



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO:

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno

AUTOR:

Félez Ortiz, Enrique Javier

FECHA DE PRESENTACIÓN: Febrero, 2021

APELLIDOS: Félez Ortiz

NOMBRE: Enrique Javier

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

PLAN: Grado

DIRECTOR: Gerard Sanz Collado

DEPARTAMENTO: Expresión gráfica en ingeniería

QUALIFICACIÓN DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENTE

SECRETARIA

VOCAL

**Ricard
Sangenís Pedrola**

**Nora Isabel
Martinez Antunez**

**Joan
Sole Rovira**

FECHA DE LECTURA: 05 de febrero del 2021 a las 15:30h

Este proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales: No

RESUMEN

El proyecto realizado se basa en el proceso de modificación de un vehículo todo terreno de la marca Suzuki, modelo Samurai del año 1988, teniendo en cuenta toda la normativa aplicable según las leyes de la unión europea y el estado español.

El objetivo primordial es convertir un vehículo todoterreno totalmente de origen en uno de características mejoradas, minimizando los errores que se considera que tiene el vehículo de origen para la realización de pruebas extremas y trial 4x4, aparte de ello realizando un trabajo de restauración muy minucioso.

En primer lugar, se expondrán de manera simple y breve los criterios de un proceso de homologación y el porque de su realización, conjuntamente a todos los datos del vehículo presentado, tanto de su historia como de sus datos técnicos.

Seguidamente, se detallarán cada uno de los elementos modificados y se relatará una breve explicación de cada una de las modificaciones, catalogándolas en tres grupos: homologables, no homologables y sin necesidad de homologar. No obstante, todas ellas se rigen de una normativa para poder ser llevadas a cabo, por lo cual, se destinará un apartado en exponer las bases de esta normativa y otro a detallar las restricciones que marcan dichos artículos.

Pese al estudio holístico del vehículo, el foco del análisis recaerá en la modificación elaborada en el sistema de barras antivuelco de la jaula central, ya que es la única que se puede homologar. Por ello, se realizarán los cálculos, el diseño y la simulación de la estructura plasmándola mediante aplicativos informáticos, como NX12 y SolidWorks. La estructura se simulará con el objetivo de que ésta pueda aguantar 3,5 veces el peso máximo autorizado del vehículo, sufriendo una deformación inferior a 10 cm, siguiendo tres hipótesis planteadas de posibles casos reales.

Tras el estudio del diseño y resultados obtenidos se concluye que la estructura podrá soportar grandes esfuerzos, viéndose mayormente afectada la parte de fijación con el chasis.

Las barras antivuelco no presentan grandes deformaciones que pudieran afectar a la seguridad tanto de los ocupantes como de elementos de carrocería exterior, según las hipótesis planteadas. No obstante, el diseño se realiza para conseguir que esta tenga una uniformidad completa y cada uno de los esfuerzos realizados se distribuían en toda la estructura, sus anclajes al chasis e incluso en el mismo chasis.

Tras estas comprobaciones y cálculos, se confirma la solidez y resistencia de la estructura al esfuerzo teórico sometido de 3.5 veces el peso y tras efectuar su construcción, ésta ha sido testada y probada en situaciones reales, viéndose su efectividad y resistencia.

Palabras clave (máximo 10):

| | | | |
|--------------|-----------|-------------------|--------------|
| Modificación | Vehículo | Todoterreno | Homologación |
| SolidWorks | Tensiones | Barras antivuelco | Diseño |
| Simulación | Esfuerzos | | |

ABSTRACT

The project carried out is based on the process of modifying an all-terrain vehicle of the Suzuki brand, Samurai model of the year 1988, taking into account all the applicable regulations according to the laws of the European Union and the Spanish state.

The main objective is to convert a totally original off-road vehicle into one with improved characteristics, minimizing the errors that the original vehicle is considered to have for extreme tests and 4x4 trials, apart from doing a very meticulous restoration work.

In the first place, the criteria of an homologation process and the reason for its performance will be presented in a simple and brief way, together with all the data of the vehicle presented, both its history and its technical data.

Next, each of the modified elements will be detailed and a brief explanation of each of the modifications will be given, classifying them into three groups: homologous, non-homologous and without the need for homologation. However, all of them are governed by a regulation to be carried out, for which reason, a section will be used to expose the bases of this regulation and another to detail the restrictions that mark said articles.

Despite the holistic study of the vehicle, the focus of the analysis will fall on the modification made in the roll bar system of the central cage, since it is the only one that can be homologated. Therefore, the calculations, design and simulation of the structure will be carried out using computer applications, such as NX12 and SolidWorks. The structure will be simulated in order that it can support 3.5 times the maximum authorized weight of the vehicle, suffering a deformation of less than 10 cm, following three hypotheses raised from possible real cases.

After studying the design and the results obtained, it is concluded that the structure will be able to withstand great stresses, the part that is attached to the chassis being most affected.

The roll bars do not present large deformations that could affect the safety of both the occupants and the elements of the exterior bodywork, according to the hypotheses raised. However, the design is carried out to ensure that it has complete uniformity and each of the efforts made was distributed throughout the structure, its anchors to the chassis and even in the chassis itself.

After these checks and calculations, the solidity and resistance of the structure to the theoretical stress submitted of 3.5 times the weight is confirmed and after its construction, it has been tested and proven in real situations, showing its effectiveness and resistance.

Keywords (10 maximum):

| | | | |
|--------------|---------|-------------|--------------|
| Modification | Vehicle | All-terrain | Homologation |
| SolidWorks | Stress | Roll cage | Design |
| Simulation | Efforts | | |

SUMARIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| 1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO | 10 |
| 1.1 Problemática de los vehículos todo terreno del siglo XXI | 10 |
| 1.2 Historia del Suzuki Samurai | 11 |
| 1.3 Adquisición y compra del vehículo | 12 |
| 1.4 Motivación del proyecto | 13 |
| 1.5 Introducción a los temas desarrollados en el proyecto | 13 |
| 1.6 Motivación por las barras antivuelco exteriores | 14 |
| 1.7 Datos y características técnicas del vehículo original | 15 |
| 2. HOMOLOGACIÓN DE UN VEHÍCULO | 16 |
| 2.1 Que es una homologación | 16 |
| 2.2 Quién realiza las homologaciones | 16 |
| 2.3 Tipos de vehículos y su clasificación | 17 |
| 2.4 Normativa y órgano legislador | 18 |
| 3. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN EN BASE A LAS MODIFICACIONES HOMOLOGABLES | 19 |
| 4. PLIEGO DE CONDICIONES | 21 |
| 4.1 Cambio de emplazamiento de matrícula trasera | 21 |
| 4.2 Sistema de escape de gases | 22 |
| 4.3 Neumáticos | 23 |
| 4.4 Separadores de rueda y llantas | 25 |
| 4.5 Aletines | 26 |
| 4.6 Barras antivuelco (jaula central) | 26 |
| 5. PROCESO DE MODIFICACIÓN | 29 |
| 5.1 Modificaciones sin necesidad de homologar | 29 |
| 5.1.1 Sistema de suspensión | 29 |
| 5.1.2 Radio y emisora | 30 |
| 5.1.3 Luz interior | 30 |
| 5.1.4 Pintura y saneado interior y exterior | 30 |
| 5.1.5 Chapas cubre puertas | 31 |
| 5.1.6 Instalación bloque de diferencial | 31 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1.7 | Reductora 6.50;1 | 32 |
| 5.1.8 | Rejilla delantera | 34 |
| 5.2 | Modificaciones NO homologables | 34 |
| 5.2.1 | Asientos | 34 |
| 5.2.2 | Sistema de alumbrado | 35 |
| 5.2.3 | Cabrestante o “winch” | 36 |
| 5.2.4 | Barras antivuelco delanteras | 37 |
| 5.3 | Modificaciones homologables | 38 |
| 5.3.1 | Emplazamiento de matrícula trasera | 38 |
| 5.3.2 | Sistema de escape de gases | 39 |
| 5.3.3 | Neumáticos y llantas | 39 |
| 5.3.4 | Separadores de rueda | 40 |
| 5.3.5 | Aletines | 40 |
| 5.3.6 | Barras antivuelco (jaula central) | 41 |
| 6. | PROCESO DE DISEÑO DE BARRAS ANTIVUELCO | 42 |
| 6.1 | Adquisición de datos | 43 |
| 6.1.1 | Tabla de materiales empleados | 45 |
| 6.2 | Proceso de diseño y conformado de la estructura con aplicativo NX12 y SolidWorks | 46 |
| 6.3 | Adquisición de herramientas, material y estudio de técnicas de fabricación | 48 |
| 6.3.1 | Triaje de tubo | 48 |
| 6.3.2 | Metodología de doblado de tubos | 49 |
| 6.3.3 | Metodología y estudio de soldadura | 50 |
| 6.4 | Proceso de fabricación | 51 |
| 6.4.1 | Arco central | 51 |
| 6.4.1.1 | <i>Proceso de doblado</i> | 51 |
| 6.4.2 | Arco trasero | 53 |
| 6.4.2.1 | <i>Proceso de corte</i> | 53 |
| 6.4.3 | Proceso de pintura | 56 |
| 7. | CALCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA DE BARRAS ANTIVUELCO Y ANÁLISIS CAE | 57 |
| 7.1 | Cálculo de masas, pesos, dimensionado y material | 58 |
| 7.1.1 | Cálculo de masa de la estructura | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 7.1.2 Dimensionado y material | 60 |
| 7.2 Introducción al cálculo analítico manual | 62 |
| 7.3 Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 1 | 63 |
| 7.4 Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 2 | 64 |
| 7.5 Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 3 | 66 |
| 7.6 Descripción de la simulación CAE mediante SolidWorks | 67 |
| 7.7 Simulación CAE según hipótesis 1 | 68 |
| 7.8 Simulación CAE según hipótesis 2 | 72 |
| 7.9 Simulación CAE según hipótesis 3 | 75 |
| 7.10 Conclusión de los resultados obtenidos | 78 |
| 7.10.1 Estudio analítico manual | 78 |
| 7.10.2 Estudio CAE | 79 |
| 7.10.3 Conclusión del estudio | 81 |
| 8. COSTES TOTALES Y HORAS DE TRABAJO | 82 |
| CONCLUSIONES | 84 |
| LÍNEAS FUTURAS | 85 |
| AGRADECIMIENTOS | 86 |
| BIBLIOGRAFIA | 87 |

SUMARIO DE IMAGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1: Vehículo Suzuki Samurai SJ413 | 8 |
| Imagen 2: Evolución del Suzuki Samurai | 11 |
| Imagen 3: Primeras imágenes de la adquisición del vehículo. Año 2014 | 12 |
| Imagen 4: Clases de vehículos – Categoría M | 17 |
| Imagen 5: Clases de vehículos – Categoría N | 17 |
| Imagen 6: Clases de vehículos – Categoría O | 18 |
| Imagen 7: Ejemplo manual reformas | 19 |
| Imagen 8: Legislaciones a aplicar | 20 |
| Imagen 9: Sistema de suspensión | 29 |
| Imagen 10: Saneado de chapa y pintura | 30 |
| Imagen 11: Interior del vehículo | 31 |
| Imagen 12: Diferencial con el bloqueo ARB montado | 32 |
| Imagen 13: Kit reductora 6.50;1 | 33 |
| Imagen 14: Rejilla delantera | 34 |
| Imagen 15: Asientos y barra led delantera | 35 |
| Imagen 16: Cabrestante delantero | 36 |
| Imagen 17: Estructura barras delanteras | 37 |
| Imagen 18: Cambio de matrícula | 38 |
| Imagen 19: Neumático y llanta | 40 |
| Imagen 20: Aletin y separación de rueda | 41 |
| Imagen 21: Vehículo apoyando barras y a punto de vuelco. Año 2017 | 43 |
| Imagen 22: Croquis inicial | 44 |
| Imagen 23: Tabla dimensiones tubo cilíndrico | 45 |
| Imagen 24: Tabla dimensiones tubo rectangular | 45 |
| Imagen 25: Tabla dimensiones chapa | 45 |
| Imagen 26: Tabla tornillería | 45 |
| Imagen 27: Diseño en NX12 | 47 |
| Imagen 28: Diseño del vehículo modificado en SolidWorks | 47 |
| Imagen 29: Diseño en SolidWorks | 48 |
| Imagen 30: Maquina dobladora e imagen del proceso | 49 |
| Imagen 31: Soldadura de mediante hilo continuo | 50 |
| Imagen 32: Encajes “boca de pez” | 51 |
| Imagen 33: Arco central delantero | 52 |
| Imagen 34: Estructura barras central en proceso de soldadura | 52 |
| Imagen 35: Estructura barras completa | 54 |

| | |
|---|----|
| Imagen 36: Refuerzos laterales | 55 |
| Imagen 37: Estructura de barras soldada y pulida | 55 |
| Imagen 38: Estructura de barras pintada y montada | 56 |
| Imagen 39: Esquema de la estructura e hipótesis | 57 |
| Imagen 40: Tabla dimensiones vehículo antes y después de la reforma | 58 |
| Imagen 41: Tabla cálculo de masas y pesos | 59 |
| Imagen 42: Material y características SolidWorks | 68 |
| Imagen 43: Ejemplo hipótesis 1 | 68 |
| Imagen 44: Hipótesis 1 – fuerza y punto de aplicación | 69 |
| Imagen 45: Hipótesis 1 – Análisis de tensiones | 70 |
| Imagen 46: Hipótesis 1 – Análisis de deformaciones | 71 |
| Imagen 47: Ejemplo hipótesis 2 | 72 |
| Imagen 48: Hipótesis 2 – fuerza y punto de aplicación | 73 |
| Imagen 49: Hipótesis 2 – Análisis de tensiones | 73 |
| Imagen 50: Hipótesis 2 – Análisis de deformaciones | 74 |
| Imagen 51: Ejemplo hipótesis 3 | 75 |
| Imagen 52: Hipótesis 3 – fuerza y punto de aplicación | 76 |
| Imagen 53: Hipótesis 3 – Análisis de tensiones | 77 |
| Imagen 54: Hipótesis 3 – Análisis de deformaciones | 78 |
| Imagen 55: Tabla de costes | 83 |

GLOSSARIO DE SIGNOS, SIMBOLOS, ABREVIATURAS, ACRONIMOS Y TERMINOS

BOE – Boletín oficial del estado.

C.E.E. – Comisión económica europea.

4x4 – Siglas de vehículo de cuatro ruedas con tracción en todas ellas.

UE – Unión Europea.

ITV – Inspección técnica obligatoria de vehículos.

FIA – Federación Internacional del Automovilismo

AR – Acto reglamentario.

CAE – Computer aided engineering – Ingeniería asistida por ordenador

Off-road – Circulación de un vehículo fuera de carretera.

Restyling – Renovar el aspecto de un vehículo, conservando su forma.

Carrocería Auto portante – parte del vehículo donde reposan los ocupantes y además sujeta elementos mecánicos.

Ancho de vía – longitud total del vehículo de un extremo de neumático hasta el otro.

Semi-baquets – Asiento reclinable deportivo.

Cabrestante – Elemento de remolque, a través de un motor para la extensión o recogida del cable.

Eslinga – Cuerda de alta resistencia utilizada para el remolque de vehículos.

Gemelas – Pletina de hierro con dos agujeros para unir la ballesta de un vehículo con el chasis y carrocería.

Cardán – Eje transmisor de potencia del motor a los ejes motrices.

Emisora – Elemento de comunicación de bajo radio de distancia conectado a frecuencias de radio.

Reductora – Elemento de un vehículo tracción a las 4 ruedas, donde las marchas son cortas y aumenta la fuerza de tracción.

Chasis – Estructura del vehículo.

Aletines – Extensión del lateral de un vehículo que cubre la rueda.

Boca de pez – corte a tubo redondo para su correcto ajuste con una sección cilíndrica.

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo se basa en cómo realizar ciertas modificaciones a un vehículo todo terreno para la práctica de “Off Road” y Trial 4x4, siempre cumpliendo la legalidad y la normativa vigente para la circulación por la vía pública con la finalidad principal de homologar el vehículo. Para ello, se realizarán modificaciones a elementos de carrocería, de suspensión, amortiguación, de seguridad pasiva y a elementos de tracción.

Todas estas modificaciones se realizan para mejorar un vehículo todo terreno respecto a sus características originales, que en este caso se aplicaran sobre un vehículo de la marca Suzuki, modelo Samurai SJ413 del año 1988.

El objetivo de tratar con este vehículo se basa primordialmente en que los vehículos actuales no son aptos para la realización de este tipo de deporte, dadas sus características más enfocadas a la seguridad y comodidad de los pasajeros.



Imagen 1: *Vehículo Suzuki Samurai SJ413.*

Actualmente la normativa es muy estricta en este ámbito, por lo que todas las modificaciones deben estar regladas y cumpliendo la legislación. Teniendo en cuenta que todas las modificaciones que se llevaran a cabo deben estar dentro de esta legalidad, se deberán homologar y certificar para que el vehículo pueda circular por la vía pública de forma segura.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Félez Ortiz

Aún y así algunas de las modificaciones a efectuar y detallar al largo del proyecto no podrán ser homologadas según la legislación vigente, por lo que estos componentes únicamente se destinarán a pruebas de competición o exhibición en circuitos cerrados y preparados para ello.

El mundo del todo terreno, también generalizado como el mundo del 4x4, día a día se está haciendo más grande, ello es gracias a los numerosos eventos que se realizan y las sensaciones que esta afición transmite. El interés principal surgió al ver lo que realmente estaban capacitados de hacer estos coches en diferentes terrenos y la afición por la mecánica.

Se adquirió el vehículo Suzuki Samurai SJ413 antes mencionado totalmente de serie, y se han ido modificando diferentes elementos del vehículo para mejorar su capacidad en superar obstáculos y tener una mejor adaptación en caminos de montaña.

Gracias a la afición por el todo terreno, los estudios de grado realizados y el trabajo que llevo unos años empelando en una empresa de peritación e ingeniería, se ha considerado interesante realizar un proyecto relacionando los tres ámbitos.

Con la aplicación de los estudios de ingeniería mecánica a dicho proyecto, mi experiencia laboral en el ámbito comercial y de homologaciones se verá provechosamente enriquecida. Además, el estudio de éste vehículo en concreto me facilitará su posterior homologación.

1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es realizar una modificación de un vehículo todo terreno para mejorar sus prestaciones en la realización de pruebas Off-Road y exhibición y posteriormente ser homologado.

Además se realizara el cálculo planteado por 3 hipótesis planteadas de las tensiones y deformaciones sufridas por el vehículo en el caso de que se aplique una fuera de 3,5 veces el peso máximo autorizado del vehículo, en este caso las deformaciones sufridas por la estructura no pueden ser superiores a 100mm, según normativa e indicaciones de la FIA .

1.1- Problemática de los vehículos todo terreno del siglo XXI

En el mundo actual se prioriza la comodidad del usuario de los vehículos, no obstante, en este caso el punto principal y el que se trata de conseguir al realizar las modificaciones que se trataran más adelante, es adaptarlo y rehabilitarlo con la tecnología de hoy en día en función a las necesidades y utilización a la que se va a dedicar al vehículo.

Los coches que a fecha de hoy se comercializan en el mercado, por su demanda, están esencialmente destinados a su circulación por vías urbanas e interurbanas, no obstante, en muy pocos casos se contempla su utilización en caminos o vías no asfaltadas.

El todoterreno que se va a analizar y modificar es un claro ejemplo, dado que el mismo modelo ha tenido actualizaciones notables, no perdiendo la esencia estética del modelo en cuestión, pero variando tanto su mecánica como la comodidad y confort de conducción para los usuarios. En consecuencia, se han penalizando sus fuertes características en el ámbito y circulación por montaña.

Para ello, en el siguiente apartado se hará un breve repaso de la historia de este vehículo, evidenciando las modificaciones que han sufrido este tipo de automóviles según la demanda del mercado.

1.2- Historia del Suzuki Samurai

La marca Suzuki a principios del 1970 lanzó al mercado el primer Suzuki Todoterreno, el LJ10, de dos cilindros con 25 Cv de potencia.

Su fin era el de conseguir llevar al mercado un pequeño coche tracción a las cuatro ruedas que pudiera desenvolverse y circular por vías urbanas y fuera del asfalto. En esa época existían coches 4x4 capaces de realizar las mismas funciones, pero mucho más caros, pesados y voluminosos.



