



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
Especialidad Mecánica

TRABAJO FIN DE GRADO  
DISEÑO Y VERIFICACIÓN POR ELEMENTOS  
FINITOS DE SIDECAR PARA MOTOCICLETA

Autor: Guillermo López Sánchez

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid, Julio de 2020



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Diseño y verificación por elementos finitos de sidecar para motocicleta  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Guillermo López Sánchez

Fecha: 20 de Julio de 2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan de Norverto Moriñigo

Fecha: 20 de Julio de 2020



Firmado digitalmente por  
NORVERTO MORIÑIGO  
JUAN - DNI 09746499L  
Fecha: 2020.07.21  
17:45:46 +02'00'





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
Especialidad Mecánica

TRABAJO FIN DE GRADO  
DISEÑO Y VERIFICACIÓN POR ELEMENTOS  
FINITOS DE SIDECAR PARA MOTOCICLETA

Autor: Guillermo López Sánchez

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid, Julio de 2020



# DISEÑO Y VALIDACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DE SIDECAR PARA MOTOCICLETA

**Autor: López Sánchez, Guillermo.**

Director: Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en el diseño de un complemento sidecar para una motocicleta moderna, Triumph modelo América, buscando el concepto tradicional y funcional de un sidecar y asegurar el cumplimiento de los requisitos de regulación y seguridad. Se han aplicado y probado nuevos materiales siguiendo los métodos de validación de elementos finitos con resultados satisfactorios que lo hacen viable para la fabricación de un prototipo.

**Palabras clave:** sidecar, Triumph, chasis, diseño, estructura.

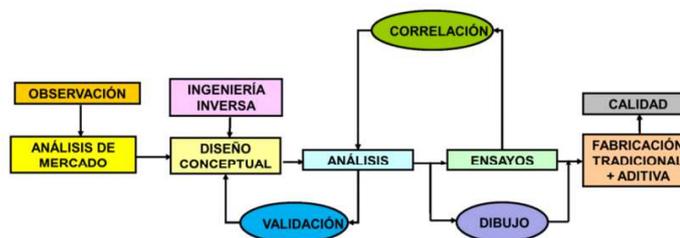
### 1. Introducción

El sidecar es un vehículo no propulsado de una rueda que se adapta a las motocicletas con el objetivo de aumentar el número de pasajeros que pueden transportarse en esta.

Fue un medio de transporte muy popular a mitad del siglo pasado y en la actualidad es extraño ver uno circular. Esto se debe a que las grandes empresas fabricantes de motocicletas han dejado de producirlos y por lo tanto; es extremadamente complicado hacerse con uno que sea compatible con el modelo de motocicleta deseado.

Este Proyecto surge de la proposición de un particular de hacer un diseño de sidecar válido para su motocicleta personal, de la marca Triumph y modelo América, para, en un futuro poder ser fabricado y homologado.

En el desarrollo del proyecto se sigue un proceso de ingeniería actual y válido el que se muestra en la siguiente *Figura R1.1.1*:



*Figura R1.1.1 – Ciclo de fabricación (Imagen por cortesía de José Porras Galán)*

Para el diseño de la estructura principal del sidecar se ejecutarán todos los pasos hasta el proceso de fabricación que quedará como una propuesta. Y se diseñan componentes adicionales únicamente de forma conceptual para otorgar perspectiva y robustez al proyecto. Estos componentes podrían servir como base para futuros proyectos

## 2. Diseño

La principal motivación para el desarrollo de este proyecto ha sido el desafío que supone rediseñar un vehículo clásico que cumpla con las actuales normas de circulación y sea lo más seguro, cómodo y práctico posible.

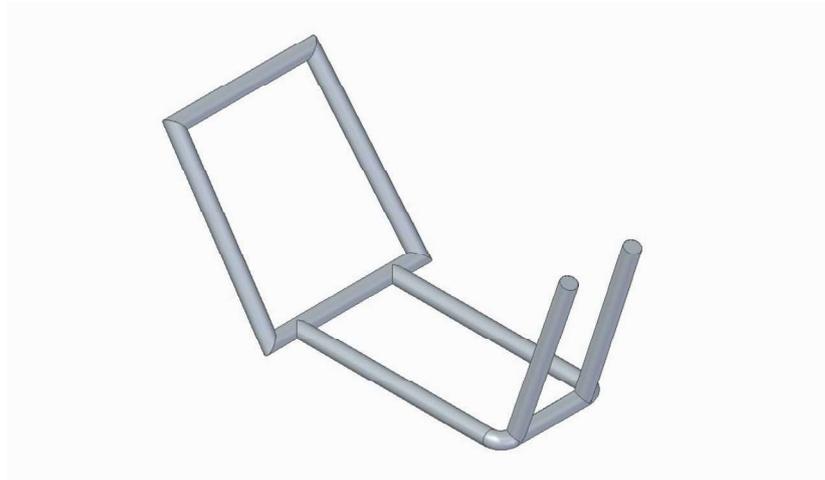
Las únicas limitaciones al diseño del sidecar son leves, siendo limitaciones dimensionales y de resistencia dadas por la normativa vigente. Es por tanto una oportunidad de diseño con gran libertad en la que se buscan una buena estética acorde con el vehículo al que irá anclado, un estilo minimalista y una posible fabricación futura tradicional o automatizada en la que se abaraten costes.

Este último objetivo se intenta cumplir mediante el empleo de materiales normalizados de bajo coste y métodos de unión básicos a la vez que robustos y resistentes.

Tras una profunda investigación de los artículos publicados en el Boletín Oficial del Estado con respecto a los vehículos categoría L4e (vehículos de dos ruedas con sidecar), la consulta en el manual de usuario de la motocicleta, y la toma de medidas in situ de la motocicleta se procede con los primeros diseños conceptuales.

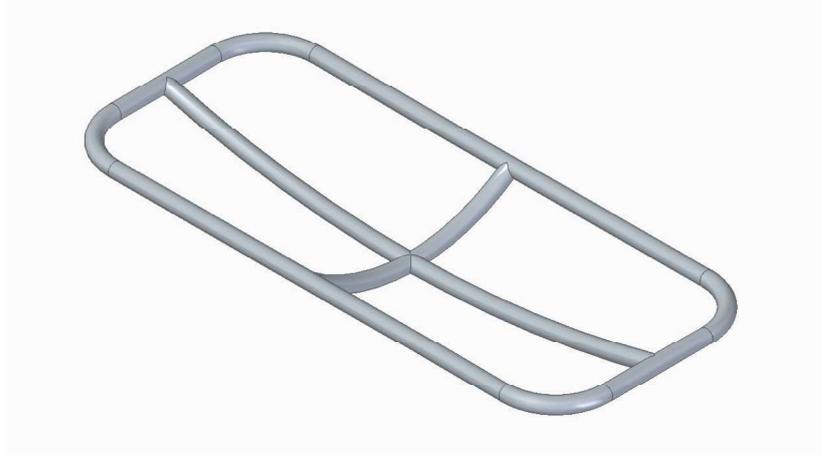
Estos diseños pueden observarse en las siguientes figuras.

En la *Figura R1.2.1* puede observarse el primer diseño del chasis de la motocicleta derivado del manual de usuario y de las medidas tomadas. Al ser la base para la aplicación de la ingeniería inversa para el anclaje no sufre modificaciones.



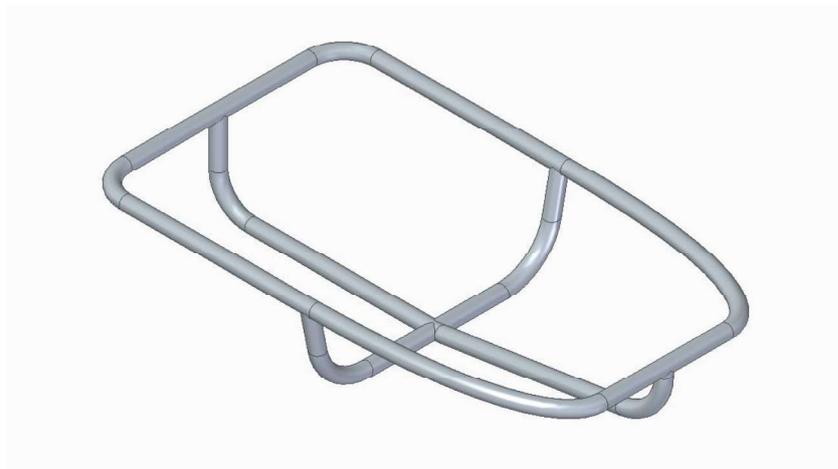
*Figura R1.2.1 – Chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*

En la siguiente *Figura R1.2.2* puede observarse el que originariamente iba a ser la base del bastidor del sidecar.



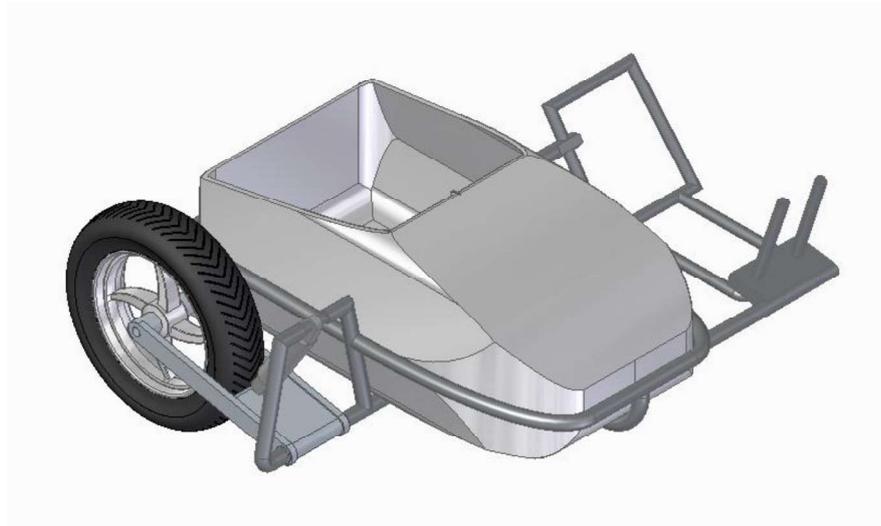
*Figura R1.2.2 – Diseño inicial del bastidor (Elaboración propia)*

Quedó descartado por la complejidad de fabricación y ensamblaje, además de la poca resistencia que podía tener. En su lugar se optó por una geometría más sencilla en la que se emplean menos doblados en los tubos y su resistencia, y con ello, su seguridad, eran claramente superiores. Este segundo diseño conceptual puede observarse en la siguiente *Figura R1.2.3* y su geometría será la empleada finalmente.



*Figura R1.2.3 – Diseño evolucionado del bastidor (Elaboración propia)*

Por último, tras diseñar los componentes adicionales ya citados, tras realizar el correspondiente despiece de los tubos que forman el bastidor y aplicar los cordones de soldadura resulta el conjunto final que se muestra en la siguiente *Figura R1.2.4*:



*Figura R1.2.4 – Conjunto final (Elaboración propia)*

### **3. Descripción de la herramienta de diseño**

Los diseños mostrados anteriormente en las figuras son generados mediante el software Solid Edge 2019 de Siemens. Esta herramienta informática permite realizar complejas geometrías en 3D que pueden ser más adelante ensambladas como en la *Figura R1.2.4* ya citada en la que se observa el conjunto.

Este software permite dotar a las piezas de propiedades según el material elegido, así como a los puntos de soldadura y unión que también son acordes con a la realidad.

Una vez implementadas estas características se pasa al ambiente de simulación en el que las piezas y/o conjuntos pueden ser sometidos a esfuerzos estáticos otorgando información de la respuesta a estos esfuerzos.

### **4. Ensayos**

Según la normativa de homologación y circulación, los ensayos que se llevan a cabo son los siguientes:

Soporte de masa: carga en el interior de la jaula vertical hacia abajo de 1500 N

Paso por curva (a izquierda): carga en el interior de la jaula hacia la derecha de 2000 N

Paso por curva (a derecha): carga en el interior de la jaula hacia la izquierda de 2000 N

Arranque: carga en el interior de la jaula hacia atrás de 2000 N

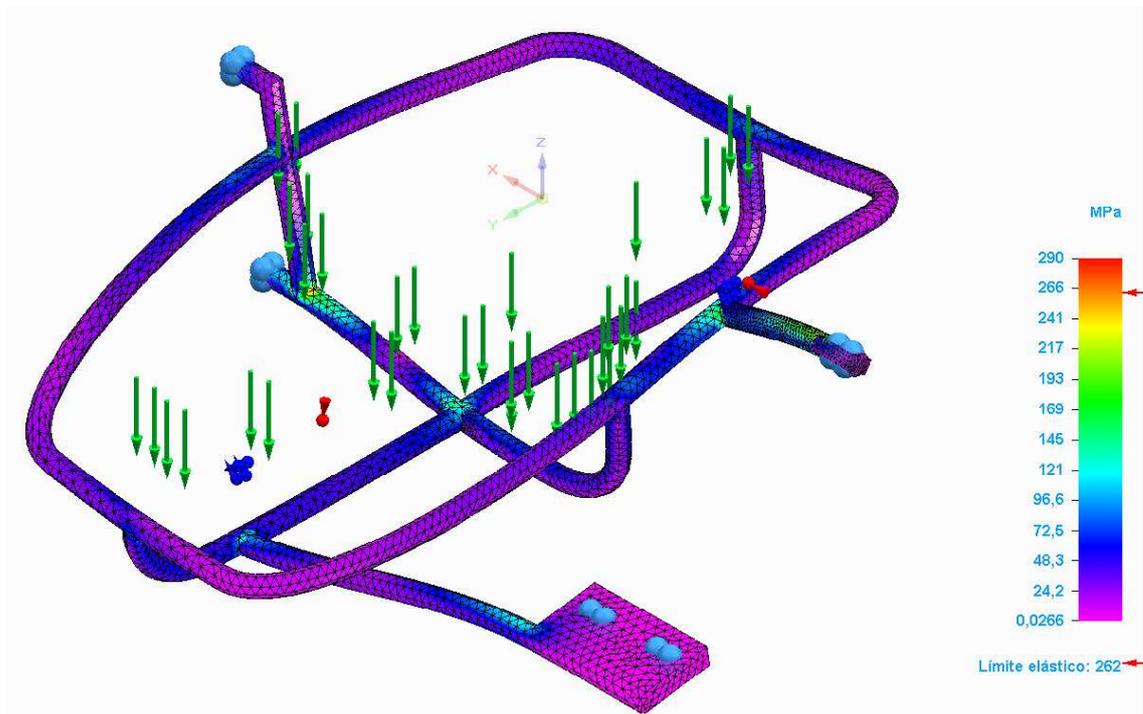
Frenada: carga en el interior de la jaula hacia delante de 2000 N

Paso por badén: carga en el interior de la jaula vertical hacia abajo de 2000 N

Este último ensayo tiene matices que se explican más adelante pero el valor elegido para la carga se justifica por la adición de un conjunto muelle-amortiguador poco convencional que suaviza los impactos verticales.

Al tratarse de una simulación estática los valores están sobredimensionados con un factor de 1,5 respecto a su valor máximo. Se explicará más adelante.

En la siguiente *Figura R1.4.1* se puede observar el ambiente de simulación para el primer ensayo citado:



*Figura R1.4.1 – Muestra de ensayo de carga (Elaboración propia)*

## 5. Resultados

Los resultados de las distintas simulaciones son favorables salvo por ciertos puntos de soldadura que por mayor seguridad se dotarán de refuerzos a pesar de no ser estrictamente necesarios. La razón de que los resultados sean favorables es que la estructura diseñada además de ser válida, se pre-diseñó con una selección de material adecuada (acero F1150) y unos diámetros de tubo interior y exterior muy comunes en estas aplicaciones.

## 6. Conclusiones

El proyecto ha seguido un método convencional y riguroso de ingeniería en el que han surgido pocos problemas a resolver en lo que a diseño se refiere. No ha sido necesario rediseñar por completo ninguna pieza debido a su resistencia a esfuerzos ya que se eligieron desde el inicio un estilo y una geometría que priorizase la estética, seguridad y practicidad frente a la eficiencia. De todos modos, se ha logrado una estructura ligera que es sin lugar a duda innovadora frente a los modelos clásicos. La incorporación de un sistema de amortiguación supone una gran ventaja para esta causa, relajando tensiones además de haciendo ligeramente más cómoda la conducción.

La estructura es, en base a los resultados de los ensayos, válida y podría ser puesta a prueba una vez esta y sus componentes complementarios hayan sido fabricados.

## 7. Referencias

- 1) B.O.E.: Unión Europea, Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos. [https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20\(UE\)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20(UE)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.)
- 2) Manual de usuario de la motocicleta de marca Triumph y modelo América.
- 3) I.N.T.A.: Legislación Nacional, Homologación de vehículos. Directiva: 2007 / 46 / CE <https://www.inta.es/PLATAFORMAS/es/legislacion/>
- 4) Catálogo de Sandvik, SANDVIK S.A. <https://www.materials.sandvik/es-es/productos/bar-and-hollow-bar/hollow-bar/stocks/>

# DESIGN AND FINITE ELEMENT VALIDATION OF A MOTORCYCLE SIDECAR

**Author: López Sánchez, Guillermo.**

Supervisor: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

This project consists of the design of a sidecar element for a modern motorcycle, Triumph model America, looking for the traditional and functional concept of a sidecar and ensuring compliance with regulatory and safety requirements. New materials have been applied and tested following finite element validation methods with satisfactory results that make it viable for the manufacture of a prototype.

**Keywords:** sidecar, Triumph, chassis, design, estructura.

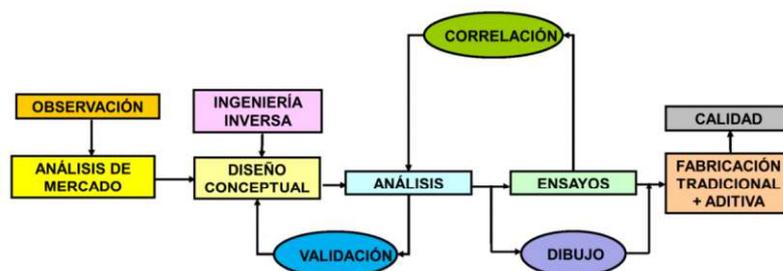
## 1. Introduction

The sidecar is an undriven vehicle of a wheel that adapts to motorcycles in order to increase the number of passengers that can be transported on it.

It was a very popular means of transport in the middle of the last century but today it is very strange to see one circulating. This is because large motorcycle manufacturers have stopped producing them. That is the reason why it is extremely difficult to get hold of one that is compatible with the desired motorcycle model.

This Project arises from the proposal of a private individual to make a sidecar design valid for his personal motorcycle, a Triumph model America, with the objective to be able to be manufactured and homologated in the future.

For the development of the project a current and valid engineering process, shown in the following *Figure R2.1.1*, has been followed:



*Figure R2.1.1 – Manufacturing process (Courtesy of José Porras Galán)*

For the design of the main structure of the sidecar all the steps will be executed, including the manufacturing process that will remain as a proposal. Additional components are designed at conceptual level, to give the project perspective and robustness. These components might serve as the basis for future projects.

## 2. Design

The main motivation for the development of this project has been the challenge of redesigning a classic vehicle that meets current driving standards and it is as safe, comfortable and practical as possible.

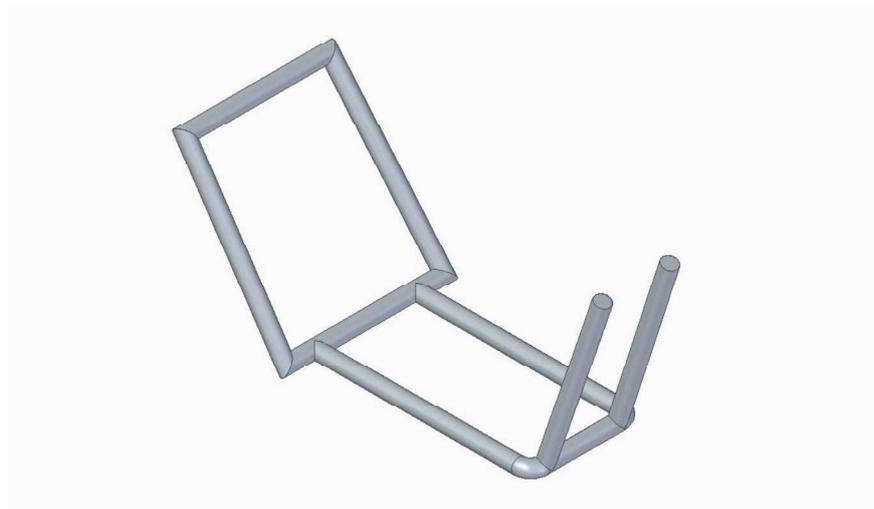
The limitations to the sidecar design are slight, being dimensional and resistance limitations given by current regulations. It is therefore a design opportunity with great freedom in which a good aesthetic is sought according to the vehicle to which it will be anchored, a minimalist style and a possible traditional or automated future manufacturing in which costs are lowered.

