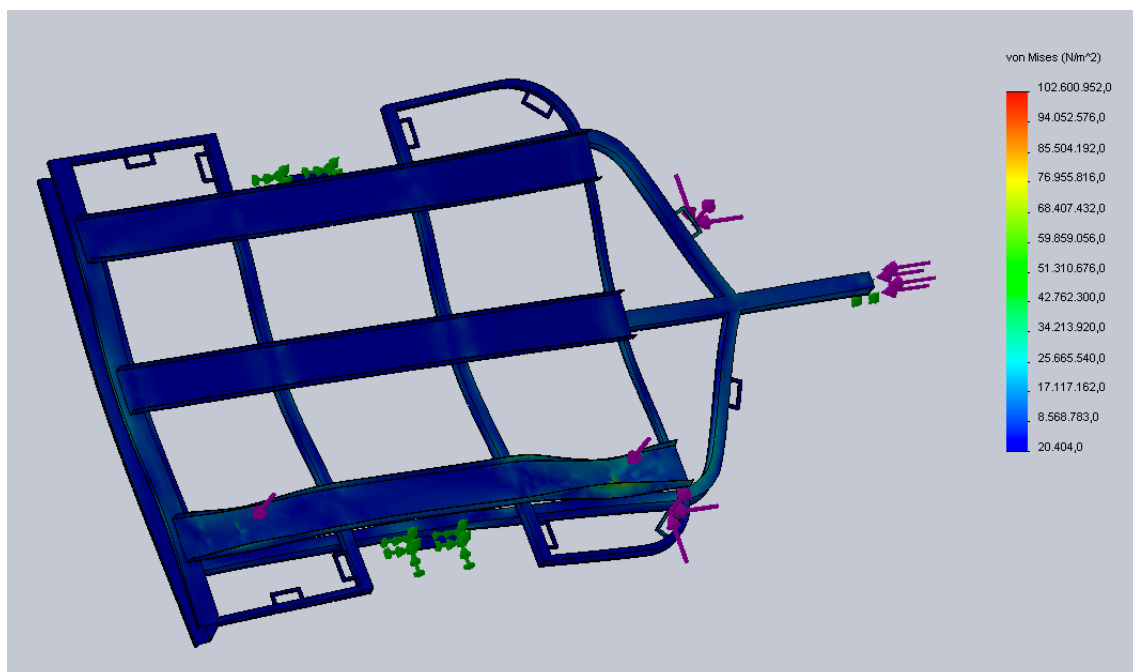


Figura 5-20 Von Mises frenada una moto guía izquierda

Del mismo modo que antes, el factor de seguridad es el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura para este nuevo estudio.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,026 \cdot 10^8} = 1,9$$

Aunque ahora los factores de seguridad son más próximos al valor límite, estos continúan siendo favorables al estudio.

### 5.2.5 Aceleración y bache en mismo lado

Al no encontrarse la motocicleta situada en el carril central del remolque se presentan dos situaciones. En por un lado, que el bache se produzca en la rueda situada junto a la motocicleta. Por otro, que el bache pase por debajo de la rueda situada en el lado opuesto a la motocicleta. Es necesario analizar todos los casos por separado.

En primer lugar se simula el caso en que la motocicleta se sitúa a la izquierda y el bache pasa por este mismo lado a la vez que el vehículo tractor acelera bruscamente.

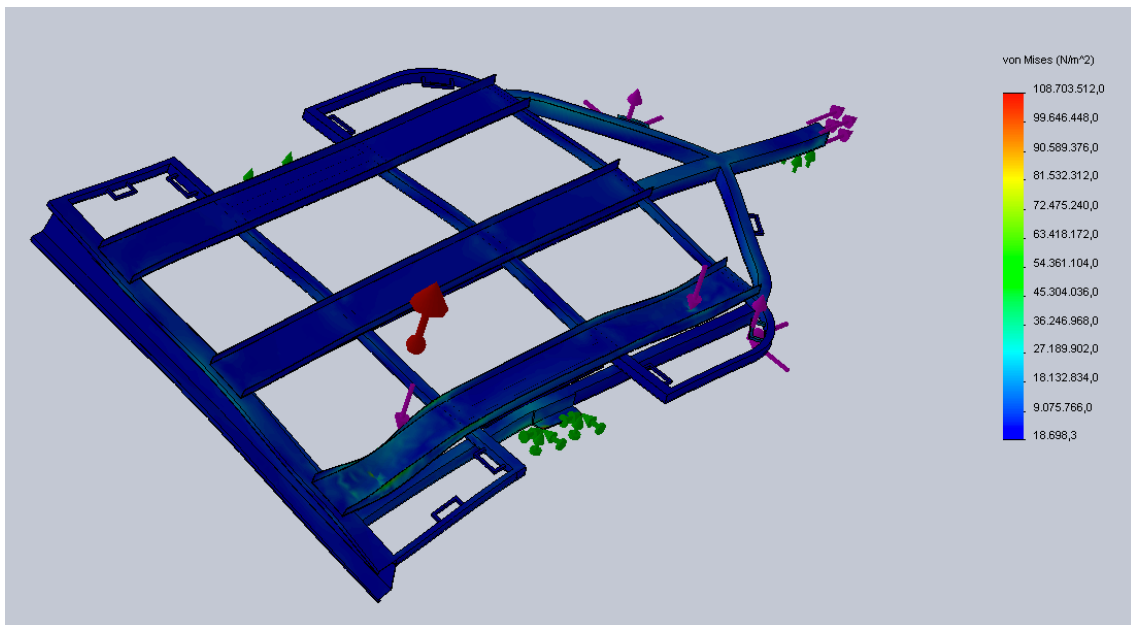


Figura 5-21 Von Mises aceleración y bache moto guía izquierda

Con la tensión máxima de Von Mises proporcionada por la figura 5-21 y el límite elástico del material, se calcula el factor de seguridad de la estructura.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,087 \cdot 10^8} = 1,8$$



### 5.2.6 Frenada y bache en mismo lado

Ahora se presenta el caso similar al anterior pero con la fuerza aplicada en la punta del remolque en sentido contrario al movimiento, simulando una frenada de emergencia mientras se pasa por un bache en la rueda del mismo lado que la carga.

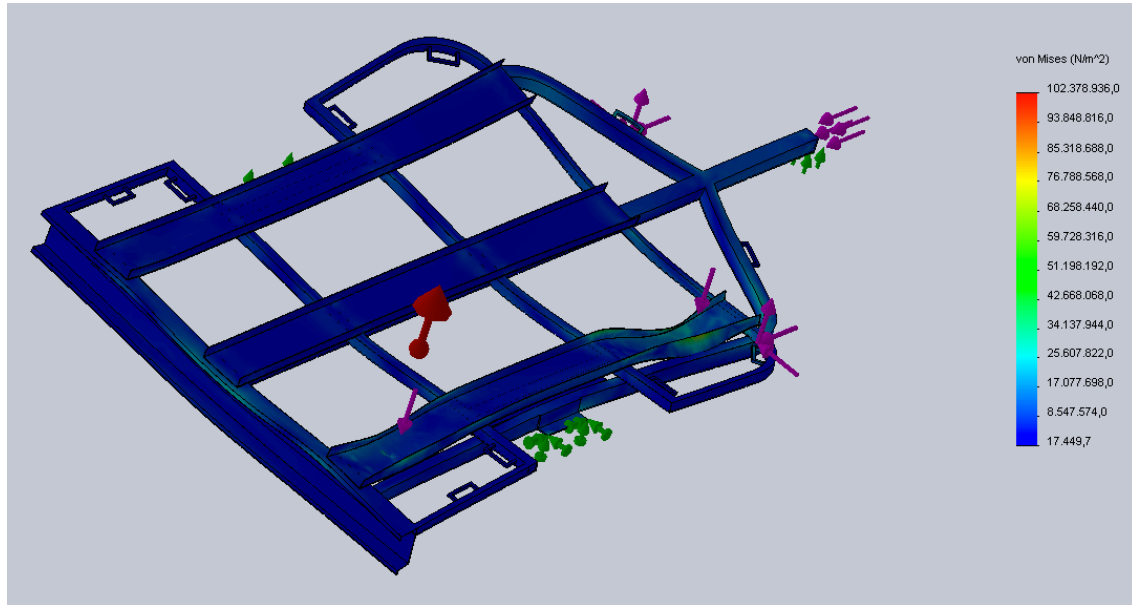


Figura 5-22 Von Mises frenada y bache una moto guía izquierda

El factor de seguridad para este análisis es igual al cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura. Esto es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,024 \cdot 10^7} = 1,9$$

### 5.2.7 Aceleración y bache en lado opuesto

Al contrario que en los dos análisis anteriores, ahora el efecto del bache se da en el lado opuesto a la carga.

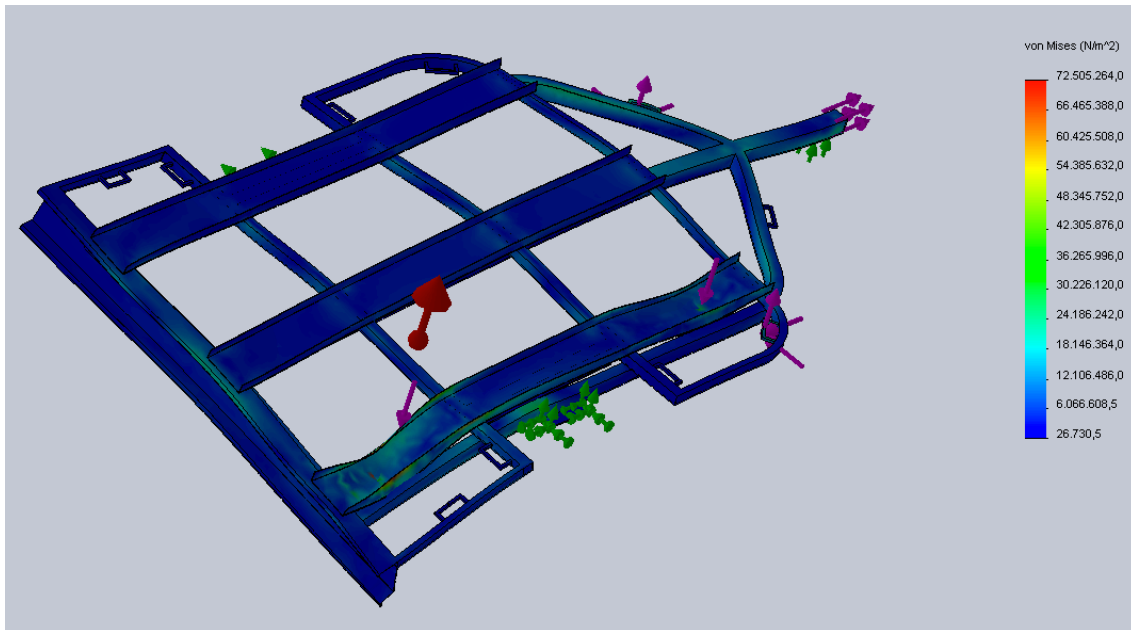


Figura 5-23 Von Mises aceleración y bache una moto guía izquierda

Con los datos presentes en la figura 5-23 se calcula el factor de seguridad dividiendo el límite elástico del material por la máxima tensión de Von Mises de la estructura.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{7,251 \cdot 10^7} = 2,7$$

### 5.2.8 Frenada y bache en lado opuesto

Como en el caso anterior, el bache pasa por la rueda del lado opuesto a la carga de forma paralela al efecto de una fuerza contraria al movimiento que simula la frenada de emergencia.

Esta combinación de factores provocan un reparto de tensiones en la estructura como el mostrado en la figura 5-24.

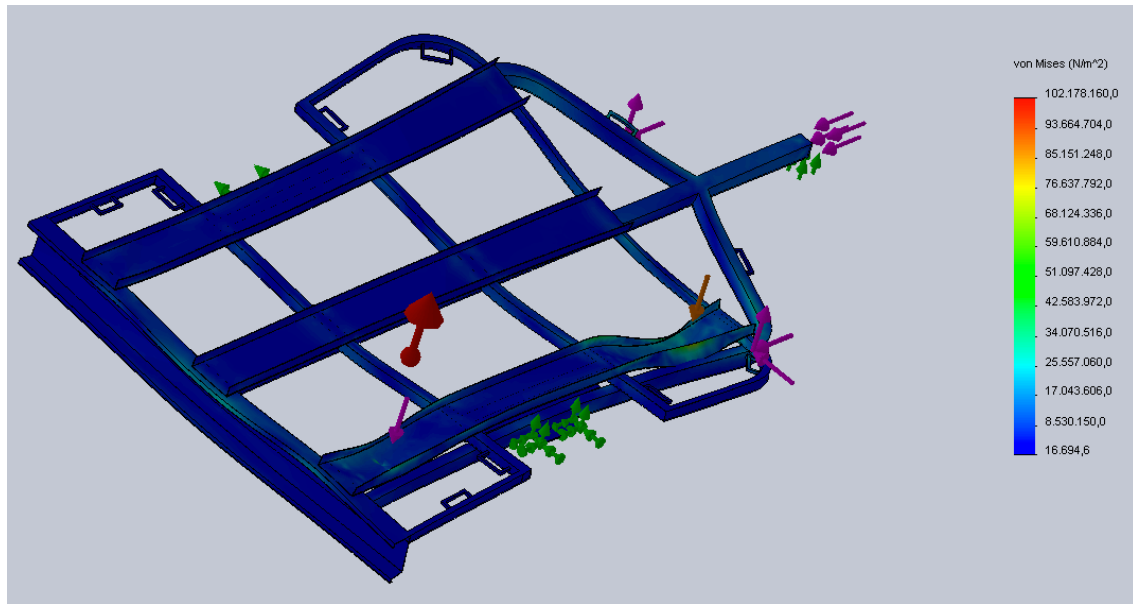


Figura 5-24 Von Mises frenada y bache guía izquierda

Tomando el valor de la tensión máxima de Von Mises para este análisis se calcula el nuevo factor de seguridad.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,022 \cdot 10^8} = 1,9$$

### 5.3 Una moto en guía central

De ahora en adelante, se omite este estudio ya que los resultados obtenidos son iguales a los del estudio anterior, “5.2 Una motocicleta en guía izquierda”.

### 5.4 Dos motocicletas en guías opuestas

Ahora el remolque tiene que soportar la carga de dos motocicletas situadas en sendas guías contiguas a la central siendo G.1 (guía derecha) y G.2 (guía izquierda) (Figura 5-1).

#### 5.4.1 Cálculos previos

Ya que ambas motocicletas se disponen de forma simétrica, se realizan los cálculos para una de ellas y a continuación se determinan para la opuesta.