Imagen 2: *Evolución del Suzuki Samurai.*
(Lj10 – Sj – Jimny)

Posteriormente, a principios de la década de los 80 apareció su sucesor, el Suzuki Samurai, estando en el mercado internacional 17 años hasta el 1998. Concretamente en España había una de las fábricas de Suzuki situada en Linares (Jaén). Desde 1985 hasta 2003 se fabricaron alrededor de 215.803 unidades del modelo Samurai de las diferentes variantes que existen como el SJ410, SJ413, incluso el último modelo de Suzuki Samurai que montaba un motor de inyección mono punto, sustituyendo los antiguos de carburación. Mundialmente se vendieron aproximadamente 1,69 millones de este modelo. Dada la gran cantidad de vehículos comercializados, hoy en día aun existe gran cantidad en el mercado de ocasión y a precios relativamente asequibles.

En el año 1998 apareció el “restyling” del Samurai, el Suzuki Jimny, un vehículo mucho más actualizado, muy polivalente en asfalto y un poco menos en vías no asfaltadas contando ya con las comodidades del nuevo siglo, dirección asistida, radio-cd, motor inyección... Fue un vehículo muy demandado en su época, habiéndose vendido en total hasta 2,85 millones de unidades en todo el mundo.

Finalmente, a día de hoy, en 2018 Suzuki lanza al mercado el renovado Suzuki Jimny, mucho más polivalente, pero aun manteniendo la estética y esencia de esos antiguos modelos. Por ello y por la popularidad que tuvo en su momento el Suzuki Samurai SJ, se sigue hablando de los Suzuki Jimny como si fueran el renovado del Samurai.

No obstante, este vehículo no ha tenido tanto impacto en el mercado, ya que sus características mecánicas siguen siendo limitadas tanto en vías asfálticas como en no asfaltadas, e incluso se han barajado opciones desde la marca de dejar de comercializar este modelo en Europa por las restricciones que plantean las nuevas normativas de polución y contaminación.

1.3- Adquisición y compra del vehículo

El vehículo en cuestión sobre el que se realiza el proyecto y la reforma fue adquirido en el año 2014 por un importe de 1.900 Euros, con el propósito de utilizarse para realizar excursiones al campo y la realización de pruebas de trial 4x4, ya sean o no de carácter competitivo o de exhibición.

Paralelamente, tras su adquisición surgió el propósito de realizar este proyecto, por lo que se debería tener en cuenta todo el proceso de homologación, materiales según normativa y el cumplimiento de todos los elementos modificados adaptándose a ésta.

Por el estado en que se encontraba el vehículo (completamente de origen y con algún que otro desperfecto a reparar) se propuso empezar a restaurar por los elementos de carrocería y de motor para su correcto funcionamiento.



Imagen 3: *Primeras imágenes de la adquisición del vehículo. Año 2014.*

Posteriormente se vieron las limitaciones que el vehículo de origen planteaba con los fines a los que quería dedicarse, por lo que se optó por realizar las modificaciones que se detallaran al largo del presente proyecto.

1.4- Motivación del proyecto

Por todo lo expuesto en el apartado anterior, la principal motivación junto a la afición por el mundo del todoterreno y el 4x4 se decide adquirir el vehículo Suzuki Samurai del año 1988, tras varias pruebas y kilómetros recorridos se detectan carencias en la realización de pruebas “off Road”.

El principal objetivo se centra en mejorar su rendimiento y características, para conseguir un mejor resultado en la superación de obstáculos y su circulación por caminos y traileras. Se plantea la motivación de realizar varias reformas de importancia y equipar el vehículo con materiales y tecnologías más actualizadas que las originales del mismo, mejorando lo mencionado además de ganar en confort y seguridad.

Además, dado que es un vehículo con más de 30 años de antigüedad se aprovecha para realizar trabajos de mantenimiento y reparación, actualizando tanto la estética como la parte motriz del mismo e incluyendo elementos de seguridad pasiva.

A consecuencia de las modificaciones implementadas, nos surge el problema de que éstas deben de ser homologadas, por lo que aprovechando el grado universitario que se esta cursando junto a la homologación del vehículo, se nos plante la motivación como objetivo final la homologación de éste.

1.5- Introducción a los temas desarrollados en el proyecto

Inicialmente se recogerá toda la normativa que se ve implicada en las modificaciones que se realizaran al vehículo en cuestión para así, no tener problema alguno en el momento de la homologación.

Directamente relacionado con la normativa, se introducen los elementos a modificar, desglosándolos en 3 grandes apartados; según si estos no tienen necesidad de homologar, si no pueden homologarse, es decir, que únicamente podrán ser utilizados para competiciones y/o circuitos cerrados, y finalmente las modificaciones que podrán ser homologadas siempre y cuando se cumpla con dicha normativa y legislaciones vigentes.

Tanto el proyecto como su aplicación a los múltiples campos de la ingeniería se han tenido que delimitar y acotar a lo que se ha considerado más importante. Por lo que uno de los aspectos y modificaciones más grandes a considerar y trabajados en el presente proyecto será el montaje de un arco de protección antivuelco exterior realizado artesanalmente.

A raíz del arco o jaula antivuelco exterior se nos plantean diferentes cuestiones, una de ellas y la primordial es como debemos construir la estructura para que pueda ser homologada, resista a los impactos a los que será sometida y que materiales deberemos utilizar. Para ello se decide realizar un estudio completo simulando 3 posibles situaciones de riesgo en caso de vuelco, realizando un estudio de fuerzas, su diseño mediante herramientas de dibujo informático y el estudio CAE del mismo.

Cabe destacar que el análisis manual que se realizará es un cálculo teórico reducido y aproximado, dado que la estructura cuenta con numerosas tensiones y coordenadas que manualmente sería muy abstracto de calcular, por lo cual se aprovechan las técnicas de dibujo informático para realizar su análisis exhaustivo.

Finalmente se realizará un recuento de las horas invertidas aproximadamente en el proyecto, la modificación del vehículo y de los costes que se han tenido que asumir en los trabajos realizados.

1.6- Motivación por las barras antivuelco exteriores

Uno de los peligros existentes en el mundo del 4x4 es el vuelco accidental del vehículo en la superación de obstáculos o posibles accidentes. Tanto para la protección de los ocupantes del vehículo, así como la protección de los elementos de chapa exteriores, se decide montar las barras antivuelco, realizando una estructura completa desde la parte delantera del vehículo hasta la parte trasera.

Una de las grandes problemáticas encontradas es que dicha estructura según la normativa vigente no puede sobrepasar en su parte delantera la luna parabrisas. Por ello, se decide realizar una estructura en la parte delantera que sea desmontable y ésta pueda montarse para ser utilizada únicamente en exhibiciones y competiciones off-road, ya que en estos casos son los que más peligro existe de dañar la estructura del vehículo o sufrir daños los ocupantes del mismo.

1.7- Datos y características técnicas del vehículo original

Marca: Suzuki - Santana

Modelo: SJ

Variante: 413 SAMURAI J

Denominación Comercial: J

N.º de bastidor: VSE0SJ3C00061731

Matrícula: B-4248KF

Fecha de Fabricación: 17 de junio del 1988

Altura total: 1.665 m

Anchura total: 1.530 m

Longitud total: 3.440 m

Tara: 930 kg

Peso máximo autorizado: 1.340 kg

N.º asientos: 4 o 2 asientos

Dimensión neumáticos: 4 x 205/70 R15

Tipo de Motor: G13A

N.º Cilindros/Cilindrada: 4 Cilindros / 1.324 cc

Potencia fiscal (kw/Cv): 47 kw / 63,92 Cv

N.º Marchas: 5 Marchas + marcha atrás.

Tipo de suspensión: Suspensión de eje rígido

Tipo de dirección: Dirección manual

Carrocería: Autoportante descapotable

2. HOMOLOGACIÓN DE UN VEHICULO

En 1886, Carl Benz inventó el primer automóvil, entendido como un vehículo de propulsión mecánica con motor de combustión, destinado únicamente al transporte de personas. No obstante, este medio de transporte ha ido evolucionando hasta abarcar un gran abanico de rendimientos, como desde el transporte de mercancías hasta el uso por disfrute e exhibición.

Al mismo tiempo, toda la historia de la legislación y normativas pertinentes a los automóviles ha progresado al mismo ritmo que su evolución, por lo que se le dará la conveniente importancia a cómo el mundo del automovilismo ha tenido que adaptarse a estas normativas. En este caso, la homologación ha sido una de las herramientas principales para aplicar todas y cada una de las normas automovilísticas, aplicándose tanto antes como después del proceso de fabricación y venta del vehículo, además de sus periódicas revisiones.

2.1- Que es una homologación.

La homologación es el certificado que debe tener todo vehículo que acredite el cumplimiento de cada una de las piezas montadas, ya sea por la fábrica de producción o por el usuario, con las legislaciones vigentes. En el caso de los vehículos españoles, deben cumplir la legislación regulada por la UE.

2.2- Quién realiza las homologaciones.

En el caso de los vehículos nuevos, cada marca tiene un departamento especializado en las homologaciones de todos los componentes para su posterior aceptación en los centros de homologación autorizados. En este caso, IDIADA es uno de los centros más importantes de Catalunya donde se realizan este tipo de homologaciones. Sin embargo, todos aquellos usuarios que quieran realizar modificaciones al estado original de sus vehículos, deberán registrarlo en la ficha técnica, dónde constatan todos los datos y características del automóvil.

Para ello, un ingeniero especializado en homologaciones deberá introducir los datos del producto y estudiar el proceso de modificación, además de pasar por la aprobación de un laboratorio técnico, el certificado del taller que realiza la modificación y la posterior supervisión en las estaciones de ITV.

2.3- Tipos de vehículos y su clasificación.

- Categoría M: Todos aquellos vehículos a motor destinados al transporte de personas con mínimo 3 o 4 ruedas y peso superior a 1 tonelada.
 - o **M1**: Máximo de 9 plazas sentadas. – *El vehículo y objeto de proyecto estaría dentro de esta categoría.*
 - o M2: Más de 9 plazas sentadas con un máximo de 5 toneladas.
 - o M3: Más de 9 plazas con un peso superior a 5 toneladas.

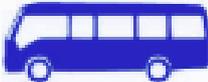
| | |
|----------------|--|
| M ₁ |  |
| M ₂ |  |
| M ₃ |  |

Imagen 4: Clases de vehículos – Categoría M.

- Categoría N: Todos aquellos vehículos a motor destinados al transporte de mercancías con mínimo 3 o 4 ruedas y peso superior a 1 tonelada.
 - o N1: Peso máximo 3.5 toneladas.
 - o N2: Peso de 3.5 a 12 toneladas.
 - o N3: Peso superior a 12 toneladas.

| | |
|----------------|---|
| N ₁ |  |
| N ₂ |  |
| N ₃ |  |

Imagen 5: Clases de vehículos – Categoría N.

- Categoría O: Remolques y semi – remolques.
 - o O1: Peso inferior a 0.75 toneladas
 - o O2: Peso de 0.75 a 3.5 toneladas.
 - o O3: Peso de 3.5 a 10 toneladas.
 - o O4: Peso superior a 10 toneladas.

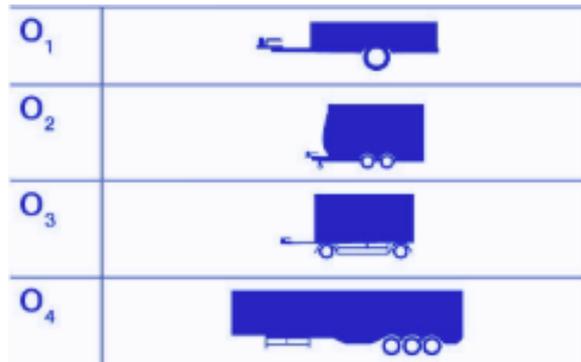


Imagen 6: Clases de vehículos – Categoría O.

2.4- Normativa y órgano legislador.

Toda modificación o elemento de un vehículo ha debido ser construido según una normativa y unas leyes, cambiantes constantemente y adaptándose al momento y a las circunstancias que el órgano legislador cree convenientes.

En España, el principal órgano legislador que se encarga de la realización de las vigentes leyes respecto a las homologaciones de vehículos proviene del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Toda esta normativa queda registrada y recopilada en documentos publicados en el BOE. En el caso que nos ocupa, la principal e indispensable normativa a cumplir sería, el Real Decreto 2028/1986, donde se encontrarán las directivas principales de la C.E.E., el Real Decreto 750/2010, donde se sitúan los procedimientos de homologación y finalmente el Real Decreto 866/2010, el cual dicta el procedimiento de tramitación de una homologación.

Existen muchas otras normativas, pero básicamente estas tres son las principales a seguir, junto al manual de reformas. Posteriormente se hablará de normativas mucho más específicas para el caso que nos ocupa.

3. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN EN BASE A LAS MODIFICACIONES HOMOLOGABLES.

En este apartado se describirán las bases de las normativas a aplicar para realizar la homologación de las modificaciones.

La actual normativa está regida principalmente por el Real Decreto 750/2010, donde se recopilan todos los procedimientos de homologación y por el Real Decreto 2028/1986, donde se recogen las principales directivas marcadas por la C.E.E., teniendo en cuenta todas sus actualizaciones y anexos existentes. Toda esta documentación se puede encontrar en el BOE.

Paralelamente, se ha consultado el manual de reformas de marzo de 2018 (revisión 4) donde se indican implícitamente todas las normativas a seguir, y que en cada caso se deberán consultar para proceder con las modificaciones, según la presente ley.

En él se indica por secciones los diferentes ámbitos que se pueden modificar, dentro de cada categoría de vehículo según el apartado de campo de aplicación y por apartados cada una de las modificaciones. También se indica cada uno de los actos reglamentarios que se deben tener en cuenta (es decir de la normativa a aplicar) y toda la documentación a presentar para realizar la homologación.

| MANUAL DE REFORMAS DE VEHÍCULOS | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| I.- VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS M, N y O | | | | | | | | | | |
| Grupo Nº 1. Identificación | | | | | | | | | | |
| (1.2) | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN: Modificaciones que afecten a la identificación del vehículo | | | | | | | | | | |
| 1.2.- Retroquelado por ausencia, deterioro, desaparición, o modificación | | | | | | | | | | |
| CAMPO DE APLICACIÓN | | | | | | | | | | |
| Categorías : | | | | | | | | | | |
| M ₁ | M ₂ | M ₃ | N ₁ | N ₂ | N ₃ | O ₁ | O ₂ | O ₃ | O ₄ | |
| SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | |
| ACTOS REGLAMENTARIOS | | | | | | | | | | |
| Sistema afectado | Referencia | Aplicable a: | | | | | | | | |
| | | M ₁ | M ₂ | M ₃ | N ₁ | N ₂ | N ₃ | O ₁ | O ₂ | O ₃ |
| Placas e inscripciones reglamentarias | 76/114/CEE | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) |
| Ver Apartado 4 del preámbulo. | | | | | | | | | | |
| DOCUMENTACIÓN NECESARIA | | | | | | | | | | |
| Proyecto Técnico | Certificación final de obra | Informe de Conformidad | Certificado del Taller | Documentación adicional | | | | | | |
| NO | NO | NO | SI (*) | SI | | | | | | |

Imagen 7: Ejemplo manual reformas.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno
 Enrique J. Félez Ortiz

Para el presente proyecto, teniendo en cuenta todas las modificaciones respecto el manual de reformas, se confecciona una tabla donde se recoge el listado de normativas a seguir en base a las reformas aplicadas.

LEGISLACIONES A TENER EN CUENTA PARA LAS MODIFICACIONES A REALIZAR

| Nº GRUPO | SUBGRUPO | TITULO | SISTEMA AFECTADO (AR) | REFERENCIA NORMATIVA | PROYECTO TECNICO | CERTIFICACIÓN FINAL DE OBRA | INFORME DE CONFORMIDAD | CERTIFICADO DE TALLER | DOCUMENTACIÓN ADICIONAL |
|----------------------------|-------------|--|---|----------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1. IDENTIFICACIÓN | 1.3 | Cambio de emplazamiento de la placa de matrícula | Emplazamiento de la placa de matrícula posterior | 70/222/CEE | NO | NO | SI | NO | NO |
| | | | Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa | 76/756/CEE | | | | | |
| 2. UNIDAD MOTRIZ | 2.6 | Modificación o sustitución de las características del sistema de escape: disposición, volumen total, silenciadores, catalizador, tramo de salida | Nivel sonoro admisible | 70/157/CEE | NO | NO | SI | SI | NO |
| | | | Emissiones | 70/220/CEE | | | | | |
| 3. EJES Y RUEDAS | 4.4 | Modificaciones o sustituciones en ruedas o instalación/desinstalación de separadores de ruedas que impliquen modificación del ancho de vía | Mecanismos de dirección | 70/311/CEE | SI | SI | SI | SI | NO |
| | | | Guardabarros | 78/549/CEE | | | | | |
| | | | Masas y dimensiones (automóviles) | 92/21/CEE | | | | | |
| | | | Neumáticos | 92/23/CEE | | | | | |
| | 4.5 | Sustitución de neumáticos por otros no equivalentes | Velocímetro y marcha atrás | 5443/CEE | NO | NO | SI | SI | NO |
| | | | Frenado | 71/320/CEE | | | | | |
| | | | Protección de los peatones | 2003/102/CE | | | | | |
| | | Sistemas de protección delantera | 2005/66/CE | | | | | | |
| 4. CARROCERIA EXTERIOR | 8.52 | Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo | Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo | 70/221/CEE | SI | SI | SI | SI | SI |
| | | | Guardabarros | 78/549/CEE | | | | | |
| | | | Colisión lateral | 96/27/CE | | | | | |
| | | | Masas y dimensiones (automóviles) | 92/21/CEE | | | | | |
| | | | Salientes exteriores | 74/483/CEE | | | | | |
| Protección de los peatones | 2003/102/CE | | | | | | | | |

Imagen 8: Legislaciones a aplicar.

Tal y como se observa en la tabla anterior, en alguno de los casos es necesario aportar documentación adicional, que corresponde a:

- Proyecto técnico: conjunto de todo los documentos, normativa, cálculos y planos realizados, en forma de informe, para su posterior revisión por las entidades pertinentes para poder proceder a su homologación.
- Certificación final de obra: informe realizado por el propio ingeniero que confecciona el proyecto técnico, certificando tanto el proyecto como la homologación.
- Informe de conformidad: informe realizado por un laboratorio especializado en la revisión de cada uno de los elementos montados y corroborando que se corresponden al declarado en el proyecto técnico. En casos que no sea de necesidad aportar un proyecto técnico este informe de conformidad será emitido primordialmente por un ingeniero, corroborando que la modificación cumple con la normativa y especificaciones técnicas.

- Certificado de taller: documento acreditativo de que cada una de las modificaciones realizadas han sido realizadas o verificadas por un taller homologado.
- Documentación adicional: en el caso que nos ocupa, esta documentación adicional se refiere a los planos de la estructura de barras.

En los siguientes apartados se describirá por cada modificación cada una de las normativas a aplicar y si es de necesidad la presentación de la documentación adicional.

4. PLIEGO DE CONDICIONES

En el siguiente apartado se desglosarán y redactarán todas y cada una de las normativas a aplicar, según sus condiciones. Aún y así, se expondrán únicamente las restricciones que se aplican en los casos de los elementos homologables.

4.1 – Cambio de emplazamiento de la placa de matrícula trasera:

El cambio de emplazamiento de matrícula viene determinado por el grupo nº1 de Identificación. En el subgrupo 1.3 Cambio de emplazamiento de la placa matricula se describen los dos AR que afectarían.

4.1.1 Emplazamiento de la placa matrícula posterior, regulada por la normativa 70/222/CEE indica:

- 4.1.1.1 Debe estar en una superficie completamente plana y colocada sobre la superficie.
- 4.1.1.2 Debe de ser rectangular
- 4.1.1.3 Dimensión mínima de 340 mm de longitud y 240 mm de altura.
- 4.1.1.4 Placa situada en la parte izquierda y perpendicular al plano longitudinal.
- 4.1.1.5 Debe de estar a una distancia mínima de mínimo 0.3 m del suelo respecto a su borde inferior y como máximo a 1.2 m del suelo respecto el borde superior.
- 4.1.1.6 La placa debe tener una buena visibilidad.

4.1.2 Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa, regulada por la normativa 76/756/CEE.