The latter objective is intended to be achieved through the use of low-cost standard materials and basic bonding methods while robust and resilient.

After a thorough investigation of the articles published in the Official Gazette of the State with respect to L4e category vehicles (two-wheeled vehicles with sidecar), consultation in the motorcycle user manual, and on-site measurements of the motorcycle we proceed with the first conceptual designs.

These designs can be seen in the following figures.

*Figure R2.2.1* shows the first design of the motorcycle chassis derived from the user manual and the measurements taken. Being the basis for the application of reverse engineering for anchoring, it remains unchanged.



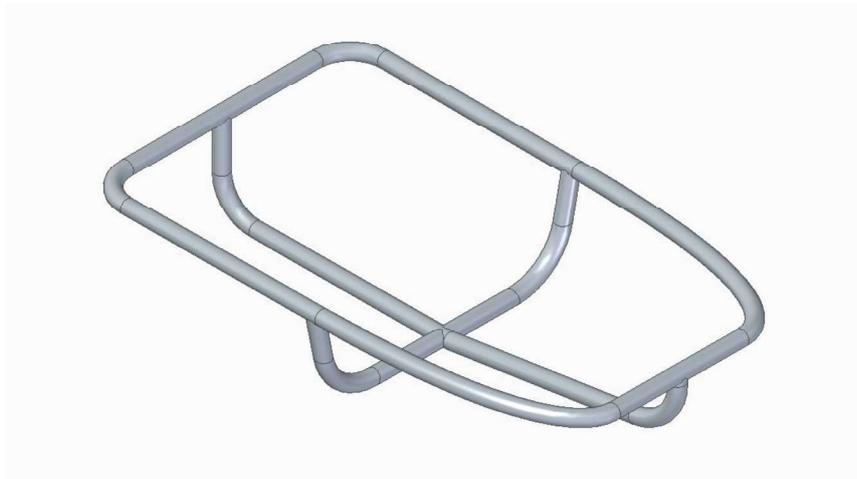
*Figure R2.2.1 – Chassis of the motorcycle (Self elaboration)*

In the following *Figure R2.2.2* we can see what was originally to be the basis of the sidecar frame.



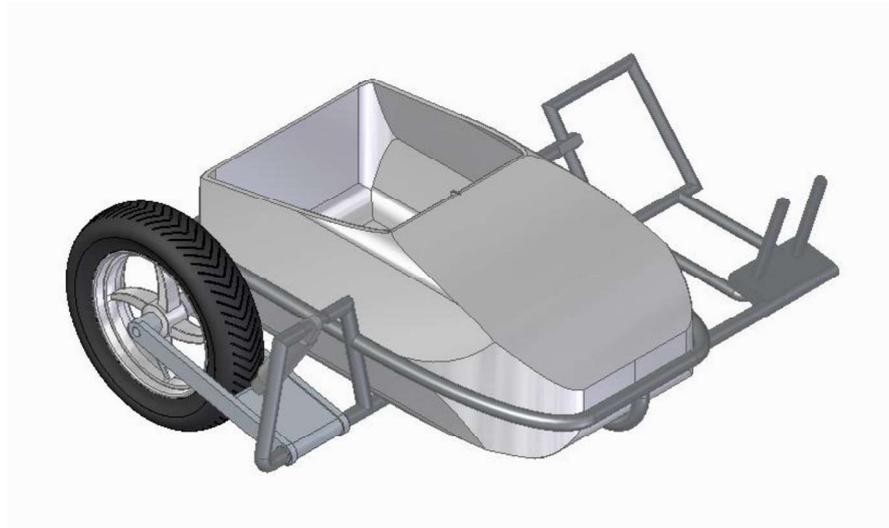
*Figure R2.2.2 – Initial frame design (Self elaboration)*

It has been discarded due to the complexity of manufacturing and assembly, as well as the low strength it could have. Instead, simpler geometry was chosen in which fewer bent tubes are used and their strength, which clearly resulted in superior safety. This second conceptual design can be seen in the following *Figure R2.2.3* and its geometry will be the one finally used.



*Figure R2.2.3 – Frame design evolution (Self elaboration)*

Finally, after designing the additional components already mentioned, we made the corresponding cutting of the tubes that form the frame and applied the weld beads. The result of the final assembly shown in the following *Figure R2.2.4*:



*Figure R2.2.4 – Final set of pieces (Self elaboration)*

### **3. Design tool description**

The designs shown in the figures above are generated using Siemens Solid Edge 2019 software. This computer tool allows to perform complex 3D geometries that can be later assembled, as in *Figure R2.2.4* already mentioned, in which the whole set is detailed.

This software allows the designers to provide the pieces with properties according to the chosen material, as well as the welding and joining points that are also according to reality.

Once implemented these features are passed to the simulation environment in which parts and / or assemblies can be subjected to static stresses giving information of the response to these efforts.

### **4. Trials**

According to the homologation and circulation regulations, the tests carried out are as follows:

Mass holder: load inside the vertical cage down from 1500 N

Curved step (left): load inside the cage to the right of 2000 N

Step by curve (right): load inside the cage to the left of 2000 N

Start-up: load inside the cage back 2000 N

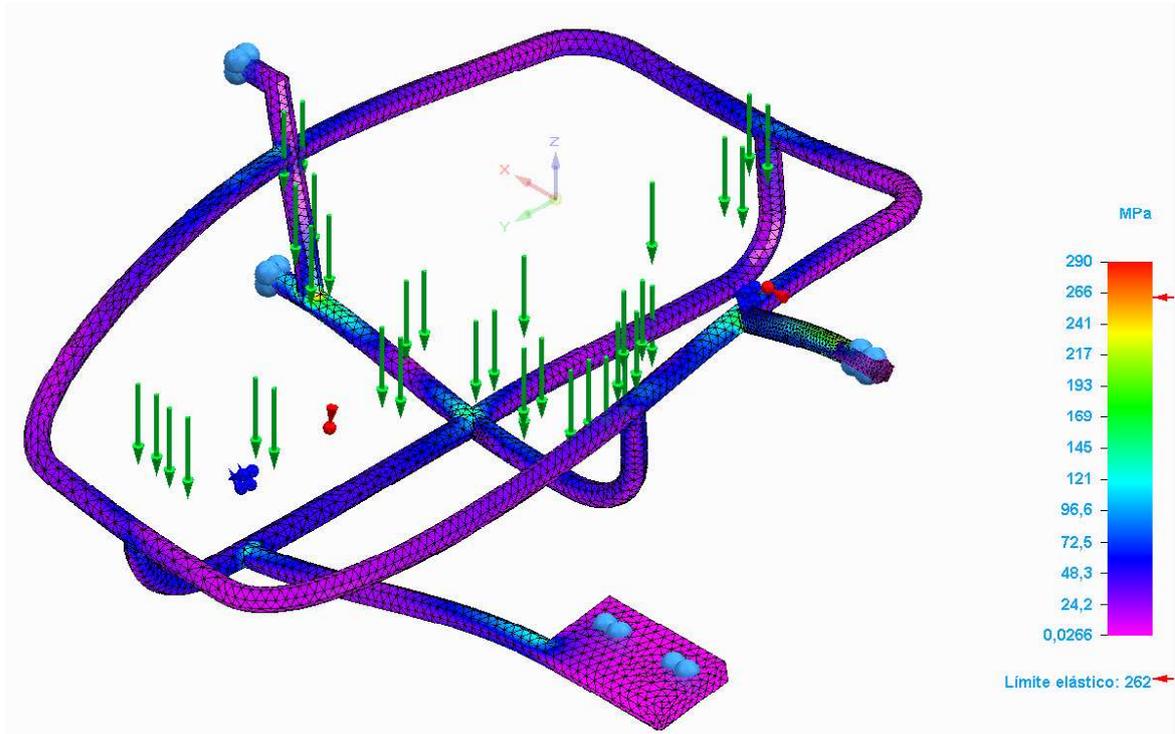
Braking: load inside the cage forward from 2000 N

Step by baden: load inside the vertical cage down from 2000 N

This latter test has nuances that are explained below but the value chosen for the load is justified by the addition of an unconventional spring-damper assembly that softens vertical impacts.

Taking into account that this is a static simulation, the values are oversized with a factor of 1.5 from their maximum value. It will be explained later.

In the following *Figure R2.4.1* you can see the simulation environment for the first mentioned test:



*Figure R2.4.1 – Sample of a load test (Self elaboration)*

## 5. Results

The results of the different simulations are favorable except for certain points of welding that for greater safety will be provided with reinforcements despite not being extremely necessary. The reason the results are favorable is that the structure designed in addition to being valid, was pre-designed with a selection of suitable material (F1150 steel) and very common inner and outer tube diameters in these applications.

## 6. Conclusions

The project has followed a conventional and rigorous engineering method in which few problems have arisen to be solved in terms of design. No part has been completely redesigned due to its strength as a style and geometry were chosen from the outset that prioritized aesthetics, safety and practicality over efficiency. In any case, a lightweight structure has been achieved that is undoubtedly innovative in front of the classic models. The incorporation of a damping system is a great advantage for this cause, relaxing tensions as well as making driving slightly more comfortable.

The structure is, based on the test results, valid and could be tested once it and its complementary components have been manufactured.

## 7. References

- 1) B.O.E.: Unión Europea, Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos. [https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20\(UE\)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20(UE)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.)
- 2) Manual de usuario de la motocicleta de marca Triumph y modelo América.
- 3) I.N.T.A.: Legislación Nacional, Homologación de vehículos. Directiva: 2007 / 46 / CE <https://www.inta.es/PLATAFORMAS/es/legislacion/>
- 4) Catálogo de Sandvik, SANDVIK S.A. <https://www.materials.sandvik/es-es/productos/bar-and-hollow-bar/hollow-bar/stocks/>



## Índice de la memoria

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1 Normativa vigente – B.O.E. ....	5
1.2 Modelo de motocicleta .....	13
1.3 Modelos de sidecar .....	17
1.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	19
<b>2. Diseño conceptual .....</b>	<b>20</b>
2.1 Croquizado de la estructura principal.....	20
2.2 Dimensiones para el anclaje – Medidas .....	22
2.3 Diseño de la estructura principal .....	23
2.4 Croquizado de componentes adicionales.....	30
<b>3. Ensayos .....</b>	<b>34</b>
3.1 Modelado.....	34
3.1.1 Ensayo ante la carga del peso.....	35
3.1.2 Ensayo de paso por curva a izquierdas.....	36
3.1.3 Ensayo de paso por curva a derechas .....	37
3.1.4 Ensayo de arranque.....	38
3.1.5 Ensayo de frenada .....	39
3.1.6 Ensayo de paso por badén.....	40
3.2 Aplicación de elementos finitos .....	41
3.3 Resultados de la simulación .....	43
3.3.1 Resultados ante la carga del peso .....	43
3.3.2 Resultados de curva a izquierdas.....	45
3.3.3 Resultados de curva a derechas .....	47
3.3.4 Resultados de arranque.....	49
3.3.5 Resultados de frenada .....	51
3.3.6 Resultados de paso por badén.....	53
<b>4. Fabricación.....</b>	<b>55</b>
4.1 Justificación del material.....	55
4.2 Procesos de fabricación.....	57

4.2.1	<i>Tipo de soldadura</i> .....	57
4.3	Estimación de costes de producción.....	59
4.4	Planos de despiece.....	61
<b>6.</b>	<b><i>Conclusiones y Trabajos Futuros</i></b> .....	<b>62</b>
<b>7.</b>	<b><i>Bibliografía</i></b> .....	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b><i>ANEXO I: Planos</i></b> .....	<b>65</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

El sidecar es un vehículo clásico que se producía a gran escala entre los años 1920 y 1990. Actualmente, es un medio de transporte que ha quedado en desuso y es poco habitual verlos circular, a pesar de las grandes ventajas que pueden aportar al transporte eficiente.

Este proyecto nace de la proposición de un particular de iniciar el proceso de diseño de un sidecar para su motocicleta personal, la Triumph América, ya que no existe un modelo de sidecar compatible con este modelo de motocicleta que se produzca en serie. La única manera de hacerse con uno es mediante la fabricación unitaria artesanal que genera un producto menos fiable, además de más costoso.

Hay que añadir que el modelo de Triumph para el que se va a diseñar, el modelo América, es similar al modelo Speedmaster salvo por pequeñas diferencias estéticas. Esto hace que el sidecar diseñado sea compatible con ambos modelos.

El principal objetivo del proyecto será obtener un diseño válido e innovador, basado en la aplicación de métodos de ingeniería correctos y actualizados, que permitan llevar a cabo su fabricación.

De manera secundaria se perseguirán los siguientes objetivos:

- Propuesta Conceptual: desarrollar una propuesta conceptual válida para las piezas que completarán el conjunto del vehículo.
- Análisis por Elementos Finitos: realizar un detallado estudio basado en la aplicación de Elementos Finitos que justifique la estructura de diseño ante las cargas pertinentes.
- Justificación de Materiales: desarrollar una correcta justificación de los materiales a emplear para su potencial fabricación futura.

## ***1.1 NORMATIVA VIGENTE – B.O.E.***

Previo al proceso de diseño es necesario hacer un estudio detallado de la normativa que limitará el prototipo. Para ello se ha analizado de forma exhaustiva el Boletín Oficial del Estado, así como documentos de otras autoridades que seguidamente se citan. En sus artículos se recoge la normativa oficial de circulación para este tipo de vehículos, que se denominan en este documento como vehículos de categoría L4e.

La denominación de este tipo de vehículos viene impuesta por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, I.N.T.A., y es la siguiente:

Categoría L4e: Motocicletas, es decir, los vehículos de dos ruedas con sidecar con un motor cuya cilindrada sea superior a 50 cm<sup>3</sup> para los motores de combustión interna y/o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h.

Las principales restricciones relevantes para este proyecto se recogen en los 14 artículos (del 3 al 20, en especial los artículos: 3, 4, 7, 9 y 15) en el CAPITULO II: “OBLIGACIONES DE LOS FABRICANTES RELATIVAS A LA FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS” del documento: Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos.

No obstante; para mayor brevedad se citan seguidamente los apartados de los anexos que son de especial interés y a los que estos artículos se refieren continuamente. Más adelante, en este apartado, se resumirá la información más relevante extraída de dichos artículos.

Primeramente, se cita el ANEXO III del documento en el que se mencionan los requisitos con relación al procedimiento de homologación del vehículo, que es el siguiente:

ANEXO III - Requisitos aplicables a las disposiciones relativas a los procedimientos de homologación de tipo.

4. Disposiciones relativas a la transformación de motocicletas de las subcategorías (L3e/L4e)-A2 y (L3e/L4e)-A3

4.1. Generalidades

Las disposiciones relativas a la transformación solo se aplicarán a las motocicletas de las subcategorías (L3e/L4e)-A2 y (L3e/L4e)-A3 con y sin sidecar y viceversa.

4.2. La transformación específica de una motocicleta de la subcategoría (L3e/L4e)-A2 en motocicleta de la subcategoría (L3e/L4e)-A3 y viceversa se permitirá en las siguientes condiciones controladas:

#### 4.2.1. Homologación de tipo

El fabricante llevará a cabo ensayos de homologación de tipo diferentes para las configuraciones de motocicletas de las subcategorías (L3e/L4e)-A2 y (L3e/L4e)-A3 y demostrará al servicio técnico y a la autoridad de homologación que la motocicleta L3e cumple lo dispuesto en el punto 4, e informará por separado sobre los siguientes requisitos.

En este mismo ANEXO III, en los apartados nº7 y nº8, pueden encontrarse las condiciones generales más importantes con relación a la validación mediante ensayos virtuales, que son el principal objeto de este proyecto y se detallan a continuación:

### 7. Condiciones generales que han de cumplir los métodos de ensayo virtual

#### 7.1. Modelo de ensayo virtual

El siguiente esquema deberá utilizarse como estructura básica para describir y realizar los ensayos virtuales:

- 7.1.1. finalidad;
- 7.1.2. modelo estructural;
- 7.1.3. condiciones límite;
- 7.1.4. hipótesis de carga;
- 7.1.5. cálculo;
- 7.1.6. evaluación;
- 7.1.7. documentación.

## 7.2. Fundamentos de la simulación y el cálculo por ordenador

### 7.2.1. Modelo matemático

El modelo matemático deberá ser facilitado por el fabricante. Deberá reflejar la complejidad de la estructura del vehículo, el sistema y los componentes que van a someterse a ensayo en relación con los requisitos del acto reglamentario y sus condiciones límite. Lo mismo se aplicará, *mutatis mutandis*, a los ensayos de componentes o unidades técnicas, independientemente del vehículo.

### 7.2.2. Proceso de validación del modelo matemático

El modelo matemático se validará comparándolo con las condiciones reales de ensayo. Para ello deberá realizarse un ensayo físico, a fin de comparar sus resultados con los obtenidos con el modelo matemático. Deberá demostrarse la comparabilidad de los resultados de los ensayos. El fabricante o el servicio técnico levantará acta de validación y la presentará a la autoridad de homologación. Todo cambio introducido en el modelo matemático o en el soporte lógico que pueda invalidar el acta de validación deberá ser comunicado a la autoridad de homologación, que podrá exigir que se inicie un nuevo proceso de validación. En el apéndice 3 se muestra un diagrama de flujo del proceso de validación.

7.2.3. Documentación El fabricante deberá proporcionar los datos y herramientas auxiliares utilizados para la simulación y el cálculo, debidamente documentados.

### 7.2.4. Herramientas y ayuda

A petición del servicio técnico, el fabricante deberá proporcionar las herramientas necesarias, incluido el soporte lógico adecuado, o permitir el acceso a las mismas.

7.2.5. Además, el fabricante deberá proporcionar la ayuda adecuada al servicio técnico.

7.2.6. El acceso y la ayuda que se proporcionan al servicio técnico no eximen a este de sus obligaciones en cuanto a cualificación de su personal, pago de derechos de licencia y respeto de la confidencialidad.

## 8.1. Diagrama de flujo del proceso de validación de los ensayos virtuales

Fabricante

Modelo matemático

Proceso de validación

Prototipo físico

Ensayo físico

Simulación por ordenador

Informe de validación

Acuerdo de la autoridad de homologación

Proceso de homologación

Prototipos virtuales I, II, ...

Simulación por ordenador

Informe técnico con arreglo al Reglamento de la UE

Autoridad de homologación

En el siguiente ANEXO V se encuentran los requisitos aplicables a los dispositivos de acoplamiento y fijación que, aunque no se diseñen con completo detalle en este proyecto, son útiles para comprobar la geometría propuesta. Estos requisitos son:

ANEXO V - Requisitos aplicables a los dispositivos de acoplamiento y fijación

## 2. Requisitos generales

2.1. Los dispositivos de acoplamiento en los vehículos de categoría L estarán fabricados y fijados de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería y funcionarán de manera segura. Pueden ser homologados como unidades técnicas independientes con arreglo al presente Reglamento u homologados con arreglo al Reglamento no 55 de la CEPE [1].

2.2. Los dispositivos de acoplamiento estarán diseñados y fabricados de forma que, utilizados normalmente y mediando el mantenimiento adecuado y la sustitución a tiempo de las piezas desgastadas, sigan funcionando satisfactoriamente.

2.3. Todos los dispositivos de acoplamiento deberán ir acompañados de instrucciones de montaje y funcionamiento con información suficiente para que una persona capacitada pueda instalarlos en el vehículo y manejarlos adecuadamente. Las instrucciones estarán redactadas en la lengua o lenguas oficiales del Estado miembro en el que se ponga a la venta el dispositivo de acoplamiento.