Las figuras 5-25 y 5-26 muestran esquemas de la vista frontal y lateral respectivamente, de dos motocicletas situadas en guías opuestas. Los elementos de

color rojo simulan las correas atadas por un lado al manillar y por otro a su correspondiente asa en el remolque.

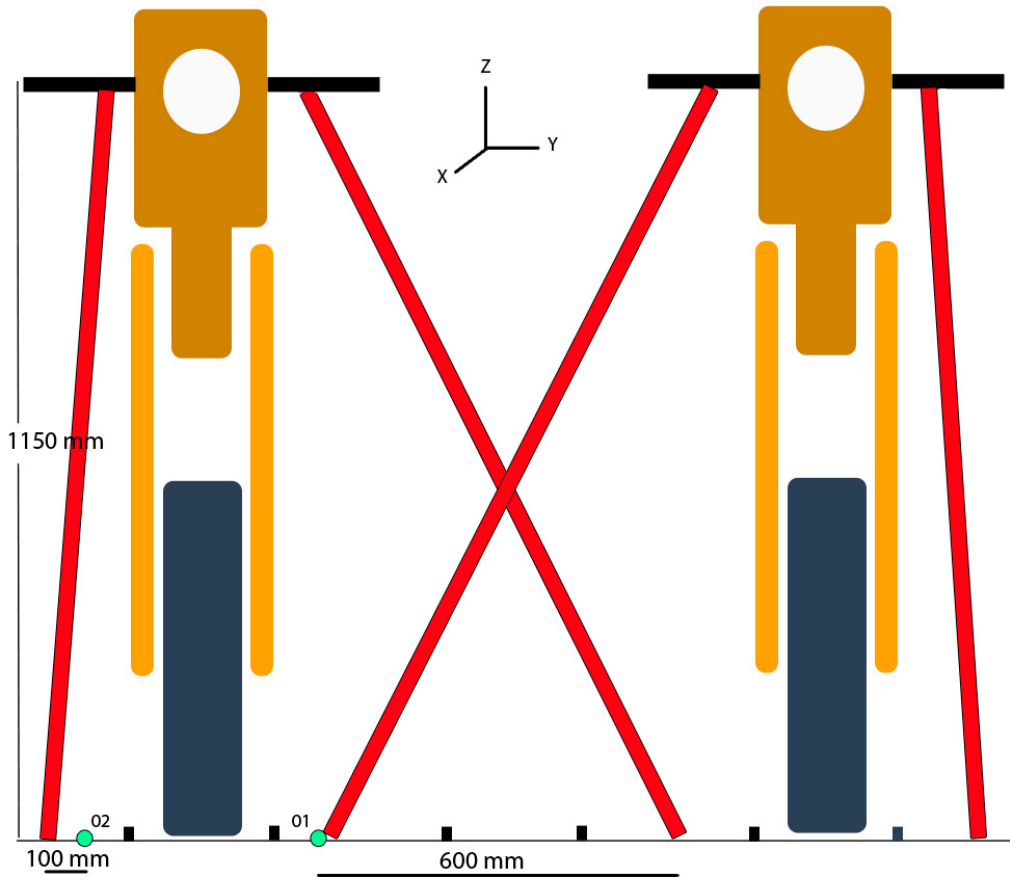


Figura 5-25 Vista frontal dos motocicletas

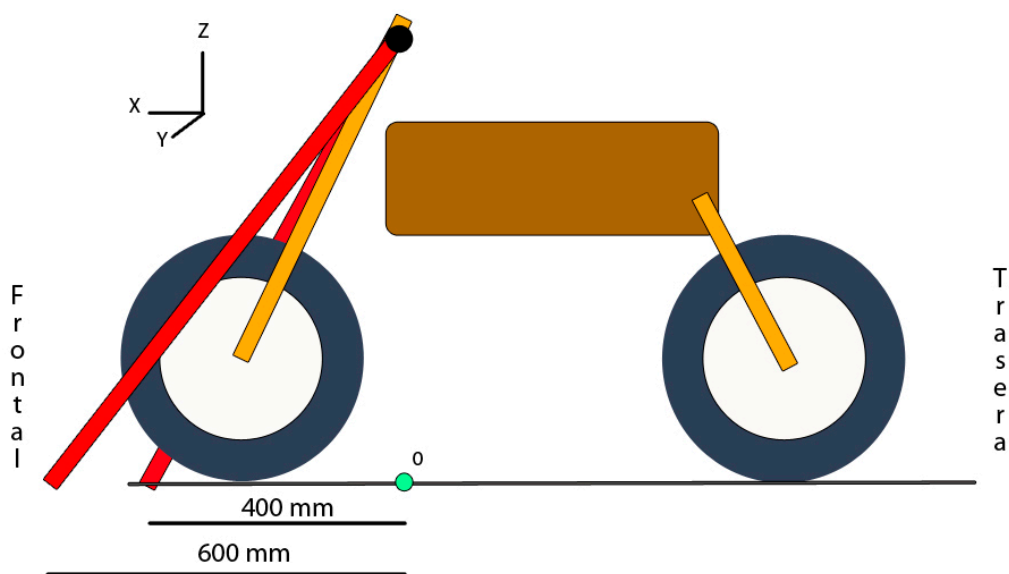


Figura 5-26 Vista lateral dos motocicletas

Se comienza descomponiendo las tensiones provocadas por las correas que atan la motocicleta izquierda (G.3, Figura 5-1). Estas correas se sujetan en los asas “D” y “B”, izquierdo y derecho respectivamente (Figura 5-1).

La figura 5-27 detalla la tensión provocada por la correa que se ata en el apoyo “B” (Figura 5-1) y las correspondientes resultantes en ejes X, Y, Z.

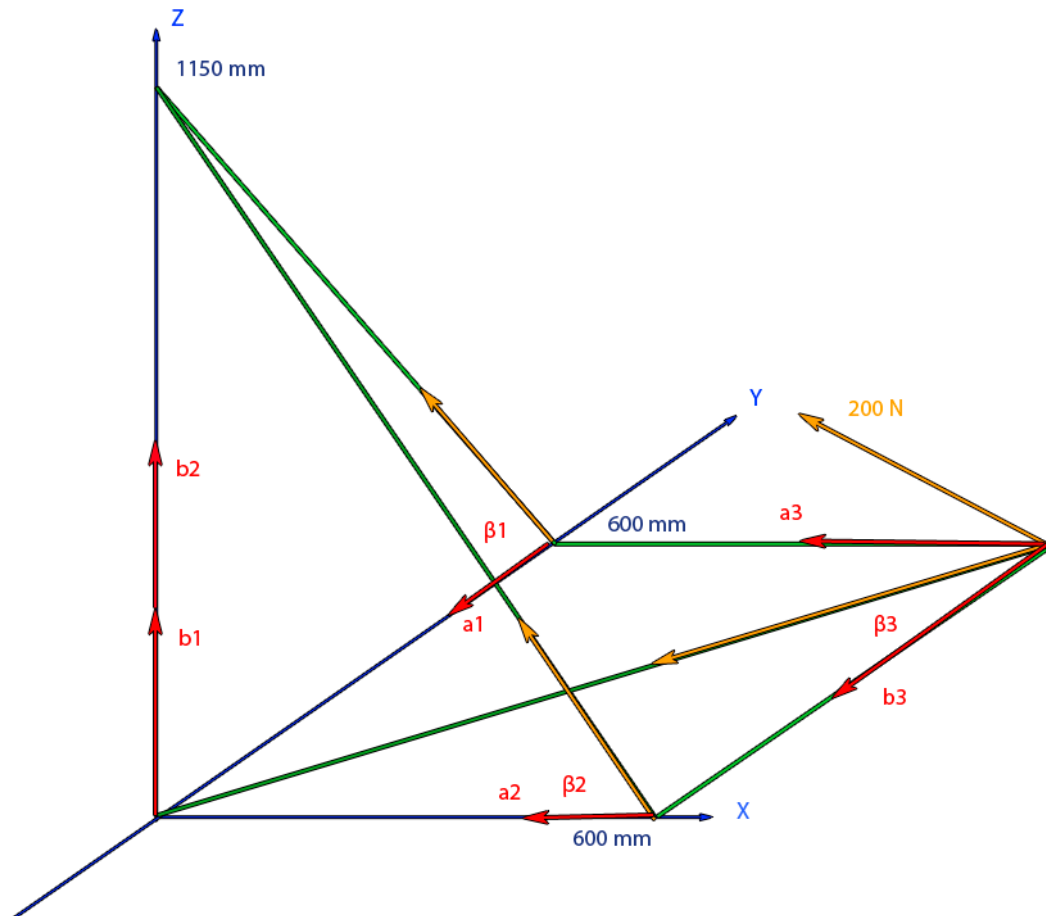


Figura 5-27 Descomposición de fuerzas correa derecha

La tabla 11 reúne todas las variables y datos necesarios para el estudio que a continuación se realiza.

**Tabla 11** Datos de cálculo

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	600mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	600 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano X-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Y	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$

Del cociente entre las distancias horizontal y vertical en planos X-Z, Y-Z se obtiene:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{600}$$

Estos ángulos,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , tienen el mismo valor e igual a :

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta = 62,45^\circ$$

Descomponiendo con estos ángulos la tensión de 200N en planos Y-Z, X-Z, se obtienen los valores de  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  (Figura 5-27):

$$a_1 = a_2 = \cos\beta \cdot 200 = 92,51 \text{ N}$$

$$b_1 = b_2 = \operatorname{sen}\beta \cdot 200 = 177,32 \text{ N}$$

El ángulo que forma esta tensión con ejes X e Y respectivamente en el plano X-Y es igual a:

$$\beta_3 = 45^\circ$$

De forma semejante a lo antes realizado se obtienen las resultantes en X e Y,  $a_3$  y  $b_3$  (Figura 5-27):

$$a_3 = \operatorname{sen}45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

$$b_3 = \operatorname{cos}45^\circ \cdot 200 = 141,42 \text{ N}$$

Con todos estos resultados ya se pueden calcular las fuerzas resultantes en ejes X, Y, Z provocadas por la tensión de la correa:

$$\sum F_x = -a_3 - a_2 = -233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -a_1 - b_3 = -233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 354,64 \text{ N}$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes a punto O1, se llevan a cabo los mismos pasos para la correa izquierda con centro en O2 (Figura 5-25).

La figura 5-28 detalla la tensión provocada por la correa en el apoyo "D" (Figura 5-1) y las correspondientes resultantes en ejes X, Y, Z.

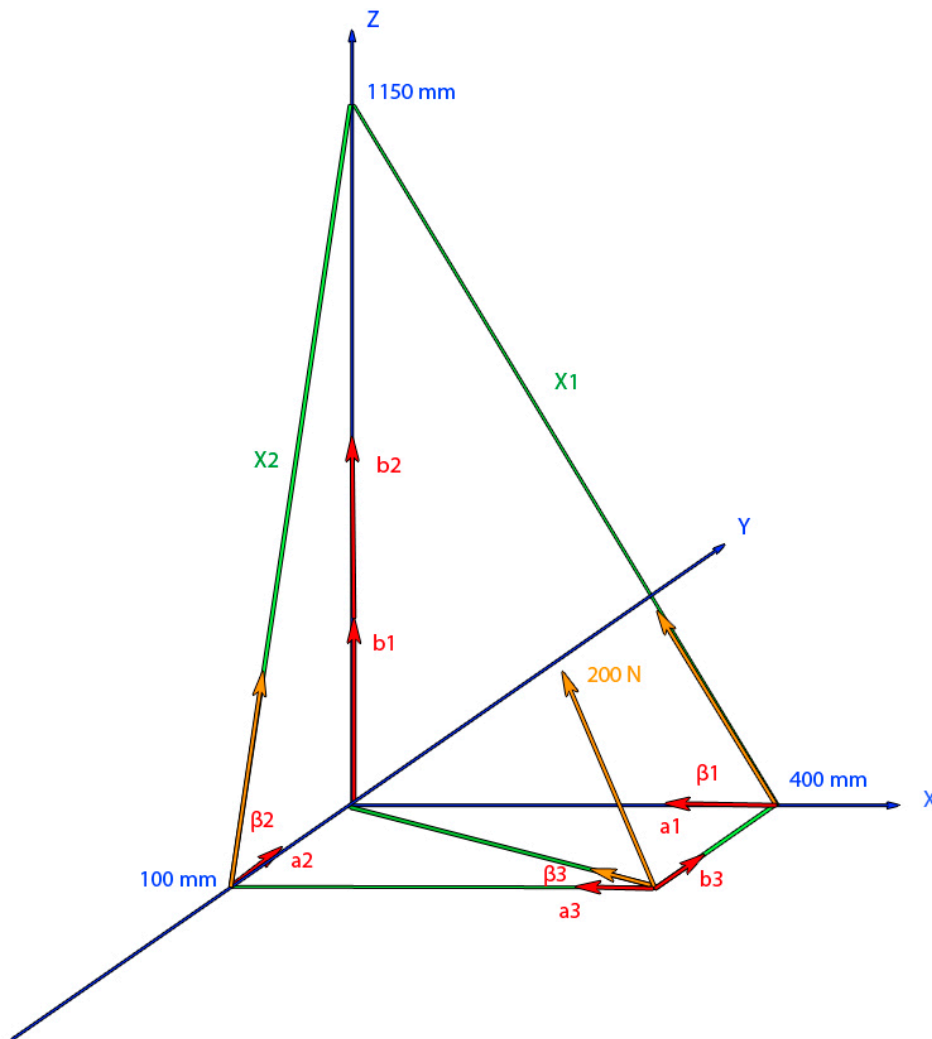


Figura 5-28 Descomposición de fuerzas correa izquierda

La tabla 12 reúne todas las variables y datos necesarios para el estudio que a continuación se realiza.

**Tabla 12** Datos de cálculo

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	400mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	-100 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano Y-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano X-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Y	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$

A diferencia de antes, los ángulos  $\beta_1$  y  $\beta_2$  ya no tienen igual valor. En el plano X-Z, el cociente entre la distancia vertical y horizontal es igual a la tangente del ángulo:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{1150}{400}$$

De esta forma se obtiene que el ángulo  $\beta_1$  es igual a:

$$\beta_1 = 70,82^\circ$$

Las resultantes en el plano X-Z provocadas por la tensión de 200 N generada por la correa son iguales a:

$$a_1 = \cos\beta_1 \cdot 200 = 65,71 \text{ N}$$

$$b_1 = \operatorname{sen}\beta_1 \cdot 200 = 188,89 \text{ N}$$

Por otro lado, en el plano Y-Z, el cociente entre las distancias vertical y horizontal da la tangente del ángulo que forman la tensión de 200 N y el eje Y.