- 4.1.2.1 Debe iluminar completamente la placa de matrícula, pudiéndose leer claramente en la oscuridad.
- 4.1.2.2 La iluminación de la lámpara debe de estar situada en el punto medio de la placa matrícula.
- 4.1.2.3 Se debe situar en la parte superior de la placa, iluminando de arriba a abajo y lo más cercana posible a ésta.
- 4.1.2.4 Debe de encenderse siempre que se utilicen las luces de posición o cruce del vehículo.

No es de necesidad la presentación de proyecto técnico, ni de certificado de final de obra, ni de taller. No obstante, se debe aportar el informe de conformidad por parte del ingeniero.

4.2 – Sistema de escape de gases:

Los cambios en el sistema de escape de gases de un vehículo vienen determinados por el grupo nº2 de Unidad motriz. En el subgrupo 2.6 Modificación o sustitución de las características del sistema de escape: disposición, volumen total, silenciadores, catalizador, tramo de salida. Se describen los dos AR que afectarían:

- 4.2.1 Nivel sonoro admisible, regulado por la normativa 70/157/CEE.
 - 4.2.1.1 El nivel sonoro, medido mediante medidores estandarizados y homologados no debe superar el los 82 dB en vehículos destinados al transporte de menos de nueve personas incluido el conductor.
 - 4.2.1.2 Las mediciones se realizarán con el vehículo en vacío, en una zona despejada y suficientemente silenciosa, con rachas de viento inferiores a los 10 dB.
 - 4.2.1.3 Se deberán realizar las pruebas con la tercera marcha y a una velocidad máxima de 50km/h.
 - 4.2.1.4 Los materiales interiores del silencioso deberán ser de fibra y resistan una temperatura superior en 20% a la temperatura normal de funcionamiento del vehículo (normalmente de 100°C).
- 4.2.2 Emisiones, reguladas por la normativa 70/220/CEE, esta normativa fue modificada en 1987 por la 88/76/CEE. No obstante, debe de tenerse en cuenta cada una de las ampliaciones y anexos que se han ido aplicando hasta el año actual.

- 4.2.2.1 El monóxido de carbono emitido debe de ser inferior a 30 gramos por prueba.
- 4.2.2.2 La mezcla de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno debe ser inferior a 8 gramos por prueba.
- 4.2.2.3 Todo ello será sometido a pruebas en la estación de ITV para determinar que cumple con los baremos establecidos, en función de la masa del vehículo, el combustible utilizado y la cilindrada de éste.
- 4.2.2.4 En caso de sustitución del silenciador, únicamente deberá corresponder y estar legalizado y homologado.

Al sustituir únicamente el silencioso posterior y mantener todo el sistema de escape, no debe realizarse ningún cálculo justificativo, ni someterse a pruebas por laboratorio técnico.

Consecuentemente no es de necesidad la realización de informe técnico para esta modificación ni certificado de obra. No obstante, se debe aportar el informe de conformidad (conforme está homologado por la UE) y el certificado de taller.

4.3 – Neumáticos:

El remplazo de los neumáticos viene determinado por el grupo nº3 de Ejes y ruedas. Principalmente en el subgrupo 4.5 Sustitución de neumáticos por otros no equivalentes. Se describen en los AR:

4.3.1 Neumáticos, regulado por la normativa 92/23/CEE.

- 4.3.1.1 El ruido máximo que pueden realizar por carretera es de 75 dB para anchos superiores de 215 mm.
- 4.3.1.2 Se deben instalar 4 neumáticos de la misma tipología y gama.
- 4.3.1.3 Se debe corresponder el peso del vehículo con el índice de carga.

4.3.2 Velocímetro y marcha atrás, regulado por la normativa 5/443/CEE.

- 4.3.2.1 Los neumáticos deben estar homologados según la velocidad que puedan ser sometidos en concordancia con la velocidad máxima del vehículo, es decir, los neumáticos deberán soportar una velocidad máxima superior a la del vehículo.

4.3.3 Frenado, regulado por la normativa 71/320/CEE.

4.3.3.1 De forma análoga a la anterior, los neumáticos en función de su velocidad y su sistema de frenado deberán cumplir con la normativa estipulada en función de su grado de adherencia.

4.3.4 Protección de peatones, regulado por la normativa 2003/102/CE.

4.3.4.1 Al modificarse la medida de los neumáticos influye en la altura del vehículo por lo que debe cumplir con las especificaciones de seguridad, siempre con los neumáticos inflados a la presión marcada por su fabricante y con el vehículo en vacío.

4.3.4.2 En caso de no disponerse de las medidas de seguridad del fabricante, existen varios diagramas e imágenes que especifican los ángulos de seguridad que debe tener el vehículo en cada caso.

4.3.4.3 La línea de referencia superior del paragolpes debe de estar aproximadamente a unos 70 cm del suelo con un ángulo de 25°.

4.3.5 Sistemas de protección delantera, regulado por la normativa 2005/66/CE.

4.3.5.1 De misma manera debe de corresponder la medida de 70 cm respecto del suelo con un ángulo de 25°.

4.3.5.2 El capo debe de formar un ángulo de 50° como mínimo y estar a una altura de 1 metro como máximo.

Se debe destacar que también se deben de tener en cuenta los AR mencionados en el siguiente apartado ya que de forma indirecta pueden influir.

No es de necesidad la presentación de proyecto técnico, ni de certificado de final de obra. No obstante, se debe aportar el informe de conformidad por parte del ingeniero y certificado de taller.

4.4 – Separadores de rueda y llantas:

Aunque en apartado siguiente (“Proceso de modificación”) se describen de manera separada, para toda la normativa se debe tener en cuenta de manera conjunta, ya que afecta a las mismas normativas. Por lo que el remplazo tanto de separadores como de llantas viene determinado por el grupo nº3 Ejes y ruedas, en el subgrupo 4.4 Modificación o sustituciones en ruedas o instalación/desinstalación de separadores de ruedas que impliquen modificación del ancho de vía. Se describen en los AR:

4.4.1 Mecanismos de dirección, regulada por la normativa 70/311/CEE.

- 4.4.1.1 La modificación debe cumplir que se pueda realizar una conducción fácil y segura hasta alcanzar la velocidad máxima de fabricación.
- 4.4.1.2 La dirección tendrá tendencia a volver a su centro de eje.
- 4.4.1.3 El vehículo deberá poder circular en línea recta sin que el conductor deba corregir excesivamente su posición.
- 4.4.1.4 La dirección no debe vibrar excesivamente, incluso circulando a la velocidad máxima según su fabricación.
- 4.4.1.5 Las ruedas estarán sincronizadas en todo momento con la dirección.

4.4.2 Guardabarros, regulado por la normativa 78/549/CEE.

- 4.4.2.1 Con el vehículo en parado y las ruedas rectas, los guardabarros deberán cubrir completamente las ruedas.

4.4.3 Masas y dimensiones, regulado por 92/21/CEE.

- 4.4.3.1 Las dimensiones máximas autorizadas son de 12 m de longitud, 2,5 m de anchura y 4 m de altura.
- 4.4.3.2 La masa máxima admisible no deberá ser inferior a la masa de carga normal.

Cabe a destacar, de la misma manera que en el apartado anterior, que alguno de los AR descritos deben tenerse en cuenta también en este apartado ya que podrían influir de forma indirecta.

Es de obligado cumplimiento la presentación de proyecto técnico, de certificado de final de obra, de taller y aportar el informe de conformidad por parte del ingeniero para poder llevar a cabo la homologación.

4.5 – Aletines:

En este caso únicamente nos afectaría la normativa de guardabarros 78/549/CEE viniendo determinado por el grupo nº 4 de Carrocería exterior, en el subgrupo 8.52 Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo. Descrito en el AR:

4.5.1 Guardabarros, de la ya mencionada normativa 78/549/CEE.

- 4.5.1.1 Con el vehículo en parado y las ruedas rectas, los guardabarros deberán cubrir completamente las ruedas.
- 4.5.1.2 No podrán contener salientes exteriores ni puntiagudos.
- 4.5.1.3 Estos deberán ser flexibles y estar correctamente fijados a la carrocería del vehículo.
- 4.5.1.4 No deben excederse de dureza, ya que, en caso de impacto con peatón, no causen daños mayores.

Es de necesidad la presentación de proyecto técnico, certificado de final de obra, certificado de taller e informe de conformidad. En alguno de los casos puede ser solicitada también documentación adicional.

4.6 – Barras antivuelco (Jaula central):

Las legislaciones en base al elemento montado de barras antivuelco vienen determinadas principalmente por el grupo nº4 Carrocería Exterior, en el subgrupo 2.52 Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo, y se describen en los diferentes AR:

4.6.1 Modificación, incorporación o desinstalación de elementos en el exterior del vehículo, regulado por la normativa 70/221/CEE.

- 4.6.1.1 En la parte trasera no podrá sobrepasar de 55cm de altura desde el punto mas bajo de la carrocería.

- 4.6.1.2 La barra anterior debe de estar anclada al chasis.
 - 4.6.1.3 Únicamente en su parte trasera puede haber un travesaño.
 - 4.6.1.4 Deberá montarse lo más cercano posible al vehículo.
 - 4.6.1.5 El travesaño deberá a estar a más de 55 cm del suelo.
 - 4.6.1.6 No podrá sobrepasar en anchura el eje trasero, es decir, deberá quedar entre el perfil exterior de neumático derecho al izquierdo. Ni ser inferior a este en 10cm.
 - 4.6.1.7 Las curvas no deberán contener bordes cortantes y un radio de curvatura mínimo de 2.5 cm.
 - 4.6.1.8 Deberá poder soportar fuerzas cortantes y longitudinales, una vez aplicadas no debe superar los 40 cm de distancia con la carrocería en ningún punto.
 - 4.6.1.9 La fuerza de prueba será un 12,5 % del peso total del vehículo en el centro de la barra.
 - 4.6.1.10 La fuerza de prueba será un 50% del peso total del vehículo en los extremos del travesaño.
- 4.6.2 Colisión lateral, regulado por la normativa 96/27/CEE.
- 4.6.2.1 La estructura debe poder soportar la fuerza de impacto del 50% de su peso total.
 - 4.6.2.2 En caso de deformación de las barras, se debe poder abrir las puertas del vehículo y que sus ocupantes puedan salir de el.
 - 4.6.2.3 En ningún caso la estructura podrá sobrepasar la luna delantera, únicamente el travesaño que unifique ambos laterales.
 - 4.6.2.4 Dicho travesaño deberá situarse de manera que no afecte a la apertura o cierre del capó.
- 4.6.3 Masas y dimensiones, regulado por la normativa 92/21/CEE.
- 4.6.3.1 La masa total se calcula en base al vehículo con todos los fluidos correspondientes, nivel lleno de carburante, rueda de repuesto y conductor.
 - 4.6.3.2 La estructura deberá cumplir con las dimensiones máximas de un vehículo de 12m de longitud, 2,5m de ancho y 4 m de alto.
 - 4.6.3.3 Los pasajeros se consideran de una masa media de 75kg.
 - 4.6.3.4 La estructura no deberá pesar más de lo permitido como masa máxima admisible.
 - 4.6.3.5 Con el elemento montado, la masa en el eje delantero no debe de ser inferior al 30% de la masa máxima admisible.
 - 4.6.3.6 Existe una tolerancia de +-5% respecto la masa máxima admisible.

4.6.4 Salientes exteriores, regulado por la normativa 74/483/CEE.

- 4.6.4.1 En ningún caso la estructura podrá sobrepasar los elementos de carrocería, como paragolpes, aletines...
- 4.6.4.2 La superficie exterior no deberá contener partes puntiagudas o afiladas salientes hacia el exterior.
- 4.6.4.3 La superficie exterior no deberá constar de partes que pudieran enganchar a peatones, ciclistas o motoristas en caso de accidente.
- 4.6.4.4 Todos los elementos deben tener un radio de curvatura mínimo de 2,5 mm.
- 4.6.4.5 La estructura deberá estar fijada firmemente al vehículo.
- 4.6.4.6 Deberá poder accederse de forma correcta a la apertura de puertas, tapones de depósito y portón o capó del vehículo.
- 4.6.4.7 Todos los bordes deben de estar redondeados evitando el peligro de enganche.

4.6.5 Protección de peatones, regulado por la normativa 2003/102/CE.

En el caso que nos ocupa al no modificar la parte delantera, este apartado queda limitado a la parte trasera. Donde únicamente se realizan las medidas pertinentes correspondientes a las declaradas en los anteriores puntos.

- 4.6.5.1 Todas las curvaturas se medirán teniendo en cuenta que deben cumplir con la forma redondeada pertinente.
- 4.6.5.2 Todos los elementos se comprobarán respecto a las normativas de impacto con peatones.

Se debe aportar proyecto técnico, de certificado de final de obra, de taller e informe de conformidad. Además, debe de aportarse toda aquella información y documentación adicional que facilite los planos de la estructura y sus correspondientes cálculos.

5. PROCESO DE MODIFICACIÓN

Expuesto lo anterior se procede a desglosar y explicar los diferentes elementos que se han ido modificando en el vehículo.

Se debe tener en cuenta que el fin del vehículo aparte del propio ocio y exhibición también se ha modificado para la realización de competición, por lo que varios de los elementos implementados o modificados únicamente serán utilizados para ello. No obstante, algunos de los elementos reformados no cumplirán los requisitos mínimos para su circulación por la vía pública, por lo cual no podrán ser homologados.

En los siguientes apartados se detallará explícitamente cada uno de los elementos, su función y en el caso de si puede ser homologado o no y porqué.

5.1 – Modificaciones sin necesidad de homologar:

En este apartado se describirán todos y cada uno de los elementos que se modificaran en el vehículo por los que NO será necesario realizar la homologación.

5.1.1 – Sistema de suspensión

En este caso se modifican los elementos de sujeción entre el chasis y los ejes. Dichos elementos llamados “gemelas” aumentan la altura de la carrocería. No obstante, no se aumenta más de 5cm, por lo que no es necesaria su homologación.

El proceso de fabricación fue poco costoso ya que simplemente son 8 chapas de 10mm de grosor de hierro, cortadas y agujereadas con taladro y unidas por tornillería de M10. El proceso de montaje simplemente consistía en sustituir una por las otras elevando el chasis del suelo con un gato hidráulico.



Imagen 9: Sistema de suspensión.

5.1.2 – Radio y emisora

Se monta una radio como elemento de confort utilizando altavoces originales del vehículo. También se monta emisora de radio aficionado, de baja frecuencia por la que no será necesario ningún título y son completamente legales para la comunicación en poco rango de distancia. Muy útil para ir constantemente comunicados con los vehículos que te acompañan.

5.1.3 – Luz interior

Se instala una tira de leds interior para facilitar la visión en situaciones de poca visibilidad dentro del vehículo. La instalación se realiza mediante corriente directa de la batería, pasando por un conmutador de señal y transformador (para poder activarse mediante mando a distancia) y conectado a la tira de leds.

5.1.4 – Pintura y saneado interior y exterior

Tras la adquisición del vehículo, su estado tanto de chapa exterior como interior estaba bastante degradado, por lo que se procedió a desmontar todo el interior, realizar un saneamiento completo y pintarlo con pintura plástica negra.

La chapa exterior se pintó por completo y se arreglaron algunos desperfectos de chapa y abolladuras.

Tanto la pintura interior como algunos de los desperfectos no se delegaron los trabajos a terceros, en cambio para la pintura exterior se tuvo que llevar a un centro especializado de chapa y pintura de vehículos, ya que no se disponía de las suficientes herramientas, ni infraestructura para realizar los trabajos de una manera óptima y adecuada.



Imagen 10: Saneado de chapa y pintura.

5.1.5 – Chapas cubre puertas

A modo estético se sustituyen los antiguos tapizados de las puertas, ya que se encontraban en un estado avanzado de desgaste. Estos se sustituyen por chapas estriadas de aluminio, anclándolas mediante tornillos rosca-chapa de M6 a las puertas y aislando la separación para evitar vibraciones con goma adhesiva de doble cara.



Imagen 11: *Interior del vehículo.*

5.1.6 – Instalación de bloqueo de diferencial

El bloqueo de diferencial es un elemento muy común en el mundo del todoterreno. Su función es la de una vez activado y en la realización de obstáculos, una rueda del eje queda al aire, por lo que ésta al no tener ningún elemento de fricción, empieza a girar dejando a la rueda que esta en el suelo sin fuerza para hacerlo. Se soluciona activando el bloqueo de diferencial para como su nombre indica bloquear el diferencial y hacer que ambos palieres giren a la misma velocidad y fuerza.

En el caso que nos ocupa se ha montado un bloqueo de diferencial neumático de la marca ARB. Para su montaje se debió instalar un compresor de aire, que se sitúa en el capó y posteriormente realizar toda la instalación neumática hasta la parte delantera. Ésta ha sido una de las modificaciones más costosas económicamente ya que solo el conjunto de materiales ronda los 1.200 Euros.

En cuanto a la homologación, no es necesaria ni obligatoria, ya que únicamente se utiliza en trayectos muy cortos y en la superación de obstáculos fuera de vías de tránsito o urbanas.



Imagen 12: *Diferencial con el bloqueo ARB montado.*

5.1.7 – Reductora 6,50:1

La caja de transferencia es uno de los elementos de un vehículo de tracción en las 4 ruedas. Este elemento es el encargado de recibir a través de una cardan toda la fuerza de giro que se genera en el motor y transmitirla a los diferenciales, multiplicando su fuerza. En el interior de este elemento existen un conjunto de engranajes y rodamientos que son los encargados de recibir la fuerza desde la caja de cambios, multiplicarla y transmitirla a los ejes.

La relación de estos engranajes con el kit montado de la marca *Raptor 4x4* hace variar aumentando la potencia y la fuerza y disminuyendo la velocidad del vehículo, ya sea en cualquier de sus 3 posiciones:

3.3.7.1. – Tracción trasera (uso habitual): en este caso la variación es mínima ya que no afecta a las marchas largas en tracción trasera, por lo que significará que no variará su velocidad máxima en carretera.

3.3.7.2 – Tracción 4 ruedas: en este caso la reducción es de aproximadamente un 20% según el fabricante.

3.3.7.3 – Tracción 4 ruedas con reductora: en este caso es donde más se reduce la velocidad, hasta un 186% respecto al original, pero consiguiendo más potencia y fuerza para el vehículo. Esto facilita notablemente la superación de obstáculos, ya que se pueden realizar a muy baja velocidad y sin necesidad de presionar el pedal de embrague y tener mucha fuerza para superar fuertes pendientes u obstáculos.

La reductora es una de las modificaciones más caras, rondando los 800 Euros, pero indudablemente una de las mejores modificaciones para este vehículo ya que su rendimiento en terreno “off road” mejora notablemente. A su misma vez, produce un ahorro y alarga la vida de otros elementos mecánicos como el embrague, los rodamientos, diferenciales...

No necesita homologación, ya que al únicamente reducir en consideración la tracción 4x4 con reductora, la cual se utiliza únicamente en vías sin tránsito de vehículos. No se considera una modificación de importancia para la circulación.



Imagen 13: *Kit reductora 6.50;1.*

5.1.8 – Rejilla delantera

Finalmente, la rejilla delantera se modifica por otra construida artesanalmente con malla de aluminio. Se realizan los cortes a medida de la parrilla y se utilizan los antiguos puntos de anclaje fijados en la parte frontal.

Con esta modificación, a parte de la estética, se consigue una mayor entrada de aire al radiador. De la misma manera el motor queda mucho más refrigerado, evitando un aumento de la temperatura, aún más sabiendo que este motor trabajará a un régimen alto de vueltas, a una velocidad prácticamente nula y con muy poco flujo de aire de entrada por su parte frontal.



Imagen 14: Rejilla delantera.

5.2 – Modificaciones NO Homologables

En este apartado se describirán todos y cada uno de los elementos que se modificarán en el vehículo y los que no se podrán homologar conforme a la actual legislación sobre las homologaciones en España.

5.2.1 – Asientos

Se montan asientos semi – baquets de la marca Issota modelo Daytona con el fin de mejorar la posición de conducción, tanto en altura como en comodidad y ajuste del cuerpo. Estos asientos reducen el riesgo a descuadrarse del asiento y a perder la correcta

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Félez Ortiz

posición de conducción gracias a sus aletas laterales que hacen encajar el cuerpo en ellas, aportando comodidad a la conducción en las diferentes circunstancias y características del terreno.

