

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



“Diseño de la estructura del módulo de tracción
de un camión eléctrico modular”

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio – 2023

AUTOR: Sánchez Mena, Arturo

DIRECTOR: Abellán López, David

Este Trabajo de Fin de Grado va dedicado a mis padres, por su generosidad y esfuerzo durante estos años.

A mi hermano, por ayudarme en las tareas diarias y así poder dedicar más tiempo a exámenes, trabajos...

A mis abuelos y, en especial, a mi abuelo, al cual le hacía mucha ilusión mi paso por la universidad.

Y, finalmente, a mi novia, por su apoyo incondicional en los momentos más complicados y por nunca dudar de mí.

Gracias a todos.

“Diseño de la estructura del módulo de tracción de un camión eléctrico modular”

Autor: Sánchez Mena, Arturo

Director: Abellán López, David

RESUMEN DEL PROYECTO

Este TFG forma parte del proyecto de desarrollo de un prototipo de camión eléctrico modular. Dicho camión consta de una masa máxima autorizada de 4.500 kg y tiene como objetivo el transporte de mercancías de “última milla”.

Para la construcción del prototipo se van a aprovechar algunos de los componentes mecánicos de un Iveco Daily equipado con un motor Diesel y con una masa máxima de 3.500 kg. Se aprovechan los elementos rodantes, suspensión, sistema de freno, cabina y parte de la estructura trasera. El sistema de propulsión va situado en uno de los 3 módulos que completan el compartimento de carga. Estos compartimentos están compuestos por secciones tubulares y las partes mencionadas del Iveco Daily.

El presente Trabajo de Fin de Grado expone en profundidad el proceso de diseño de la estructura tubular del módulo situado sobre el eje de tracción. Este diseño parte de parámetros como el ancho de vías, el tipo de sistema de amortiguación, dimensiones de las baterías a instalar y el acoplamiento de los módulos anterior y posterior al mismo.

Los módulos anterior y posterior han sido diseñados por el grupo de Ingeniería de Vehículos, Biomecánica y Diseño Mecánico de la Universidad Miguel Hernández de Elche al igual que el sistema de unión entre módulos.

Al inicio del documento se expone el estado del sector del transporte de mercancías y como este se adapta a las nuevas tendencias del mercado, apostando por la electromovilidad en post de la reducción de emisiones de gases contaminantes producidos por los motores de combustión tradicionales.

En los siguientes apartados se trata en profundidad el proceso de diseño del módulo desde la fase de mediciones y realización de bocetos tanto de piezas como del montaje de estas, hasta la fase del cálculo estructural con el fin de comprobar que la estructura es capaz de soportar los esfuerzos a los que va a estar sometida durante su vida útil.

Finalmente, se representan en diversos planos las piezas y estructura diseñadas indicando medidas, cantidades, materiales y operaciones a realizar sobre las piezas ya fabricadas dando lugar así al módulo completo que conforma el camión eléctrico modular.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Antecedentes.....	9
1.2	El camión eléctrico	11
1.3	La última milla	12
1.4	Alternativa de diseño: Camión modular	13
1.5	Motivación	18
1.6	Alcance y objetivos del proyecto	19
2	MATERIALES Y METODOS	21
2.1	Medios empleados.....	21
2.2	Diagrama de Gantt.....	21
2.3	Medidas en taller, esquemas de montaje y bocetos de piezas	21
2.4	Inventor 3D	22
2.4.1	Desarrollo del chasis	22
2.4.2	Desarrollo del módulo	26
2.4.2.1	Bases de Diseño	26
2.4.2.2	Diseño del módulo y elementos de unión.....	26
2.5	Cálculo resistente de la estructura.....	37
2.5.1	Adaptación del Modelo 3D	37
2.5.2	Mallado del modelo	38
2.5.3	Cargas y apoyos	39
2.5.4	Valores de las cargas.....	41
3	RESULTADOS	45
3.1	Deformaciones.....	45
3.2	Tensiones.....	47
4	CONCLUSIONES	50
4.1	Futuros trabajos.....	50
5	BIBLIOGRAFÍA.....	51
6	ANEXOS.....	53
6.1	DIAGRAMA DE GANTT.....	53
6.2	Planos del diseño	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Iveco Daily 35S10.....	9
Ilustración 2: Gráfica de emisiones del transporte en la UE (2).....	10
Ilustración 3: Distintivos medioambientales (4).	10
Ilustración 4: Volvo FL Electric Urbano (5).	11
Ilustración 5: Volvo FH Electric Regional.	11
Ilustración 6: Kit conversión F150 (7).	12
Ilustración 7: Flota electrificada de Correos.....	13
Ilustración 8: Vehículos y cargador eléctrico Amazon.....	13
Ilustración 9: Módulo 1 o cabina de mando.....	14
Ilustración 10: Marco de unión.	15
Ilustración 11: Módulo de carga.	15
Ilustración 12: Eje trasero de tracción.	16
Ilustración 13: Estructura tubular inferior.....	16
Ilustración 14: Estructura tubular superior.	17
Ilustración 15: Montaje del módulo del eje de tracción	17
Ilustración 16: Camión completo.	18
Ilustración 17: Cabina del camión base.....	22
Ilustración 18: Chasis del camión base.	22
Ilustración 19: Bocetos de largueros y soportes de la barra de torsión....	22
Ilustración 20: Bocetos de los elementos del chasis.	22
Ilustración 21: Barra transversal delantera.....	23
Ilustración 22: Barra transversal delantera.....	23
Ilustración 23: Larguero del bastidor.	23
Ilustración 24: Barra transversal central.....	23
Ilustración 25: Soporte de la barra transversal central.	23
Ilustración 26: Soporte de la barra de torsión.....	23
Ilustración 27: Soporte trasero externo de la ballesta.	24
Ilustración 28: Soporte trasero interno de la ballesta.	24
Ilustración 29: Taco del soporte trasero de la ballesta.	24
Ilustración 30: Pletina de unión del soporte trasero de la ballesta.....	24

Ilustración 31: Soporte trasero de la ballesta	24
Ilustración 32: Taco soporte trasero de la ballesta.....	24
Ilustración 33: Ballesta.	25
Ilustración 34: Amortiguador.....	25
Ilustración 35: Eje tractor y diferencial	25
Ilustración 36: Apoyo inferior de la ballesta con el eje.	25
Ilustración 37: Apoyo superior de la ballesta con el eje.....	25
Ilustración 38: Sección en "U" de unión.	25
Ilustración 39: Primera versión de la estructura.....	27
Ilustración 40: 1ª revisión.....	27
Ilustración 41: 2ª revisión.....	27
Ilustración 42: Bocetos de los elementos de unión	27
Ilustración 43: Barras sobre largueros y elementos de unión.....	27
Ilustración 44: Unión mediante ménsula.	28
Ilustración 45: Fijación por placa plana.....	28
Ilustración 46: Compartimento para las baterías.....	29
Ilustración 47: Diagonales de la estructura	30
Ilustración 48: Diagonales externas laterales.....	30
Ilustración 49: Diagonales externas frontales y laterales	31
Ilustración 50: Diagonales internas.....	31
Ilustración 51: Apoyo bajo de las diagonales.....	32
Ilustración 52: Apoyo alto de las diagonales.....	33
Ilustración 53: Elementos de unión del eje transversal.....	34
Ilustración 54: Vista de perfil de las fijaciones delantera y trasera	35
Ilustración 55: Fijación delantera.....	35
Ilustración 56: Fijación trasera	36
Ilustración 57: Cerramiento superior.....	36
Ilustración 58: Modelo completo en ANSYS	38
Ilustración 59: Mallado del módulo	39
Ilustración 60: Representación y posición de los apoyos	39

Ilustración 61: Grupos de nodos correspondientes a los puntos de unión entre módulos.....	40
Ilustración 62: Worksheet.....	40
Ilustración 63: Grupos de nodos: marcos delantero y trasero.....	42
Ilustración 64: Distribución de deformaciones en el módulo para la combinación de acciones más desfavorable.....	45
Ilustración 65: Distribución de deformaciones en el módulo para la combinación de acciones en orden de marcha.....	46
Ilustración 66: Distribución de tensiones en el módulo para la combinación de acciones más desfavorable.....	47
Ilustración 67: Distribución de tensiones en el módulo para la combinación de acciones en orden de marcha.....	48
Ilustración 68: Cordones de soldadura en el módulo.....	49
Ilustración 69: Detalle de tensiones en la zona del cordón de soldadura.....	49



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Combinación de acciones más desfavorable.....	41
Tabla 2: Combinación de acciones en orden de marcha.....	41
Tabla 3: Esfuerzos en el marco delantero con la combinación de acciones más desfavorable.....	42
Tabla 4: Esfuerzos en el marco trasero con la combinación de acciones más desfavorable.....	43
Tabla 5: Esfuerzos en el marco delantero con la combinación de acciones en orden de marcha.....	43
Tabla 6: Esfuerzos en el marco trasero con la combinación de acciones en orden de marcha.....	44



1 INTRODUCCIÓN

En este Trabajo de Fin de Grado se realiza el estudio y diseño de la estructura tubular de la sección del compartimento que albergará el sistema de propulsión eléctrico seleccionado, para convertir así un camión de combustión interna a uno completamente eléctrico de arquitectura modular. Este trabajo incluye todos los datos necesarios para la fabricación de la estructura y el montaje del módulo por parte del fabricante técnico competente. El diseño se realiza partiendo de algunos componentes de un camión IVECO Daily 35S10.



Ilustración 1: Iveco Daily 35S10.

1.1 ANTECEDENTES

La Unión Europea (UE) está tomando medidas para evitar que el cambio climático puede suponer un problema más grave de lo que ya es hoy en día.

Algunas de estas medidas afectan al sector del transporte por carretera directamente, la más importante, tomada en el año 2022, marca como objetivo el alcance de las cero emisiones de CO₂ producidos en vehículos de nueva fabricación a partir de 2035 (1).

Según los datos facilitados por la UE, en 2019 el transporte por carretera supuso el 71,7% de las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como el CO₂, el CO, NO_x... Además, apuntan que, de este porcentaje, el 27,1% pertenecen a los camiones pesados y, otro 11%, pertenece a los camiones ligeros (2).

De ahí la importancia del uso de fuentes de energía limpias/renovables en el sector del transporte de mercancías por carretera.

Para que estas tecnologías sigan avanzando y aumenten su cuota de mercado la UE está promoviendo medidas que benefician el desarrollo de estas como pueden ser la reducción de ventajas fiscales para los combustibles fósiles o la revisión de la legislación que aplica sobre las infraestructuras de estos combustibles alternativos ampliando su capacidad.

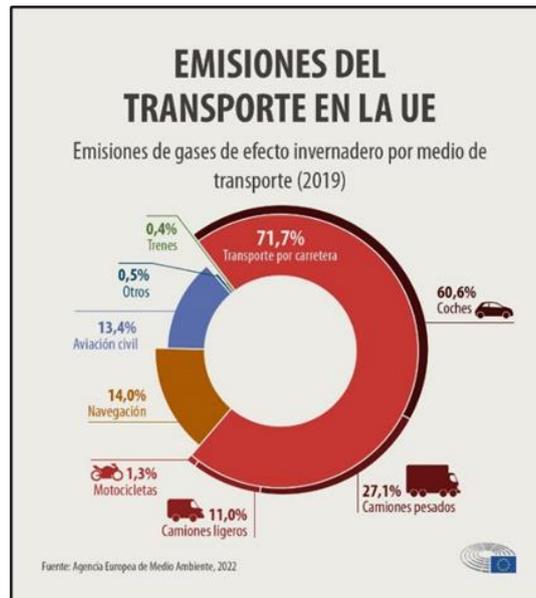


Ilustración 2: Gráfica de emisiones del transporte en la UE (2).

Actualmente, la línea de actuación con mayor fuerza es la de la electrificación completa de todos los vehículos de producción destinados al transporte por carretera.

Esta concienciación por la lucha contra el medio ambiente también ha calado a nivel nacional donde también se han impuesto medidas que afectan directamente al transporte de mercancías.

La más significativa de estas medidas es la implantación de las Zonas de Bajas Emisiones en los núcleos urbanos. Estas zonas limitan el acceso a los vehículos más contaminantes con el objetivo de mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación ambiental (emisiones de gases de efecto invernadero como: CO₂, CO, NO_x y HC) y acústica (disminuyendo los niveles de intensidad sonora).

Para filtrar el acceso de los vehículos a estas zonas la Dirección General de Tráfico (DGT) ha establecido una serie de distintivos medioambientales que indican la eficiencia energética de los diferentes tipos de vehículos (3).

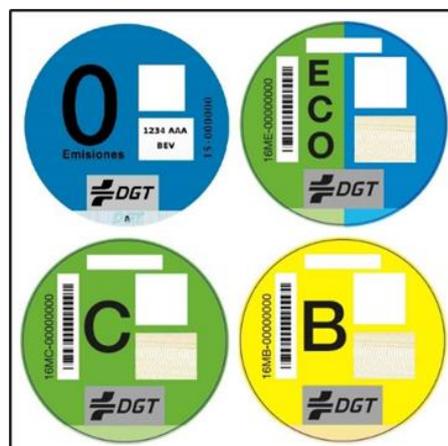


Ilustración 3: Distintivos medioambientales (4).

1.2 EL CAMIÓN ELÉCTRICO

Gran parte de la solución al problema de las emisiones anteriormente expuesto pasa, directamente, por la reducción del uso de combustibles fósiles en el transporte de mercancías por carretera.

En la actualidad, los fabricantes de camiones más importantes del mundo invierten una parte importante de sus recursos en el desarrollo de camiones híbridos y 100% eléctricos, como es el caso de marcas como Volvo, MAN, Scania etc.

Estos y otros fabricantes han llegado a obtener cifras de autonomía en sus camiones 100% eléctricos de hasta 420 km como es el caso del Volvo FL Electric (Ilustración 4). Sin embargo, hoy en día, resulta casi imposible alcanzar la autonomía de un camión equipado con un motor de combustión Diesel, cuyas cifras rondan los 1.200 km de autonomía.



Ilustración 4: Volvo FL Electric Urbano (5).



Ilustración 5: Volvo FH Electric Regional.

Esta limitación, viene dada, principalmente, por el parámetro de densidad energética de las baterías. Actualmente, una batería de ion-litio (la más empleada en el sector de la automoción) puede llegar a tener una densidad energética de entre 100 y 265 Wh/kg, mientras que la gasolina llega a tener 12.700 Wh/kg (6).

Esto imposibilita que los fabricantes de camiones eléctricos pongan el foco en el transporte de mercancía de larga distancia y, hayan decidido, centrar gran parte de sus recursos en el desarrollo de camiones que puedan cubrir el transporte de mercancías en los rangos regionales, interurbanos y urbanos o de "última milla".

Además de los grandes fabricantes internacionales de camiones, existen empresas que se dedican a convertir camiones propulsados por motores de combustión en camiones 100% eléctricos. Estas, tienen una doble función, ya que, aparte de poner un vehículo eléctrico nuevo en circulación, retiran un vehículo de combustión de las carreteras sin necesidad de fabricar un nuevo vehículo desde cero y reduciendo la generación de residuos al darlo de baja, ayudando a la reducción de emisiones tanto durante el periodo de vida útil del vehículo como en la fabricación de este.

Muchas de estas empresas tratan cada camión de forma individual realizando una conversión a medida para cada uno de los modelos del mercado, mientras que, otras, se dedican a diseñar kits de conversión que son adaptables a algunos modelos de camión del mercado aplicando filtros como el rango de uso, la masa máxima admisible u otros parámetros que pueden afectar al dimensionamiento de los elementos que forman el grupo propulsor.



Ilustración 6: Kit conversión F150 (7).

1.3 LA ÚLTIMA MILLA

Se entiende el concepto de última milla como la fase del transporte de una mercancía que tiene, como origen, un almacén de distribución a nivel local, centro logístico o tienda física y, como destino, el cliente definitivo que ha encargado la mercancía o el producto en sí (8).

Con el aumento exponencial de las compras online y la creciente exigencia de los clientes para que los productos que adquieren lleguen en el menor plazo de tiempo posible, esta última fase de transporte ha cobrado mayor relevancia en los procesos de compraventa online. Tanto es así que grandes empresas como puede ser Correos, SEUR o Amazon planean realizar grandes inversiones de capital para optimizar y actualizar esta fase de transporte de productos.

Es importante que el transporte de última milla sea lo más eficiente posible, pero, actualmente, no es suficiente solo con eso. Las crecientes limitaciones de entrada a los centros urbanos impuestas por el gobierno impiden el acceso a estas zonas con los vehículos más contaminantes, es por esto por lo que, estas y otras empresas de transporte se ven obligadas a actualizar sus flotas de vehículos (motos, furgonetas, camiones...) para poder acceder a los centros urbanos sin restricciones y poder realizar las entregas de la forma más rápida y efectiva posible (9).

A continuación, se exponen los planes de algunas empresas para realizar la transición hacia una movilidad sostenible:

Correos:

Cuenta con más de 1000 vehículos eléctricos y, actualmente utilizan energía renovable para la recarga de estos. La empresa también colabora con empresas investigadoras en el desarrollo de vehículos y soluciones logísticas de última milla sostenibles (10).

Amazon:

La compañía busca desarrollar su propia furgoneta 100% eléctrica antes del año 2030 en asociación con Rivian. En España, la empresa planea, además de aumentar la flota de vehículos 100% eléctricos, instalar un centenar de nuevos puntos de carga en sus centros lógicos (11).



Ilustración 7: Flota electrificada de Correos



Ilustración 8: Vehículos y cargador eléctrico Amazon

1.4 ALTERNATIVA DE DISEÑO: CAMIÓN MODULAR

Tradicionalmente los vehículos industriales se han fabricado mediante un proceso multifásico.

Consiste en la división de la fabricación de un producto en varias fases, en este caso, realizadas en serie.

La primera fase incluye en proceso de fabricación del camión por parte de un fabricante de primera fase, como por ejemplo Iveco, Mercedes, etc. De esta, se obtiene la base sobre la que se trabaja la segunda fase.

En la segunda fase, realizada por "fabricantes de segunda fase" (antes conocidos como carroceros) se adapta el vehículo a las necesidades establecidas por el cliente. En este caso se fabrica el compartimento de carga o se incluyen los elementos de camión como grúas, cisternas, bombas, plataformas... En algunos casos se realizan otras modificaciones que afectan a los elementos de primera fase como cambio de distancia de ejes y cambio de masas máximas autorizadas.

El camión eléctrico modular propuesto por el grupo de investigación de la UMH mantiene esa filosofía de fabricación multifásica. En este caso un fabricante de primera fase hará el módulo de control o cabina y el módulo de tracción eléctrica. Estos módulos estarán completos y con las homologaciones necesarias.

El fabricante de segunda fase se encargará de la fabricación del resto de módulos de carga a medida del cliente y del ensamblaje de todos los módulos siguiendo las indicaciones del fabricante de primera fase.

Este proceso de fabricación da como resultado un camión formado por 4 módulos independientes y, cada uno de ellos, desempeña una función diferente para suplir todas las necesidades de funcionamiento de un camión estándar.

Con el objetivo de evaluar la viabilidad de este concepto de camión eléctrico modular se va a fabricar un prototipo en la UMH.

A continuación, se describe la funcionalidad y los módulos del prototipo que se va a fabricar:

- Módulo 1:
 - Cabina o módulo de mando: Esta parte del camión incluye el habitáculo del vehículo, mandos de control, eje delantero direccional, etc. Esta se va a aprovechar del Iveco 35S10 para realizar el diseño del prototipo. En versiones futuras el módulo 1 será diseñado *ad hoc*.



Ilustración 9: Módulo 1 o cabina de mando.

- Marco de unión: esta estructura, acoplada a los largueros del chasis y a la propia estructura trasera de la cabina, tiene por objetivo la unión de la cabina con el módulo 2. Este marco se diseña para la construcción del prototipo, pero en futuras versiones estará integrado en el módulo de mando.



Ilustración 10: Marco de unión.

- Módulo 2:
 - Estructura tubular del módulo de carga: la principal función de este módulo es la de albergar mercancía en su interior, accesible mediante un portón lateral o, según la versión, desde la cabina o desde el acceso trasero del camión.

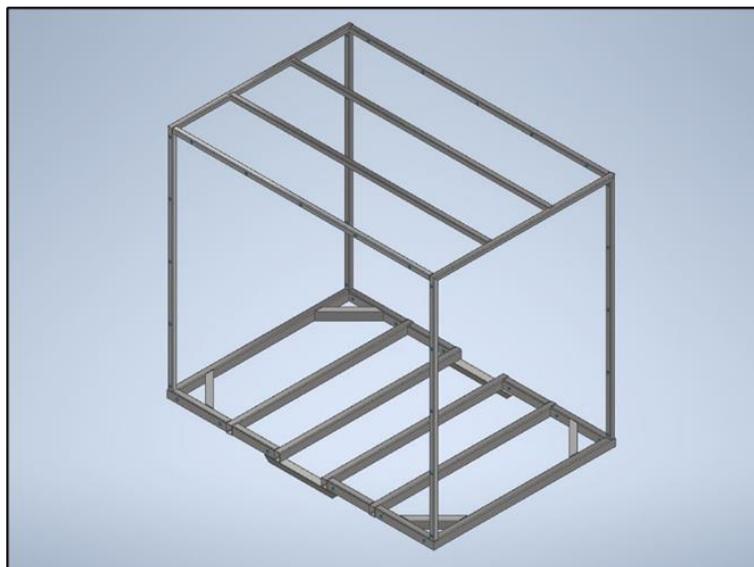


Ilustración 11: Módulo de carga.

- Módulo del eje tractor:
 - Masa no suspendida y suspensión: se reproduce el eje trasero del camión para disponer de una base sobre la que dimensionar la estructura tubular anclada sobre este. Se reutilizan la suspensión, el bastidor y el eje trasero del camión Iveco antes mencionado.

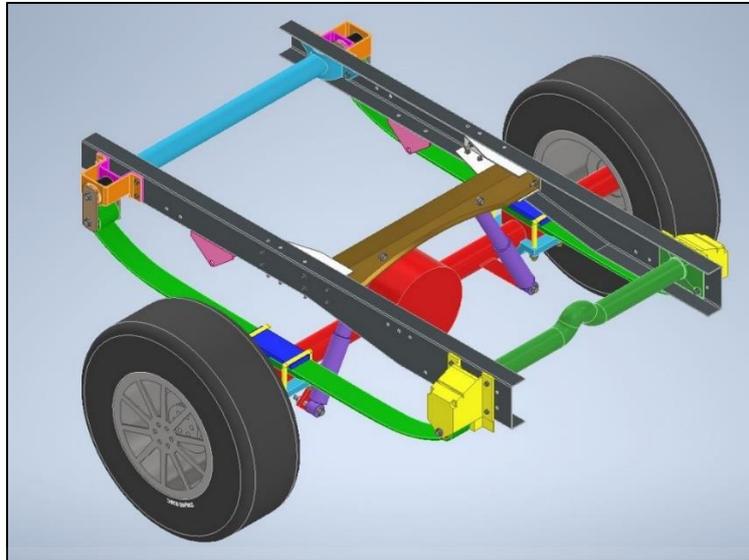


Ilustración 12: Eje trasero de tracción.

- Estructura inferior del módulo: esta parte dispone de los compartimentos donde se alojarán las baterías y los tubos donde se acoplará el motor eléctrico.

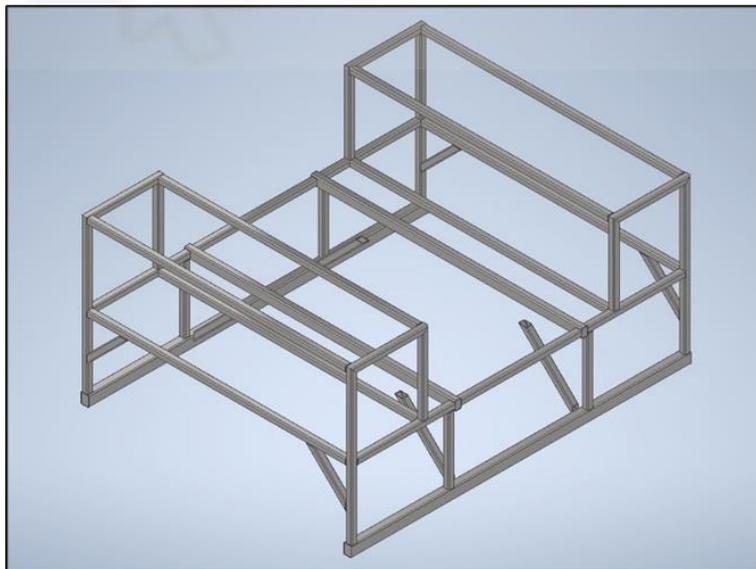


Ilustración 13: Estructura tubular inferior.

- Estructura superior del módulo: completa la estructura y amplía la capacidad de carga del camión.