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{100} \rightarrow \beta_2 = 85,03^\circ$$

Las resultantes en estos ejes se obtienen multiplicando la tensión de 200 N por el coseno de cada ángulo. Estas fuerzas resultantes se detallan en la figura 5-28.



$$a_2 = \cos\beta_2 \cdot 200 = 17,33 \text{ N}$$

$$b_2 = \text{sen}\beta_2 \cdot 200 = 199,25 \text{ N}$$

Por último, en el plano X-Y, el ángulo que forma la tensión de la correa con el plano X se nombra como  $\beta_3$  y se obtiene con la tangente del mismo:

$$\text{tg}\beta_3 = \frac{100}{400}$$

$$\beta_3 = 14,04^\circ$$

Las resultantes en ejes X e Y son iguales al coseno del ángulo multiplicado por la tensión de 200 N de la correa (Figura 5-28):

$$a_3 = \cos\beta_3 \cdot 200 = 194,03 \text{ N}$$

$$b_3 = \text{sen}\beta_3 \cdot 200 = 48,53 \text{ N}$$

Con todos los valores obtenidos, se calcula el valor resultante al descomponer la tensión de 200N de la correa en ejes X, Y, Z:

$$\sum F_x = -a_3 - a_1 = -259,74 \text{ N}$$

$$\sum F_y = a_2 + b_3 = 65,85 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 388,14 \text{ N}$$

Al ser las dos motocicletas simétricas, las fuerzas provocadas por la tensión de las correas que atan la motocicleta situada en la guía derecha (G.1, Figura 5-1), son iguales a las que se acaban de calcular, pero cambiando los sentidos de las correspondientes al eje Y (Figura 5-28).

Por un lado, en el apoyo derecho ("A", Figura 5-1), las fuerzas resultantes en planos X, Y, Z, son iguales a:

$$\sum F_x = -a_3 - a_1 = -259,74 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -a_2 - b_3 = -65,85 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 388,14 \text{ N}$$

Por otro, en el apoyo izquierdo ("C", Figura 5-1), las fuerzas resultantes en planos X,Y,Z, son iguales a:

$$\sum F_x = -a_3 - a_2 = -233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_y = a_1 + b_3 = 233,93 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 354,64 \text{ N}$$

### 5.4.2 Carga de dos motocicletas

Se trata de la distribución más lógica a la hora de disponer dos motocicletas en el remolque. El reparto de cargas se muestra en la figura 5-29.

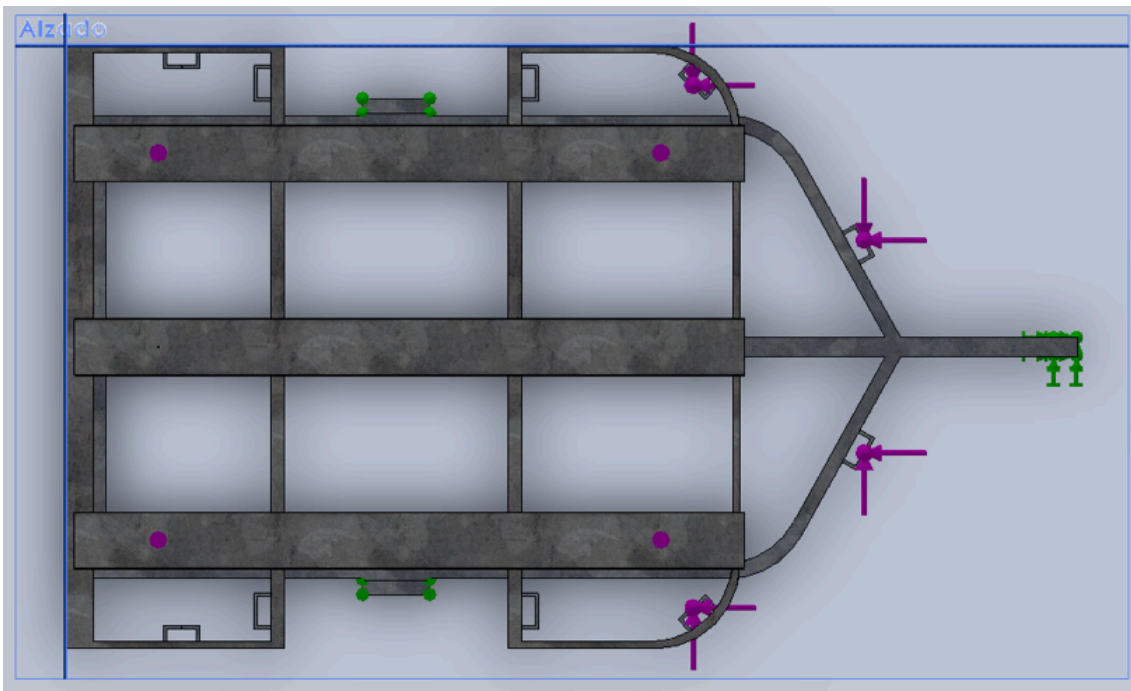


Figura 5-29 Distribución de cargas dos motocicletas

Al aumentar la carga, la tensión máxima de Von Mises aumenta con respecto a estudios anteriores (Figura 5-30).

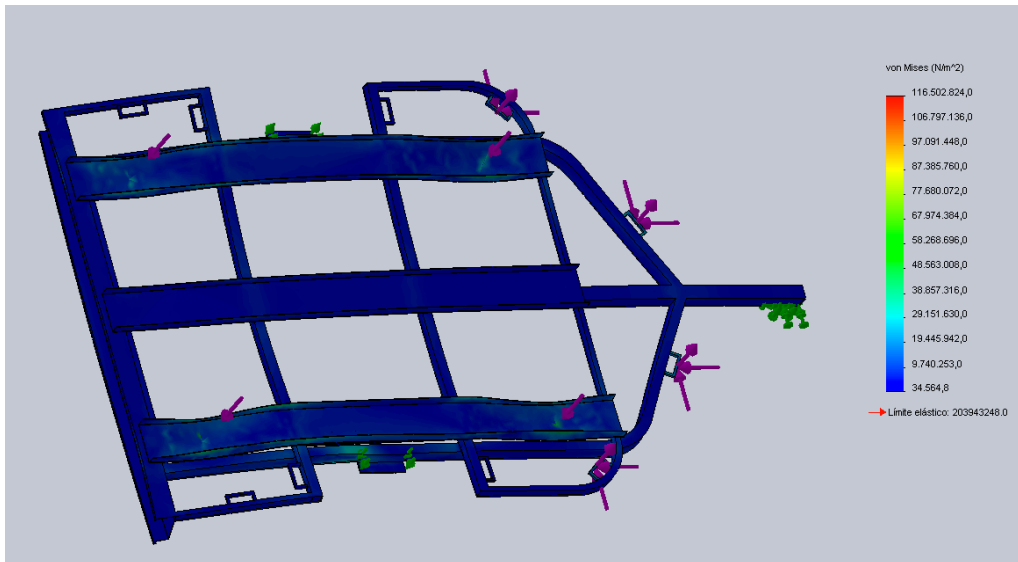


Figura 5-30 Von Mises carga dos motocicletas

Con el cociente entre el límite elástico del material y la tensión máxima de Von Mises en la estructura se calcula el factor de seguridad.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,165 \cdot 10^8} = 1,7$$

Los desplazamientos entran dentro de valores normales como se observa en la figura 5-31. Esta distancia es mucho menor que la mínima distancia entre remolque y suelo.

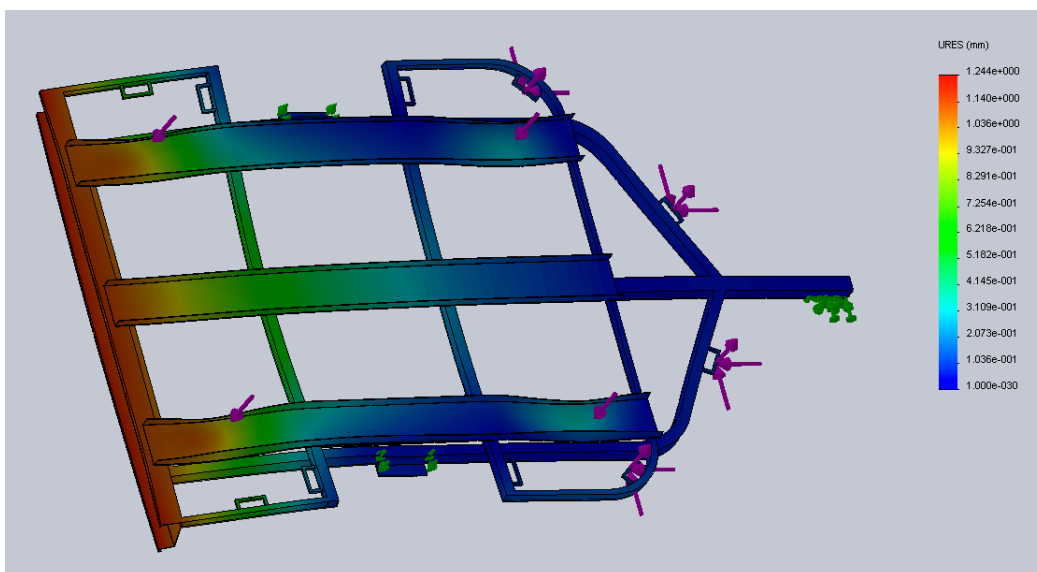


Figura 5-31 Desplazamientos dos motocicletas

### 5.4.3 Aceleración

Aplicando una fuerza en la punta de la lanza que simula la acción del vehículo tractor al acelerar en el menor espacio y tiempo posible, se obtienen las tensiones en la estructura del remolque vistas en la figura 5-32.

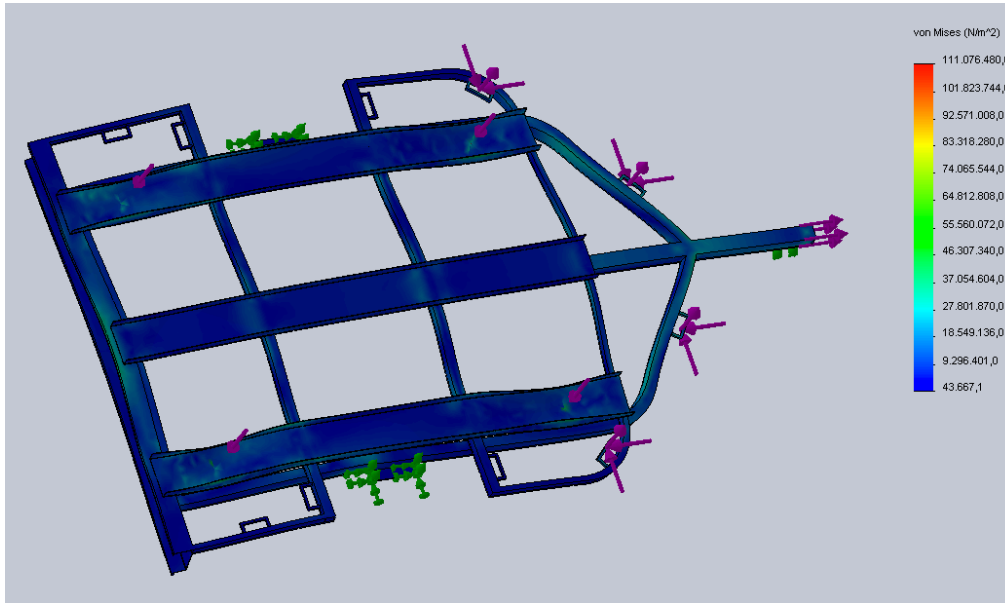


Figura 5-32 Von Mises aceleración dos motocicletas

Dividiendo el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura se obtiene el factor de seguridad para este análisis.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,111 \cdot 10^8} = 1,8$$

### 5.4.4 Frenada

De igual manera al caso de aceleración brusca, pero cambiando el sentido de la fuerza aplicado en la punta de la lanza, se simula una frenada de emergencia. Esto genera el reparto de tensiones mostrado en la figura 5-33.

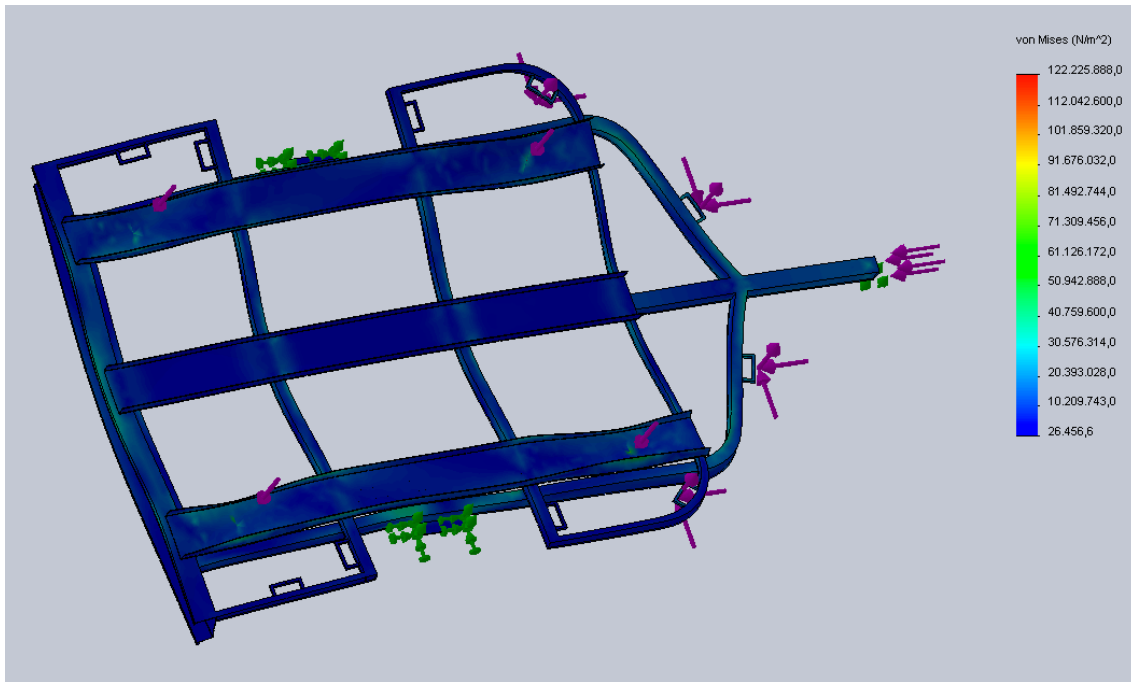


Figura 5-33 Von Mises frenada dos motocicletas

La seguridad para este nuevo estudio es la división del límite elástico del material entre la máxima tensión de Von Mises de la estructura:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,222 \cdot 10^8} = 1,6$$

Como se puede ver, de manera que se le exige más al remolque, el factor de seguridad del mismo va disminuyendo. Siempre que este factor de seguridad sea mayor que el valor límite se podrá continuar con el análisis sin problemas.

