



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

ESTUDIO DE DISEÑO DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

TRABAJO FINAL DE GRADO

Nicolás Reyes de Caralt

Tutora: Montserrat Sánchez

Grado en Ingeniería en Tecnologías
Industriales

UPC ESEIAAT

Enero 2021

RESUMEN

Este trabajo de final de grado tiene como objetivo el diseño de un chasis de un vehículo eléctrico.

En primer lugar, se recoge información sobre las variaciones existente de chasis en el mercado automovilístico actual. Se valoran los distintos tipos y se selecciona aquel que se considera que se adapta mejor al proyecto y a la idea de diseño.

A continuación, se estudian los diferentes factores que se deben tener en cuenta en el diseño de un chasis. Existen factores de esfuerzos, que deben analizarse siempre teniendo en cuenta los requerimientos del chasis y factores geométricos cuyas variaciones cambian radicalmente el comportamiento del chasis.

Después de un razonamiento del concepto de vehículo que se diseña, se realiza un estudio de los componentes de un vehículo eléctrico para poder distribuirlos correctamente en el chasis.

A continuación, se realiza un estudio ergonómico, con el objetivo de optimizar las medidas interiores del chasis y que estas sean las más adecuadas para sus ocupantes.

Una vez obtenida toda la información nombrada, se realiza el primer diseño de chasis, siendo este uno tubular de un vehículo arenero. Se realiza a continuación un estudio de material y se selecciona aquel que se considera más adecuado.

Con el fin de comprobar el comportamiento del chasis frente a posibles situaciones, se realizan una serie de simulaciones, tanto de impactos, de conducción y aerodinámicas. A partir de los valores obtenidos en dichas simulaciones se analizan aquellos resultados poco satisfactorios. Se estudian posibles cambios y se realiza una segunda versión mejorada del chasis. Posteriormente, se repiten las simulaciones anteriores con las mismas condiciones y se comparan los valores obtenidos de las dos versiones.

El trabajo finaliza con un estudio de impacto medioambiental y otro de presupuestos.

ABSTRACT

This TFG has as objective the design of a chassis of an electric vehicle.

First, information is collected on existing chassis variations in the current automotive market. The different types are evaluated and the one considered to be best suited to the project and the design idea is selected.

Next, the different factors to be taken into account in the design of a chassis are studied. There are stress factors that are analyzed to be incorporated, always taking into account the requirements of the chassis. But there are also geometrical factors whose variations radically change the behavior of the chassis.

After a study and reasoning of the concept of the vehicle to be designed, a study of the components of an electric vehicle is carried out in order to subsequently select its distribution on the chassis.

Next, an ergonomic study is carried out, with the aim of ensuring that the interior measurements of the chassis are the most suitable for its occupants.

Once all the information mentioned has been obtained, the first chassis design is made, this being the tubular one of a buggy. A study of the material is then carried out and the one considered most suitable is selected.

In order to check the behavior of the chassis in possible situations, a series of simulations are made, impact, driving and aerodynamics. Based on the values obtained in these simulations, those results that are not satisfactory are analyzed. Possible changes are studied, and a second improved version of the chassis is made. Afterwards, the previous simulations are repeated with the same conditions and the values obtained from the two versions are compared.

ÍNDICE

1. Objetivo	8
2. Contexto actual	8
3. Estado del arte	9
3.1 Información del componente estructural	9
3.2 Tipos de chasis según construcción	9
4. Factores en el diseño de un chasis.....	11
4.1 Esfuerzos	11
4.2 Factores de diseño	11
4.2.1 Rigidez	11
4.2.2 Fatiga.....	13
4.2.3 Aerodinámica	14
4.2.4 Solicitaciones.....	15
4.3 Factores geométricos.....	15
5. Concepto del vehículo arenero eléctrico	17
5.1 Concepto vehículo todoterreno	17
5.2 Concepto del vehículo eléctrico.....	18
5.2.1 Componentes eléctricos.....	18
5.2.2 Distribución	19
6. Estudio ergonómico	20
7. Primer Diseño.....	22
7.1 Perfil tubular.....	22
7.2 Triangulación.....	23
7.3 Diseño estructural.....	23
7.3.1 Frontal	24
7.3.2 Techo.....	25
7.3.3 Laterales	26
7.3.4 Suelo.....	27
7.3.5 Parte trasera.....	27
7.3.6 Conjunto.....	28
7.4 Estudio del material	30
7.5 Propiedades físicas.....	32
7.5.1 Centro de masa	32
8. Simulaciones.....	34

8.1	Estudio de las simulaciones.....	34
8.1.1	Simulaciones de impacto	34
8.1.2	Simulaciones de conducción	35
8.1.3	Simulación aerodinámica	35
8.2	Realización de simulaciones.....	35
8.2.1	Simulación impacto frontal	36
8.2.2	Simulación impacto lateral.....	38
8.2.3	Simulación vuelco.....	40
8.2.4	Simulación paso por bache	41
8.2.5	Simulación torsional por cambio de pesos	43
8.2.6	Simulación aerodinámica	44
8.3	Análisis de resultados de simulaciones.....	48
8.3.1	Resultados de simulaciones de impacto	49
8.3.2	Resultados de simulaciones de conducción.....	49
8.3.3	Resultados simulación aerodinámica.....	50
9.	Diseño final.....	51
9.1	Mejoras aplicadas.....	52
9.2	Propiedades físicas.....	54
10.	Repetición de simulaciones.....	56
10.1	Ejecución repetición de simulaciones	56
10.1.1	Impacto frontal.....	56
10.1.2	Impacto lateral	57
10.1.3	Vuelco.....	58
10.1.4	Simulación paso por bache	59
10.1.5	Simulación torsional.....	61
10.1.6	Simulación aerodinámica	62
11.	Análisis de resultados.....	65
11.1	Resultados de simulaciones de impacto	65
11.2	Resultados de simulaciones de conducción.....	65
11.3	Resultados de simulación aerodinámica.....	65
11.4	Valoración del prototipo	66
12.	Resumen de los presupuestos	67
12.1	Coste de actividades.....	67
12.2	Coste material informático y licencias	67
12.3	Coste total del proyecto.....	68
13.	Impacto medioambiental.....	69



14.	Conclusiones.....	70
15.	Proyectos futuros	71
16.	Agradecimientos	72
17.	Bibliografía	73

Índice de tablas

Tabla 1: Medidas iniciales	24
Tabla 2: Tipos de tuberías	30
Tabla 3: Propiedades de los aceros	31
Tabla 4: Propiedades física del chasis	32
Tabla 5: Resultados simulaciones de impacto	49
Tabla 6: Resultados simulaciones conducción	49
Tabla 7: Resultados simulación aerodinámica	50
Tabla 8: Tipos de barras prototipo 2	54
Tabla 9: Resultados simulaciones de impacto 2	65
Tabla 10: Resultados de simulaciones de conducción 2	65
Tabla 11: Resultados simulación aerodinámica 2	65
Tabla 12: Coste de actividades	67
Tabla 13: Coste material informático y licencias	68
Tabla 14: Coste total del proyecto	68

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Chasis independiente	9
Ilustración 2: Chasis autoportante	10
Ilustración 3: Chasis tubular	10
Ilustración 4: Esquema fatiga	14
Ilustración 5: Batalla de un vehículo	16
Ilustración 6: Ancho de vías de un vehículo	16
Ilustración 7: Arenero actual	17
Ilustración 8: Distribución de componentes vehículo eléctrico	19
Ilustración 9: Valores antropométricos	20
Ilustración 10: Ángulos en posición conducción	21
Ilustración 11: Cono de visión	21
Ilustración 12: Secciones tubulares	22
Ilustración 13: Triangulación geométrica	23
Ilustración 14: Frontal chasis	24
Ilustración 15: Frontal chasis vista 2	25
Ilustración 16: Techo chasis	26
Ilustración 17: Laterales chasis	26
Ilustración 18: Suelo chasis	27
Ilustración 19: Parte trasera chasis	28
Ilustración 20: Conjunto chasis vista 1	28
Ilustración 21: Conjunto chasis vista 2	29
Ilustración 22: Conjunto chasis vista 3	29
Ilustración 23: Distribución tuberías	30
Ilustración 24: Centro de masas	33
Ilustración 25: Posición juntas	36
Ilustración 26: Tensiones en simulación impacto frontal	37

Il·lustració 27: Deformacions en simulació impacte frontal	38
Il·lustració 28: Tensions en simulació impacte lateral.....	39
Il·lustració 29: Deformacions en simulació impacte lateral.....	39
Il·lustració 30: Tensions en simulació vuelco	41
Il·lustració 31: Deformacions en simulació vuelco	41
Il·lustració 32: Deformació en simulació bache.....	42
Il·lustració 33: Factor de seguretat en simulació bache.....	42
Il·lustració 34: Rotació simulació torsional.....	43
Il·lustració 35: Model equivalente aerodinàmic prototip 1.....	45
Il·lustració 36: Càlcul àrea frontal model equivalente prototip 1.....	46
Il·lustració 37: Simulació aerodinàmica, velocitats de l'aire	47
Il·lustració 38: Simulació aerodinàmica, pressions.....	47
Il·lustració 39: Simulació aerodinàmica, direccions.....	48
Il·lustració 40: Resultats forces aerodinàmiques.....	48
Il·lustració 41: Disseny prototip final	52
Il·lustració 42: Techo prototip 2.....	53
Il·lustració 43: Laterals prototip 2.....	53
Il·lustració 44: Distribució de barres prototip 2.....	54
Il·lustració 45: Centre de massa prototip 2	55
Il·lustració 46: Tensions simulació 2 impacte frontal	56
Il·lustració 47: Deformacions simulació 2 impacte frontal	57
Il·lustració 48: Tensions simulació 2 impacte lateral.....	57
Il·lustració 49: Deformacions simulació 2 impacte lateral.....	58
Il·lustració 50: Tensions simulació 2 vuelco	58
Il·lustració 51: Deformacions simulació 2 vuelco.....	59
Il·lustració 52: Deformació simulació 2 bache.....	60
Il·lustració 53: FDS simulació 2 bache	60
Il·lustració 54: Giro simulació 2 torsió	61
Il·lustració 55: FDS simulació 2 torsió	61
Il·lustració 56: Model equivalente aerodinàmic prototip 2.....	62
Il·lustració 57: Càlcul àrea frontal prototip final.....	62
Il·lustració 58: Simulació aerodinàmica prototip final, velocitats aire.....	63
Il·lustració 59: Simulació aerodinàmica prototip final, pressions relatives.....	63
Il·lustració 60: Simulació aerodinàmica prototip final, direccions.....	64
Il·lustració 61: Resultats forces aerodinàmiques 2	64

1. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto consiste en realizar el estudio de diseño de un componente estructural de un vehículo, en este caso, un vehículo eléctrico. En este estudio se realizará un diseño 3D de un chasis con el que se comprobará, mediante simulaciones, la viabilidad estructural del diseño en distintas situaciones con las que dicho vehículo se puede encontrar. Concluiremos el trabajo con un estudio medioambiental y de presupuesto.

El alcance del proyecto será:

- Estudio del componente estructural y del tipo de vehículo.
- Estudio de los requerimientos técnicos del componente.
- Estudio del material
- Diseño del prototipo 1
- Simulaciones
- Diseño del prototipo 2 realizado en base a las mejoras del prototipo 1
- Simulaciones finales
- Estudio medioambiental.
- Estudio de costes.

En el diseño del componente estructural se han marcado una serie de requisitos que deberán cumplirse. Estos son:

- Capaz de resistir los esfuerzos a los que será sometido, sin presentar ningún tipo de deformación excesiva o fractura.
- Proporcionar seguridad a los ocupantes del vehículo.
- Peso reducido.
- Materiales respetuosos con el medio ambiente.

2. Contexto actual

Cada día la sociedad es más consciente del problema que supone la contaminación en nuestro medio ambiente, por ello constantemente se proponen soluciones que permitan reducir el impacto humano en el planeta. Una de las mayores revoluciones actualmente es la eliminación de las emisiones de dióxido de carbono provenientes de los vehículos a motor de combustión. La industria automovilística está apostando por vehículos eléctricos, iniciando así una auténtica revolución en el concepto de coche. En esta evolución se deberán adaptar todos los distintos componentes que forman los vehículos y optimizarlos en el uso de esta nueva tecnología.

Este trabajo tiene como objetivo, el estudio y diseño de un componente estructural de uno de los vehículos eléctricos de la nueva era del automóvil. Se deberá estudiar la transformación que sufren tales componentes y qué cambios se deben realizar en la evolución de vehículo de combustión a otro impulsado de forma eléctrica.

3. Estado del arte

3.1 Información del componente estructural

Entendemos como componente estructural aquel que tiene como objetivo proporcionar una respuesta determinada ante el sometimiento de esfuerzos mecánicos. En un vehículo el componente estructural principal es el chasis. Este núcleo estructural es el esqueleto sobre el cual se sustentan otros elementos del vehículo, es un armazón metálico que da soporte al resto de elementos tales como suspensiones, motor, carrocería y otros componentes del automóvil. Además de ser el soporte de diversos elementos del vehículo también se encarga de absorber todos los esfuerzos manteniendo dichos elementos en su lugar y proporcionando estabilidad y seguridad a los ocupantes. (Gómez Morales 2016)

Las cualidades principales que debe todo chasis son:

- Rigidez, debe soportar grandes esfuerzos sin sufrir deformaciones.
- Elevada resistencia a la fatiga no debe perder sus cualidades con el tiempo o debido a las repeticiones de esfuerzos.
- Ligereza, para no quitar aportar un peso excesivo al vehículo para mantenerlo ágil y poder aprovechar la potencia del motor.

3.2 Tipos de chasis según construcción

Existen diversos tipos de chasis según su construcción, los más comunes son:

- El chasis independiente:

Es un elemento rígido que soporta el peso, las fuerzas del motor y la transmisión dejando la carrocería muy poca función estructural. Esta fue la única técnica de construcción hasta que en el siglo XX fue substituida por el chasis autoportante. En la actualidad este tipo de chasis sólo se encuentra en vehículos todoterrenos, camionetas grandes, deportivos utilitarios y algunos automóviles americanos.



Ilustración 1: Chasis independiente

- El chasis autoportante

En la carrocería autoportante, la chapa externa del vehículo soporta parte o toda la carga estructural del vehículo. Este se compone de un bastidor y una carrocería que se encuentran unidos mediante remaches o soldaduras formando una carrocería completa. Actualmente, casi el total de los automóviles, tienen un chasis de este tipo realizando las uniones de distintos componentes mediante soldadura de puntos. Los cristales también forman parte de la estructura del vehículo aportando rigidez.



Ilustración 2: Chasis autoportante

- El chasis tubular

La técnica del chasis tubular utiliza como estructura finos tubos metálicos soldados entre sí. La técnica aporta una carrocería de alta rigidez y resistencia con un peso muy reducido, por contraparte la producción es costosa y complicada. (Lewandowski 2015)



Ilustración 3: Chasis tubular

4. Factores en el diseño de un chasis

4.1 Esfuerzos

Toda carrocería debe diseñarse teniendo en cuenta los esfuerzos a los que se verá sometido el vehículo. Dependiendo del tipo de vehículo y su función, se deberá potenciar más la resistencia a algunos esfuerzos o a otros. A continuación, se explicarán dichos esfuerzos y en qué situaciones de conducción surgen.

- Esfuerzo de torsión: Se entiende como torsión la sollicitación que se presenta al aplicarse un momento sobre el eje longitudinal de un elemento. En los vehículos aparecen esfuerzos de torsión en el paso por terrenos irregulares donde se forma un desplazamiento vertical de los ejes.
- Esfuerzos de flexión: Un esfuerzo de flexión es aquel que genera una deformación en la dirección perpendicular al eje longitudinal en un elemento estructural. Este esfuerzo es el producido por el peso global, formado por el vehículo en si, los ocupantes y la carga.
- Esfuerzo de tracción: El esfuerzo de tracción es aquel al que está sometido un cuerpo al estar afectado por dos fuerzas de sentido contrario que tienden a estirarlo. Estos esfuerzos ocurren en las aceleraciones del vehículo.
- Esfuerzo de compresión: El esfuerzo de compresión surge al someter un cuerpo a dos fuerzas de sentido contrario que tienden a reducir su volumen. Surgirán estos tipos de esfuerzos en las frenadas que realice el vehículo.
- Esfuerzos de cizalladura: Estos esfuerzos son los producidos por fuerzas tangenciales al cuerpo. Se producirán este tipo de esfuerzos en los impactos de una única rueda del eje delantero o trasero. (SPB 2016)

4.2 Factores de diseño

En el diseño un chasis se debe de tener en cuenta diferentes factores y sollicitaciones cómo son:

4.2.1 Rigidez

La rigidez es la oposición que ofrece una estructura al intentar deformarla. Su medida cualitativa se muestra mediante el coeficiente de rigidez K . Esta oposición puede ser de diferentes tipos:

· Rigidez axial: Capacidad de resistir intentos de alargamiento en el eje del elemento estructural. Sigue la fórmula:

$$K = \frac{F}{\sigma} = \frac{E A}{L}$$

F: Fuerza aplicada

σ : Desplazamiento obtenido

E: Módulo de Young del material

A: Sección de la barra

L: Longitud de la barra

· Rigidez flexional: Es la relación que hay entre el momento flector que se aplica en uno de los extremos del elemento estructural y el ángulo girado en ese extremo al deformarse considerando la barra empotrada en el otro extremo. Sigue la fórmula:

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{E I}{L}$$

M: Momento aplicado

θ : Ángulo girado

I: Segundos momentos de área de la sección transversal

· Rigidez frente a cortante: es la relación entre los desplazamientos verticales de un extremo y el esfuerzo cortante aplicado en los extremos para provocar dicho desplazamiento

$$K = \frac{V}{\sigma} = \frac{12E I}{L^3}$$

V. Esfuerzo cortante

· Rigidez torsional: Es la relación entre el momento torsor que se aplica en uno de los extremos de la estructura y el ángulo girado por este extremo considerando fijo el extremo contrario.

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{G J}{L}$$

G: Módulo elástico transversal

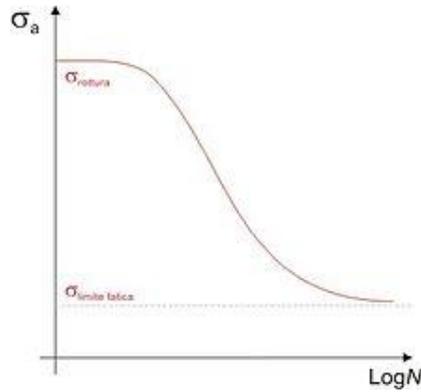
J: Momento de inercia torsional

El estudio de la rigidez adecuada en un chasis es esencial, ya que existen peligros debidos a unas rigideces excesivamente blanda y otros debidos a unas demasiado elevadas. Como regla general una menor rigidez proporcionará una capacidad mayor de flexionar y por tanto menor probabilidad deslizamiento, es decir, mayor agarre.(SPB 2016)

4.2.2 Fatiga

La fatiga de materiales es un fenómeno en el cual aparece una rotura en el material debido a unas cargas dinámicas cíclicas. En el diseño del chasis se debe tener en cuenta aquellas zonas que sufrirán más esfuerzos para proteger o reforzarlos, evitando su rotura pasado un tiempo. Es útil conocer el número de ciclos que puede soportar un elemento estructural soportando unas cargas, aunque sean fluctuantes como en el caso de los esfuerzos que deberá soportar el chasis al circular por terrenos irregulares.

Otro factor interesante de estudio es el de límite de fatiga. Este es el esfuerzo crítico, el cual, si no se sobrepasa, la estructura puede aguantar un número considerable de ciclos. Este valor solo puede calcularse mediante las curvas S-N. Las curvas S-N son una correlación gráfica entre la tensión aplicada y el número de ciclos que soporta un material hasta la fractura. Si la tensión soportada es mayor, el material soportará un número menor de ciclos. Cada material tiene una curva con una forma determinada. Por ello es también esencial utilizar un material con la vida útil adecuada.



Il·lustració 4: Esquema fatiga

Existen distintos factores que pueden afectar a la fatiga de un elemento estructural, como son la concentración de tensiones, esta se ve reducida por la presencia de puntos con concentración de tensión, la rugosidad superficial del material, cuanto menor sea mejor respuesta a la fatiga y los ambientes agresivos que puedan formar corrosión.

Para alargar la vida útil de un material frente a la fatiga pueden utilizarse tratamientos superficiales de endurecimiento cómo son la cementación o la nitruración

La corrosión es otro de los factores que pueden reducir la vida de un chasis, debe realizarse una adecuada protección.