2.4. Los materiales que podrán utilizarse serán aquellos cuyas propiedades de uso se establecen en una norma o en la documentación de utilización.

2.5. Todas las piezas de los dispositivos de acoplamiento cuya ruptura pueda provocar la separación de los dos vehículos deberán ser de acero. Podrán utilizarse otros materiales siempre que el fabricante haya demostrado su equivalencia a satisfacción del servicio técnico.

2.6. Todos los dispositivos de acoplamiento estarán diseñados para el enganche mecánico seguro, y su posición de cierre se bloqueará, por lo menos una vez, mediante enganche mecánico seguro.

...

2.9. Los dispositivos de acoplamiento deberán estar diseñados y fijados de manera que ofrezcan el máximo grado de seguridad de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería; esto se aplicará asimismo al funcionamiento del acoplamiento. 2.10. Deberá ser posible que una persona, de manera segura, acople y desacople los vehículos sin el uso de herramientas.

En el siguiente ANEXO VIII se muestran los requisitos con relación a los salientes:

ANEXO VIII - Requisitos aplicables a los salientes exteriores

...

1.1.4. Disposiciones específicas para los vehículos de la categoría L4e 1.1.4.1. Cuando el sidecar esté conectado a la motocicleta, ya sea con carácter permanente o en modo desmontable, el espacio entre ambos estará exento de evaluación.

Por último, en el ANEXO XI del documento se recogen los requisitos aplicables a las masas y dimensiones del vehículo a diseñar, aunque sean algo ambiguos debido a los distintos modelos existentes de motocicletas a las que anclar el sidecar, son suficientes para determinar unos límites de partida. Estos límites se fijarán con gran margen de seguridad con el objetivo de que el vehículo no sobrepase, en ningún caso, la normativa.

ANEXO XI - Requisitos aplicables a las masas y dimensiones

1. Finalidad

1.1. El presente anexo establece los requisitos para la homologación de tipo de los vehículos de categoría L por lo que respecta a sus masas y dimensiones.

...

2.5. Podrá autorizarse a los vehículos de categoría L a arrastrar un remolque  $\leq 50$  % de la masa en orden de marcha del vehículo.

...

2.7.2.2. En todos los demás vehículos de categoría L, la masa del conductor será de 75 kg y la masa de los pasajeros, de 65 kg cada uno.

3. Presentación de las dimensiones del vehículo y requisitos de ensayo para determinar las dimensiones

3.1. En la solicitud de homologación de tipo UE de un tipo de vehículo por lo que respecta a sus masas y dimensiones, el fabricante facilitará a la autoridad de homologación, para cada versión del tipo de vehículo y con independencia de su nivel de acabado, las siguientes dimensiones (en mm):

3.1.1. la longitud del vehículo, a saber, la distancia entre dos planos verticales, perpendiculares al plano longitudinal del vehículo y tangenciales a la extremidad delantera y la extremidad trasera del vehículo, respectivamente;

3.1.2. la anchura del vehículo, a saber, la distancia entre dos planos, paralelos al plano longitudinal del vehículo y tangenciales al vehículo a ambos lados de dicho plano longitudinal;

3.1.3. la altura del vehículo, a saber, la distancia entre el plano de apoyo del vehículo y un plano paralelo tangencial a la parte superior del vehículo;

3.1.4. la distancia entre ejes del vehículo, a saber, la dimensión mencionada en el punto 6.4.1 de la norma ISO 612:1978;

3.1.5. en el caso de los vehículos con ruedas gemelas o los vehículos de tres o cuatro ruedas: el ancho de vía delantero y/o trasero, a saber, la distancia mencionada en el punto 6.5 de la norma ISO 612:1978;

3.1.6. en su caso, la longitud base de carga y la anchura base de carga

3.2. Se cumplirán las condiciones y los requisitos de ensayo establecidos en el apéndice 1 para determinar las dimensiones que deberán presentarse.

3.3. Las dimensiones a que se hace referencia en el punto 3.1 no podrán diferir de las declaradas por el fabricante en más de un 3 %.

De los anteriores anexos se extrae la siguiente información que se resume seguidamente para cada uno de los aspectos normativos analizados:

ANEXO III - Homologación: a la hora de efectuar la homologación de tipo será estrictamente necesario seguir los patrones dispuestos para la categoría L4e(A3) y sobre todo, siempre se respetarán las restricciones impuestas para el modelo América de Triumph, que pertenece a la categoría L3e(A3).

ANEXO III - Simulación: existen un esquema y un diagrama de validación virtual estipulados que se deben seguir estrictamente tal y como se procede en este proyecto y que se detalla en el apartado 3 de este documento. Además, debe existir gran verosimilitud entre los ensayos virtuales o simulaciones y los ensayos físicos que se efectúan posteriormente, si bien en este proyecto este segundo proceso no se lleva a cabo.

ANEXO V: todos los dispositivos de sujeción y acoplamiento deben cumplir un mínimo de seguridad, disponer de un manual de usuario para su colocación y accionamiento, además de las indicaciones sobre su inspección y mantenimiento.

En este proyecto se ha diseñado una geometría en los enganches al bastidor de la motocicleta que faciliten un posterior rediseño para la colocación de los correspondientes elementos de sujeción como tornillería o similar, aunque no se han diseñado rigurosamente por la complejidad que añadiría al proyecto ese nivel de detalle. Aun así, el diseño que se ha realizado de este elemento de sujeción muestra una geometría que, suponiendo una fijación adecuada, cumple correctamente con la calidad esperada según este ANEXO V, siendo los elementos que menor tensión sufren de toda la estructura diseñada.

ANEXO VIII: este anexo guarda relación con el anexo anterior, ANEXO V, que es más general. Viene a repetir que los elementos de sujeción del sidecar a la motocicleta deben haber sido diseñados y fabricados a conciencia para ser fiables una vez se haya llevado el proceso de unión o desmontaje correctamente.

ANEXO XI: los apartados que se recogen en este anexo son los de mayor interés de cara al proyecto, ya que limitarán de forma directa el diseño del vehículo. Con el conocimiento de

esta norma, se han respetado las restricciones con grandes márgenes de seguridad, aplicando los siguientes criterios:

- Se dimensionó en planta la estructura para no exceder longitudinalmente las dimensiones de la motocicleta.
- Se dimensionó en planta la estructura para no exceder transversalmente, en conjunto con la motocicleta, la longitud máxima permitida, quedando en una longitud ligeramente inferior a 1,80 metros. Además, se diseñaron los elementos de sujeción entre ambos para permitir con comodidad una conducción segura con fácil acceso al pedal de freno.
- La masa de la estructura del sidecar es de 50 Kg aproximadamente frente a los 100 Kg que suelen presentar los modelos clásicos artesanales en su estructura, gracias al empleo de tubos de acero y una geometría más resistente. Siendo la masa del pasajero estándar, según la normativa, de 65 Kg.
- La elevación sobre el suelo es similar a la de la motocicleta, coincidiendo el eje de las ruedas, así como la posición y movimiento rotacional del basculante. Estas características hacen que se cumpla la normativa con mucho margen y además facilitarán una conducción más cómoda en gran variedad de situaciones, como en el paso por badén o en el paso por curva. El pasajero queda en posición notablemente más baja que el conductor, en cualquier caso.

Una vez se han tenido en cuenta las anteriores consideraciones de diseño se procede al estudio de la motocicleta de interés, que se detalla en el siguiente apartado.

## ***1.2 MODELO DE MOTOCICLETA***

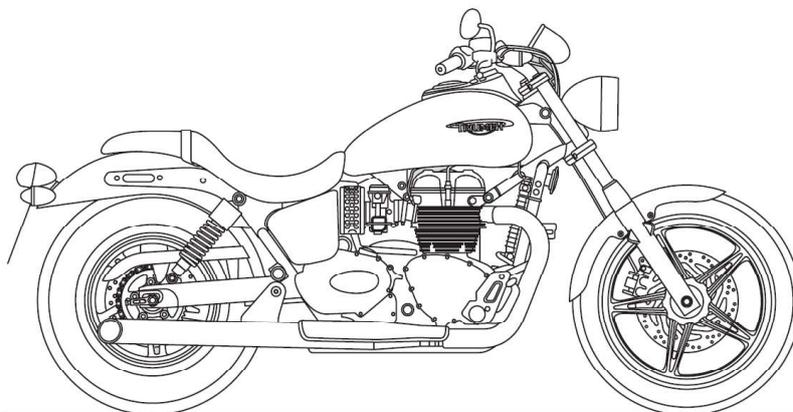
Como se ha mencionado previamente, el modelo de la motocicleta es el modelo América de la marca Triumph, de características geométricas similares al modelo Speedmaster. Estos modelos se diferencian en ciertos aspectos estéticos que no afectan a la compatibilidad con el sidecar diseñado.

En la siguiente *Figura 1.2.1* puede observarse la imagen del modelo de motocicleta de interés:



*Figura 1.2.1 – Fotografía de la motocicleta (Elaboración propia)*

Para comenzar el trabajo de diseño, ha sido necesario acceder a la motocicleta del particular para tomar las correspondientes medidas del bastidor con el objetivo de aplicar la ingeniería inversa. También se consiguió acceso a planos, a modo de croquis, para generar la pieza 3D desde la que comenzar con el diseño. Puede observarse la imagen del croquis en la siguiente *Figura 1.2.2*:



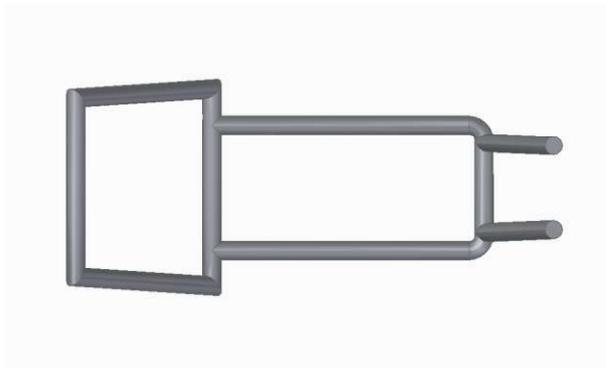
*Figura 1.2.2 – Croquis de la motocicleta (Cortesía de Triumph Engineering Co Ltd)*

El resultado del modelado del chasis de la motocicleta se detalla en las siguientes figuras:

*Figura 1.2.3, Figura 1.2.4, Figura 1.2.5 y Figura 1.2.6.*



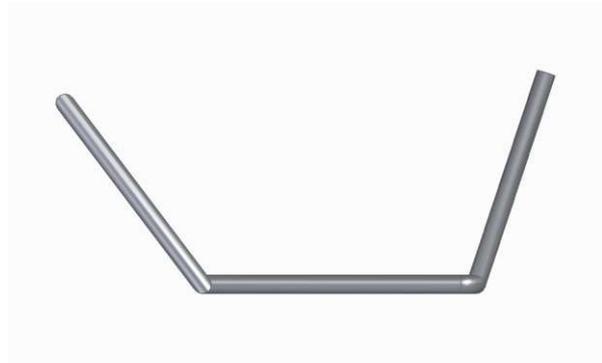
*Figura 1.2.3 – Vista isométrica del chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*



*Figura 1.2.4 – Vista en planta del chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*



*Figura 1.2.5 – Vista en perfil del chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*



*Figura 1.2.6 – Vista en perfil del chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*

Como puede observarse, la geometría del bastidor de la motocicleta no es sencilla de medir y documentar. Para ello se emplearon útiles de cartón sobre los que calcar la geometría, útiles de medida de longitudes lineales, útiles de medida de ángulos y se utilizaron coordenadas polares en el entorno de diseño para lograr una pieza acorde con la real. Es importante mencionar que se aplicó la ingeniería inversa y se generaron únicamente las partes del bastidor de interés para el anclaje, ya que el bastidor real dispone de un cierre en la parte superior que es poco significativo para el proceso de diseño.

Del Manual del usuario de la motocicleta se extrae información de especificaciones del fabricante, recogida en la *Figura 1.2.7*:

## Especificaciones

### ESPECIFICACIONES

	America	Speedmaster
<b>Rendimiento</b>		
Potencia máxima .....	61 PS a 6.800 rpm	61 PS a 6.800 rpm
Par motor máximo .....	72,4 Nm a 3.300 rpm	72,4 Nm a 3.300 rpm
<b>Dimensiones</b>		
Longitud total .....	2.387 mm	2.367 mm
Anchura total .....	920 mm	895 mm
Altura total .....	1.175 mm	1.170 mm
Distancia entre ejes .....	1.610 mm	1.600 mm
Altura del sillín .....	690 mm	690 mm
Peso en orden de marcha .....	226 kg	229 kg
Carga útil máxima .....	200 kg	200 kg
(conductor, pasajero y accesorios)		
<b>Motor</b>		
Tipo .....	Dos cilindros con refrigeración por aire y ángulo de encendido de 270°	Dos cilindros con refrigeración por aire y ángulo de encendido de 270°
Desplazamiento .....	865 cc	865 cc
Diámetro x carrera .....	90 x 68 mm	90 x 68 mm
Relación de compresión .....	9,2:1	9,2:1
Numeración de los cilindros .....	De izquierda a derecha	De izquierda a derecha
Secuencia .....	1-2	1-2
Orden de encendido .....	1-2	1-2
Sistema de encendido .....	Sistema de arranque eléctrico	Sistema de arranque eléctrico

*Figura 1.2.7 – Especificaciones del fabricante de la motocicleta  
(por cortesía de Triumph Engineering Co Ltd)*

### 1.3 *MODELOS DE SIDECAR*

El siguiente paso en el proceso de diseño es realizar un estudio de mercado que permita arrojar luz sobre el producto a producir. Para ello se han estudiado distintos modelos de sidecar que se muestran en las siguientes *Figura 1.3.1*, *Figura 1.3.2*, *Figura 1.3.3* y *Figura 1.3.4*:



*Figura 1.3.1 – Inspiración para sidecar 1*



*Figura 1.3.2 – Inspiración para sidecar 2*



*Figura 1.3.3 – Inspiración para sidecar 3*

En los anteriores modelos se observan, como en la gran mayoría, ciertas características comunes:

- No protegen al pasajero ante un posible impacto.
- La altura de elevación sobre el suelo es superior a la de la motocicleta, provocando que el pasajero circule a mayor altura que el conductor. Este aspecto, mencionado anteriormente, no cumple con la normativa de circulación vigente.
- No cuentan con un sistema de amortiguación, ya que en el momento de su diseño suponía una pérdida del control del conjunto motor en el paso por curva. En la actualidad existen conjuntos muelle-amortiguador, como el que se propone para el diseño de este proyecto, que permiten amortiguar impactos (amortiguador de valor de amortiguación bajo) y mantener una rigidez adecuada para esfuerzos de transición lenta (muelle de valor de rigidez alto). Este concepto se explicará como propuesta al final de este proyecto.

## ***1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), extraídos de la O.N.U., que se perseguirán en este proyecto se detallan a continuación:

**ODS 7. Energía asequible y no contaminante:** Los sidecares son vehículos que no consumen combustible o contaminan por sí mismos. En caso de acoplarse a motocicletas eléctricas ni siquiera el conjunto lo haría. Además, permiten aumentar el número de pasajeros sin aumentar considerablemente el consumo y permiten añadir una opción más para la optimización del transporte, permitiendo el transporte de 3 personas.

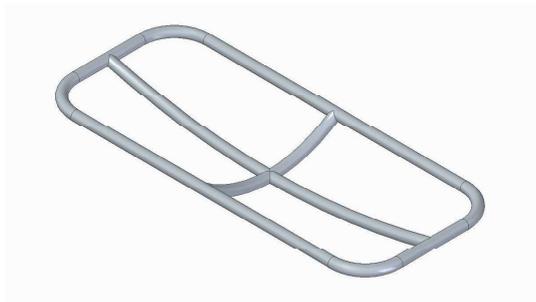
**ODS 12. Producción y consumo responsables:** un método de diseño y producción de sidecar moderno supone una gran reducción de los recursos que actualmente se emplean en los talleres artesanales. Actualizar la producción supone una optimización de estos recursos.

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL

### 2.1 CROQUIZADO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

El diseño de la estructura principal del sidecar es el objetivo principal de este proyecto. Como se ha mencionado en el apartado anterior, se parte de unas dimensiones que distan de las dimensiones límite con gran margen.

El primer boceto de lo que sería la estructura principal del sidecar se materializó en la pieza que se observa en la siguiente *Figura 2.1.1*:

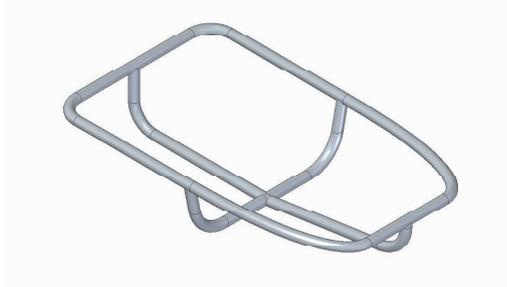


*Figura 2.1.1 – Boceto 3D inicial del chasis del sidecar (Elaboración propia)*

Tras un breve análisis y revisión de la normativa ya mencionada, esta pieza quedó descartada puesto que su estructura presentaba varios puntos críticos al ser cargada. Adicionalmente, surgieron otros problemas en relación a la base formada por tubos curvos, que buscaba una estética minimalista acorde con el estilo de la motocicleta. Los problemas encontrados fueron los siguientes:

- Los tubos presentaban una dificultad añadida en su fabricación, ya que el doblado además de añadir una operación prescindible al proceso de producción implicaba una mayor precisión para lograr un correcto ensamblaje y soldeo.
- La seguridad del pasajero quedaba comprometida al estar este únicamente protegido ante un accidente por la caja de fibra de vidrio que se presenta más adelante, en lugar de por la estructura o jaula de acero, que se presenta en el siguiente diseño corregido.

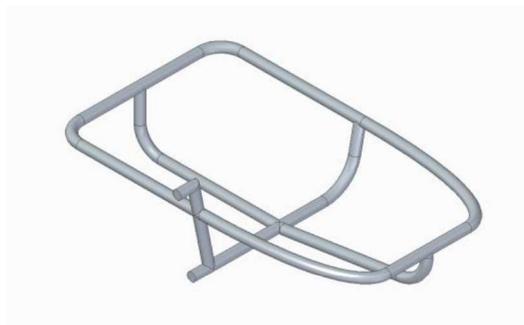
La corrección del primer diseño consistió en rectificar la curvatura de los tubos de la base y convertirlos en tubos rectos, y añadir una estructura que envuelve la caja de fibra fabricada en acero similar al que se emplea en la base. El diseño corregido y definitivo de la estructura puede observarse en la siguiente *Figura 2.1.2*:



*Figura 2.1.2 – Evolución del boceto 3D del chasis del sidecar (Elaboración propia)*

Puede observarse que este diseño satisface las necesidades y corrige los errores mencionados. Más adelante se muestra la respuesta de este diseño a las cargas pertinentes.

La evolución de este diseño, una vez añadida la geometría para la incorporación del sistema basculante y de rueda exterior, puede observarse en la siguiente *Figura 2.1.3*:



*Figura 2.1.3 – Boceto 3D final de la estructura del chasis del sidecar (Elaboración propia)*

En la figura anterior puede observarse que aún no se han definido los tubos como huecos, esto se añade más tarde, ya que en este apartado quiere mostrarse únicamente el croquizado 3D de la estructura principal.

## ***2.2 DIMENSIONES PARA EL ANCLAJE – MEDIDAS***

Para el diseño del sistema de anclaje se aplicó ingeniería inversa al bastidor, y una vez colocadas la estructura principal del sidecar y el bastidor de la motocicleta en su posición correcta, se trazó la geometría para unir ambas partes mediante dos brazos que se muestran en la siguientes *Figura 2.2.1* (anclaje trasero) y *Figura 2.2.2* (anclaje delantero):



*Figura 2.2.1 – Diseño final de anclaje trasero (Elaboración propia)*



*Figura 2.2.2 – Diseño final de anclaje delantero (Elaboración propia)*

### **2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL**

Partiendo del diseño final del chasis visto en el punto 2.1 de este documento se procede al despiece de la estructura en sus componentes a soldar. Se incorpora al diseño la particularidad de definir las barras en tubos huecos.