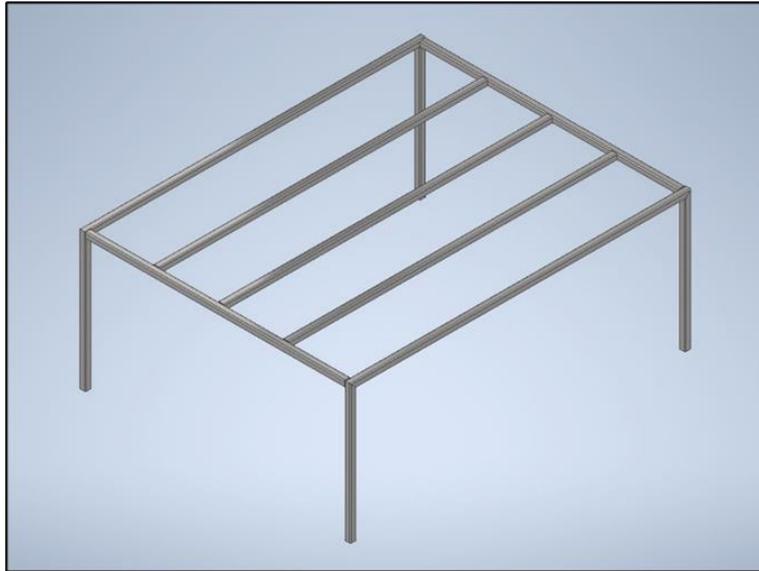


Ilustración 14: Estructura tubular superior.

Se expone, en la siguiente imagen, el montaje completo del módulo de tracción:

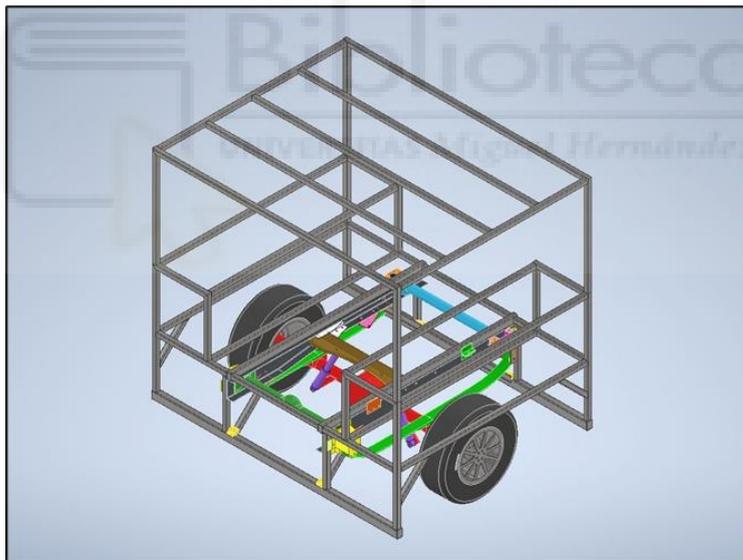


Ilustración 15: Montaje del módulo del eje de tracción.

- Módulo de carga trasero: este módulo presenta una estructura parecida al módulo 2 e incluye un perfil que tiene la función de protección en caso de colisión trasera, situado en la parte baja del módulo dispuesto de forma transversal. También se puede acceder al interior del compartimento de carga desde este módulo. Este se encuentra en fase de desarrollo.

Vista previa del prototipo de camión modular en una versión sin el módulo de carga trasero:

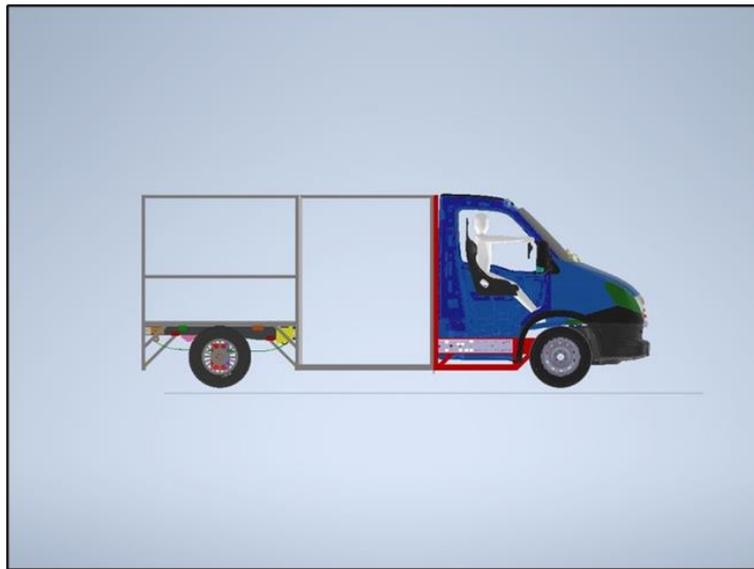


Ilustración 16: Camión completo.

Además de las partes antes expuestas, se han diseñado varios elementos que se encargan de fijar el módulo al chasis y que se expondrán en detalle más adelante en este mismo documento y en el Anexo de planos adjunto.

Todos estos módulos van unidos entre sí mediante un sistema de uniones complejo repartido alrededor de los marcos anteriores y posteriores de cada uno de los módulos. Este sistema está siendo diseñado en paralelo con el diseño de los diferentes módulos y por ello no aparecen representados en los planos.

1.5 MOTIVACIÓN

Como se ha expuesto anteriormente en este documento, la necesidad de reducir las emisiones de vehículos dedicados al transporte terrestre de mercancías se ha convertido en una prioridad, tanto para las autoridades competentes en el sector, como para los principales fabricantes del mercado. Gracias a estas nuevas necesidades han surgido empresas con propuestas innovadoras y se han ido haciendo un hueco en el mercado del transporte de mercancías propulsado por energías limpias.

Es esta nueva necesidad lo que hace que se plantee la posibilidad de diseñar un camión 100% eléctrico.

El diseño propuesto de camión modular facilita también que el camión se pueda destinar a transportar mercancías de diversos tipos y con distintos requerimientos de transporte pudiendo realizar modificaciones o añadido de sistemas extras de climatización, elevación, entre otros, sobre una base común, que, en este caso, serían los 4 módulos diseñados y descritos en el apartado anterior.

Además de esto un proyecto de estas características puede ser extrapolado a otros modelos de camión comercial implicando, únicamente, modificaciones menores en los módulos previamente diseñados con lo que también se abaratarían costes en el proceso de producción.

La construcción del prototipo parte de un camión propulsado por un motor de combustión previamente comercializado del que se retira el sistema de propulsión y transmisión al completo para sustituirlo por un grupo propulsor impulsado por un motor eléctrico alimentado por baterías Ion-Litio y un grupo transmisión capaz de llevar, de forma eficiente, la potencia proporcionada por dicho motor eléctrico a las ruedas tractoras.

Una de las razones por las que se decide llevar a cabo este proyecto es la limitación económica. El proyecto fue concebido con el objetivo de crear un prototipo del concepto de camión modular que permitiese explorar la posibilidad de esta arquitectura de vehículo, pero con un coste reducido.

1.6 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

De forma general, el proyecto tiene como objetivo el desarrollo de la estructura de tipo tubular anclada al eje trasero y que da lugar al módulo de tracción del camión eléctrico modular expuesto en el apartado 1.4.

Para alcanzar este objetivo se plantean varios subobjetivos:

- Objetivo 1. Reproducir el chasis del Iveco 35S10 en un entorno CAD 3D.
- Objetivo 2. Identificar y entender el chasis base para, posteriormente, definir el diseño y montaje de la estructura tubular.
- Objetivo 3. Diseñar la estructura tubular en un entorno CAD 3D y realizar montaje del conjunto.
- Objetivo 4. Diseñar elementos de unión entre el chasis y la estructura tubular para obtener un conjunto compacto.
- Objetivo 5. Cálculo estructural del modelo completo sometido a varios estados de carga.
- Objetivo 5. Aplicar las modificaciones necesarias para evitar o reducir deformaciones y tensiones excesivas en el conjunto.
- Objetivo 6. Redacción de planos para el posterior proceso de fabricación.

En este documento no se va a tratar o desarrollar los siguientes apartados relacionados con el módulo completo:

- Sistema de uniones entre módulos.
- Soportes y elementos de anclaje de las baterías a la estructura tubular.
- Soportes y elementos de anclaje del motor eléctrico y grupo transmisor a la estructura tubular o chasis.
- Cerramientos del módulo.



2 MATERIALES Y METODOS

2.1 MEDIOS EMPLEADOS

Durante todo el proceso de diseño se emplean diferentes herramientas, tanto analógicas como digitales, para el correcto desarrollo de cada uno de los procesos y, con ello, conseguir que los resultados obtenidos tengan la precisión deseada.

En este caso se emplean: herramientas de medición como calibres, cintas métricas, niveles y reglas graduadas; diversos softwares, a saber: Inventor 3D, un programa con entorno CAD para modelado mecánico en 2D y 3D; ANSYS 19.2, un software con múltiples entornos de trabajo y cálculos, pero, del que únicamente se ha empleado el entorno "Static Estructural" con el que se obtienen los resultados del análisis estructural; Microsoft Office 365, que incluye programas como Word, para la redacción de documentos y Excel, para realizar hojas de cálculo, gráficas y diagramas.

2.2 DIAGRAMA DE GANTT

Al comienzo del proyecto se realiza un diagrama de planificación general para estipular tiempos de realización de tareas y fecha de finalización, este se actualiza conforme se avanza en la realización de las tareas. La versión final de este se encuentra en el apartado "6.1" del documento.

2.3 MEDIDAS EN TALLER, ESQUEMAS DE MONTAJE Y BOCETOS DE PIEZAS

Para poder establecer las medidas del módulo con estructura tubular a diseñar primero se representan los elementos de los que se compone el chasis del camión sobre el que se va a trabajar, es por esto por lo que la fase de medición se expone aquí como la primera fase del proceso de desarrollo del proyecto.

Se plantean dos estrategias para realizar la medición de las piezas de forma individual, el primero consiste en desmontar todas las piezas del conjunto y digitalizarlas mediante un escaneado con láser. En este proceso se obtendrían piezas de gran precisión, pero habría que realizar pasos intermedios de adaptación del objeto mallado para poder realizar el montaje posterior. El segundo proceso consiste en realizar las mediciones sobre las propias piezas y, en ocasiones, sobre el propio conjunto montado con las herramientas mencionadas en el apartado "2.1". Este proceso es más rápido que el escaneado con láser, pero, a su vez, es menos preciso.

Estudiando las dos estrategias y resultados que se obtendrían se decidió, por tiempo de realización y, porque la precisión que requieren las piezas de un chasis de estas características no es tan elevada como pueden ser en una caja de transmisión o en un sistema complejo de amortiguación, realizar esta tarea mediante el segundo método expuesto.

A continuación, se muestran imágenes del chasis y el camión tomadas en el taller:



Ilustración 17: Cabina del camión base.



Ilustración 18: Chasis del camión base.

Imágenes de los bocetos iniciales realizados durante esta primera fase:

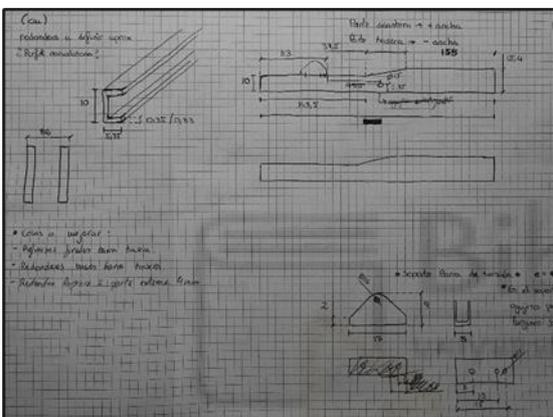


Ilustración 19: Bocetos de largueros y soportes de la barra de torsión

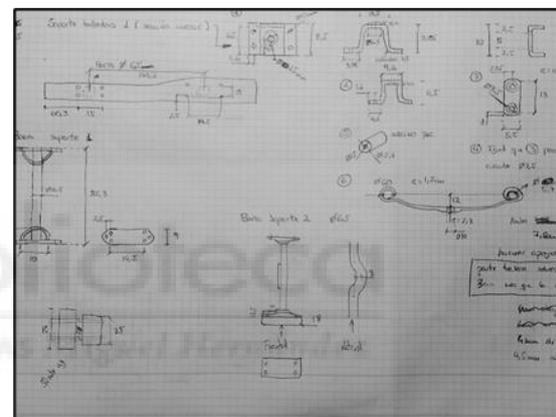


Ilustración 20: Bocetos de los elementos del chasis.

Durante este proceso también se han realizado bocetos y esquemas sobre el montaje y acoplamiento de las piezas para montarlas correctamente y representar el conjunto 3D de la forma más precisa posible.

2.4 INVENTOR 3D

2.4.1 Desarrollo del chasis

Se han realizado los modelos tridimensionales en Autodesk INVENTOR de las piezas del chasis y suspensión que implican dimensiones relevantes para el diseño del módulo. En concreto: la suspensión, el eje de tracción que a su vez implica ruedas, soportes de los amortiguadores y diferencial. Después de esto, se realiza el ensamblaje de las piezas para obtener el conjunto completo.

A continuación, se exponen todas las piezas reproducidas:

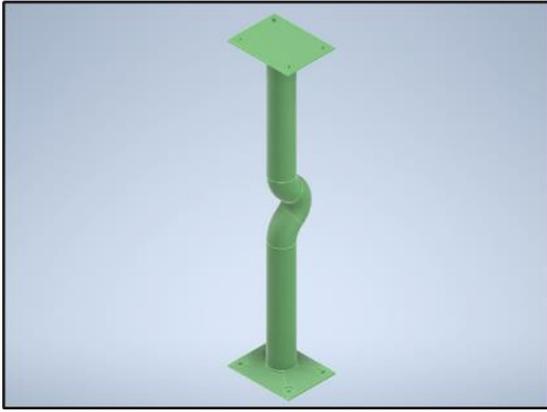


Ilustración 21: Barra transversal delantera.

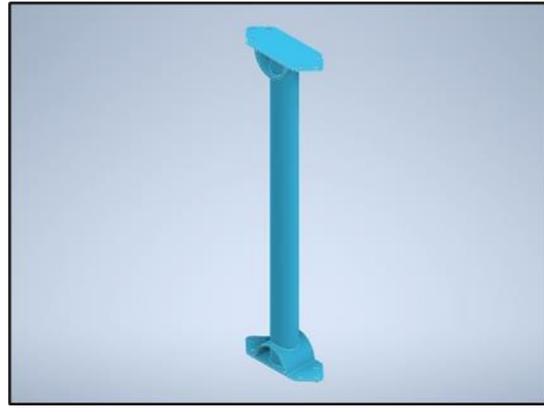


Ilustración 22: Barra transversal delantera.



Ilustración 23: Larguero del bastidor.

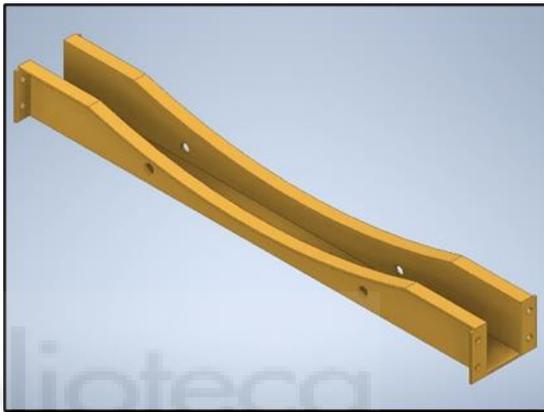


Ilustración 24: Barra transversal central.

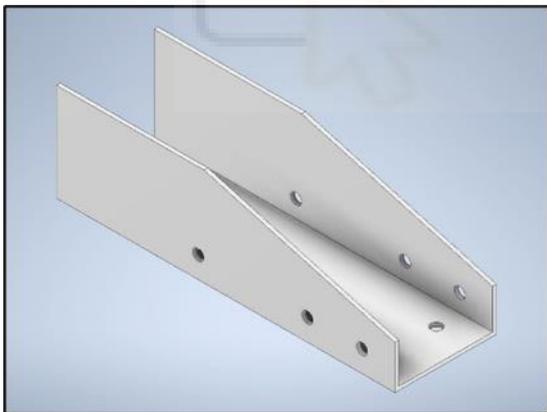


Ilustración 25: Soporte de la barra transversal central.

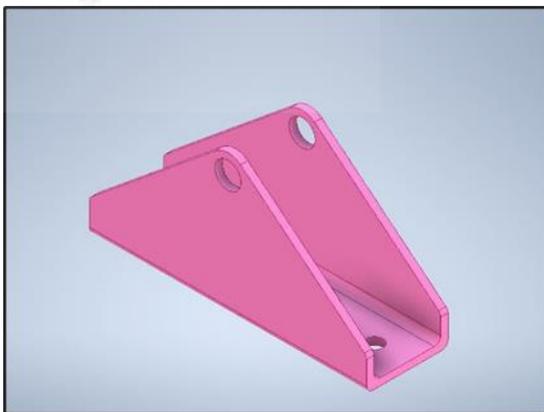


Ilustración 26: Soporte de la barra de torsión.

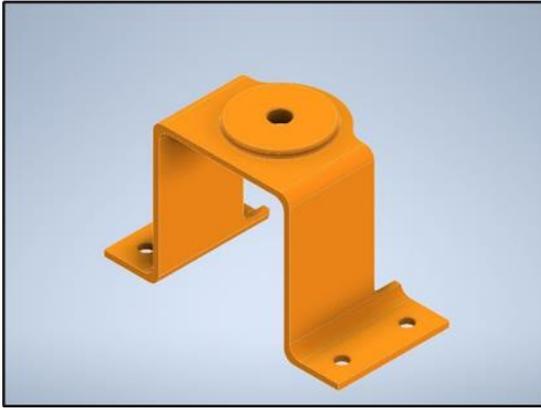


Ilustración 27: Soporte trasero externo de la ballesta.

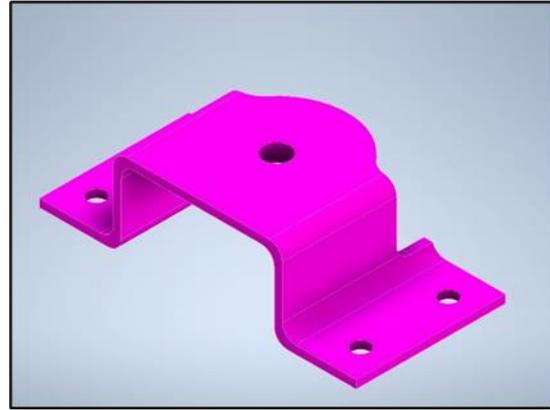


Ilustración 28: Soporte trasero interno de la ballesta.

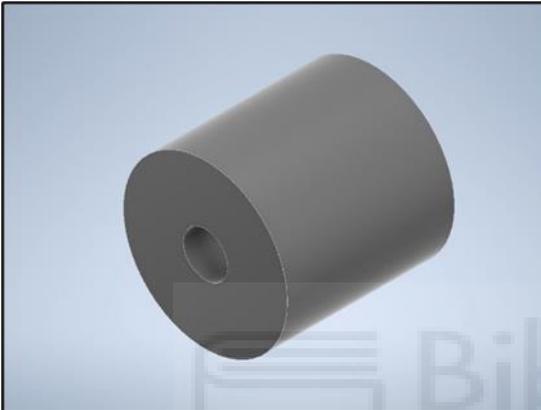


Ilustración 29: Taco del soporte trasero de la ballesta.

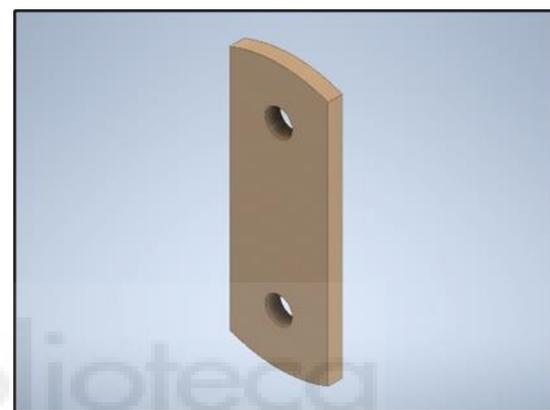


Ilustración 30: Pletina de unión del soporte trasero de la ballesta.

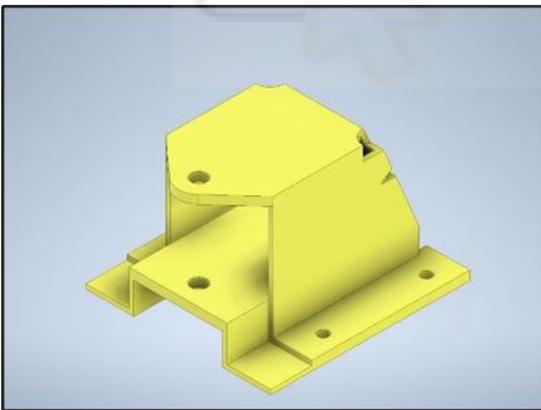


Ilustración 31: Soporte trasero de la ballesta.

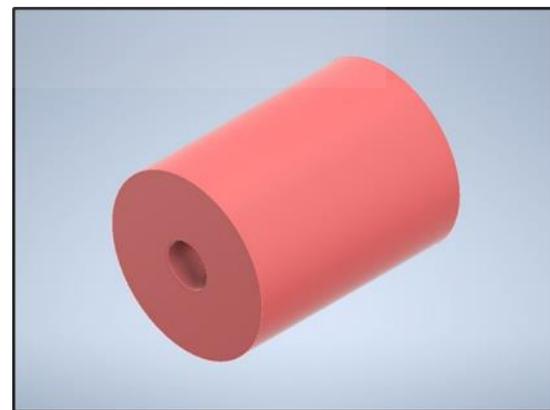


Ilustración 32: Taco soporte trasero de la ballesta.

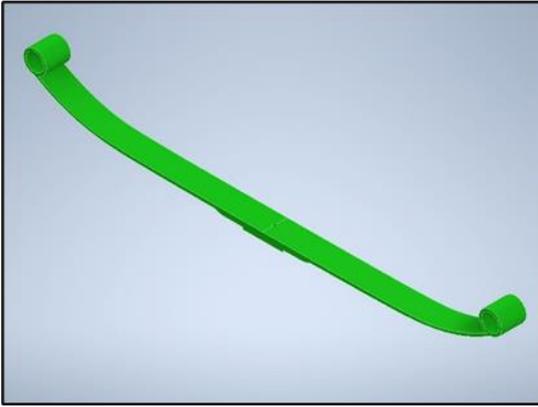


Ilustración 33: Ballesta.

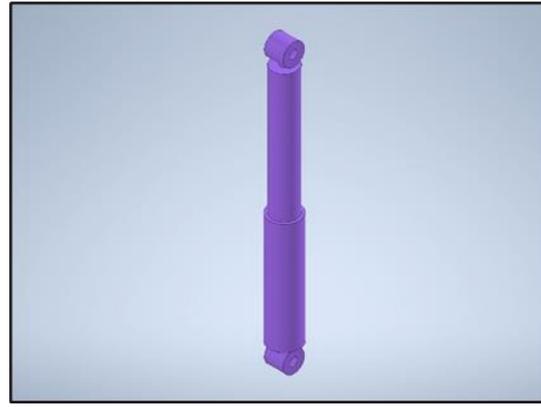


Ilustración 34: Amortiguador.

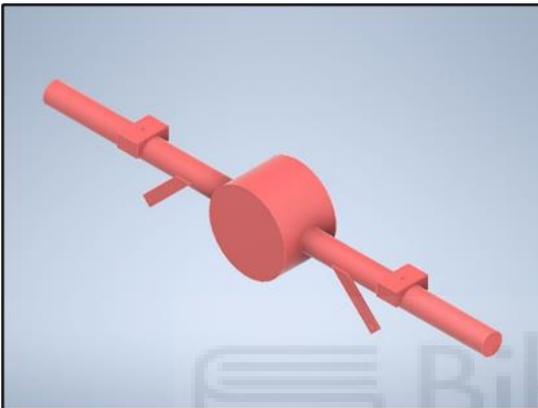


Ilustración 35: Eje tractor y diferencial.

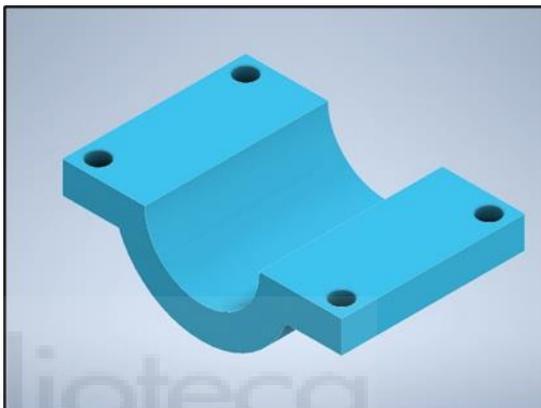


Ilustración 36: Apoyo inferior de la ballesta con el eje.

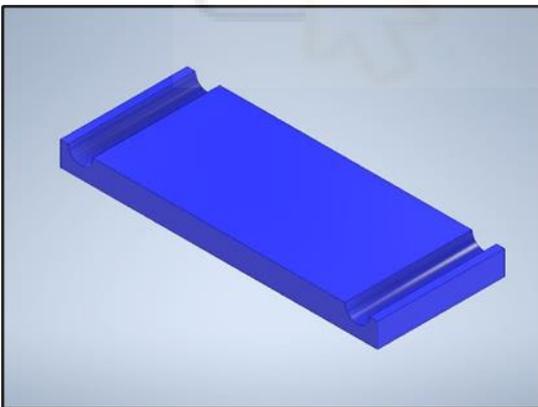


Ilustración 37: Apoyo superior de la ballesta con el eje.