4.2.3 Aerodinámica

El vehículo se someterá constantemente a las fuerzas de arrastre debido al impacto constante del aire. Es por ello por lo que es muy interesante realizar un estudio aerodinámico e intentar reducir al máximo posible su valor. De este modo se perderá la mínima energía posible en el rozamiento y se diseñará un vehículo mucho más eficiente. La fuerza de arrastre se expresa como:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 c_d A$$

- ρ : Densidad del fluido
- v : Velocidad relativa al fluido
- c_d : Coeficiente de arrastre
- A : Área de referencia

En el estudio aerodinámico de vehículos, el área de referencia es el área frontal, ya que es la que impactará en un primer momento contra el fluido, el aire. Dependiendo de esta área obtendremos una fuerza de arrastre, a una velocidad del vehículo

determinada. Al preferirse una fuerza de arrastre menor, se deberá intentar reducir el área frontal del vehículo. (Antonio y Lozano 2006)

La aerodinámica, además, influye en el consumo de combustible del vehículo y la evacuación de agua a la que es salpicado.

4.2.4 Solicitaciones

Otras solicitudes que se deberán tener en cuenta en el diseño del chasis son:

- Seguridad: En caso de choque el chasis es el elemento estructural principal que deberá absorber el impacto, evitando así que afecte a los ocupantes. En un impacto, el chasis debe evitar la deformación o deformarse de manera controlada. En los estudios de seguridad se analiza de qué forma la estructura se deformará y absorberá la energía del impacto.
- Las vibraciones: Estas, al reducir drásticamente el confort, deben ser minimizadas. Las vibraciones pueden producirse debido al motor, a las suspensiones o a la propia carrocería. Para disminuirlas es esencial un buen diseño de la carrocería con la geometría adecuada, así como el material del que se ha fabricado.
- Reparación: La reparación es otro factor que se debe tener en cuenta en el diseño de los chasis. La facilidad de reparación o la accesibilidad de los diferentes componentes son esenciales en caso de cualquier tipo de avería.

4.3 Factores geométricos

En el diseño de un chasis, el fabricante deberá estudiar la geometría y las proporciones teniendo en cuenta las prestaciones que se desean. A continuación, se explicarán los principales factores y como repercuten sus proporciones en el dinamismo del vehículo.

- Largo: Distancia entre el parachoques delantero y el parachoques trasero.
- Ancho total: Anchura total del vehículo incluyendo los espejos en caso de tenerlos.
- Alto: Distancia entre el suelo y la cota más elevada del vehículo
- Batalla: También conocida como distancia entre ejes, se define por la separación que se encuentra entre el eje delantero del vehículo y el eje trasero.

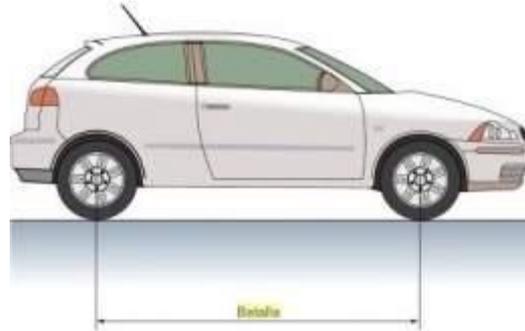


Ilustración 5: Batalla de un vehículo

Este factor influye enormemente las características dinámicas del vehículo. Una batalla larga proporcionará mayor comodidad a los ocupantes en altas velocidades. Por el contrario, una batalla menor, proporcionará mayor agilidad en curva al vehículo.

- Ancho de vías: También conocido como ancho de rodaduras, es la distancia entre las ruedas de un mismo eje.

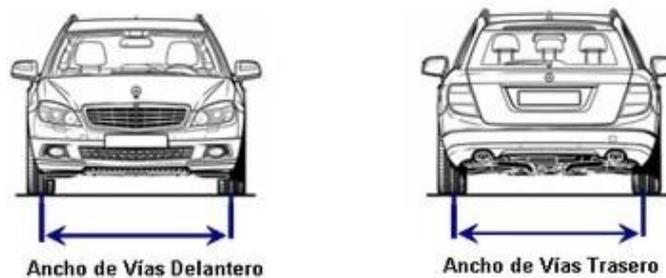


Ilustración 6: Ancho de vías de un vehículo

Un ancho de vía mayor proporcionará una mayor agilidad al vehículo en el paso por curva. Por otro lado, cuanto mayor sea, mayor será la superficie frontal del vehículo, por lo que aumenta su coeficiente de arrastre disminuyendo su velocidad punta.

- Espacio interior:

Este factor es esencial ya que de él no solamente dependerá la comodidad de los ocupantes, sino que también deberá tener en cuenta su evacuación en caso de accidente. El espacio interior debe ser lo suficientemente grande como para no intervenir ni incomodar la conducción del vehículo. Además, se debe proporcionar una cierta comodidad al entrar en él. Para calcular como debe ser este espacio, se analizan las dimensiones de la anatomía humana, intentando que la proporción del habitáculo sea la más adecuada posible. (Martín García y Mochoí Álvarez [2016])

5. Concepto del vehículo arenero eléctrico

5.1 Concepto vehículo todoterreno

En este capítulo deberemos justificar la toma de decisiones en cuanto al concepto de nuestro vehículo. Se deberán analizar qué factores deberán tenerse en cuenta en el diseño del chasis. Además, se identificarán las restricciones y aportarán soluciones para superarlas.

El objeto principal de este trabajo es el estudio estructural de un chasis de un vehículo eléctrico. Cada tipo de vehículo tiene diseños de chasis radicalmente diferentes dependiendo de cuáles sean las prestaciones requeridas.

Por ejemplo, un coche de circuito de velocidad deberá tener un chasis que trabaje y soporte adecuadamente las velocidades en curva, sea aerodinámico, lo más ligero posible y proporcione seguridad al piloto en caso de impacto. Por otro lado, un vehículo utilitario no se verá sometido a esos esfuerzos debidos a las altas velocidades, y no deberá ser tan ligero como en el caso anterior. En este tipo de vehículo se podrá optar por el diseño de un chasis que apueste también por el confort de los ocupantes, pudiendo sacrificar otros factores como la aerodinámica.

Este trabajo se centra en el estudio estructural del chasis, por ello, la elección del tipo de vehículo debe tener como objetivo principal el estudio de su resistencia estructural. Además, el chasis deberá ser diseñado en un programa 3D, realizando posteriormente cálculos y simulaciones. Deberán evitarse tipos de vehículos con chasis con formas que dificulten su análisis.

Con ambos requisitos, chasis centrado en resistencia estructural y de formas no complejas, se ha decidido realizar el estudio y diseño de un chasis de vehículo de tipo arenero. Este tipo de vehículo, también denominado "buggy", tiene un chasis que debe soportar constantes y grandes esfuerzos debidos a los terrenos irregulares por los que circula. Además, el chasis es de tipo tubular por lo que los resultados de los cálculos y simulaciones serán más a acordes a la realidad adoptando el chasis como un conjunto de tubos.

El vehículo arenero está diseñado para circular por caminos montañosos e irregulares. Suele ser un vehículo biplaza con techo rígido. Su chasis ligero, grandes ruedas y suspensión reforzada le permite andar por terrenos intransitables para otro tipo de vehículos.



Ilustración 7: Arenero actual

Este vehículo suele ser de tracción trasera con la disposición del motor también en la parte trasera. Esta configuración de tracción y peso en la parte posterior suele proporcionar una conducción muy dispuesta al sobreviraje.

5.2 Concepto del vehículo eléctrico

En el diseño del chasis se deberá tener en cuenta que formará parte de un vehículo arenero de motor eléctrico. Como se ha especificado en apartados anteriores, una de las funciones que debe cumplir un chasis es soportar y mantener en su lugar los diferentes componentes que forman el vehículo. Al tratarse de un vehículo eléctrico su motor será distinto, de distintas dimensiones y diferente peso. Además, este motor deberá estar alimentado por una serie de baterías que sustituirán al depósito de gasolina. Es necesario estudiar los componentes y decidir una correcta distribución para así adaptar el chasis diseñado a la tecnología de propulsión eléctrica.

5.2.1 Componentes eléctricos

Los vehículos eléctricos pueden tener distintas tecnologías, pero los componentes generales que comparten todos ellos son:

Motor eléctrico: Es el componente principal, dependiendo de qué tipo de motor utilice el vehículo se necesitarán distintos componentes. Es el encargado de convertir la energía eléctrica, suministrada por las baterías, a energía mecánica que desplazará el vehículo.

Un vehículo eléctrico puede tener uno o más motores eléctricos dependiendo de las prestaciones deseadas. Estos motores pueden ser de corriente alterna o corriente continua. En el mercado actual existen dos grandes familias de motores eléctricos: los motores síncronos y los asíncronos.

- El motor síncrono de corriente alterna tiene una velocidad de rotación directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna del que se alimenta. Estos pueden funcionar como motores o generadores.
- El motor asíncrono está formado por un rotor, que puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado, y un estator en el que se hayan las bobinas inductoras.

Actualmente la mayoría de los fabricantes usan motores síncronos.

Baterías: Son las encargadas de almacenar la energía proveniente del cargador en forma de corriente continua. Deberán alimentar al resto del vehículo mediante la energía almacenada, en caso de que el motor eléctrico sea de corriente alterna, las baterías deberán estar conectadas a un inversor.

En el mercado actual las baterías más utilizadas son la de Ion-litio, ya que no presentan memoria de carga, son muy duraderas y pueden soportar muchos ciclos de carga.

Estas son un aspecto clave en la evolución de vehículo eléctrico en el mercado automovilístico, ya que el tiempo de carga requerido y la autonomía que presentan aún están lejos de las cifras que alcanzan los motores de combustión.

Cargador: Su función es la de absorber la corriente eléctrica de la red externa y convertirla en corriente continua para que pueda ser almacenada en las baterías.

Inversores: Sirven para transformar la corriente continua que suministran las baterías, en corriente alterna para la alimentación del motor eléctrico.

Convertidores: Son equipos de transformación de la tensión eléctrica suministrada por las baterías. Suelen reducir su tensión a niveles de unos 12V para poder alimentar a los elementos auxiliares del vehículo. (Rodr, Lafoz y Dpto)

5.2.2 Distribución

Para un correcto equilibrio del chasis deberemos distribuir los componentes previamente descritos.

Los vehículos areneros, suelen tener ubicado el motor en la parte trasera. Además, debido al gran espacio que ocupan las baterías, los vehículos eléctricos suelen ubicarlas en la parte inferior del mismo.

Nuestro chasis deberá respetar los espacios de los componentes y se distribuirán de la siguiente forma:

- Parte frontal o morro: En esta parte se colocarán los componentes eléctricos inversores y convertidores. Estarán protegidos mediante una jaula metálica formada de tubos.
- Suelo: Se colocarán el conjunto de baterías. Mediante un diseño adaptado deberemos ofrecer una buena protección y agarre.
- Parte trasera: En ella se colocará el motor y el sistema de cargador.



Ilustración 8: Distribución de componentes vehículo eléctrico

6. Estudio ergonómico

Es esencial realizar un estudio de las dimensiones del interior del chasis para un correcto manejo del vehículo por parte del piloto.

En este estudio analizaremos la posición del conductor intentando proporcionar la mayor comodidad posible. Esta comodidad pasa por tener un buen acceso a los controles del vehículo y ofrecer una buena visión del exterior. Otro factor que debe tenerse en cuenta en este estudio es el de la facilidad de evacuación del conductor en caso de accidente. Debemos intentar proporcionar una distribución que permita al conductor salir del vehículo de forma rápida y segura.

Para proporcionar la comodidad y seguridad al piloto se estudiarán las medidas y valores antropométricos de la mayoría de la población. De esta manera averiguaremos las medidas mínimas y máximas que debe haber en el interior del vehículo.

A continuación, se muestra una tabla de dichos valores para un percentil 95% tanto en hombres como mujeres. Es decir, las medidas medias del 95% de la población, en este caso en un rango de edad de 19 a 65 años.

Adultos 19-65 años	Valores para un percentil 95 (mm)	
	Hombres	Mujeres
Estatura	1860	1725
Altura tibia	510	474
Altura sentado	975	911
Alcance puño delante	802	745
Longitud codo-puño	397	360
Longitud rodilla-trasero	671	656
Longitud hombro-puño	715	660

Ilustración 9: Valores antropométricos

Estas medidas nos ayudarán en el diseño, como por ejemplo las distancias a los mandos de control del vehículo, asegurándonos la mayor comodidad en la postura de conducción del piloto.

Además de los valores de las distancias es también necesario analizar y estudiar los distintos ángulos en la posición de conducción. Estos deben ser adecuados para asegurar la mayor comodidad en la conducción. A continuación, se muestra una posición de conducción correcta, indicándonos los mínimos y máximos que deben tener los distintos ángulos.

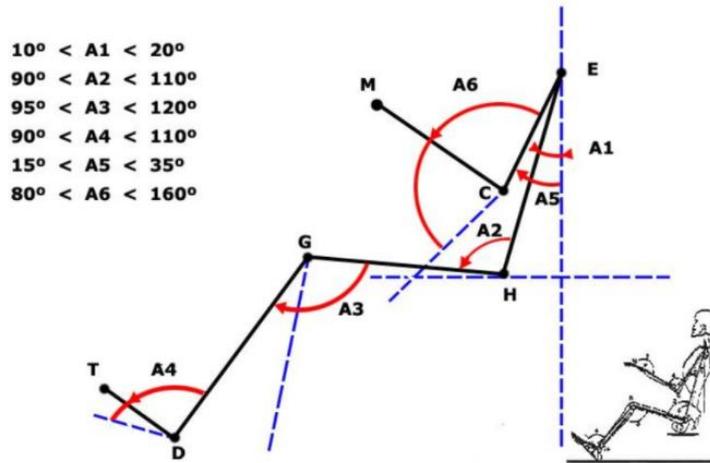


Ilustración 10: Ángulos en posición conducción

El campo visual es otro factor esencial. El diseño del chasis debe permitir al conductor un campo visual lo más amplio posible para poder ver el exterior de forma clara y cómoda.

En las figuras que se muestran a continuación podemos observar en planta y perfil el cono de visión del ser humano. La visión es clara y nítida en ángulos reducidos, a medida que estos aumentan salimos del cono de visión perfecta y hacemos uso de nuestra visión periférica donde los objetos se observan borrosos y menos nítidos. Cualquier sensación que obtenga el conductor desde su visión periférica forzaría al piloto a girar la cabeza y centrar su visión perdiendo un mínimo de 0,5 segundos.

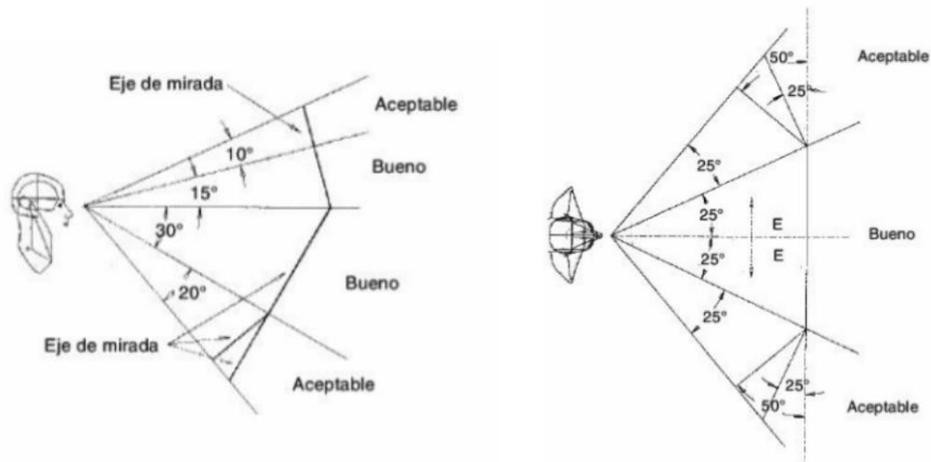


Ilustración 11: Cono de visión

Para respetar la correcta visibilidad del conductor será esencial tener en cuenta este factor en el diseño frontal y concretamente en el diseño del hueco del parabrisas. Éste deberá ser lo suficientemente amplio como para permitir al conductor un buen cono de visión desde su posición.

7. Primer Diseño

Una vez estudiado los factores diseño, las situaciones, esfuerzos a los que será sometido, y disposición que debe ofrecer, podemos realizar el diseño de la primera versión de nuestro chasis.

Los areneros suelen tener un chasis tubular, proporcionando a los ocupantes una jaula protectora rígida capaz de soportar grandes tensiones. La geometría del vehículo suele ser de un morro corto, un gran hueco de parabrisas, en algunos “buggis” podemos encontrar un cristal o mampara, en otros simplemente el hueco. También encontramos un techo rígido de forma cuadrada y una parte trasera que acaba de forma casi vertical.

El primer paso en el diseño del chasis es estudiar de que estará formado. En nuestro caso, tratándose de un chasis tubular deberemos escoger que perfil tubular será el más apropiado.

7.1 Perfil tubular

La primera decisión que se debe tomar en la elección del perfil es si este será tubular o macizo. La estructura de nuestro chasis estará formada por un perfil tubular ya que aguanta una mayor flexión que un perfil macizo del mismo peso.

Existen 2 tipos de perfiles tubulares típicos en la construcción de vehículos tubulares, aquellos de forma redonda y otros rectangulares. Se estudiarán las características de ambos para decidir cual se adapta mejor al diseño del chasis del arenero.



Ilustración 12: Secciones tubulares

- **Tubo de perfil redondo:**
La principal ventaja que ofrece la sección redonda es que está sometida a presión radial externa o interna siendo está más uniforme que en la sección cuadrada. Por otro lado, también ofrece una construcción más sencilla y cómoda en la elaboración de formas complejas que el perfil rectangular.
- **Tubo de perfil rectangular:**
Este perfil tiene mejor dureza, plasticidad, resistencia a la fatiga y resistencia al impacto que las tuberías de la misma dimensión con sección redonda. Debido a la gran sección

transversal y resistencia a la flexión y torsión, permiten reducir material y por lo tanto también peso. (INSTITUTO TÉCNICO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO 2010)

Una vez analizadas ambas posibilidades se ha decidido realizar el diseño del chasis mediante una combinación de ambos perfiles. El suelo o planta del vehículo, se compondrá de un conjunto de red de tubos de perfil cuadrado, aportando mejores prestaciones mecánicas, en una forma suficientemente sencilla para su construcción con este perfil. Para el resto del vehículo, lo que se podríamos nombrar el cuerpo, tendrá formas más complejas y curvas que dificultarán su construcción con tubos cuadrados, es por ello por lo que se optará por los de sección circular.

7.2 Triangulación

En el diseño de todas las partes que conformarán el chasis tendremos en cuenta el método de la triangulación en estructuras. La triangulación de las estructuras consiste en el diseño de estas basado en la unión de triángulos, formando de esta manera una estructura geoméricamente indeformable. Esto se debe a que el triángulo es el único polígono que no se deforma al aplicarle una fuerza. El resto de los polígonos no son rígidos por definición si no se triangulan o se asegura la rigidez mediante los materiales seleccionados o sus juntas. Mediante la triangulación conseguimos la indeformabilidad geométrica, no necesariamente mecánica. (Antonio y Glez)

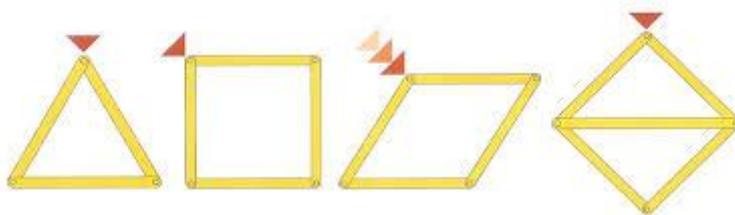


Ilustración 13: Triangulación geométrica

7.3 Diseño estructural

Una vez seleccionado el perfil tubular de cada componente podemos diseñar el chasis. Se realizará un diseño por partes mediante el programa SolidWorks, respetando los factores estudiados anteriormente. El diseño será mediante el uso de la herramienta del programa Croquis 3D. Con esta herramienta podremos diseñar nuestra estructura para a continuación convertirla en una estructura tubular.

Antes de empezar a diseñar deberemos escoger cuáles serán algunas de las medidas principales del chasis, es decir, escoger la proporción y medidas de los factores geométricos.

Se han escogido las medidas guía que se muestran en la tabla de a continuación:

Factores geométricos iniciales	
Largo	3,6 m
Ancho	2,5 m
Alto	1,4 m
Batalla	3,2 m
Ancho de vías	2 m

Tabla 1: Medidas iniciales

7.3.1 Frontal

En el diseño de esta parte del chasis utilizaremos el método de la triangulación estructural. En caso de impacto frontal, el morro del chasis será crítico en la seguridad de los ocupantes del vehículo. Es por ello, que nos interesa realizar un diseño mediante esta técnica, permitiéndonos aportar a la estructura una mayor rigidez.

En la parte frontal del chasis deberán soportarse las dos suspensiones frontales del vehículo por ello deberemos diseñar unos brazos donde deberán ser colocadas.

Además, el morro o parte frontal de nuestro chasis será la encargada de proteger los componentes eléctricos inversores y convertidores. Es por ello que deberemos dotarle de suficiente espacio en su interior para la colocación de dichos componentes.