Pese a que son asientos reclinables, montados en bases adaptadas a la marca y modelo del vehículo, estos no están aprobados y homologados por la Unión Europea, con lo cual no tienen su certificado de aprobación. No obstante, se optó por éstos ya que el coste que suponen unos asientos homologables supera los mil euros por unidad.

5.2.2 – Sistema de alumbrado

Pese a que la mayoría de competiciones son durante el día, con luz solar, muchas de las rutas que se organizan por ocio que se organizan son combinadas entre día y noche, lo que comporta y requiere conseguir una perfecta visión del terreno.

En el caso que nos ocupa, se ha montado una barra de led de alta potencia de la marca Patrol de 34 pulgadas, una potencia de 486W y 48.600 lúmenes en la parte delantera.



Imagen 15: Asientos y barra led delantera.

En la parte trasera se monta un pequeño foco para la visión de la parte trasera, de marca Racbox de 4 pulgadas, una potencia de 48W. A modo estético se adaptan también pequeños pilotos de posición e intermitencia en la parte delantera.

De la misma manera que en el apartado anterior, todos estos elementos no pueden ser homologados ya que no cuentan con la homologación y certificación de la Unión Europea.

5.2.3 – Cabrestante o “winch”

El cabrestante o también conocido como “winch” en el mundo del todoterreno, es un elemento configurado con una cuerda, en este caso de plasma, antiguamente de cables de hierro. No obstante, debido a su resistencia, seguridad y otras cualidades, se creyó oportuno reemplazar el plasma por el hierro.

La función principal es la de poder superar obstáculos en caso de peligro por vuelco hacia atrás, de quedarse atascado y de no tener suficiente tracción o de ayuda a otro vehículo.

Su forma de uso se basa en que el motor de éste gira primeramente dejando el cable libre para fijarlo, normalmente en otro vehículo o en un árbol mediante grilletes y eslingas. Una vez fijado, se invierte el giro del motor, a través del mando de control, y se debe ir recogiendo la cuerda mientras el conductor a su misma vez controla el volante y el gas del vehículo.



Imagen 16: Cabrestante delantero.

5.2.4 – Barras antivuelco delanteras

La estructura de barras antivuelco delanteras actualmente no es homologable por ley. Básicamente éstas se describen como peligrosas para la circulación, ya que en caso de siniestro o impacto con una persona pueden ocasionar fuertes lesiones.

La estructura se realiza a posteriori de la jaula central, también de forma artesanal y únicamente será destinada para el uso en competición o exhibición. Se basa en la construcción de varias barras de metal unidas por soldaduras con codos de 90°. Su sistema de anclaje se materializa mediante tornillos DIN 933 de M14 con cabeza hexagonal y calidad 8.8 fijado por tuerca autoblocante a pletinas soldadas a la jaula central, para así conseguir un fácil montaje y desmontaje. En su parte inferior se realiza una caja fijada al chasis del vehículo donde se unirán ambos lados de la estructura.



Imagen 17: Estructura barras delanteras.

Tal y como puede apreciarse en la imagen esta caja será el alojamiento del antes mencionado cabrestante.

Se decide realizar este sistema, ya que deberá soportar un grado elevado de fuerza. Su anclaje, mediante 4 tornillos de M14, conformará una buena superficie de agarre y ayudará a reforzar esta zona. Cabe destacar que toda la estructura se ha soldado con máquina de arco voltaico y electrodos de 1,5mm.

Paralelamente, con el ángulo conseguido entre barras se consigue optimizar el ángulo de ataque del vehículo, siempre protegiendo la chapa de la carrocería y los elementos mecánicos.

5.3 - Modificaciones Homologables

En este apartado se describirán todos y cada uno de los elementos que se modificarán en el vehículo y por los que será necesario realizar la homologación ya que se modifican elementos de seguridad, de motor y anchura total.

5.3.1 – Emplazamiento de matrícula trasera

Se cambiará de emplazamiento la matrícula trasera, dado que su posición original se ve afectada al superar obstáculos, pudiendo ser doblada o fracturada al impactar con piedras o con el propio suelo.



Imagen 18: Cambio de matrícula.

Para realizar el cambio de emplazamiento de la matrícula trasera ha sido necesario modificar el sistema de alumbrado de la misma, utilizando un piloto de remolque con bombilla R10W y certificado CE.

Se ha decidido posicionar una placa de matrícula de tipo cuadrado en el portón trasero, facilitando un correcto alumbrado por el piloto utilizado. Ambos se han fijado mediante remaches en flor de diámetro de 4.5mm y se ha modificado la instalación eléctrica puenteando el cableado desde el punto de luz anterior por el interior del portón.

5.3.2 – Sistema de escape de gases

El sistema de escape original será sustituido por un escape denominado “grupo n”.

Se realiza la sustitución del sistema de escape dado que el original del vehículo se encontraba en avanzado estado de deterioro y oxidación, con fugas de humo y gases por los pequeños poros ocasionados por su estado.

Además, con esta modificación se conseguirá que el motor del vehículo funcione mejor a un régimen alto de revoluciones, dejando una vía de escape mucho más fluida para los gases de combustión y estéticamente realizando un sonido mucho más “deportivo”.

El proceso de sustitución se encargó a un taller especializado, en el que se realizó, mediante trabajos de soldadura, la unión del escape “grupo n” con tubo de hierro de 42 cm de diámetro, ajustando mediante juntas y soportes para la correcta unión con el motor del vehículo. Cabe indicar que se realizaron los ajustes pertinentes para adaptar el nuevo sistema de escape a los soportes con el chasis originario del vehículo.

5.3.3 – Neumáticos y llantas

Uno de los mayores problemas de los todoterrenos es el agarre en los diferentes terrenos que se puedan hallar. Teniendo en cuenta que el vehículo será destinado mayormente a su uso por vías y caminos no asfaltados, se opta por remplazar los neumáticos existentes por unos de uso 90% “Off Road” y 10% carretera, de marca Fedima modelo Sirocco. Dichos trabajos son realizados por taller especializado de neumáticos.

Su dibujo de neumático “agresivo” tal y como puede apreciarse en la imagen dará unas elevadas prestaciones en terrenos abruptos, arenosos y enlodados. Se opta por una medida de neumático de grandes dimensiones con una anchura de 235 mm y un diámetro de 750 mm, consiguiendo así una huella de pisada muy ancha (aportando más agarre) y un diámetro superior al original (aportando altura al vehículo).

Por otra parte, se montan unas llantas de 15 pulgadas de la marca Plasma 4x4 correspondientes al vehículo, con 5 tornillos y diámetro de buje 139,7 mm. Se escoge montarlas por el desplazamiento horizontal que tienen.

Respecto a las llantas de serie se incrementa en 20mm el desplazamiento hacia fuera, consiguiendo un ancho de vía superior, consecuentemente bajando el punto de gravedad del vehículo y ganando estabilidad del mismo en terrenos con desnivel.



Imagen 19: *Neumático y llanta.*

5.3.4 – Separadores de rueda

De la misma manera que en apartado anterior, se busca dar una estabilidad en cuanto a la altura y a la anchura del vehículo, para ganar equilibrio bajando su punto de gravedad. Para conseguirlo, se han montado unos separadores de 30mm de la marca Plasma 4x4, consiguiendo un ancho de vía resultante de 50mm por cada lateral. Además de llegar a una mayor estabilidad y firmeza del vehículo, éste adoptará una imagen más “deportiva”.

5.3.5 – Aletines

Al incrementar el ancho de vía y una vez probado el vehículo surgió el problema de que al circular por terrenos de barro y piedras las ruedas lo expulsaban hacia la carrocería del vehículo, pudiendo dañar la pintura e impidiendo la buena visibilidad desde cualquier ángulo del coche. Por ello, se optó por extender los aletines originales, aumentando el tamaño del paso de rueda y así evitar dicho problema.

Se utilizan planchas de goma de material SBR (caucho estireno-butadieno), por sus excelentes propiedades para su función ya que son flexibles, tienen buena resistencia ante impactos y desgarros, además de ser muy resistentes a la abrasión. A su vez, económicamente es de bajo coste si se compara con los aletines de plástico que se

encuentran en el mercado. Su fijación a la carrocería del vehículo se realiza mediante remaches en flor de 4,5mm.



Imagen 20: Aletin y separación de rueda.

Mediante el incremento de ancho de vía conseguido con el separador de rueda y la llanta desplazada, se incrementa el ancho de vía en un total de 50mm por extremo, resultando un ancho de vía total de 1.630mm.

5.3.6 – Barras antivuelco (Jaula central)

Las barras antivuelco es un elemento de seguridad, tanto para los ocupantes del vehículo como para el mismo. Según la ley vigente únicamente se puede homologar la jaula central, es decir de la luna delantera del vehículo hasta el paragolpes trasero. La zona delantera no puede homologarse ya que existe fuerte riesgo y peligro si se diera el caso de colisión con algún peatón, animal o vehículo en la vía pública.

Primordialmente, el proyecto se basará en el estudio de la estructura de barras de acero fabricadas artesanalmente, ya que al ser un elemento de seguridad debe cumplir ciertos requisitos y debe de ser adaptada correctamente.

Previa a la realización del arco central exterior de barras antivuelco, se ha realizado unos croquis esquemáticos, el dimensionado de la estructura y un estudio previo de fuerzas, para así poder determinar los materiales correctos para su fabricación.

6. PROCESO DE DISEÑO DE BARRAS ANTIVUELCO

En el presente proyecto además de todo el proceso de diseño, se realiza el estudio y dibujo mediante aplicativos informáticos, tratando de calcular las tensiones sufridas por la estructura y deformaciones, en base a los impactos que pueda recibir dicha estructura por la actividad a la cual se quiere destinar.

Una de las problemáticas iniciales fue que el proceso de diseño se inició mediante el aplicativo NX12, que en el momento de inicio del presente proyecto se facilitó por la universidad. No obstante, posteriormente y por facilidad de licencias de instalación, se trasladó todo el diseño a SolidWorks finalizándolo y llevando a cabo el estudio CAE con este programa.

Para realizar el estudio CAE se plantean varias hipótesis de los posibles impactos o fuerzas que pueda estar sometida la estructura en función de las situaciones extremas.

Para su cálculo, deberemos tener en cuenta el peso máximo del vehículo cargado y una fuerza aplicada de 3.5 veces dicho peso máximo, limitado por una deformación máxima de 10cm antes de su rotura.

Contrastadas varias fuentes y normativas vigentes para la homologación de vehículos todoterreno, uno de los requisitos esenciales marcados tanto por la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) como por la ley que rige dicha homologación, la estructura deberá soportar una fuerza máxima aplicable de $3.5P$ con una deformación máxima de 10cm, siendo P el total del peso máximo autorizado que constará en la ficha técnica.

Cabe indicar que tras varios cálculos y dada la actividad que se destina el vehículo, es muy poco probable que la fuerza a la que pueda estar sometida la estructura llegase a la fuerza teórica de $3,5P$ planteada.

El principal fin de dicha estructura es la seguridad de los ocupantes, pero además en el mundo del trial 4x4 es un elemento de ayuda en la superación de obstáculos, siendo un claro elemento de apoyo para evitar el vuelco total del vehículo.



Imagen 21: *Vehículo apoyando barras y a punto de vuelco. Año 2017.*

La estructura es fabricada artesanalmente por un herrero (con certificado de soldadura). La función primordial, ejerciendo como ingeniero, nos implica en todo momento a marcar las pautas de actuación, supervisar el correcto montaje de la estructura en base a los requisitos que marcan las leyes y al análisis técnico de montaje, por lo que se puede considerar que se ha realizado un seguimiento minucioso *in-situ* de la construcción de la misma.

El proceso de fabricación se prolonga aproximadamente durante 8 meses, ya que no se realiza en horario laboral, dado que los trabajos se han encargado a un compañero de afición y únicamente se limita a tres días a la semana de 19h-21h aproximadamente. Calculando las horas de trabajo total se estima que la estructura podría ser fabricada en un total de 32-48 horas.

6.1 - Adquisición de datos

Inicialmente se realizó un pequeño boceto y cálculos en base a las medidas del vehículo, que para ello mediante unos croquis del vehículo se procedió a realizar la toma de medidas y listado de material necesario para la realización de la estructura.

Cabe indicar que se diseñaron 4 croquis diferentes, finalmente optando por el más práctico para su montaje y desmontaje, seguro, funcional y estéticamente más atractivo. Se adjunta imagen del croquis escogido.

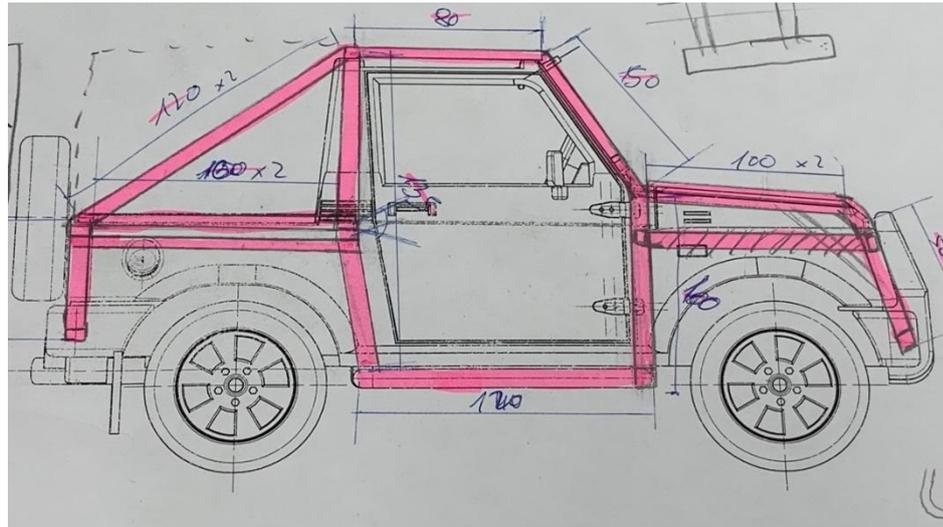


Imagen 22: *Croquis inicial.*

Además, se debió realizar un correcto estudio de los elementos de anclaje al vehículo, dado que la estructura de barras será un elemento totalmente estático con 0 grados de libertad. La estructura de barras se ancla en una estribera de fuerte resistencia atornillada al chasis mediante 2 brazos con pletinas y tornillería de acero inoxidable DIN 912 de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal de M12, calidad 12.9 y longitud de 100mm. El conjunto forma una única pieza, distribuyendo toda la fuerza aplicada en cualquier punto de la estructura incluyendo el chasis.

Una vez finalizados los cálculos básicos adjuntos en el apartado nº7 del presente proyecto y la toma de datos, nos resultó un total de 37,6 metros de tubo de acero de diámetro exterior de 48cm y diámetro interior de 45cm, tubo rectangular de 60x40x6 mm y varios retales de chapa laminada en frío de 6mm para realizar los acabados y evitar cantos vivos en los estribos, ascendiendo todo ello a un total de aproximadamente 350 Euros.

Se escoge la chapa laminada en caliente en vez de laminada en frío ya que, aunque tiene peores características en resistencia a tracción y límite elástico, tenemos mayor grosor de pared, mejorando las características del laminado en frío que por su fabricación no supera los 3mm de espesor, todo ello de acero S235jr.

En todo caso se tuvo en cuenta que la estructura pudiese desmontarse, no siendo fija en el vehículo ni debiendo de ser cortada o modificada para su desmontaje, por lo que se diseñó para que toda la estructura fuese atornillada y despiezada en un total de 3 piezas, dos taloneras y un arco central de barras.

Cabe indicar que la fabricación de la totalidad de la estructura se debió segmentar en 2 partes, inicialmente conformando el arco central y posteriormente el arco trasero.

6.1.1 – Tabla de materiales empleados

| TUBO | DIÁMETRO EXTERIOR | DIÁMETRO INTERIOR | ESPESOR | CALIDAD ACERO |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|
| Cilíndrico | 48mm | 45mm | 3mm | S235jr |

Imagen 23: Tabla dimensiones tubo cilíndrico.

| TUBO | ALTO | ANCHO | ESPESOR | CALIDAD ACERO |
|--------------------|-------------|--------------|----------------|----------------------|
| Rectangular | 60mm | 40mm | 6mm | S235jr |

Imagen 24: Tabla dimensiones tubo rectangular.

| CHAPA | ALTO | ANCHO | ESPESOR | CALIDAD ACERO |
|-----------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------------|
| Laminada en caliente | 8000mm | 2000mm | 6mm | S235jr |

Imagen 25: Tabla dimensiones chapa.

| TORNILLERÍA | D | Dk | K | t | S | l | PASO | Long. Rosca |
|---|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|
| DIN 912 ISO4792 Calidad 12.9 | M12 | 18mm | 12mm | 6mm | 10mm | 100mm | 1.75mm | 36mm |

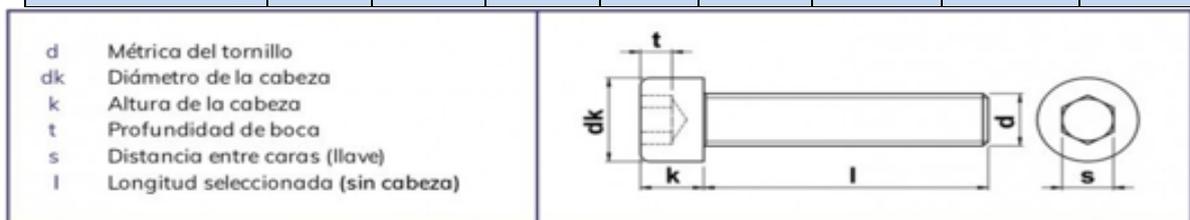


Imagen 26: Tabla tornillería.

6.2 – Proceso de diseño y conformado de la estructura con aplicativo NX12 y SolidWorks

Una vez escogido el diseño más factible a construir por su sencillez, resistencia y costes, se procede a realizar el diseño exhaustivo mediante el aplicativo NX12 (por facilidad de licencias, dado que cuando se inició el proyecto la universidad facilitaba este programa).

La estructura es totalmente simétrica, por lo que se inició desarrollando el arco central y posteriormente su unión hasta el arco trasero, todo ello hasta el eje central del vehículo.

Todos los datos y medidas necesarios para realizar el diseño mediante el aplicativo ya habían sido tomadas con anterioridad en los esbozos y croquis realizados.

También se considera oportuno indicar nuevamente que únicamente se procede al diseño y estudio de la parte central/trasera de la estructura de barras, dado que la parte delantera no puede homologarse y no nos servirían sus cálculos para la futura homologación a realizar.

Para más facilidad en el conformado y diseño de la estructura, se consiguió vía web un dibujo en formato .prt del vehículo Suzuki Samurai. Este diseño era un formato estandarizado, por lo que se procedió a su modificación intentando ser adaptado lo máximo a la realidad, tanto en apariencia como en dimensiones.

A raíz de la base del vehículo se inició el dibujo, a través de croquis en diversos planos para después ser extruido y efectuar la unión de tubos. Todo ello teniendo en cuenta que todos los tubos deben ser del mismo diámetro exterior e interior y respetando las medidas de nuestro vehículo.

Una vez realizados los dos arcos principales de la estructura se procede a componer sus uniones, el travesaño delantero y la cruz en X del techo.

Conformada esta parte de la estructura, se empieza a elaborar la parte trasera mediante el larguero que unirá el arco principal posterior con el chasis en los anclajes de bola remolque. Además, se implementa mayor rigidez de la estructura realizando dos ángulos a aproximadamente 45° formando dos triángulos prácticamente equiláteros.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Félez Ortiz

Una vez conformados todos los tubos según el diseño inicial se procede a realizar las bancadas y soportes de unión con el vehículo, junto a sus orificios roscados en los que se anclará mediante la tornillería escogida.

Finalmente, y para terminar el diseño de la estructura, se realiza la simetría total y se adjunta al diseño base del vehículo, realizando para terminar la unión entre ambos e introduciendo las formas de unión junto a las soldaduras de los tubos.