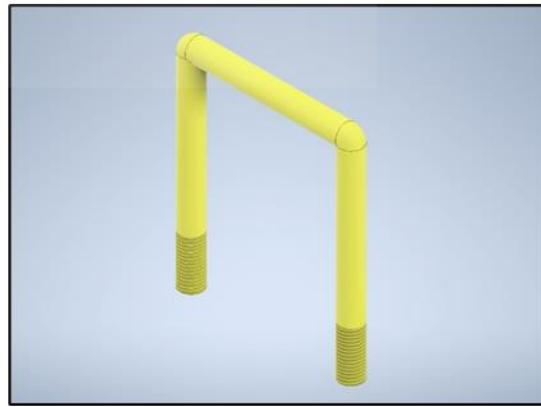


Ilustración 38: Sección en "U" de unión.

2.4.2 Desarrollo del módulo

2.4.2.1 Bases de Diseño

Para el desarrollo del módulo se establece una serie de premisas de diseño sobre las que trabajar durante el proceso. Estas premisas dotan de cohesión al módulo con el resto de los elementos que forman el conjunto del camión modular.

La primera son las dimensiones del módulo, las cuales están ya establecidas en el diseño del módulo 2. De este se extraen los valores de altura y anchura del marco exterior de la estructura tubular. A su vez, se toma de esta estructura el tipo de tubo empleado para que, así, todo el compartimento de carga este conformado del mismo material y que las dimensiones de los tubos tengan la mayor continuidad posible.

Como segunda base de diseño se toma el tipo de sistema de suspensiones de que dispone el camión. En este caso está compuesto por dos amortiguadores acoplados al eje trasero y a uno de los travesaños del bastidor y de dos ballestas acopladas a los largueros del bastidor mediante diferentes elementos de apoyo. Las ballestas están unidas al eje por dos abrazaderas en forma de U. Estos elementos limitan e influyen la disposición de algunas de las barras y dimensiones del módulo.

En este nuevo diseño se va a emplear el propio chasis del camión para, entre otras cosas, simplificar el acoplamiento de ballestas, amortiguadores y eje (que tiene integrado el diferencial trasero). La reutilización del chasis implica disponer de una base estructural sólida sobre la que montar el módulo al completo. Todo ello también facilita el posterior cálculo de solicitaciones frente a los esfuerzos a los que normalmente está sometido un vehículo de estas características, sin embargo, a pesar de todas las simplificaciones y facilidades que supone la integración del chasis en el módulo, existe una contraparte ya que las dimensiones del eje y sistema de suspensión condicionan el ancho de vías del vehículo y, por lo tanto, condiciona las dimensiones de las que pueda disponer el módulo para albergar baterías, motor eléctrico, inversores, sistema de refrigeración y grupo transmisor.

2.4.2.2 Diseño del módulo y elementos de unión

El módulo está compuesto por elementos tubulares de Acero S355 de diferentes secciones y longitudes unidos entre ellos mediante soldaduras en ángulo o a tope. Y, a su vez, anclados al chasis por elementos de chapa plegada o extruida en los que la unión se realiza por pernos del tipo ISO 4162 y tuercas ISO 4161.

Durante esta fase se plantean diferentes versiones tanto de la estructura del módulo como de los tipos de uniones a emplear. Este proceso iterativo da como resultado el modelo 3D de una estructura capaz de soportar los esfuerzos a los que será sometido durante su vida útil.

A continuación, se muestran algunos de los bocetos realizados en el proceso:

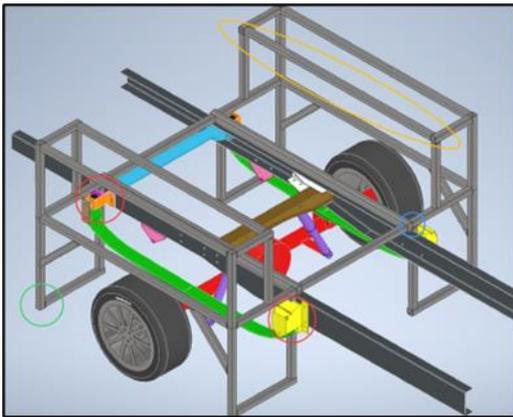


Ilustración 39: Primera versión de la estructura.

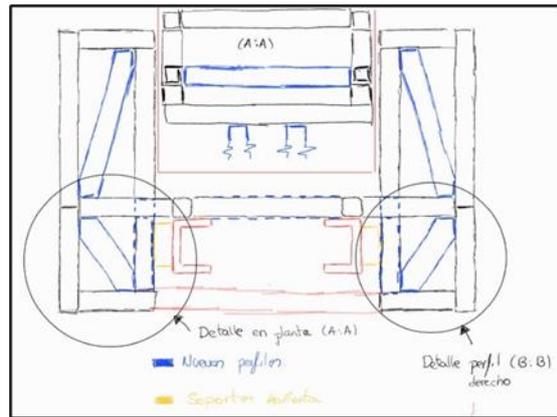


Ilustración 40: 1ª revisión.

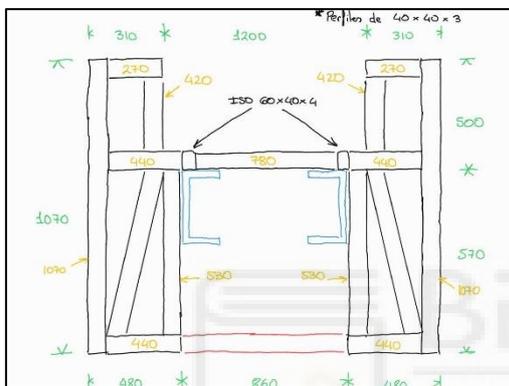


Ilustración 41: 2ª revisión.

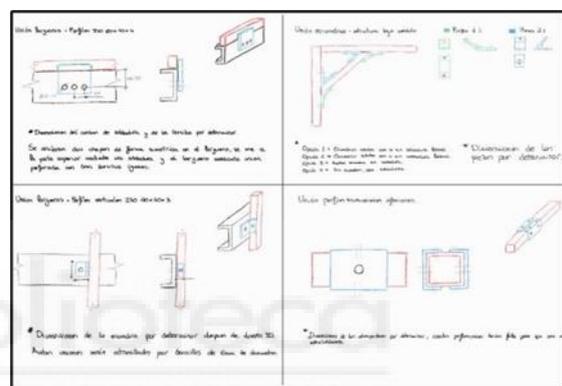


Ilustración 42: Bocetos de los elementos de unión.

En este apartado, además, se describen los elementos del conjunto diseñados a partir de las bases establecidas, se describen las funcionalidades de estos y se justifica su uso en el conjunto montado.

1) Barra sobre largueros:

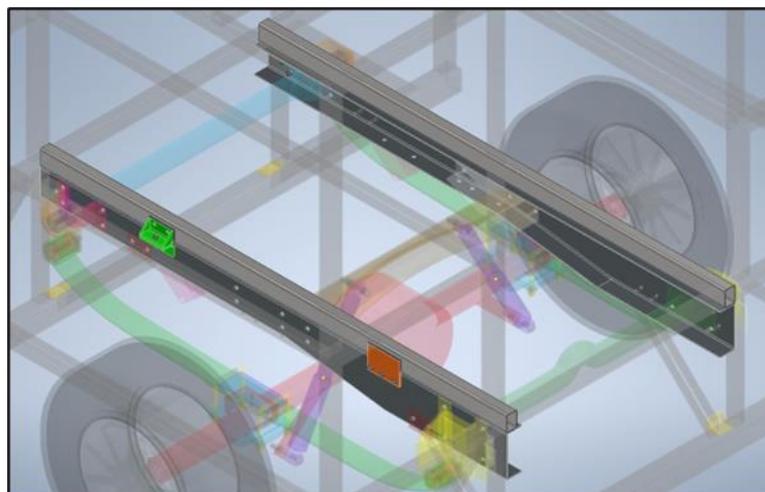


Ilustración 43: Barras sobre largueros y elementos de unión.

Las barras de la estructura tubular se disponen sobre el ala superior de los largueros siguiendo el eje longitudinal de los mismos. De esta forma, además de obtener una base sólida sobre la que disponer el resto de las barras del conjunto, se consigue una estructura capaz de soportar mayores esfuerzos y que aumente, a su vez, la rigidez del conjunto evitando el pandeo o torsión de estas barras centrales.

Como se observa en la *ilustración 43*, la unión entre ambos elementos se realiza mediante dos tipos de fijaciones:

a) Unión mediante ménsula:

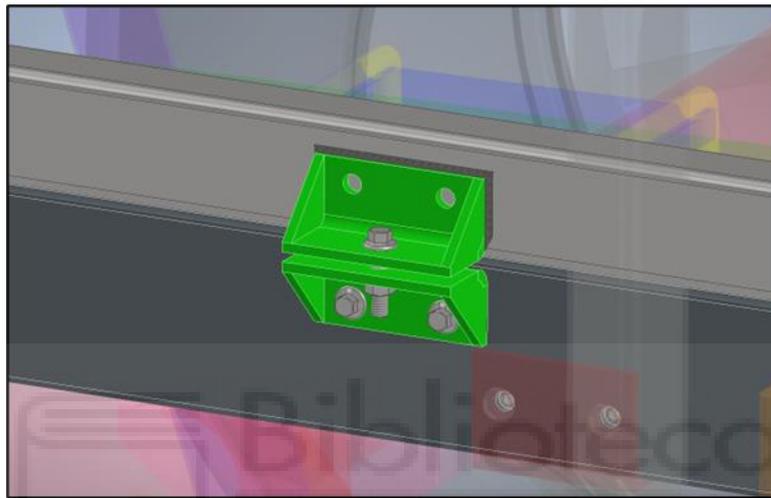


Ilustración 44: Unión mediante ménsula.

Situada en la parte posterior, consiste en la unión de dos escuadras de chapa plegada reforzadas con nervios en sus extremos, unidas entre si mediante un tornillo y una tuerca con brida y con un espaciado entre ellas de 5mm antes del apriete. Una de ellas se une a la barra superior mediante soldadura y, la otra, se une al larguero mediante dos uniones atornilladas.

b) Fijación con placa plana:

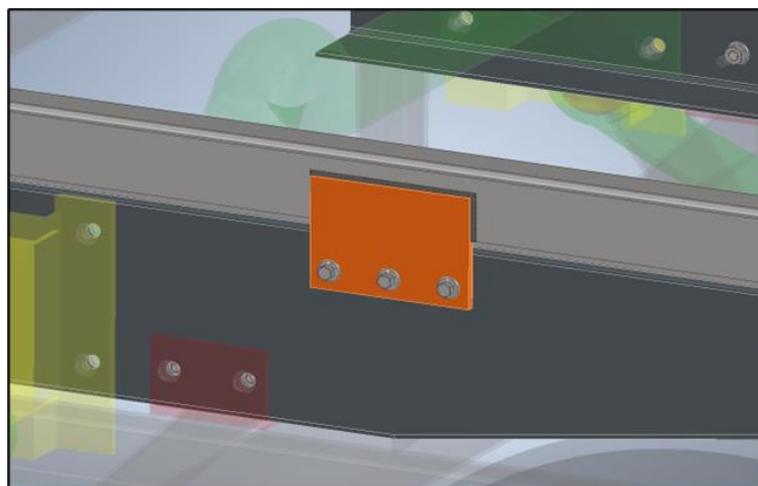


Ilustración 45: Fijación por placa plana.

Esta garantiza un buen comportamiento al empuje longitudinal y transversal, asegurando una mayor rigidez del conjunto. La unión, en este caso, se realiza mediante tres cordones de soldadura que unen la placa a la barra superior y se emplean 3 uniones atornilladas que unen dicha placa al larguero. En la unión atornillada se asegura una distancia mayor o igual a 30mm desde el ala superior del larguero para evitar deformaciones en el mismo.

2) Conjunto del compartimento de las baterías:

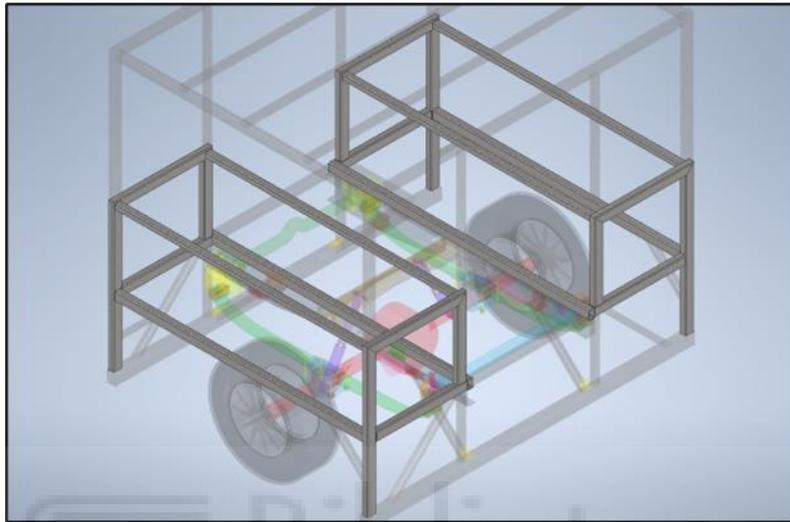


Ilustración 46: Compartimento para las baterías.

En este diseño con el motivo de que todo el compartimento de carga sea diáfano, es decir, se pueda atravesar de lado a lado sin dificultad, las baterías se distribuyen en los laterales de la estructura, esto implica que se ha de tener en cuenta el recorrido vertical del neumático en según qué circunstancias. Generalmente las baterías se sitúan en la parte más baja del vehículo para favorecer el reparto de pesos del vehículo y obtener una mayor estabilidad, pero en este caso, teniendo como premisa las dos características antes descritas las baterías estarán a la altura adecuada para el correcto funcionamiento del sistema de tracción y, a su vez, no dificultarán en paso a través de todo el compartimento de carga.

Algunos de los elementos de esta estructura tienen más funciones a parte de conformar el compartimento de las baterías. Mientras que algunos forman parte del marco de unión entre los módulos delantero y trasero otros sirven como base para la unión de otros elementos destinados al refuerzo estructural como pueden ser; las barras en disposición diagonal situadas en los laterales del módulo o los tubos verticales situados en la parte interna del conjunto.

3) Diagonalización de la estructura:

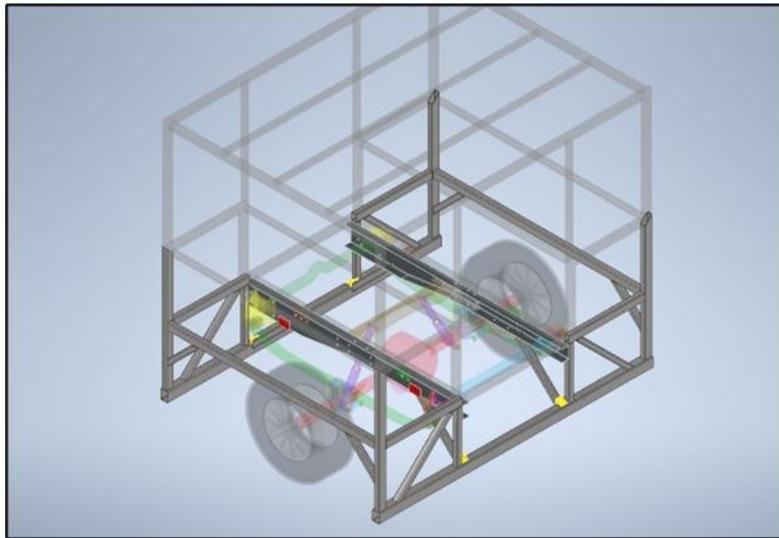


Ilustración 47: Diagonales de la estructura.

En la *ilustración 47* se resaltan las diagonales, elementos de unión para la correcta fijación de estas y, a su vez, se muestran los tubos indispensables para la realización de la estructura a los que están unidas estas diagonales.

Para describir las funciones y características de estas barras diagonales se plantea una diferenciación según la posición en la que se encuentran:

a) Diagonalización externa en los laterales:

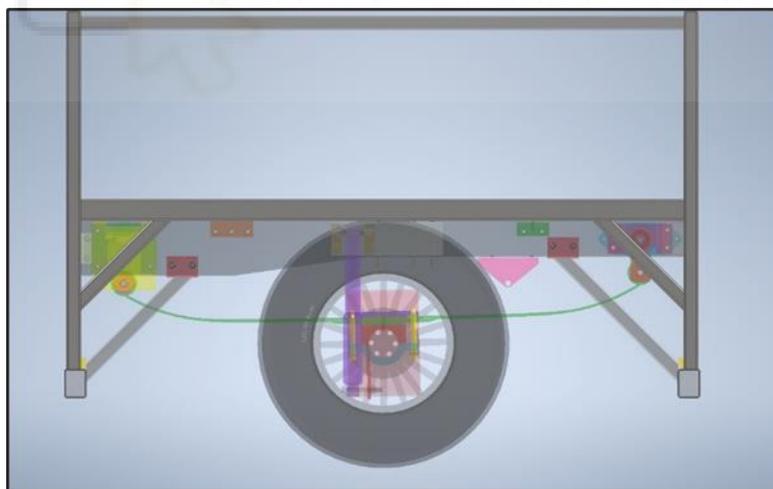


Ilustración 48: Diagonales externas laterales.

Estas diagonales se sueldan a las barras verticales y horizontales externas que forman el compartimento que alberga los módulos de baterías. Están situadas en los laterales del módulo junto a las ruedas. Estas diagonales se disponen de manera que el ángulo que forman es de 45° , facilitando así las tareas de corte y soldadura.

La principal función de estas es la de evitar el colapso hacia el interior del hueco de la rueda de las barras verticales que forman tanto el marco anterior como el posterior. Este fallo se produce por la acción de las cargas transmitidas desde los módulos delantero y trasero al propio módulo diseñado.

b) Diagonalización externa en la parte frontal y trasera:

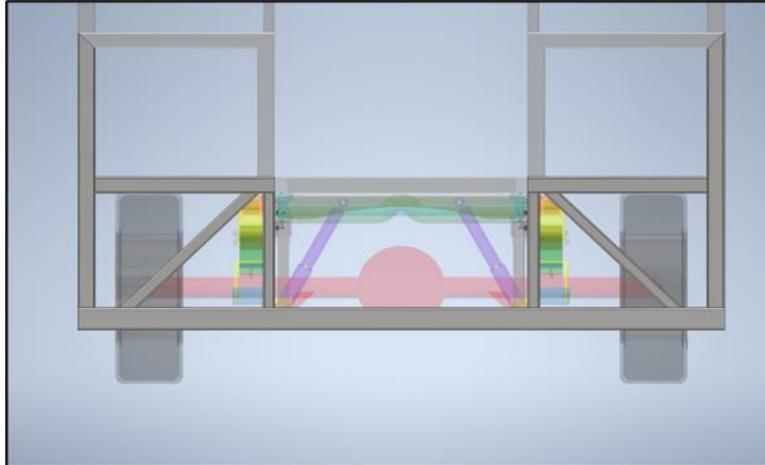


Ilustración 49: Diagonales externas frontales y laterales.

Estos tubos están situados inmediatamente debajo de los compartimentos de las baterías. Unen, tanto uno de los tubos del mismo compartimento, como la barra inferior que forma parte del marco.

Estas diagonales tienen la función de rigidizar la parte baja de la estructura para evitar la presencia de deformaciones y disminuir, también, las tensiones a las que están sometidos los elementos del marco inferior de la estructura. Estas deformaciones se observan mayores en la barra inferior del módulo.

Estas diagonales se disponen formando un ángulo de 45° facilitando así la tarea de corte en el proceso previo al montaje y el posterior proceso de soldadura en los extremos.

c) Diagonalización interna:

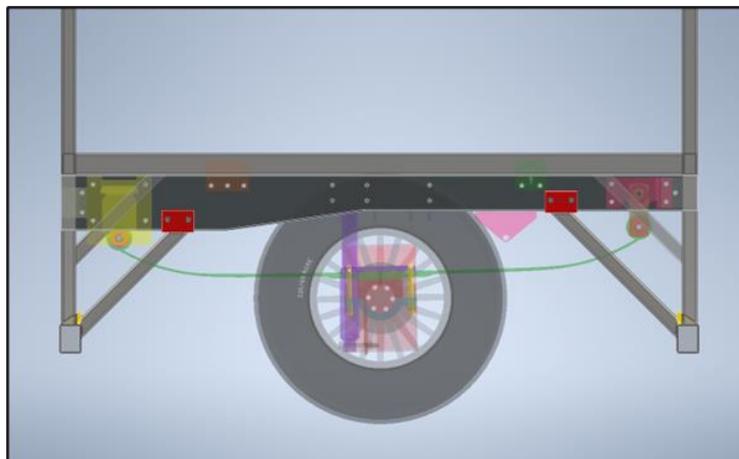


Ilustración 50: Diagonales internas.

Los siguientes elementos con más relevancia en la función de unión del conjunto son las diagonales internas.

Se disponen cuatro tubos de forma oblicua iguales dos a dos. Las medidas de estas diagonales están influenciadas directamente por el ancho del alma de los largueros. Es por esto por lo que, en la parte delantera, donde el alma es más ancha, las diagonales tienen una longitud menor que las dispuestas en la parte trasera donde el ancho del alma es más reducido.

Además del anclaje a los largueros, estas diagonales se unen a la barra de 80x60x3 situada en la parte inferior del módulo y a una escuadra de chapa plegada nervada. El motivo por el que se realiza este montaje es, principalmente, para mantener el ángulo de corte de 45°. Sin embargo, la altura a la que se va a disponer cada una de las diagonales también está influenciada por algunos de los elementos (soportes del sistema de amortiguación y soportes de la barra de torsión) que limitan la posición donde se ha de anclar esta diagonal en el larguero en el eje longitudinal a estos.

Estas diagonales, al igual que las descritas anteriormente, tienen la función de rigidizar la estructura evitando deformaciones hacia el interior del módulo. Estas cuatro diagonales se disponen con el objetivo de establecer cuatro puntos de unión más entre el módulo y el chasis del camión.

A continuación, se describen las dos uniones empleadas en el montaje de estas diagonales internas expuestas en los párrafos anteriores:

- i) Fijación a los travesaños inferiores del módulo:

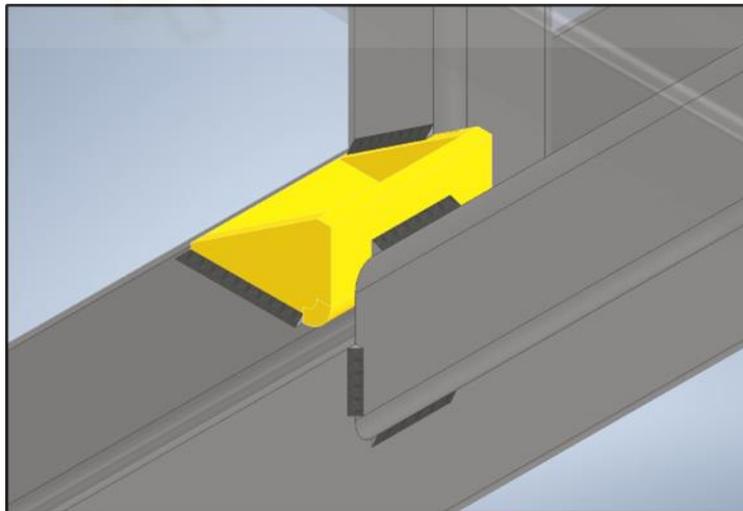


Ilustración 51: Apoyo bajo de las diagonales.

Para realizar la unión se emplea un elemento intermedio que consiste en una chapa plegada con dos nervios situados en los laterales. Este elemento se une al tubo de 80x60x3 mediante dos cordones de soldadura y, a su vez, se une a la barra vertical con otros dos cordones de soldadura, dando lugar a una base

suficientemente resistente y capaz de transmitir los esfuerzos correctamente a la barra oblicua.

Como se observa en la imagen la diagonal se une a la cara externa de la chapa plegada y a la cara interna de la barra inferior mediante cuatro cordones de soldadura distribuidos a lo largo del perímetro del tubo diagonal.

ii) Fijación al larguero del chasis:

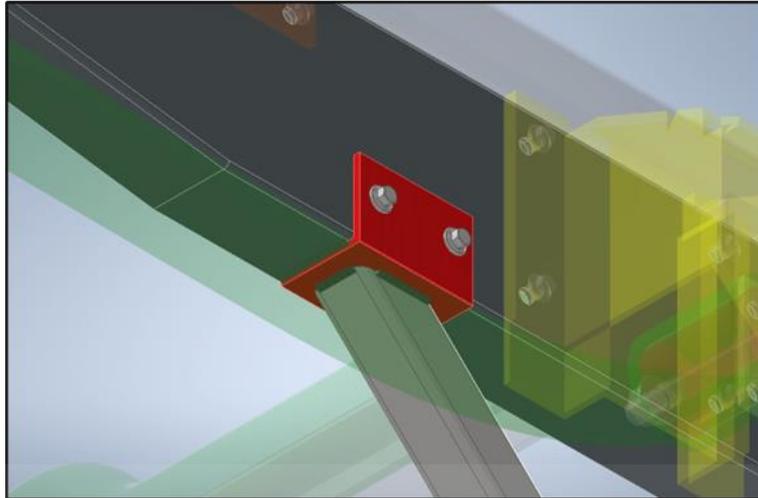


Ilustración 52: Apoyo alto de las diagonales.