El diseño realizado es el siguiente:

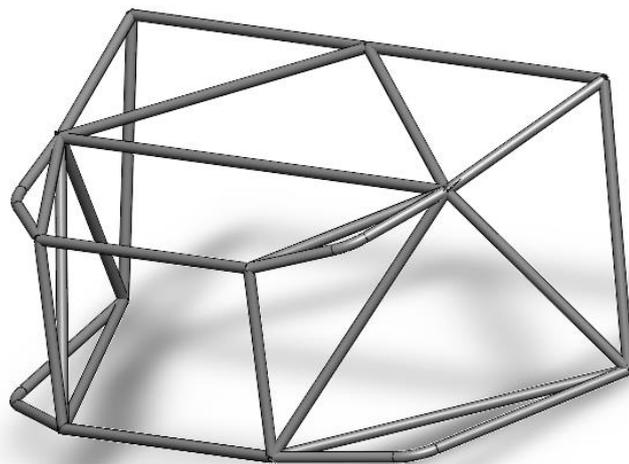
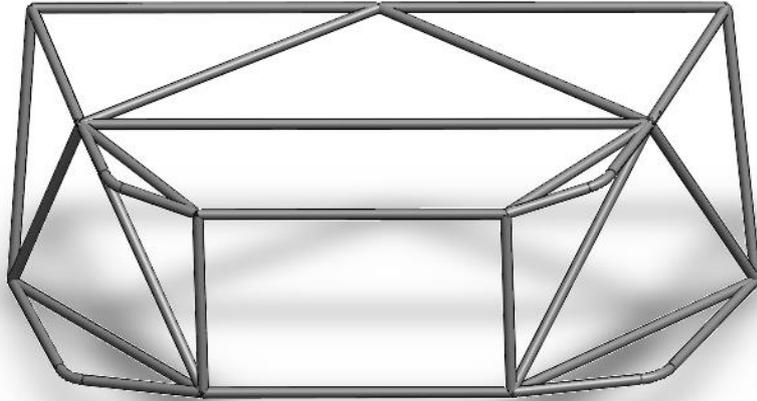


Ilustración 14: Frontal chasis



Il·lustració 15: Frontal chasis vista 2

En los diseños mostrados observamos la técnica de la triangulación tanto en la parte superior el morro, aportando una rigidez en caso de choque frontal, así como en los brazos de las suspensiones. De esta manera, la parte frontal mostrará una mayor resistencia estructural en aquellos esfuerzos trasladados por las suspensiones.

Los brazos de las suspensiones son también de forma triangular con el vértice exterior redondeado, siendo los de la parte superior de menor tamaño que los de la parte inferior. De este modo, las suspensiones quedarán colocadas en posición diagonal hacia el exterior.

7.3.2 Techo

El techo es una parte estructural crítica en la seguridad de los ocupantes del vehículo. Los vehículos areneros son propensos a volcar debido a los terrenos irregulares por los que cruzan. En caso de volcar será esta parte, el techo, la que deberá soportar todo el peso del vehículo evitando la deformación y protegiendo así a sus ocupantes. En el diseño del chasis, el techo está formado por una cruz con el objetivo de repartir de forma equitativa la fuerza del impacto y el peso del vehículo. Además, mediante este diseño se aplica también el método de la triangulación desde cualquiera de sus costados, formando la cruz 4 triángulos simétricos 2 a 2.

Al techo se le une el parabrisas del vehículo, diseñado con un ángulo de apertura para ensanchar el cono de visión de los ocupantes. El parabrisas también forma un ángulo reducido con el resto del cuerpo del vehículo con el fin de ofrecer una menor resistencia aerodinámica. Esta disposición permitirá que la fuerza de arrastre debida al impacto con el aire sea menor, traduciéndose así en una mayor eficiencia en el vehículo.

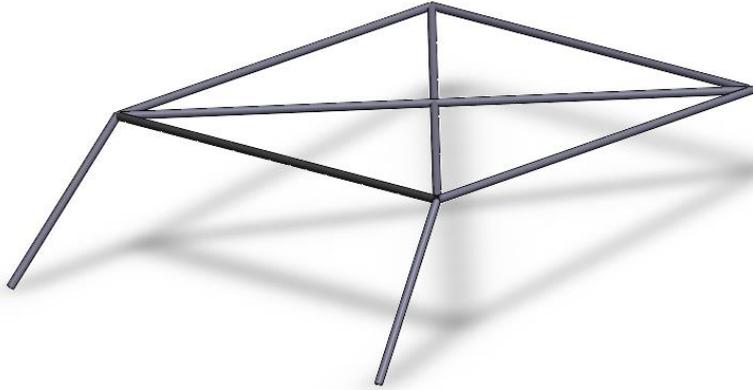


Ilustración 16: Techo chasis

7.3.3 Laterales

En los laterales del chasis es necesario buscar un equilibrio entre la comodidad de los ocupantes al entrar al vehículo, la seguridad de evacuación en caso de accidente y la protección en caso de impacto lateral.

Los laterales deben ser suficientemente rígidos como para soportar un impacto sin deformarse, intentando que dicha deformación de las barras no alcance a los ocupantes. Además, las barras deberán colocarse de tal modo que puedan cubrir el mayor espacio de impacto posible, permitiendo además una rápida evacuación.

Ambos laterales están formados por barras de sección circular formando una cruz unida al suelo del vehículo. Como en el caso del techo, mediante esta disposición de las barras se pretende distribuir de forma equitativa los posibles esfuerzos a los que serán sometidos, además de introducir nuevamente la triangulación para evitar, en lo máximo posible, su deformación. Con este diseño se pretende ocupar el mayor espacio posible para los diversos tipos de posibles impactos, pero ofreciendo un espacio libre en la parte superior que servirá agilizará la entrada y salida del vehículo.

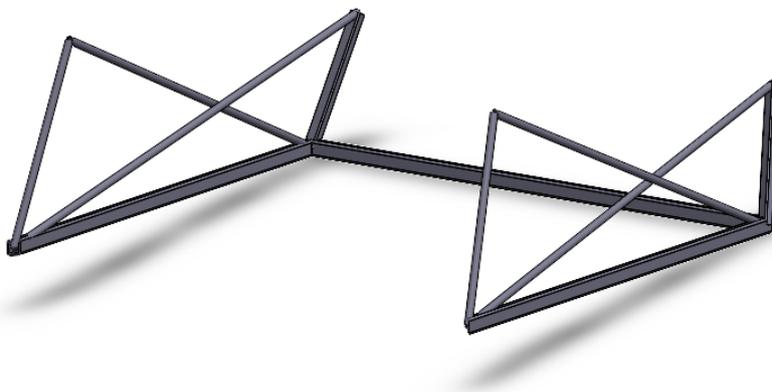


Ilustración 17: Laterales chasis

7.3.4 Suelo

El suelo del vehículo es la única parte formada por tubo de sección cuadrada. Su forma recta y sencilla permite usar este tipo de sección para la construcción. Estos ofrecen mejores prestaciones mecánicas que las de sección circular.

La estructura deberá ser suficientemente rígida para soportar el peso del vehículo y sus ocupantes. Será la principal unión entre la parte posterior y anterior del vehículo por lo que deberá resistir grandes esfuerzos generados por la irregularidad del terreno.

Otro factor que debe tenerse en cuenta en su diseño es el soporte de baterías. Debe tener una disposición plana, a un mismo nivel, ya que ahí se colocarán el conjunto de baterías eléctricas. Una forma cuadrada permitiría un mejor aprovechamiento del espacio ocupado por dichas baterías.

Teniendo en cuenta los factores y prestaciones que debe cumplir esta parte del vehículo, se ha optado por un diseño cuadrado con 2 barras transversales que aportarán rigidez. En la parte delantera se ha añadido una estructura, respetando la forma del morro, que servirá de soporte a dicha parte.

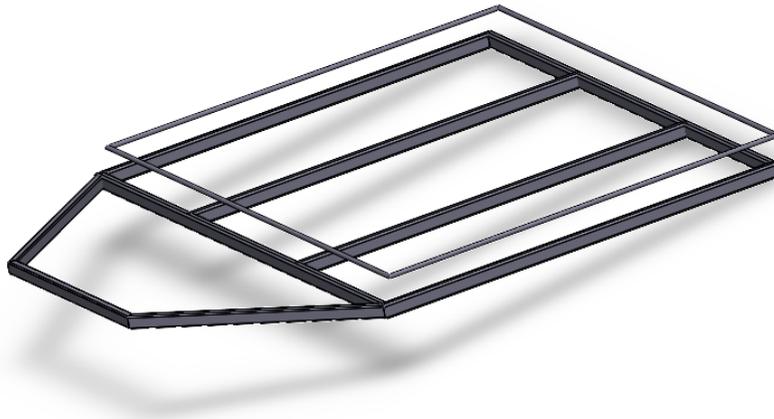


Ilustración 18: Suelo chasis

7.3.5 Parte trasera

La parte trasera será la encargada de soportar el peso del motor eléctrico, además de unir las suspensiones traseras con el resto del vehículo.

Su diseño consta de 2 triángulos que unen techo y suelo por cada lado del vehículo, colocando en la unión de ellos, los brazos que soportarán las suspensiones. Estos brazos son cortos y, de igual manera que los brazos delanteros, con el canto redondeado para aportar seguridad en caso de impacto.

Ambos costados se unen mediante una estructura cuadrada que será la encargada de soportar el motor.

La estructura está formada tanto con barras de sección circular como cuadrada. La parte inferior, formada por el triángulo inferior y la bandeja están formadas por barras cuadradas ya que serán estas partes las que deberán soportar mayores esfuerzos. La parte superior, por el contrario, se formará por tubos de sección circular.



Ilustración 19: Parte trasera chasis

7.3.6 Conjunto

Una vez diseñadas las distintas partes según sus cometidos y las prestaciones que hemos considerado que deben cumplir, unimos todas en el diseño de una única estructura. El conjunto forma el chasis de nuestro vehículo arenero.

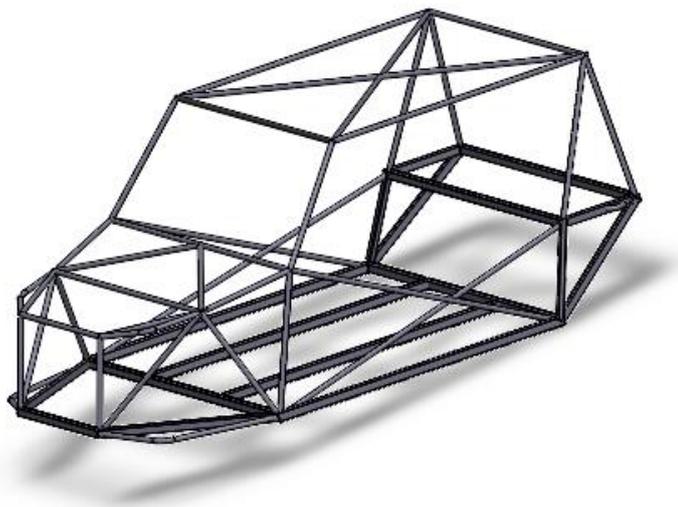
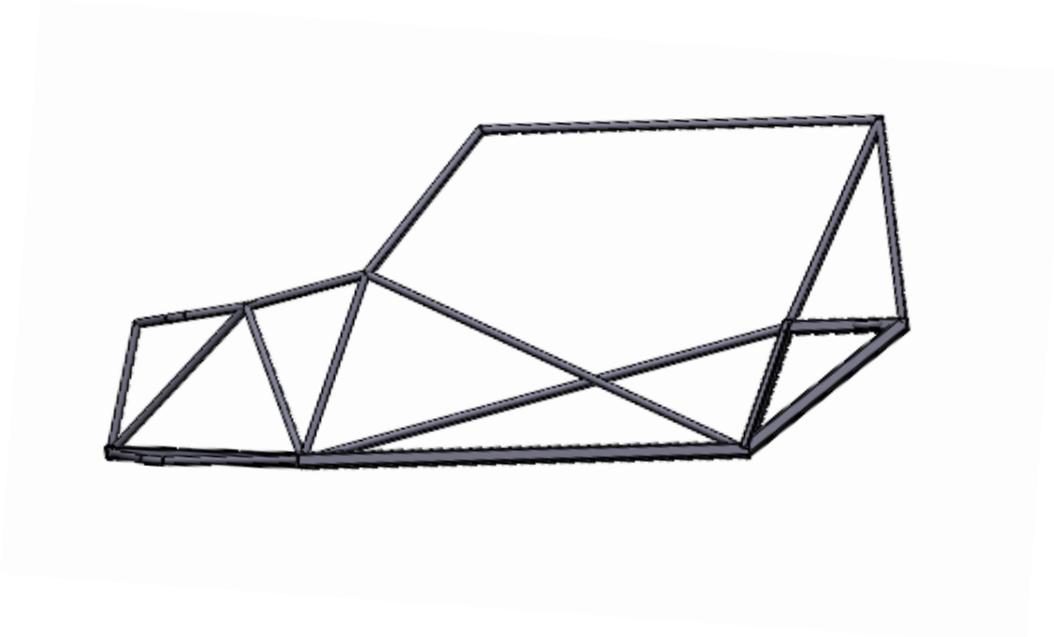
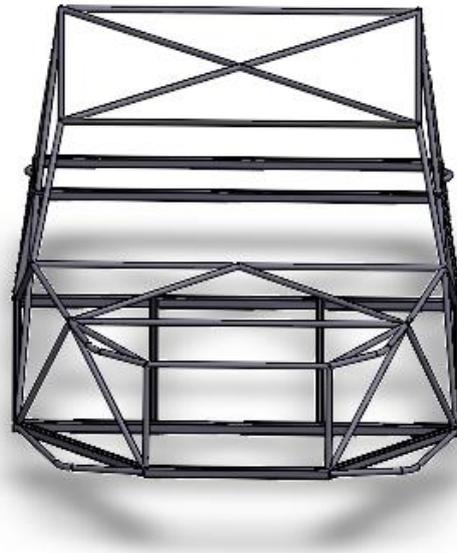


Ilustración 20: Conjunto chasis vista 1



Il·lustració 21: Conjunt chasis vista 2



Il·lustració 22: Conjunt chasis vista 3

Como se ha estudiado anteriormente, cada parte que forma el conjunto del chasis tiene diferentes exigencias por lo que debe ofrecer diferentes prestaciones. Para ofrecer estas prestaciones debemos adecuar el tamaño y sección de las tuberías. De este modo, podremos no solo reforzar aquellas partes que lo requieran sino además reducir el peso del chasis. En el diseño del chasis se han utilizado 3 tipos de tubos que se muestran a continuación.

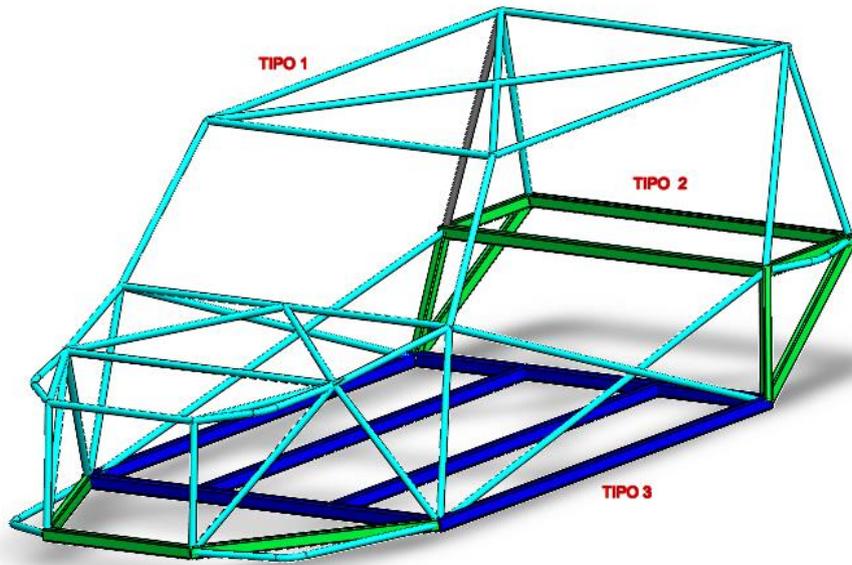


Ilustración 23: Distribución tuberías

Tipo	Perfil	Tamaño	Nº
1	Circular	33,7 X 4,0	51
2	Cuadrado	60 X 40 X 3,2	11
3	Cuadrado	70 X 40 X 5	6

Tabla 2: Tipos de tuberías

7.4 Estudio del material

En este capítulo estudiaremos el material y escogeremos cual es el más adecuado para asegurar las mejores prestaciones en seguridad y mecánica en el chasis del vehículo.

Por las propiedades mecánicas que ofrece el acero, es altamente utilizado en la industria del automóvil. El acero es una aleación de hierro y carbono con un porcentaje de carbono variable entre el 0,08% y el 2% en masa de su composición.

En la elección de nuestro acero, estudiaremos las opciones utilizando la normativa AISI (American Iron and Steel Institute). («Clasificación de Aceros Inoxidables de acuerdo con la norma AISI.») Esta normativa utiliza un esquema general que especifica los diferentes aceros utilizando 4 números:

AISIZYXX

XX Indica el tanto porcentaje de carbono (C) multiplicado por 100.

Y Para el caso de aleaciones simples, el porcentaje aproximado del elemento predominante

Z Indica el tipo de aleación. Los valores que puede adoptar son:

Z=1: Acero al Carbono (corriente u ordinario);

Z=2: Aceros al Níquel;

Z=3: Aceros al Níquel-Cromo;

Z=4: Aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo;

Z=5: Aceros al Cromo;

A continuación, se muestran las propiedades de distintos tipos de acero clasificados en norma AISI:

Aceros	Módulo elástico (N/m ²)	Densidad de masa (Kg/m ³)	Límite de tracción (N/m ²)
AISI 1020	2e +11	7900	420.507.000
AISI 1035 SS	2,05e +11	7849	585.000.002
AISI 304	1,9e +11	8000	517.017.000
AISI 316 SS	1,92e +11	8000	550.000.001
AISI 321 SS	1,93e +11	8000	619.999.997

Tabla 3: Propiedades de los aceros

Como hemos comentado anteriormente, el módulo elástico refleja la rigidez de un material. Buscando en nuestro chasis una alta rigidez, nos interesa un acero con un elevado módulo elástico. Además, deseamos que el peso sea el menor posible, por lo que el valor de la densidad de la masa deberá ser reducido.

En cuanto al límite de tracción, nos interesa que el valor sea suficientemente elevado, pero no tanto como para llegar a un valor innecesario, comprometiendo las otras dos propiedades nombradas. Para tener una referencia clara, de que valor debería ser nuestra referencia, utilizaremos la normativa de la Federación Internacional de Automovilismo y del CERTT. Esta normativa, referente a la seguridad de vehículos todoterreno, estipula que el material debe mostrar una resistencia a la tracción mínima de 350 MPa. («CERTT 2020 CAMPEONATO DE ESPAÑA DE RALLYES TODO TERRENO 2020 REGLAMENTO DEPORTIVO»).

Todos los materiales de la tabla muestran un límite de tracción más que suficiente, para conformar el chasis de nuestro arenero. Por otro lado, los acero con mayor rigidez, son el acero AISI 1020 y el AISI 1035, ambos también con una densidad menor que el resto.

Finalmente, y entre los aceros nombrados que mejor se adaptan a nuestros requisitos se ha seleccionado el acero AISI 1020 debido a su fácil mecanizado y buena soldabilidad.

El nombre del acero AISI 1020, nos indica que se trata de un acero corriente, no aleado y con un 0,20% máximo de carbono (C).

7.5 Propiedades físicas

Seleccionado el material que mejores prestaciones ofrece, calculamos las propiedades físicas del chasis.