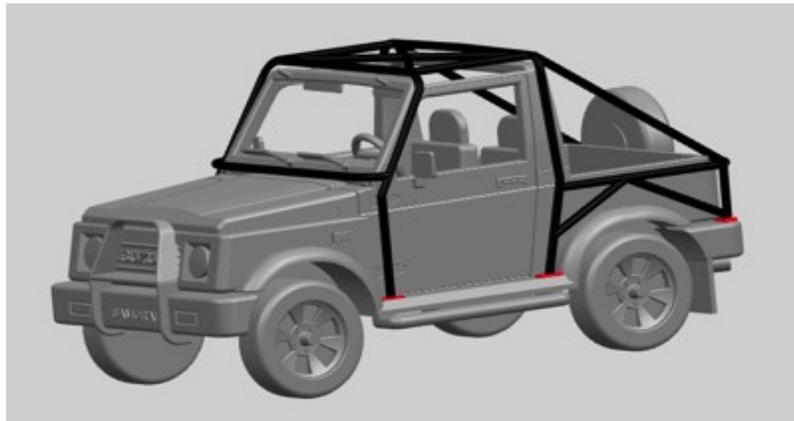


Imagen 27: *Diseño en NX12.*

Cuando la estructura ya se encontraba conformada por completo, se tuvo que realizar el cambio al programa SolidWorks pudiendo aprovechar prácticamente todo el diseño que se había realizado en NX12. No obstante, se halló que con este programa se podía modificar aún más la estética del vehículo base, por lo que se procedió a adaptarlo aún más a nuestro vehículo, extrayendo la rueda de recambio trasera, cambiando el color, y dando un diseño más personalizado a las llantas y neumáticos.



Imagen 28: *Diseño del vehículo modificado en SolidWorks*

Una vez modificado el diseño estético del vehículo, se procede a adaptar la estructura de barras y modificar cuantos errores nos halla el programa SolidWorks para poder realizar el estudio mallado y estudio CAE de la estructura por completo, que se explicará y detallará en los siguientes apartados.



Imagen 29: *Diseño en SolidWorks*

6.3 - Adquisición de herramientas, material y estudio de técnicas de fabricación

El siguiente paso y una vez realizado el diseño y estudio CAE verificando todos los datos y resultados obtenidos, se procede a la compra de este material, que al tener contacto directo y relación con el herrero, los materiales son suministrados por el mismo a precio de coste.

Previa a su compra, se realiza un pequeño estudio de los precios de mercado, escogiéndose el que más se adapta al presupuesto y cumple con los requisitos mínimos calculados para soportar los esfuerzos planteados.

6.3.1 – Triage de tubo

Previa a la compra de la totalidad del tubo necesario para el conformado de la estructura, se testea dos tipos de tubo de acero, para comprobar que éste no se chafara, dado que el doblado de éstos se realizaría mediante una dobladora manual en frío.

Inicialmente se probó el acero S235 (1.0038), el cual el coste era inferior, pero nos encontramos que al realizar el doblado, mediante la técnica que se disponía para el doblaje de tubo, éste se chafaba, por lo que se tuvo que optar por la segunda opción levemente más cara, pero con un resultado totalmente satisfactorio, utilizando el acero S235JR (EN 1.0038).

El tubo S235 en los cálculos realizados, la tensión a soportar era levemente superior en comparación a la tensión admisible, por lo que teóricamente también nos resulta fallido.

Se decide escoger este material para el conformado del arco dado que puede ser manipulado y doblado en frío, cuya característica nos interesa para poder llevar a cabo el doblado de la estructura mediante una curvadora de tubos hidráulica.

6.3.2 – Metodología de doblado de tubos

Una de las problemáticas que surge es la realización de la estructura con barra doblada o mediante codos de 90°. Planteadas varias hipótesis se decide que la estructura será más sólida realizando el doblado de tubo, dado que no existirán uniones soldadas, siempre mucho más frágiles que el tubo de solo una pieza, por lo que se tuvo que adquirir una maquina curvadora de barras con matriz para tubo redondo de 48mm.

Cabe indicar que para el doblado de los tubos se lubricaba la matriz para evitar bolladuras a la hora de ser doblado. Se barajó la técnica de introducir arena en el interior para evitar que éste se chafara. No obstante, tras realizar varias pruebas se determina que no será necesario, ya que con la grasa se consigue un resultado óptimo y deseado.



Imagen 30: Máquina dobladora e imagen del proceso.

6.3.3 – Metodología y estudio de soldadura

Para la unión de los tubos se plantean 3 diferentes posibilidades de soldadura: soldadura de electrodo, soldadura de hilo o soldadura con sistema TIG. Tanto por infraestructura, precios y funcionalidad se decide utilizar los dos primeros métodos.

La soldadura de electrodo se emplea para realizar una previa colocación de la unión de tubo, realizando un “punteado” para que los tubos que deban unirse se sostengan entre ellos. Se utiliza este método dado que la maquinaria que se utiliza es de pequeñas dimensiones y los puntos de soldadura son fácilmente rompibles en caso de error o necesidad de modificar.

Cabe indicar que parte del proceso de conformado de las barras se realiza *in-situ* en el vehículo, es decir, con la estructura parcialmente montada y adaptando la barra previamente calculada y cortada.

Para la soldadura final y para conseguir una rigidez y unión perfecta en la estructura, se utiliza el tipo de soldadura de hilo continuo. La maquinaria es mucho más grande y potente que la de electrodo, pero al realizarse los trabajos de soldadura con la estructura desmontada del vehículo el proceso de trabajo es mucho más cómodo.

Esta técnica suele utilizarse comúnmente para la soldadura de tubería, dado que nos facilita el movimiento de soldadura para realizar un cordón completo en toda la superficie de unión de los tubos.



Imagen 31: Soldadura de mediante hilo continuo.

Una vez escogidos los métodos de soldadura, únicamente se tuvo que obtener los materiales necesarios; bobina de hilo de 0.8mm, gas, electrodos y materiales de corte como discos de corte, discos abrasivos y de pulir, brocas de perforación, etc. Indicar que parte de la maquinaria ya se disponía de ella por lo que no ha sido necesario efectuar su compra.

6.4 - Proceso de fabricación

El tercer paso fue el conformar la totalidad de la estructura, inicialmente y según los datos obtenidos en el estudio previo realizado se procedió a cortar los tubos a la medida correspondiente.

Para ello, siempre debe tenerse en cuenta que todos los tramos que van a ir doblados deben dejarse aproximadamente unos 200mm por lado sobrante ya que al realizar el doblado del tubo éste se verá encogido.

6.4.1 - Arco central

Una vez realizados los cortes de los dos arcos centrales se procede a realizar el doblado a través de la maquina curvadora. Inicialmente se realizan los dos dobles de aproximadamente 90° y posteriormente los dobles de 155°, siempre siguiendo los planos iniciales y las líneas de los cantos salientes y estéticas del vehículo.

6.4.1.1 Proceso de doblado: se desarrolla introduciendo el tubo en el interior de la matriz que queda fijada en la máquina. El punto medio será el punto de ángulo máximo, por lo que en éste se debe centrar según medidas calculadas. Una vez todo quede colocado y verificado, se procederá a accionar el pistón hidráulico con la manivela hasta que se consiga el ángulo deseado en cada caso.

Una vez doblados los dos arcos centrales se procede a realizar los encajes de los largueros que unirán ambos arcos, cortando el tubo a la medida correspondiente y realizando los encajes llamados coloquialmente “boca de pez”.



Imagen 32: Encajes “boca de pez”

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Fález Ortiz

Posteriormente se realiza la unión en X de la parte superior y el larguero frontal, evitando movimientos de la estructura laterales y frontales y aportando gran solidez para aguantar grandes esfuerzos.

Cabe indicar que el larguero frontal debió ser doblado en sus puntas para que en todo momento se respetase la distancia mínima de la estructura con el vehículo y se cumpliera con la normativa.



Imagen 33: *Arco central delantero*

Una vez realizadas estas uniones y tal y como se puede observar en la imagen, se suelda una estructura de rejilla en la parte inferior para proceder al soldado mediante máquina de hilo continuo y evitar deformaciones en la estructura de los puntos de soldadura realizados con electrodo, dada la fragilidad que antes se ha comentado.

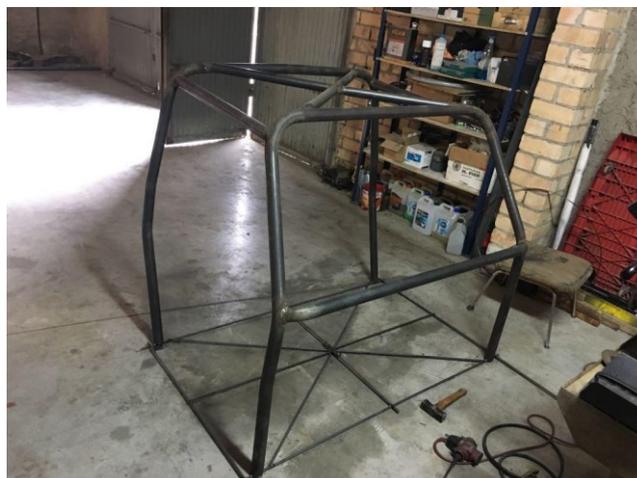


Imagen 34: *Estructura barras central en proceso de soldadura*

6.4.2 - Arco trasero

Conformado el arco central de las barras antivuelco se decide alargar la estructura hacia la parte trasera, elemento que nos aportara seguridad y protección en la parte trasera del vehículo.

El coche es descapotado en la parte trasera, es decir, no existe recubrimiento en la parte posterior, por lo que se estudia la posibilidad de realizar un arco en X en la parte trasera. Finalmente no se realiza, dejando el espacio trasero libre para el transporte de mercancías. De la misma manera seguimos con la posibilidad de montar en la parte trasera del vehículo los dos asientos homologados para dos personas.

No obstante, y a raíz de los cálculos obtenidos, podría resultar necesario siendo una mejora realizar el cruce transversal en X,

Para llevar a cabo el anexo de la parte trasera de la estructura se utilizan los anclajes originales del vehículo en el que se sitúa la bola de enganche de remolque, sujeción fuerte y con alta capacidad de esfuerzo a tracción, en los cuales se anclará la parte trasera mediante tornillería DIN 912 de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal de M12 y calidad 12.9 y longitud de 36mm. La parte central se une mediante soldadura, utilizando los métodos ya emprados en el arco central.

6.4.2.1 Proceso de corte: Para la unión del tubo redondo se realizan anclajes manualmente con radial y amoladora creando el ángulo perfecto para la unión de los dos tubos en forma de “boca de pez”. En este paso se encontraron varias dificultades, dado que no se podía realizar el corte demasiado profundo, por lo que si existía error podía perjudicar a la fuerza de unión de ambos tubos.

Es decir, si en el corte empleado y una vez realizado el ensamblado de las dos piezas quedaba agujero, todo este debía de ser rellenado mediante soldadura, la cual evidentemente era mucho más débil que la unión entre tubo y tubo.

En algunos de los tubos quedaron levemente separados, por lo que se aplicó calor con un soplete y se deformato levemente la punta del tubo a unir, así consiguiendo mayor superficie de contacto entre ambos tubos, en resumen, incrementando la fuerza y repartiendo los esfuerzos a través de toda la estructura que pudiera sufrir en caso de impacto en el punto de unión.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Félez Ortiz

La parte trasera se conforma de 5 tubos principales y 4 de soporte, de los 3 tubos principales 2 son los laterales que realizan dos curvas de aproximadamente 90°, siguiendo la estructura exacta de la carrocería del vehículo y finalizando su unión a las pletinas construidas mediante chapa de 50mm de grosor, ancladas a los soportes del enganche remolque.



Imagen 35: Estructura barras completa

Para evitar la posible deformación vertical por compresión de la parte trasera, así como elemento de seguridad para los pasajeros de la zona trasera, se procedió a realizar dos diagonales paralelas que unieran el punto más alto del arco central con la esquina trasera de la estructura.

El restante tubo principal es el que une ambos tubos laterales, destinado a evitar las deformaciones laterales por compresión que pueda sufrir la estructura.

En todo caso se ha intentado conformar una estructura totalmente sólida, sin posible movimiento y deformación mínima, que para ello también se ha reforzado mediante los 4 tubos de soporte; 2 en la parte izquierda y 2 en la parte derecha de la estructura trasera, aumentando la absorción de tensiones del ángulo de 90° que se puede observar en ambos extremos del tubo lateral.



Imagen 36: Refuerzos laterales.

Tal y como puede observarse en la imagen, se unió mediante puntos de soldadura con electrodo. Una vez toda la estructura queda punteada se comprobaba que todo quedaba en su posición, repasando y fortificando todas y cada una de las soldaduras mediante soldadura en hilo continuo con hilo de 0,8mm.

Posterior a su soldado y mediante amoladora se realizó el pulido de todas las soldaduras, siendo necesario el repaso de alguna de las uniones, pero conformando una estructura totalmente lisa, sin resaltos ni salientes punzantes que pudieran ocasionar cortes, por lo que finalmente resultó toda la estructura montada, equilibrada y lista para el proceso de pintura.



Imagen 37: Estructura de barras soldada y pulida

6.4.3 - Proceso de pintura

El proceso de pintura se efectúa mediante compresor de aire y pistola de pintura. Se emplean material de pintura de alta resistencia con partículas de metal denominados Oxiron de color negro forja. Se decide aplicar este tipo de pintura dada sus grandes cualidades y la resistencia a la fricción y desgaste que presenta. Además, para su aplicación no es necesario emplear una previa capa de imprimación, por lo que resulta más económico, siendo el proceso de pintado y secado mucho más ágil.

Todo ello se realiza en un tiempo de aproximadamente 4 horas, incluyendo el tiempo necesario de limpieza, retirada de los posibles óxidos de la estructura y la aplicación de 2 capas de pintura con su correspondiente secado.



Imagen 38: Estructura de barras pintada y montada

7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA DE BARRAS ANTIVUELCO Y ANÁLISIS CAE

Partiendo de la base que la estructura está completamente anclada al vehículo sin movimiento, se considera que la estructura a estudiar es hiper estática, por lo que se decide realizar el análisis y/o simulación de posibles situaciones reales y esfuerzos a los que pueda estar sometida la estructura en caso de vuelco o apoyo en la realización de la actividad que llevará a cabo el vehículo.

Cabe indicar que en ningún caso se desea que la estructura híper estática no se deforme. En este caso es necesario que haya deformación llevándola al límite, con una fuerza muy elevada para ver su resistencia y la deformación máxima que puede soportar, para así también reflejar si podría ser homologada según los criterios que nos impone la normativa vigente.

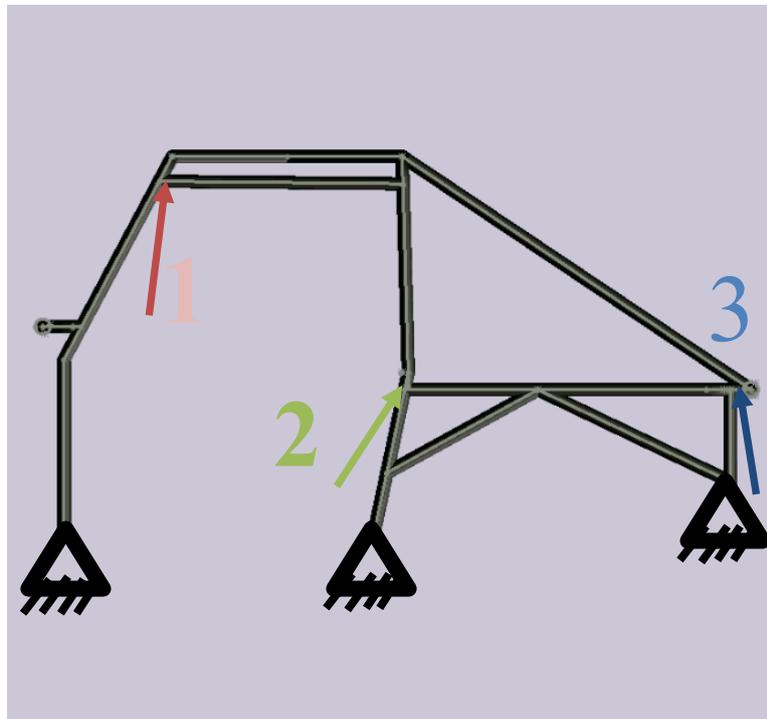


Imagen 39: Esquema de la estructura e hipótesis

Para ello se plantean 3 posibles hipótesis:

1. Impacto en la parte superior de la parte delantera de la estructura.
2. Impacto en la parte central de la estructura
3. Impacto en parte trasera de la estructura

Además, previa a la adquisición del material se realizan cálculos para dimensionar y escoger materiales, siempre teniendo en cuenta el coste y facilidad de adquisición de los mismos.

El dimensionado se realizará mediante cálculos analíticos manuales tal y como se detallarán en apartados siguientes. El cálculo de deformaciones y resistencia de la estructura en los 3 casos e hipótesis planteadas se analizan analíticamente y mediante el estudio CAE realizado con el aplicativo SolidWorks.

7.1 – Cálculo de masas, pesos, dimensionado y material

7.1.1 - Cálculo de masa de la estructura

La tara descrita en la ficha técnica, es decir, la masa del vehículo en vacío es de 930 kg únicamente con los fluidos y líquidos correspondientes. No obstante, el vehículo puede arrastrar un máximo de 1.340 kg.

Estos valores nos limitan a realizar una estructura lo más ligera posible, ya que se debe tener en cuenta que el vehículo está homologado para 2/4 plazas.

En la siguiente tabla pueden verse reflejados las variaciones técnicas realizadas en función de sus características de origen y las que el vehículo presenta una vez modificado:

| | Origen | Modificado |
|-----------------------------|---------------|---------------|
| Altura total (mm) | 1.665 | 1.700 |
| Ancho total (mm) | 1.530 | 1.630 |
| Longitud total (mm) | 3.440 | 3.440 |
| Tara (kg) | 930 | ?* |
| Peso máximo autorizado (kg) | 1.340 | 1.340 |
| N.º de asientos (Ud.) | 2/4 | 2/4 |
| Dimensión neumáticos | 4x 205/70 R15 | 4x 235/75 R15 |

Imagen 40: Tabla dimensiones vehículo antes y después de la reforma.

*? **TARA** – A consecuencia de la modificación efectuada, la tara del vehículo se ve modificada, y en todo caso siempre que ésta cumpla con el peso máximo autorizado, únicamente se deberá indicar en el informe de homologación, por lo que se procede al cálculo de la tara o peso del vehículo en orden de marcha, es decir, con fluidos y aceites.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno
Enrique J. Félez Ortiz

Cada ocupante se estima (por normativa) un peso de 75 kg, siendo un total de 150kg en el caso de que el vehículo solo se quiera homologar para el transporte de 2 personas o 300kg si se quisiera llevar 4 personas.

Dejando un margen limitado de 110 kg para los elementos añadidos, lo que se debe tener en cuenta únicamente son los elementos que se pueden homologar y los que no son necesarios de homologar.

Se ha considerado también que algunas de las modificaciones realizadas han reducido el peso, por lo que con estas características y partiendo de la base que el vehículo pesa 930kg en orden de marcha, podemos disminuir el peso y aumentarlo con las modificaciones realizadas según tablas adjunta:

| CONCEPTO | PESO + o - |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| TARA ORIGINAL DEL VEHÍCULO | 930 Kg |
| Sistema de escape | - 2 Kg |
| Sistema de suspensión | - 5 Kg |
| Chapas cubre puertas | - 4 Kg |
| Rejilla delantera | - 1 Kg |
| Reductora 6.50;1 | - 2 Kg |
| Separadores de rueda | + 3 Kg |
| Neumáticos y llantas | + 6 Kg |
| Aletines | + 6 Kg |
| Luz y sistema de sonido interior | +1 Kg |
| Barras antivuelco + soportes | + 90 Kg |
| Peso ocupantes vehículo 4pax. | + 300 Kg |
| TOTAL | 930 Kg + 388 Kg = 1.318 Kg |
| 1.318 Kg < 1.340 Kg | |

Imagen 41: Tabla cálculo de masas y pesos

Realizado el cálculo existe muy poco margen de actuación, por lo que se debería pesar el vehículo completo en bascula adaptada para ello, a pesar de varios intentos por conseguir una, no se ha podido obtener este pesaje.

No obstante, y dado que el vehículo ya está homologado de origen para 2 o 4 plazas, en caso que el pesaje en bascula fuese superior al peso máximo autorizado, únicamente se deberá

indicar en el informe de homologación que el vehículo solo podrá transportar a 2 ocupantes, por lo que el peso total del vehículo pasaría a ser 150 Kg menos, es decir 1.168 Kg, existiendo una diferencia de 172 Kg con el peso máximo autorizado.