En este caso, como elemento de unión intermedio, se emplea un perfil de acero extruido HST4096. Este perfil se emplea, además de para abaratar costes, para que, al realizar el montaje sobre el larguero, no haya problemas con el radio de la doblez del perfil con el radio de unión entre el ala y el alma del larguero como pasaría si, en lugar de un perfil extruido, empleásemos una chapa plegada en el montaje.

La unión entre la diagonal y el perfil extruido se realiza mediante 4 cordones de soldadura dispuestos alrededor del perímetro de la diagonal evitando las aristas redondeadas. A su vez, el perfil extruido se une al ala inferior del larguero mediante 3 cordones de soldadura. Sin embargo, la unión realizada en el alma del larguero se realiza mediante dos pernos y se cierra con dos tuercas con brida. En esta última unión las perforaciones en el alma del larguero han de situarse a una distancia en vertical no inferior a 30mm desde el extremo inferior del mismo.

4) Elementos de unión en el eje transversal:

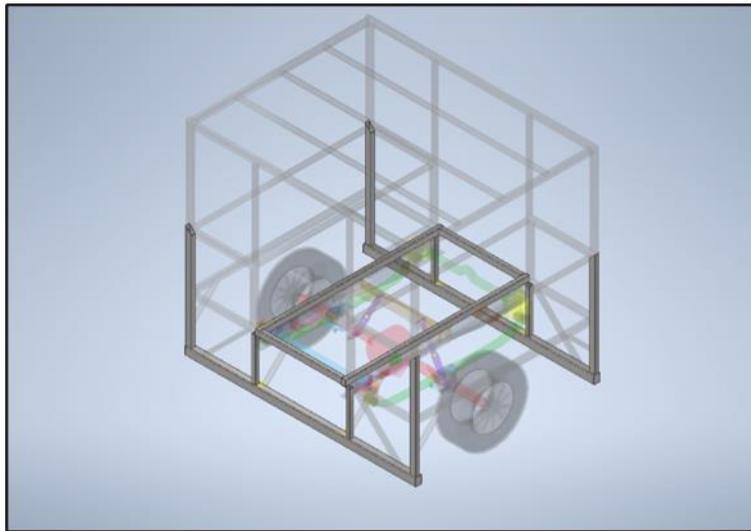


Ilustración 53: Elementos de unión del eje transversal.

La estructura tubular que se propone es completamente simétrica en el eje longitudinal, esto implica tener por duplicado todo lo anteriormente expuesto y requiere, a su vez, de la implementación de elementos de unión entre ambos lados para formar un conjunto sólido funcional.

A parte del propio bastidor del chasis que actúa como elemento de cohesión entre los dos lados del módulo se disponen varios travesaños de sección tubular que actúan de la misma forma que lo hace el bastidor.

Uno de ellos, el tubo de 80x60x3 situado en la parte más baja del módulo, une, desde un extremo al otro, todo el conjunto de barras que conforman el módulo. Este, además, forma parte del marco de unión con los módulos delantero y trasero y actúa como base para la adhesión de elementos de refuerzo.

El otro elemento que tiene esta función de unión ambos laterales del módulo se encuentran a la altura de las dos secciones que se disponen sobre los largueros del chasis. Dispuesto de forma transversal a estos aporta rigidez al conjunto y refuerza estructuralmente tanto el marco delantero como el trasero.

b) Fijación trasera:

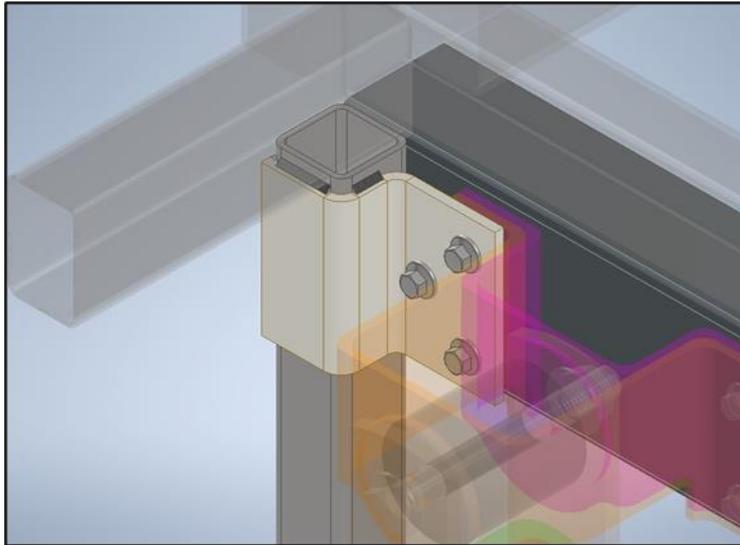


Ilustración 56: Fijación trasera.

La pieza es similar a la que se dispone en la parte delantera y se unen al tubo dispuesto en vertical de la misma forma. La diferencia reside en que, en la unión con el larguero, se reutilizan los agujeros ya presentes en los apoyos traseros de la ballesta y se añade una perforación más para asegurar un correcto anclaje, en sendos tres se realiza la unión mediante un perno y una tuerca con brida.

6) Cerramiento superior del módulo:

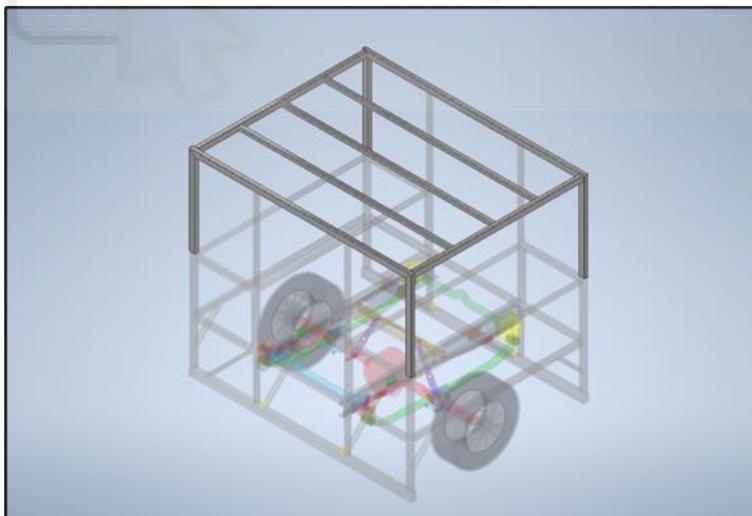


Ilustración 57: Cerramiento superior.

Finalmente, el conjunto se cierra por la parte superior con otro conjunto de secciones tubulares. Este dispone de 4 tubos verticales que se apoyan en las verticales externas de la estructura inferior, completando así, con las barras transversales inferior el superior, los marcos delantero y trasero del módulo.

Este cerramiento dispone de un conjunto de barras transversales que actúan como correas dotando al conjunto de estabilidad estructural y rigidez frente a las

deformaciones que puedan sufrir, sobre todo, las barras perimetrales del cerramiento y las barras verticales que unen al mismo con la estructura inferior.

Cómo última consideración respecto a los elementos de unión mencionar que, en los agujeros de que disponen las piezas, se ha establecido una holgura de +3mm de diámetro. Con se consigue facilitar la tarea de montaje del módulo sobre el chasis en caso de que alguna de las medidas tomadas se desvíe de la medida real de la pieza.

2.5 CÁLCULO RESISTENTE DE LA ESTRUCTURA

Esta fase del desarrollo del proyecto se realiza mediante el programa ANSYS 19.2, más concretamente, con el módulo "*Static Structural*".

2.5.1 Adaptación del Modelo 3D

Para realizar el cálculo estructural en el módulo primero se adapta el modelo con una serie de operaciones disponibles en el programa.

Las operaciones utilizadas están encaminadas a generar un modelo tipo superficie a partir del modelo sólido generado en Inventor. El modelo de elementos finitos tipo superficie permitirá realizar un cálculo con suficiente precisión, pero con un coste computacional mucho menor que con elementos tridimensionales.

Los elementos tipo superficie (o tipo shell) se utilizan para modelar aquellos elementos estructurales que tiene una dimensión mucho menor que las otras dos, es decir todos aquellos elementos creados a partir de chapa plegada o a partir de perfiles extruidos de pared delgada.

Las operaciones empleadas en la generación del modelo son las siguientes:

- "*Mid Surface*": Calcula y genera la superficie media de un objeto sólido en función del espesor de este.
- "*Surfaces from faces*": Genera una superficie, pero, a diferencia de la operación "*Mid Surface*", esta toma de referencia la cara externa del sólido.
- "*Surface extension*": En los casos en los que las superficies generadas de dos elementos, anteriormente en contacto, ya no lo están, al haber perdido el espesor, se emplea la herramienta "*Surface extension*" para alargar esas superficies y volver a crear el contacto entre ellas.
- "*Surfaces from edges*": Crea una superficie a partir de un grupo de aristas cerrado. En este caso se recurre a dicha herramienta para cerrar las secciones que quedan abiertas en sus extremos como son; los tubos bajos de 80x60x3 y los tubos instalados sobre el ala superior de los largueros de 60x40x3.

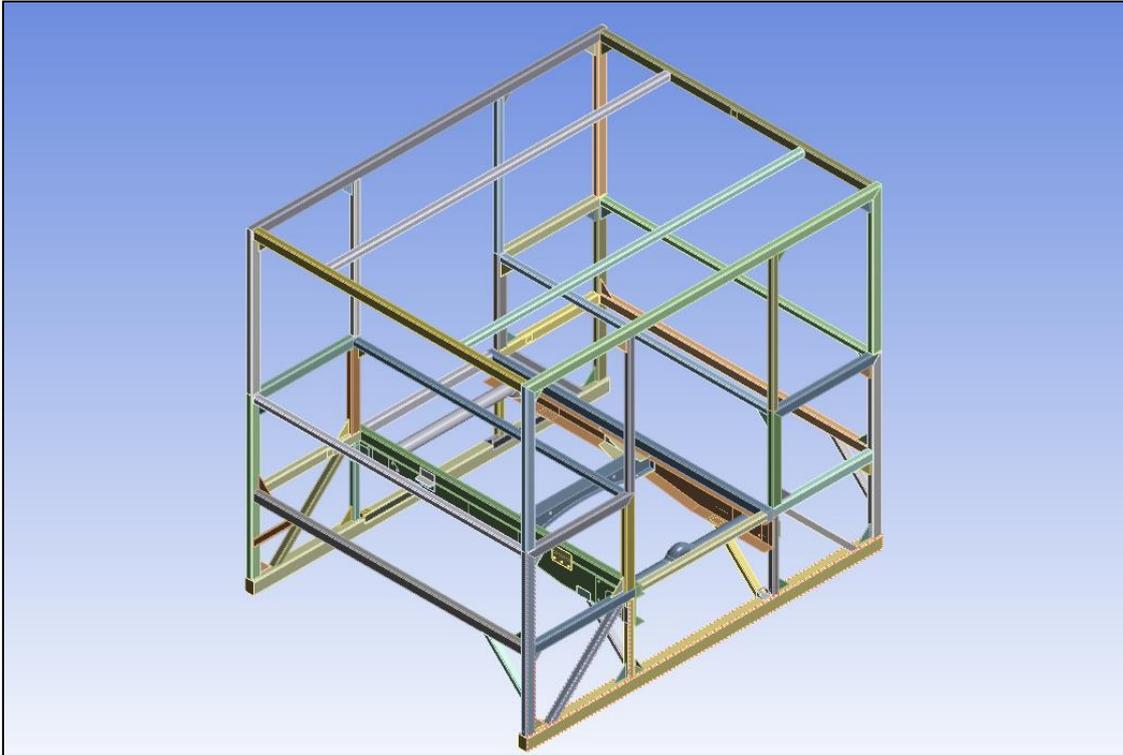


Ilustración 58: Modelo completo en ANSYS.

2.5.2 Mallado del modelo

Realizar el cálculo de tensiones y deformaciones mediante el método de elementos finitos requiere de la definición de un mallado compuesto de nodos y elementos de las propiedades adecuadas.

En esta ocasión, para los elementos que componen el bastidor del chasis, se establece un tamaño de elemento de 7mm, esto se debe a que los componentes del bastidor han sido previamente estudiados y analizados por el fabricante del mismo, en este caso, Iveco.

Por otra parte, en el resto de los elementos del conjunto, se define un tamaño de elemento de 3mm.

El tamaño de los elementos o malla se define en función de la precisión de los resultados a obtener, siendo la solución en deformación más realista cuanto menor sea el tamaño de los elementos.

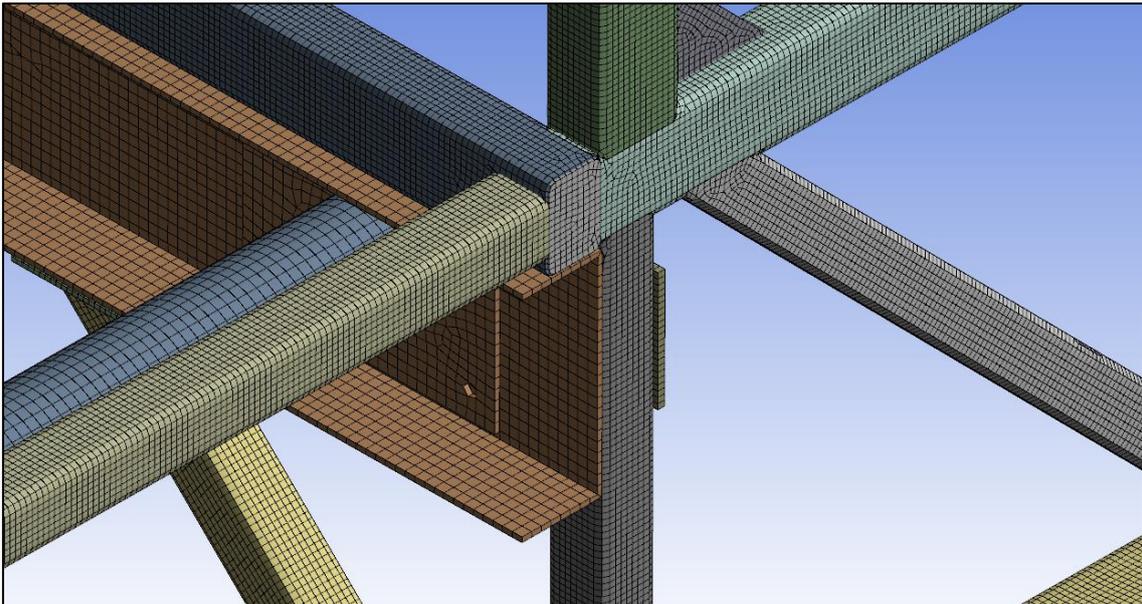


Ilustración 59: Mallado del módulo.

2.5.3 Cargas y apoyos

Una vez definida la malla, se establecen las posiciones de los apoyos y los puntos de transmisión de esfuerzos de los módulos anterior y posterior.

Los apoyos se sitúan en los largueros del chasis, a la altura de los apoyos de las ballestas. En total se sitúan 4 apoyos, 2 en cada larguero sobre la cara externa del alma.

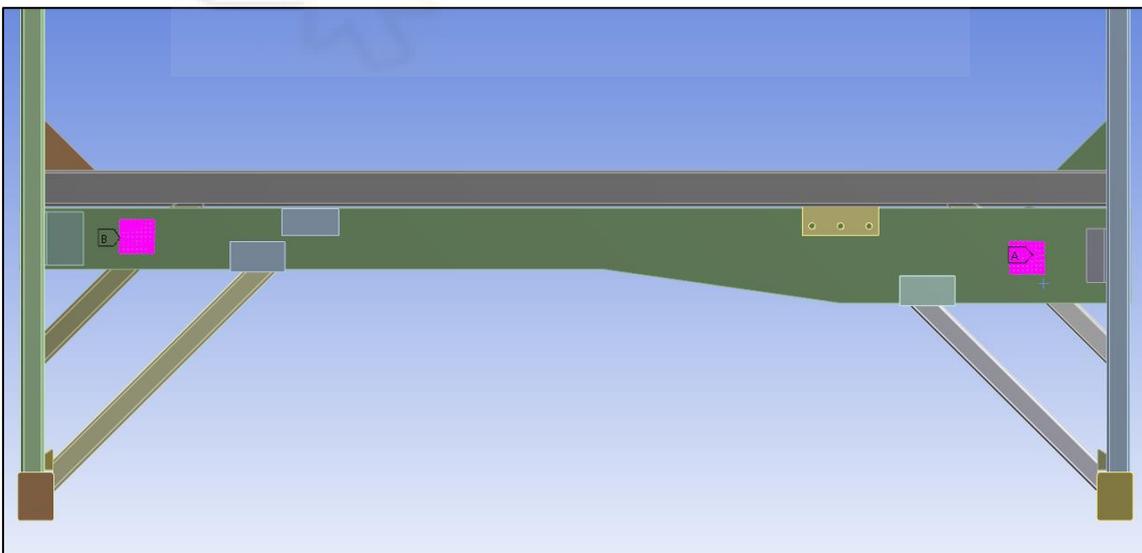


Ilustración 60: Representación y posición de los apoyos.

Con respecto a los nodos de aplicación de las cargas externas, estos se distribuyen a lo largo de los perímetros de los marcos delantero y trasero.

Se disponen 24 grupos de nodos que corresponden con los puntos donde se situarán los elementos de unión entre módulos, 12 nodos en el marco delantero y, el resto, en el marco trasero.

Este sistema de unión se encuentra, actualmente en desarrollo. Pero el diseño en detalle del sistema de unión no es necesario para calcular el comportamiento de la estructura ante los esfuerzos que se transmiten a ella.

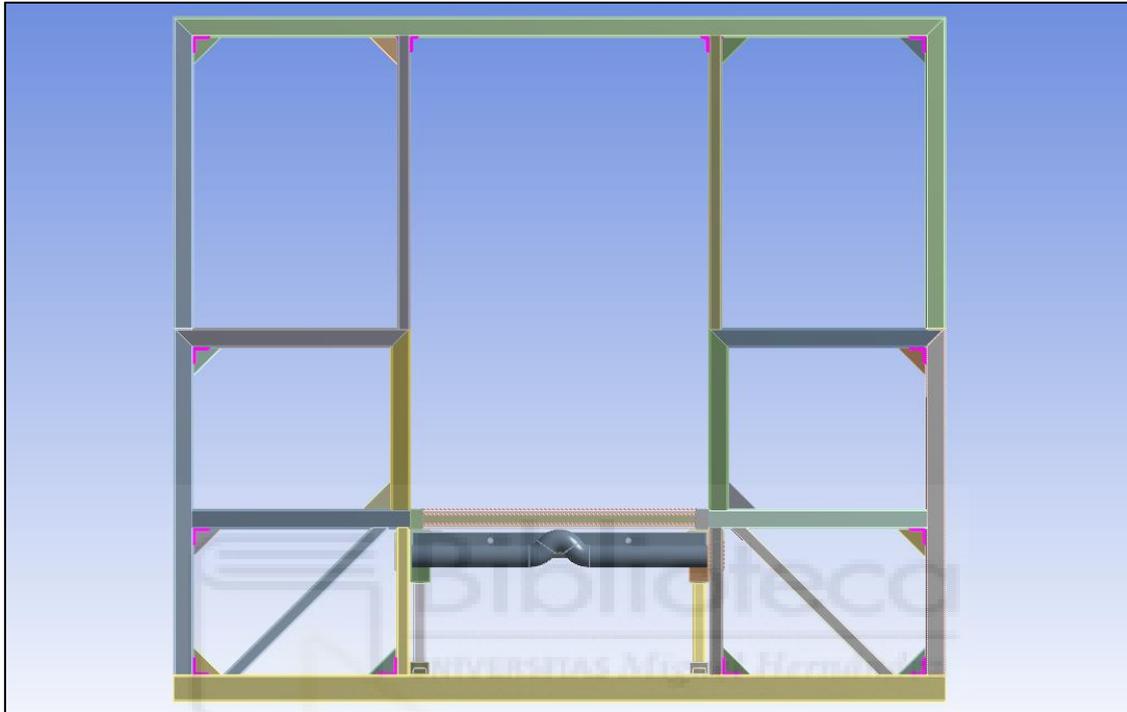


Ilustración 61: Grupos de nodos correspondientes a los puntos de unión entre módulos.

Para definir todas las zonas donde se sitúan los apoyos y las cargas se crean varias "Named selections". Las coordenadas se definen mediante la función "Worksheet", el proceso de creación de estas zonas es común para los apoyos y las cargas, que en este caso serán nodales.

En primer lugar, se define el punto de origen en el eje X (longitudinal al módulo) y se añaden dos filtros, en los ejes Z e Y, que seleccionan los nodos pertenecientes al mallado y se encuentren dentro del rango de coordenadas establecido.

Generate									
Note: Internal comparisons of values that have units are done in the CAD Unit System. See help for more information. Current CAD Unit System: Metric (m, kg, N, s, V, A)									
	Action	Entity Type	Criterion	Operator	Units	Value	Lower Bound	Upper Bound	Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/>	Add	Mesh Node	Location X	Range	m	N/A	1,0135	1,0235	Global Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/>	Filter	Mesh Node	Location Y	Range	m	N/A	-8,01e-002	-3,01e-002	Global Coordinate System
<input checked="" type="checkbox"/>	Filter	Mesh Node	Location Z	Range	m	N/A	-0,5496	-0,4996	Global Coordinate System

Ilustración 62: Worksheet.

2.5.4 Valores de las cargas

Se establecen las siguientes combinaciones de acciones:

Combinación de acciones más desfavorable		
Aceleración	Factor	Valor (m/s ²)
Vertical (Eje Y)	2*G	19,62
Longitudinal (Eje X)	-1*G	9,81
Lateral (Eje Z)	0,5*G	4,905

Tabla 1: Combinación de acciones más desfavorable.

Combinación de acciones en orden de marcha		
Aceleración	Factor	Valor (m/s ²)
Vertical (Eje Y)	1*G	9,81

Tabla 2: Combinación de acciones en orden de marcha.

- Esfuerzos externos:

Estos valores se corresponden con las cargas aplicadas en los puntos donde se realiza la unión entre el módulo a diseñar y los módulos anterior y posterior. Los valores que se introducen en el programa para el cálculo se obtienen de un modelo simplificado del camión completo a partir de las combinaciones de acciones establecidas.

- Esfuerzos internos:

Para realizar el cálculo de los esfuerzos del módulo de forma correcta, a parte de los esfuerzos que ejercen los módulos anterior y posterior sobre este, se ha de tener en cuenta que el propio módulo también está sometido a estas combinaciones de acciones, por lo que se añaden al modelo para el cálculo.

Los valores correspondientes a los esfuerzos externos obtenidos en el modelo simplificado a partir de las combinaciones de acciones previamente definidas:

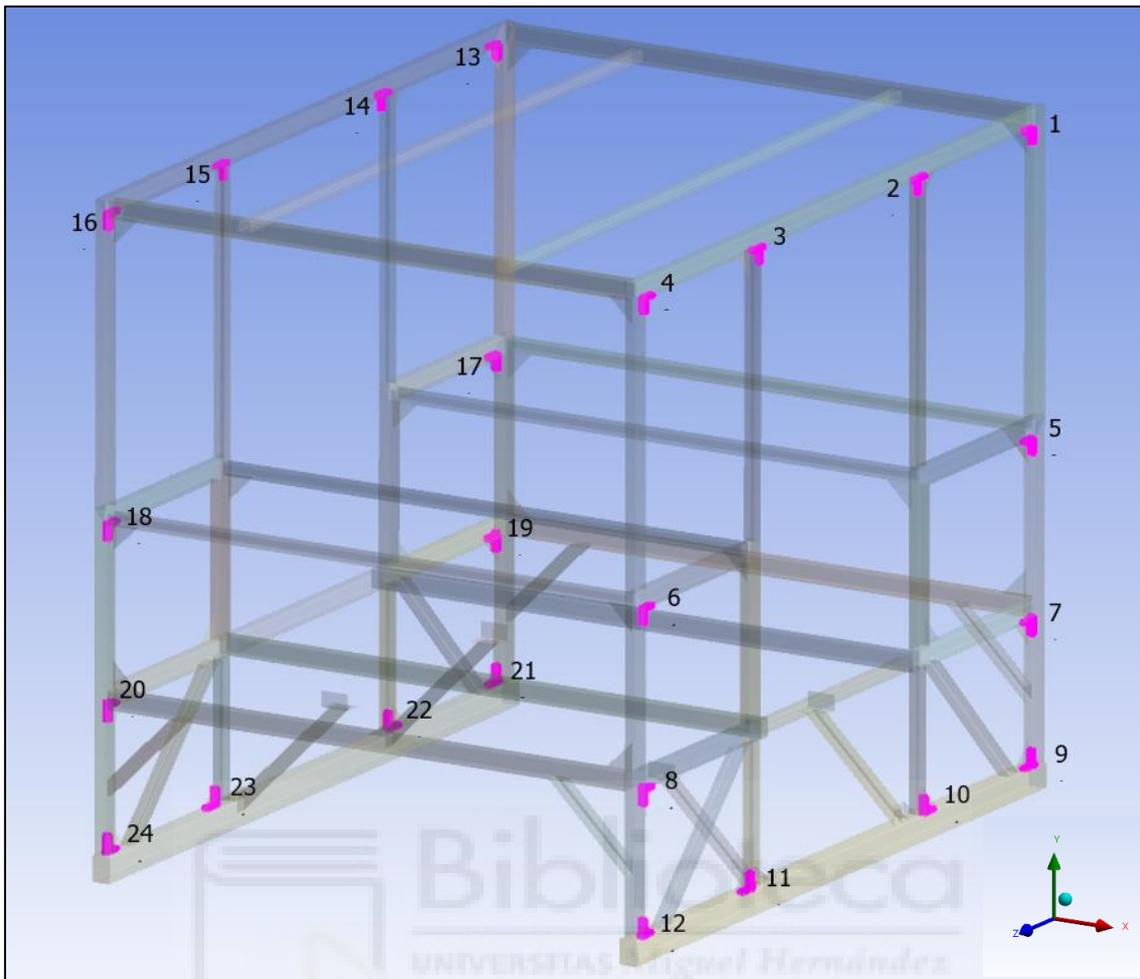


Ilustración 63: Grupos de nodos: marcos delantero y trasero.