Densidad	7900.00 Kg/m ³
Masa	327.73 Kg
Volumen	0.04 m ³
Área de superficie	20,91 m ²

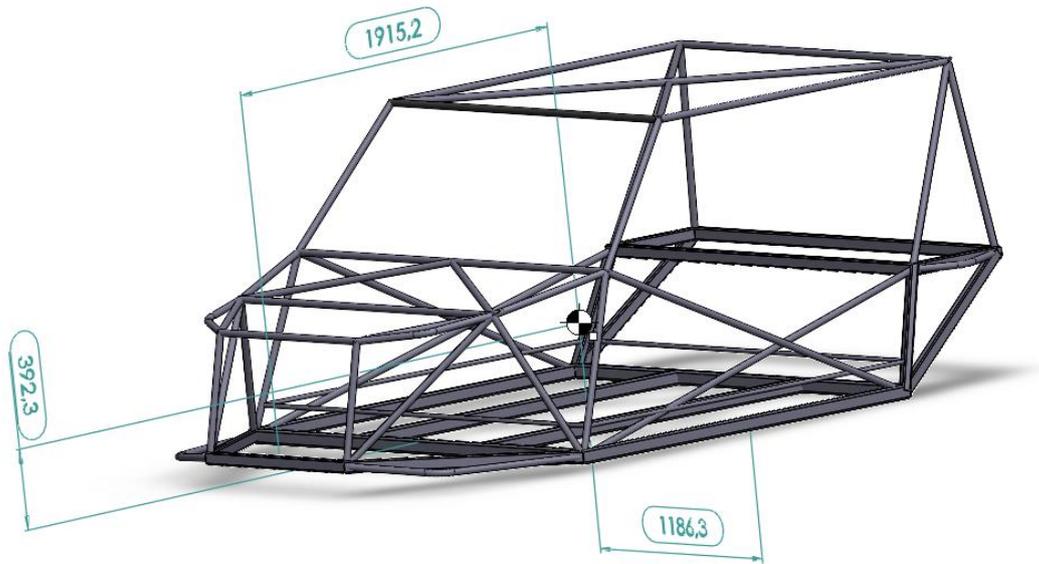
Tabla 4: Propiedades física del chasis

7.5.1 Centro de masa

El centro de masa es el punto geométrico que se comporta dinámicamente como si en él estuvieran aplicadas todas las fuerzas externas del sistema. Es decir que el sistema con toda la masa concentrada en este punto geométrico es un sistema equivalente al original.

En el caso de los vehículos, la posición ideal del centro de masas está en el centro de las 4 llantas y lo más cerca posible del suelo, de esta manera se le proporciona estabilidad al vehículo.

Es necesario destacar que el cálculo del centro de masas será únicamente del chasis estudiado y diseñado, no del vehículo final. Elementos pesados cómo son el motor o las baterías podrán desplazar este punto geométrico. Los ocupantes del vehículo también serán otro factor que se deberá tener en cuenta, desplazarán el centro de masa en este caso hacia la parte frontal, por lo que se tendrá que analizar en la repartición de pesos del vehículo final.



Il·lustració 24: Centro de masas

Siendo nuestro chasis simétrico en el eje X, nuestro centro de masas está situado justamente a la mitad de la distancia entre los laterales. Observamos que debido a la mayor cantidad de tubos utilizados en la parte inferior y frontal el chasis obtenemos un desplazamiento del centro de masas en esas direcciones.

8. Simulaciones

A continuación, se realizarán una serie de simulaciones para comprobar el comportamiento de del chasis frente a posibles situaciones.

8.1 Estudio de las simulaciones

Clasificaremos las simulaciones en 3 grupos distintos. Simulaciones de impacto, simulaciones de conducción y simulación aerodinámica.

8.1.1 Simulaciones de impacto

Las simulaciones de impacto son:

- Simulación de impacto frontal
- Simulación de impacto lateral
- Simulación de vuelco

En estas simulaciones, tal como su nombre indica, se estudiará el comportamiento del chasis al recibir un impacto en diversas condiciones. El principal objetivo de estas simulaciones es la comprobación de que la deformación del chasis no es suficientemente grande como para comprometer la seguridad de sus ocupantes. Estas deformaciones deben ser suficientemente reducidas como para permitir su correcta y rápida evacuación.

En las simulaciones de impacto se estudiarán 2 resultados:

- Deformación URES (mm) que sufren las distintas partes del chasis. URES es un valor de desplazamiento sin signo. Su valor es el módulo de las diferentes deformaciones sufridas a lo largo de los 3 ejes:

$$URES = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}$$

Este dato nos permitirá averiguar si el chasis es capaz de resistir los esfuerzos sin sufrir deformaciones críticas.

- La tensión axial y de flexión (N/m²) a la que están siendo sometidas las barras que conforman el chasis. Este resultado nos indicará cuales son aquellas partes que más esfuerzo deben soportar en cada una de las situaciones a las que se expone el chasis. La simulación nos indicará también así si la estructura es capaz de soportar dichos esfuerzos, o en caso contrario, es necesario reforzar alguna parte.

8.1.2 Simulaciones de conducción

Las simulaciones de conducción tienen el objetivo de comprobar la resistencia del chasis en las condiciones derivadas de la conducción. Estas simulaciones son:

- Simulación de bache
- Simulación torsional por cambio de pesos

El objetivo de ambas simulaciones es diferente al de las simulaciones de impacto. En las simulaciones de conducción la deformación que sufre el chasis no debe superar el umbral de la deformación plástica. Es decir, en estas simulaciones, al contrario que en las de impacto, la deformación no puede ser permanente. El chasis debe ser capaz de retornar a su estado original, una vez no ya esté sometido a esfuerzos. Para comprobar dicha capacidad, no solamente se estudiarán las deformaciones, sino que además se comprobará el factor de seguridad.

- El factor de seguridad, también conocido como coeficiente de seguridad, es el coeficiente entre la capacidad máxima de resistencia de un sistema y la tensión realmente existente. Un factor superior a 1 indica que el sistema es capaz de soportar los esfuerzos aplicados sin sufrir una deformación permanente.

En la simulación torsional por cambio de pesos, el factor de deformación será de tipo giro.

- El giro (Rad) que sufre el chasis al aplicar fuerzas en sentido contrario en sus extremos. Marcando de referencia un eje central que cruza el chasis de forma transversal, estudiaremos si el giro torsional que sufre en un cambio de pesos es el adecuado o excesivo.

8.1.3 Simulación aerodinámica

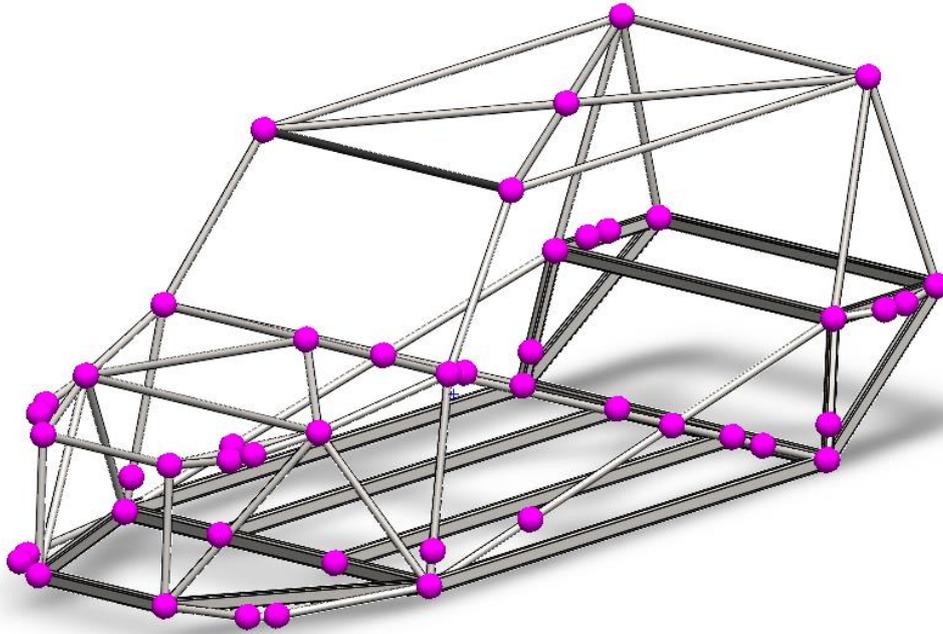
La aerodinámica es un factor esencial en el diseño de cualquier vehículo, y el chasis tiene una gran influencia en ella. En esta simulación comprobaremos la fuerza del aire que impacta contra el vehículo al circular a una cierta velocidad. Esta fuerza provoca pérdidas de energía por lo que el diseño debe tener como objetivo minimizarla.

En la simulación aerodinámica se estudiarán 2 resultados:

- Fuerza de arrastre (N), que soporta el vehículo a una velocidad determinada.
- Coeficiente de arrastre del chasis, nos indicará en que grado el diseño del chasis favorecen una buena aerodinámica.

8.2 Realización de simulaciones

El paso previo a la realización de las simulaciones es la localización de las uniones de barras que conforman el chasis, es decir, las juntas.



Il·lustració 25: Posició juntes

Dependiendo de la simulación que se realice podrán aplicarse cargas o fuerzas puntualmente en las juntas o por el contrario repartirse de forma uniforme en las barras. Del mismo modo las juntas pueden utilizarse como punto de restricción que limitará el movimiento de las barras.

8.2.1 Simulación impacto frontal

En esta primera simulación estudiaremos el comportamiento del chasis ante un impacto frontal contra un sólido rígido. Para ello supondremos que el vehículo viaja a una velocidad constante de 60 km por hora (16,6 m/s) e impacta de forma perpendicular al objeto. Supondremos también que el vehículo tarda 0,1 segundos en desacelerar completamente, este valor podrá variar dependiendo de la rigidez del sólido contra el que impacta nuestro chasis.

En primer lugar, debemos calcular la fuerza de impacto debida a la desaceleración que sufra el vehículo.

Para ello aplicaremos:

$$a = \frac{v1 - v0}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0 - 16,6}{0,1} = -166 \frac{m}{s^2}$$

Una vez conocida la desaceleración que sufrirá nuestro chasis en el impacto frontal a esa velocidad, calcularemos la fuerza de impacto a la que será sometido. Para ello aplicaremos la segunda ley de Newton:

$$F = m \cdot a = 500 \cdot 166 = 83.000N$$

Esta fuerza calculada de 83.000 N será la que deberá soportar nuestro chasis en la parte frontal. Para simular dicho impacto repartiremos la fuerza de forma equivalente en las 4 barras que forman el cuadro frontal, debiendo entonces soportar cada una de ellas un total de 20.750N.

Realizamos la simulación con las condiciones descritas previamente y obtenemos los siguientes resultados:

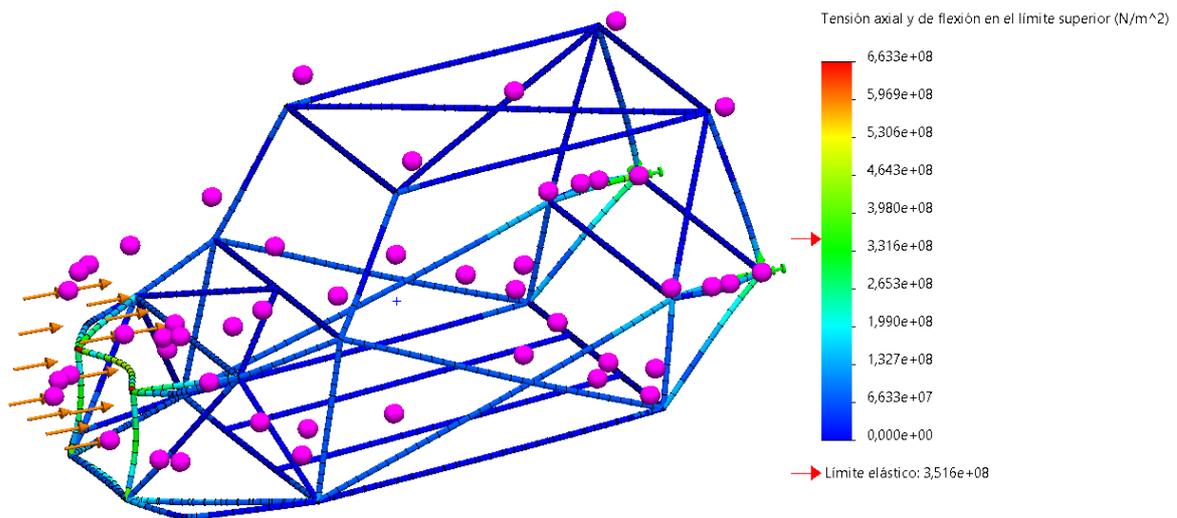
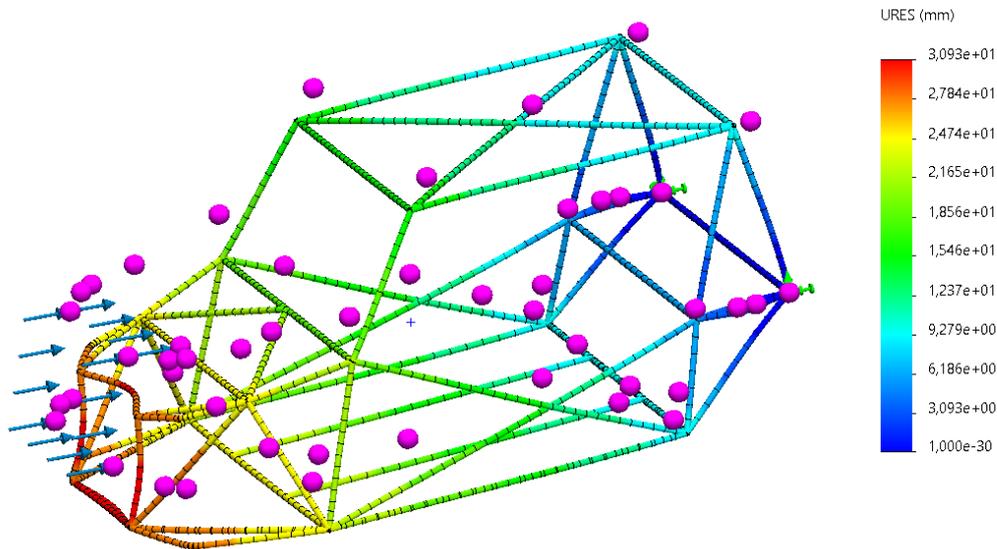


Ilustración 26: Tensiones en simulación impacto frontal



Il·lustració 27: Deformacions en simulació impacte frontal

En ambdues imatges mostrades se ha utilitzat una escala 12 vegades més gran que la real per observar les deformacions del xasis de forma clara.

Los resultados obtenidos indican una tensión máxima de 663 MPa en las esquinas del cuadro frontal. La mayor deformación la observamos en la barra superior del cuadro frontal con un valor de 30,09 mm.

8.2.2 Simulación impacto lateral

En esta segunda simulación estudiaremos el comportamiento del chasis al ser impactado en su lateral, por un vehículo idéntico que circula a 60 km por hora. Con las mismas condiciones que la simulación anterior obtenemos los 83.000 N calculados, pero esta vez la fuerza del impacto será repartida en las 5 barras que componen la parte lateral del vehículo, debiendo soportar así cada una un total de 16.600 N.

Aplicamos las condiciones descritas, y ejecutamos la simulación, obtenemos los siguientes resultados:

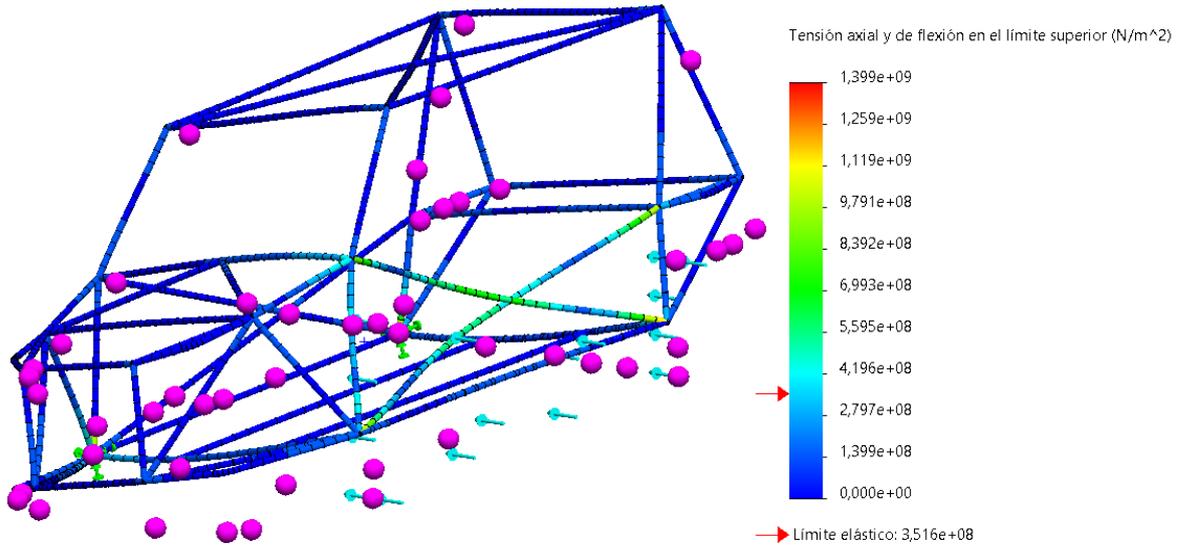


Ilustración 28: Tensiones en simulación impacto lateral

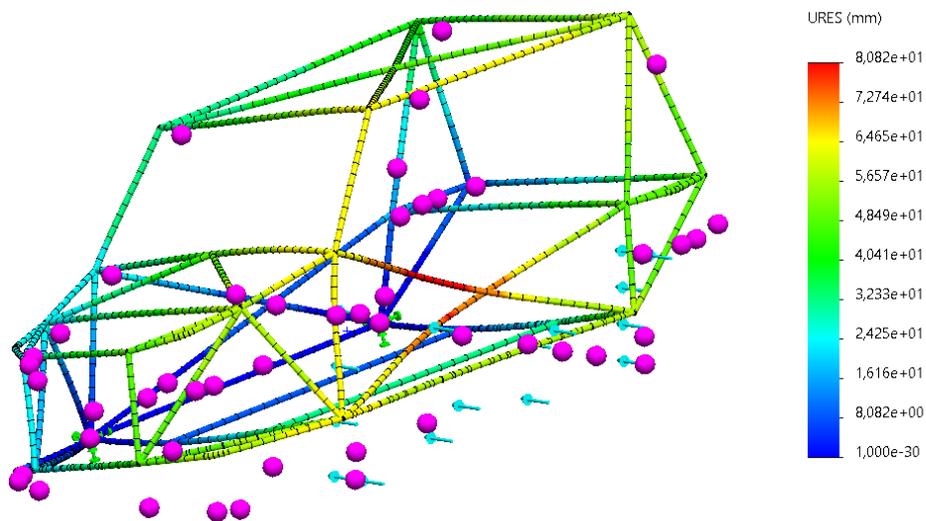


Ilustración 29: Deformaciones en simulación impacto lateral

Volvemos a aumentar la escala de las deformaciones vistas en ambas imágenes para poder apreciarlas de forma más clara, con una escala 5 veces superior a la real.

Nuestro chasis al ser impactado por otro vehículo de 500Kg a una velocidad de 60km/h sufre una tensión máxima de más de 13.999 MPa. La deformación máxima ocurre a media distancia de las barras que cruzan el lateral y con un valor de 80 mm.

8.2.3 Simulación vuelco

Para la simulación de vuelco analizaremos el comportamiento de nuestro chasis al ser sometido a una caída libre de 1,5 metros impactando a un suelo rígido con el techo.

En primer lugar, calculamos la velocidad con la que impactará el chasis al suelo:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$
$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5} = 5,42 \frac{m}{s}$$

La desaceleración que sufrirá el chasis debido al impacto y considerando que tardará una décima de segundo en alcanzar el reposo desde el impacto, es:

$$a = \frac{v1 - v0}{\Delta t}$$
$$a = \frac{0 - 5,42}{0,1} = - 54,2 \frac{m}{s^2}$$

Aplicamos de nuevo la segunda ley de Newton para hallar la fuerza de impacto.

$$F = m \cdot a = 500 \cdot (5,42) = 2710 N$$

Esta fuerza de impacto deberá ser absorbida por las 6 barras que forman el techo, será entonces repartida de forma uniforme, con un total de 451 N por barra. Las restricciones de movilidad se colocan en las juntas inferiores de la base para evitar desplazamientos.

Observamos las simulaciones con una escala de deformación de 15 para observarla de forma más clara.