Primero se muestra el primer conjunto soldado, la base principal del sidecar. Las piezas que lo conforman se detallan en las siguientes figuras:

*Figura 2.3.1:*



*Figura 2.3.1 – Diseño final del Marco del bastidor (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.2:*



*Figura 2.3.2 – Diseño final de la Base transversal del bastidor (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.3:*



*Figura 2.3.3 – Diseño final de la Base longitudinal trasera del bastidor (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.4:*



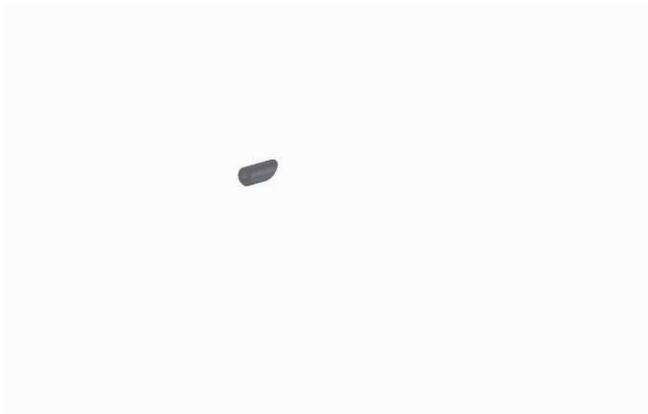
*Figura 2.3.4 – Diseño final de la Base longitudinal delantera del bastidor (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.5:*



*Figura 2.3.5 – Diseño final del Soporte inferior izquierdo del basculante (Elaboración propia)*

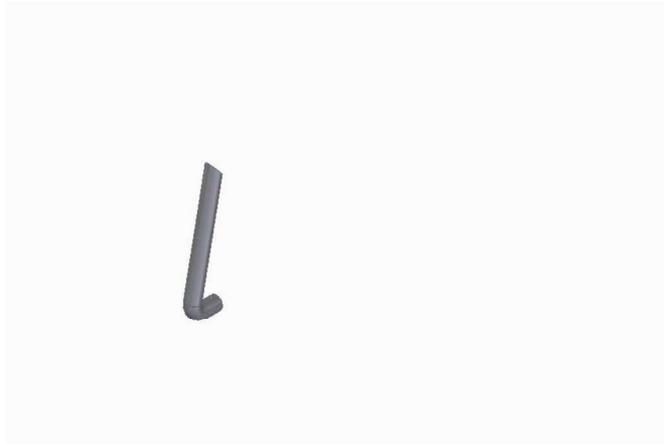
*Figura 2.3.6:*



*Figura 2.3.6 – Diseño final del Soporte superior izquierdo del basculante (Elaboración propia)*

Las siguientes dos piezas son las que forman, una vez soldadas, el cierre del basculante. Se unirán al anterior conjunto mediante dos ejes que se mostrarán más adelante. Las piezas componentes del cierre se muestran en las siguientes figuras:

*Figura 2.3.7:*



*Figura 2.3.7 – Diseño final del Soporte inferior derecho del basculante (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.8:*



*Figura 2.3.8 – Diseño final del Soporte superior derecho del basculante (Elaboración propia)*

Por último, en este apartado se muestran los dos ejes que unen el chasis principal del sidecar y el cierre de este. Ambos ejes son sólidos y se fijarán a la estructura principal mediante soldadura y tienen un sistema de anclaje al chasis que se propone como una fijación del tipo eje pasador, que debe ser diseñada en el futuro. Se muestran a continuación:

*Figura 2.3.9:*



*Figura 2.3.9 – Diseño final del Eje inferior del basculante (Elaboración propia)*

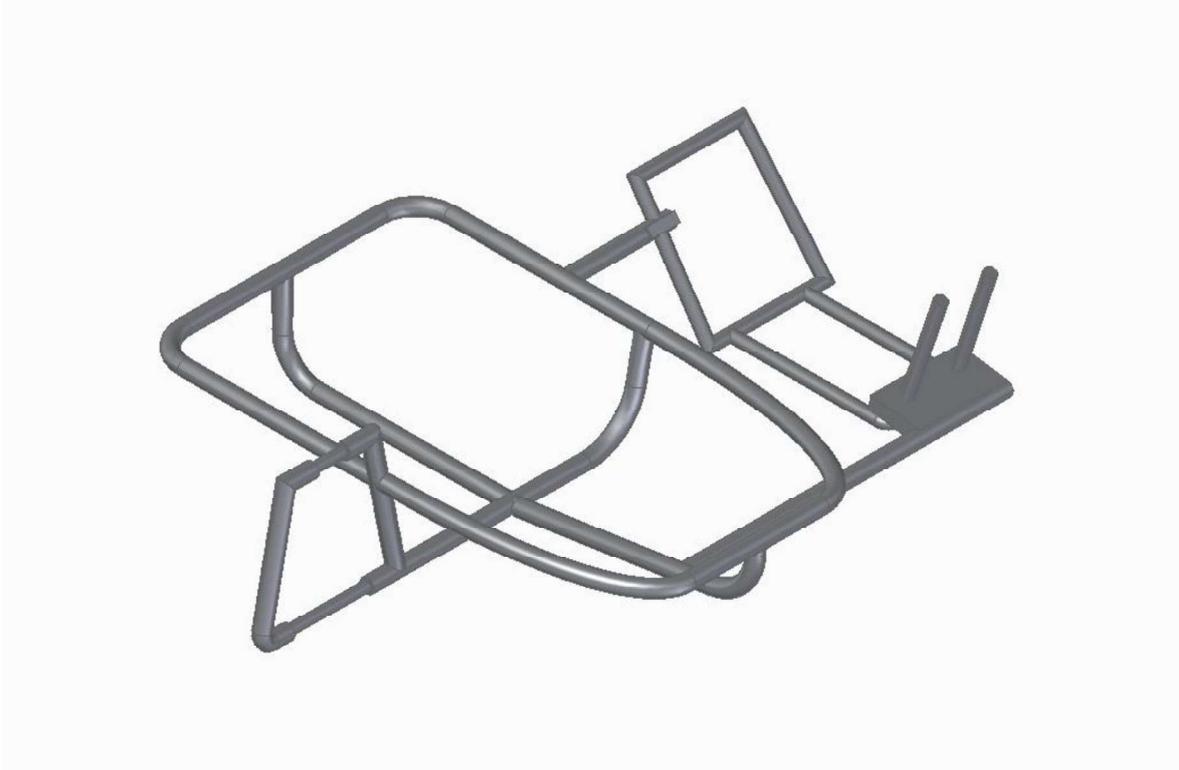
*Figura 2.3.10:*



*Figura 2.3.10 – Diseño final del Eje superior del basculante (Elaboración propia)*

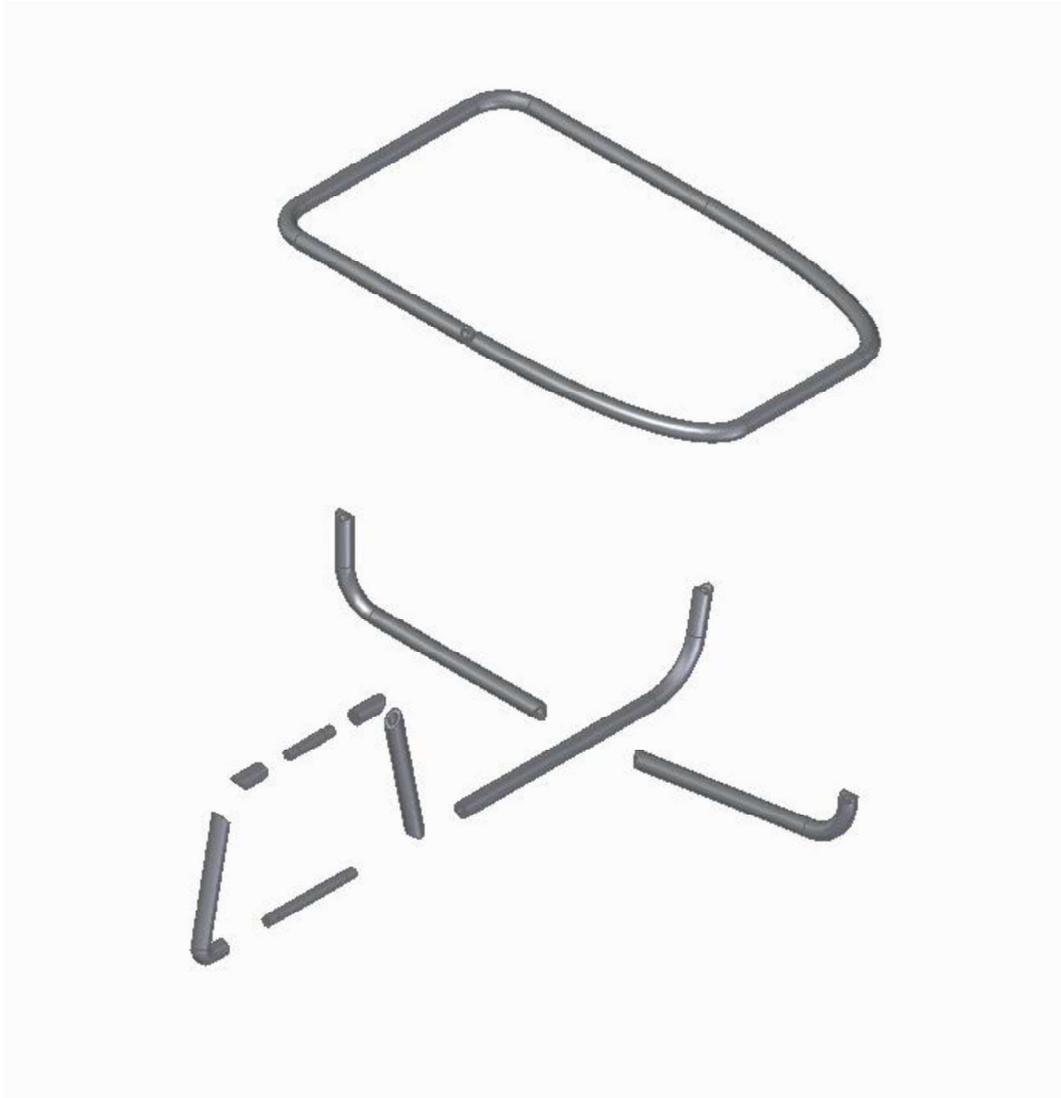
El conjunto que conforman las piezas de este apartado se muestra en las siguientes figuras de conjunto explosionado y no explosionado:

*Figura 2.3.11:*



*Figura 2.3.11 – Diseño final del Conjunto adherido al chasis de la motocicleta (Elaboración propia)*

*Figura 2.3.12:*



*Figura 2.3.12 – Diseño final del Conjunto explosionado (Elaboración propia)*

Se han realizado planos explícitos de todas las piezas anteriores que se encuentran en el ANEXO I de este documento.

## **2.4 CROQUIZADO DE COMPONENTES ADICIONALES**

Dado que el objetivo de diseño principal de este proyecto es el de la estructura del sidecar, los siguientes componentes adicionales se han croquizado en el entorno de diseño 3D, con el propósito de dar perspectiva al trabajo realizado.

Estos elementos adicionales podrían ser objeto para futuros proyectos y con esta finalidad se han croquizado para marcar ciertas pautas geométricas y funcionales.

Las siguientes figuras muestran las propuestas croquizadas de las piezas adicionales:

*Figura 2.4.1:*



*Figura 2.4.1 – Propuesta 3D del Basculante (Elaboración propia)*

*Figura 2.4.2:*



*Figura 2.4.2 – Propuesta 3D de la Llanta (Elaboración propia)*

*Figura 2.4.3:*



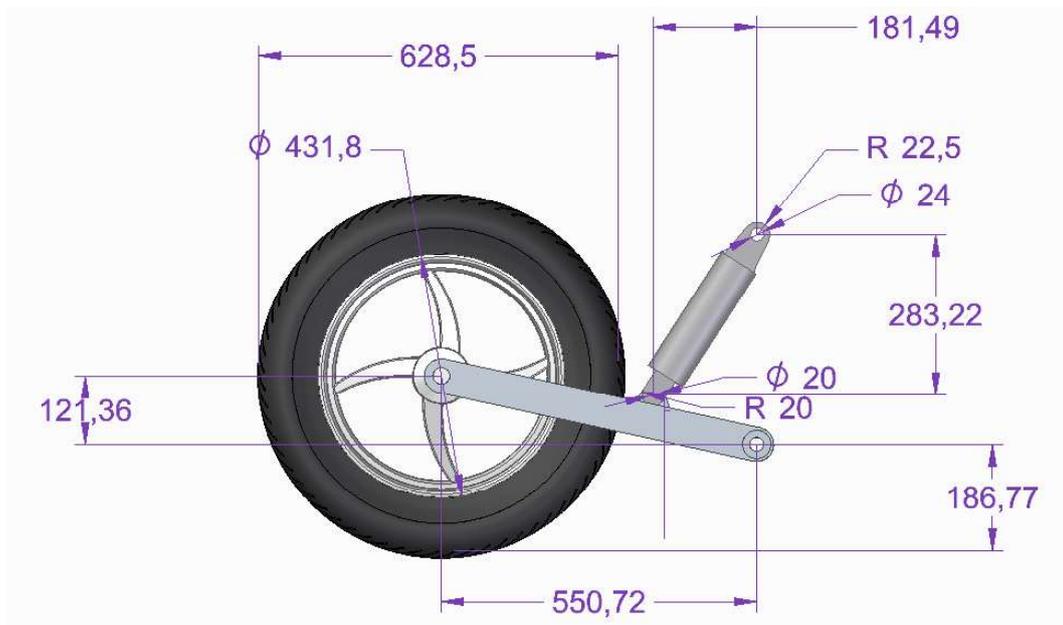
*Figura 2.4.3 – Propuesta 3D del Neumático (Elaboración propia)*

*Figura 2.4.4:*



*Figura 2.4.4 – Propuesta 3D del Amortiguador (Elaboración propia)*

El conjunto que forman estas piezas en posición con ciertas medidas de interés puede observarse en la siguiente *Figura 2.4.5:*



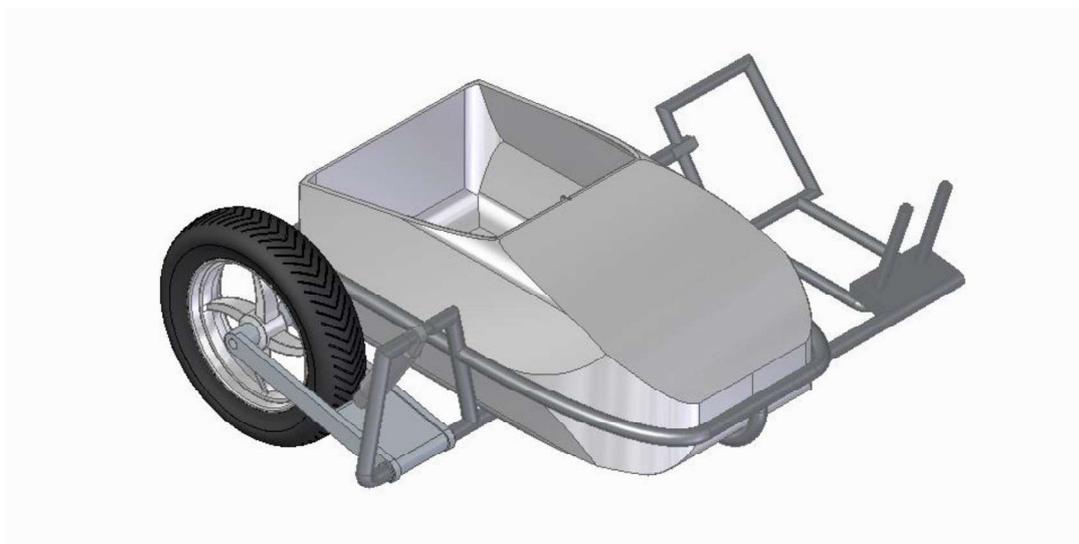
*Figura 2.4.5 – Conjunto de propuestas 3D con medidas (Elaboración propia)*

Adicionalmente se ha diseñado la pieza que modela la caja de fibra que conforma el carenado del sidecar. Esta tiene una geometría complicada que corresponde a la unión de superficies dadas por el interior de la estructura principal. Se incluye detalle en la siguiente *Figura 2.4.6*:



*Figura 2.4.6 – Propuesta 3D del Carenado (Elaboración propia)*

Finalmente, uniendo el conjunto de las piezas mostradas en este apartado con el conjunto de las piezas mostradas en el apartado anterior se puede tener una buena imagen de lo que se espera que sea el resultado de este proyecto y los posibles futuros proyectos que lo complementen. Se observa en la siguiente *Figura 2.4.7*:



*Figura 2.4.7 – Propuesta 3D del Conjunto final (Elaboración propia)*

## 3. ENSAYOS

### 3.1 *MODELADO*

Conforme a la normativa presentada en el apartado 1.1 del presente documento, los ensayos a estructuras deben seguir ciertas pautas. En el ANEXO III presentado en el mencionado apartado se definen ciertos pasos para proceder con los ensayos según un buen proceso de ingeniería. Es importante resaltar tres pasos: debe quedar una estructura consolidada y acorde con la realidad en el ambiente de simulación, deben llevarse a cabo los ensayos de carga en una buena aplicación del criterio ingenieril y deben extraerse de este entorno de ensayo los correspondientes informes que abalen la validez de la estructura.

Con la estructura completamente definida en el apartado 2.3 de esta memoria se procede a modelar los ensayos de carga a aplicar en la estructura del sidecar. Para ello se definen los siguientes ensayos:

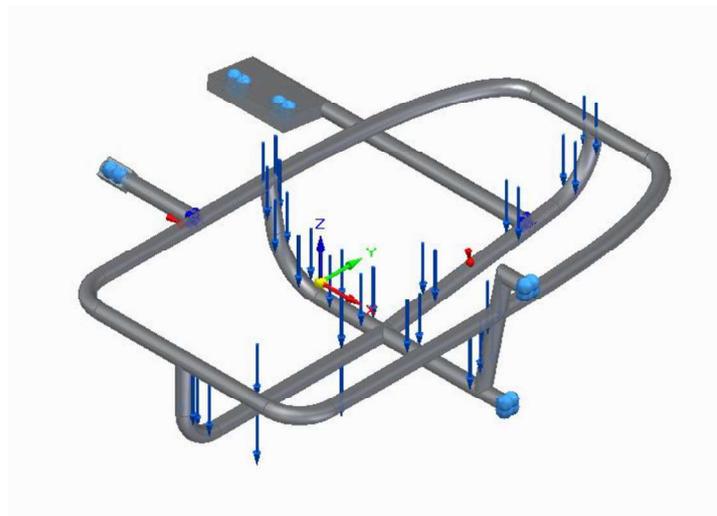
### 3.1.1 ENSAYO ANTE LA CARGA DEL PESO

En este ensayo se simulará el efecto del peso de un pasajero sobre el chasis principal.

Según la normativa vigente el peso a elegir debe corresponder a una persona del percentil 50 que, al ser pasajero, se estima en 65 Kg según la normativa.

Con el objetivo de que el ensayo sea válido se tendrán en cuenta el peso del carenado más ciertos elementos de anclaje que se estima en unos 30 Kg, además por motivos de dar mayor solidez al ensayo se sobredimensionará la carga a aplicar en 1500 N de fuerza.