Combinación de acciones más desfavorable: marco delantero			
Grupo de Nodos	Fuerzas (N)		
	X	Y	Z
1	2.039	3.197	-473
2	342	-866	-392
3	821	355	102
4	1.489	2.865	465
5	-40	-7.439	113
6	194	-10.250	-205
7	1.012	-3.817	-655
8	-34	-957	397
9	-851	5.002	1.199
10	-996	-3.026	376
11	-649	-2.625	-1.460
12	-1.570	5.075	-2.398

Tabla 3: Esfuerzos en el marco delantero con la combinación de acciones más desfavorable.

Combinación de acciones más desfavorable: marco trasero			
Grupo de Nodos	Fuerzas (N)		
	X	Y	Z
13	-1.939	-49	672
14	250	-665	126
15	-485	-183	-639
16	-1.154	120	-402
17	-1.393	-15.290	-183
18	-1.445	-16.263	4
19	-3.267	5.012	-840
20	-878	5.717	335
21	3.582	5.016	650
22	5.975	-3.082	-7.141
23	5.161	-2.621	2.341
24	4.028	5.156	819

Tabla 4: Esfuerzos en el marco trasero con la combinación de acciones más desfavorable.

Combinación de acciones en orden de marcha: marco delantero			
Grupo de Nodos	Fuerzas (N)		
	X	Y	Z
1	1.067	1.839	-307
2	402	-366	-122
3	402	-366	122
4	1.067	1.839	307
5	-140	-3.354	85
6	-140	-3.354	-85
7	764	-2.586	-259
8	764	-2.586	259
9	-280	2.329	824
10	-734	-1.386	93
11	-734	-1.386	-93
12	-280	2.329	-824

Tabla 5: Esfuerzos en el marco delantero con la combinación de acciones en orden de marcha.

Combinación de acciones en orden de marcha: marco trasero			
Grupo de Nodos	Fuerzas (N)		
	X	Y	Z
13	-743	-15	310
14	-108	-189	182
15	-108	-189	-182
16	-743	-15	-310
17	-590	-6.946	-40
18	-590	-6.946	40
19	-1.631	2.219	-226
20	-1.631	2.219	226
21	1.736	2.077	186
22	1.311	-1.429	-1.695
23	1.311	-1.429	1.695
24	1736	2.077	-186

Tabla 6: Esfuerzos en el marco trasero con la combinación de acciones en orden de marcha.



3 RESULTADOS

Se ha considerado que el diseño será lo suficientemente resistente si ante la combinación de carga más desfavorable el coeficiente de seguridad estático es mayor a 1. Dado que este caso de carga está muy por el lado de la seguridad y se va a producir en ocasiones muy puntuales, no se realiza un cálculo a fatiga con estas solicitaciones tan altas.

En el caso de carga con solo la acción de la gravedad, se considera el diseño es válido si el coeficiente de seguridad estático es mayor que 2. Dado que la resistencia a fatiga de los aceros suele estar entorno al 50% de su límite de rotura, se considera suficiente seguro.

El límite a rotura del acero 355J2H conformado en frío es de 650 MPa.

3.1 DEFORMACIONES

- Combinación de acciones más desfavorable:

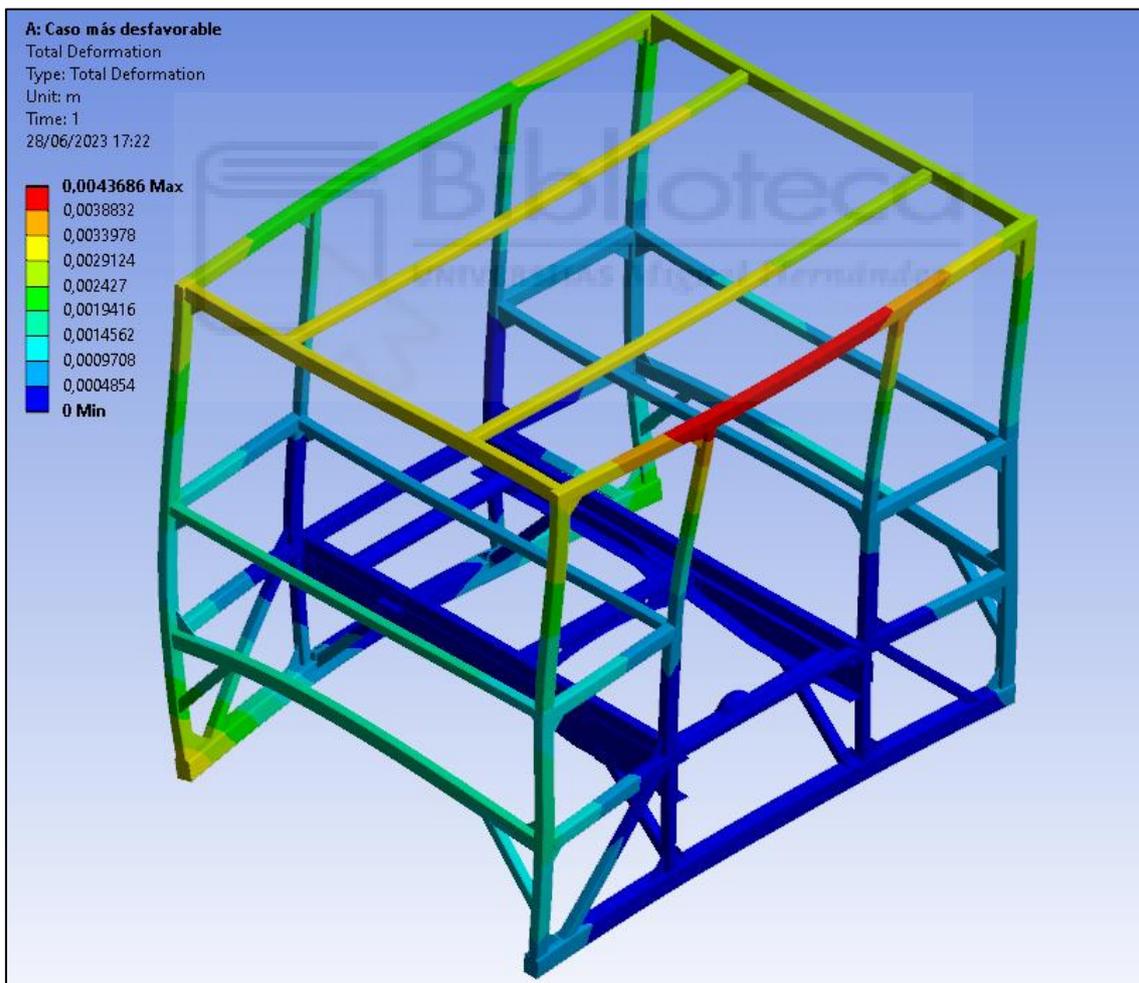


Ilustración 64: Distribución de deformaciones en el módulo para la combinación de acciones más desfavorable.

- Combinación de acciones en orden de marcha:

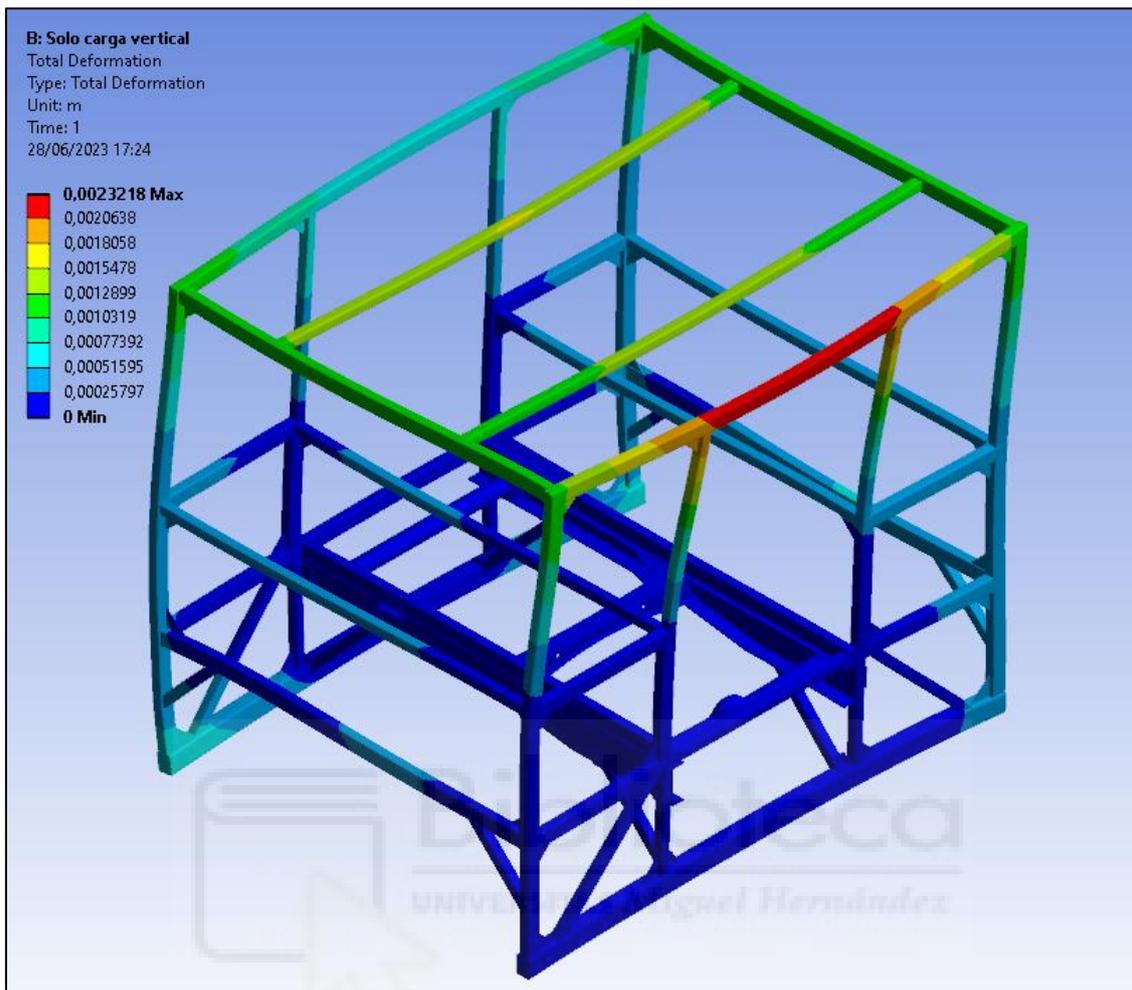


Ilustración 65: Distribución de deformaciones en el módulo para la combinación de acciones en orden de marcha.

Se observa que, a partir de la combinación de acciones en orden de marcha, la deformación máxima registrado es de 2,3 mm.

En la combinación de acciones más desfavorable se observa una deformación máxima de 4,4 mm.

Partiendo de los resultados obtenidos en el cálculo de ambos casos, podemos concluir que; los elementos que más se deforman son los que componen el cerramiento superior del módulo y que en caso de que se produzca un aumento en los esfuerzos a los que se somete el conjunto estas deformaciones se distribuirán a lo largo de los tubos que componen el perímetro externo del módulo y las barras verticales internas situadas inmediatamente encima de los compartimentos que alojan las baterías.

Se considera que esa deformación es asumible para el diseño y que el módulo tiene una rigidez similar al de otras carrocerías, aunque para valorarlo correctamente haría falta tener en cuenta el camión completo.

3.2 TENSIONES

- Combinación de acciones más desfavorable:

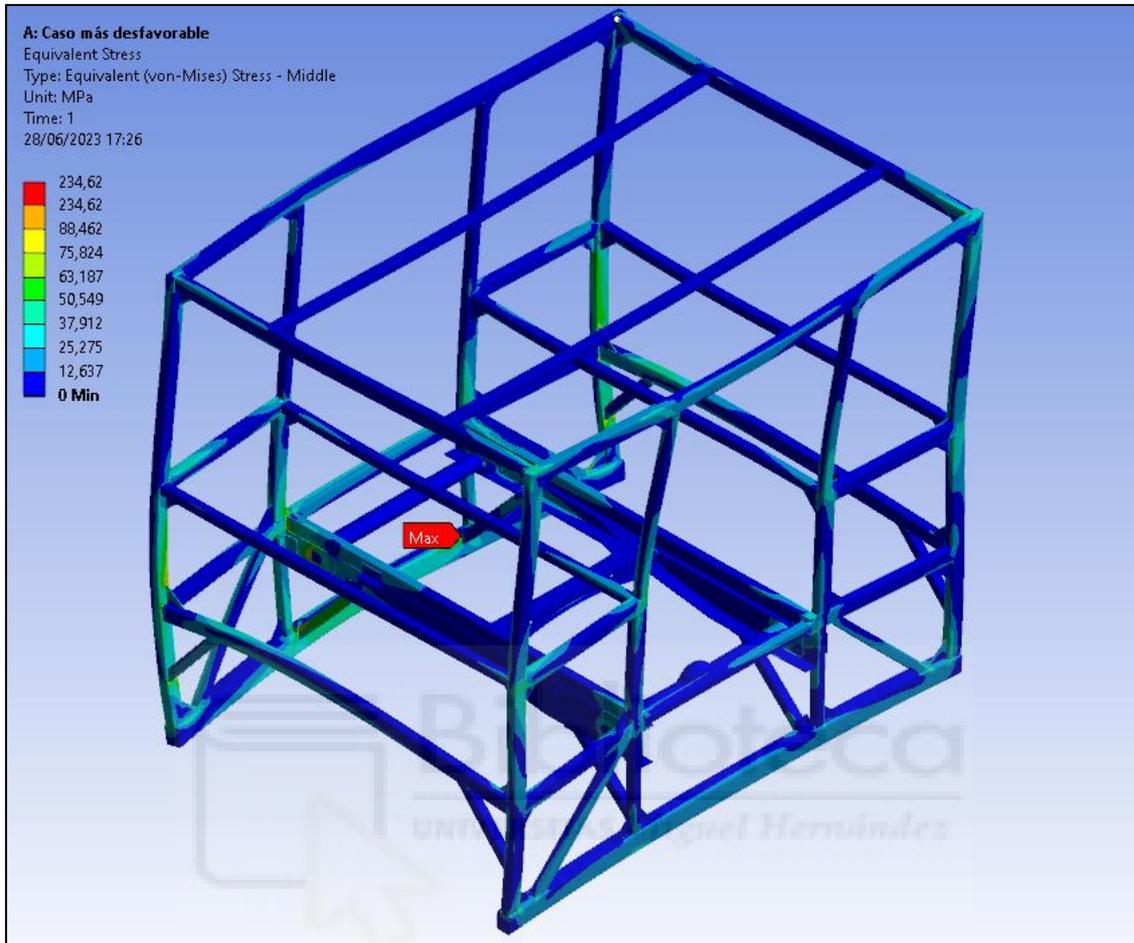


Ilustración 66: Distribución de tensiones en el módulo para la combinación de acciones más desfavorable.

En este caso, se observa que el valor máximo de tensiones en el módulo se encuentra situada en uno de los puntos de unión entre las barras de la estructura y un elemento intermedio de conexión. Esto se debe a los centradores de tensiones que se generan en los mismos, sin embargo, se observa que el valor máximo de tensión es de 234 MPa.

Siendo la tensión máxima admisible del acero, con el que se fabrican las barras que componen el módulo, de 355 MPa el coeficiente de seguridad obtenido para este estado tensional es de 1,51 lo que indica que el conjunto es suficientemente capaz de soportar las cargas establecidas y no se producirá el fallo estático.

El valor promedio de tensión del conjunto es de 12,1 MPa, muy inferior a la tensión máxima admisible del acero de fabricación.

- Combinación de acciones en orden de marcha:

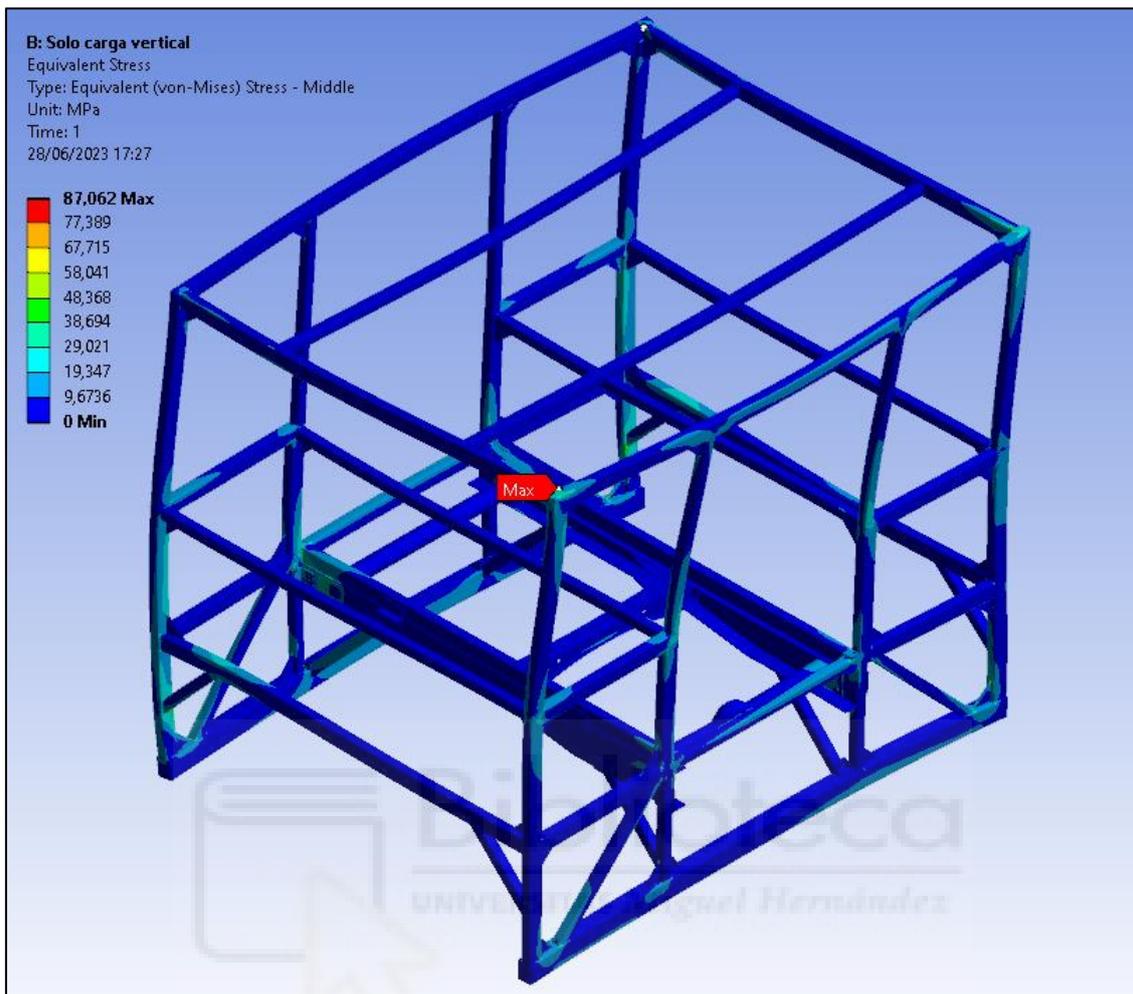


Ilustración 67: Distribución de tensiones en el módulo para la combinación de acciones en orden de marcha.

Al igual que en el anterior caso, las tensiones máximas aparecen en los concentradores de tensión tales como: nodos de convergencia de barras, cambios de sección o perforaciones.

Para el estado tensional estudiado la tensión máxima registrada en el conjunto es de 87 MPa, situada en uno de los puntos de unión entre las barras de la estructura y un elemento intermedio de conexión.

Siendo la tensión máxima admisible del acero de 355 MPa, se obtiene un coeficiente de seguridad de 4,08 indicando, igual que en el primer estado tensional, que el módulo es capaz de soportar las cargas a las que se somete en el estudio.

Respecto a fatiga, considerando que la resistencia a fatiga es la mitad del límite de rotura ($S_{ut}=450-680$ MPa), y simplificando el cálculo de las tensiones alternantes y medias, el coeficiente de seguridad se sitúa en torno a 2,58.

El valor promedio de tensión del conjunto es de 5,8 MPa, considerablemente inferior a la tensión máxima admisible del acero de fabricación.

Cómo ultimo apunte, en relación con los resultados obtenidos, mencionar que el modelo empleado para el cálculo no dispone de los cordones de soldadura que se emplean para unir tanto las barras de la estructura como los elementos intermedios de unión entre el chasis y dicha estructura.

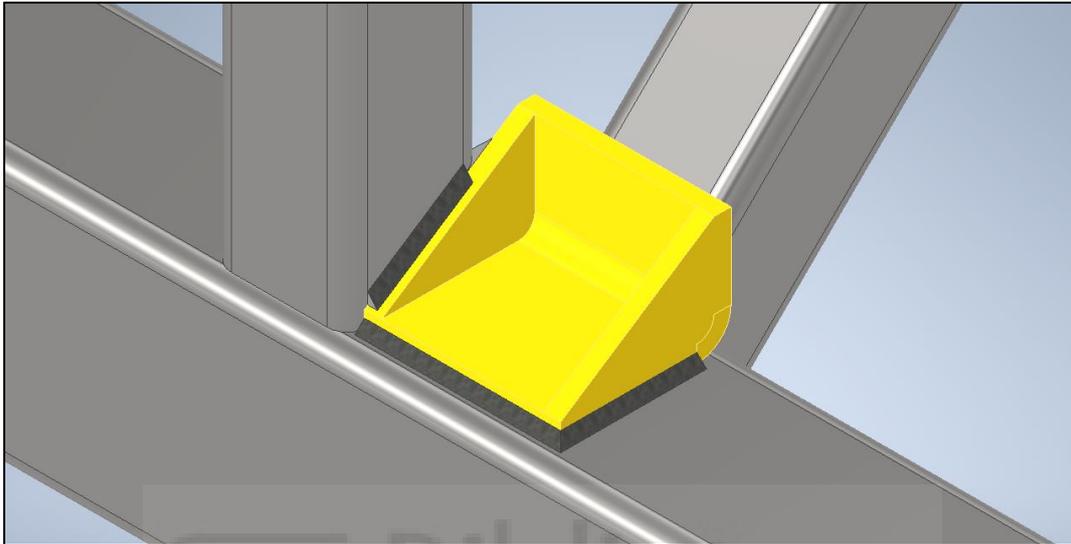


Ilustración 68: Cordones de soldadura en el módulo.

Estos cordones de soldadura reducen, considerablemente, las diferencias de secciones en los puntos de uniones, por lo que, disminuyendo las tensiones que aparecen en esas zonas y aumentando el coeficiente de seguridad en todos los estados tensionales planteados.