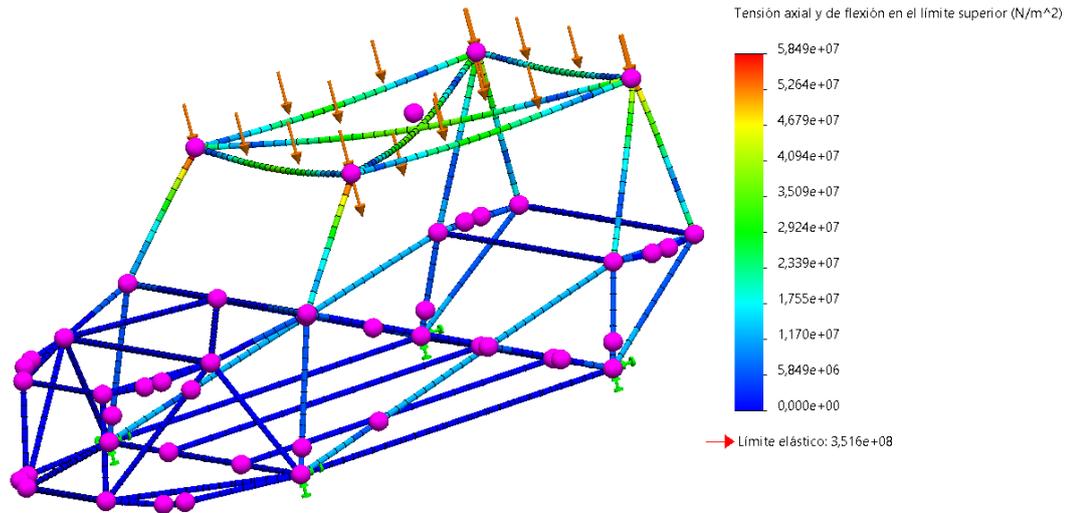


Ilustración 30: Tensiones en simulación vuelco

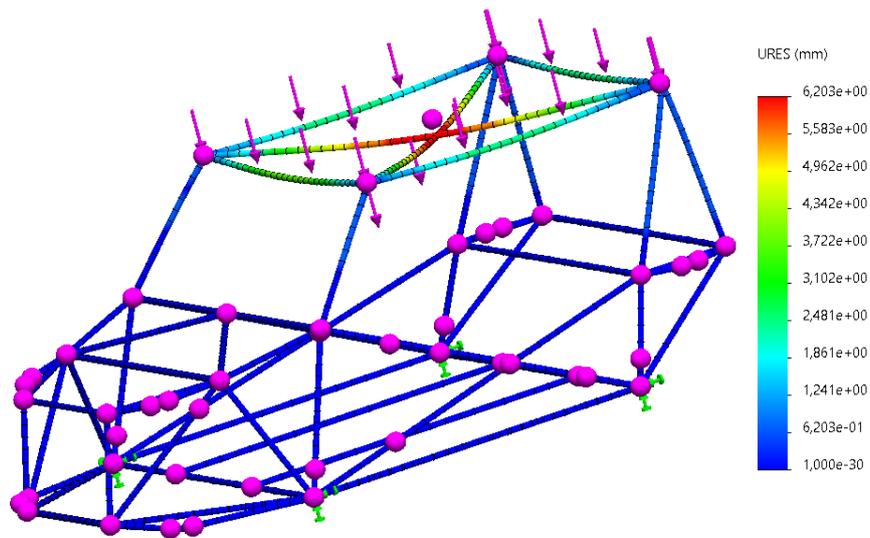


Ilustración 31: Deformaciones en simulación vuelco

8.2.4 Simulación paso por bache

Esta simulación tiene como objetivo comprobar el comportamiento del vehículo al circular por encima de un bache u obstáculo. Para ello aplicaremos fuerzas de un mismo sentido, en los brazos de las suspensiones delanteras. La simulación nos permitirá comprobar la deformación que sufren y su factor de seguridad.

En primer lugar, calculamos las fuerzas aplicadas en las suspensiones. Teniendo las mismas condiciones de peso que en las simulaciones anteriores y considerando que este tiene un reparto del 50% entre los ejes delanteros y traseros:

$$F = m \cdot a = \frac{P}{2} \cdot 9,81 = \frac{500}{2} \cdot 9,81 = 2452,5 \text{ N}$$

Se aplicará una fuerza de 2452,5 N repartida entre ambos brazos delanteros de las suspensiones.

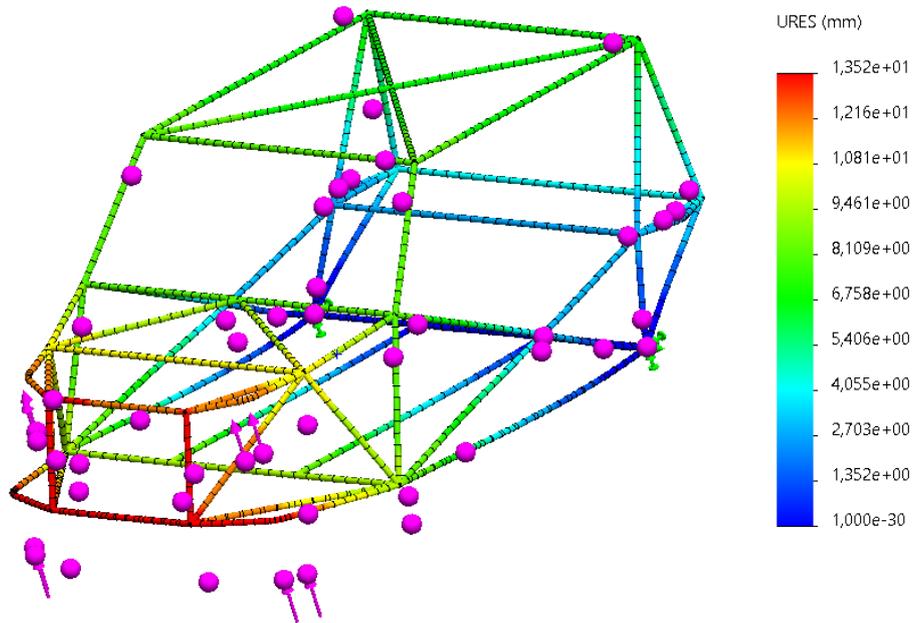


Ilustración 32: Deformación en simulación bache

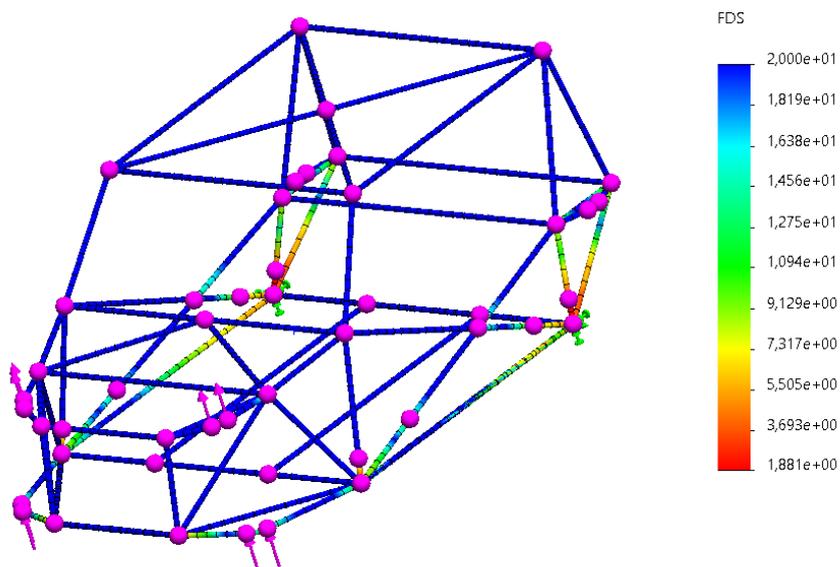


Ilustración 33: Factor de seguridad en simulación bache

La simulación muestra una deformación máxima en el cuadro frontal del chasis con un valor de 13 mm. El factor de seguridad mínimo que encontramos en todo el conjunto de chasis es de 1,8 por lo que es capaz que resistir los esfuerzos sin sufrir una deformación permanente.

8.2.5 Simulación torsional por cambio de pesos

Esta simulación desea replicar las condiciones que sufriría el chasis al ser sometido a un cambio de pesos como por ejemplo el ocurrido al circular por una curva.

Las condiciones se simularán aplicando fuerzas con valor de 100 newtons 4 puntos de los brazos de las suspensiones delanteras. Estas fuerzas tendrán sentido contrario en cada uno de los laterales.

El resultado principal a estudiar es el giro que sufre el chasis al aplicarle el conjunto de fuerzas en sentido contrario. Para calcular el giro dibujaremos un eje central que cruza el chasis de forma transversal. A continuación, mediremos en radianes el giro producido en el chasis respecto a este eje.

Al realizar la simulación, de nuevo aumentamos a una escala de 100 la deformación en imagen para poder apreciarla de forma más clara a simple vista.

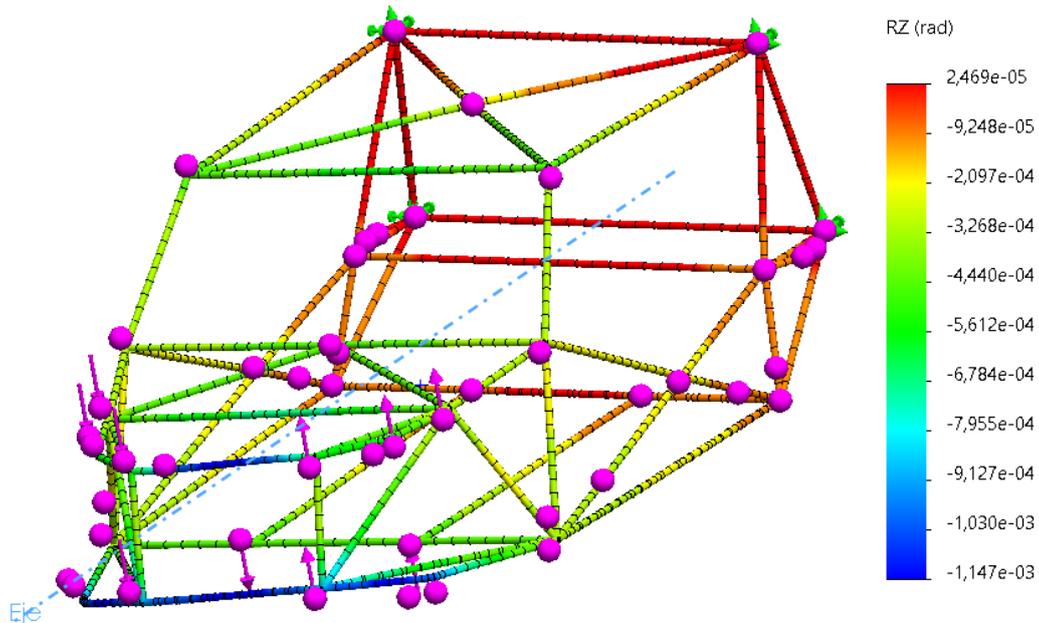
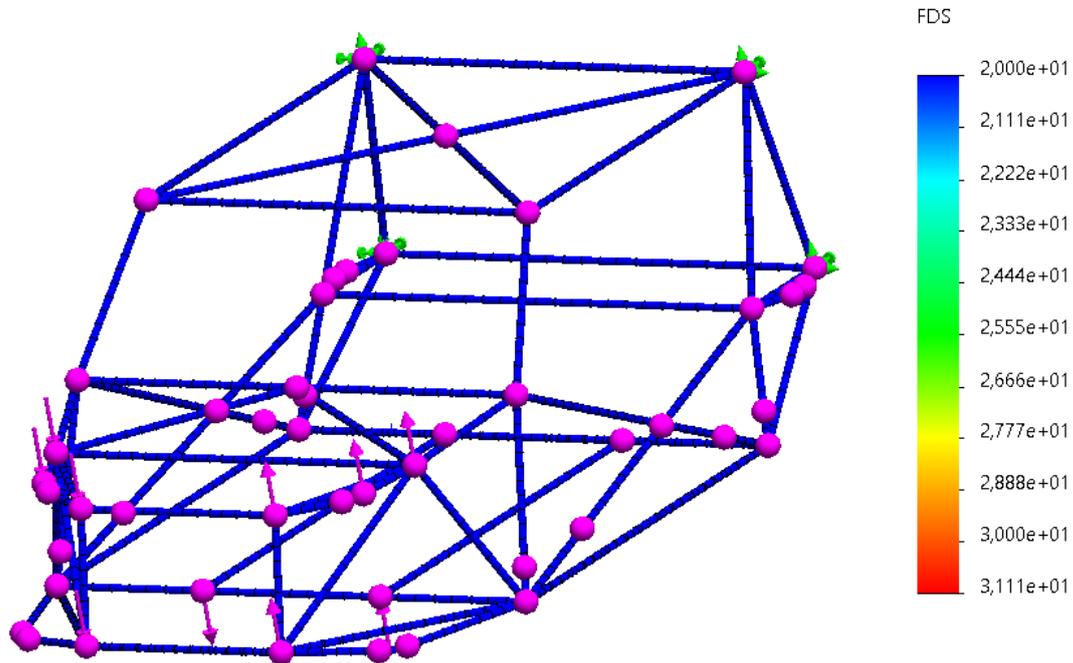


Ilustración 34: Rotación simulación torsional



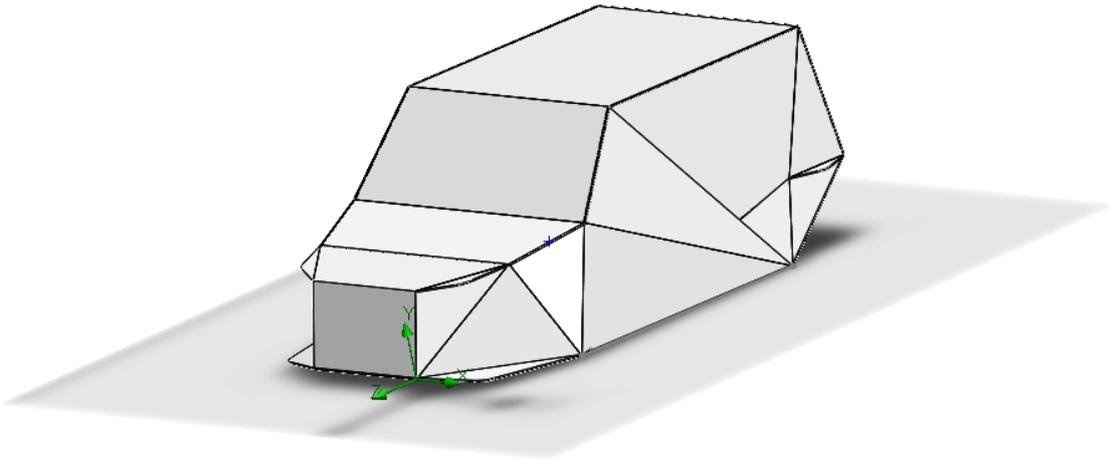
El giro torsional máximo que experimenta el chasis debido al cambio de pesos es de $1,147e-3$ radianes, un valor muy reducido. El factor de seguridad mínimo es de 31, indicándonos que el chasis responde correctamente a las condiciones.

8.2.6 Simulación aerodinámica

El diseño y estudio en cuestión es el de únicamente el chasis del vehículo. Este componente no es el principal afectado por los esfuerzos aerodinámicos, aun así, su diseño es el que dará la forma al vehículo y por lo que este factor debe ser tenido en cuenta.

A partir del diseño del chasis se ha realizado un modelo equivalente simulando el exterior del vehículo una vez incorporados los elementos como plásticos exteriores, parabrisas y demás.

El modelo equivalente obtenido es el mostrado a continuación:



Il·lustració 35: Model equivalente aerodinàmic prototipo 1

A partir de este nuevo modelo podremos simular el comportamiento del aire al impactar contra el vehículo. Estudiaremos la fuerza del aire a la que es sometido el vehículo al circular a una velocidad determinada y calcularemos su coeficiente de arrastre.

El coeficiente de arrastre o también conocido como el coeficiente de resistencia es una cantidad adimensional que cuantifica la resistencia de un objeto en un medio fluido. Un coeficiente de resistencia bajo indicará una menor resistencia aerodinámica. El coeficiente siempre está asociado con la superficie.

Para calcular el coeficiente de arrastre de nuestro chasis aplicaremos la siguiente fórmula.

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

C_d : Coeficiente de arrastre

F_d : Fuerza de arrastre [N]

ρ : Densidad del fluido [Kg/m³]

v : Velocidad del objeto [m/s]

A : Area de referencia proyectada [m]

En primer lugar, se medirá el área de referencia proyectada, en el caso de los vehículos esta es su área frontal. Esta será la superficie que impactará contra el fluido y provocará pérdidas de eficiencia. El interés aerodinámico es que esta superficie sea la más reducida posible.

Medimos el área frontal y obtenemos un valor de 3,36 m².

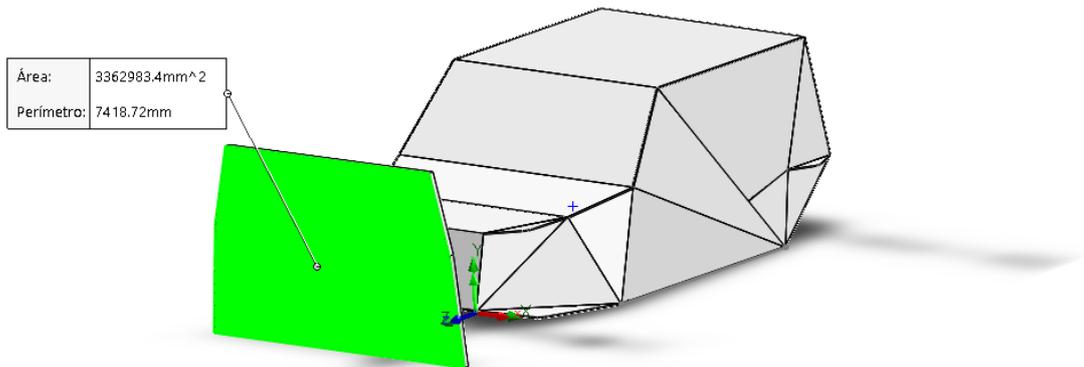
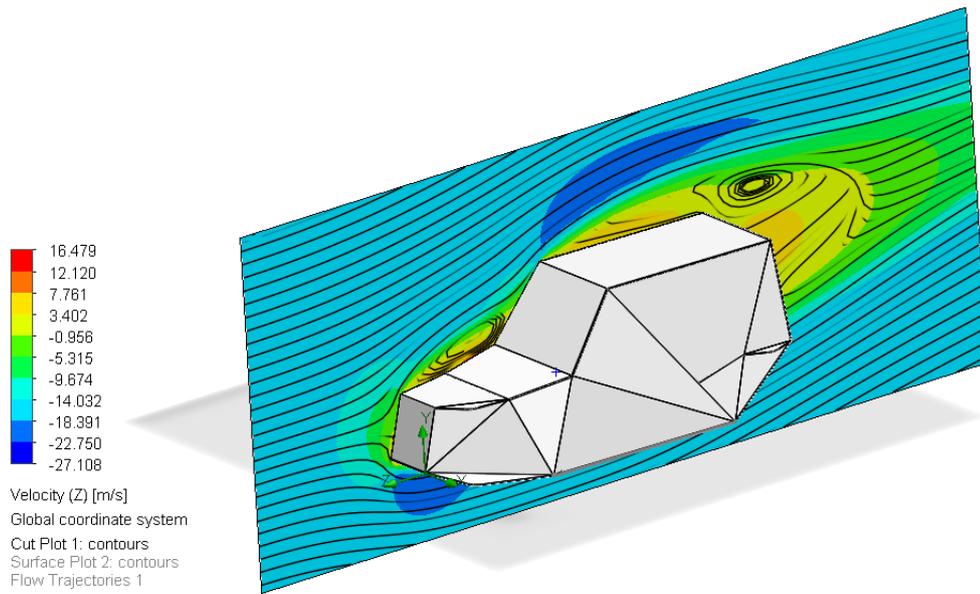


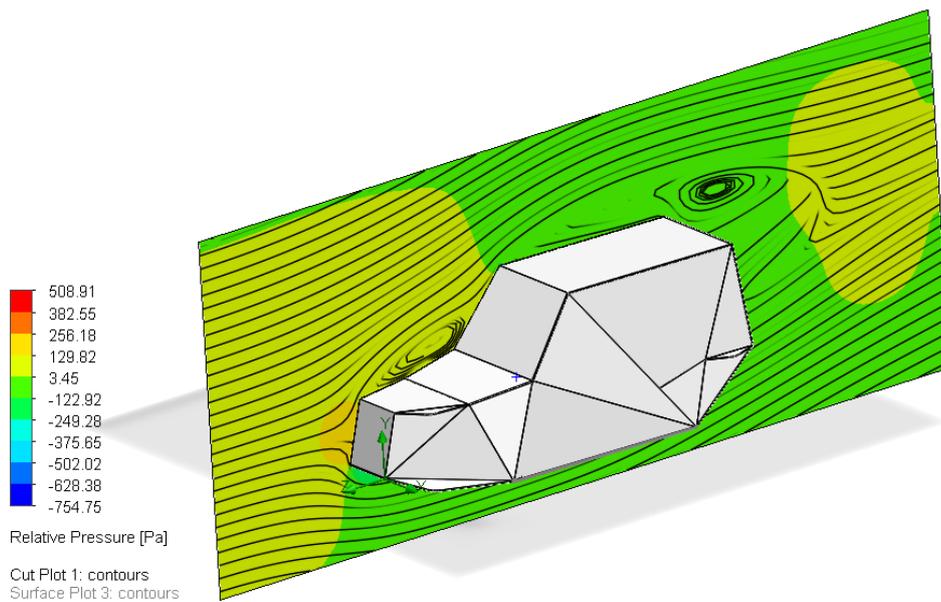
Ilustración 36: Calculo área frontal modelo equivalente prototipo 1

Se simulará la aerodinámica del vehículo circulando a una velocidad de 60 Km/h (16,66m/s) en un ambiente a temperatura 25º C.

Para estudiar la influencia que tiene el aire impactando contra el vehículo, simularemos las trayectorias de este con sus respectivas velocidades y presiones relativas.