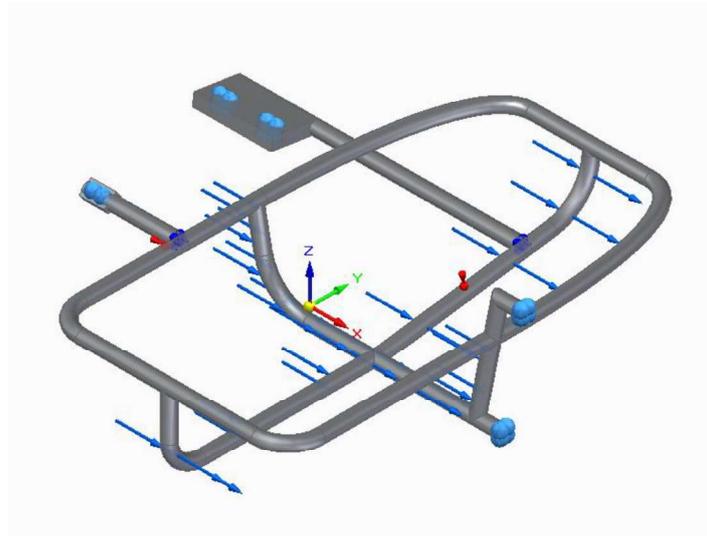
La carga a aplicar en este ensayo será por tanto de 1500 N vertical y hacia abajo aplicada en los puntos interiores de la base del chasis, como se muestra en la siguiente *Figura 3.1.1*:



*Figura 3.1.1 – Distribución de cargas Ensayo I (Elaboración propia)*

### 3.1.2 ENSAYO DE PASO POR CURVA A IZQUIERDAS

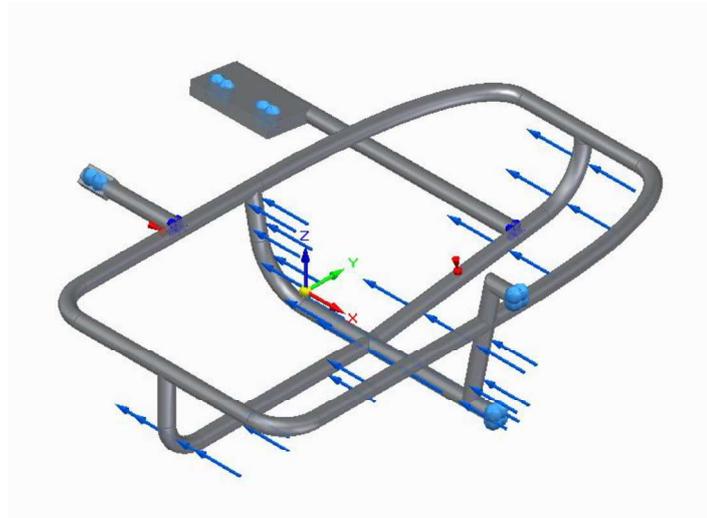
En este ensayo se simula el paso por curva en un giro hacia la izquierda con una aceleración centrípeta superior a 1 G, es decir,  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Esta aceleración está de nuevo muy sobredimensionada y tiene un valor de 2000 N hacia la derecha en el interior del chasis, como puede observarse en la siguiente *Figura 3.1.2*:



*Figura 3.1.2 – Distribución de cargas Ensayo II (Elaboración propia)*

### 3.1.3 ENSAYO DE PASO POR CURVA A DERECHAS

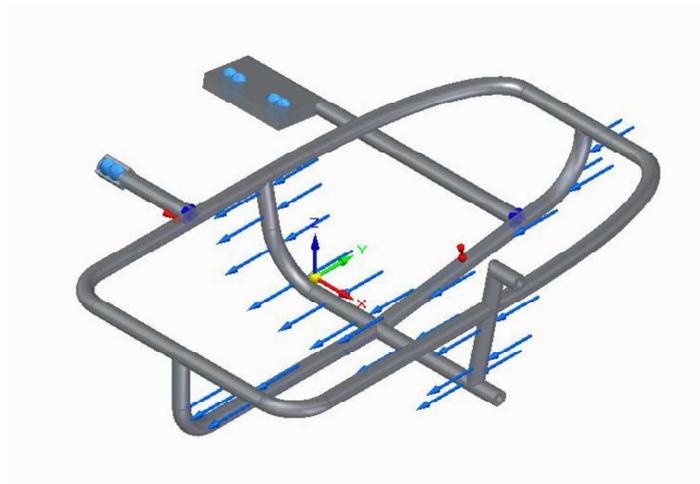
En este ensayo se simula el paso por curva en un giro hacia la derecha con una aceleración centrípeta superior a 1 G, es decir,  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Esta aceleración está de nuevo muy sobredimensionada y tiene un valor de 2000 N hacia la izquierda en el interior del chasis, como puede observarse en la siguiente *Figura 3.1.3*:



*Figura 3.1.3 – Distribución de cargas Ensayo III (Elaboración propia)*

### 3.1.4 ENSAYO DE ARRANQUE

En este ensayo se simula un arranque en el que el vehículo tractor acelera con una aceleración de 0.25 G. Lo que se modelará con una carga horizontal hacia detrás de 500 N en el interior de la estructura. Es importante resaltar que este será el único ensayo en el que en la parte exterior derecha del chasis, donde ancla el bastidor, no se fuerza una sujeción, sino que se deja el extremo libre. Puede observarse en la siguiente *Figura 3.1.4*:

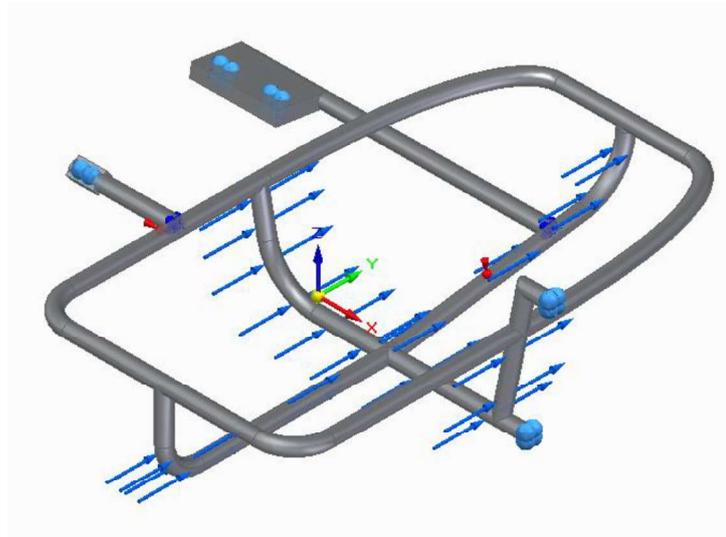


*Figura 3.1.4 – Distribución de cargas Ensayo IV (Elaboración propia)*

### 3.1.5 ENSAYO DE FRENADA

En este ensayo se simula una frenada en la que, tanto el vehículo tractor como la rueda del sidecar, deceleran con una aceleración de 0.5 G. Esto sucede siempre y cuando el sidecar vaya provisto de un freno, como se espera que suceda, ya que se ha permitido gran espacio de manipulación para añadir un sistema de frenado en el conjunto basculante. Se modela anclando de nuevo los puntos de unión del basculante, a diferencia del caso anterior.

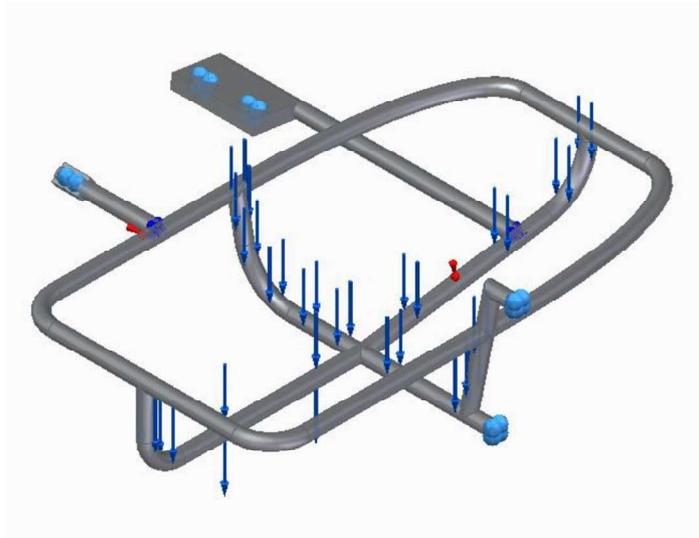
El esfuerzo se modelará con una carga horizontal hacia delante de 700 N en el interior de la estructura. Puede observarse en la siguiente *Figura 3.1.5*:



*Figura 3.1.5 – Distribución de cargas Ensayo V (Elaboración propia)*

### 3.1.6 ENSAYO DE PASO POR BADÉN

Este ensayo es la repetición del primero y trata de simular el esfuerzo vertical hacia abajo que sufre el bastidor del sidecar. El paso por badén se debe analizar de forma dinámica como un impacto o escalón de decimas de segundo. Este estudio queda fuera de este proyecto y plantea para otros futuros el diseño de un conjunto muelle-amortiguador que debe ser modelado para absorber la energía del paso por badén, para añadir cierto margen al diseño del amortiguamiento se ensayará de nuevo con un valor de 2000 N de fuerza en dirección vertical y hacia abajo, conociendo con anterioridad la posible invalidez del ensayo por el gran sobredimensionamiento de la carga. Puede observarse en la siguiente *Figura 3.1.6*:



*Figura 3.1.6 – Distribución de cargas Ensayo VI (Elaboración propia)*

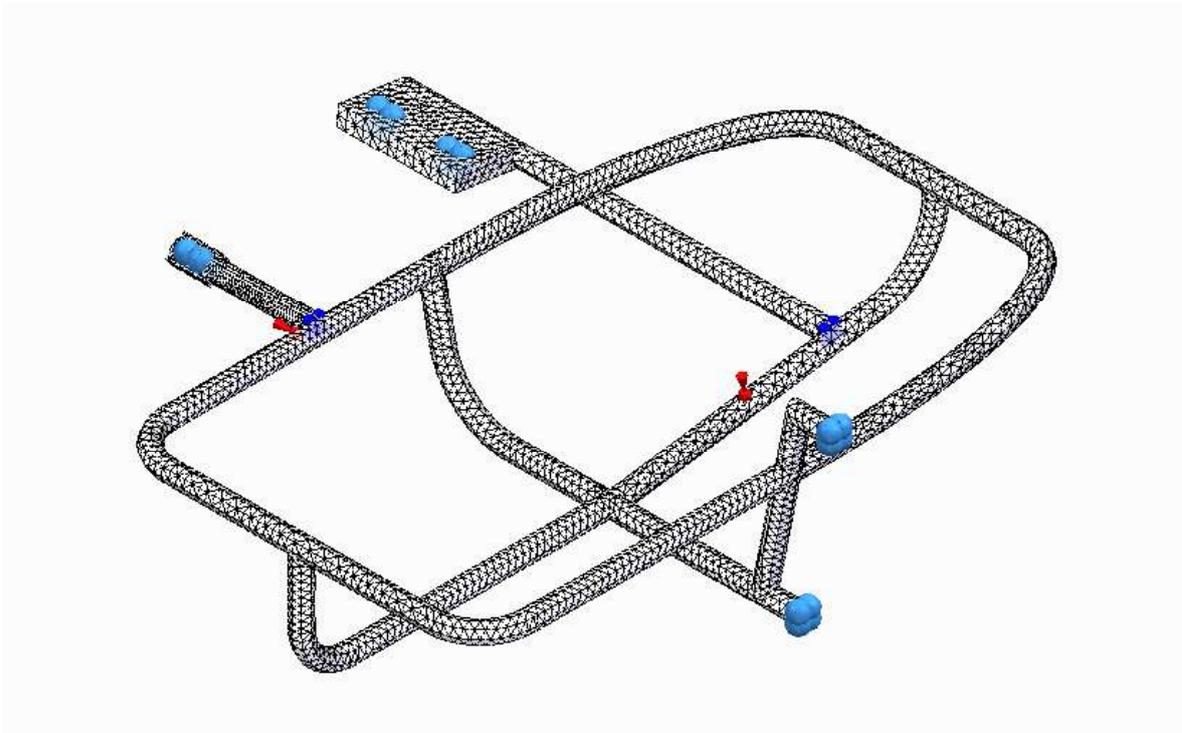
La estimación de los 2000 N proviene de partir de 100 Kg, que se escalan multiplicando por un factor de 1,5 primeramente, aplicar la aceleración de la gravedad y un coeficiente de amortiguamiento ante impacto de 1,4. Este aspecto, como se verá en los resultados más adelante supone que la estructura no sería válida por pocas centésimas en el factor de seguridad. La explicación de este punto se desarrolla en el apartado siguiente con el análisis de los resultados de este último ensayo.

### 3.2 APLICACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS

El método de análisis de la estructura utilizado en este proyecto es el modelo de ensayo virtual que facilita la misma herramienta de diseño Solid Edge 2019, y permite la simulación a partir de la aplicación de elementos finitos.

Para ello, una vez añadidas las condiciones de contorno de la estructura a ensayar, como se muestra en el anterior apartado, se debe mallar la estructura. Esto permite dividir la complicada geometría en pequeñas partes trianguladas que actuarán según las propiedades que se hayan proporcionado al software.

Para todos los ensayos de este proyecto se ha empleado como material Acero F – 1150 y se ha mallado con un tamaño subjetivo de malla de 12 mm . En la siguiente *Figura 3.2.1* se muestra un ejemplo del mallado:



*Figura 3.2.1 – Mallado de la estructura para aplicación de Elementos Finitos (Elaboración propia)*

En la siguiente *Tabla 3.2.1* puede observarse información sobre el mallado aplicado a todos los ensayos que abala la convergencia de estos:

*Tabla 3.2.1 – Información sobre el mallado (Elaboración propia)*

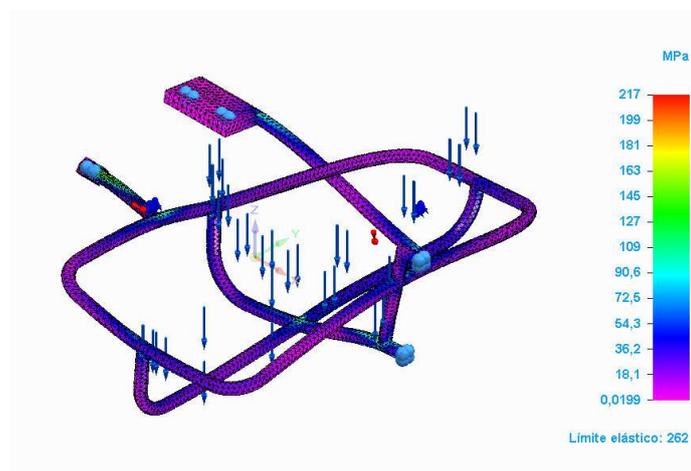
<b>Tipo de mallado</b>	<b>Tetraédrico</b>
Número total de cuerpos mallados	3
Número total de elementos	35.798
Número total de nodos	67.868
Tamaño subjetivo de malla (1-10)	6

### 3.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En este apartado se mostrarán los resultados de los ensayos realizados. Para una mayor brevedad en la redacción se mostrarán los resultados en forma de imagen de todos los ensayos realizados, pero se comentarán de manera más extensa los resultados más críticos.

#### 3.3.1 RESULTADOS ANTE LA CARGA DEL PESO

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.1 – Respuesta ante cargas Ensayo I (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.1.1*:

*Tabla 3.1.1.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo I*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	3,78 mm	-247,503 mm	903,064 mm	0,000 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.1.2*:

*Tabla 3.1.1.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo I*

<b>Componente resultante: Von Mises</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	0,0199 MPa	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm
<b>Máxima</b>	217 MPa	313,604 mm	205,000 mm	-230,000 mm

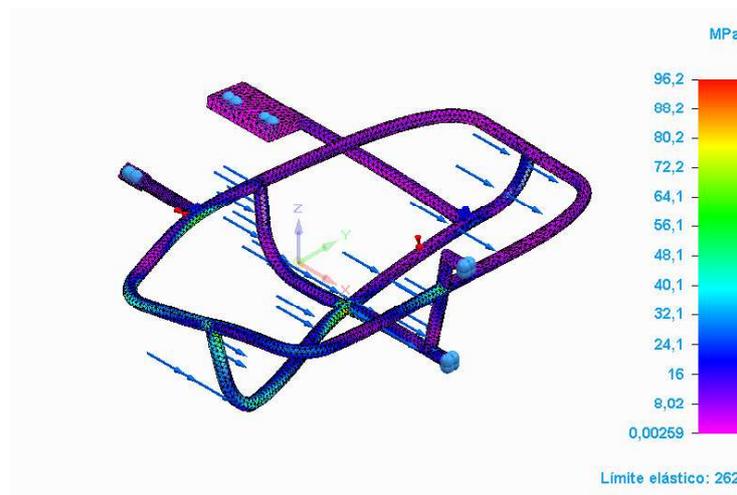
Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.1.3*:

*Tabla 3.1.1.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo I*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	1,21	313,604 mm	205,000 mm	-230,000 mm
<b>Máxima</b>	1,31e+04	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm

### 3.3.2 RESULTADOS DE CURVA A IZQUIERDAS

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.2 – Respuesta ante cargas Ensayo II (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.2.1*:

*Tabla 3.1.2.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo II*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	1,97 mm	0,000 mm	-395,922 mm	-260,866 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.2.2*:

*Tabla 3.1.2.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo II*

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,00259 MPa	-684,008 mm	-54,730 mm	-4,716 mm
Máxima	96,2 MPa	20,000 mm	185,000 mm	-250,000 mm

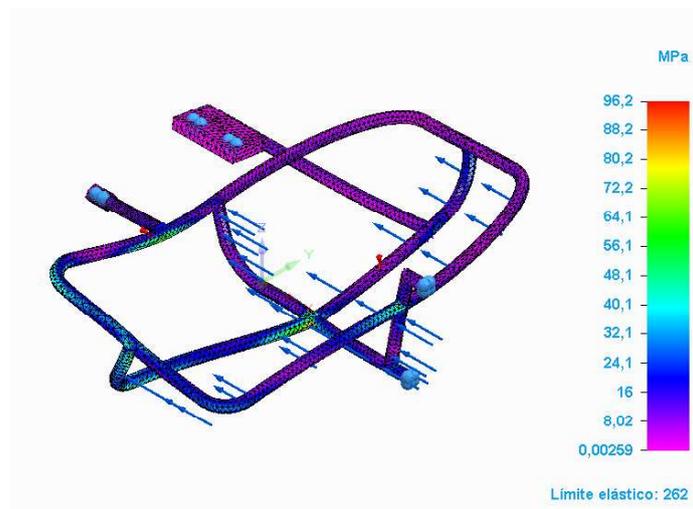
Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.2.3*:

*Tabla 3.1.2.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo II*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	2,72	20,000 mm	185,000 mm	-250,000 mm
<b>Máxima</b>	1,01e+05	-684,008 mm	-54,730 mm	-4,716 mm

### 3.3.3 RESULTADOS DE CURVA A DERECHAS

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.3 – Respuesta ante cargas Ensayo III (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.3.1*:

*Tabla 3.1.3.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo III*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	1,97 mm	0,000 mm	-395,922 mm	-260,866 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.3.2*:

*Tabla 3.1.3.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo III*

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,00259 MPa	-684,008 mm	-54,730 mm	-4,716 mm
Máxima	96,2 MPa	20,000 mm	185,000 mm	-250,000 mm

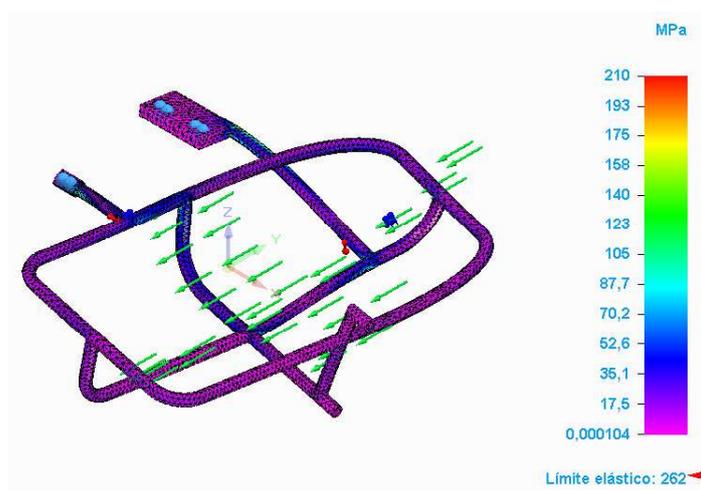
Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.3.3*:

*Tabla 3.1.3.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo III*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	2,72	20,000 mm	185,000 mm	-250,000 mm
<b>Máxima</b>	1,01e+05	-684,008 mm	-54,730 mm	-4,716 mm