#### 5.4.5 Aceleración y bache

Al situarse las motocicletas en el remolque de forma simétrica, basta con analizar el paso de del mismo por un bache por sólo una de las ruedas.

Cuando se suceden una aceleración y un bache con el remolque cargado con dos motocicletas en las guías exteriores, las tensiones en el remolque son las presentadas en la figura 5-34.

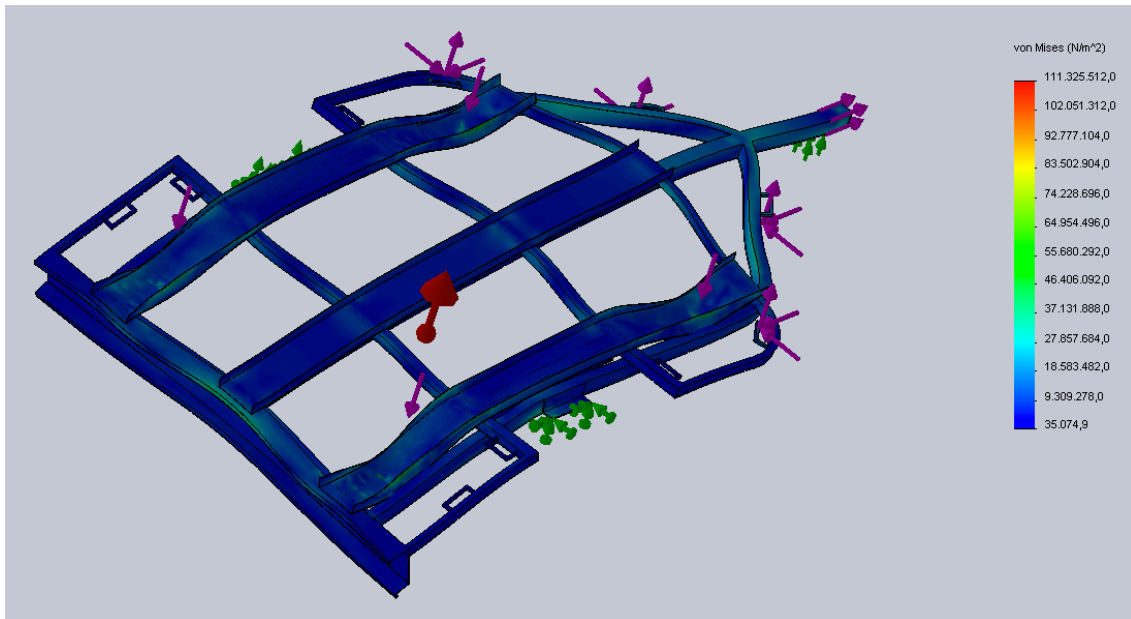


Figura 5-34 Von Mises aceleración y bache dos motocicletas

El factor de seguridad en este análisis es igual al cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises e igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,113 \cdot 10^8} = 1,7$$

#### 5.4.6 Frenada y bache

Invirtiendo el sentido de la fuerza aplicada en la punta de la lanza con respecto al análisis de aceleración, y aplicando una aceleración de 1,5g en una de las ruedas del remolque se obtienen los resultados que presentes en la figura 5-35.

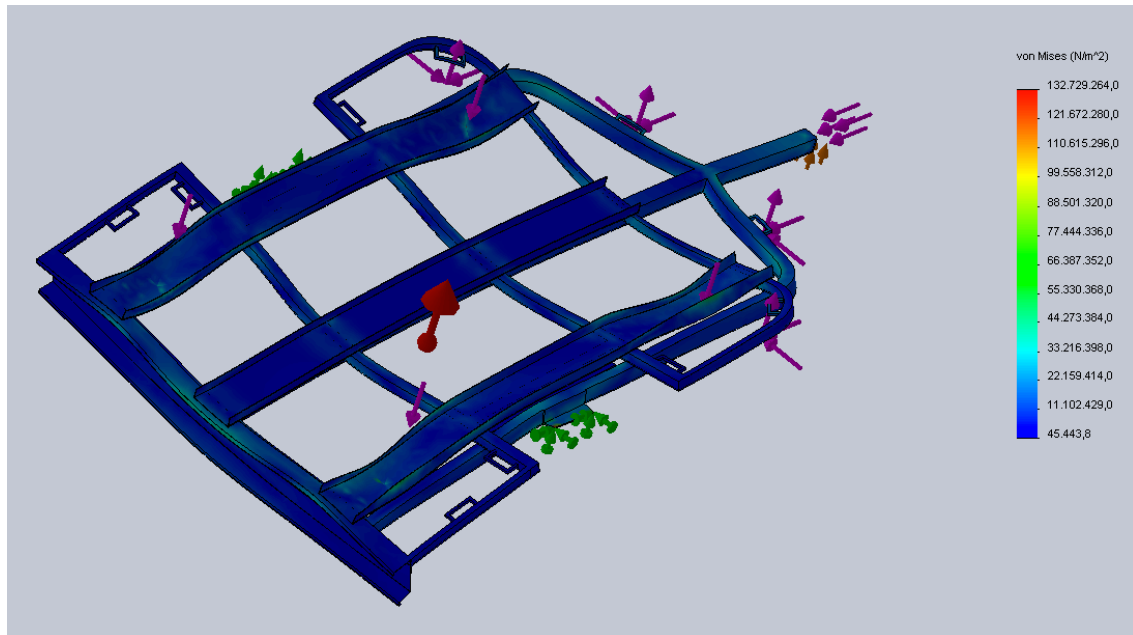


Figura 5-35 Von Mises frenada y bache dos motocicletas

El factor de seguridad es ahora:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,327 \cdot 10^8} = 1,5$$

Este resultado precisa una mención especial al ser igual a límite establecido antes de iniciar el estudio. Hasta ahora todos los resultados daban un amplio margen de seguridad pero en este caso se ajusta hasta la seguridad mínima. Este resultado no es preocupante ya que seguimos dentro de márgenes aceptables, si más adelante se obtiene un factor de seguridad menor a 1,5, se tendrán que tomar las medidas necesarias para solucionar el potencial problema.

### 5.5 *Dos motocicletas sitas a la izquierda*

A continuación se estudia el supuesto en que las dos motocicletas se sitúen en guías contiguas en la parte izquierda del remolque. Quedando colocadas una en la guía central (G.2, Figura 5-1), y otra en la guía izquierda (G.3, Figura 5-1). Aunque no se trate de una disposición muy común, es necesario comprobar que este caso no afecta al remolque.

### 5.5.1 Cálculos previos

Las fuerzas resultantes en este estudio son una combinación entre los resultados obtenidos en “Una motocicleta en guía central” (Sección 5.1.1) Y “Una motocicleta en guía izquierda” (Sección 5.2.1).

La motocicleta situada en la guía central (G.2, Figura 5-1), ata sus correas en las asas “A” y “D” (Figura 5-1). La motocicleta situada en la guía izquierda (G.3, Figura 5-1), ata sus correas en las asas “B” y “D” (Figura 5-1).

Por tanto, se presentan por un lado las fuerzas provocadas por una única correa en apoyos “A” y “B” (Figura 5-1) como se muestran a continuación:

Fuerzas en el apoyo “A” (Figura 5-1) calculadas en el estudio “Una motocicleta en guía central” (Sección 5.1.1):

$$\begin{aligned}\sum F_x &= -a_3 - a_1 = -207,13 \text{ N} \\ \sum F_y &= a_2 + b_3 = 207,13 \text{ N} \\ \sum F_z &= b_1 + b_2 = 377,78 \text{ N}\end{aligned}$$

Fuerzas en el apoyo “B” calculadas en el estudio “Una motocicleta en guía izquierda” (Sección 5.2.1):

$$\begin{aligned}\sum F_x &= -a_3 - a_2 = -233,93 \text{ N} \\ \sum F_y &= -a_1 - b_3 = -233,93 \text{ N} \\ \sum F_z &= b_1 + b_2 = 354,64 \text{ N}\end{aligned}$$

Por otro lado, ambas motocicletas atan sus correas correspondientes al lado izquierdo en el asa “D” (Figura 5-1). Esto provoca que las fuerzas resultantes en ejes X, Y, Z en este apoyo sean la suma de las fuerzas provocadas por la tensión de las correas izquierdas de ambas motocicletas.



La suma de las fuerzas resultantes en el apoyo “D” (Figura 5-1) provocadas por las motocicletas situadas en la guía central y en la guía izquierda son respectivamente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = -a_2 - b_3 = -207,13 \text{ N} \\ \sum F_y = a_3 + a_1 = 207,13 \text{ N} \\ \sum F_z = b_1 + b_2 = 377,78 \text{ N} \end{array} \right. + \left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = -a_3 - a_1 = -259,74 \text{ N} \\ \sum F_y = a_2 + b_3 = 65,85 \text{ N} \\ \sum F_z = b_1 + b_2 = 388,14 \text{ N} \end{array} \right.$$

Esto hace un total en el apoyo “D” (Figura 5-1) de:

$$\sum F_x = -207,13 - 259,74 = -466,87 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 207,13 + 65,85 = 272,98 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 377,78 + 388,14 = 765,92 \text{ N}$$

### 5.5.2 Carga de dos motocicletas a la izquierda

La distribución de fuerzas queda de la siguiente manera. Ahora los pesos de las motocicletas se reparten entre las dos guías de la izquierda vistas desde la parte frontal del remolque.

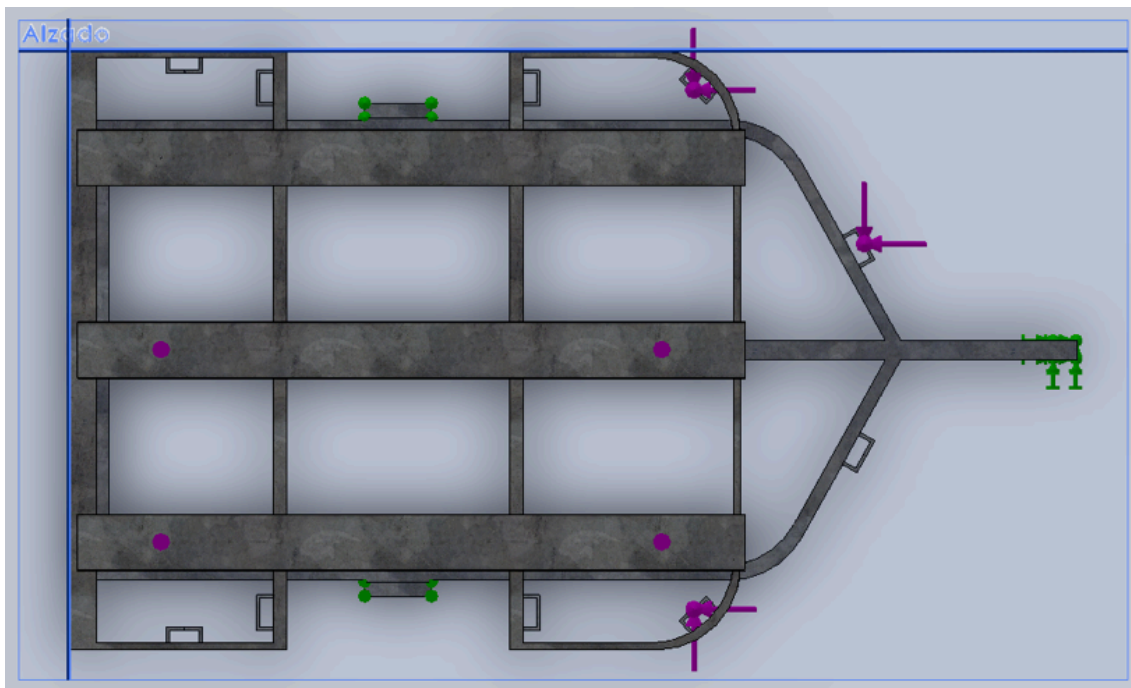


Figura 5-36 Distribución de cargas dos motocicletas izquierda

El reparto de tensiones en el remolque se aprecia en la figura 5-37.

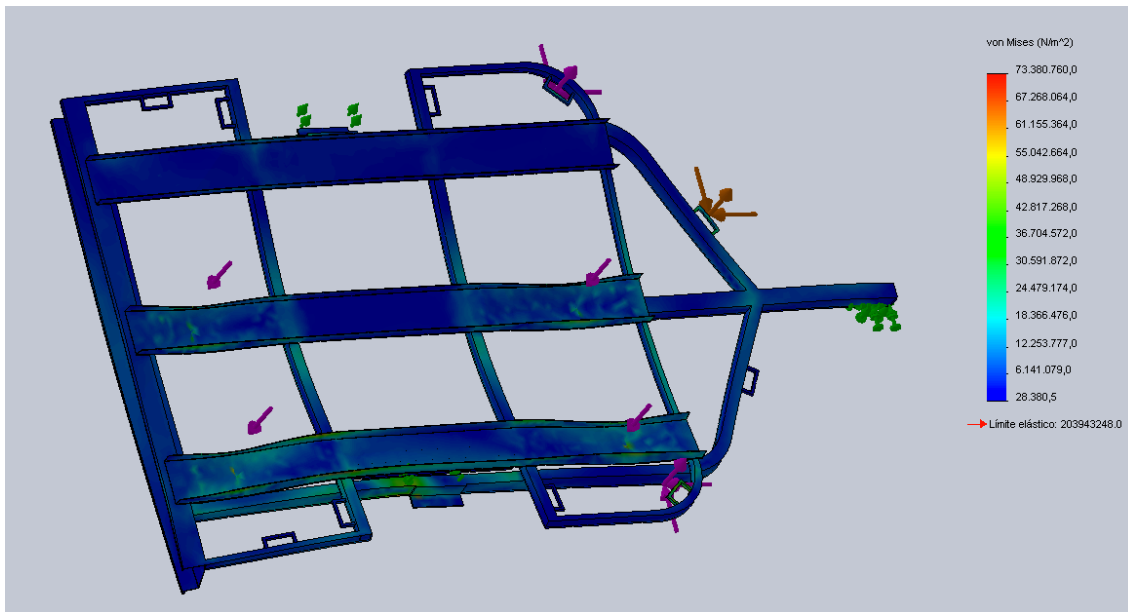


Figura 5-37 Von Mises carga dos motocicletas izquierda

Con la tensión máxima de Von Mises y el límite elástico del material, se calcula el factor de seguridad del remolque haciendo en cociente entre ellos.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{7,338 \cdot 10^7} = 2,7$$

Este factor de seguridad sigue siendo apto para el correcto funcionamiento del remolque.