Il·lustració 37: Simulació aerodinàmica, velocitats del aire



Il·lustració 38: Simulació aerodinàmica, pressions

En la il·lustració 37 podem observar la reducció de la velocitat del aire al impactar contra el contorn del vehicle. Les reduccions més intenses se produeixen en les esquines, formant una estela en la part traser. La simulació de pressions relatives nos mostra un augment de la pressió en la part frontal del vehicle, esto es debido al empuje que ofrece este al fluido. La presión del aire contra el frontal y la succión en la parte trasera se combinan para generar una fuerza opuesta al movimiento.

En ambas simulaciones estudiamos la trayectoria que sigue el aire rodeando el contorno del vehículo. Observamos dos claros remolinos formados delante del parabrisas y en la parte superior trasera. Estos son señal de una mala aerodinámica ya que muestran una pérdida de energía que se traducirá en ineficiencia.

Para observar, las trayectorias del aire en todo el contorno realizamos una última simulación.

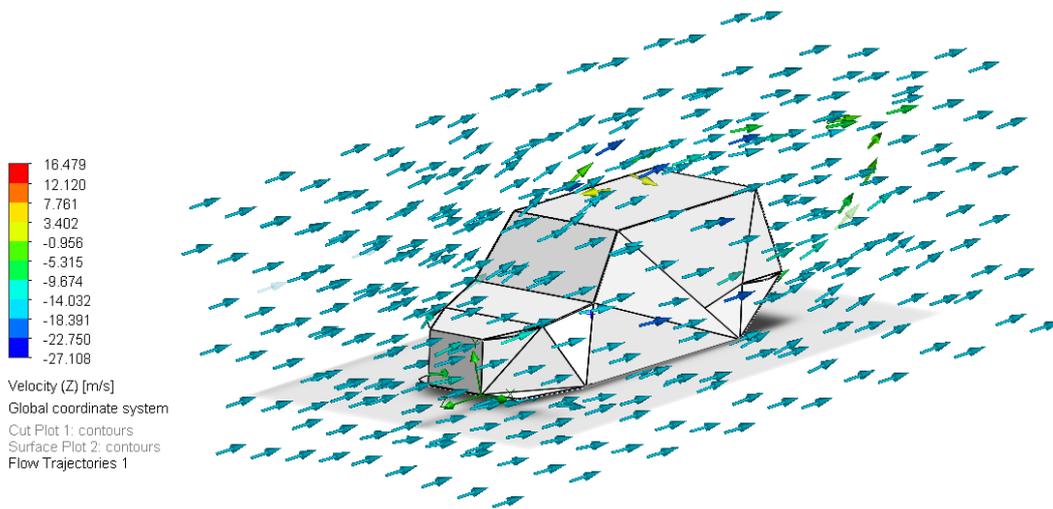


Ilustración 39: Simulación aerodinámica, direcciones

Los valores obtenidos en el túnel de viento simulado son los siguientes:

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (Z) 5	[N]	-275.360	-266.881	-277.657	-255.222	100	Yes	3.357	74.799

Ilustración 40: Resultados fuerzas aerodinámicas

La simulación nos ha permitido observar que el perfil de nuestro chasis no ofrece una buena aerodinámica. Para cuantificar el nivel de aerodinámica calcularemos su coeficiente de arrastre utilizando la expresión explicada anteriormente.

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A} = \frac{2 \cdot 266,88}{1,184 \cdot 16,66^2 \cdot 3,362} = 0,483$$

8.3 Análisis de resultados de simulaciones

Completadas todas las simulaciones de la primera versión del chasis analizaremos los resultados obtenidos. Estos nos indicarán si el chasis es capaz de superar las situaciones a las que puede

ser sometido el vehículo. En caso de obtener algún resultado poco satisfactorio se deberá proceder al análisis y posterior corrección o mejora del chasis.

8.3.1 Resultados de simulaciones de impacto

Simulación	Deformación Máxima (mm)	Tensión Máxima (N/m ²)
Impacto frontal	30,93	6,63e+08
Impacto lateral	80,82	1,399e+09
Vuelco	6,203	5,849e+07

Tabla 5: Resultados simulaciones de impacto

El objetivo principal de estas simulaciones era comprobar que la deformación debida a los diferentes tipos de impacto no comprometiera la seguridad de los ocupantes complicando su salida del vehículo.

Las simulaciones nos muestran que los valores máximos de estas deformaciones no son suficientemente elevados para comprometer la seguridad, por lo que podemos considerar que el chasis se comporta adecuadamente ante estas condiciones.

8.3.2 Resultados de simulaciones de conducción

Simulación	Deformación máxima	Factor de seguridad mínimo
Paso por bache	13,5 mm	1,8
Torsional por cambio de pesos	1,147e-3 rad	31,1

Tabla 6: Resultados simulaciones conducción

En las simulaciones de conducción además de estudiar las deformaciones máximas también se deben tener en cuenta el factor de seguridad mínimo, ya que en estas condiciones se espera que el chasis sea capaz de volver a su forma original sin presentar deformaciones permanentes.

Los valores de deformación máxima, tanto en el paso por bache como en el giro por torsión, no son suficientemente elevados como para comprometer el correcto funcionamiento del chasis. Por otro lado, ambos valores de factor de seguridad mínimo son superior a 1, por lo que indican también una correcta capacidad de resistencia ante las condiciones aplicadas.

8.3.3 Resultados simulación aerodinámica

Simulación	Fuerza máxima (N)	Fuerza media (N)	Coefficiente de arrastre
Aerodinámica	277,65	266,88	0,483

Tabla 7: Resultados simulación aerodinámica

La finalidad de esta simulación era estudiar y cuantificar la aerodinámica que presenta el vehículo. El valor del coeficiente de arrastre calculado a partir de las simulaciones es de 0,483. Este es un valor elevado teniendo en cuenta que el coeficiente de arrastre de un vehículo todo terreno suele estar entre 0,35-0,40. Por este motivo se considera que el chasis no cumple con las expectativas y deberá ser modificado mejorando su aerodinámica.

9. Diseño final

Los vehículos eléctricos ofrecen una menor autonomía que otros tipos, como pueden ser los de combustión. Por ello, en este tipo de vehículos es imprescindible aumentar al máximo su eficiencia, evitando cualquier tipo de pérdida de energía.

La resistencia aerodinámica es uno de los mayores factores que influyen en dicha ineficiencia, pequeños cambios en esta pueden tener como resultado grandes mejoras en el rendimiento energético.

El nuevo prototipo tiene como objetivo principal mostrar una mejor aerodinámica que la versión anterior. Aun así, el chasis debe mantener los correctos resultados obtenidos en las otras simulaciones.

Las propuestas en la mejora de la aerodinámica del chasis son:

- Redondeo del contorno del chasis

Esto permitirá que el aire que impacte contra el vehículo pueda rodearlo de mejor forma, ejerciendo así una menor fuerza contra él.

- Reducción área frontal:

Como se ha estudiado anteriormente, cuanto mayor es el área contra el que impacta el fluido, mayor fuerza debe hacer el vehículo para avanzar.

Además, se desea realizar un cambio de diseño en los laterales del chasis con el objetivo de facilitar la evacuación del vehículo.

Se considera que no es necesario realizar ningún cambio en la elección del material. Las soluciones deseadas en el chasis pueden alcanzarse mediante modificaciones estrictamente de diseño.

9.1 Mejoras aplicadas

Con los objetivos nombrados el diseño propuesto es el siguiente:

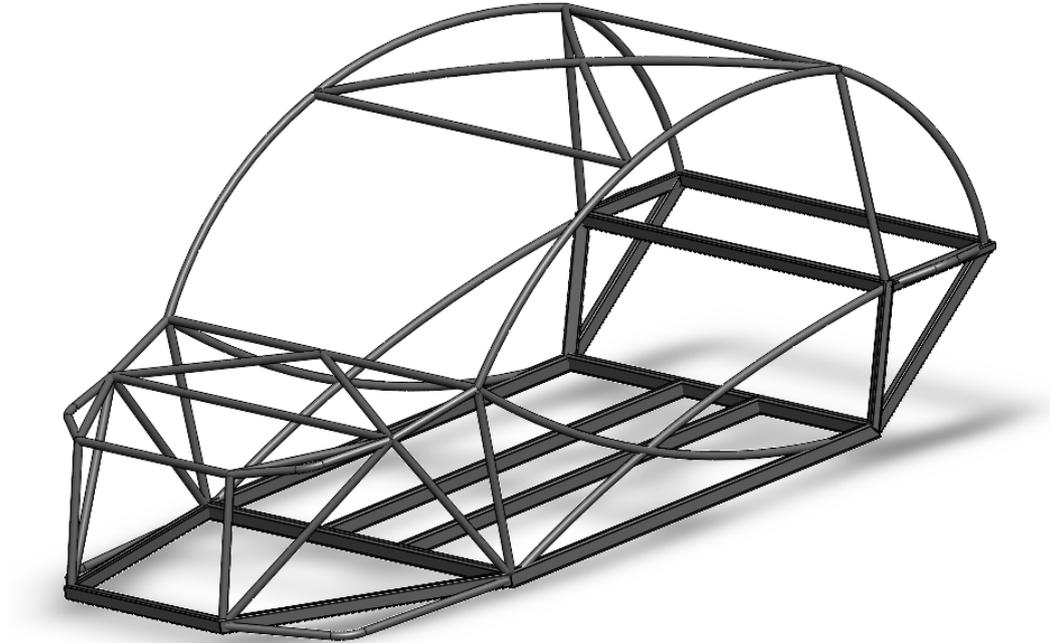


Ilustración 41: Diseño prototipo final

La principal modificación es la unión de las barras que conformaban el parabrisas y el techo. En esta versión del chasis el parabrisas forma parte del techo con una única barra curva que cruza hasta la parte trasera en cada lateral del vehículo. Las dos barras que forman el techo en forma de cruz también han sido curvadas siguiendo con el contorno del parabrisas. La parte trasera también ha sido redondeada, favoreciendo así la circulación del aire.



Ilustración 42: Techo prototipo 2

Los laterales también han sido modificados, curvando estos se aumenta el espacio en su cruce, que facilitará a los ocupantes la entrada y salida del vehículo. Esta curvatura, además, también permite cubrir un mayor hueco en los laterales, evitando así comprometer la seguridad.

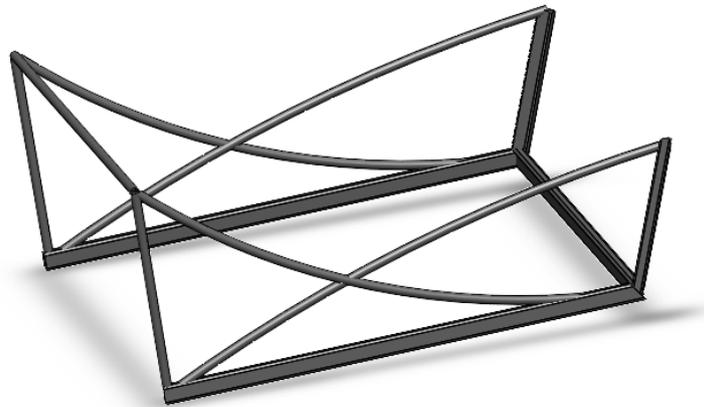


Ilustración 43: Laterales prototipo 2

Con el nuevo diseño de chasis, la distribución de barras queda de la siguiente forma:

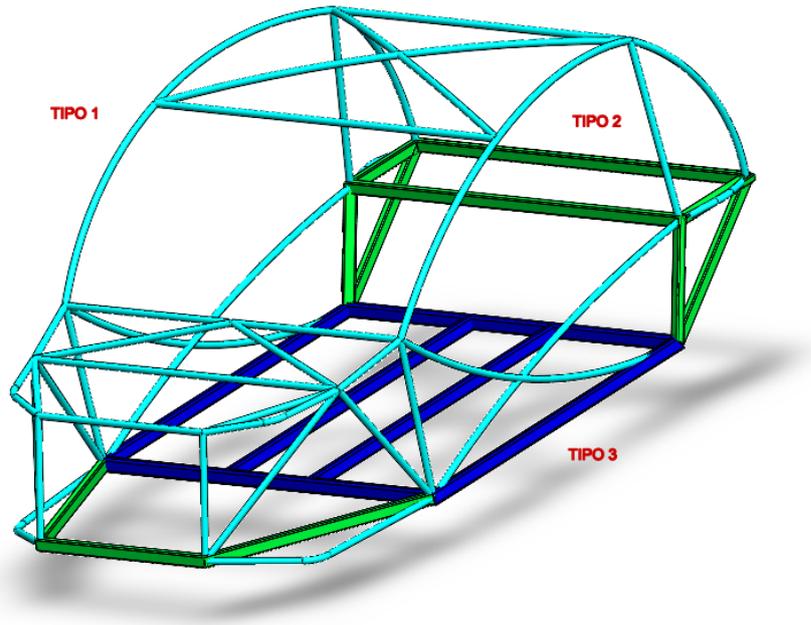


Ilustración 44: Distribución de barras prototipo 2

Tipo	Perfil	Tamaño	Nº
1	Circular	33,7 X 4,0	49
2	Cuadrado	60 X 40 X 3,2	11
3	Cuadrado	70 X 40 X 5	6

Tabla 8: Tipos de barras prototipo 2

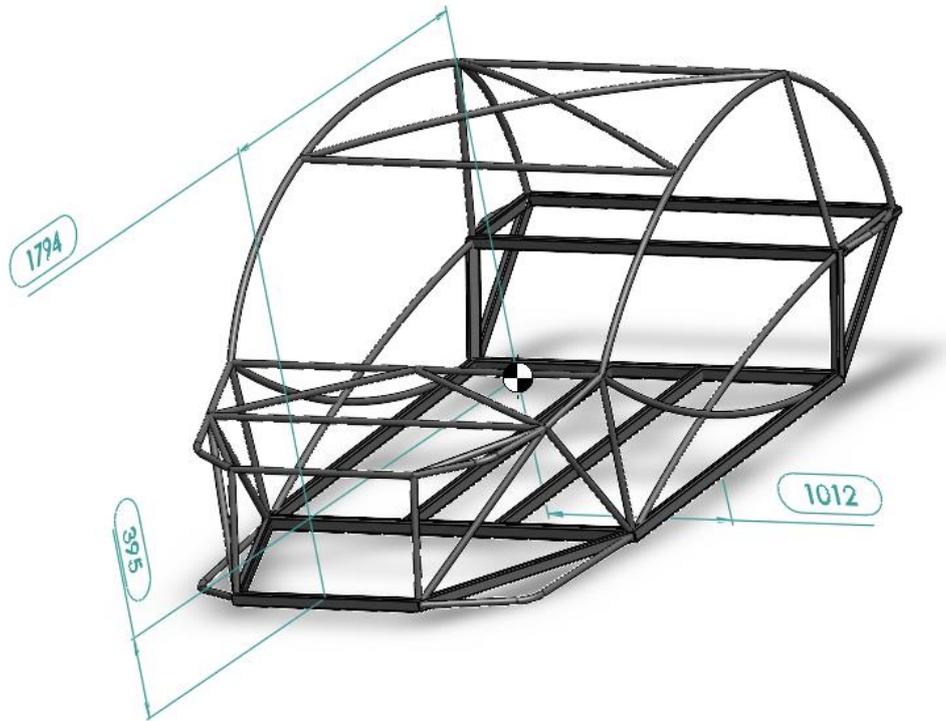
Se conserva el tamaño y perfil de los diferentes tipos de barra, pero reduciendo el número de barras de tipo 1 en 2 unidades.

9.2 Propiedades físicas

Los cambios aplicados repercuten en las propiedades físicas del conjunto del chasis por lo que es necesario volver a calcularlas.

Densidad	7.900 kg/m ³
Masa	279 kg
Volumen	0,04 m ³
Área de superficie	17,54 m ²

Los cambios también generan un desplazamiento de su centro de masas.



Il·lustració 45: Centro de masa prototipo 2

10. Repetición de simulaciones

Una vez realizadas las modificaciones en el chasis deberemos repetir las simulaciones con el objetivo de comprobar el comportamiento de esta nueva versión. Deberemos asegurarnos de que los cambios aplicados no alteran los resultados valorados positivamente de las simulaciones de impacto y conducción, pero en cambio sí mejoran significativamente los de la simulación aerodinámica.

10.1 Ejecución repetición de simulaciones

10.1.1 Impacto frontal

Repetimos las condiciones aplicadas en la simulación de impacto frontal. Nuestro vehículo de 500 kg impacta contra un sólido rígido a una velocidad de 60km/h. De nuevo, la fuerza del impacto es de 83.000N que repartidas entre las 4 barras que forman el cuadro frontal, obtenemos un valor de 20.750N por barra.

Se colocan las fijaciones en la parte trasera del chasis para evitar el desplazamiento en esa dirección.

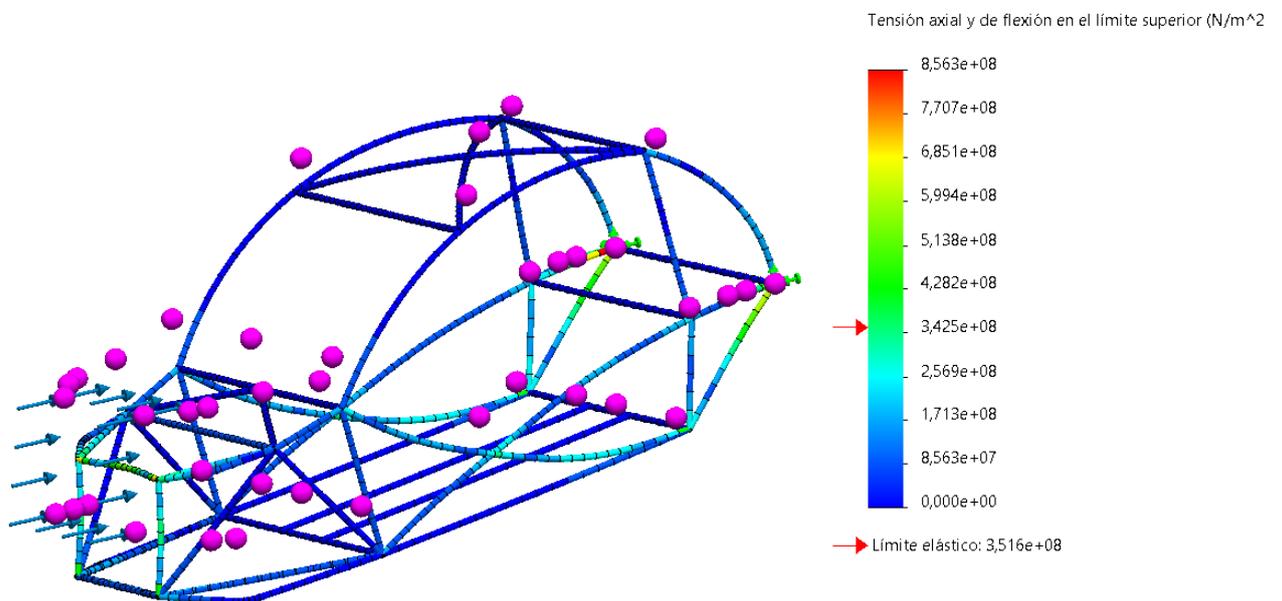
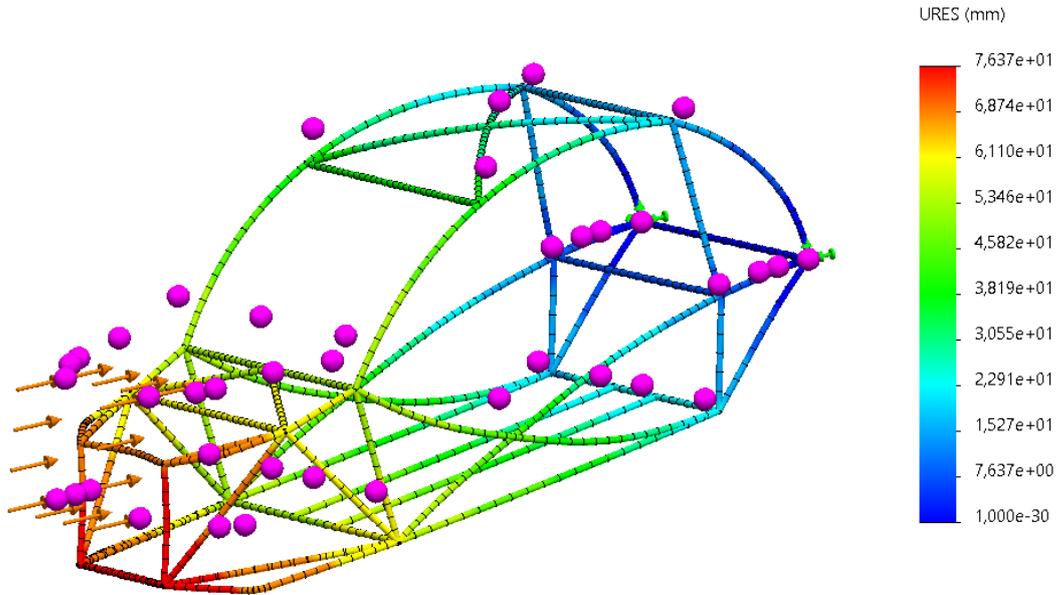


Ilustración 46: Tensiones simulación 2 impacto frontal



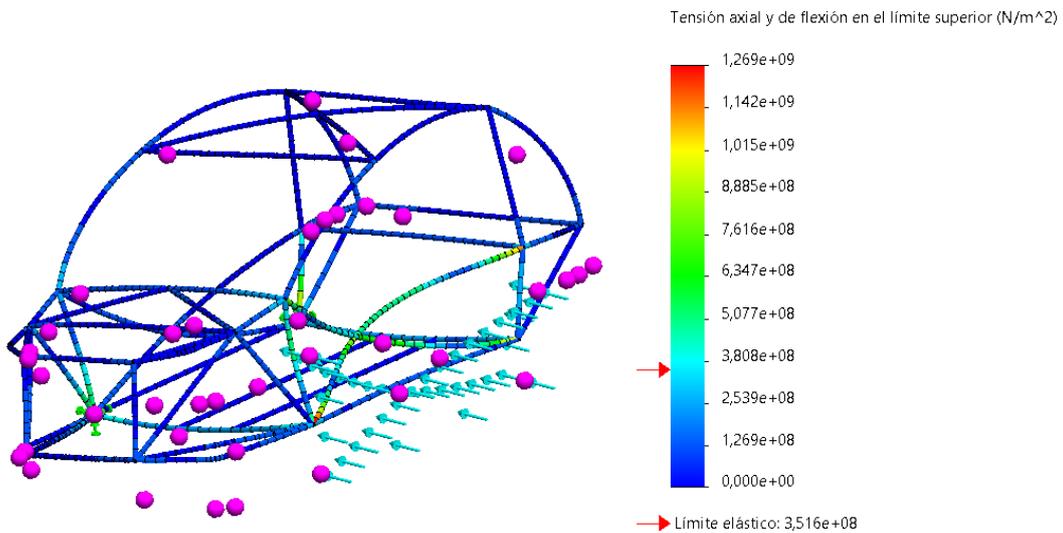
Il·lustració 47: Deformacions simulació 2 impacte frontal

En ambas ilustraciones se ha aumentado la deformación a una escala 5 veces superior.