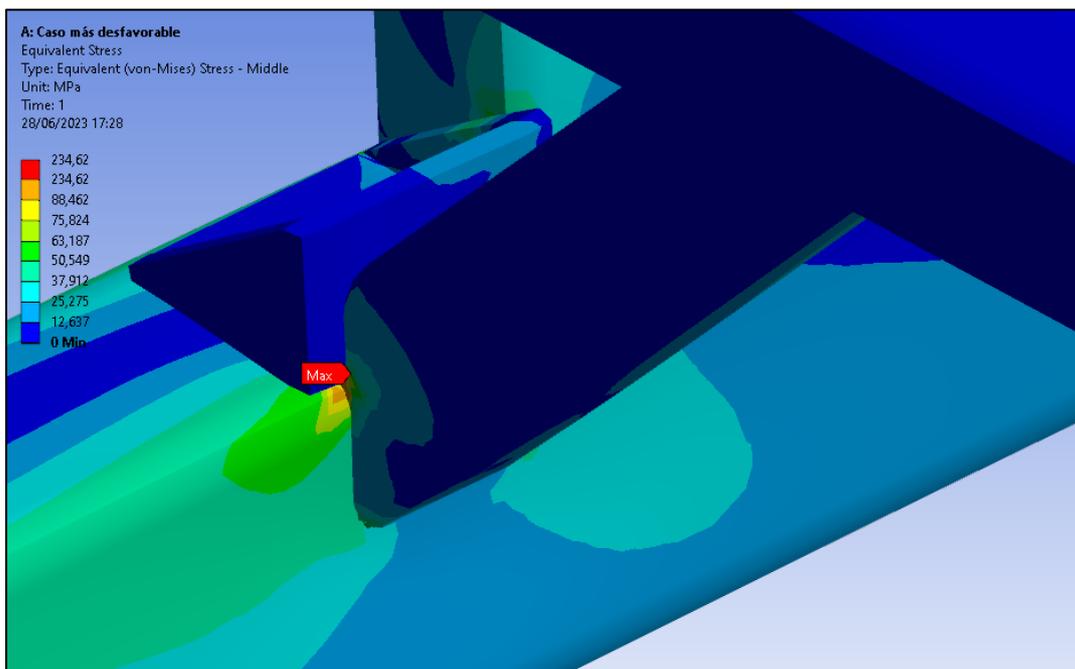


Ilustración 69: Detalle de tensiones en la zona del cordón de soldadura.

4 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se extraen del desarrollo del módulo del eje de tracción del camión modular 100% eléctrico son múltiples.

En primer lugar, se consigue replicar el chasis que actúa como base al diseño del módulo con la precisión deseada. Esta parte implica el correcto montaje de los elementos que lo componen, así como, su correcto dimensionamiento.

Partiendo de este trabajo de reproducción se diseña una estructura tubular adecuada para el uso al que se destina el camión, además de, establecer un proceso de montaje lo más sencillo posible.

A continuación, se realizan los cálculos estructurales, mediante el método de elementos finitos, y modificaciones al diseño pertinentes con el fin de obtener una estructura capaz de soportar las tensiones y deformaciones a las que estará sometida durante su periodo de vida útil. Para ello, se asegura un coeficiente de seguridad igual o superior a 1,51.

Finalmente, se realizan los planos de todas y cada una de las partes que componen el conjunto que serán enviados al fabricante para materializar la estructura diseñada.

4.1 FUTUROS TRABAJOS

A partir del trabajo realizado en este Trabajo de Fin de Grado y del resto de elementos previamente diseñados se pueden realizar diversos trabajos con el fin de completar la estructura del camión modular 100% eléctrico:

- Diseño del módulo trasero: para completar el compartimento de carga se ha de anexionar, al módulo diseñado y expuesto en este documento, otro módulo de estructura tubular.
- Diseño del soporte de baterías, motor y sistema de transmisión: el diseño de los soportes de estos elementos queda fuera del alcance del proyecto por lo que es necesario disponer de un sistema de anclaje que agrupe los elementos del grupo propulsor del camión.
- Diseño de los sistemas de unión: para anexionar los módulos entre sí se está trabajando en sistema de unión, que, repartidas a lo largo de los marcos de los módulos, tienen como objetivo mantener el contacto de los módulos entre sí.
- Cerramiento del compartimento de carga: estos módulos previamente diseñados se han de cerrar para poder hacer un correcto uso del camión.
- Construcción de los módulos y validación del modelo diseñado.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Cambio climático en Europa: hechos y cifras | Noticias | Parlamento Europeo [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20180703STO07123/cambio-climatico-en-europa-hechos-y-cifras>
2. Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
3. DGT - Distintivo ambiental [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://www.dgt.es/nuestros-servicios/tu-vehiculo/tus-vehiculos/distintivo-ambiental/>
4. 1ee098874117076e1ef081bcfb8e3d92.jpg (2560×2560) [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://www.spanjevandaag.com/wp-content/uploads/2019/04/1ee098874117076e1ef081bcfb8e3d92.jpg>
5. Volvo FL Electric | Volvo Trucks [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://www.volvotrucks.es/es-es/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>
6. Comparación de la densidad energética, cálculo y gasolina de la batería de iones de litio-battery-knowledge | Large Power [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <https://es.large.net/news/8yu43pa.html>
7. Produit – Ecotuned Automobile [Internet]. [cited 2023 May 22]. Available from: <http://ecotuned.com/produit/>
8. Última milla: qué es y por qué es importante en logística [Internet]. [cited 2023 May 23]. Available from: <https://blog.toyota-forklifts.es/ultima-milla-que-es>
9. Seis empresas de última milla incorporan vehículos eléctricos en España - Portal Movilidad: Noticias sobre vehículos eléctricos [Internet]. [cited 2023 May 23]. Available from: <https://portalmovilidad.com/seis-empresas-de-ultima-milla-incorporan-vehiculos-electricos-en-espana/>
10. Correos incorpora 100 nuevas furgonetas eléctricas a su flota ecológica - Correos [Internet]. [cited 2023 May 24]. Available from: <https://www.correos.com/sala-prensa/correos-incorpora-100-nuevas-furgonetas-electricas-a-su-flota-ecologica/#>
11. Amazon presenta una nueva flota de vehículos eléctricos en España para realizar entregas sostenibles [Internet]. [cited 2023 May 24]. Available from: <https://www.aboutamazon.es/noticias/sostenibilidad/amazon->

presenta-una-nueva-flota-de-vehiculos-electricos-en-espana-para-realizar-entregas-sostenibles

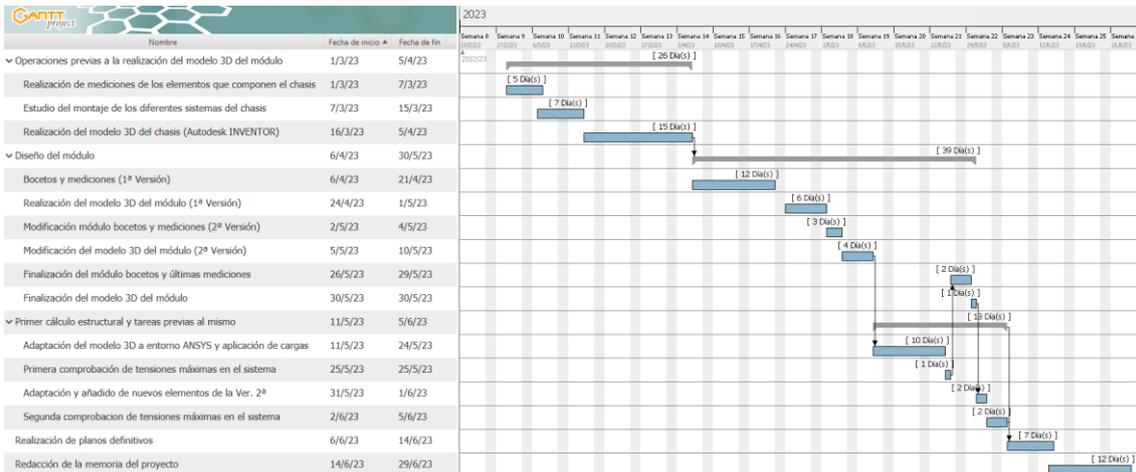


6 ANEXOS

6.1 DIAGRAMA DE GANTT

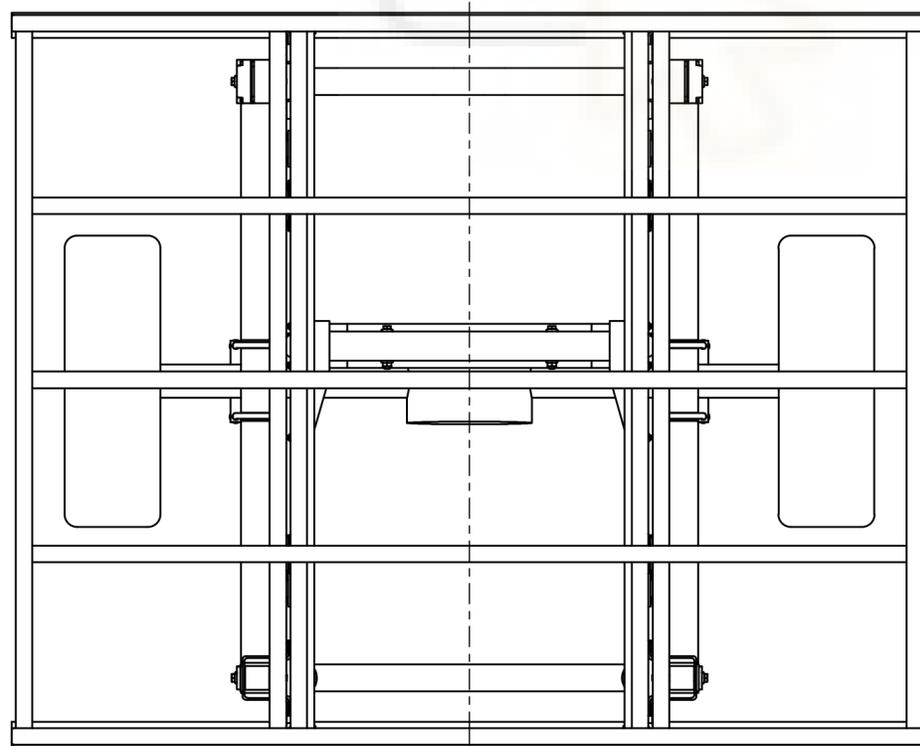
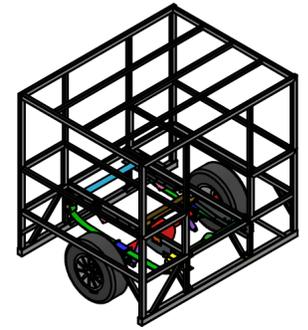
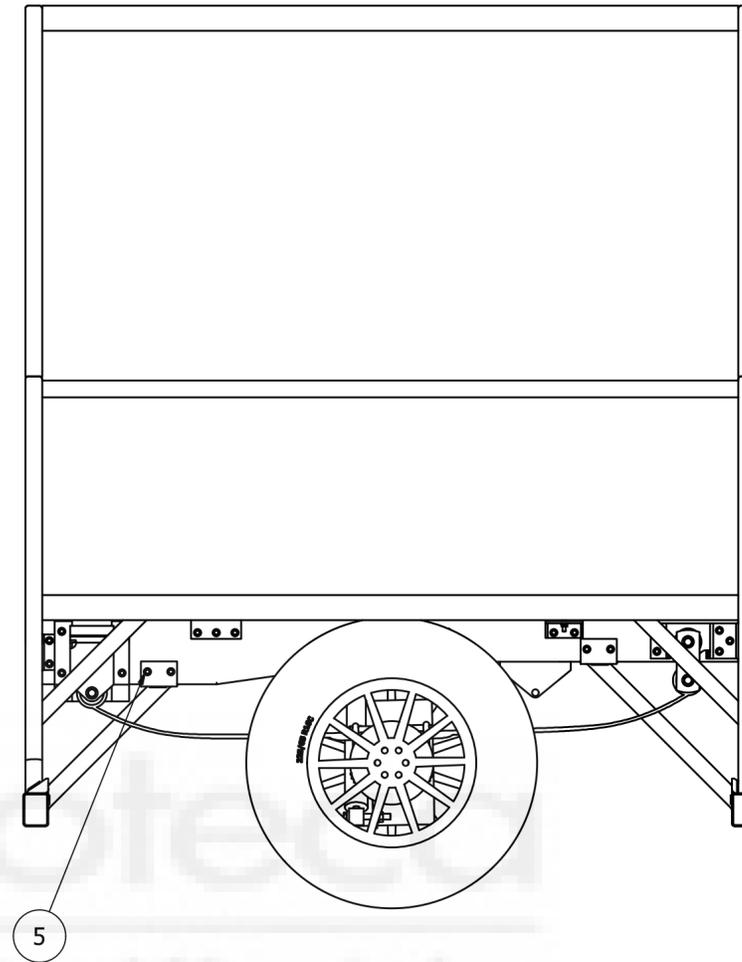
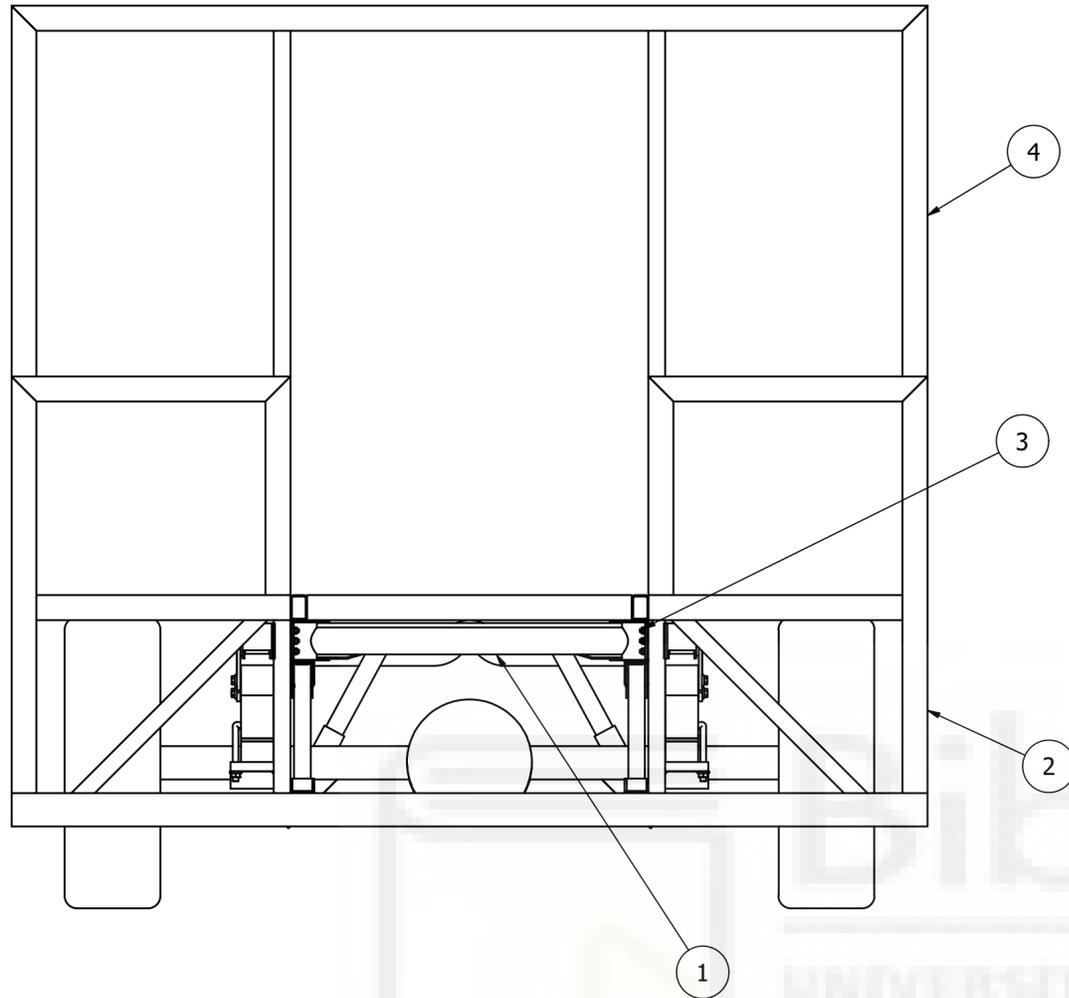
Tarea

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Operaciones previas a la realización del modelo 3D del módulo	1/3/23	5/4/23
Realización de mediciones de los elementos que componen el chasis	1/3/23	7/3/23
Estudio del montaje de los diferentes sistemas del chasis	7/3/23	15/3/23
Realización del modelo 3D del chasis (Autodesk INVENTOR)	16/3/23	5/4/23
Diseño del módulo	6/4/23	30/5/23
Bocetos y mediciones (1ª Versión)	6/4/23	21/4/23
Realización del modelo 3D del módulo (1ª Versión)	24/4/23	1/5/23
Modificación módulo bocetos y mediciones (2ª Versión)	2/5/23	4/5/23
Modificación del modelo 3D del módulo (2ª Versión)	5/5/23	10/5/23
Finalización del módulo bocetos y últimas mediciones	26/5/23	29/5/23
Finalización del modelo 3D del módulo	30/5/23	30/5/23
Primer cálculo estructural y tareas previas al mismo	11/5/23	5/6/23
Adaptación del modelo 3D a entorno ANSYS y aplicación de cargas	11/5/23	24/5/23
Primera comprobación de tensiones máximas en el sistema	25/5/23	25/5/23
Adaptación y añadido de nuevos elementos de la Ver. 2ª	31/5/23	1/6/23
Segunda comprobación de tensiones máximas en el sistema	2/6/23	5/6/23
Realización de planos definitivos	6/6/23	14/6/23
Redacción de la memoria del proyecto	14/6/23	29/6/23