Cabe destacar que el cálculo de la masa de los elementos es aproximado ya que se realiza el pesaje de los componentes individualmente mediante balanza dinamómetro de gancho en techo y teniendo en cuenta los pesos estipulados por el fabricante de los componentes instalados.

Pueden existir variaciones de pesaje y error, por ello se realizan aproximaciones a números redondos.

7.1.2 - Dimensionado y material

Para la elección de los materiales a utilizar para la construcción de toda la estructura se tuvo que realizar un breve análisis de dimensionado. En todo caso la estructura debe aguantar un esfuerzo de 3.5 veces el peso del vehículo (tal y como refleja la normativa vigente y la FIA). La idea es poner al límite la estructura, así que se decide utilizar el peso máximo autorizado del vehículo.

$$P = \text{Peso} = \text{masa máxima autorizada} \times g = 1.340 \times 9,81 = 13.145,40 \text{ N}$$

Para ello, se ha realizado una búsqueda exhaustiva en el mercado, junto a la normativa vigente que nos indicaba que el tubo debía ser de diámetro exterior de 43mm o 48mm.

Es por ello que se realizan ambos cálculos para determinar cuál de los dos nos aportara más rigidez a nuestra estructura.

Estudiado el mercado del tubo más idóneo para la realización de la estructura es de 48mm con espesor de 3mm y realizado el cálculo, éste nos confirma que el tipo de tubo puede soportar notablemente el esfuerzo al que se le va a someter. También se realiza a carácter informativo el cálculo con diámetro de 43mm y espesor de 3mm, el cual resulta que no podría ser utilizado:

Cálculo tensión y dimensionado:

- Tubo de 48 mm y espesor de 3mm

$$\sigma_{adm} = 235 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x}$$

$$R = \text{Radio exterior} = \text{diámetro}/2 = 48\text{mm}/2 = 24\text{mm}$$

$$r = \text{Radio interior} = \text{diámetro}/2 = 45\text{mm}/2 = 22,50\text{mm}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Fuerza máxima} / \text{sección tubo} = 3.5 P / [\pi \times (R^2 - r^2)]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 209,96 \text{ Mpa}$$

| |
|---------------------------------------|
| $\sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$ |
| <u>235 Mpa > 209,96 Mpa</u> |

- Tubo de 43 mm y espesor de 3mm

$$\sigma_{adm} = 235 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$$

$$R = \text{Radio exterior} = \text{diámetro}/2 = 43\text{mm}/2 = 21,50\text{mm}$$

$$r = \text{Radio interior} = \text{diámetro}/2 = 40\text{mm}/2 = 20\text{mm}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Fuerza máxima} / \text{Sección tubo} = 3.5 P / [\pi \times (R^2 - r^2)]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 235,26 \text{ Mpa}$$

| |
|---|
| $\sigma_{adm} > \sigma_{m\acute{a}x}$ |
| <u>235 Mpa > 235,26 Mpa</u> |
| <u>NO SOPORTARIA LA FUERZA APLICABLE</u> |

Realizado el análisis completo, únicamente el tubo de 48mm resistirá la fuerza máxima aplicable. Eso se pudo ver también al realizar el doblado del tubo mediante la maquinaria en la que se realizó un testeó a un tubo de 43mm, viendo que es necesario utilizar el tubo más grande y de acero S235jr ya que este se chafaba.

Por lo que finalmente se opta por el tubo de diámetro exterior de 48mm y diámetro interior de 45mm.

Realizados los cálculos y teniendo en cuenta la tensión máxima admisible de 235 Mpa, la estructura con el diámetro de tubo escogido podría llegar a soportar una fuerza máxima de:

$$\text{Fuerza máxima admisible} = \sigma_{\text{máx}} \times \text{Sección tubo} = \sigma_{\text{máx}} \times [\pi \times (R^2 - r^2)]$$

$$\text{Fuerza máxima admisible (S235)} = 51.494,63 \text{ N} - (\text{con } \sigma_{\text{adm}} = 235 \text{ Mpa})$$

Siendo una fuerza máxima aplicable de aproximadamente 1,12 veces la fuerza máxima aplicada según la normativa usada de 3.5 veces el peso.

Tubo elegido para el conformado de la estructura en función de sus características, resistencias a esfuerzos en tracción y elasticidad, y a los esfuerzos a los que podría verse sometida la estructura:

Tubo cilíndrico EN 1.0038 S235jr con diámetro exterior de 48mm y espesor de 3mm

7.2 – Introducción al cálculo analítico manual

Para la realización del estudio analítico se necesita en las 3 hipótesis planteadas la fuerza máxima a aplicar según el caso, el área o superficie del tubo y el momento de inercia que éste presenta, por lo que se simplifican dichos cálculos según las siguientes formulas:

$$\text{Fuerza} = F = 3,5 \times P = 3,5 \times 13.145,40 = 46.008,90 \text{ N}$$

$$\text{Siendo P el peso del vehículo } P = m \times g = 1.340 \times 9,81 = 13.145,40 \text{ N}$$

$$\text{Superficie} = S = \pi \times (R^2 - r^2) = \pi \times (24^2 - 22,5^2) = 219,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Momento de inercia} = I_o = (\pi / 64) \times (D^4 - d^4) = (\pi / 64) \times (48^4 - 45^4) = 59.287,30 \text{ mm}^4$$

El análisis de la estructura se realiza con dimensiones aproximadas a las reales y en referencia a las del diseño en SolidWorks. Dado que con estos cálculos no se intenta buscar un número exacto que nos indique la deformación o la tensión que puede aguantar (nos lo indicara el programa), únicamente lo que buscamos es demostrar que la estructura diseñada junto a la fuerza que ésta debe soportar se adecua a nuestras necesidades teóricas.

Es por ello que seguramente los cálculos analíticos en comparación al diseño mucho más exhaustivo en el estudio CAE distarán entre ellos. No obstante, nos darán una referencia de cálculo para poder demostrar que esta estructura puede aguantar las solicitaciones con una deformación soportable y dentro de tolerancia y normativa.

7.3 – Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 1

Según la primera hipótesis planteada, la fuerza se aplica en la esquina superior del arco principal delantero de la estructura, que con ello quiere simularse un impacto entrando en un hoyo o similar ya que este es un caso común en las pruebas de trial 4x4.

En este punto se teoriza que se ven afectadas dos barras, la barra que ancla a la bancada desde el punto y el travesaño que une la estructura en simetría.

En primera instancia se analiza cómo actúa la fuerza en la sección del travesaño, en ésta la fuerza es perpendicular a la sección, por lo que nos generara un esfuerzo σ . En este caso no generará ninguna tensión cortante ni momento torsor.

$$\sigma = F / S = 290,96 \text{ N/mm}^2$$

En la barra que une con la bancada, se determina que la fuerza entra paralela a la sección, lo que nos genera una tensión cortante τ :

$$\tau = 2F / S = 419,93 \text{ N/mm}^2$$

Derivada de esta fuerza paralela, nos surge un momento torsor perpendicular a la sección, lo que de la misma manera nos genera una tensión cortante τ .

Para el cálculo del momento torsor, debemos coger la fuerza aplicada y multiplicarla por la distancia hasta el centro de masas de la bancada. (dist. = 1.250 mm, las medidas son orientativas mediante mediciones manuales y diseño de SolidWorks)

$$MT = F \times \text{dist.} = 57.511.125 \text{ Nmm}$$

$$R-r = 1.5 \text{ mm}$$

$$\tau = [MT \times (R-r)] / I_o = 1.455,06 \text{ N/mm}^2$$

Una vez calculados los esfuerzos y las tensiones, se procede a calcular el esfuerzo total de la estructura, que para ello se utiliza la tensión de Von Misses :

$$\sigma_{vm} = \frac{\sigma \pm \sqrt{(\sigma^2 + 4\tau^2)}}{2} = \pm 1.982,90 \text{ N/mm}^2$$

Calculada la tensión máxima que presenta la sección por la fuerza aplicada, se calcula su deformación unitaria a través de la ley de Hooke:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\varepsilon = 0.00944 \gg 0,94\%$$

En este parámetro vemos que la deformación de la estructura es muy leve, no llegando al 1%.

Finalmente, para corroborar que la estructura soportará la fuerza aplicable sin problema, se procede a calcular el coeficiente de seguridad, el cual será:

$$CS = \sigma_{adm} / \sigma_{vm} = 0,1185 \gg 11,85 \%$$

7.4 – Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 2

En la segunda hipótesis planteada, la fuerza se aplica en la parte media del arco principal trasero de la estructura, con lo cual se simula un impacto volcando en el interior de un hoyo o similar. ya que éste es un caso común en las pruebas de trial 4x4

En este punto se teoriza que se ven afectadas dos barras transversales entre ellas, la barra que ancla a la bancada desde el punto de la fuerza aplicada y el larguero que une con la parte trasera de la estructura.

En primera instancia se analiza cómo actúa la fuerza en la sección del larguero, en ésta la fuerza es paralela a la sección, por lo que nos generara un esfuerzo τ . No obstante, en este caso no existe momento torsor, dado que la distancia relativa con la bancada es 0.

$$\tau = 2F / S = 419,93 \text{ N/mm}^2$$

En la barra que une con la bancada se determina que la fuerza entra también paralela a la sección, lo que nos genera una tensión cortante τ :

$$\tau = 2F / S = 419,93 \text{ N/mm}^2$$

Derivada de esta fuerza paralela en este caso sí que nos surge un momento torsor perpendicular a la sección, lo que de igual forma nos genera una tensión cortante τ .

Para el cálculo del momento torsor, debemos coger la fuerza aplicada y multiplicarla por la distancia hasta el centro de masas de la bancada. (dist. = 625 mm, las medidas son orientativas mediante mediciones manuales y diseño de SolidWorks)

$$MT = F \times \text{dist.} = 28.755.562,50 \text{ Nmm}$$

$$R-r = 1.5 \text{ mm}$$

$$\tau = [MT \times (R-r)] / I_o = 727,53 \text{ N/mm}^2$$

Una vez calculados los esfuerzos y las tensiones, se procede a calcular el esfuerzo total de la estructura, para ello se utiliza la tensión de Von Misses :

$$\sigma_{vm} = \frac{\pm \sqrt{(4\tau^2)}}{2} = \pm 1.567,39 \text{ N/mm}^2$$

Calculada la tensión máxima que presenta la sección por la fuerza aplicada, se procede a calcular su deformación unitaria a través de la ley de Hooke:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\varepsilon = 0.00746 \gg 0,746\%$$

En este parámetro vemos que la deformación de la estructura será muy leve, de igual forma que en el apartado anterior no llega ni al 1% de deformación.

Finalmente para corroborar que la estructura soportará la fuerza aplicable sin problema se procede a calcular el coeficiente de seguridad, el cual será:

$$CS = \sigma_{adm} / \sigma_{vm} = 0.1499 \gg 14,99 \%$$

7.5 – Cálculo analítico manual de deformación según hipótesis 3

Finalmente, en la tercera y última hipótesis planteada, la fuerza se aplica en la esquina de la barra trasera de la estructura. Con ello quiere simularse un impacto saliendo de un hoyo o similar ya que éste es un caso común en las pruebas de trial 4x4

En este punto, se teoriza que se ven afectadas dos barras, la barra que ancla a la bancada desde el punto de aplicación de la fuerza y el travesaño trasero que une la estructura en simetría.

Inicialmente se analiza el travesaño trasero en el que actúa la fuerza perpendicular a la sección, por lo que nos generara un esfuerzo σ . En este caso no genera ninguna tensión cortante ni momento torsor.

$$\sigma = F / S = 290,96 \text{ N/mm}^2$$

En la barra que une con la bancada se determina que la fuerza entra paralela a la sección, lo que nos genera una tensión cortante τ :

$$\tau = 2F / S = 419,93 \text{ N/mm}^2$$

Derivada de esta fuerza paralela nos surge un momento torsor perpendicular a la sección, lo que de la misma manera nos resulta una tensión cortante τ .

Para el cálculo del momento torsor, debemos coger la fuerza aplicada y multiplicarla por la distancia hasta el centro de masas de la bancada. (dist. = 308 mm, las medidas son orientativas mediante mediciones manuales y diseño de SolidWorks)

$$MT = F \times \text{dist.} = 14.170.741,20 \text{ Nmm}$$

$$R-r = 1.5 \text{ mm}$$

$$\tau = [MT \times (R-r)] / I_0 = 358,52 \text{ N/mm}^2$$

Una vez calculados los esfuerzos y las tensiones, se procede a calcular el esfuerzo total de la estructura, que para ello se utiliza la tensión de Von Misses :

$$\sigma_{vm} = \frac{\sigma \pm \sqrt{(\sigma^2 + 4\tau^2)}}{2} = \pm 930,98 \text{ N/mm}^2$$

Calculada la tensión máxima que presenta la sección por la fuerza aplicada, se procede a calcular su deformación unitaria a través de la ley de Hooke:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$
$$\varepsilon = 0.00443 \gg 0,443\%$$

En este parámetro vemos que la deformación de la estructura será mucho más leve que las anteriores hipótesis, no llegando al 0,50%.

Finalmente, para corroborar que la estructura soporta la fuerza aplicable sin problema, se procede a calcular el coeficiente de seguridad, el cual es:

$$CS = \sigma_{adm} / \sigma_{vm} = 0.2524 \gg 25,24 \%$$

7.6 – Descripción de la simulación CAE mediante SolidWorks

Para la realización de la simulación mediante el programa CAE SolidWorks se plantean las mismas 3 hipótesis que en los apartados anteriores, para así poder relacionar el cálculo analítico manual con el estudio CAE.

Se espera que existan diferencias entre ambos estudios, dado que existen variables no contempladas en el primer apartado que el estudio CAE sí que tendrá en cuenta.

Se procede a analizar su tensión axial máxima en los puntos y la deformación que sufre la estructura a causa del impacto planteado de 3.5 veces el peso máximo autorizado del vehículo.

$$F = 3,5 P = 3.5 \times 1.340 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s} = \mathbf{46.008,90 \text{ N}}$$

La simulación se realiza con las mismas características que el estudio manual, barra de acero S235jr - EN 1.0038 de diámetro exterior 48mm y diámetro interior de 45mm. Véase imagen siguiente:

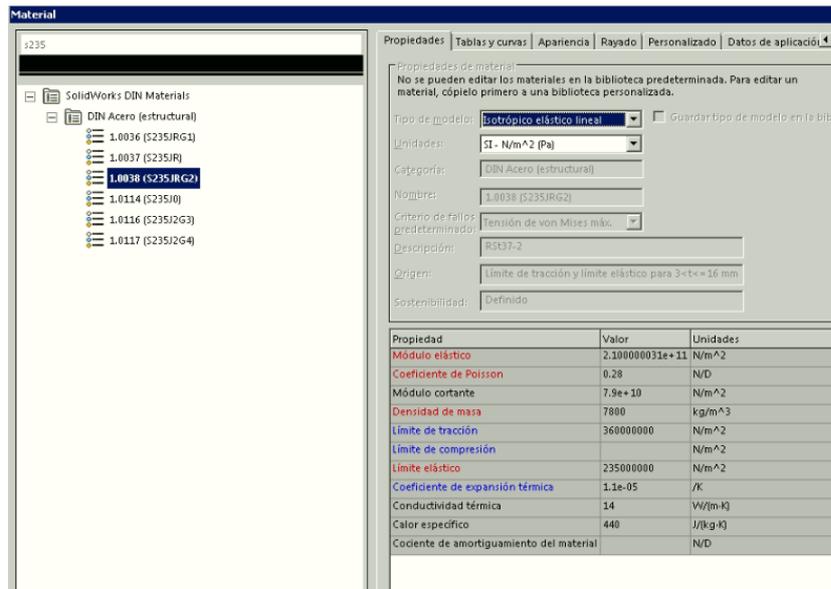


Imagen 42: Material y características SolidWorks

7.7 – Simulación CAE según hipótesis 1

La primera hipótesis a estudiar se realiza aplicando la fuerza en la esquina superior del arco principal delantero, que con ello se simula un impacto en dicho punto, de misma forma como si el vehículo al entrar en un hoyo profundo venciera lateralmente hacia delante impactando.

Esta situación es bastante común en el mundo del trial 4x4 es por ello que se decide aplicar una fuerza en este punto.



Imagen 43: Ejemplo hipótesis 1.

Cabe indicar que la fuerza aplicada es un caso extremo y que en la realización de la actividad a la que está destinada el vehículo es muy improbable que tenga que soportar un esfuerzo de esta magnitud.

El primer paso a realizar es la elección del material. Posteriormente debemos reflejar los puntos de sujeción / bancadas como elementos fijos, indicar el punto de fuerza, su eje y la magnitud de dicha fuerza. Con ello obtendremos el siguiente gráfico, el cual ya estará listo para ser mallado y, seguidamente, calcular las tensiones axiales y de flexión junto a la deformación sufrida por la estructura.

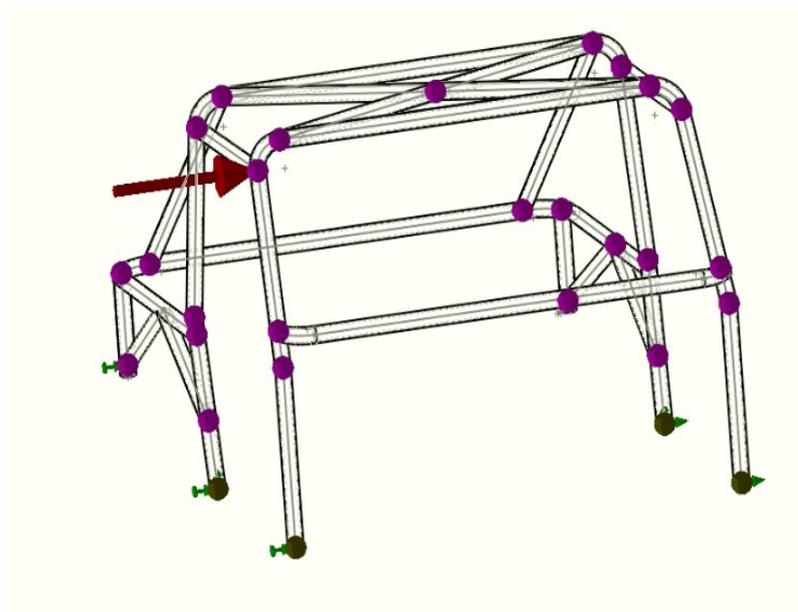


Imagen 44: *Hipótesis 1 – fuerza y punto de aplicación*

En la primera simulación se aplica un escalado de 2.14. Esto se aplica para poder observar las deformaciones, dado que si no se escalara éstas serían prácticamente inapreciables al ojo humano.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno
 Enrique J. Félez Ortiz

Nombre del modelo: Barres
 Nombre de estudio: Hipotesis 1(-Default<As Machined>-)
 Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1
 Escala de deformación: 2,13913

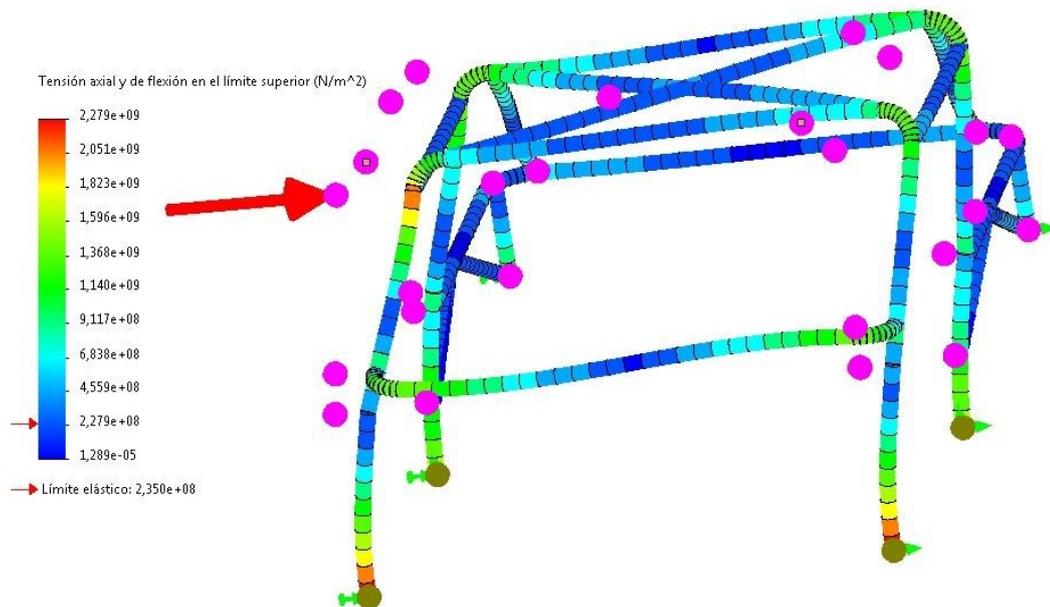


Imagen 45: Hipótesis 1 – Análisis de tensiones.