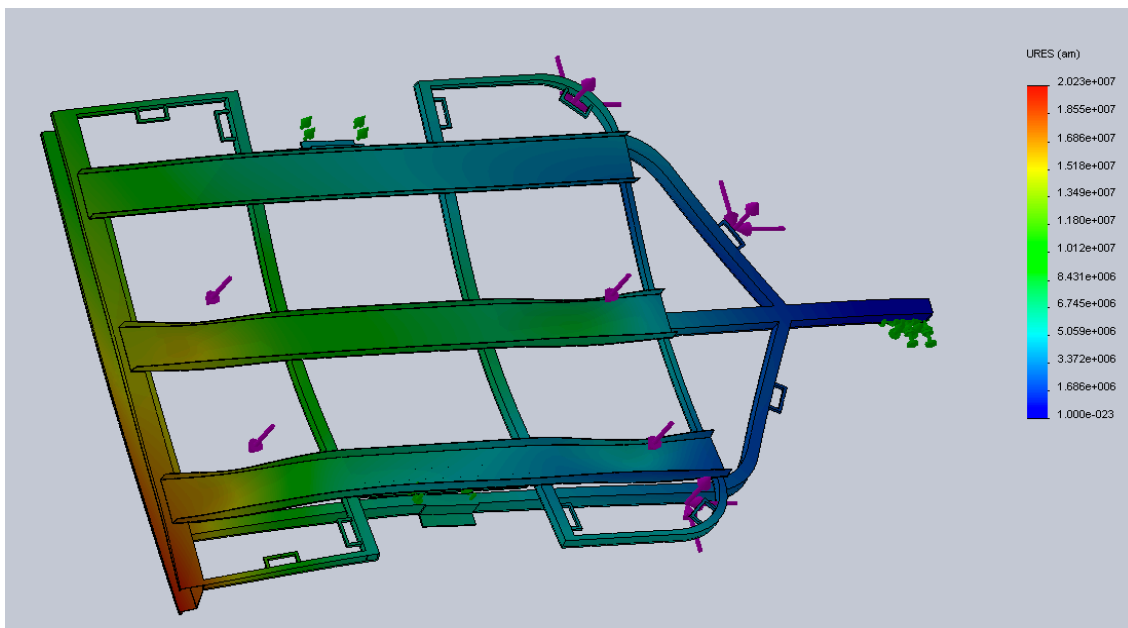


Figura 5-38 Desplazamientos dos motocicletas izquierda

La parte más se desplaza lo hace  $2,023e+007 \text{ \AA}$  (Figura 5-38), o lo que es lo mismo, 2,023 mm.

### 5.5.3 Aceleración

Como en análisis anteriores, se simula el caso de una aceleración brusca aplicando una fuerza en la punta del remolque en el mismo sentido de la marcha normal del vehículo.

Esto genera el reparto de tensiones en la estructura que se pueden apreciar en la figura 5-39.

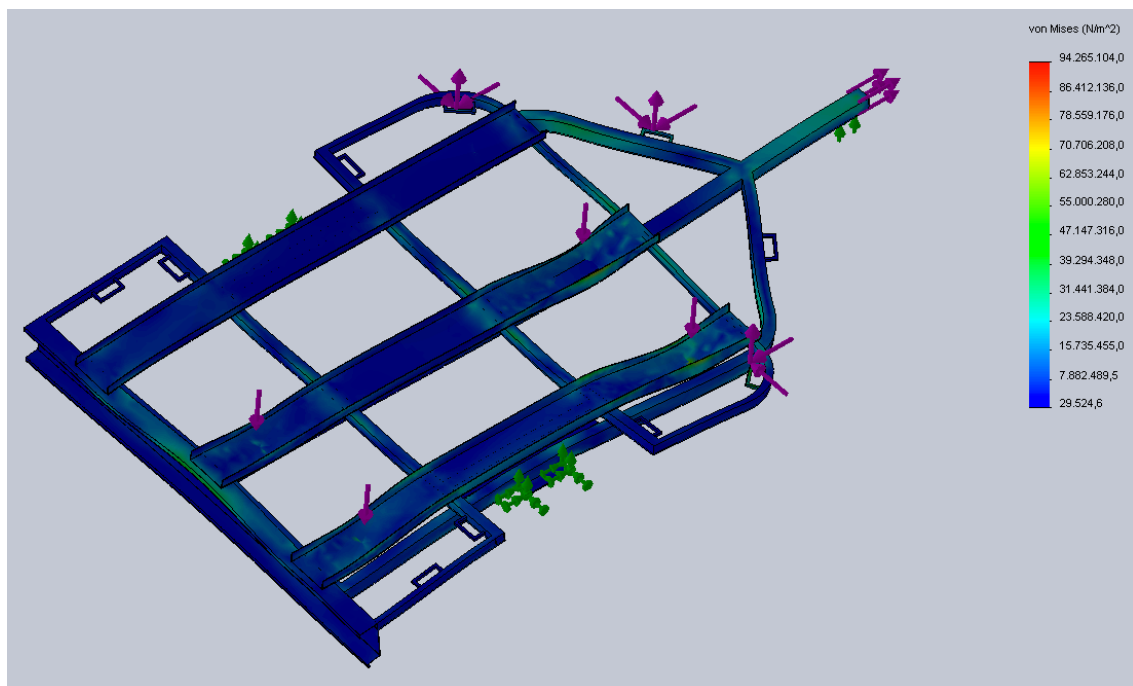


Figura 5-39 Von Mises aceleración dos motocicletas izquierda

Con estos datos relativos al reparto de tensiones de Von Mises en la estructura y el límite elástico del material se calcula el factor de seguridad de la estructura para este estudio que es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,426 \cdot 10^7} = 2,1$$

### 5.5.4 Frenada

Aplicando la misma fuerza pero en sentido opuesto al caso de aceleración brusca, se simula una frenada de emergencia del vehículo tractor.

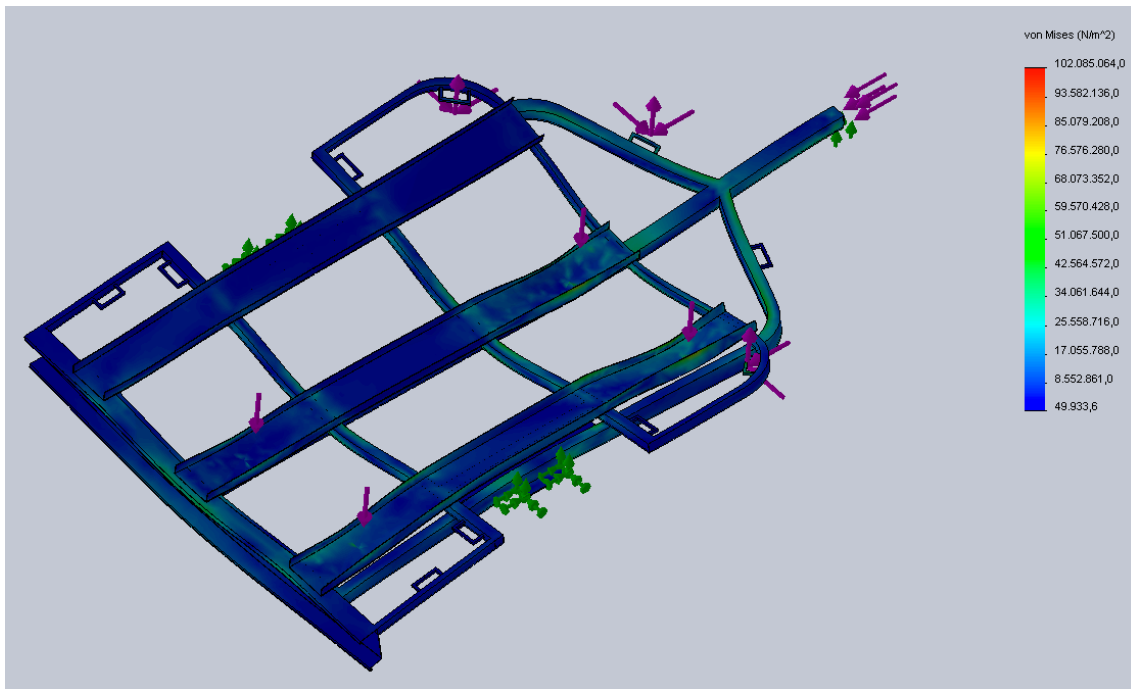


Figura 5-40 Von Mises frenada dos motocicletas izquierda

La figura 5-40 muestra el reparto de tensiones en la estructura. Haciendo el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura se obtiene que el factor de seguridad es:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,021 \cdot 10^8} = 1,9$$

Los factores de seguridad son mayores que 1,5 y por tanto, favorables para poder continuar con el estudio sin llevar a cabo ninguna modificación.

### 5.5.5 Aceleración y bache mismo lado

De nuevo, como en el análisis de una motocicleta en la guía izquierda (5.2), las motocicletas se sitúan ambas en el lado izquierdo del remolque siendo asimétrica esta distribución.

Las tensiones en el remolque se muestran en la figura 5-41 que proporciona las tensiones de Von Mises en la estructura:

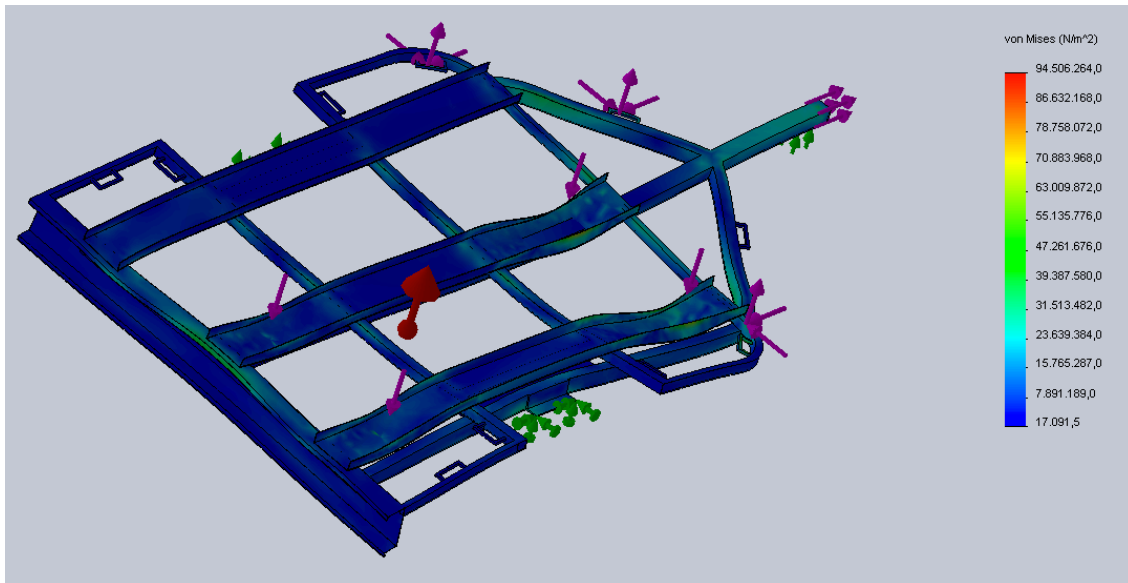


Figura 5-41 Von Mises aceleración y bache dos motocicletas izquierda

El factor de seguridad es calculado del mismo modo que en situaciones anteriores, siendo igual al cociente ente el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura, e igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,451 \cdot 10^7} = 2,1$$

### 5.5.6 Frenada y bache mismo lado

En la figura 5-41 se muestran las tensiones en la estructuras al someterla a una frenada y un bache en la rueda del mismo lado en el que se sitúa la carga.

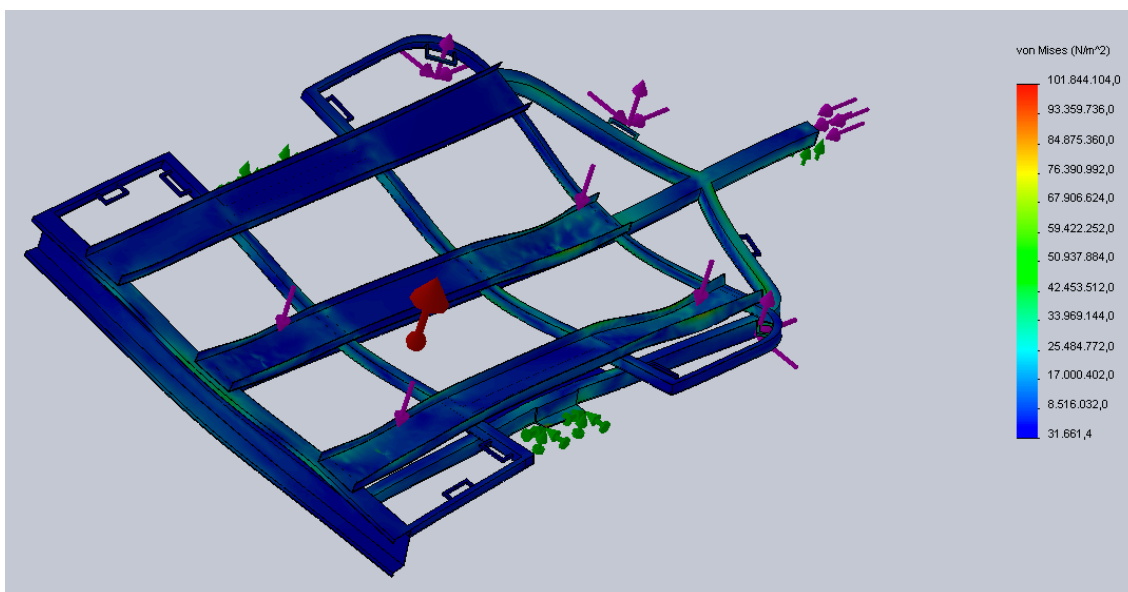


Figura 5-42 Von Mises frenada y bache dos motocicletas izquierda

Haciendo el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises se obtiene un factor de seguridad de:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,018 \cdot 10^8} = 2,0$$

### 5.5.7 Aceleración y bache lado opuesto

Ahora se presentan los mismos casos que los dos analizados antes pero con el efecto del bache en la rueda opuesta al lado donde se sitúa la carga

En el caso de la aceleración brusca del vehículo tractor, se genera en la estructura la distribución de tensiones vista en la figura 5-43.