### 3.3.4 RESULTADOS DE ARRANQUE

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.4 – Respuesta ante cargas Ensayo IV (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.4.1*:

*Tabla 3.1.4.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo IV*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	6,89 mm	307,303 mm	835,513 mm	0,000 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.4.2*:

*Tabla 3.1.4.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo IV*

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,000104 MPa	479,548 mm	225,000 mm	120,000 mm
Máxima	210 MPa	-395,976 mm	-12,135 mm	-13,630 mm

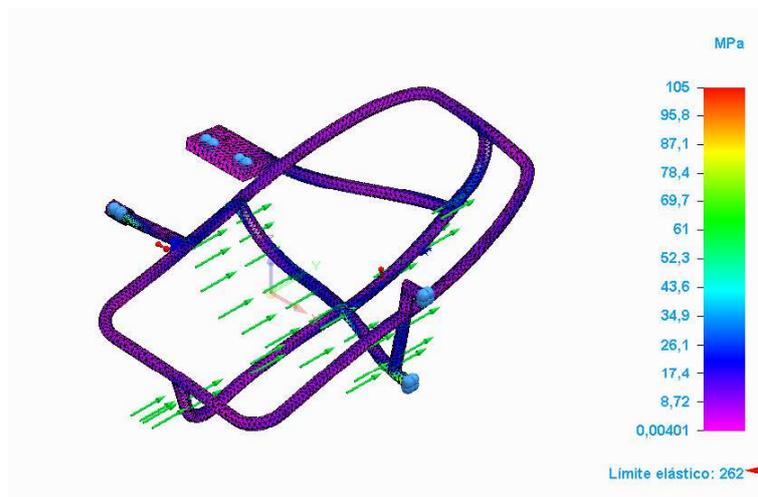
Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.4.3*:

*Tabla 3.1.4.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo IV*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	1,24	-395,976 mm	-12,135 mm	-13,630 mm
<b>Máxima</b>	2,53e+06	479,548 mm	225,000 mm	120,000 mm

### 3.3.5 RESULTADOS DE FRENADA

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.5 – Respuesta ante cargas Ensayo V (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.5.1*:

*Tabla 3.1.5.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo V*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	1,42 mm	-234,159 mm	910,298 mm	0,000 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.5.2*:

*Tabla 3.1.5.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo V*

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,00401 MPa	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm
Máxima	105 MPa	-395,976 mm	-12,135 mm	-13,630 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.5.3*:

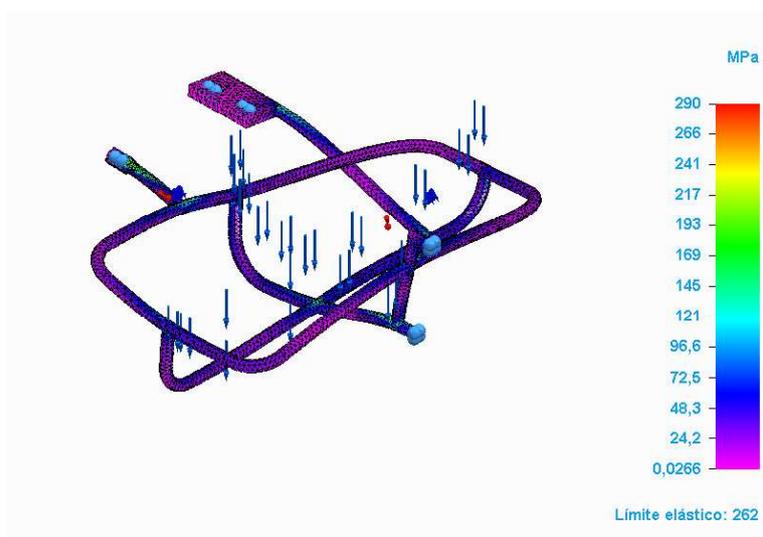
*Tabla 3.1.5.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo V*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	2,51	-395,976 mm	-12,135 mm	-13,630 mm
<b>Máxima</b>	6,54e+04	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm

La respuesta a los anteriores ensayos es suficientemente satisfactoria. Al conocer que los valores de las cargas aplicadas habían sido previamente escalados con un factor de valor 1,5; los factores de seguridad de los puntos más críticos han resultado ser válidos.

### 3.3.6 RESULTADOS DE PASO POR BADÉN

Los resultados de este ensayo se muestran en la siguiente *Figura 3.3.1*:



*Figura 3.3.6 – Respuesta ante cargas Ensayo VI (Elaboración propia)*

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.6.1*:

*Tabla 3.1.6.1 – Desplazamientos máximo y mínimo del Ensayo VI*

Componente resultante: traslación total				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0 mm	-715,352 mm	615,424 mm	-149,581 mm
Máxima	5,04 mm	-247,503 mm	903,064 mm	0,000 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.6.2*:

*Tabla 3.1.6.2 – Tensiones máxima y mínima del Ensayo VI*

Componente resultante: Von Mises				
Extensión	Valor	X	Y	Z
Mínima	0,0266 MPa	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm
Máxima	290 MPa	313,604 mm	205,000 mm	-230,000 mm

Los puntos de máximo y mínimo desplazamiento se muestran en la siguiente *Tabla 3.1.6.3*:

*Tabla 3.1.6.3 – Factores de seguridad máximo y mínimo del Ensayo VI*

<b>Componente resultante: Factor de seguridad</b>				
<b>Extensión</b>	<b>Valor</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínima</b>	0,904	313,604 mm	205,000 mm	-230,000 mm
<b>Máxima</b>	9,86e+03	-925,000 mm	710,748 mm	-181,006 mm

Como puede observarse este es el único ensayo cuyo resultado muestra un factor de seguridad fuera de lo razonable. Esto es debido a la falta de consideración del efecto amortiguador que otorgan los basculantes de la motocicleta y del sidecar.

Además, como se ha comentado repetidas veces, los valores seleccionados para las cargas del ensayo han sido escalados de tal forma que ya existiese un amplio margen de seguridad en ellos. El resultado de factor de seguridad para el punto más crítico que facilita la herramienta no dista mucho de la unidad, siendo su valor de 0,904. Que en conjunto con el factor previo de 1,5. Haciendo el producto de ambos, resulta en un factor de seguridad válido de 1,356.

Teniendo en cuenta lo anterior, y conociendo la validez del resto de ensayos, también sobredimensionados, puede concluirse en que la estructura es válida con amplios márgenes de seguridad y es viable para el prototipado y la realización de ensayos físicos.

En cualquier caso y de cara a proyectos futuros, es importante tener en cuenta que se ha de ser minucioso en el ensayo una vez añadido el conjunto muelle-amortiguador, que debe ser diseñado o seleccionado a conciencia.

## 4. FABRICACIÓN

### 4.1 JUSTIFICACIÓN DEL MATERIAL

La selección de material en este proyecto se hará de manera específica para los elementos que se han diseñado con mayor nivel de detalle. De todos modos, se hará una proposición de materiales para los elementos complementarios a la estructura principal.

En un primer momento se planteó el acero como material para la construcción de la estructura del chasis debido a sus excelentes propiedades de resistencia, densidad, fabricación y facilidad de adquisición.

Con este material seleccionado se pasó al entorno de simulación, y como se ha visto en el apartado anterior, resultó cumplir los objetivos de resistencia con cierta comodidad. El acero seleccionado fue el Acero al carbono F – 1150, un material de uso generalizado en este tipo de aplicaciones. Su composición se recoge en la siguiente *Tabla 4.1.1*:

*Tabla 4.1.1 – Composición del Acero F- 1150*

	C %	Mn %	Si %	P % (máx.)	S % (máx.)
F - 1150	0,50-0,60	0,60-0,90	0,15-0,40	0,035	0,035

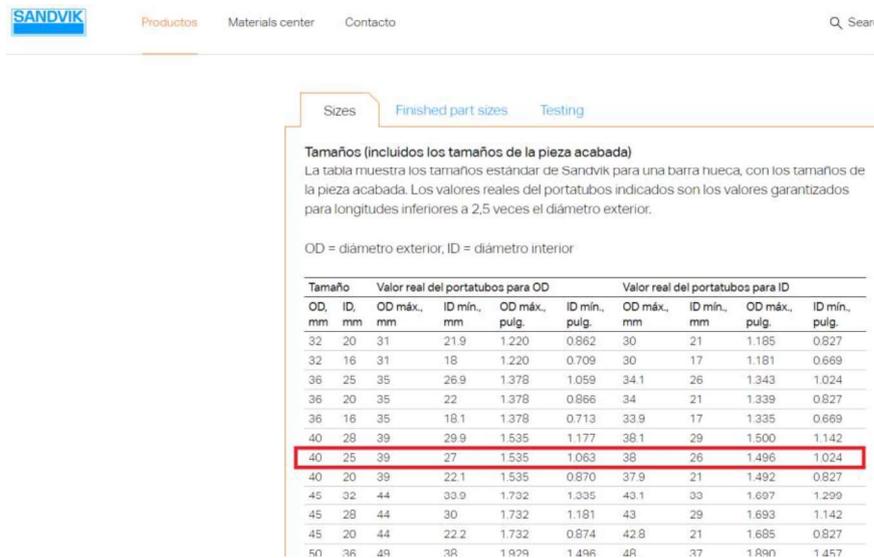
Sus propiedades más relevantes se recogen en la siguiente *Tabla 4.1.2*:

*Tabla 4.1.2 – Propiedades del Acero F- 1150*

Densidad	7833 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	199948 MPa
Coefficiente de Poisson	0.290
Límite elástico	262 MPa
Tensión de rotura	358,53 MPa

Los ensayos justifican la elección de este acero aleado

Este material es de uso generalizado en el mercado y es sencillo acceder a tubos de las dimensiones de diámetro interior y exterior para las que se ha diseñado (25 mm y 40 mm respectivamente), lo que abarata notablemente los costes. Puede observarse en la siguiente *Figura 4.1.1* que la conocida empresa acerera SANDVIK S.A. ofrece el material en su catálogo:



**Tamaños (incluidos los tamaños de la pieza acabada)**  
La tabla muestra los tamaños estándar de Sandvik para una barra hueca, con los tamaños de la pieza acabada. Los valores reales del portatubos indicados son los valores garantizados para longitudes inferiores a 2,5 veces el diámetro exterior.

OD = diámetro exterior, ID = diámetro interior

Tamaño	Valor real del portatubos para OD				Valor real del portatubos para ID					
	OD, mm	ID, mm	OD máx., mm	ID mín., mm	OD máx., pulg.	ID mín., pulg.	OD máx., mm	ID mín., mm	OD máx., pulg.	ID mín., pulg.
32	20	31	21.9	1.220	0.862	30	21	1.185	0.827	
32	16	31	18	1.220	0.709	30	17	1.181	0.669	
36	25	35	26.9	1.378	1.059	34.1	26	1.343	1.024	
36	20	35	22	1.378	0.866	34	21	1.339	0.827	
36	16	35	18.1	1.378	0.713	33.9	17	1.335	0.669	
40	28	39	29.9	1.535	1.177	38.1	29	1.500	1.142	
40	25	39	27	1.535	1.063	38	26	1.496	1.024	
40	20	39	22.1	1.535	0.870	37.9	21	1.492	0.827	
45	32	44	33.9	1.732	1.335	43.1	33	1.697	1.299	
45	28	44	30	1.732	1.181	43	29	1.693	1.142	
45	20	44	22.2	1.732	0.874	42.8	21	1.685	0.827	
50	36	48	38	1.929	1.496	48	37	1.890	1.457	

*Figura 4.1.1 – Imagen del catálogo de aceros de Sandvik (Cortesía de SANDVIK S.A.)*

Los ejes que unen el chasis, el basculante, el amortiguador y el cierre del amortiguador también se proponen del mismo Acero F 1150 y deberán ser fabricadas por arranque de material en un centro de control numérico de torneado y fresado.

Todas las piezas de acero, una vez soldadas, deben ser protegidas con un recubrimiento que evite del desgaste por corrosión y exposición al medio.

La propuesta para el resto de las piezas complementarias al chasis:

- Basculante: fabricado por fundición (preferible mente de fundición gris).
- Llanta: fabricado por fundición.

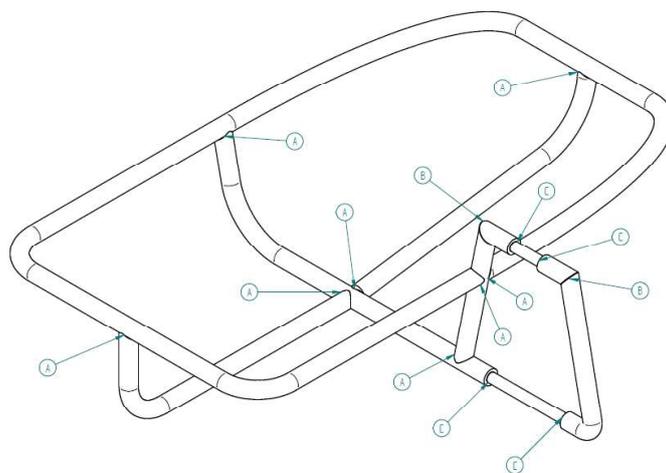
## 4.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN

Las piezas que conformarán el chasis deberán seguir el siguiente proceso de fabricación:

- Cortado de tubos con corte plano hasta la medida (teniendo en cuenta la fluencia de estos en el doblado)
- Doblado en caliente de tubos hasta alcanzar la geometría (teniendo en cuenta la recuperación elástica del material)
- Corte según superficie de unión por soldadura (tipos A, B o C que se detallan más adelante)
- Preparación de bordes para soldadura
- Posicionamiento y soldadura

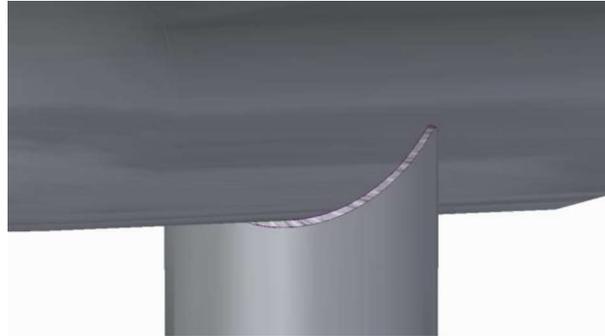
### 4.2.1 TIPO DE SOLDADURA

Para este tipo de acero y teniendo en cuenta la geometría de los tubos y de la unión el método de soldadura preferido es mediante soldadura por arco eléctrico en atmósfera inerte: MIG/MAG. Los cordones han de tirarse en ángulo siguiendo el contorno de la superficie de unión. Se adjuntan seguidamente figuras que detallan la forma de la soldadura para los dos distintos tipos de uniones que se clasifican según la siguiente *Figura 4.2.1.1*:



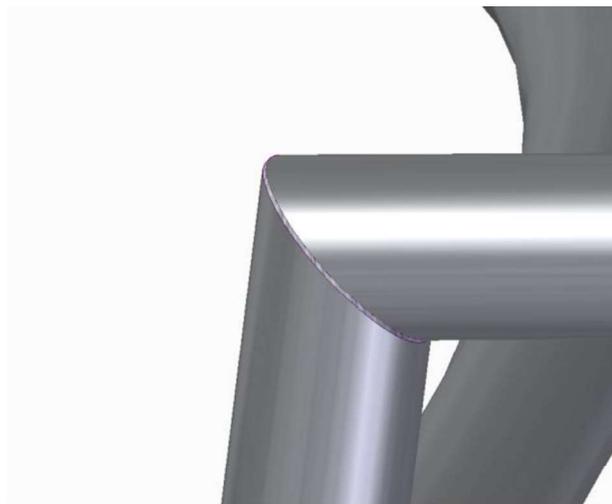
*Figura 4.2.1.1 – Clasificación de tipos de soldadura en el conjunto*

En la siguiente *Figura 4.2.1.2* se muestra la soldadura para las uniones de tipo A:



*Figura 4.2.1.2 – Detalle de soldadura tipo A*

En la siguiente *Figura 4.2.1.3* se muestra la soldadura para las uniones de tipo B:



*Figura 4.2.1.3 – Detalle de soldadura tipo B*

La soldadura de tipo C no se ve representada ya que se trata de una soldadura interna efectuada desde el comienzo de la ranura con gran penetración.

Todas las soldaduras (A, B y C) deben tener gran penetración para ello es importante que el tipo de conexión del instrumento soldador sea de polaridad directa, que el material de aporte sea el apropiado y que el gas de aislamiento sea Argón.

### 4.3 ESTIMACIÓN DE COSTES DE PRODUCCIÓN

Para el cálculo de los costes de producción de la estructura se utilizarán valores de compra de acero accesibles para un particular que se extraen de la comparativa de diferentes precios encontrados en la web. Siendo estos de 7 €/m para los tubos de Ø40 x Ø25 y de 5 €/m para los tochos de acero empleados para los ejes de Ø25.

Se estima que serán necesarios 10,5 metros de longitud de tubo para la fabricación del chasis y dos tochos de acero de 290 mm y 150 mm de longitud para la fabricación de los ejes.

El coste estimado al alza de materia prima es de:  $73,78 \text{ €} + 2,20 \text{ €} = 75,98 \text{ €}$

A este coste han de añadirse los costes de fabricación que, estimando el coste de la mano de obra en 45 €/hora para cortadores, dobladores y soldadores:

- Operaciones de corte: 2 horas x 45 €/hora = 90 €
- Operaciones de doblado: 4 horas x 45 €/hora = 180 €
- Operaciones de soldeo: 4 horas x 45 €/hora = 180 €

Para el torneado y fresado de los ejes se estima un coste total de uso de máquina de 30 €.

Resultando un coste total estimado para la fabricación de la estructura principal del chasis de 556 €.

A esto hay que añadir la estimación del coste de producción o adquisición de las piezas complementarias propuestas:

- Conjunto muelle-amortiguador: 100 €
- Caja de fibra y guarnecidos: 700 €
- Conjunto llanta-neumático: 300 €
- Basculante procedente de fundición: 80 €
- Sistema de freno (en caso de ser instalado): 300 €
- Coste añadido de tornillería y elementos de fijación: 100 €
- Coste de pintura, recubrimientos y tratamientos para elementos metálicos: 100 €

En total, el precio estimado para la fabricación del sidecar completo está estimado al alza en un valor de 1936 €. Este coste de fabricación deja un considerable margen de beneficio teniendo en cuenta que modelos similares alcanzan de media los 2500 €.

Este coste es una estimación para la producción de la unidad dedicada al particular. Es importante mencionar que se lograría disminuir el coste fabricación por unidad si el producto fuese escalado y producido en serie, aplicándose en este caso precios de venta al por mayor para la materia prima y siendo el coste de la mano de obra y el precio de hora de máquina significativamente menores.

#### 4.4 PLANOS DE DESPIECE

Se adjuntan planos de despiece en el Anexo I de este documento de las piezas que conforman el chasis principal de la estructura. Se citan en la siguiente *Tabla 4.3.1*:

*Tabla 4.3.1 – Lista de planos del Anexo I*

Conjunto	Tipo de plano	Nº Lámina	Título
Bastidor	despiece	1.10.10	Marco del bastidor
	despiece	1.10.20	Base transversal del bastidor
	despiece	1.10.30	Soporte inferior izquierdo del basculante
	despiece	1.10.40	Soporte superior izquierdo del basculante
	despiece	1.10.50	Base longitudinal trasera del bastidor
	despiece	1.10.60	Base longitudinal delantera del bastidor
	despiece	1.10.70	Soporte inferior derecho del basculante
	despiece	1.10.80	Soporte superior derecho del basculante
	despiece	1.10.90	Eje inferior del basculante
	despiece	1.10.100	Eje superior del basculante
	conjunto explosionado	1.20.10	Conjunto explosionado
	conjunto	1.20.20	Conjunto no explosionado

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto ha seguido un método convencional y riguroso de ingeniería en el que han surgido pocos problemas a resolver en lo que a diseño se refiere. No ha sido necesario rediseñar por completo ninguna pieza debido a su resistencia a esfuerzos ya que se eligieron desde el inicio un estilo y una geometría que priorizase la estética, seguridad y practicidad frente a la eficiencia.