6.2 PLANOS DEL DISEÑO

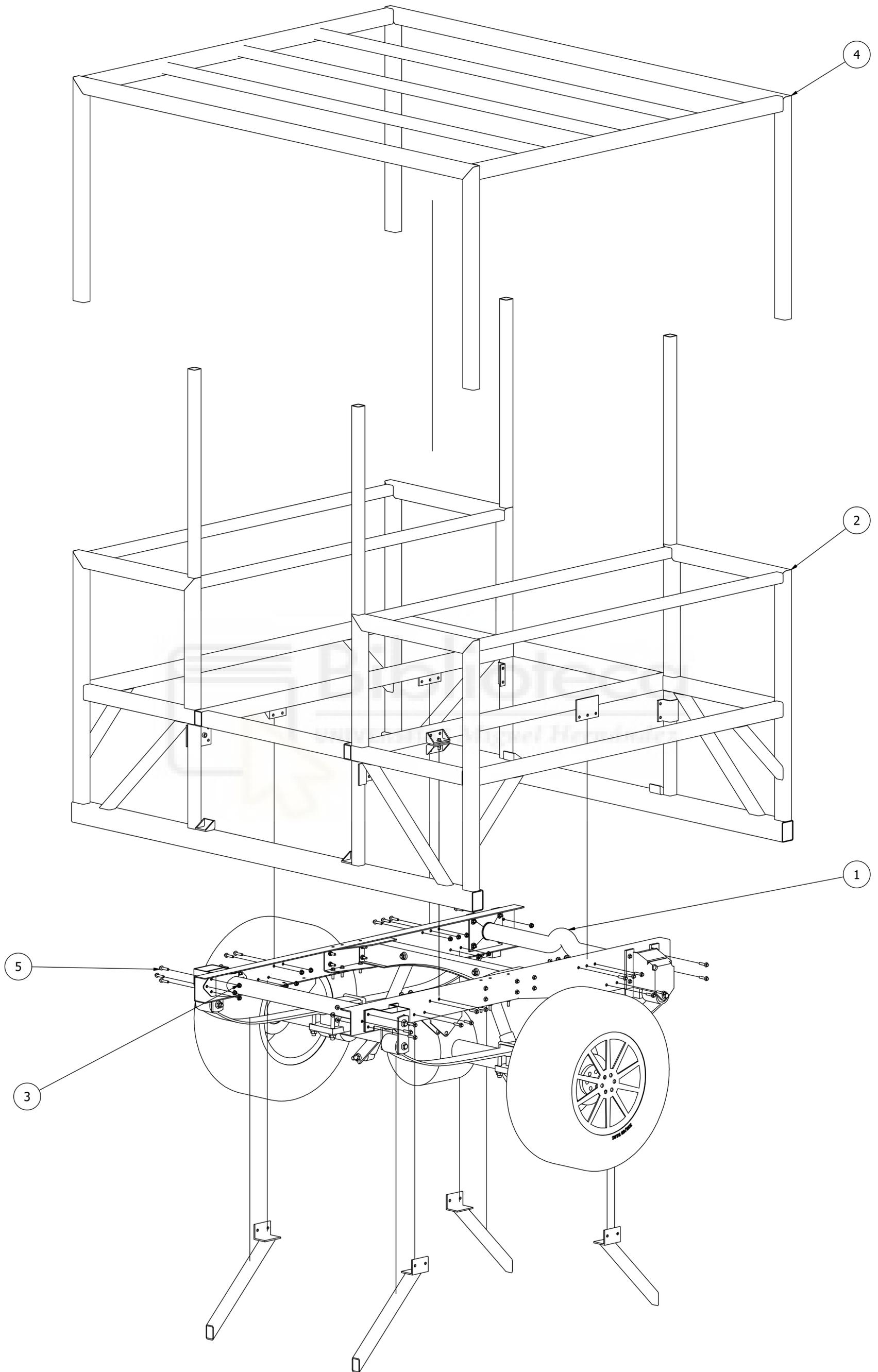




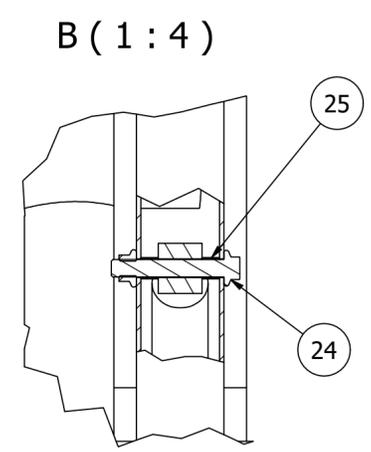
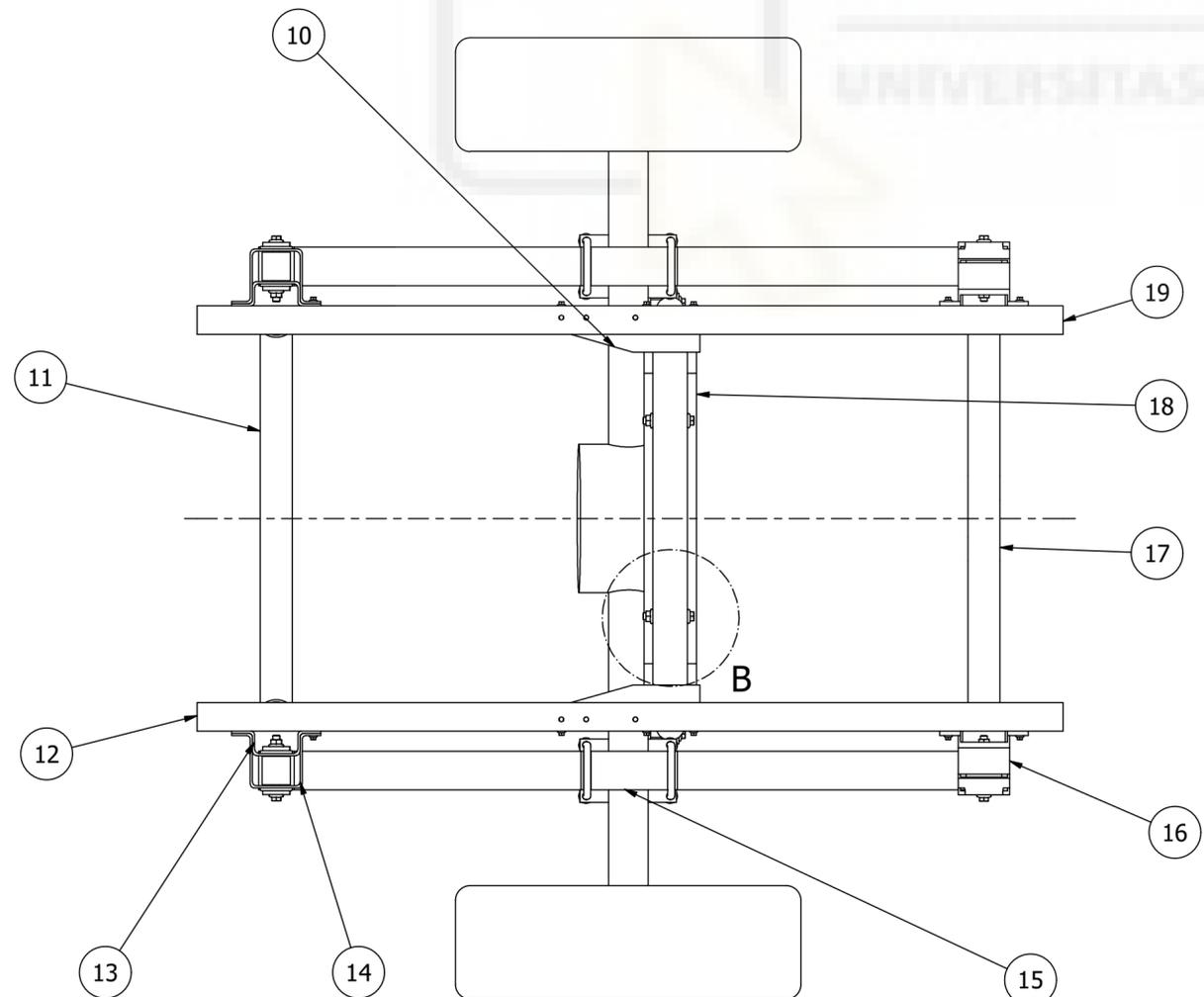
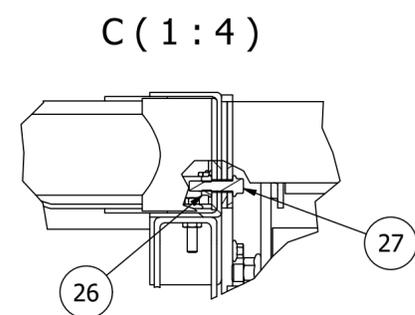
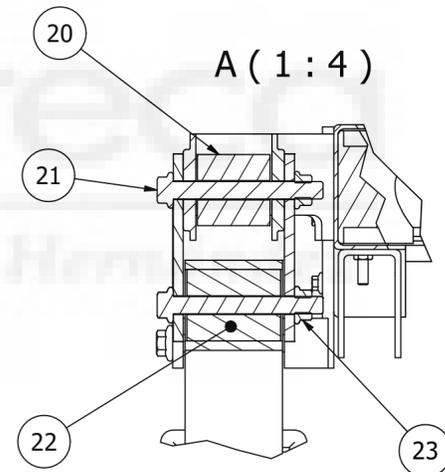
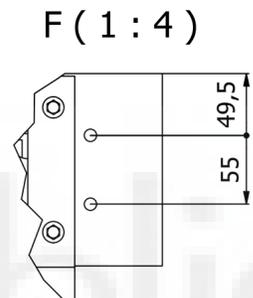
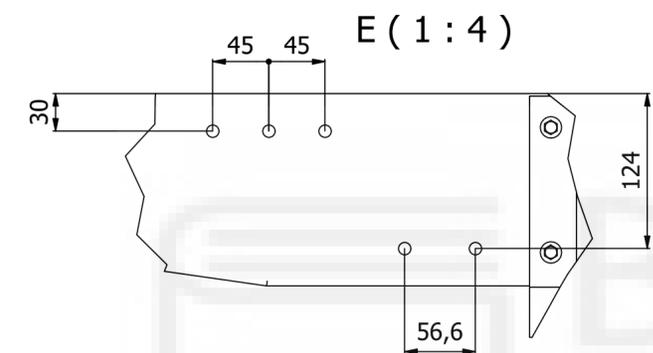
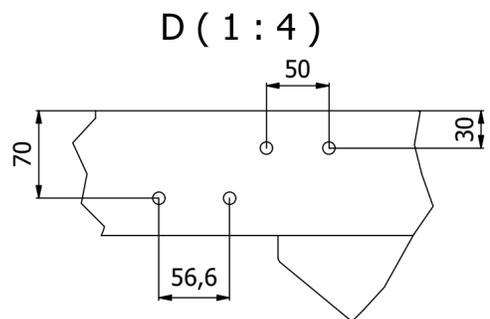
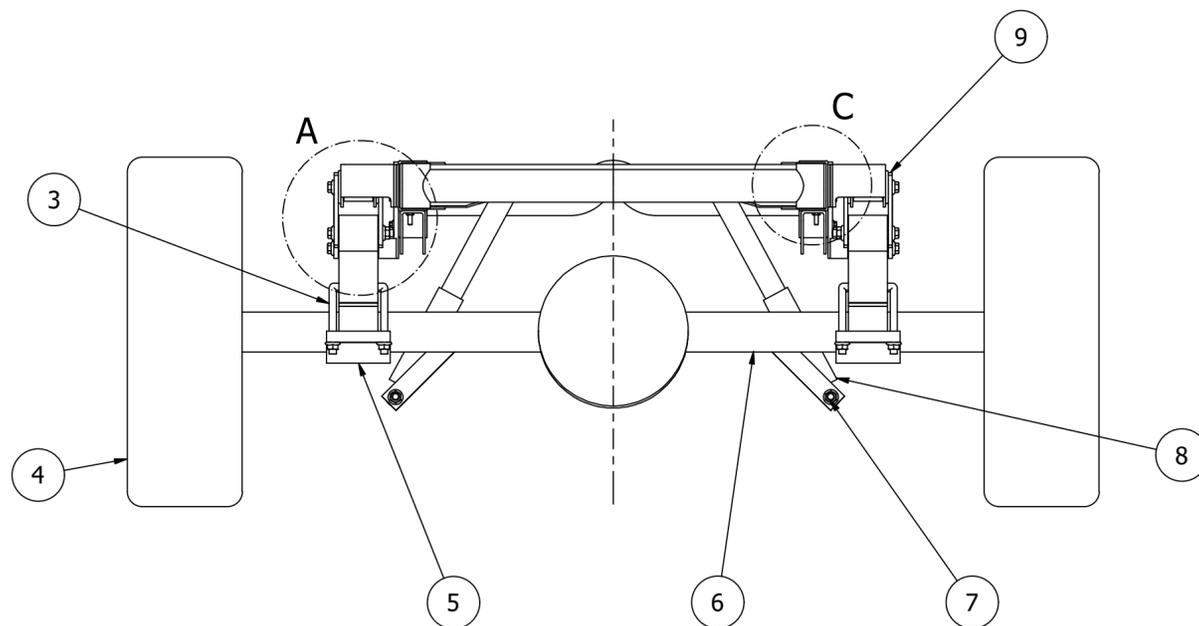
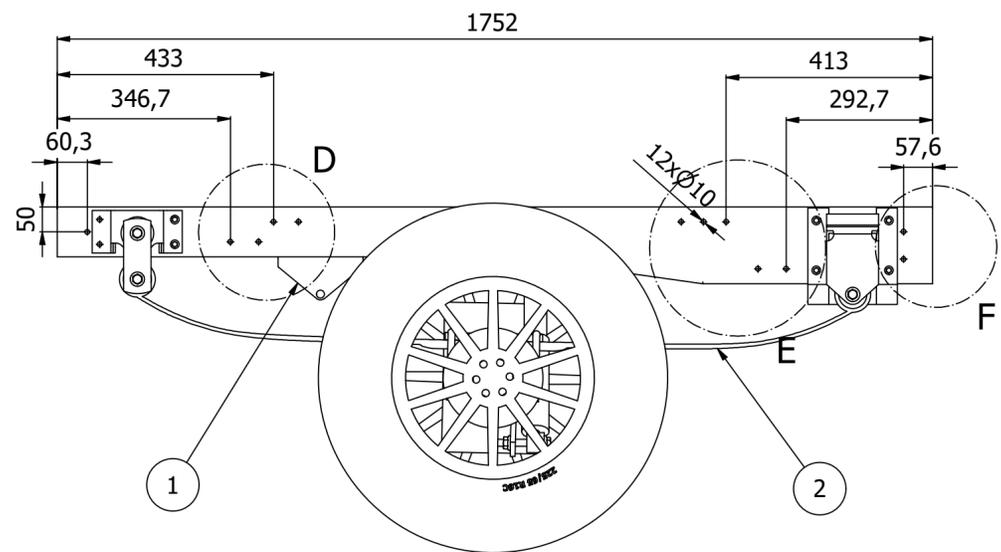
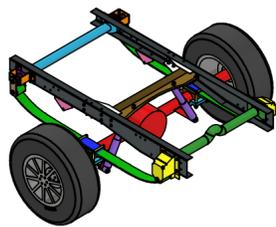
5	22	ISO 4162 - M8 x 35	Perno hexagonal con valona - Serie pequeña.	Acero Inoxidable
4	1	Módulo Tracción, Parte Superior	Plano nº 3	
3	22	ISO 4161 - M8	Tuercas hexagonales con valona - Tuerca gruesa.	Acero Inoxidable
2	1	Módulo Tracción, Parte Inferior	Plano nº 3	
1	1	Chasis IVECO 35S10	Plano nº 2	
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL

LISTA DE PIEZAS

	Título: Conjunto modulo completo y chasis		
	Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 21/06/2023
	Nº de Plano: 1	Escala: 1:12	Nº de Hoja: 1/2



	Título: Despiece - Montaje conjunto módulo completo		
	Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 22/06/2023
	Nº de Plano: 1	Escala: 1:10	Nº de Hoja: 2/2



	Título: Conjunto chasis Iveco 35S10		
	Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 21/06/2023
	Nº de Plano: 2	Escala: 1:12	Nº de Hoja: 1/2

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
27	30	ISO 4162 - M8 x 35	Perno hexagonal con valona - Serie pequeña	Acero inoxidable
26	30	ISO 4161 - M8	Tuercas hexagonales con valona - Tuerca gruesa	Acero inoxidable
25	4	Casquillo		Hierro, gris
24	2	ISO 4162 - M14 x 90	Perno hexagonal con valona - Serie pequeña	Acero inoxidable
23	18	ISO 4161 - M14	Tuercas hexagonales con valona - Tuerca gruesa	Acero inoxidable
22	4	Taco_ABS_Ballesta		Plástico ABS
21	6	ISO 4162 - M14 x 120	Perno hexagonal con valona - Serie pequeña	Acero inoxidable
20	2	Taco_ABS		Plástico ABS
19	1	Larguero_Chasis		Acero
18	1	Eje_Amortiguador		Acero
17	1	Barra_Delantera		Acero
16	2	Soporte_Ballesta_Delantera		Hierro, gris
15	2	2.11.2_Soporte_Alto_Eje_Ballesta		Hierro, gris
14	2	Soporte_Ballesta_tras_1		Hierro, gris
13	2	Soporte_Ballesta_tras_2		Hierro, gris
12	1	Larguero_Chasis_2		Acero
11	1	Barra_Trasera		Acero
10	2	Soporte_Eje_Amortiguador		Acero
9	4	Union_Ballestas		Acero
8	2	Amortiguador_completo		
7	2	ISO 4162 - M14 x 100	Perno hexagonal con valona - Serie pequeña	Acero inoxidable
6	1	Eje_Trasero_Ruedas		Acero
5	2	2.11.1_Soporte_Bajo_Eje_Ballesta		Hierro, gris
4	2	Rueda		
3	4	2.11.3_Esparrago_Unión_Eje_Ballesta		Acero
2	2	Ballesta		Acero
1	2	Soporte_Barra_Torsion		Acero



Título: Conjunto chasis Iveco 35S10: Lista de despiece

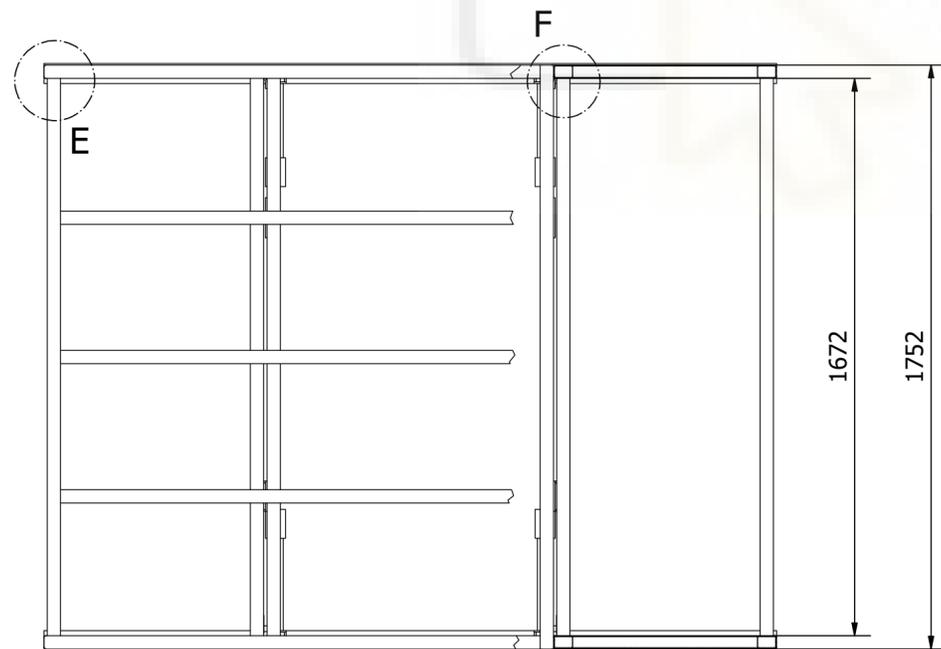
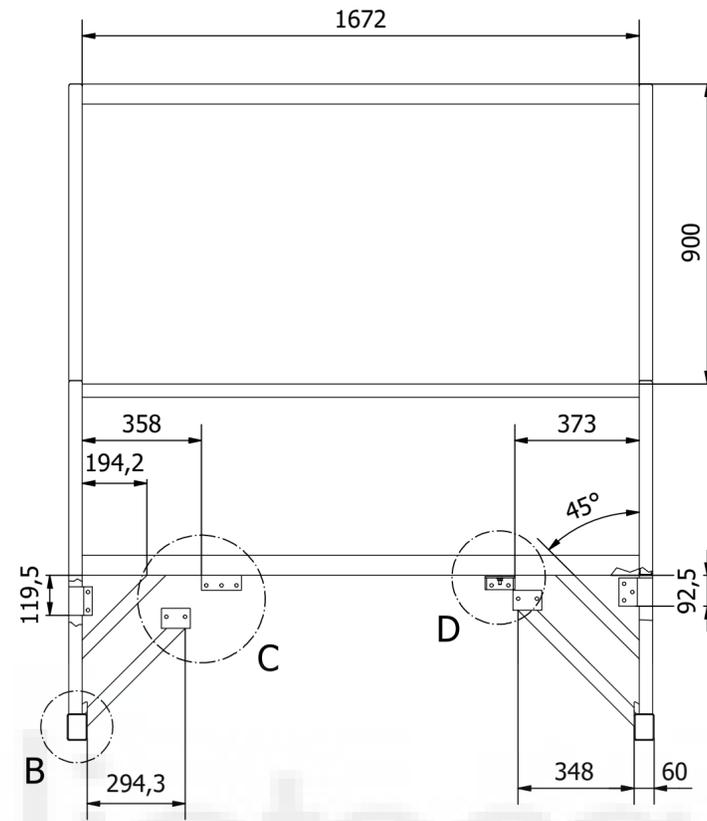
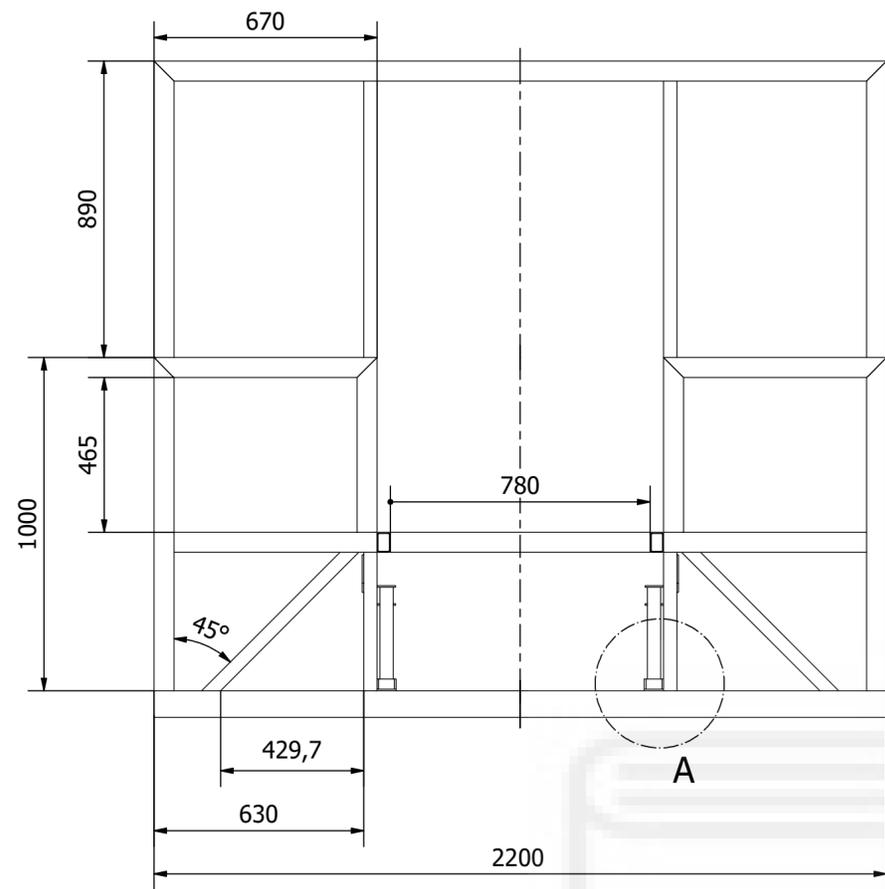
Autor: Arturo Sánchez Mena

Fecha: 21/06/2023

Nº de Plano: 2

Escala: S/E

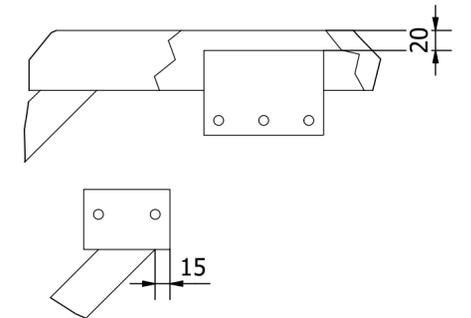
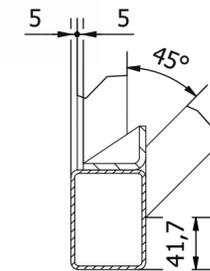
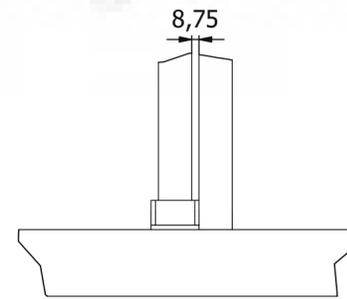
Nº de Hoja: 2/2



A (1:6)

B (1:4)

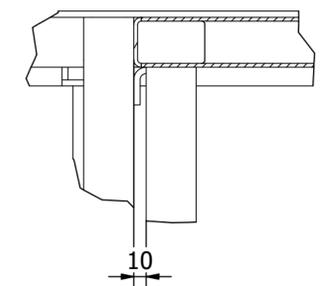
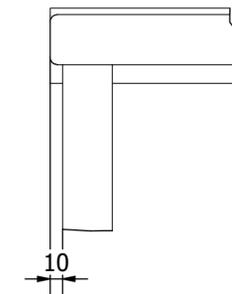
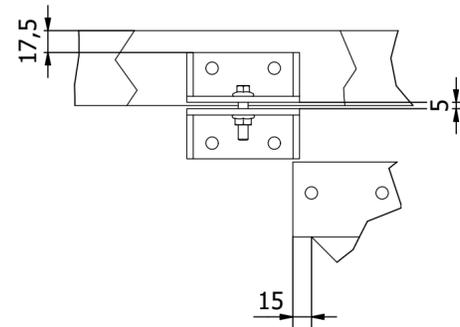
C (1:5)



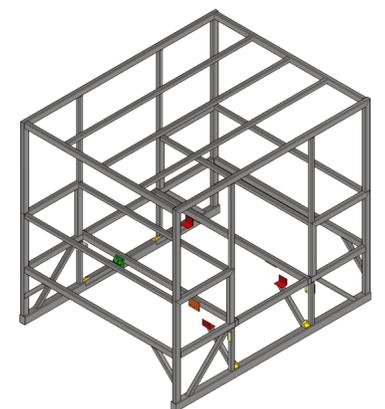
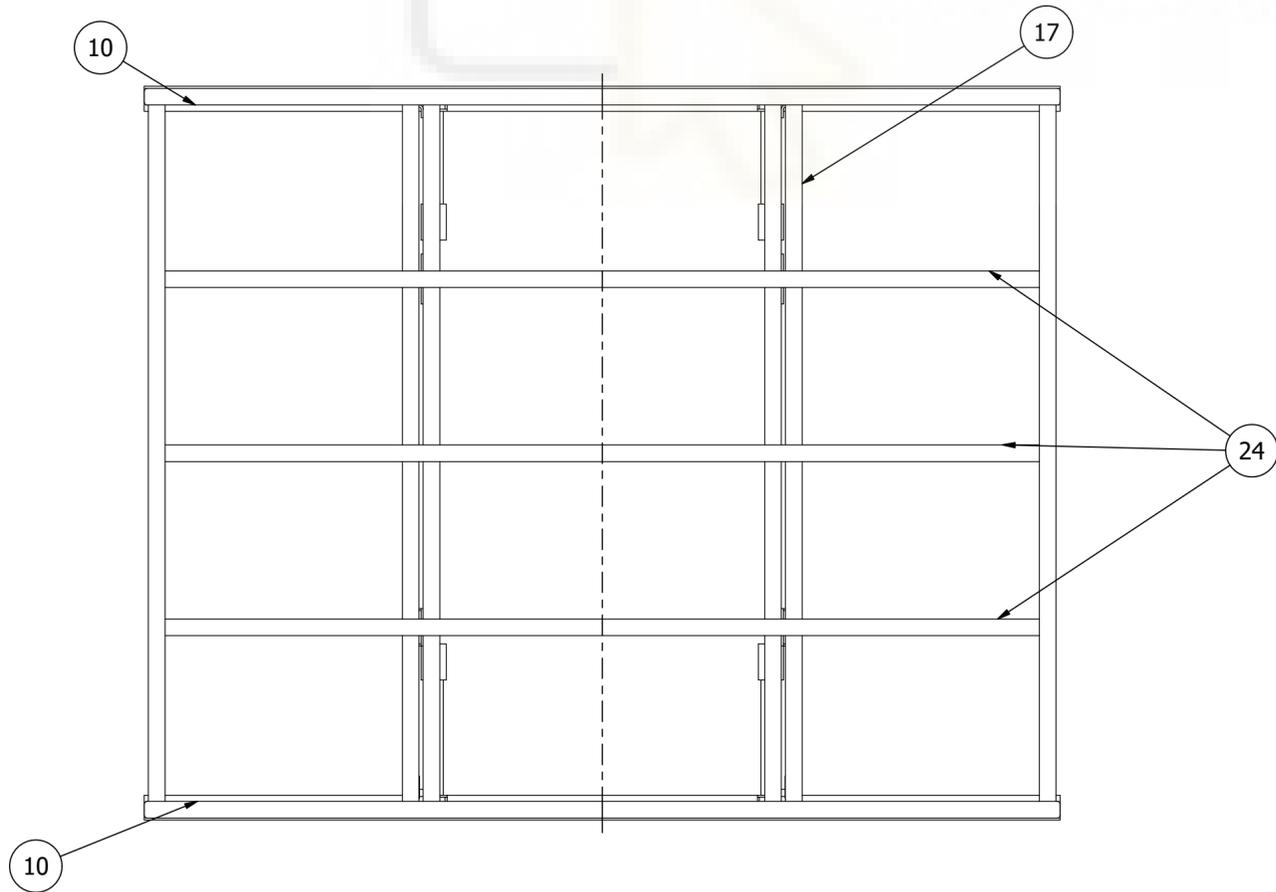
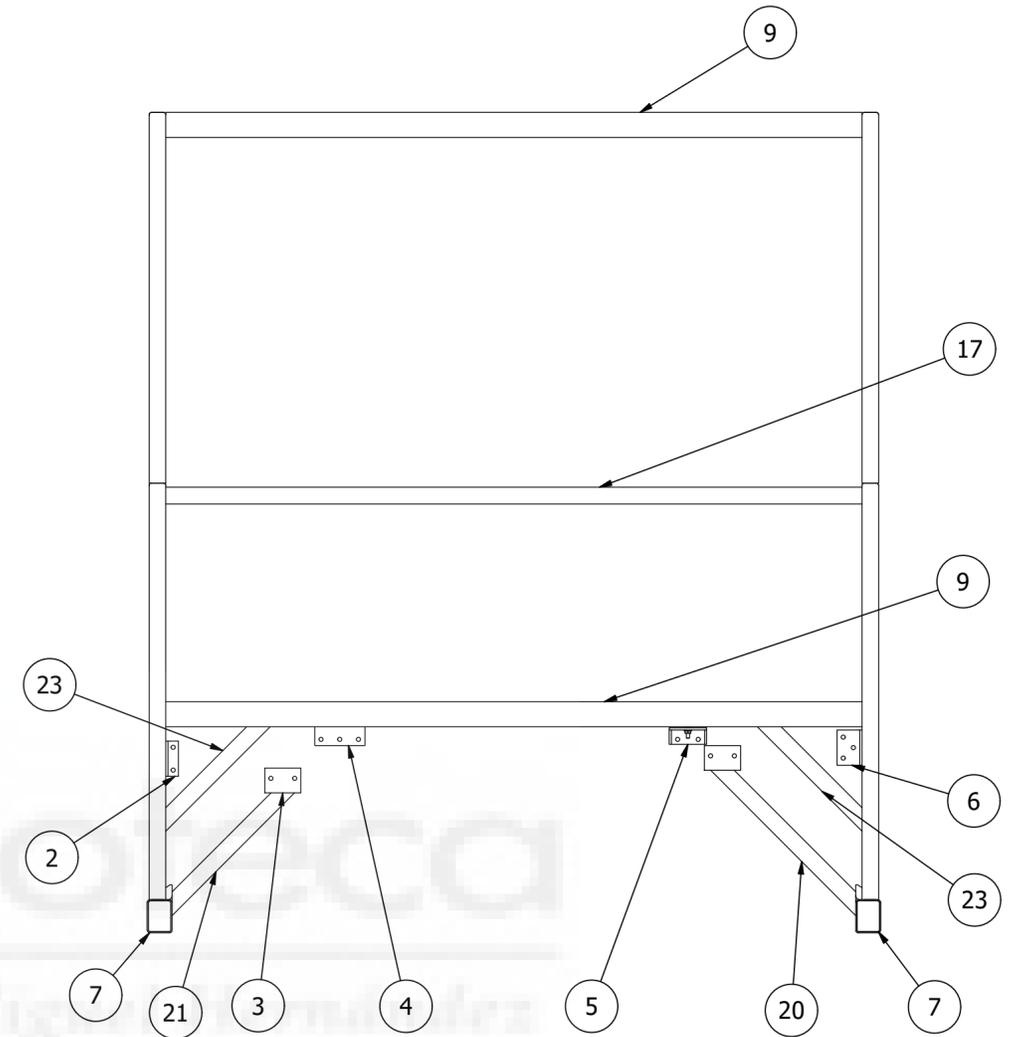
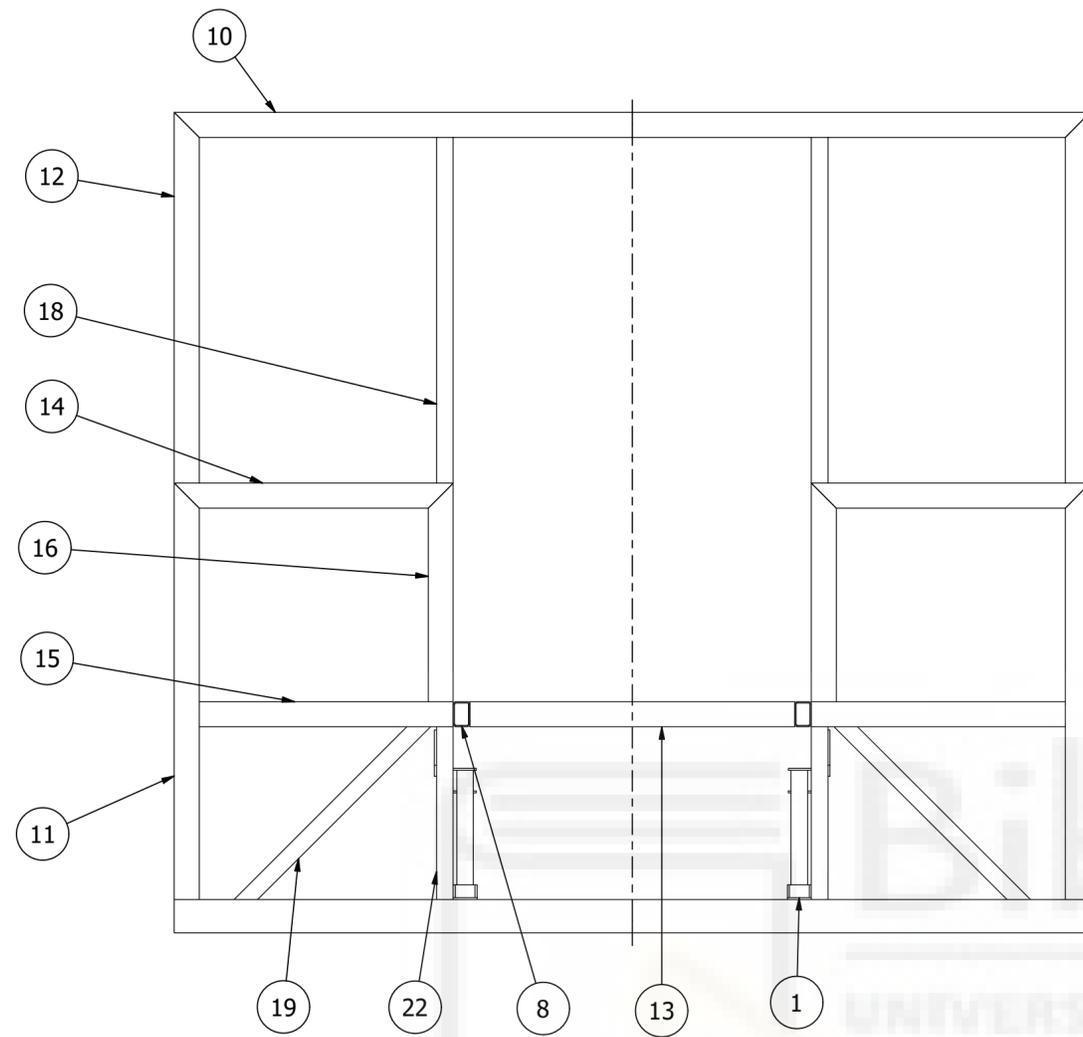
D (1:4)