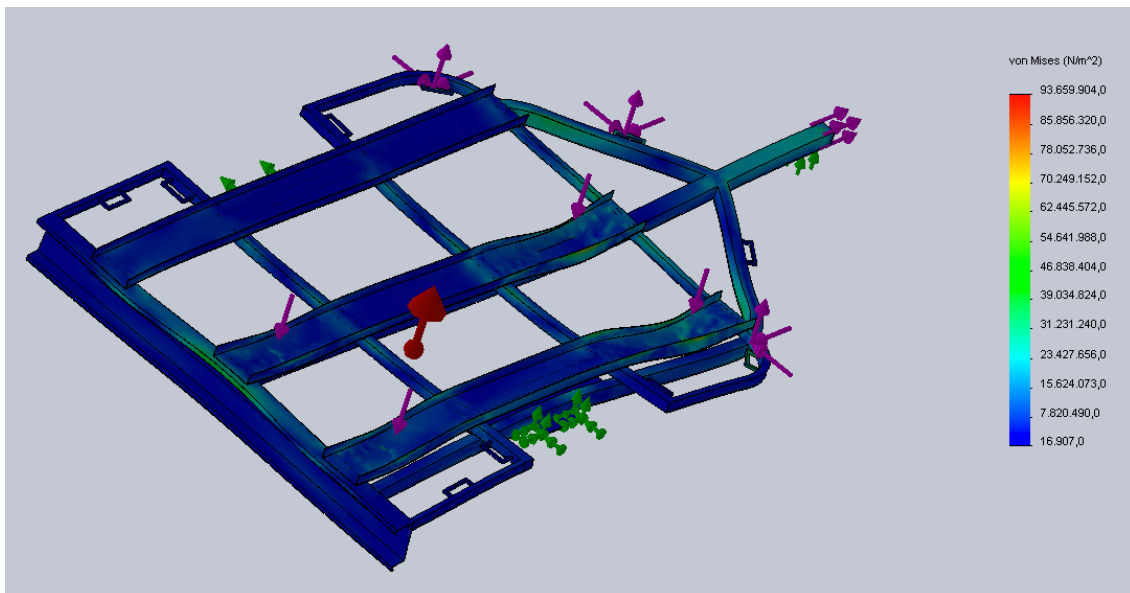


Figura 5-43 Von Mises aceleración y bache dos motocicletas izquierda

Haciendo el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura se obtiene el nuevo factor de seguridad. El factor de seguridad para este nuevo análisis es:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,366 \cdot 10^7} = 2,1$$

### 5.5.8 Frenada y bache lado opuesto

La última posibilidad por analizar, consiste en que el bache se da en el lado opuesto a la carga, y además el vehículo tractor frena el remolque en el menor espacio y tiempo posibles.

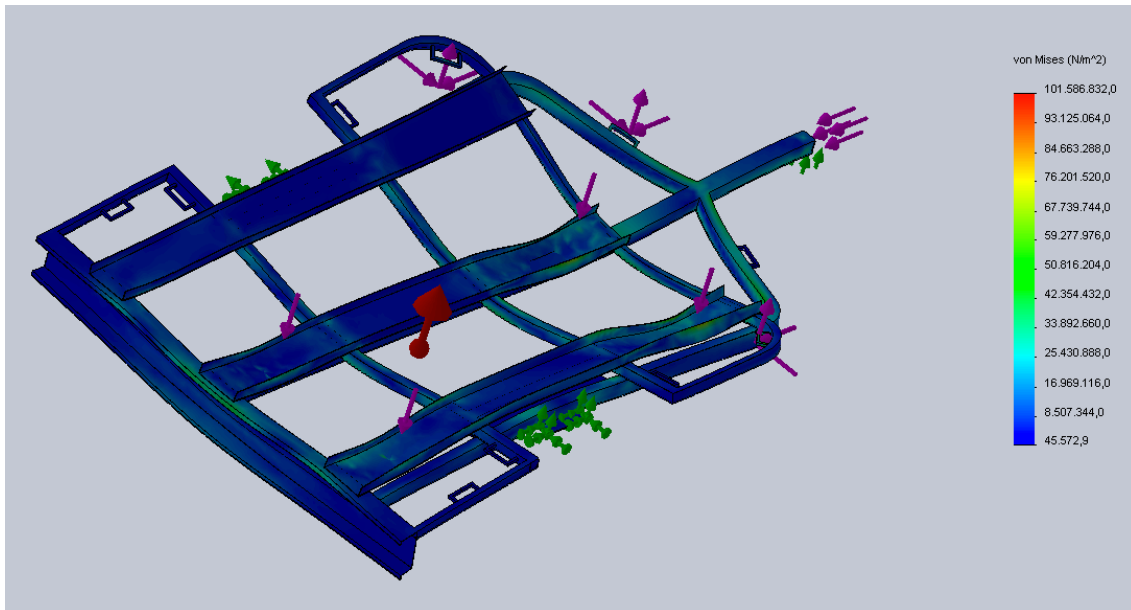


Figura 5-44 Von Mises frenada y bache dos motocicletas izquierda

Con la tensión máxima de Von Mises definida en la figura 5-44 y el límite elástico del material se determina el factor de seguridad.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,016 \cdot 10^8} = 2,0$$

### 5.6 Dos motocicletas sitas a la derecha

De ahora en adelante, se omite este estudio ya que los resultados obtenidos son iguales a los del estudio anterior, “5.5 Dos motocicletas sitas a la izquierda”.

### 5.7 Tres motocicletas

En la tercera suposición de carga, el remolque soporta la carga de tres motocicletas, siendo este el número máximo de motocicletas a transportar. Se trata del estado máximo de carga.

La distribución de motocicletas se ve condicionada por la falta de espacio. Si se colocan las tres en la misma dirección, los manillares de estas se estorban impidiendo ser colocadas verticalmente. Por ello, la motocicleta situada en la guía central (G.2, Figura 5-1) se coloca en sentido inverso a las otras dos, mirando hacia atrás.

### 5.7.1 Cálculos previos

Se trata de una combinación entre los estudios de “Dos motocicletas en guías opuestas” (5.4.1), y un nuevo estudio consistente en una motocicleta en el carril central mirando hacia atrás (Figura 5-45).

Esta tercera motocicleta es situada en la guía G.2 y se ata en las asas “G” y “H” (Figura 5-1).

Las figuras 5-45 y 5-46 muestran esquemas de la vista frontal y lateral respectivamente, de una motocicleta en la guía central mirando hacia atrás. Los elementos de color rojo simulan las correas atadas por un lado al manillar y por otro a su correspondiente asa en el remolque.

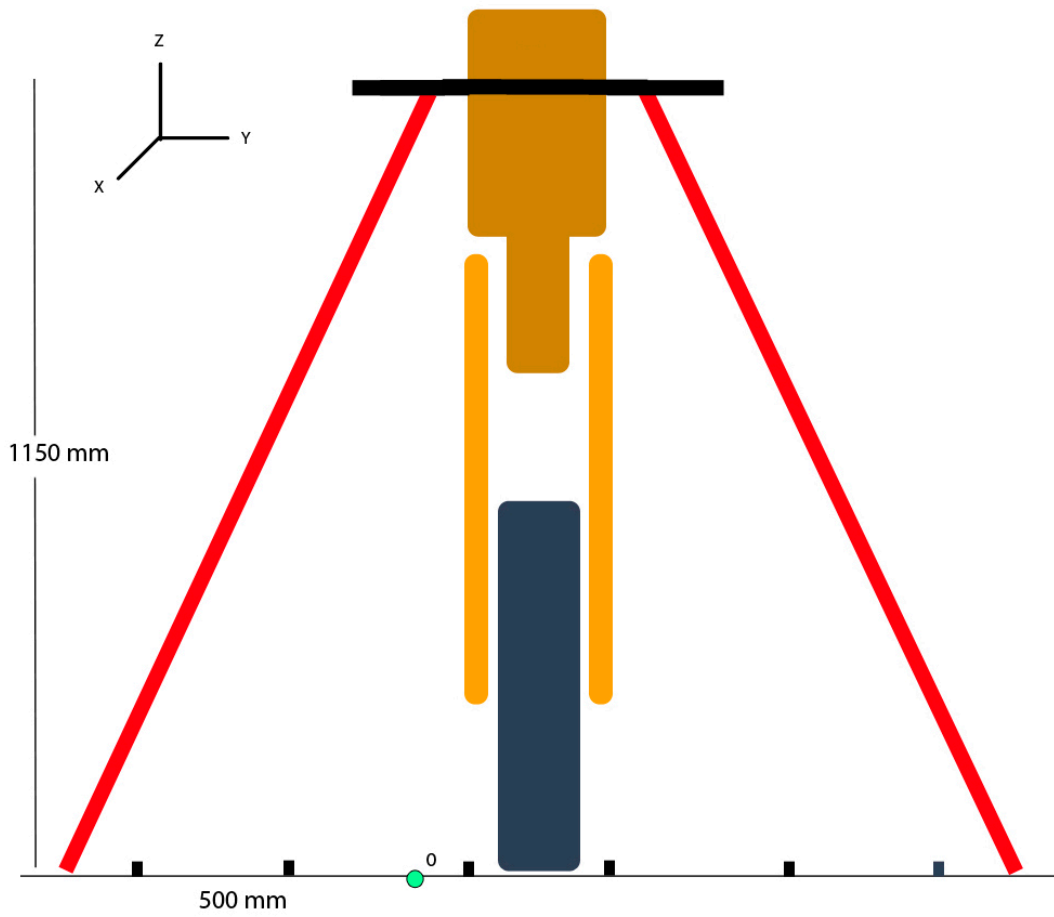


Figura 5-45 Vista trasera motocicleta en guía central



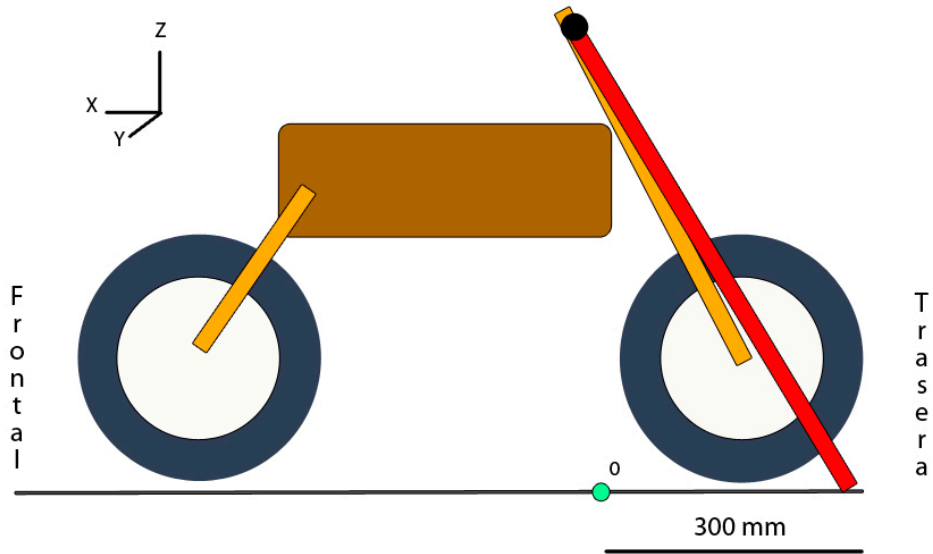


Figura 5-46 Vista lateral motocicleta guía central

La figura 5-47 detalla la tensión provocada por la correa que se ata en el apoyo "G" (Figura 5-1) y las correspondientes resultantes en ejes X, Y, Z.

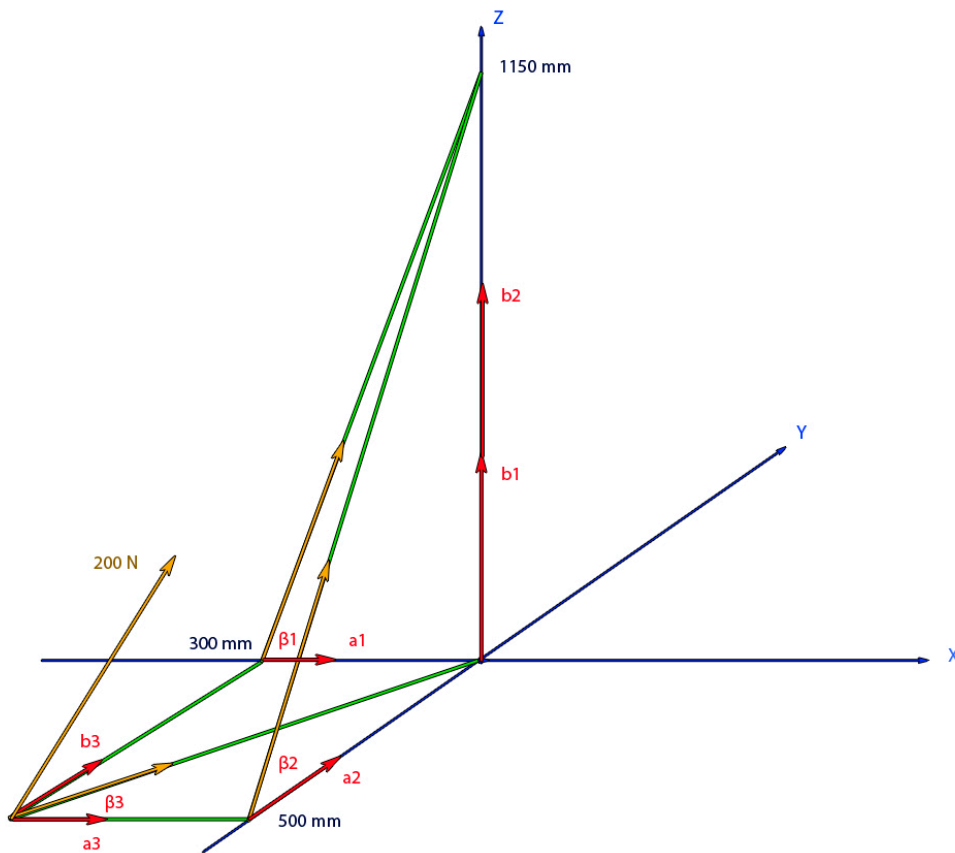


Figura 5-47 Descomposición de fuerzas

La tabla 13 reúne todas las variables y datos necesarios para el estudio que a continuación se realiza.