Tal y como puede observarse en la imagen con la fuerza aplicada y el mallado realizado, la parte que más tensión sufre de la estructura es en los puntos de sujeción al vehículo y en el punto en el que se aplica la fuerza, por lo que se puede determinar que la estructura NO soportaría el impacto, pasando la tensión de fluencia hasta la ruptura.

Dados los resultados obtenidos, existe un coeficiente de seguridad del 10.3%. En todo caso, es un coeficiente de seguridad bajo y por lo tanto no es recomendable que la estructura sufra esta magnitud de fuerza en este punto en concreto.

| |
|---|
| Limite elástico = 2,35e+8 N/m² = 235 N/mm² |
| Tensión axial máxima = 2,279e+9 N/m² = 2.279 N/mm² |
| Coef. de seguridad = Lim. elástico/Tensión axial máxima = 0.103 = 10.3 % |

Nombre del modelo: Barres
Nombre de estudio: Hipótesis 1(-Default<As Machined>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 2,13913

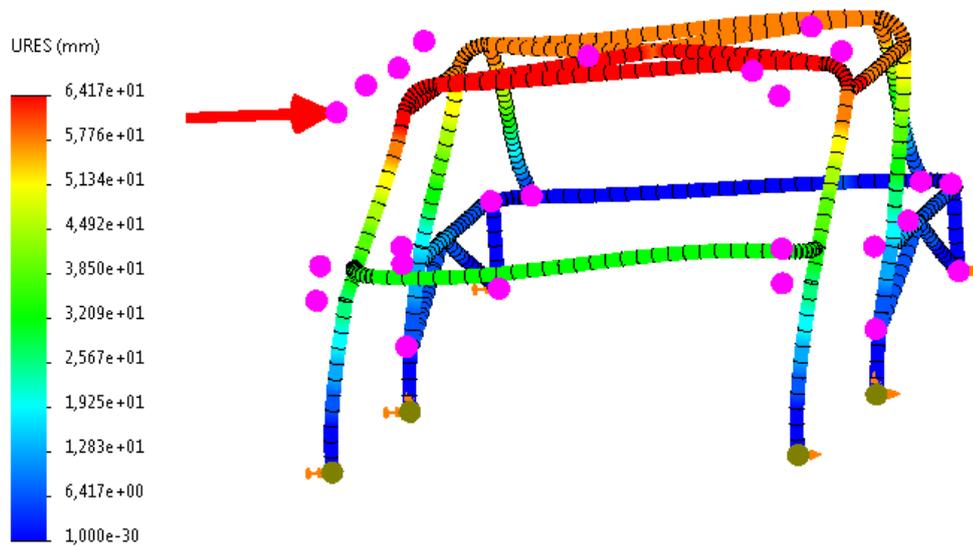


Imagen 46: Hipótesis 1 – Análisis de deformaciones.

Analizado el sistema de tensiones podemos observar que la deformación sufrida por la estructura se centra en la parte superior del arco principal delantero. El impacto mayormente afecta a esta barra, actuando la fuerza de forma perpendicular a la sección.

La deformación es considerable, por lo que se tiene que tener en cuenta y en todo caso buscar una mejora para evitar la deformación. En ningún caso, según los parámetros y resultados obtenidos, se verán afectados los ocupantes del vehículo, pero sí que podría verse afectada la chapa del vehículo.

Sería recomendable realizar un refuerzo en la parte central del larguero para evitar el exceso de deformación.

Deformación unitaria máxima = 64,17 mm

7.8 – Simulación CAE según hipótesis 2

En la segunda hipótesis se realiza una simulación aplicando la fuerza en el punto medio del segundo arco principal de la estructura. Con ello se quiere representar otro caso común en las pruebas de trial 4x4, ya que ese punto está sometido a esfuerzos en caso de vuelco una vez se está en el interior del hoyo.

Numerosas veces, al introducir las ruedas en el hoyo por la fuerza de la gravedad y la inclinación del vehículo, éste tiende a volcar apoyando la superficie lateral contra el terreno.



Imagen 47: Ejemplo hipótesis 2

Cabe indicar que la fuerza aplicada es un caso extremo y que en la realización de la actividad a que está destinada el vehículo es muy improbable que tenga que soportar un esfuerzo de esta magnitud.

Además, otra de las situaciones que podemos encontrarnos es al realizar la salida del agujero, dónde el vehículo tiende a apoyarse en este punto. Es por ello que se realiza este análisis.

Los pasos a realizar para el estudio son idénticos a los anteriores, realizando la elección del material, fijar los puntos de sujeción fija o bancadas, indicar el punto de fuerza con su eje y su magnitud. Con todo ello obtendremos el siguiente gráfico, quedando listo para ser mallado y calcular las tensiones axiales, de flexión y deformaciones de la estructura según la hipótesis planteada.

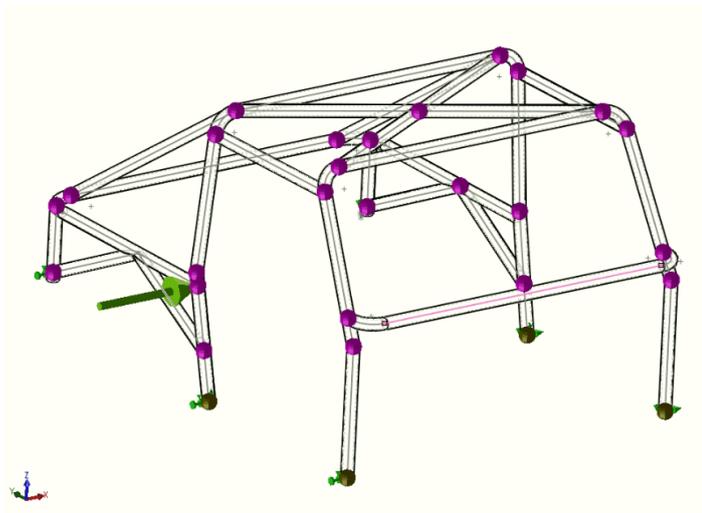


Imagen 48: Hipótesis 2 – fuerza y punto de aplicación

En esta hipótesis se plantea un escalado de 5,22. En este punto, al existir más cantidad de barras la deformación debería ser inferior, por lo que se escala a un valor más alto para apreciar dicha deformación.

Nombre del modelo: Barres
Nombre de estudio: Hipotesis 2(-Default<As Machined>-)
Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1
Escala de deformación: 5,22445

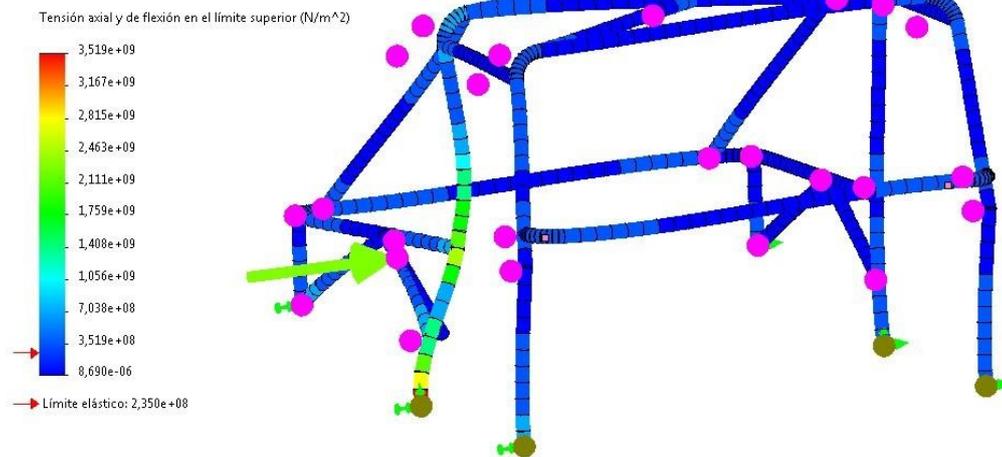


Imagen 49: Hipótesis 2 – Análisis de tensiones.

Realizado el análisis de tensiones, podemos observar que el punto en el que se ejerce más tensión es en punto de fijación con el vehículo con el chasis. Este punto no podrá soportar la tensión aplicada por lo que romperá. No obstante, del resto de la estructura podemos determinar que absorbe correctamente el impacto, siendo totalmente asumible y quedando comprendido en el límite elástico.

Dada la gran tensión que se acumula en el punto de sujeción, nos indica que éste debe ser reforzado para evitar su ruptura, ya que en el análisis realizado no se ha tenido en cuenta los elementos de sujeción y tornillería.

Es por ello que seguramente y si no se refuerza los elementos de sujeción, la estructura podría romperse por la sujeción al vehículo en el caso de aplicar esta fuerza extrema.

| |
|---|
| Limite elástico = $2,35e+8 \text{ N/m}^2 = 235 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensión axial máxima = $3,519e+9 \text{ N/m}^2 = 3.519 \text{ N/mm}^2$ |
| Coef. de seguridad = Lim. elástico / Tensión axial máxima = $0,0667 = 6,67\%$ |

Nombre del modelo: Barres
Nombre de estudio: Hipotesis 2(-Default<As Machined>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 5,22445

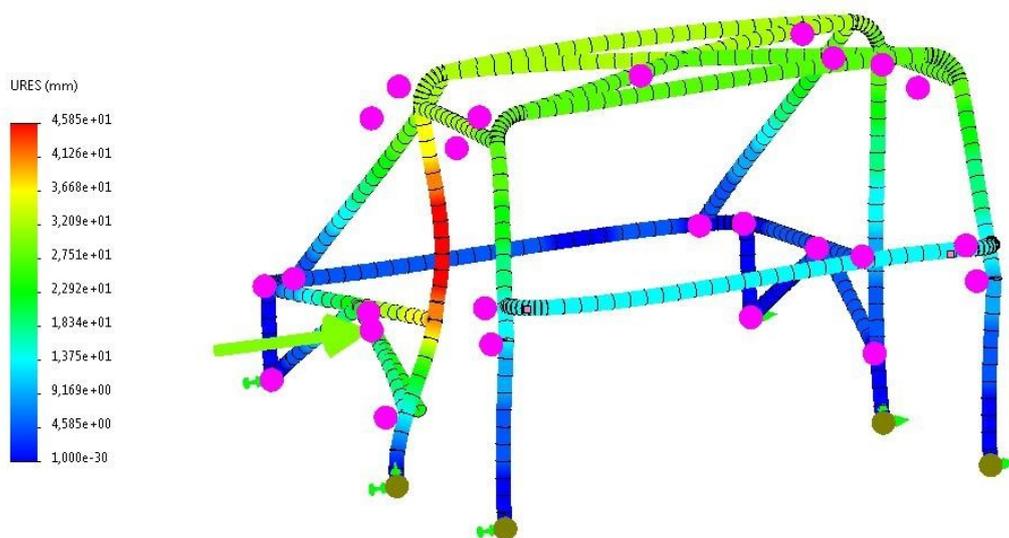


Imagen 50: Hipótesis 2 – Análisis de deformaciones.

Realizado el análisis de tensiones, se puede observar que la deformación máxima sufrida por la estructura se produce en el punto medio-alto del arco principal trasero de la misma.

Debido a la fuerza aplicada y los refuerzos instalados según el diseño original, la parte inferior y trasera prácticamente no se ve deformada. No obstante, la parte superior y punto más débil es donde puede sufrir una deformación en caso de impacto de esta magnitud.

Llevando la situación a la realidad y tal y como está planteado el diseño, la deformación sufrida podría llegar a tocar la chapa del vehículo y es relativamente asumible por la estructura, ya que en ningún caso afectaría a los ocupantes del vehículo.

También un aspecto a considerar es que se está llevando la situación al máximo, pero en ningún caso en la práctica de trial 4x4 el vehículo sufrirá un impacto de la magnitud planteada.

Deformación unitaria máxima = 45,85 mm

7.9 – Simulación CAE según hipótesis 3

En la tercera y última de las hipótesis planteadas se realiza una simulación aplicando la fuerza de misma magnitud que las anteriores (3.5P) en la esquina trasera izquierda de la estructura. En este punto en la realización de pruebas trial 4x4 es bastante común que la zona sufra impacto, al maniobrar marcha atrás o al salir de un hoyo.

También se puede considerar como un elemento de apoyo en la realización de estas pruebas, por lo que se ha considerado oportuno estudiar.



Imagen 51: Ejemplo hipótesis 3.

Cabe indicar que la fuerza aplicada es un caso extremo y que en la realización de la actividad a que está destinada el vehículo es muy improbable que tenga que soportar un esfuerzo de esta magnitud.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Fález Ortiz

Los pasos a realizar para el estudio nuevamente son los mismos a los anteriores, realizando la elección del material, fijar los puntos de sujeción fija o bancadas, indicar el punto de fuerza con su eje y su magnitud.

Con todo ello obtendremos el siguiente gráfico, quedando listo para ser mallado y calcular las tensiones axiales, de flexión y deformaciones de la estructura según la hipótesis planteada.

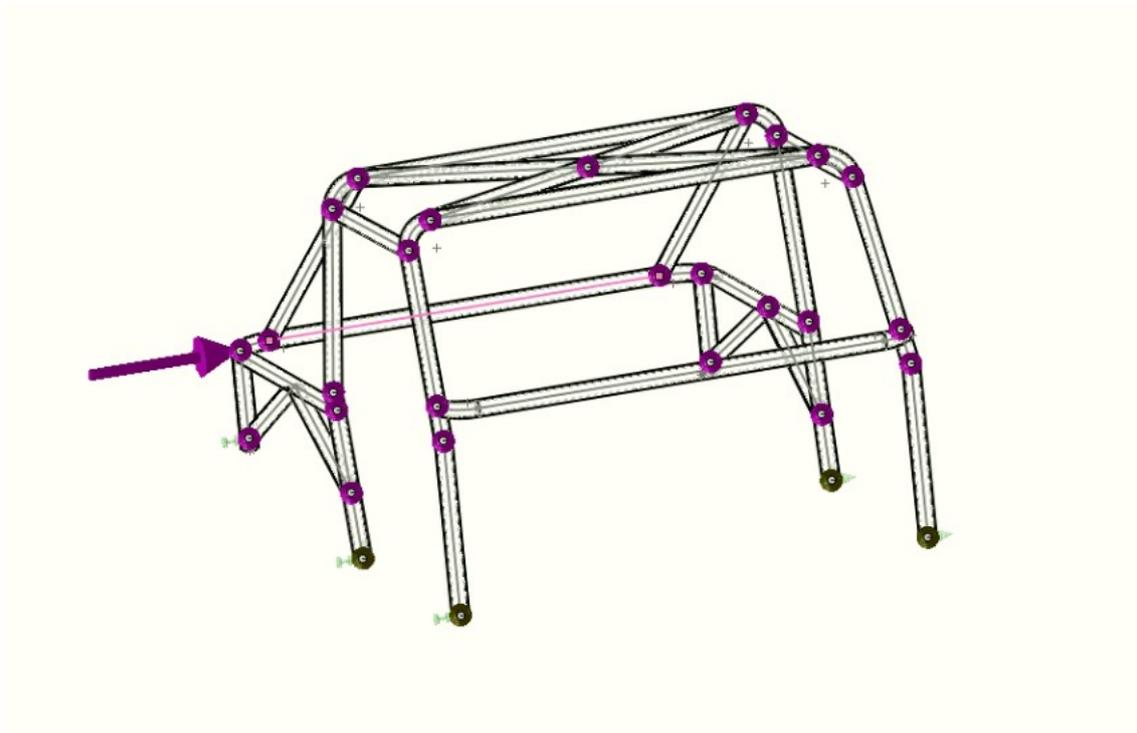


Imagen 52: *Hipótesis 3 – fuerza y punto de aplicación*

En este caso se realiza un escalado de casi 20, dado que en comparación con las simulaciones anteriores tanto las tensiones como las deformaciones son mucho inferior a las planteadas. Esto puede estar relacionado a que en la zona se introdujeron los refuerzos, y que la bancada se encuentra en un punto mucho más cercano que en las hipótesis anteriores.

Nombre del modelo: Barres
 Nombre de estudio: hipótesis 3(-Default<As Machined>-)
 Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1
 Escala de deformación: 19,9776

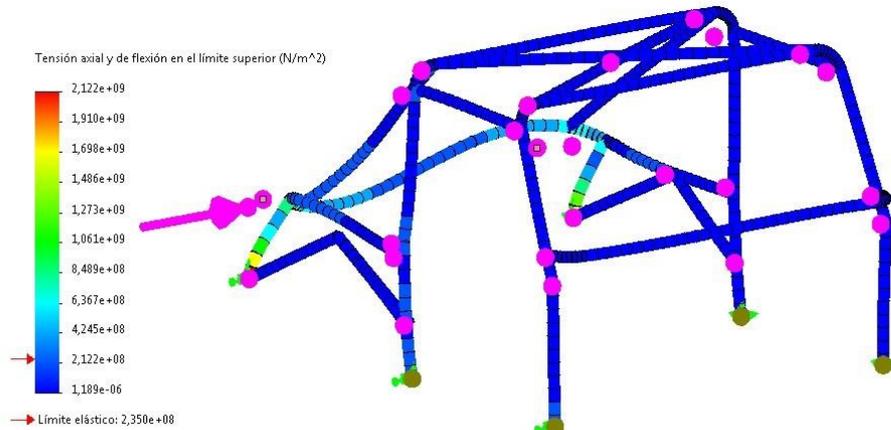


Imagen 53: Hipótesis 3 – Análisis de tensiones.

En este último caso, de igual forma a los anteriores, el punto más solicitado de la estructura se encuentra en la bancada o sujeción al vehículo. No obstante, la magnitud de la tensión es inferior a la resultante en el análisis anterior. Esto se debe claramente a que este punto de la estructura es bastante rígido, y esto puede venir determinado por 3 factores:

- El primero y primordial es que en este punto existe una curvatura, lo que divide las tensiones y hace que el punto sea mucho más fuerte, tal y como puede apreciarse también en la primera hipótesis.
- El segundo es que el punto de sujeción al vehículo está mucho más cercano, por lo que el momento que se aplica es inferior.
- Como último factor que se considera importante es que se ha diseñado esta parte con unos ángulos de aprox. 45° que refuerzan notablemente esta parte de la estructura.

Llegando a una conclusión similar a la de la primera hipótesis planteada, éste es el punto calculado que más tensión podría soportar. No obstante, seguimos en unos coeficientes de seguridad bajos, por lo que de igual forma que en los casos anteriores, debería reforzarse los elementos de sujeción con el vehículo ya que la estructura sigue rompiendo y superando la tensión máxima de ruptura.

| |
|--|
| Límite elástico = 2,35e+8 N/m² = 235 N/mm² |
| Tensión axial máxima = 2,122e+9 N/m² = 2.122 N/mm² |
| Coef. de seguridad = Lim. elástico / Tensión axial máxima = 0,1107 = 11,07% |

Nombre del modelo: Barres
Nombre de estudio: hipotesis 3(-Default<As Machined>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 19,9776

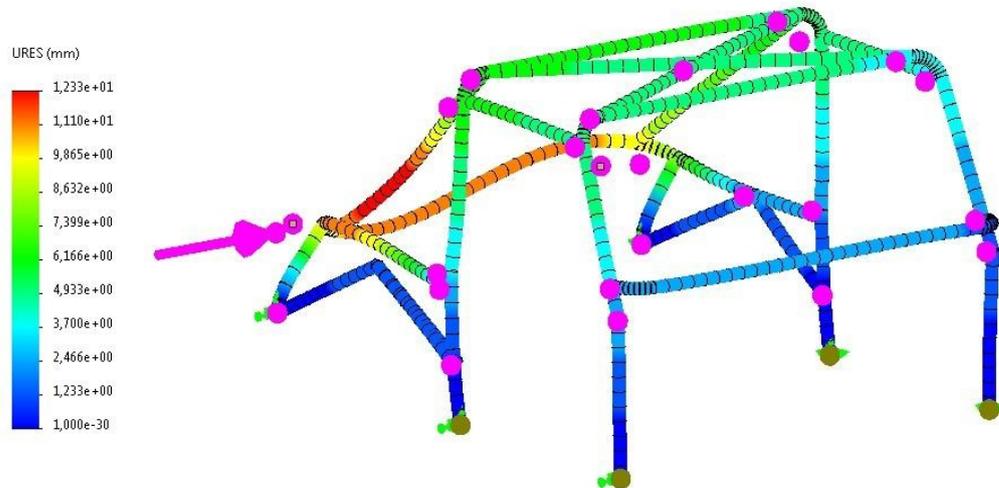


Imagen 54: Hipótesis 3 – Análisis de deformaciones

Realizado el análisis de las tensiones, podemos observar que la deformación que sufre la estructura en caso de impacto es muy leve y en este caso podría impactar muy levemente en la chapa del vehículo.