El hecho de haber logrado los objetivos de resistencia se debe a que se ha seguido un proceso de diseño y de selección de materiales muy convencional para que en el momento de proceder con el ensayo la probabilidad de fracaso fuese mínima.

De todos modos, se ha logrado una estructura ligera que es sin lugar a duda innovadora frente a los modelos clásicos. La incorporación de un sistema de amortiguación supone una gran ventaja para esta causa, relajando tensiones además de haciendo ligeramente más cómoda la conducción.

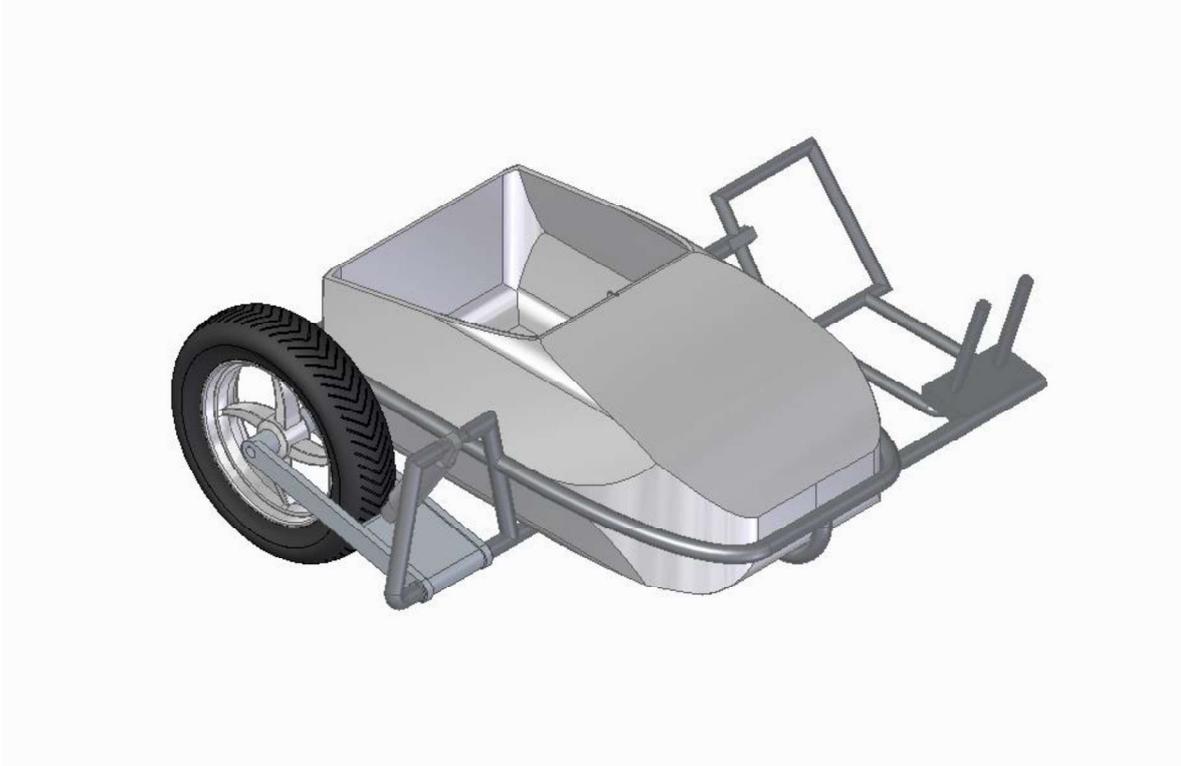
La estructura es, en base a los resultados de los ensayos, válida y podría ser puesta a prueba una vez esta y sus componentes complementarios hayan sido fabricados.

Estos componentes adicionales que se han propuesto a modo de croquis son una buena base para futuros proyectos similares al realizado, para en un futuro, conformar un sidecar completo y actualizado que sea viable para la circulación segura.

La selección de materiales permite que la fabricación del sidecar sea escalable gracias a los bajos costes de estos y a su sencilla mecanización en serie.

En todo momento, en este proyecto se ha aplicado una correcta práctica de la ingeniería y gracias a ello se han logrado todos los objetivos propuestos.

El resultado final del proceso de diseño del conjunto del sidecar se detalla en la siguiente *Figura 6.1.1*:



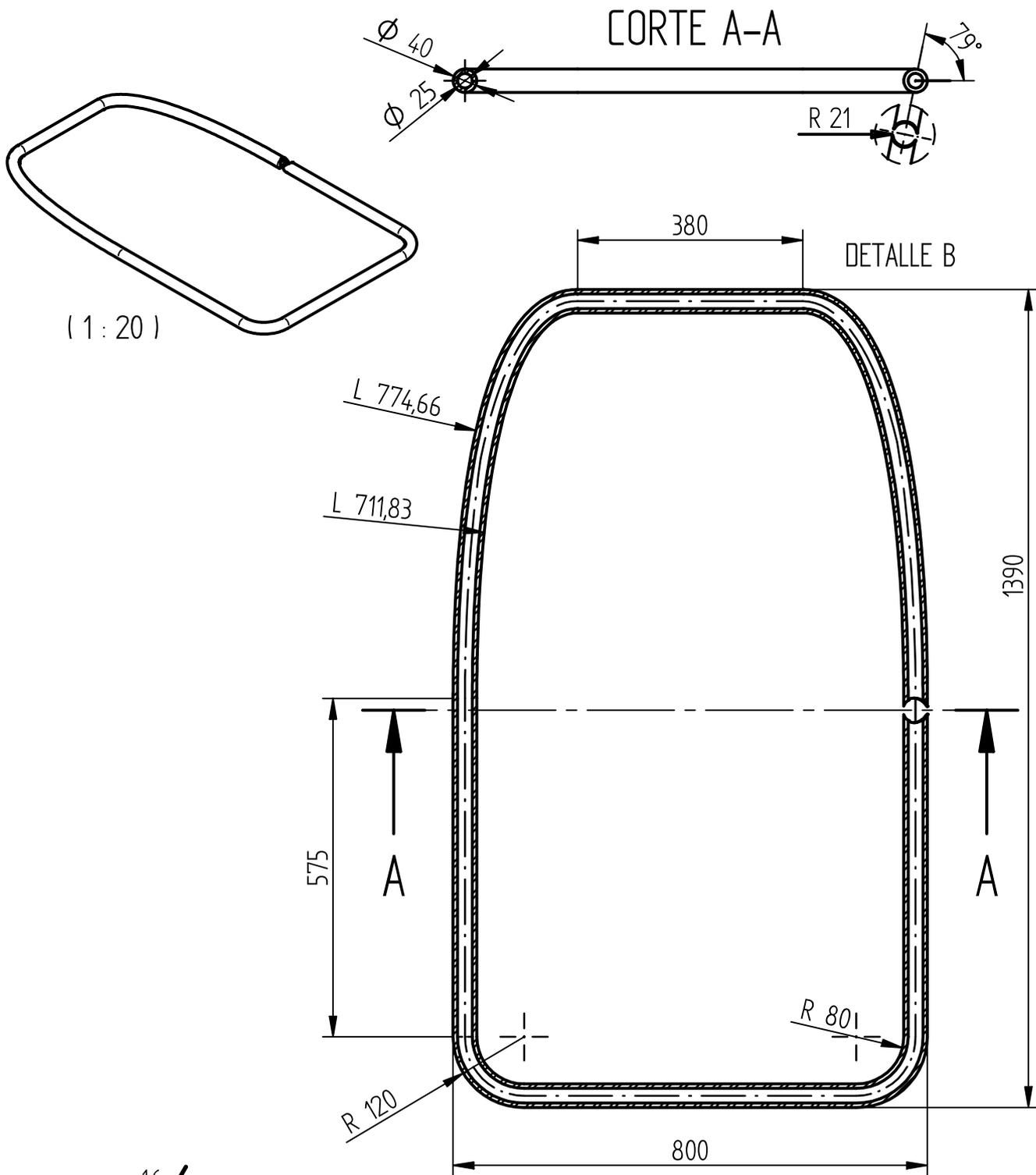
*Figura 6.1.1 – Resultado final del proceso de diseño del conjunto del sidecar (Elaboración propia)*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

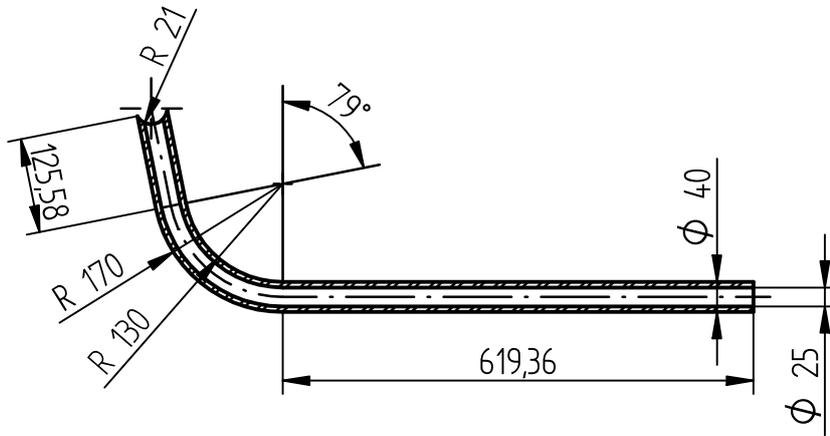
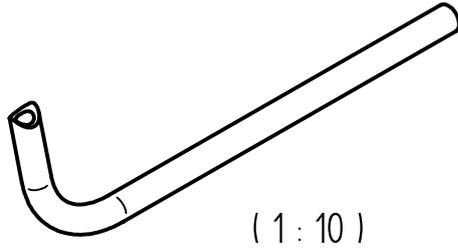
- [1] B.O.E.: Unión Europea, Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos.  
[https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20\(UE\)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2013-80407#:~:text=Reglamento%20(UE)%20n%C2%BA%20168%2F,del%20mercado%20de%20dichos%20veh%C3%ADculos.)
- [2] Manual de usuario de la motocicleta de marca Triumph y modelo América.
- [3] I.N.T.A.: Legislación Nacional, Homologación de vehículos. Directiva: 2007 / 46 / CE  
<https://www.inta.es/PLATAFORMAS/es/legislacion/>
- [4] Catálogo de Sandvik, SANDVIK S.A. <https://www.materials.sandvik/es-es/productos/bar-and-hollow-bar/hollow-bar/stocks/>

## 8. ANEXO I: PLANOS

En este anexo se adjuntan todos los planos de despiece y conjunto mencionados en la memoria.



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b> Conjunto: Bastidor Marco de bastidor	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL			
	Nombre	Fecha		
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020		
ESCALA:	1:10	FIRMA:	PROCESO:	LÁMINA:
			01	1.10.10

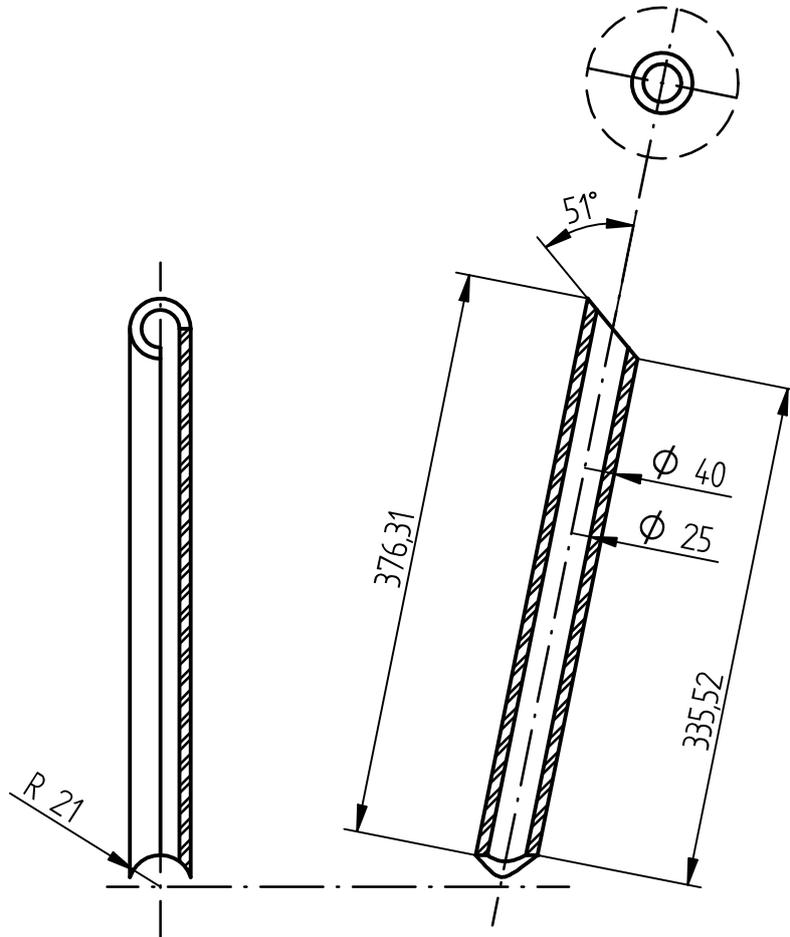


MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL			
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>	
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020	<b>Base transversal del bastidor</b>	
ESCALA:	1:10	FIRMA:	PROCESO:	LÁMINA:
			01	1.10.20



( 1 : 10 )

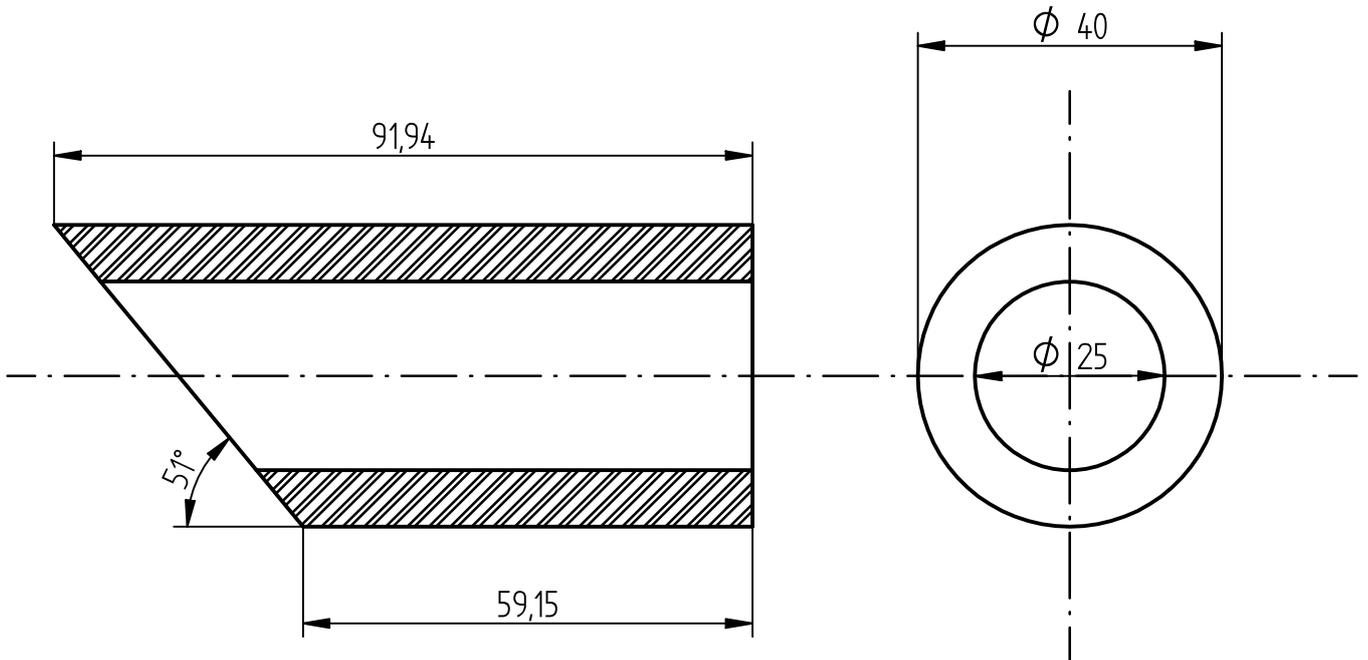
VISTA PARCIAL A



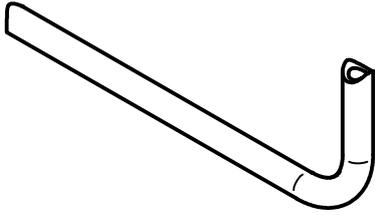
MATERIAL	Acero F 1150		ETSI - ICAI	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL		Conjunto: Bastidor	
	Nombre	Fecha	Soporte inferior izquierdo del basculante	
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020		
ESCALA:	1:5	FIRMA:	PROCESO: 01	LÁMINA: I.10.30



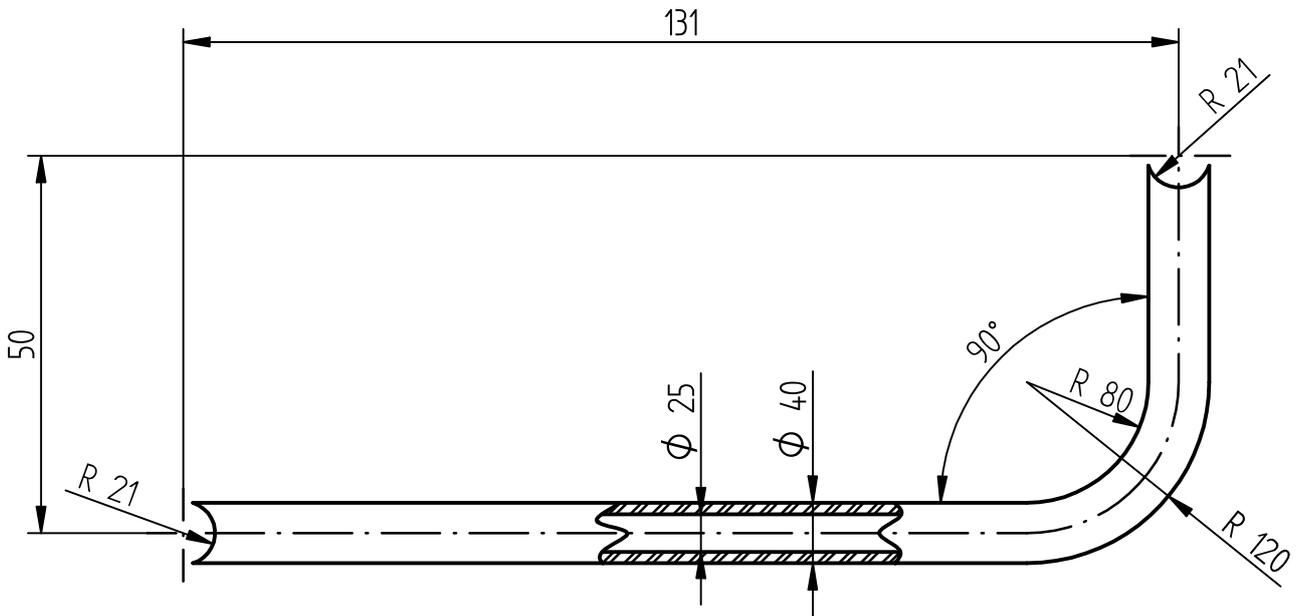
( 1 : 10 )



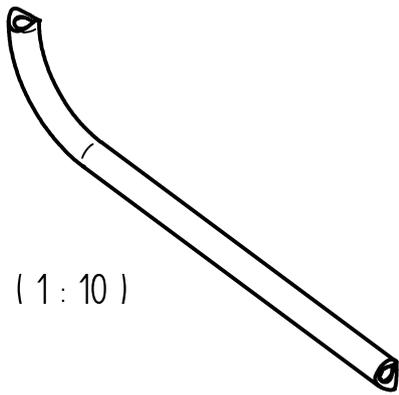
MATERIAL	Acero F 1150		ETSI - ICAI	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL		Conjunto: Bastidor	
	Nombre	Fecha	Soporte superior del basculante	
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020		
ESCALA:	1:1	FIRMA:	PROCESO:	LÁMINA:
			01	1.10.40