**Tabla 13** Variables y datos de cálculo

Tensión provocada por correa en su correspondiente asa	200 N
Distancia horizontal en eje X desde manillar hasta asa	-300 mm
Distancia horizontal en eje Y desde manillar hasta asa	-500 mm
Distancia vertical en eje Z desde manillar hasta asa	1150 mm
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Z	$\beta_1$
Ángulo formado por tensión con eje X en plano Y-Z	$\beta_2$
Ángulo formado por tensión con eje Y en plano X-Y	$\beta_3$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje X	$\Sigma F_x$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Y	$\Sigma F_y$
Fuerza total provocada por la tensión de 200N en eje Z	$\Sigma F_z$

Haciendo el cociente entre las distancias vertical y horizontal en el plano X-Z, se obtiene el ángulo que forma la tensión de la correa con el eje X (Figura 5-47):

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{1150}{300}$$

Ahora se puede despejar de la ecuación anterior  $\beta_1$ :

$$\beta_1 = 75,38^\circ$$

Siendo el coseno de un ángulo el cociente entre el lado contiguo y la hipotenusa, es despejado el valor de las resultantes en ejes X y Z (Figura 5-47):

$$a_1 = \cos\beta_1 \cdot 200 = 50,50 \text{ N}$$

$$b_1 = \operatorname{sen}\beta_1 \cdot 200 = 193,52 \text{ N}$$

La tangente del ángulo que forma la tensión de la correa con el eje Y en el plano Y-Z es igual al cociente entre las distancias vertical y horizontal hasta este punto:

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1150}{500}$$

Este ángulo es igual a:

$$\beta_2 = 66,50^\circ$$

Las resultantes en ejes Y y Z respectivamente son (Figura 5-47):

$$a_2 = \cos\beta_2 \cdot 200 = 79,74 \text{ N}$$

$$b_2 = \text{sen}\beta_2 \cdot 200 = 183,41 \text{ N}$$

Por último, en el plano X-Y, el ángulo que forma la tensión con el eje X es igual al arco-tangente del cociente entre las distancias opuestas y contigua:

$$\text{tg}\beta_3 = \frac{500}{300}$$

Este ángulo es:

$$\beta_3 = 59,04^\circ$$

De forma semejante a lo realizado anteriormente, las resultantes en ejes X e Y son respectivamente (Figura 5-47):

$$a_3 = \cos\beta_3 \cdot 200 = 102,90 \text{ N}$$

$$b_3 = \text{sen}\beta_3 \cdot 200 = 171,50 \text{ N}$$

Se tiene por tanto, que las fuerzas en ejes X, Y, Z en el apoyo "G" (Figura 5-1) son iguales a:

$$\sum F_x = a_1 + a_3 = 153,40 \text{ N}$$

$$\sum F_y = a_2 + b_3 = 251,24 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 376,93 \text{ N}$$

Al tratarse de una disposición simétrica de las motocicletas en el remolque, las fuerzas en ejes X, Y, Z en el apoyo "H" (Figura 5-1) son iguales a las producidas por la correa en el apoyo "G" (Figura 5-1) pero cambiando de sentido la correspondiente al eje Y (Figura 5-47):

$$\sum F_x = a_1 + a_3 = 153,40 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -a_2 - b_3 = -251,24 \text{ N}$$

$$\sum F_z = b_1 + b_2 = 376,93 \text{ N}$$

### 5.7.2 Carga de tres motocicletas

El reparto de cargas es el más complejo al tener que combinar dos motocicletas mirando hacia delante y una tercera hacia atrás, que se ata en los puntos de sujeción traseros (Figura 5-48).

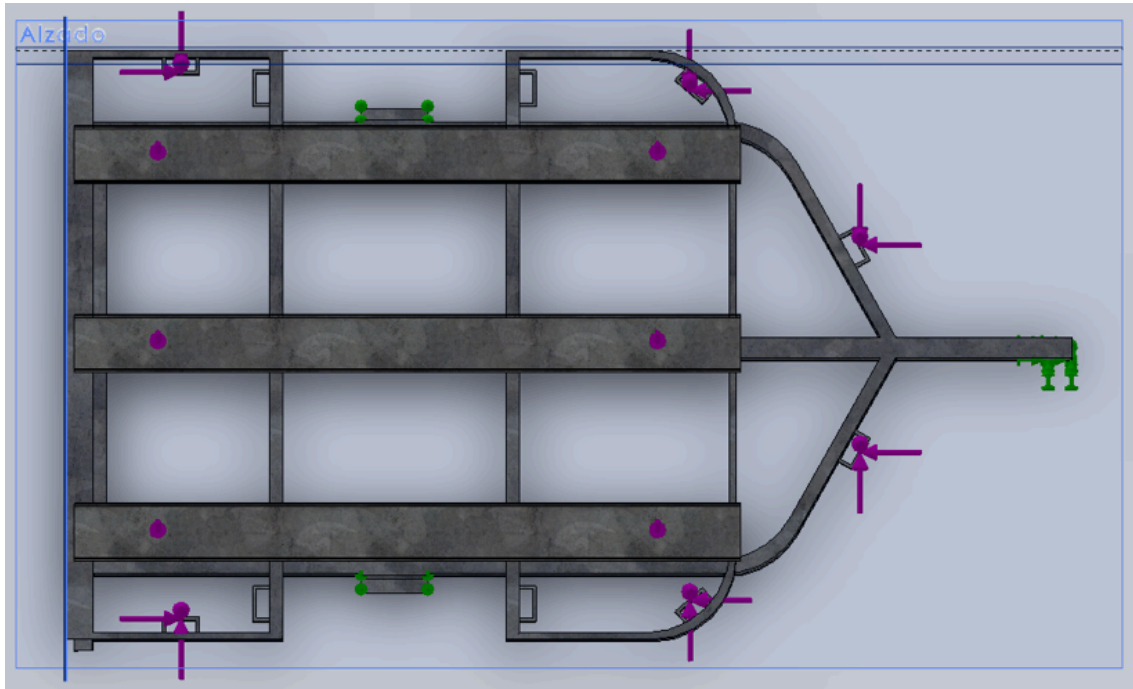


Figura 5-48 Reparto de cargas tres motocicletas

A pesar de encontrarse en su estado máximo de carga, el simétrico reparto de las cargas por el remolque hace que la seguridad del mismo no se vea gravemente afectada. Las tensión máxima de Von Mises (Figura 5-49) es muy inferior al límite elástico del material.

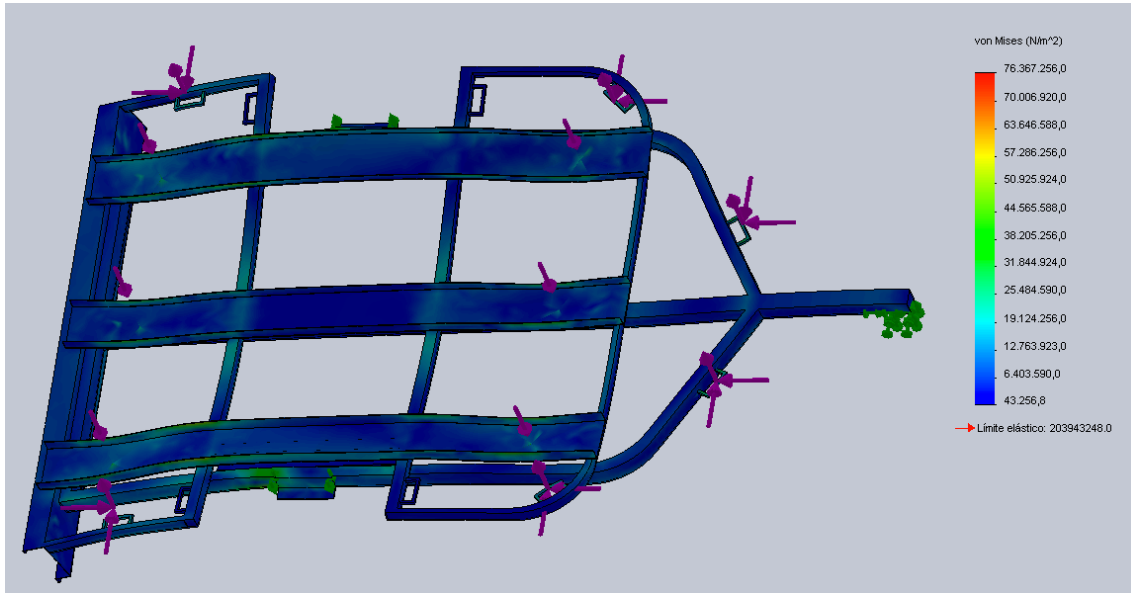


Figura 5-49 Von Mises carga tres motocicletas

Con estos datos y se calcula el factor de seguridad del remolque en este nuevo estado de carga. Este es igual al cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises en la estructura.

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{7,637 \cdot 10^7} = 2,6$$

Como se aprecia en la figura 5-50, los desplazamientos continúan entrando dentro de rangos adecuados.

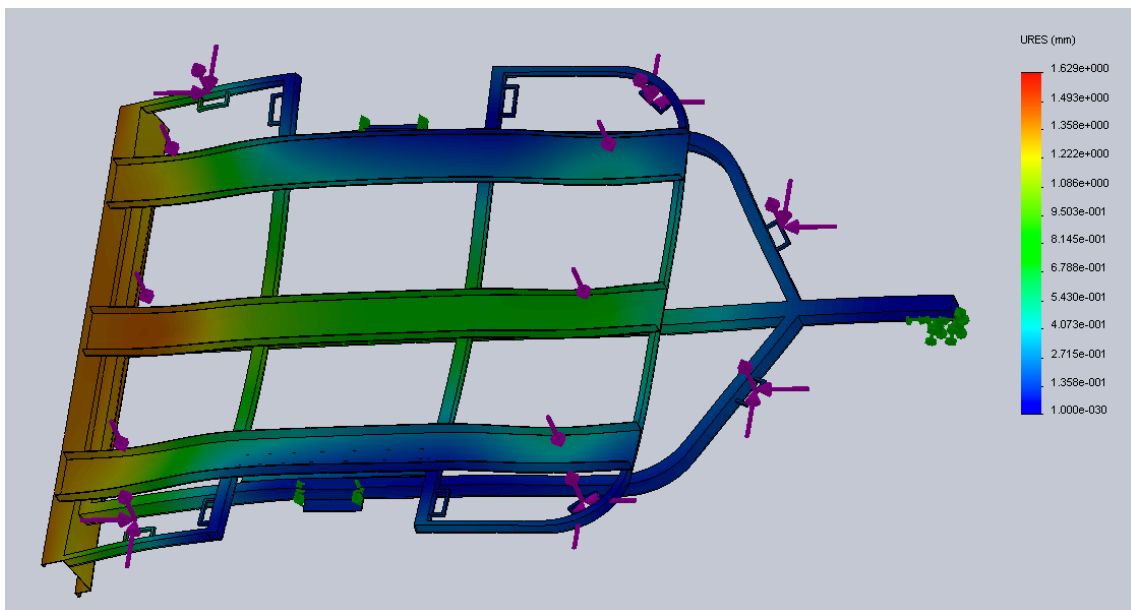


Figura 5-50 Desplazamientos tres motocicletas

### 5.7.3 Aceleración

Es aplicada en la punta del remolque la carga anteriormente calculada necesaria para acelerar el vehículo en el menor tiempo y espacio posible transportando tres motocicletas.

Al aplicar esta nueva fuerza en sentido del movimiento que el vehículo tractor llevaría al andar, se generan en el remolque las tensiones mostradas en la figura 5-51.

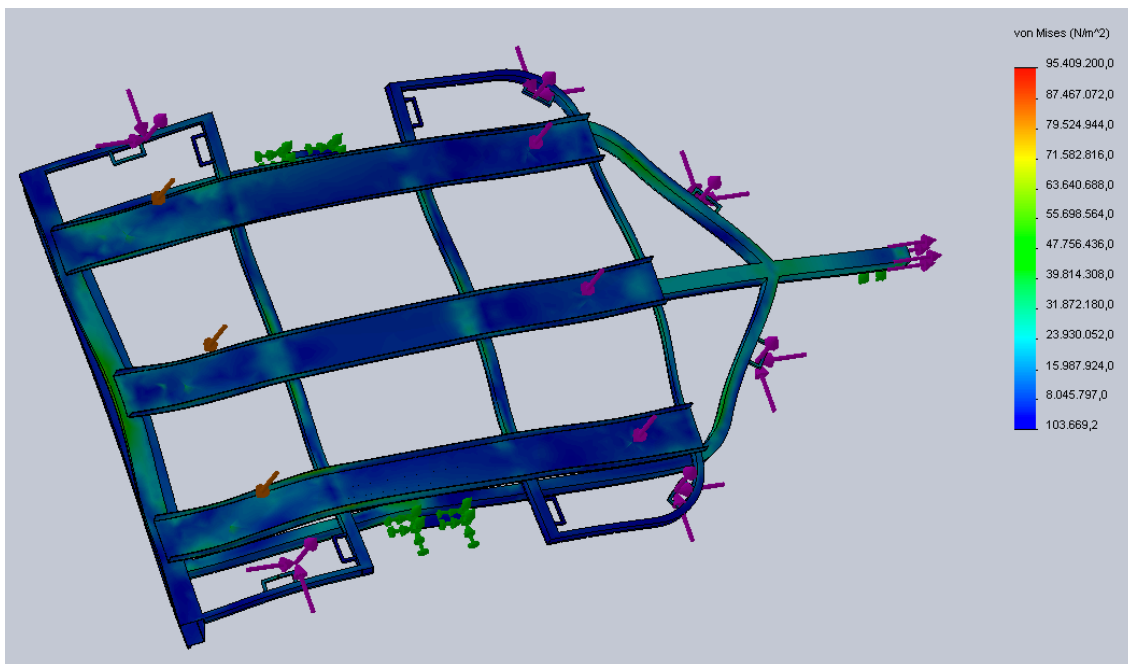


Figura 5-51 Von Mises aceleración tres motocicletas

Con estos datos ya se puede calcular el factor de seguridad de la estructura que es igual al cociente entre el límite elástico y la máxima tensión de Von Mises:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,541 \cdot 10^7} = 2,1$$

### 5.7.4 Frenada

Aplicando la misma fuerza que para el caso de aceleración brusca pero en sentido opuesto, se simula una situación de frenada de emergencia. En la figura 5-52 se pueden ver las tensiones generadas en la estructura.