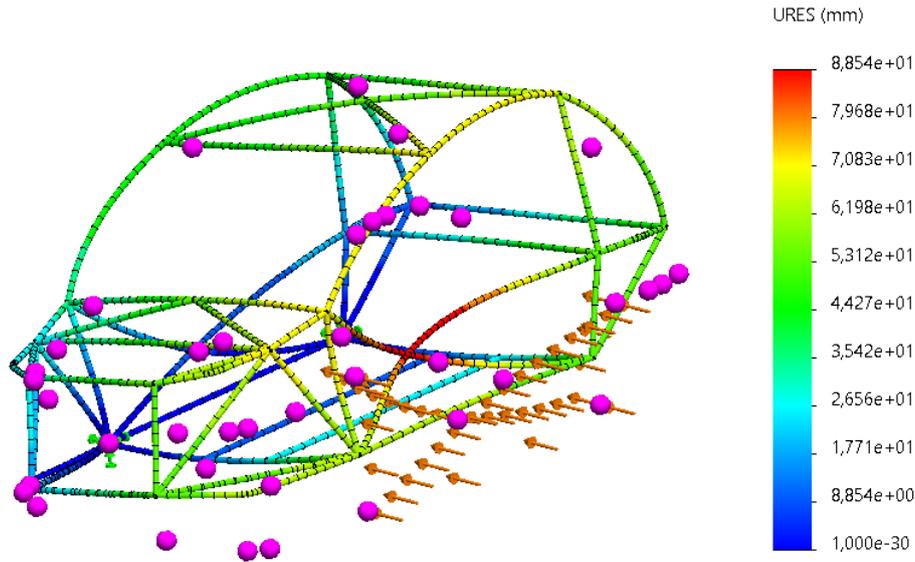
10.1.2 Impacto lateral

En la simulación de impacto lateral, el chasis soporta una fuerza de 83.000N repartida en las 5 barras. Se colocan las fijaciones en los cantos de la base del lateral opuesto al que recibe el impacto.

Utilizando una escala 5 para la visualización de la deformación, obtenemos los siguientes resultados.



Il·lustració 48: Tensiones simulació 2 impacte lateral



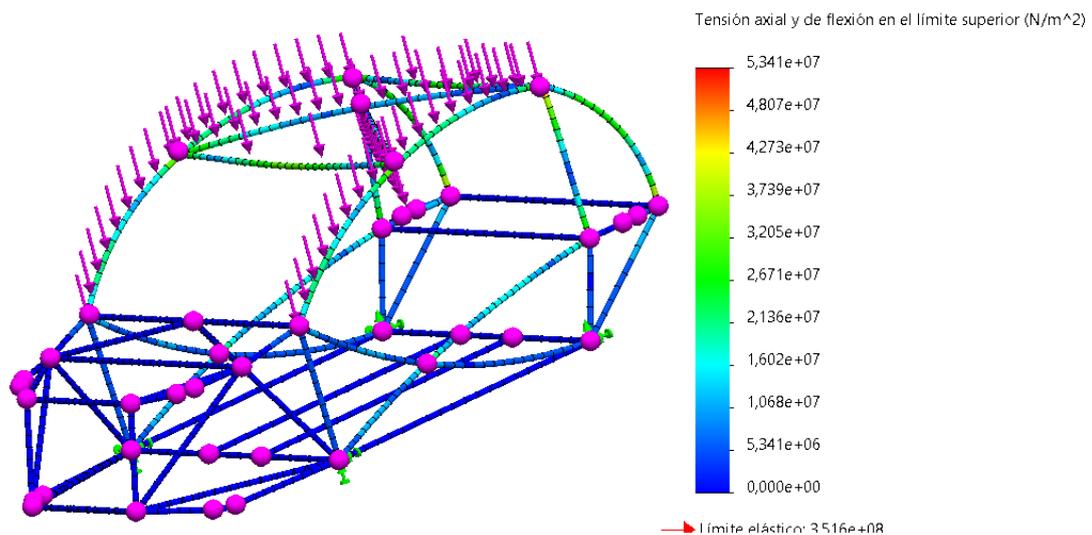
Il·lustració 49: Deformaciones simulación 2 impacto lateral

De nuevo la deformación máxima se produce a la altura del cruce de las barras que forman el lateral, con este nuevo diseño el valor máximo es de 88,5mm.

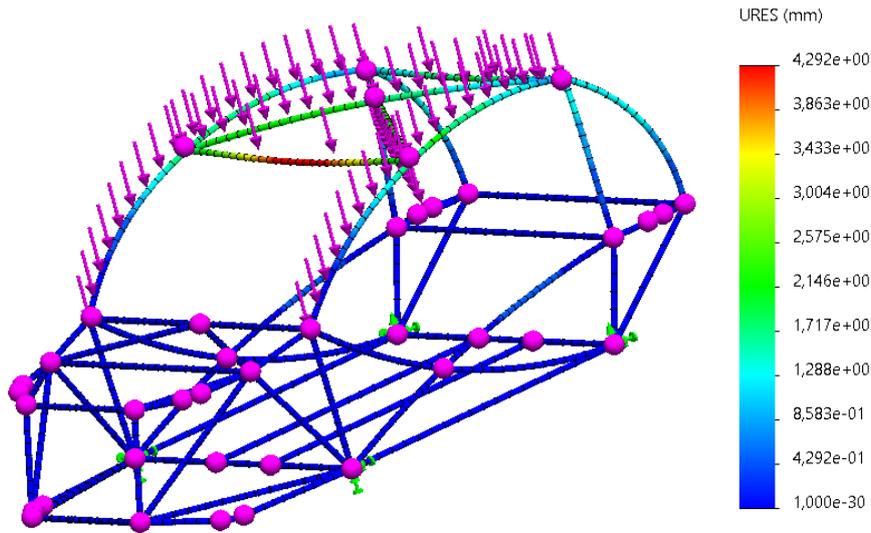
10.1.3 Vuelco

La fuerza calculada que recibe el chasis al impactar contra el suelo desde una altura de 1,5 m es de 2.710N repartida entre las 6 barras que conforman el techo.

Colocando las fijaciones en las esquinas de la base, y aumentando la escala de deformación en 15, obtenemos los siguientes resultados.



Il·lustració 50: Tensiones simulación 2 vuelco



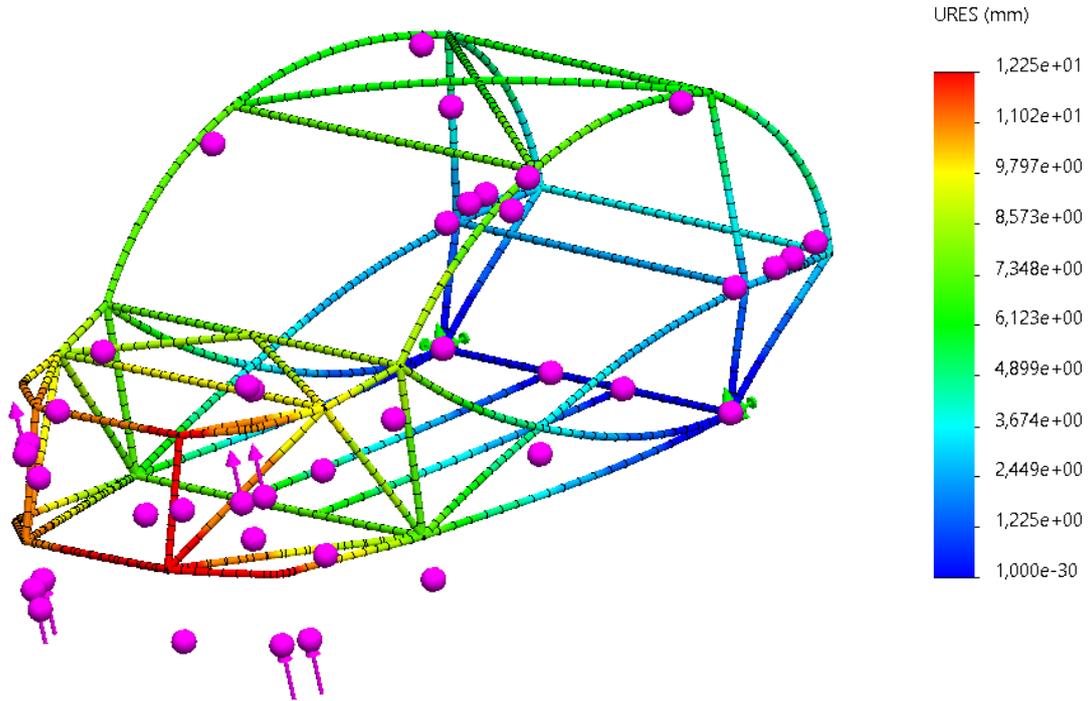
Il·lustració 51: Deformacions simulació 2 vuelco

Observamos una mejor distribución de las deformaciones que en el prototipo anterior. En esta versión éstas tienen un valor máximo de 4,2 mm en la barra superior del parabrisas.

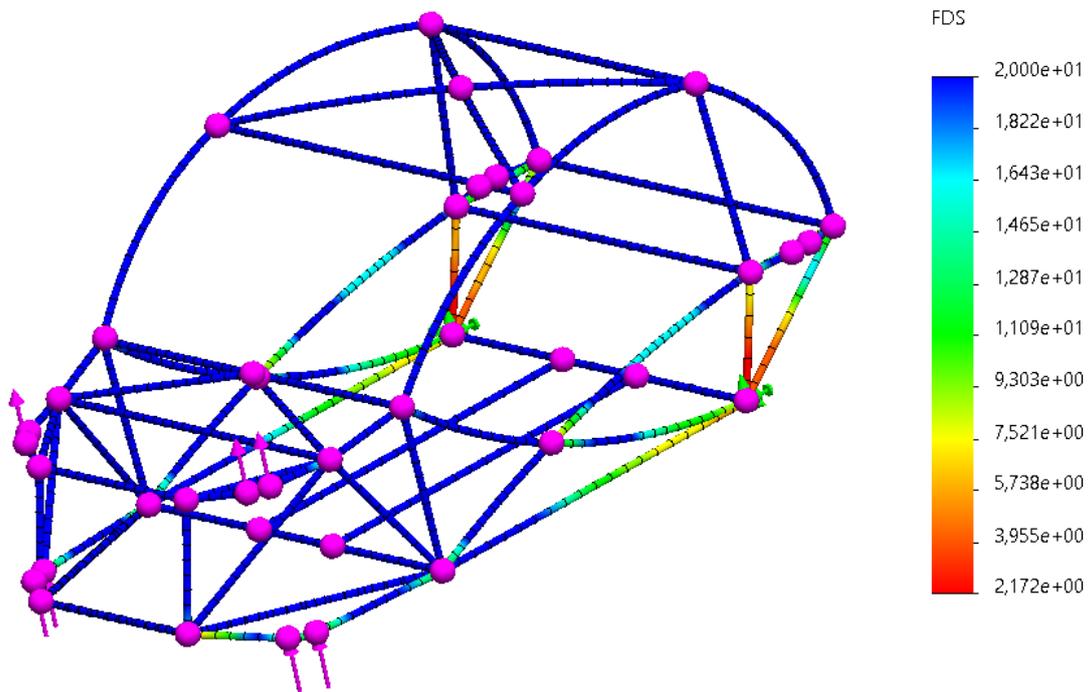
10.1.4 Simulación paso por bache

Repetimos las condiciones aplicadas en la nueva simulación de paso por bache. La fuerza calculada que se reparte en ambos brazos de las suspensiones delanteras es de 2452,5N.

Colocamos nuevamente las fijaciones en las esquinas traseras de la base para evitar el desplazamiento. Aumentamos 15 veces la escala real de las deformaciones en imagen, y obtenemos los siguientes resultados.



Il·lustració 52: Deformació simulació 2 bache



Il·lustració 53: FDS simulació 2 bache

Las mayores deformaciones se producen en la parte frontal del chasis, cerca de los puntos de aplicación de las fuerzas. Los valores mínimos de factor de seguridad, por el contrario, están situados cerca de los puntos de restricción.

10.1.5 Simulación torsional

El chasis debe soportar 5 cargas puntuales de 100N en cada uno de los brazos de las suspensiones delanteras. De nuevo, estas cargas tendrán sentido contrario en cada uno de los laterales del vehículo.

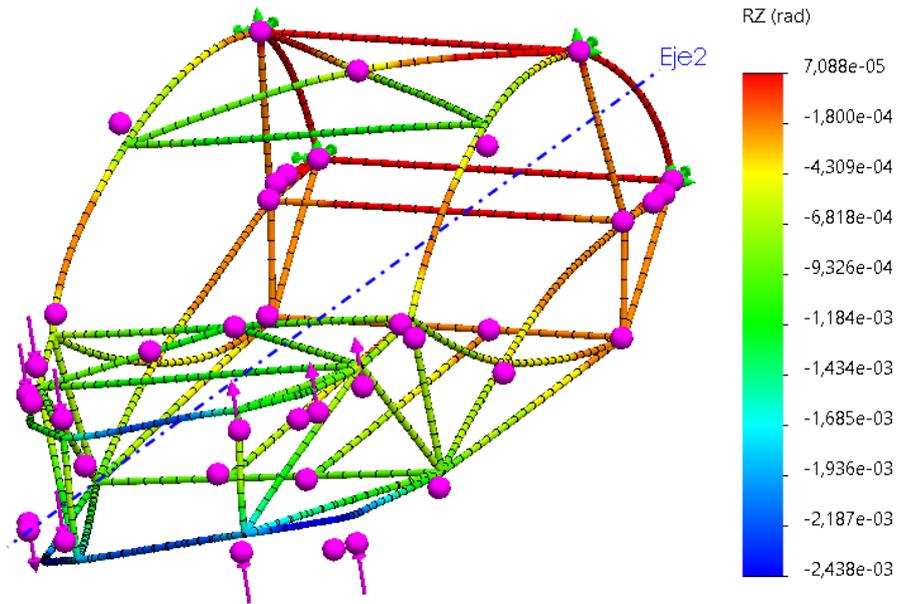


Ilustración 54: Giro simulación 2 torsión

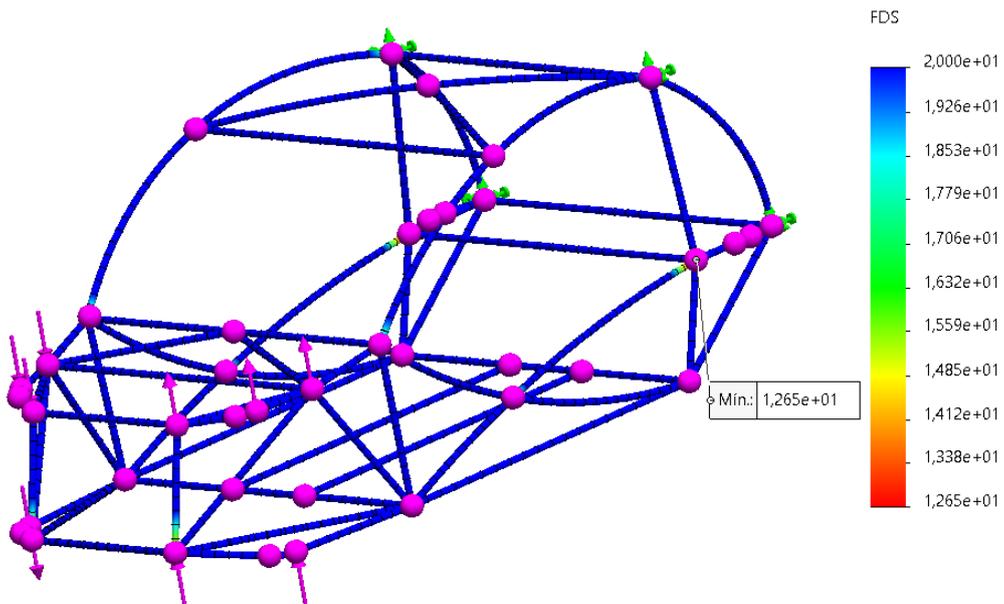


Ilustración 55: FDS simulación 2 torsión

De nuevo, el chasis muestra un correcto comportamiento en la simulación de cambio de pesos. El giro máximo que experimenta es $2,42e-3$ rad, un valor muy reducido. El factor de seguridad mínimo también es adecuado, con un valor de 12,65.

10.1.6 Simulación aerodinámica

Es necesario la realización de un modelo equivalente aerodinámico que se ajuste al nuevo perfil y contorno del chasis.

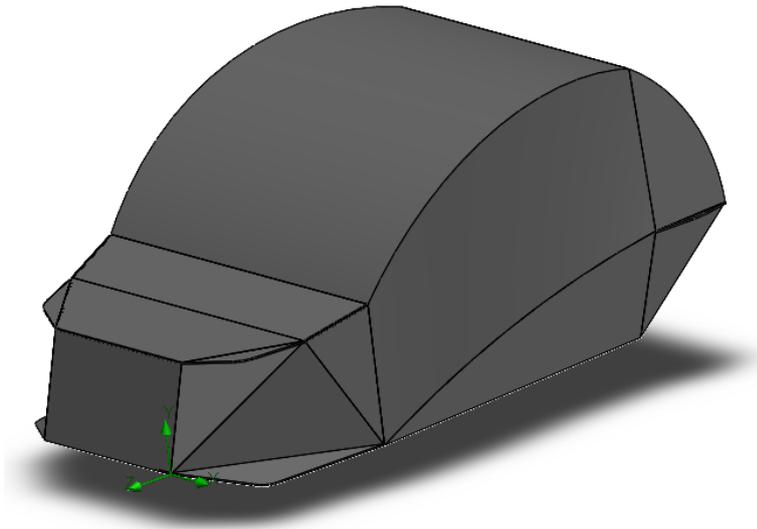


Ilustración 56: Modelo equivalente aerodinámico prototipo 2

El perfil del chasis ha cambiado, su área frontal también, calculamos este nuevo valor.