Todo ello puede venir directamente relacionado con los factores mencionados en el análisis de tensiones, por lo que podemos determinar que la estructura en el punto solicitado es muy resistente a las deformaciones y en todo caso soportaría los posibles impactos que ésta pueda sufrir.

Deformación unitaria máxima = 12,33 mm

7.10 Conclusión de los resultados obtenidos

7.10.1 Estudio analítico manual

En relación a los resultados obtenidos por el cálculo analítico manual, se ha intentado realizar un cálculo lo más semejante a la realidad y a la estructura definida. En todo caso y al ser una estructura conformada por numerosas barras, existiría una matriz de tensiones y coordenadas muy extensa. Para ello se utilizan los métodos de cálculo de dibujo CAE.

Tal y como se indica en estos cálculos, existen variaciones en las distancias definidas por el dibujo mediante SolidWorks. No obstante, en este caso no se desea encontrar un valor definido de los esfuerzos, ni de las deformaciones que puedan surgir en el caso de las hipótesis planteadas, dado que para ello ya se realiza el estudio exhaustivo CAE.

El fin de este cálculo analítico es analizar teóricamente los valores para así poder determinar si la estructura es resistente en base a la normativa.

En las tres hipótesis planteadas encontramos que el esfuerzo a sufrir por la estructura es bastante grande, existiendo unos coeficientes de seguridad muy bajos, pero también unas deformaciones relativamente bajas.

En relación a los esfuerzos sufridos por la estructura, no se ha contemplado la totalidad de la misma, sino seccionando por barras los impactos. En todo caso, el recibir un impacto la estructura distribuye todas las tensiones a través de ella, resultándonos una matriz muy extensa y compleja.

Cabe destacar que la estructura va fijada directamente al chasis del vehículo, por lo que no únicamente deberá soportar el impacto, sino que por la distribución de tensiones el chasis también absorbería parte de la fuerza aplicada, disminuyendo en todo caso la tensión resultante.

En el caso de las deformaciones calculadas, en las 3 hipótesis planteadas la deformación unitaria es relativamente leve y dentro de parámetros, por lo que en ninguno de los casos calculados la estructura tocaría la chapa del vehículo y aún menos podría dañar a los ocupantes del mismo. Un aspecto bastante importante a tener en cuenta, ya que lo primordial y esencial de la estructura es la protección del vehículo que seguro que recibirá impactos y evidentemente de los ocupantes en su interior.

7.10.2 Estudio CAE

La fuerza aplicada de $3,5 P$ es una fuerza de una gran magnitud a la que difícilmente el vehículo se vaya a ver sometida, pero en este análisis se trata de una estructura hiperestática que queremos que se deforme hasta el límite estipulado de 100mm.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Féliz Ortiz

La deformación de la estructura minimiza el impacto en el vehículo y de sus ocupantes. El aspecto más importante a considerar es que en ningún caso se chafe el habitáculo, pudiendo afectar a los ocupantes del vehículo.

La tensión axial en las 3 hipótesis planteadas se encuentra muy por encima del límite elástico, por lo que seguramente la estructura acabe rompiendo. No obstante, según el criterio que nos indica la normativa al aplicar una fuerza de $3.5 P$, la estructura no debe deformarse más de 10cm, por lo que dicho criterio sí que se cumple.

El estudio a partir de las 3 hipótesis planteadas nos indica que los elementos y puntos más solicitados se encuentran en las bancadas. Esto nos lleva a pensar en cómo se podría solucionar o cuales pueden ser los motivos que indican tanta sollicitación de la estructura en estos puntos.

Tras analizar exhaustivamente las posibilidades de la sollicitación, las bancadas NO aguantaran la tensión sollicitada, acabando éstas por romperse. Cabe indicar que el diseño de la estructura se realiza de tal manera que distribuya los esfuerzos a través de toda la superficie. En este caso no se ha tenido en cuenta el chasis del vehículo, pero es un elemento primordial, dado que la estructura va directamente anclada a éste y el esfuerzo, que se observa tan sollicitado en los puntos de fijación al chasis, también se verá repartido por el mismo.

No obstante, la estructura de barras no puede sobredimensionarse porque en este caso podría verse afectado y doblado el chasis, lo cual no sería adecuado, no siendo el fin que se desea alcanzar, ya que podría poner en peligro a los ocupantes y ocasionar una reparación mucho más costosa.

En todo caso la fuerza aplicada de 3,5 veces el peso máximo autorizado del vehículo, es una fuerza planteada para realizar el cálculo de la seguridad, que en caso de ser sometida en la estructura, puedan sufrir ocupantes del vehículo.

Se plantea desde la normativa que sea un elemento de seguridad para la carrocería del vehículo, por lo que podemos determinar que analizadas las deformaciones que sufre la estructura esta se podrá ver afectada, pero sin poner en peligro a los ocupantes del vehículo. Según las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos, seguramente sí que se vea afectada la chapa del vehículo.

Como conclusión final del estudio CAE y las conclusiones extraídas, se puede determinar que la estructura cumple con la normativa establecida y por lo tanto es homologable.

7.10.3 Conclusión del estudio

Una vez realizados los cálculos analíticos y el estudio CAE a través del programa SolidWorks, podemos determinar que la estructura soporta la fuerza aplicable de 3.5 veces el peso máximo del vehículo, sufriendo leves deformaciones que en ningún caso superarán el límite de los 100mm que marca la normativa.

En todo caso podrán impactar las barras contra la chapa, pero no se deberían ver afectados los ocupantes del vehículo.

La estructura es destinada a la protección de ocupantes, por lo que se deformará absorbiendo la estructura el esfuerzo y la mayor parte del impacto, viéndose minimizada la fuerza que pudiera absorber los ocupantes en el caso de impacto.

Como conclusión final de los cálculos realizados, el análisis de tensiones, esfuerzos y deformaciones, podemos indicar que la estructura soportará correctamente los esfuerzos a los que podría estar sometido según las restricciones que nos indica la normativa, que al aplicar una fuerza de 3,5 veces el peso del vehículo no sufrirá deformaciones superiores a los 10cm y en todo caso esta fallará y romperá.

Como mejora se aconsejaría reforzar los puntos de sujeción al chasis mediante unos tirantes que anclasen éste con la estructura para así distribuir mejor las tensiones. También sería adecuado introducir goma en las fijaciones de anclaje al vehículo, ya que así se retiene gran parte de las tensiones acumuladas en este punto.

No obstante, en el presente análisis no se ha diseñado el chasis completo del vehículo, pero las grandes tensiones también se distribuirán a través de éste, el cual por material y construcción será mucho más resistente y podrá aguantar esfuerzos mucho más grandes que la estructura que se ha diseñado.

8. COSTES TOTALES Y HORAS DE TRABAJO

Se calcula de la forma más aproximada posible el valor total invertido en el vehículo, desde su compra hasta de manera desglosada, cada uno de sus elementos implementados.

Cabe destacar que la inversión ha sido progresiva en el tiempo, por lo que no ha sido una inversión directa.

Se estima también el tiempo aproximado invertido de mano de obra. Seguramente se han dedicado muchas más horas, pero se ha tenido en cuenta una relación como si la fabricación fuese realizada por un especialista.

Se estima que la suma total invertida es de 7.624 Euros, teniendo en cuenta el coste de los materiales y sin tener en cuenta la mano de obra, ya que se ha realizado por el propio autor del proyecto.

En caso de que estos trabajos fueran realizados por un taller o especialista, se determina que la mano de obra rondaría sobre las 102 horas, estimando un precio/hora medio de 45€, que incrementaría el precio en 4.590 Euros. Con ello se ahorra una gran cantidad de dinero, comprando el material uno mismo y realizando las modificaciones, siempre que se disponga de conocimientos básicos y una infraestructura para la realización de los trabajos.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno
 Enrique J. Félez Ortiz

| Descripción | Importe | Mano de Obra |
|---|-------------------|--------------|
| Compra del vehículo | € 1.900,00 | - |
| Gastos administrativos de la compra | € 300,00 | - |
| Matricula trasera | € 15,00 | 30min |
| Escape y adaptación | € 40,00 | 2h |
| Neumáticos 225/75 R15 | € 380,00 | 30min |
| Llantas Plasma 4x4 ET-20 | € 200,00 | 30min |
| Separadores de rueda | € 90,00 | 2h |
| Aletines | € 20,00 | 4h |
| Barras de hierro 48x3 mm | € 150,00 | 1d 21h |
| Chapas y recortes de hierro | € 100,00 | 4h 30min |
| Tornillería anclaje barras | € 15,00 | - |
| Elementos de soldadura | € 60,00 | - |
| Dobladora de tubo | € 120,00 | - |
| Pintura para hierro | € 25,00 | 3h |
| Semi-baquets Issota | € 200,00 | 2h |
| Luz Led delantera | € 120,00 | 30min |
| Luz led trasera | € 35,00 | 30min |
| Cabrestante | € 449,00 | 2h |
| Sistema de suspensión | € 100,00 | 4h |
| Radio | € 30,00 | 30min |
| Emisora | € 55,00 | 30min |
| Luz led interior | € 35,00 | 30min |
| Pintura interior | € 20,00 | 4h |
| Chapa y pintura exterior | € 500,00 | 6h |
| Bloqueo de diferencial | € 1.250,00 | 5h |
| Reductora 6.50;1 | € 850,00 | 6h |
| Rejilla delantera | € 5,00 | 30min |
| Gastos complementarios (revisiones, batería, cableado, fusibles...) | € 560,00 | 8h |
| SUMA TOTAL (IVA incl.) | € 7.624,00 | 4d 6h |

Imagen 55: Tabla de costes.

CONCLUSIONES

El proceso de modificación y homologación de un todoterreno en el ámbito europeo es muy laborioso, dado que está mucho más restringido que en otros continentes. No obstante, tras mucho esfuerzo y dedicación, se pueden realizar diversas modificaciones en un vehículo para adaptarlo a las necesidades del usuario.

Tras el conocimiento básico de los fundamentos de las homologaciones, se ha podido descubrir cada uno de los aspectos por las que se rigen y se adaptan a las circunstancias actuales. No obstante, éstas se modifican y evolucionan según el ámbito social del momento, por lo que siempre se debe consultar cada una de las normativas en el momento de realizar una modificación que quiera ser homologada.

En el proceso de reforma, tal y como se describe en el proyecto, se divide en tres grupos:

- 1) Las modificaciones homologables, que son todas aquellas que se han realizado con consciencia de poderse adaptar a la normativa y de las cuales se deberán legalizar para su circulación por las vías públicas
- 2) Las modificaciones no homologables, alguna de ellas por simple seguridad o estética a la hora de realizar pruebas de Trial 4x4, y otras de ellas por la necesidad de ser utilizadas (como por ejemplo una barra de led de largo alcance) ya que en las salidas nocturnas la visibilidad disminuye considerablemente.
- 3) Algunas de las modificaciones son realizadas básicamente por afición al deporte y por adaptar el vehículo a superar obstáculos cada vez más difíciles y arriesgados, pero otras de ellas son modificaciones básicas para la realización de off-road, y otras de ellas no pudiéndose homologar a día de hoy, pudiéndose en todo caso, pero debiendo invertir una gran cantidad de dinero en los materiales con licencia de homologación (Ej. Semi-bakets).

Por otra parte, y desde un ámbito mucho más técnico, al realizar todo el diseño de la estructura de barras se ha considerado idónea la realización de éstas de la manera más próxima a la realidad. Por ello, la simulación realizada y los valores obtenidos no han sido fallidos, de manera que la estructura diseñada podrá soportar los esfuerzos y fuerzas solicitadas sin poner en riesgo a los ocupantes del vehículo y cumpliendo la normativa de que no deformará más de 10cm o en todo caso se romperá la estructura.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno Enrique J. Félez Ortiz

Como punto a mejorar de la estructura, se aconsejaría reforzar los puntos de anclaje al chasis, dado que en estos puntos es donde se ha obtenido una mayor tensión. Además, incluir la cruz en X en la parte trasera de la estructura, podría dar una mayor estabilidad al conjunto de la misma.

El objetivo principal de este proyecto es realizar la homologación del vehículo según lo descrito, por lo que el objetivo futuro y una vez se supere el grado, se procederá a recoger toda la información recabada en el proyecto, transcribiéndola en un informe técnico y cumplimentando toda la documentación que debe ser entregada para efectuar la homologación tanto al laboratorio técnico como a la ITV.

En el punto más personal y junto a la afición y experiencia de más de 8 años en el mundo del 4x4, el vehículo que se ha tratado es una de las mejores opciones para iniciarse, siendo un vehículo de mecánica simple el cual transmite sensaciones al instante por su rigidez y asentamiento en el terreno, además de ser un vehículo de coste relativamente bajo y muy común en el mercado.

LÍNEAS FUTURAS

En el punto de finalizar este proyecto han surgido numerosas dudas de cómo podría avanzar, de si tendría la estructura de barras un lugar en el mercado, de si se podría introducir en una fabricación industrial, o se seguiría una fabricación artesanal y qué técnicas implicarían estos procesos, entre otras muchas cuestiones.

Así, considera que este proyecto puede dejar muchas puertas abiertas de enfoque al futuro. Con posterioridad a la fabricación de las barras artesanales tratadas en este proyecto, el herrero realizó una nueva estructura de características similares en un vehículo de la misma marca y modelo, por lo que, gracias al análisis realizado, y toda la toma de datos (las cuales se facilitaron al herrero) se ha podido seguir construyendo barras de este tipo.

No obstante, dadas las circunstancias que nos acontecen socialmente y por motivos laborales, este es un aspecto que queda planteado y posiblemente en el futuro pueda retomarse, ya que es muy interesante, incluso de cara a un ámbito comercial.

En todo caso y dada la actividad laboral en un gabinete pericial y de ingeniería, en un futuro cercano se ha planteado y propuesto la realización de homologación de reformas de importancia de vehículos.

AGRADECIMIENTOS

Durante el transcurso de todo el proceso de modificación se ha ido teniendo ayuda de diferentes personas, tanto a nivel de conocimientos como por ayuda y por afición.

Primeramente, agradecer a la empresa Inpreper S.L., empresa de la que se forma parte que está dedicada a la ingeniería y peritación, donde se ha recibido un gran apoyo, incluso dando la opción a abrir nuevas vías de negocio realizando homologaciones de vehículos.

A parte de ello, el vehículo se guarda y deposita en las instalaciones familiares, donde también se ha facilitado herramientas y un lugar de trabajo y procede agradecer toda su colaboración y ayuda que ha sido proporcionada.

Todo el proceso de soldadura, conformación de la estructura y el suministro de materiales fue facilitado por compañeros y amigos que han estado ayudando al largo de todo el proceso.

Se agradece por el gran trabajo de soldadura y conocimientos de herrero a David Copovi en el caso de la jaula central y a Gerard Carrero en el caso de las barras delanteras.

Por el suministro de material y ayuda en muchas de las modificaciones y el conformado de la estructura a Pere Tutusaus.

Se debe destacar que, durante el proceso, sobre todo del conformado de las barras antivuelco se han dedicado muchas horas y paciencia en el duro trabajo.

Agradecer por la ayuda en la revisión de sintaxis y ortografía del documento a Aroa Ruiz, la cual ha sido de gran ayuda, tanto para la parte de la revisión del documento y también en el proceso de modificación de algunas partes del vehículo.

Finalmente agradecer al tutor y director del trabajo Gerard Sanz, por facilitar la ayuda necesaria en todo el proceso de diseño y marcar todas y cada una de las pautas a seguir para la realización del documento.

BIBLIOGRAFIA

- Applus Servicios Tecnológicos. *Idiada. Homologación Mundial*. Calle Campezo, 1 edificio 3, 28022 Madrid. 2018. <https://www.applusidiada.com/global/es/what-we-do/service-sheet/homologacion-mundial>
- Applus Servicios Tecnológicos. *Sistema de Información y Reglamentación*. Calle Campezo, 1 edificio 3, 28022 Madrid. 2018. <https://www.applusidiada.com/global/es/what-we-do/service-sheet/sistema-de-información-regulatorio---iris>
- ElChapista.com. Compartir y Saber. *Definición de Automóvil*. Avda. Príncipe de Asturias 2 BQ 1º 1ªG – 28670 – Villaviciosa de Odón. http://www.elchapista.com/informacion_automoviles.html
- Federación de Empresas de La Rioja. *Vehículos, Tráfico y Transportes*. C/ Hermanos Moroy nº8, 26001 Logroño, La Rioja. 2019. https://sie.fer.es/esp/Asesorias/Vehiculos_Trafico_Transportes/menu_2525.htm
- Gobierno de España. Ministerio de Defensa. *Legislación Nacional. Homologación de Vehículos*. Por Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial en. Departamento de Plataformas y Vehículos Terrestres. <http://www.inta.es/WEB/PLATAFORMAS/es/legislacion/>
- Gobierno de España. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. *Temas de interés en Calidad y Seguridad Industrial*. P. de la Castellana 160, C.P. 28046 Madrid, España. <http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial7>
- Gobierno de España. Ministerio de Industria, Comercio y Competitividad (Marzo 2018). *Manual de Reformas de Vehículos*. Revisión 4ª. http://www.f2i2.net/documentos/Isi/STO_Vehiculos/Reformas/ManualReformasVehiculosRev4.pdf
- Gobierno de España. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Avda. de Manoteras, 54 - 28050 Madrid. 2019. <https://www.boe.es/buscar/legislacion.php>
 - 70/222/CEE. Emplazamiento de la placa de matrícula posterior.

Proceso de modificación y homologación de un vehículo todo terreno
Enrique J. Félez Ortiz

- 76/756/CEE. Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa.
 - 70/157/CEE. Nivel Sonoro admisible.
 - 70/220/CEE. Emisiones.
 - 70/311/CEE. Mecanismos de Dirección.
 - 78/549/CEE. Guardabarros.
 - 92/21/CEE. Masas y Dimensiones (Automóviles).
 - 92/23/CEE. Neumáticos.
 - 75/443/CEE. Velocímetro y Marcha Atrás.
 - 71/320/CEE. Frenado.
 - 70/221/CEE. Modificación, Incorporación o Desinstalación de elementos en el exterior del vehículo.
 - 78/549/CEE. Guardabarros.
 - 92/21/CEE. Masas y Dimensiones (Automóviles).
 - 74/483/CEE. Salientes Exteriores.
-
- Grados Material Mundial. Norma Europea EN. *Material 1.0038 Acero S235JR Propiedades, equivalència, ficha técnica.* <https://www.materialmundial.com/en-1-0038-acero-s235jr/>
 - Incafe. Projectes i Disseny Incafe, SLU. *Barras, tubos y chapas.* Plaça Illa, 12 – 15A. Pol. Ind. Illa Sud. Sallent. <https://www.incafe2000.com/>
 - Mapfre. Motor canales Mapfre. *¿Para qué sirven las barras antivuelco?.* <https://www.motor.mapfre.es/accesorios/noticias-accesorios/barras-antivuelco-coches/#:~:text=Las%20barras%20usadas%20como%20antivuelco,del%20coche%20y%20sus%20ocupantes>
 - Tormetal. *Técnico propiedades mecánicas.* <https://tormetal.com/wp-content/uploads/2017/03/6-TMT-CAT-FIX-AP-Tecnico-Propiedades-Mecanicas.pdf>
 - Unión Europea, 1998-2019. <https://eur-lex.europa.eu>
 - 2003/102/CE. Protección de peatones.
 - 2005/66/CE. Sistemas de protección delantera.
 - 96/27/CE. Colisión lateral