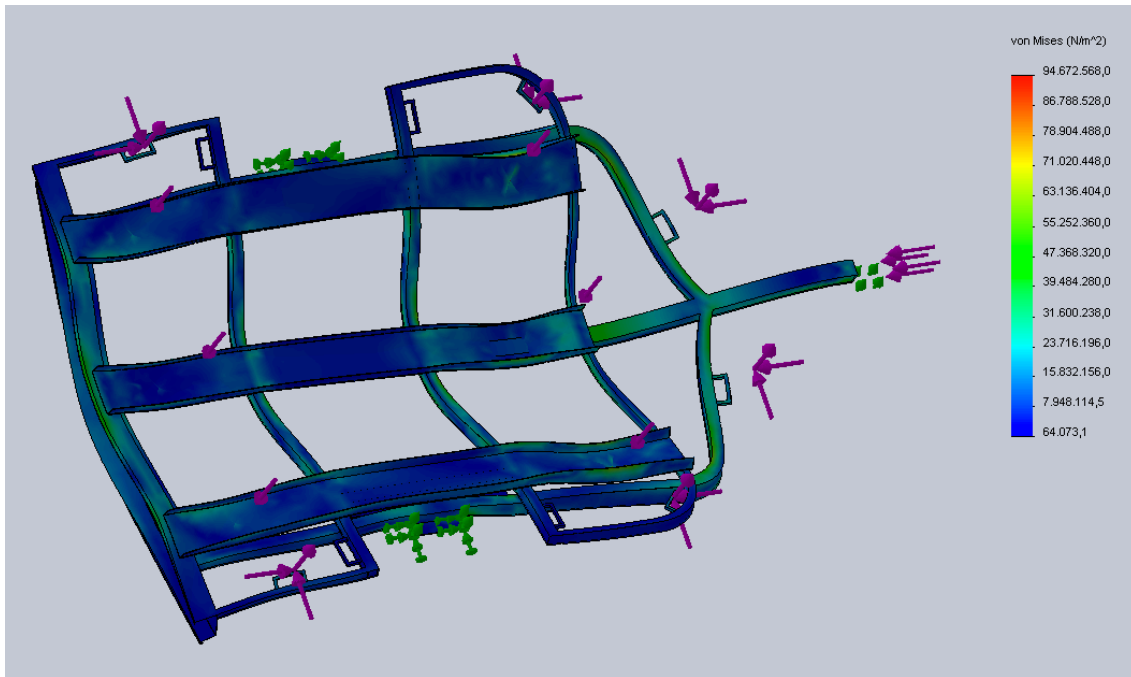


Figura 5-52 Von Mises frenada tres motocicletas

Dividiendo el límite elástico del material por la máxima tensión de Von Mises de la estructura se puede calcular el nuevo factor de seguridad del remolque que es igual a:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,467 \cdot 10^7} = 2,1$$

El remolque no falla cuando transporta el número máximo de motocicletas y además sufre la acción de una frenada o aceleración bruscas.

### 5.7.5 Aceleración y bache

En el último supuesto de carga se vuelve a presentar una distribución simétrica de las motocicletas en el remolque, lo que hace que solo sean necesarios dos análisis ante el paso por un bache en la carretera.

En la Figura 5-53 se ve la distribución de tensiones de Von Mises por la estructura siendo el valor máximo igual a 132,1 MPa.

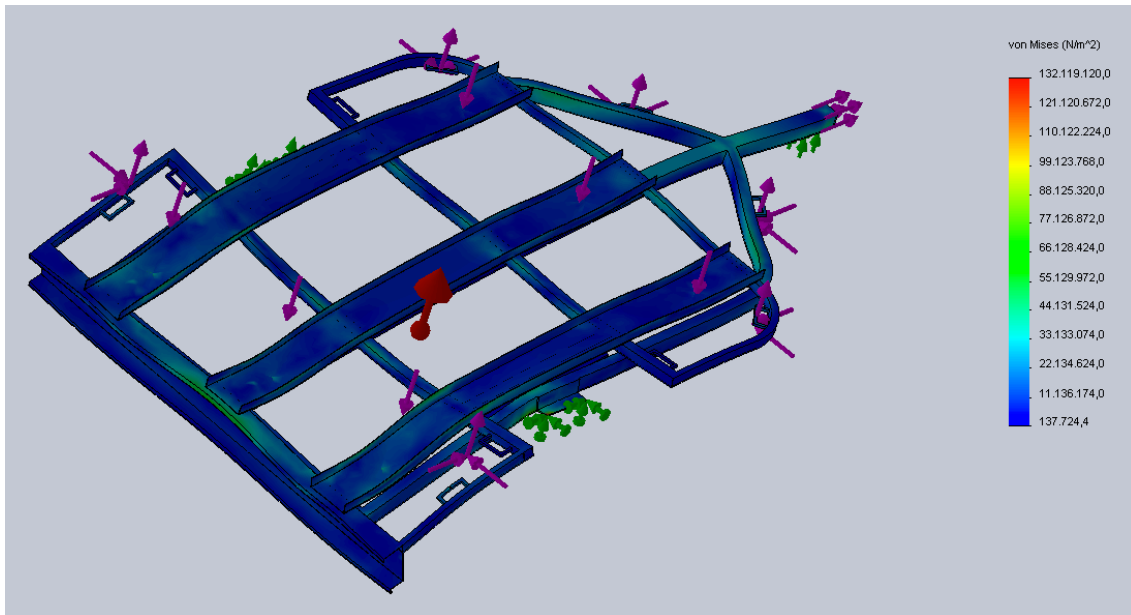


Figura 5-53 Von Mises aceleración y bache tres motocicletas

El factor de seguridad obtenido al realizar este análisis, de forma semejante a casos anteriores, es igual al cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises de la estructura:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{1,321 \cdot 10^8} = 1,5$$

### 5.7.6 Frenada y bache

En el último supuesto se presenta la acción conjunta de las tres motocicletas, la frenada de emergencia del vehículo tractor y el paso por un bache. Este conjunto de sucesos generan en la estructura las tensiones mostradas en la figura 5-54.



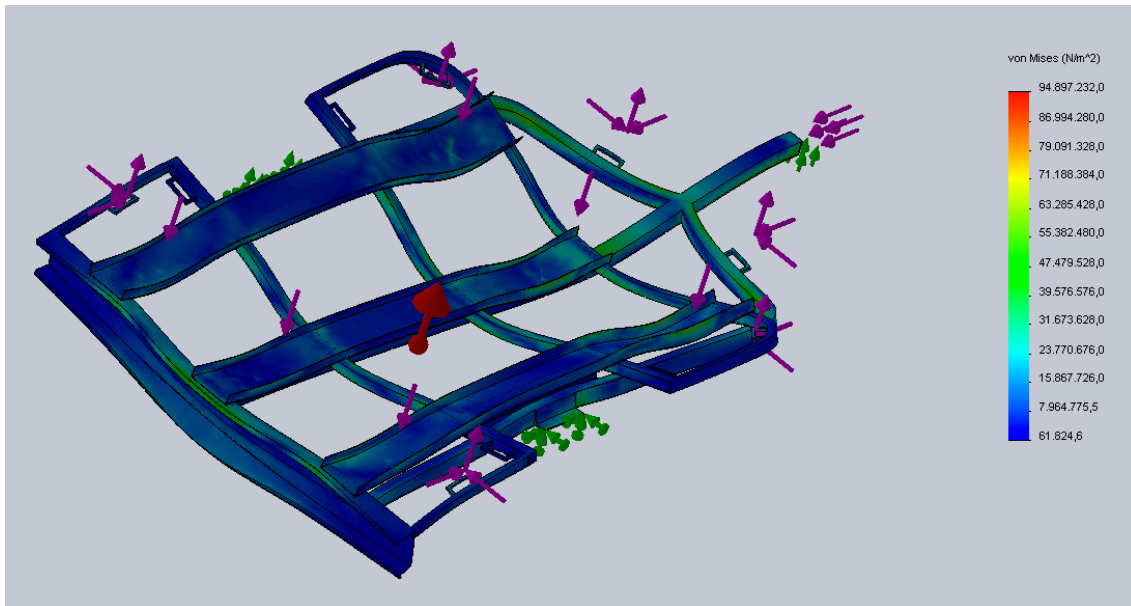


Figura 5-54 Von Mises frenada y bache tres motocicletas

Realizando el cociente entre el límite elástico del material y la máxima tensión de Von Mises se obtiene un factor de seguridad de:

$$S = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{2,039 \cdot 10^8}{9,489 \cdot 10^7} = 2,1$$

## 6 RESULTADOS

Se elabora una tabla (Tabla 14) que permite comparar los resultados obtenidos en los estudios en que el remolque se encuentra cargado solo con las motocicletas, y los estudios en que además de estar cargado, sufre una aceleración o frenada de forma simultánea al paso por un bache.

En la primera columna, denominados con la letra “S”, se reúnen todos los factores de seguridad obtenidos al someter al remolque a la carga de una, dos y tres motocicletas respectivamente. En la segunda, nombrados con la letra “S”, se agrupan todos los factores de seguridad correspondientes al análisis del remolque al imponerle la acción tanto de la carga como del paso por un bache y una aceleración brusca o frenada de emergencia. Por último, en la tercera columna se comparan los factores de seguridad más críticos en cada caso con el límite establecido para el estudio de 1,5.

**Tabla 14**      **Tabla de resultados**

Remolque cargado	Remolque cargado + Aceleración/Frenada + Paso por bache	Seguridad mínima 1,5
1 Moto Centro S = 4,2	Aceleración + Bache S = 3,7	2,1 > 1,5
	Frenada + Bache S = 2,1	
1 Moto Izquierda S = 2,7	Aceleración + Bache (Mismo Lado) S = 1,8	1,8 > 1,5
	Frenada + Bache (Mismo Lado) S = 1,9	
	Aceleración + Bache (Lado Opuesto) S = 2,7	
	Frenada + Bache (Lado opuesto) S = 1,9	
2 Motos Simétricas S = 1,7	Aceleración + Bache S = 1,7	1,5 = 1,5
	Frenada + Bache S = 1,5	

Remolque cargado	Remolque cargado + Aceleración/Frenada + Paso por bache	Seguridad mínima 1,5
2 Motos Izquierda S = 2,7	Aceleración + Bache (Mismo Lado) S = 2,1	2,0 > 1,5
	Frenada + Bache (Mismo Lado) S = 2,0	
	Aceleración + Bache (Lado Opuesto) S = 2,1	
	Frenada + Bache (Lado opuesto) S = 2,0	
3 Motos S = 2,6	Aceleración + Bache S = 1,5	1,5 = 1,5
	Frenada + Bache S = 2,1	

Como era de esperar, el coeficiente de seguridad disminuye cuantos más esfuerzos soporta el remolque.

Es imprescindible destacar que todos estos coeficientes son mayores o igual, en los casos mas extremos, a 1,5, límite establecido para confirmar el correcto funcionamiento de la estructura del remolque.

A la vista de los resultados, se pueden sacar varias conclusiones:

- La geometría de la estructura es apta para el transporte seguro de entre una y tres motocicletas.
- El diseño de la estructura cumple con las exigencias de maniobrabilidad, ligereza y seguridad.
- La instalación de elementos con características normalizadas permitirán al usuario encontrar repuestos con facilidad en el caso de ser necesarios.
- La utilización de acero galvanizado en la fabricación del remolque permitirá la utilización en el exterior del mismo sin preocuparse por condiciones atmosféricas adversas.

Como conclusión final, se considera viable la posibilidad de comenzar con la fabricación del remolque ya que cumple todas las expectativas y exigencias establecidas en el proyecto.



## 7 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como posibles trabajos futuros relacionados con el diseño y estudio de un remolque de motocicletas se mantienen abiertas las siguientes líneas de investigación:

1. Ensayo a fatiga de la estructura del remolque con prototipos reales.
2. Utilización de diferentes materiales que puedan mejorar las propiedades del remolque como puede ser el peso sin aumentar el precio.
3. Posibilidad de utilizar esta estructura de remolque para convertirlo en un remolque carrozado.
4. Variar las dimensiones de la lanza del remolque para mejorar la estabilidad.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://www.urbeni.com/caracteristica\\_remolques.aspx](http://www.urbeni.com/caracteristica_remolques.aspx)
- [2] <http://www.ibericaderemolques.com/WEB/MOTOS.HTML>
- [3] [http://www.motos365.com/bd/anuncios/201106042002390.remolque\\_GP.jpg](http://www.motos365.com/bd/anuncios/201106042002390.remolque_GP.jpg)
- [4] [http://www.ymotor.com/spa/item/resource/ART74544/03042009\(004\).jpg](http://www.ymotor.com/spa/item/resource/ART74544/03042009(004).jpg)
- [5] [http://fotos.anuncioneon.com/ivermon\\_trailer\\_remolques\\_porta\\_coches\\_plataformas\\_fabricadas\\_en\\_aluminio/659123.jpg](http://fotos.anuncioneon.com/ivermon_trailer_remolques_porta_coches_plataformas_fabricadas_en_aluminio/659123.jpg)
- [6] <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSkxCULu861-wX2LTCcHt-7-XSOuN10ln8Fw0N2lVyydb3R2VCb4qZn2vRt3g>
- [7] [http://www.homologar.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&..](http://www.homologar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=12&..)
- [8] [http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/Derogadas/r0-rd2140-1985.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/Derogadas/r0-rd2140-1985.html)
- [9] [http://www.homologar.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12&Itemid=18](http://www.homologar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=18)
- [10] <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>
- [11] <http://robaq.blogspot.es/>
- [12] [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_es/plm/fea.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/fea.shtml)
- [13] <http://geplasmetal.com/>
- [14] <http://www.ibericaderemolques.com/WEB/ACCESORIOS.HTML>
- [15] [http://www.incooperfil.com/UserFiles/acero%20galvanizado%20zinc%20cubierta%20fachada%20forjado%20colaborante\(1\).jpg](http://www.incooperfil.com/UserFiles/acero%20galvanizado%20zinc%20cubierta%20fachada%20forjado%20colaborante(1).jpg)
- [16] A. Serrano Nicolás “El diseño mecánico” Mira editores. Pág. 50-66. 1999
- [17] [http://www.arpem.com/coches/coches/bmw/s\\_5/modelos-04/530-d-218.html](http://www.arpem.com/coches/coches/bmw/s_5/modelos-04/530-d-218.html)
- [18] [http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/acc\\_coche/ac\\_frenada.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/acc_coche/ac_frenada.htm)
- [19] Thomas A. Moore “FÍSICA. Seis ideas fundamentales” McGraw-Hill. Segunda edición, Tomo 1. Pág. 405-409.
- [20] <http://www.remolqueslafuente.com/remolques/limite-de-velocidad-de-un-remolque.html>



- [21] Andrés Castaño Posada, Hernán Darío Moreno Ramírez “Diseño de Máquinas” Universidad Pontificia Bolivariana, Departamento de Mecánica, Medellín. Pág. 269-270.
- [22] William F. Smith “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales” McGraw-Hill. Tercera edición. Pág. 630-636.
- [23] Jesús Félez, M<sup>a</sup> Luisa Martínez “Dibujo Industrial” SINTESIS. 3<sup>a</sup> edición revisada. 1999.