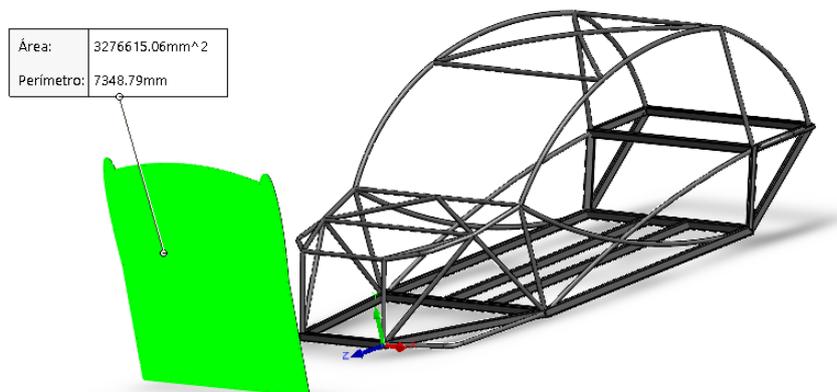


Ilustración 57: Calculo área frontal prototipo final

Ejecutamos de nuevo las simulaciones aerodinámicas con las mismas condiciones. El vehículo circula a 60km/h a una temperatura de 25°C. Estudiamos de nuevo la velocidad y presión relativa del aire que rodea el vehículo.

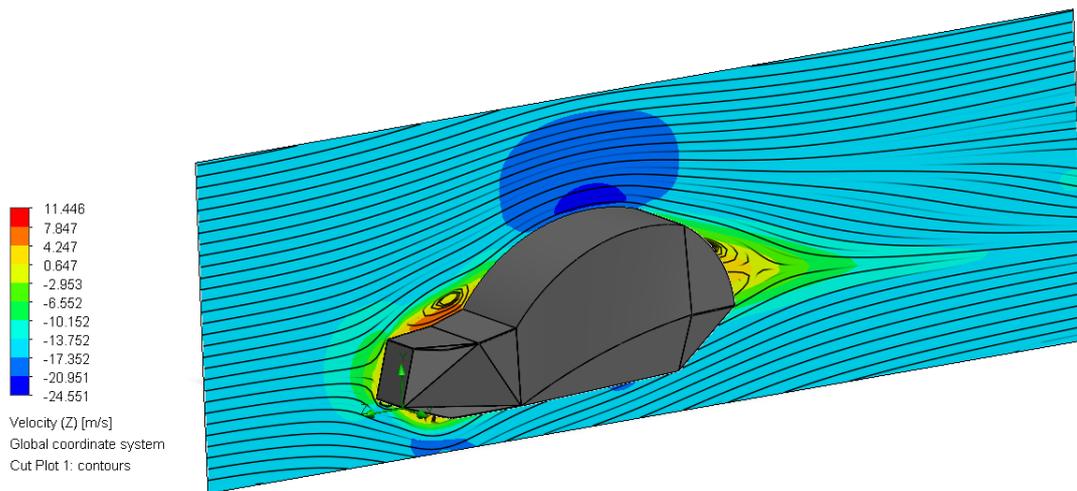


Ilustración 58: Simulación aerodinámica prototipo final, velocidades aire

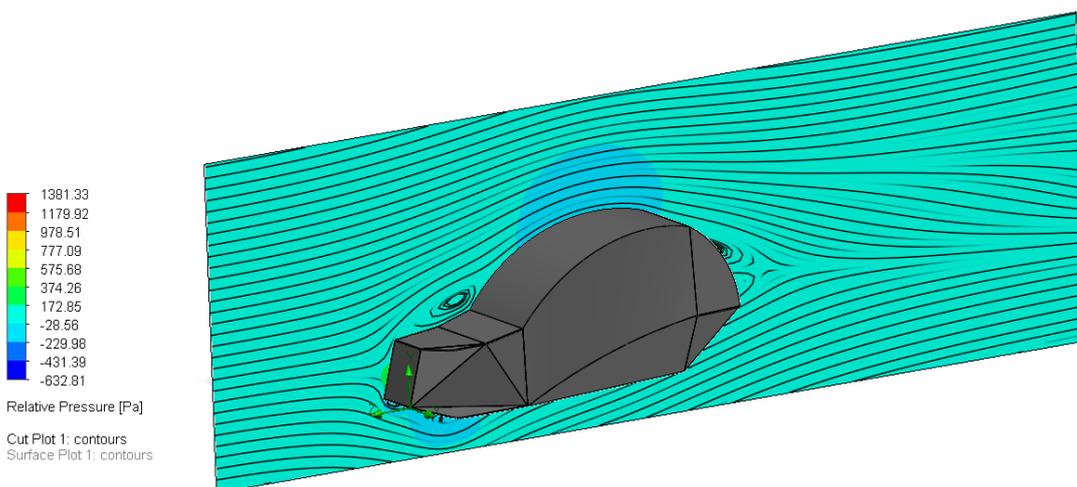
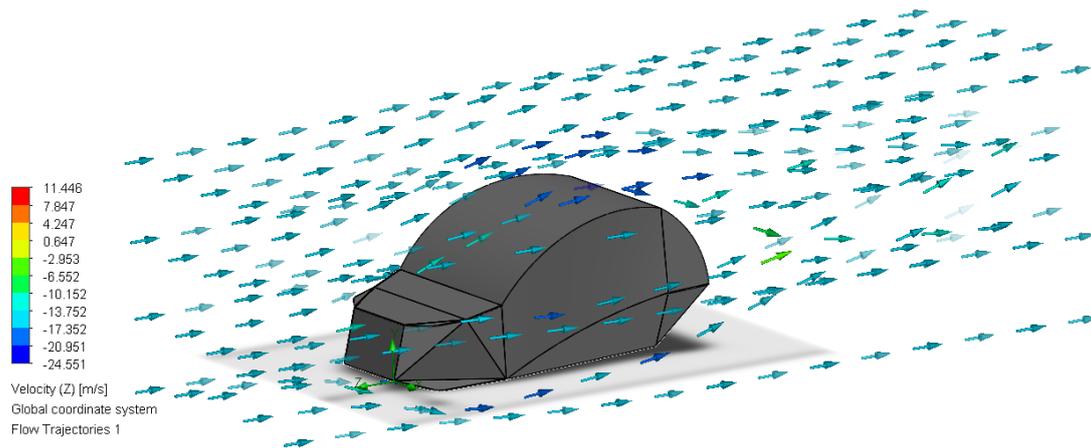


Ilustración 59: Simulación aerodinámica prototipo final, presiones relativas

Observamos la mayor reducción de velocidad del aire, en la parte inferior del parabrisas, con un valor máximo de 11,45 m/s en sentido de la circulación del vehículo.

Los resultados de la presión relativa nos muestran 2 zonas de presiones negativas que crearán una succión en contra del movimiento del vehículo.

Las trayectorias que sigue el aire nos muestran unos remolinos de mucho menor tamaño, señal que nos indica una menor pérdida de energía debido a la fuerza de arrastre.



Il·lustració 60: Simulació aerodinàmica prototipo final, direccions

Los valores de fuerza de arrastre obtenidos a partir de la simulación son los siguientes:

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (Z) 5	[N]	-174.376	-172.816	-177.504	-168.738	100	Yes	4.002	35.912

Il·lustració 61: Resultados fuerzas aerodinámicas 2

Calculamos el coeficiente de arrastre (C_d) con los nuevos valores de fuerza de arrastre (F_d) y área frontal (A).

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A} = \frac{2 \cdot 172,81}{1,184 \cdot 16,66^2 \cdot 3,27} = 0,32$$

11. Análisis de resultados

Analizamos los resultados obtenidos con el nuevo diseño del chasis, en paréntesis se indica la diferencia con el primer prototipo.

11.1 Resultados de simulaciones de impacto

Simulación	Deformación Máxima (mm)	Tensión Máxima (N/m ²)
Impacto frontal	76,37 (+45,44)	8,56e+8 (+1,93e+8)
Impacto lateral	88,54 (+7,72)	1,26e+9 (-1,39e+8)
Vuelco	4,29 (-1,91)	5,34e+7 (-5,09e+6)

Tabla 9: Resultados simulaciones de impacto 2

Los resultados obtenidos las simulaciones de impacto del nuevo chasis muestran valores de deformación muy reducidos, insuficientes para comprometer la evacuación y seguridad de los ocupantes.

11.2 Resultados de simulaciones de conducción

Simulación	Deformación máxima	Factor de seguridad mínimo
Paso por bache	12,25 mm (-1,25)	2,17 (+0,37)
Torsional por cambio de pesos	2,43e-3 rad (+1,28e-3)	12,65 (-18,45)

Tabla 10: Resultados de simulaciones de conducción 2

La simulación de conducción muestra pequeñas deformaciones, y factores mínimos de seguridad superior a 1. Por lo que se considera que el chasis se comporta favorablemente en estas condiciones.

11.3 Resultados de simulación aerodinámica

Simulación	Fuerza máxima (N)	Fuerza media (N)	Coefficiente de arrastre
Aerodinámica	177,5 (-100,15)	172,8 (-94,08)	0,32 (-0,16)

Tabla 11: Resultados simulación aerodinámica 2

En la simulación aerodinámica se calculan unas fuerzas de arrastre mucho menores. De ellas obtenemos un coeficiente de arrastre notablemente menor al del primer prototipo.

$$\Delta C_d = 0,483 - 0,321 = 0,162$$

11.4 Valoración del prototipo

Las simulaciones nos muestran que el segundo prototipo del chasis sigue mostrando valores adecuados con las condiciones de impacto y conducción aplicadas. Los valores de deformación obtenidos indican que el chasis es capaz de proporcionar seguridad a los ocupantes y una conducción adecuada del vehículo. Los factores de seguridad mínimos calculados en la simulación de conducción son superiores a 1 y muestran una sobrada capacidad del chasis de ser sometido a los esfuerzos aplicados y volver después a su forma original.

La simulación aerodinámica nos muestra una reducción considerable de su coeficiente de arrastre por lo que el vehículo ofrece así una menor resistencia aerodinámica y una mayor eficiencia energética.

Por todo ello, podemos considerar que los objetivos de mejora del prototipo inicial han sido alcanzados y que el prototipo final del chasis diseñado cumple con el objetivo de este trabajo.

12. Resumen de los presupuestos

A continuación, se especifican los costes provenientes del proyecto. Estos costes están desglosados en los siguientes grupos:

- Coste actividades
- Coste material informático y licencias

Además de dichos costes, se le añaden al global unos costes indirectos por aquellos gastos derivados de la realización del proyecto.

12.1 Coste de actividades

Estos costes son los referentes a las actividades y acciones realizadas a lo largo del proyecto. El coste de cada actividad se calcula en función de su duración y el valor asignado de coste por hora.

Actividad	Duración (horas)	Coste hora (€/hora)	Coste total (€)
Realización Project charter	5	15	75
Búsqueda de información	20	15	300
Diseño estructural	80	15	1200
Estudio del material	40	15	600
Simulaciones	60	15	900
Memoria	60	15	900
Planos	40	15	600
TOTAL			4.575

Tabla 12: Coste de actividades

12.2 Coste material informático y licencias

A lo largo de la elaboración del proyecto ha sido necesario el uso o adquisición de material informático. Además, han sido necesarias la contratación de licencias de software como Solid works Professional para el diseño y posteriores simulaciones del chasis, así como la licencia de Microsoft Office para la redacción de la documentación entregada.

A continuación, se desglosan los costes teniendo en cuenta el uso y amortización anual. Los precios unitarios mostrados en la siguiente tabla son los correspondientes al precio de venta al público referenciados en la bibliografía.

	Precio unitario (€)	Unidades	Periodo de amortización (años)	Coste (€)
Portátil HP	1.250 («Portátil gaming HP Pavilion 16-a0001ns - HP Store España» [sin fecha])	1	4	312
Licencia Solid Works Professional	1.720 («Precios de SOLIDWORKS CIMWORKS» [sin fecha])	1	1	1.720
Licencia Microsoft Office	120 («Microsoft Office Programa de licencias por volumen de Microsoft» [sin fecha])	1	1	120
TOTAL				2.152

Tabla 13: Coste material informático y licencias

12.3 Coste total del proyecto

A los costes calculados anteriormente se le añaden aquellos gastos que no provienen de forma directa el servicio contratado, costes indirectos. Estos gastos se han calculado como un 10% del coste de actividades. La suma de todos los costes descritos anteriormente nos proporciona el coste total del proyecto.

	Coste (€)
Coste personal	4.575
Coste material informático y licencias	2152
Costes indirectos	457
TOTAL	7184

Tabla 14: Coste total del proyecto

El coste del proyecto suma un total de 7184€.

13. Impacto medioambiental

Aunque este trabajo se centraba en el diseño del chasis es conveniente realizar un pequeño estudio del impacto ambiental en caso de llevar a cabo su industrialización.

El material seleccionado para el diseño del chasis ha sido el acero, concretamente el AISI 1020. Analizaremos el impacto ambiental surgido de la obtención de este metal, así como de otros factores que puedan influir en la contaminación.

En la fabricación del acero, se producen grandes cantidades de aguas servidas y emisiones atmosféricas. Estas deben ser manejadas de forma adecuada para evitar una grave degradación de la tierra, aire y agua. («Medio ambiente | Alacero»)

El acero es uno de los materiales más consumidos, se calcula una extracción de 1.500 millones de toneladas en todo el mundo. A pesar de ello es un material altamente eficiente en su reciclado. Se estima que desde el año 1900 se han reciclado 22.000 millones de toneladas de acero en todo el mundo. Siendo así el material más reciclado del planeta. Se calcula que 2 de cada 3 toneladas se producen a partir de acero reciclado.

En la industria automovilística se recicla hasta un 85% del acero utilizado, esto es debido a la capacidad que tiene el material en conservar sus propiedades y atributos tras los reciclados. Los porcentajes de reciclado en otras industrias son:

- > 85% en la construcción
- > 90% en la maquinaria
- > 50% en los electrodomésticos

Durante los 30 últimos años la industria del acero ha sufrido una gran evolución que permite que su fabricación requiera hasta un 50% menos de energía. Actualmente, además, el agua utilizada en los procesos de producción se devuelve casi en su totalidad, debiendo pasar unos tratamientos exhaustivos de reciclado.

No solamente el acero es un material altamente reciclado, sino que además un 97% de los productos derivados de su industria se pueden recuperar y reutilizar (escorias, líquidos procesos, polvos, etc.) («EFECTOS AMBIENTALES | química-acero»)

Además del impacto ambiental derivado de la obtención del material que forma el chasis también debe tenerse en cuenta aquel proveniente de los tratamientos posteriores necesarios para su construcción. En la construcción de este componente es necesario realizar procesos de soldadura.

Los factores contaminantes del proceso de soldadura son principalmente:

- Sustancias químicas en las emisiones de gas, polvo y vapor.
- Elevadas temperaturas
- Contaminación acústica (hasta 110 dB)

14. Conclusiones

Este trabajo tiene como objetivo la realización del diseño de un componente estructural de un vehículo eléctrico. Después de estudiar y valorar las diferentes alternativas se decidió realizar el diseño de un chasis tubular de un vehículo arenero.

En primer lugar, se han analizado los diferentes factores que deben tenerse en cuenta en su diseño, tanto estructurales como geométricos, y se ha realizado una primera versión del chasis. Para comprobar el comportamiento del chasis frente a posibles situaciones, se han realizado diversas simulaciones. En primer lugar, unas simulaciones de impacto con el objetivo de comprobar que las deformaciones que sufre el chasis, en caso de ser impactado, no comprometen la seguridad ni la evacuación de sus ocupantes. En segundo lugar, unas simulaciones de conducción aplicando condiciones al chasis que replican el cambio de pesos al pasar por una curva o las tensiones creadas al pasar por un bache. En estas simulaciones el chasis debía ofrecer deformaciones reducidas y además un factor de seguridad mínimo mayor que 1, ya que este debía ser capaz de volver a su forma original y evitar las deformaciones permanentes. Finalmente, unas simulaciones aerodinámicas, con el objetivo de comprobar que la fuerza de arrastre ejercida por el aire no comprometiera la elevada eficiencia energética que necesitan los vehículos eléctricos.

Los valores obtenidos en las simulaciones de impacto y de conducción fueron consideradas adecuadas, por el contrario, en la simulación aerodinámica se obtuvo un valor de coeficiente de arrastre superior a la media y al deseado. Por ello se optó por estudiar posibles cambios y aplicarlos en una segunda versión del chasis.

Se diseñó un segundo prototipo del chasis realizando los cambios principales en la parte del techo y los laterales. El nuevo contorno ofrecía una silueta más aerodinámica y unos laterales con mayor espacio que facilitarían la evacuación de los ocupantes.

Una vez aplicados los cambios se han repetido las simulaciones con exactamente las mismas condiciones aplicadas en el prototipo inicial. Es necesario comprobar que el chasis sigue ofreciendo valores adecuados en las simulaciones de impacto y de conducción, pero además se espera una considerable mejora en la simulación aerodinámica.

Realizadas de nuevo las simulaciones se analizan los valores obtenidos y se concluye que efectivamente el chasis sigue ofreciendo un buen comportamiento en las simulaciones de impacto y conducción y ha sufrido una notable mejora en su aerodinámica.

Finalizado el diseño de este segundo prototipo y comprobado su comportamiento ante las diferentes condiciones, podemos considerar que el objetivo de este trabajo ha sido alcanzado.

15. Proyectos futuros

A continuación, se expondrán posibles proyectos futuros que pueden derivarse a partir de este:

- Estudio de construcción del diseño del proyecto. En este se analizarían los diversos métodos construcción posibles y se escogería aquel que más se adaptara al proyecto. Este estudio podría además incorporar un análisis de tipos de soldadura para incorporar aquella más adecuada con el material y el diseño.
- Una vez concluido el estudio de construcción podría realizarse un estudio de industrialización del chasis. En este se estudiaría la viabilidad de la fabricación en masa de este componente y se optimizaría su construcción a gran escala.
- Junto al estudio de industrialización podría realizarse un análisis más exhaustivo del impacto ambiental debido a esta. Se deberían analizar las diferentes actividades debidas a la industrialización del componente para así modificar aquellas más contaminantes con el medio ambiente.
- Finalmente sería posible la realización de un estudio o plan de empresa para la comercialización del chasis. Este podría incluir un estudio de mercado y un plan financiero.

16. Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todo el profesorado de la UPC ESEIAAT que ha formado parte de este viaje de 4 años que termina con este trabajo.

En particular y muy especialmente me gustaría agradecer a la directora de este Trabajo Final de Grado, Montserrat Sánchez por guiarme a lo largo de su realización.

También me gustaría hacer una mención especial a mi familia cuyo apoyo en todo momento ha sido esencial a lo largo de la carrera.

Finalmente, a todos mis compañeros, por apoyarnos y ayudarnos en todo momento, sin ellos este viaje hubiera sido imposible.

A todos vosotros, gracias.

17. Bibliografía

- ANTONIO, I.E.S. y GLEZ, G., [sin fecha]. IES Antonio Glez Glez 1 Departamento de Tecnología. , pp. 1-10.
- ANTONIO, W. y LOZANO, O., 2006. Diseño y simulación de las fuerzas de arrastre y sustentación en los autos. *Prospectiva*, vol. 4, no. 2, pp. 26-33. ISSN 1692-8261.
- CERTT 2020 CAMPEONATO DE ESPAÑA DE RALLIES TODO TERRENO 2020 REGLAMENTO DEPORTIVO. , [sin fecha]. S.l.:
- Clasificación de Aceros Inoxidables de acuerdo con la norma AISI. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/norma-aisi-para-aceros-inoxidables>.
- PECTOS AMBIENTALES | química-acero. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 9 enero 2021]. Disponible en: <https://franco970204.wixsite.com/quimica-acero/fectos-ambientales>.
- GÓMEZ MORALES, T., 2016. Elementos estructurales del vehículo. , pp. 6-35.
- INSTITUTO TÉCNICO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO, 2010. Estructuras tubulares. *Estructuras tubulares*, pp. 105.
- LEWANDOWSKI, C.M., 2015. Tipos de carrocerías y bastidores. *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*, vol. 1. ISSN 1098-6596.
- MARTÍN GARCÍA, C. y MOCHOLÍ ÁLVAREZ, R., [sin fecha]. Diseño y optimización del chasis de un vehículo eléctrico autónomo. . S.l.:
- Medio ambiente | Alacero. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 9 enero 2021]. Disponible en: <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/medio-ambiente>.
- Microsoft Office | Programa de licencias por volumen de Microsoft. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-es/licensing/product-licensing/office>.
- Portátil gaming HP Pavilion 16-a0001ns - HP Store España. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: https://store.hp.com/SpainStore/Merch/Product.aspx?id=162G8EA&opt=ABE&sel=NTB&lang=es-ES&pup_e=1&pup_cid=33827&pup_id=162G8EA%23ABE&gclid=CjwKCAiAudD_BRBXEiwAudakX-Z1hLkbcRAXRCD6V8rsr7B8pQdN8qTFELI6BxEhhxjInwHaA51wJhoCk-cQAvD_BwE&gclid=aw.ds.
- Precios de SOLIDWORKS | CIMWORKS. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <https://www.cimworks.es/precios-solidworks/>.
- RODR, J., LAFOZ, M. y DPTO, P., [sin fecha]. La tecnología de los motores eléctricos en



vehículos . ,

SPB, 2016. Tipos de Carga. *Página oficial puerto de San Buenaventura* [en línea], pp. 1.
Disponible en: <http://www.sprbun.com/web/portal/tipos-de-carga>.