E (1:4)

F (1:4)



Título: Dimensiones del módulo completo y elementos de unión			
Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 22/06/2023	
Nº de Plano: 3	Escala: 1:15	Nº de Hoja: 1/3	



	Título: Conjunto módulo completo y elementos de unión		
	Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 22/06/2023
	Nº de Plano: 3	Escala: 1:12	Nº de Hoja: 2/3

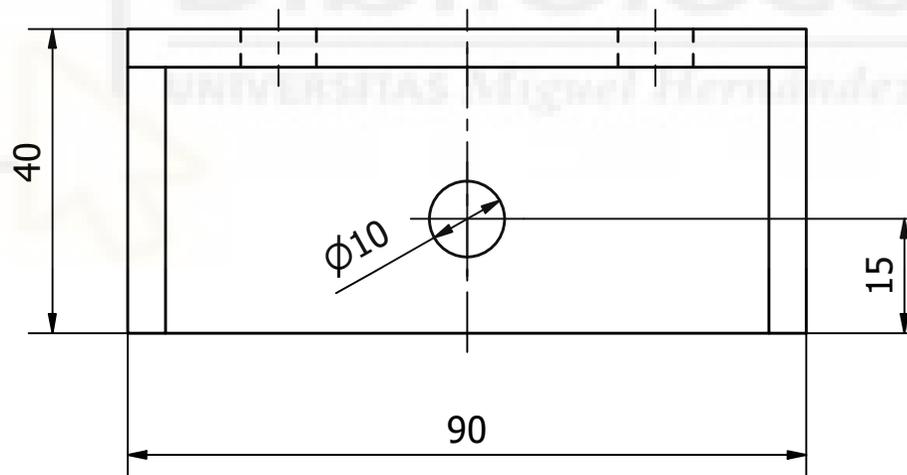
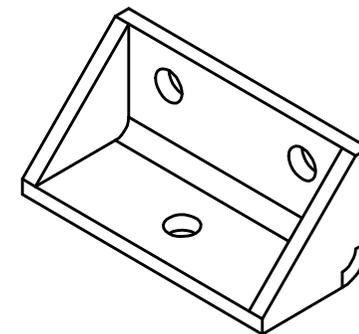
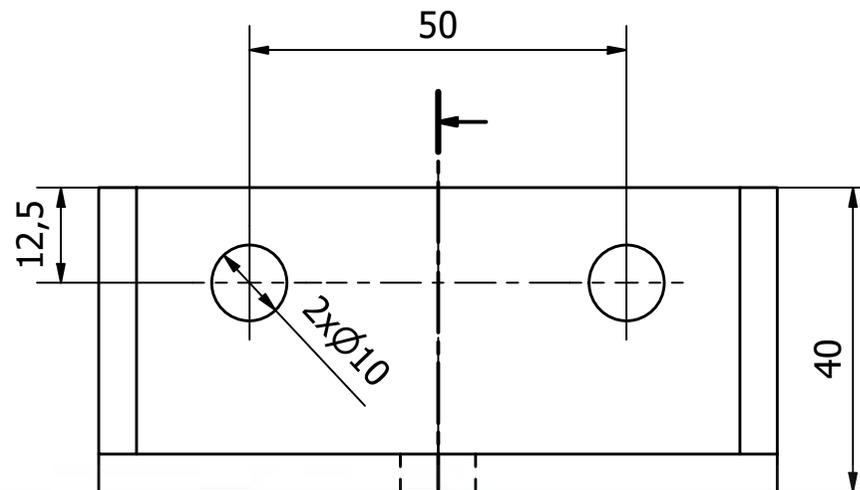
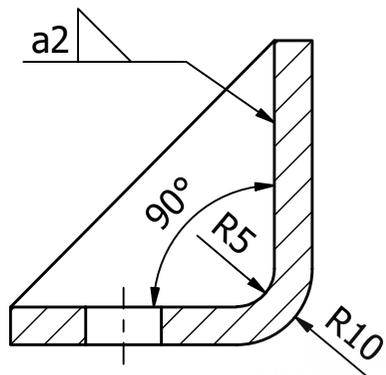
24		2120	3	Corte recto	Acero S355J2H
23		354,66	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
22		415	4	Corte recto	Acero S355J2H
21		416,18	2	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
20		492,55	2	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
19		626,9	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
18		830	4	Corte recto	Acero S355J2H
17	ISO 10799-2 40x40x3	1672	4	Corte recto	Acero S355J2H
16		525	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
15		610	4	Corte recto	Acero S355J2H
14		670	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
13		780	2	Corte recto	Acero S355J2H
12		890	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
11		1000	4	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
10		2200	2	Corte a bisel 45°	Acero S355J2H
9		1672	4	Corte recto	Acero S355J2H
8	ISO 10799-2 60x40x3	1752	2	Corte recto	Acero S355J2H
7	ISO 10799-2 80x60x3	2200	2	Corte recto	Acero S355J2H
6	Pletina de unión trasera		2	Plano nº 8	Acero suave, chapa plegada
5	Escuadra nervada de fijación central		4	Plano nº 5	Acero suave, chapa plegada y soldada
4	Chapa plana de fijación central		2	Plano nº 4	Acero suave
3	Soporte superior diagonales de refuerzo		4	Plano nº 6	Acero suave, perfil extruido
2	Pletina de unión delantera		2	Plano nº 7	Acero suave, chapa plegada
1	Soporte inferior diagonales de refuerzo		4	Plano nº 9	Acero suave, chapa plegada y soldada
Nº	ELEMENTO	LONGITUD (m)	UDS.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL

LISTA DE MATERIALES

	Título: Listado de piezas del módulo completo y elementos de unión		
	Autor: Arturo Sánchez Mena		Fecha: 22/06/2023
	Nº de Plano: 3	Escala: S/E	Nº de Hoja: 3/3

Espesor de pieza = 5mm

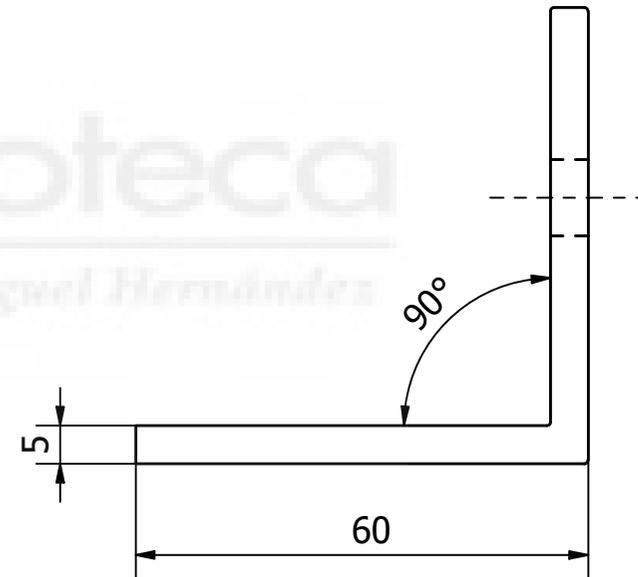
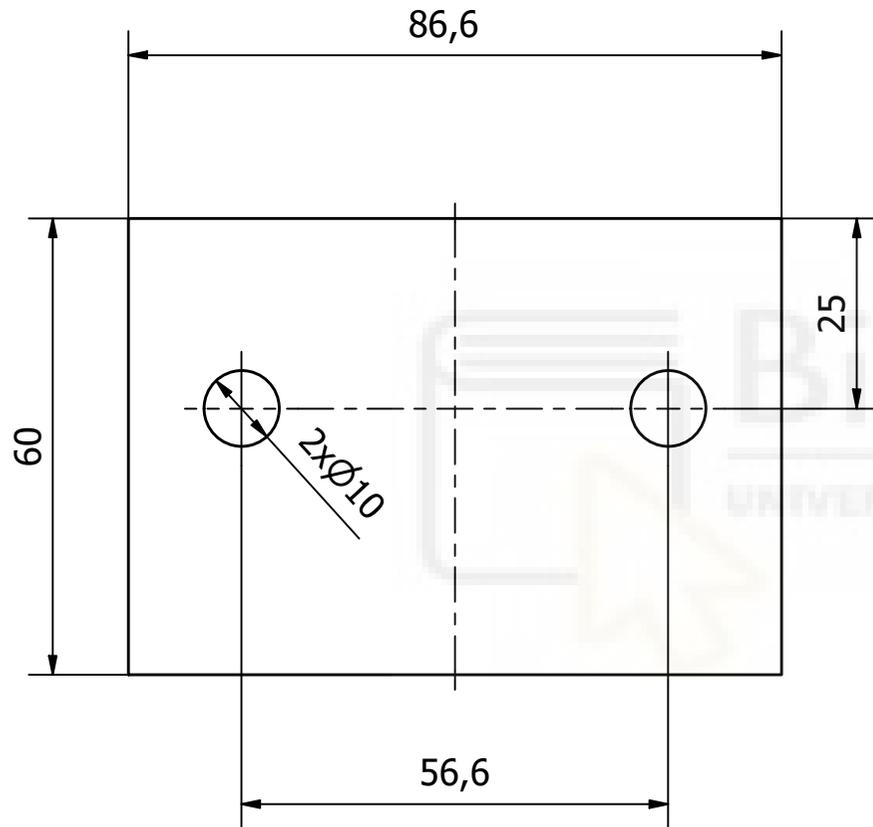
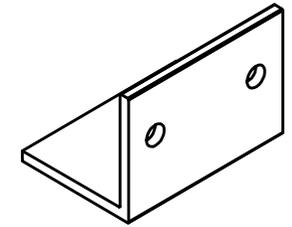
Material: Acero S355J2H



Título:		Escuadra nervada de fijación central	
Autor:		Arturo Sánchez Mena	Fecha: 22/06/2023
Nº de Plano:	5	Escala:	1:1
		Nº de Hoja:	1/1

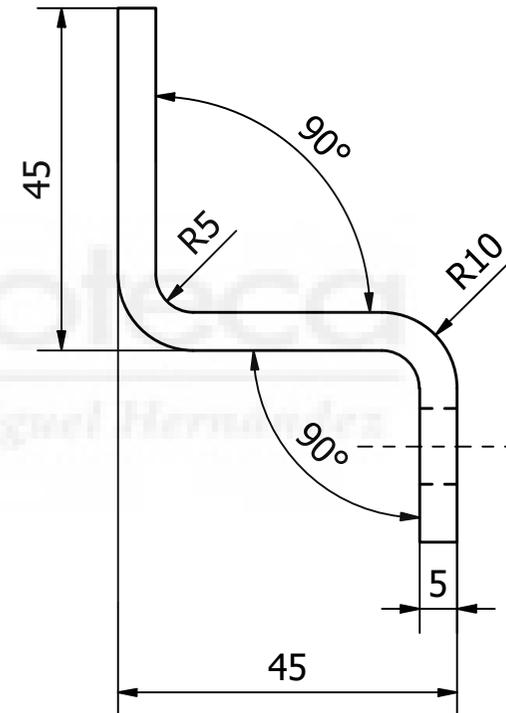
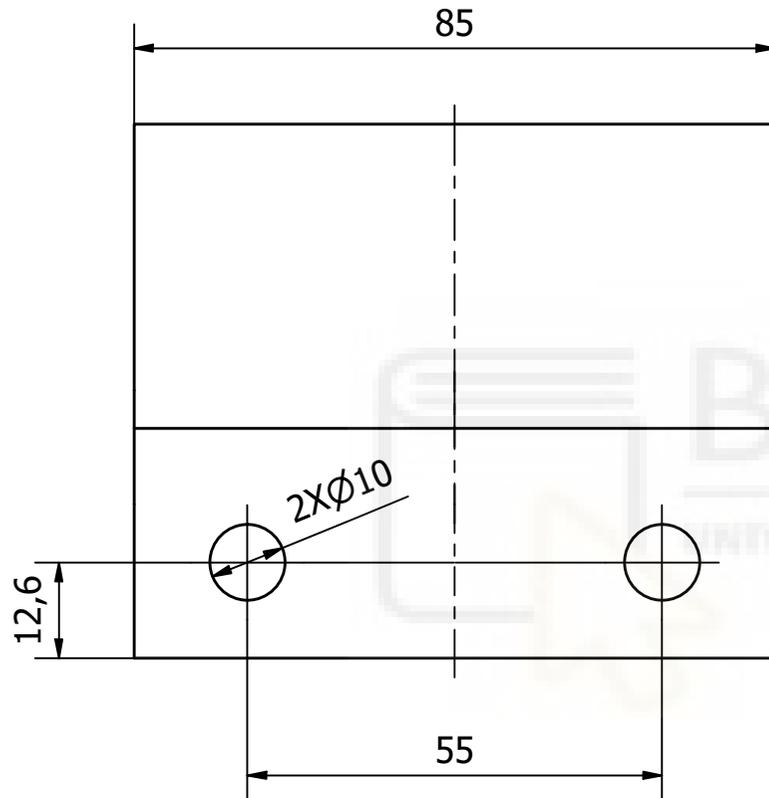
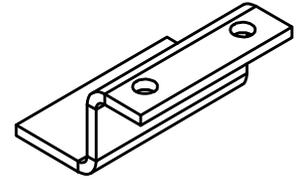
Todos los redondeos tienen un radio = 0,5mm

Material: Acero S355J2H



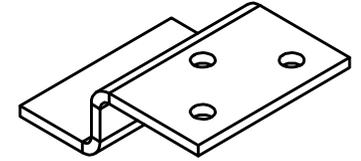
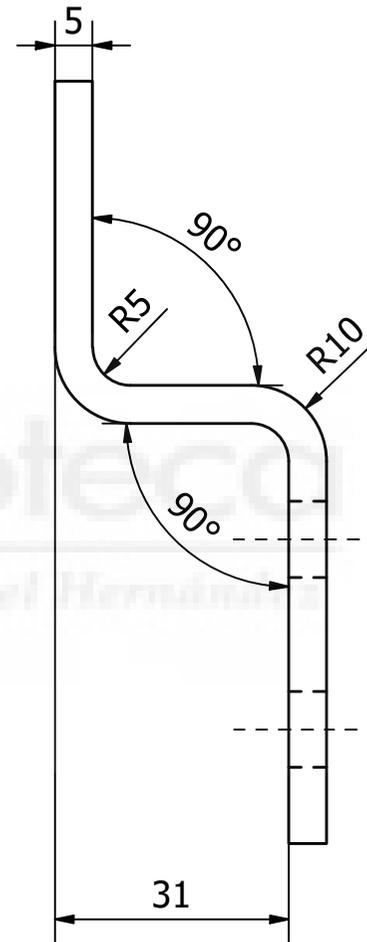
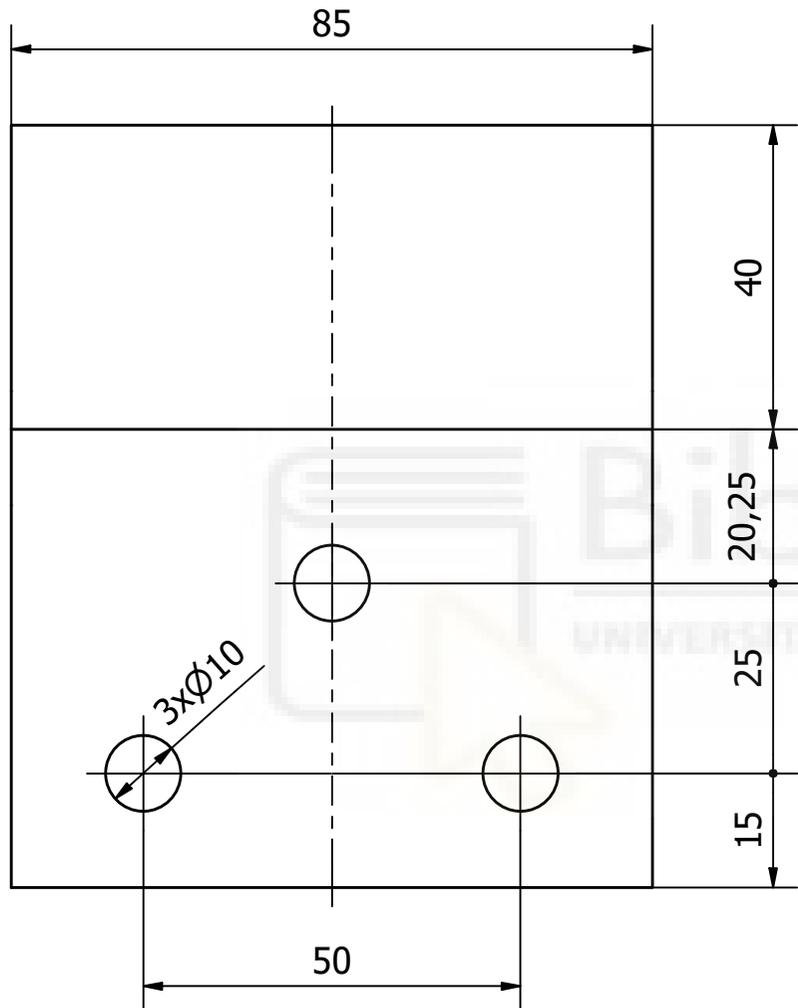
Título:		Soporte superior de las diagonales de refuerzo	
Autor:		Arturo Sánchez Mena	Fecha: 22/06/2023
Nº de Plano:	6	Escala:	1:1
		Nº de Hoja:	1/1

Material: Acero S355J2H



Título:		Pletina de unión delantera	
Autor:		Arturo Sánchez Mena	Fecha: 22/06/2023
Nº de Plano:	7	Escala:	1:1
		Nº de Hoja:	1/1

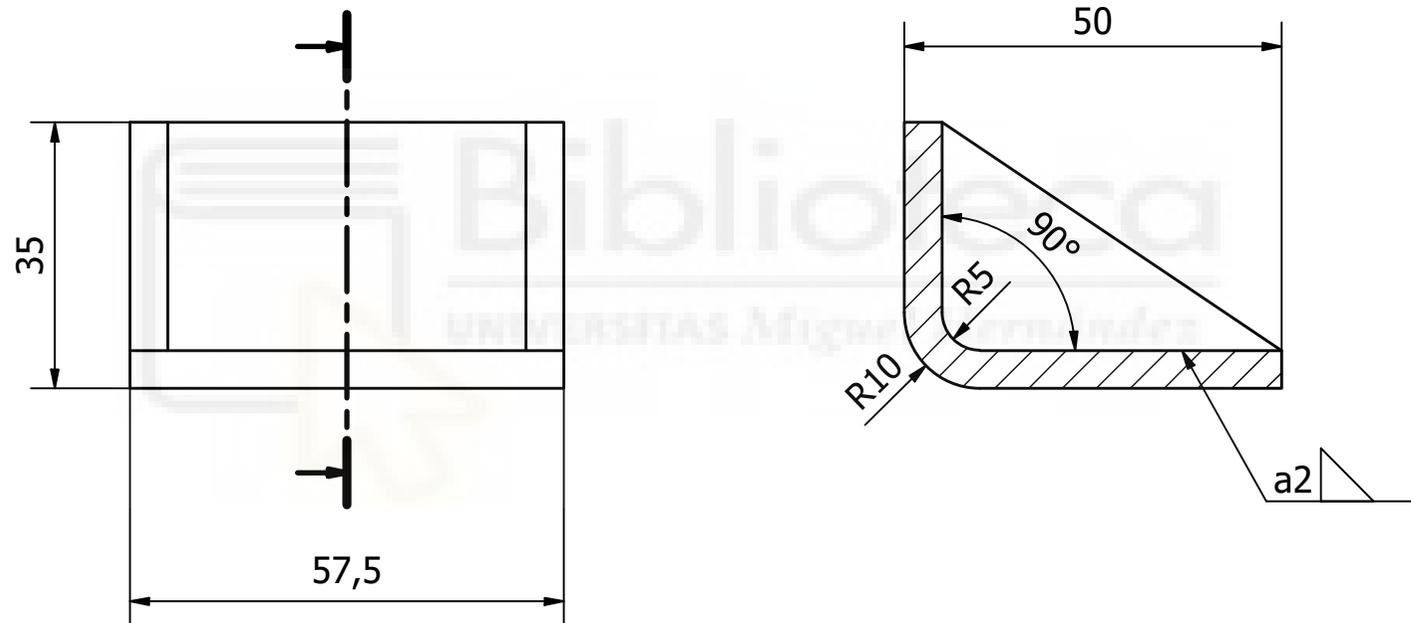
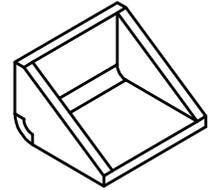
Material: Acero S355J2H



Título:		Pletina de unión trasera	
Autor:		Arturo Sánchez Mena	Fecha: 22/06/2023
Nº de Plano:	8	Escala:	1:1
		Nº de Hoja:	1/1

Espesor en la pieza = 5mm

Material: Acero S355J2H



Titulo:		Soporte inferior de la diagonal de refuerzo	
Autor:		Arturo Sánchez Mena	Fecha: 22/06/2023
Nº de Plano:	9	Escala:	1:1
		Nº de Hoja:	1/1