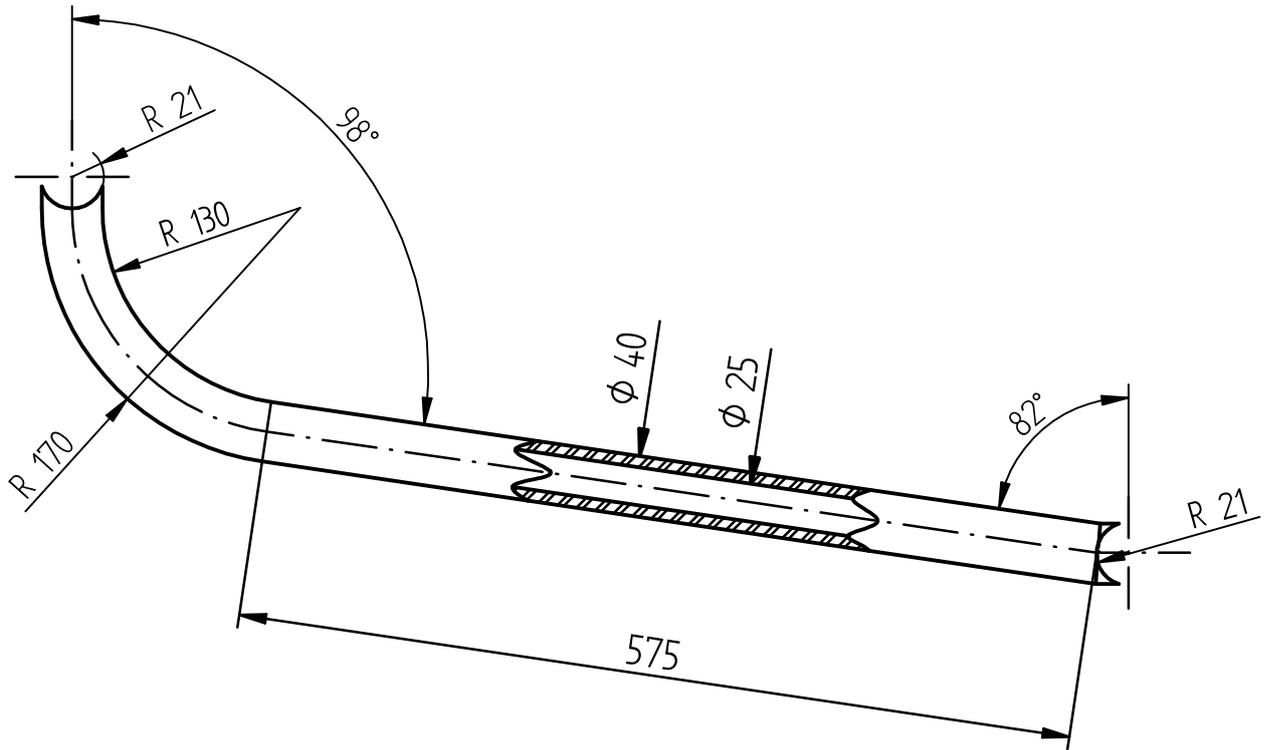
( 1 : 10 )



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL			
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>	
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020	Base longitudinal trasera del bastidor	
ESCALA:	1:5	FIRMA:	PROCESO:	LÁMINA:
			01	I.10.50



( 1 : 10 )



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>	
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL			
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>	
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020		
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020	Base longitudinal delantera del bastidor	
ESCALA:	1:5	FIRMA:	PROCESO:	LÁMINA:
			01	1.10.60



( 1 : 10 )

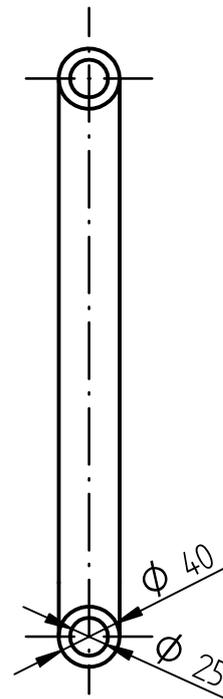
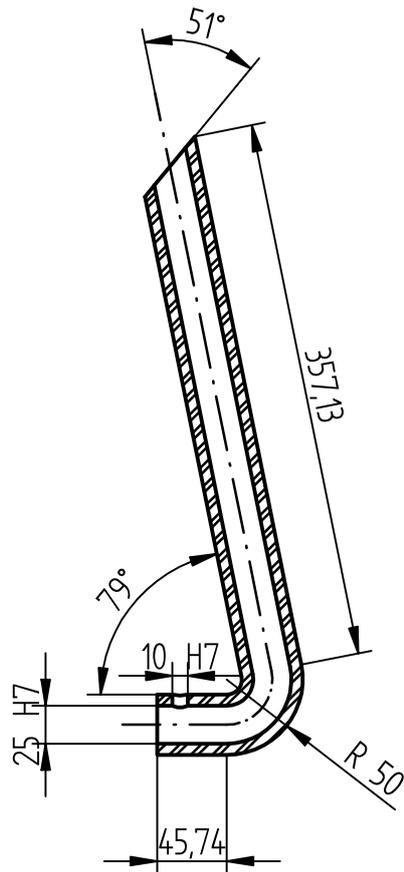


Tabla de Tolerancias:

Designación	Limite inferior	Limite superior
25 H7	25	25,021
10 H7	10	10,015



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>			
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL					
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>			
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020				
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020	Soporte inferior izquierdo del basculante			
ESCALA:	1:5	FIRMA:	PROCESO:	01	LÁMINA:	1.10.70



( 1 : 10 )

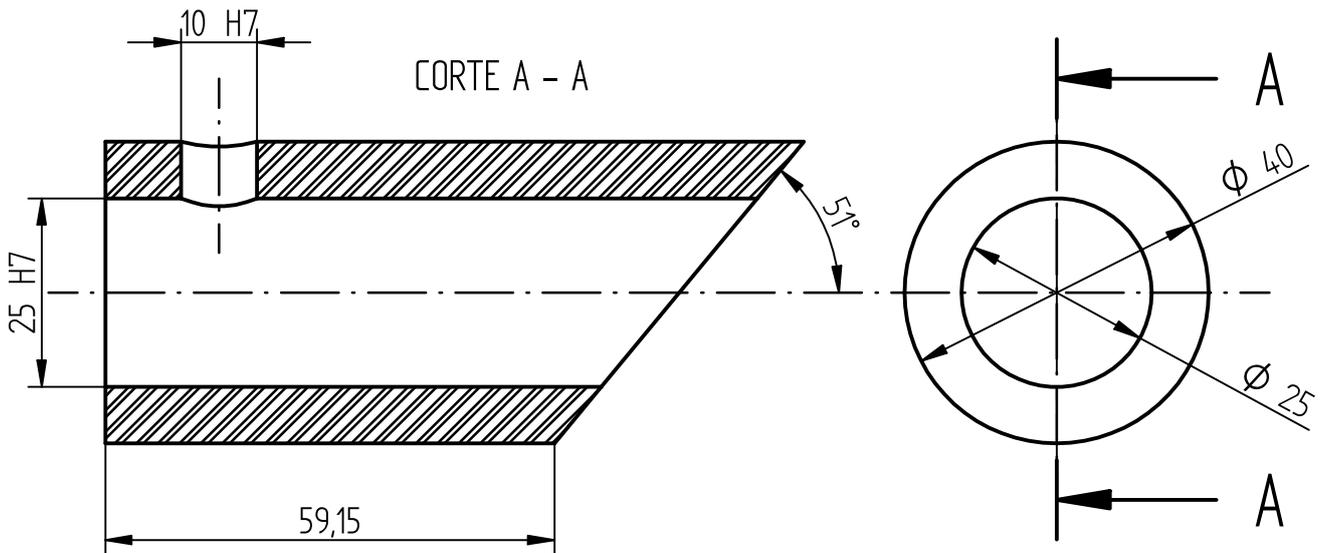
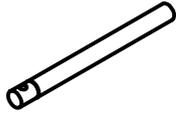


Tabla de Tolerancias:

Designación	Limite inferior	Limite superior
25 H7	25	25,021
10 H7	10	10,015



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>			
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL					
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>			
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020				
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020				
ESCALA:	1:1	FIRMA:	PROCESO:	01	LÁMINA:	1.10.80



( 1 : 10 )

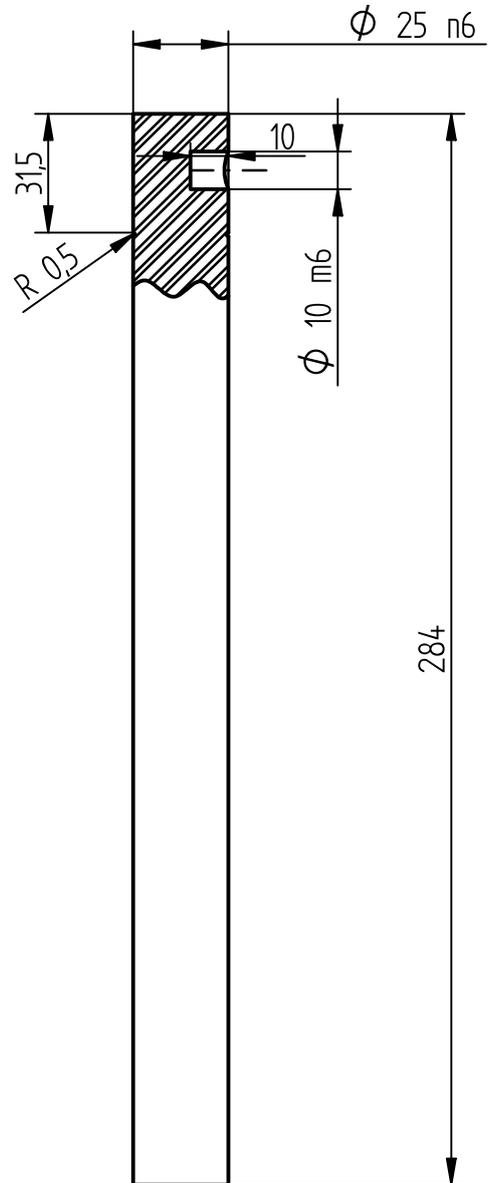


Tabla de Tolerancias:

Designación	Limite inferior	Limite superior
25 n6	24,979	25
10 m6	9,985	9



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>			
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL					
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b> Eje inferior del basculante			
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020				
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020				
ESCALA:	1:2	FIRMA:	PROCESO:	01	LÁMINA:	1.10.90



( 1 : 10 )

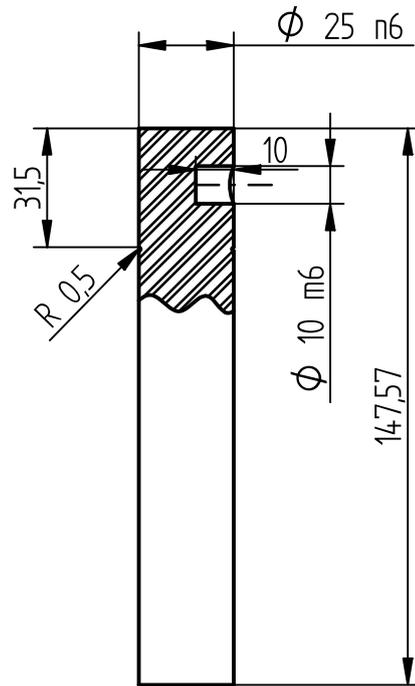
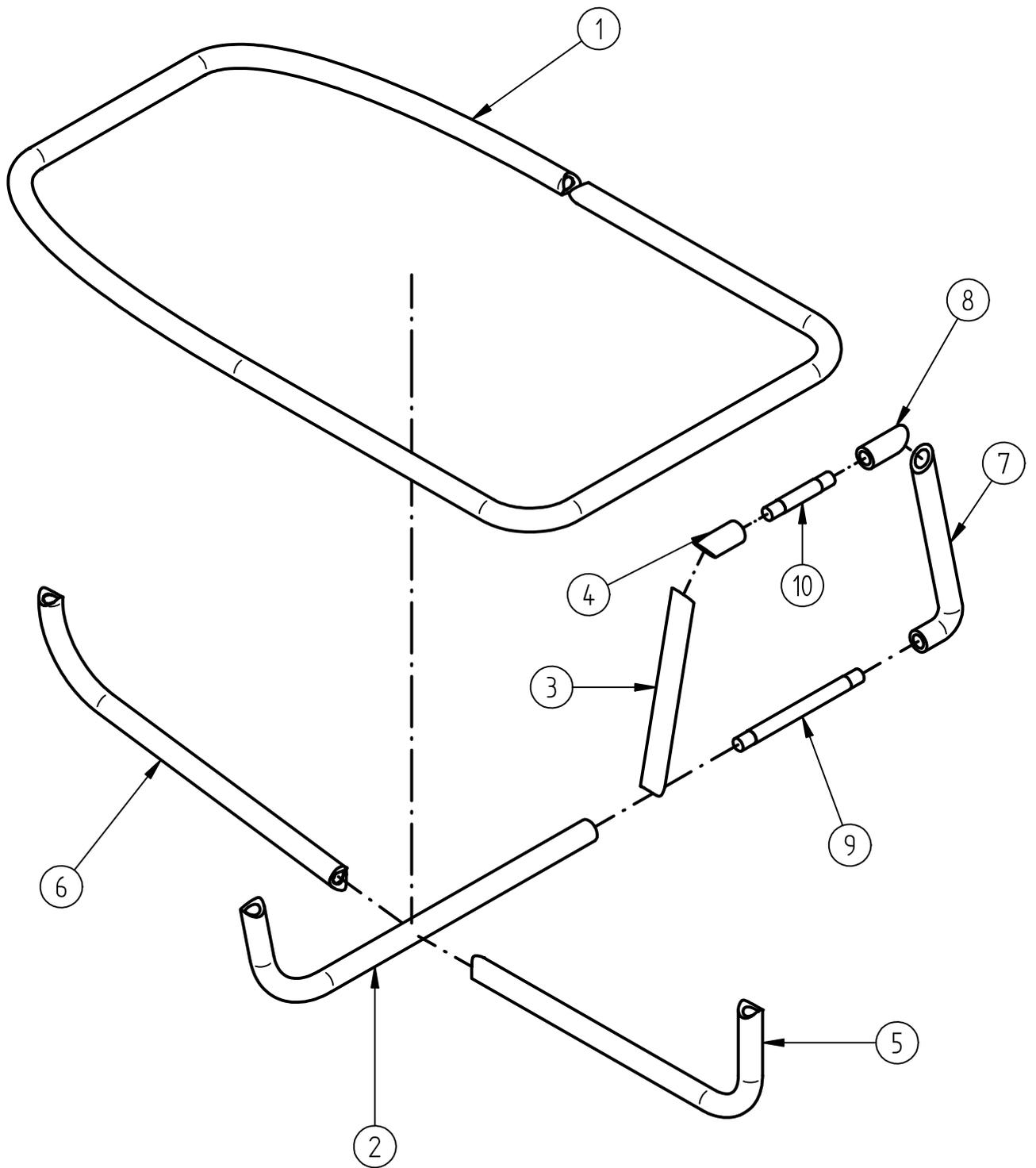


Tabla de Tolerancias:

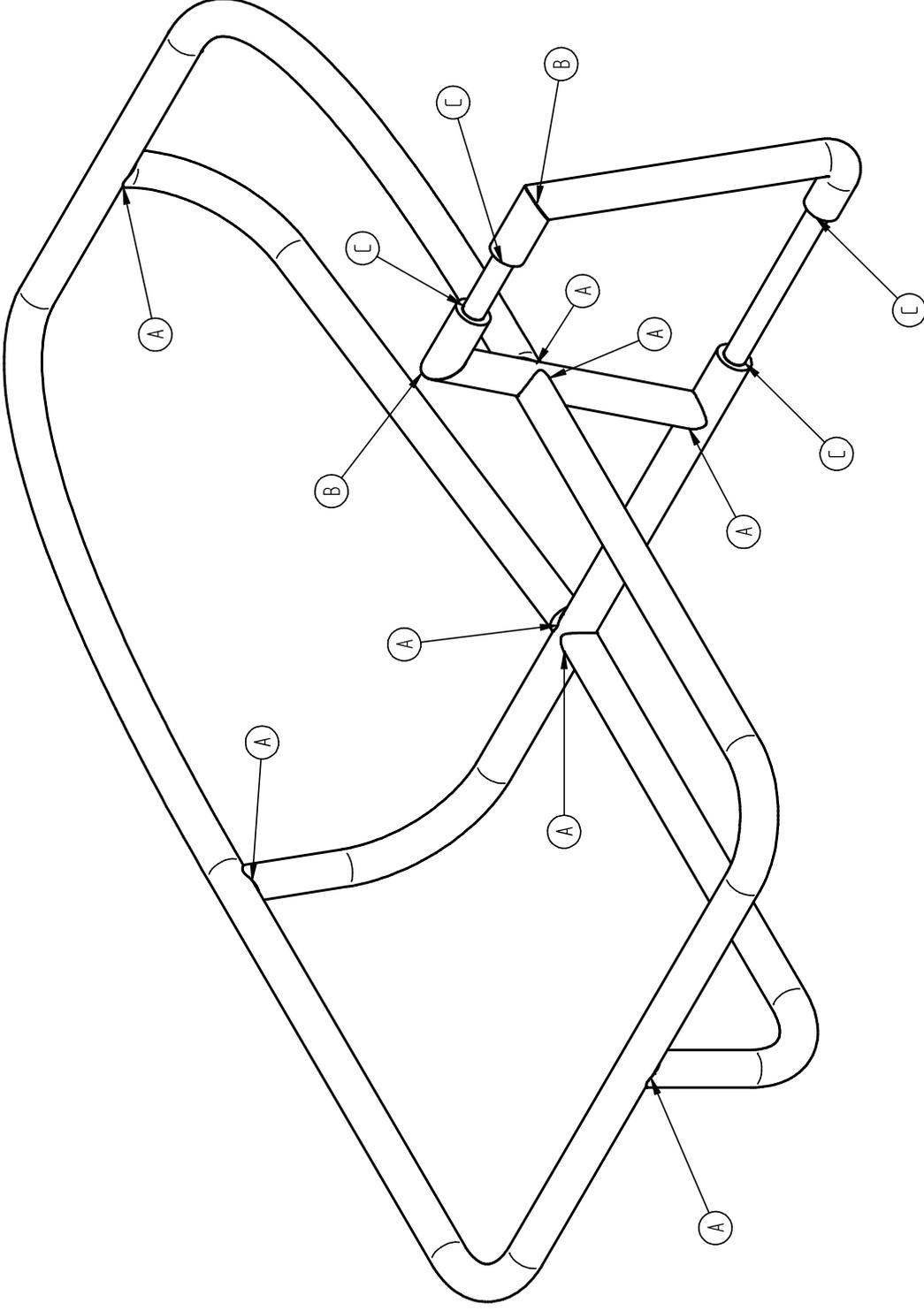
Designación	Limite inferior	Limite superior
25 n6	24,979	25
10 m6	9,985	9



MATERIAL	Acero F 1150		<b>ETSI - ICAI</b>			
TOLERANCIA	UNE EN 22768 mL					
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b> Eje superior del basculante			
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	01/07/2020				
COMPROBADO	Juan de Norverto	19/07/2020				
ESCALA:	1:2	FIRMA:	PROCESO:	01	LÁMINA:	I.10.100



MATERIAL	material		<b>ETSI - ICAI</b>		
TOLERANCIA	tolerancia				
	Nombre	Fecha	<b>Conjunto: Bastidor</b>		
DIBUJADO	Guillermo López Sánchez	27/02/2020			
COMPROBADO	Comprobado	27/02/2020	<b>Explosionado bastidor</b>		
ESCALA:	1 : 10	FIRMA:		PROCESO: 01	LÁMINA: 1.20.10



Los cordones de soldadura a aplicar en los puntos de unión designados como A se realizarán del mismo modo

Los cordones de soldadura a aplicar en los puntos de unión designados como B se realizarán del mismo modo

Los cordones de soldadura a aplicar en los puntos de unión designados como C se realizarán del mismo modo

MATERIAL	F-1150			<b>ETSI - ICAI</b>	
TOLENCIA	-	Nombre	Fecha	Conjunto: Bastidor	
Dibujado	GLS	Comprobado	JNM	Clasificación de proceso de soldadura del bastidor	
Escala	2:1	Firma		Proceso:	01
				Nº Lamina:	1,20,20