

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



SIMULACIÓN DE DISTINTOS
MÉTODOS DE UNIÓN DE LA
ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN
ELÉCTRICO MODULAR

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio -2021

AUTOR: Daniel Pérez Fernández

DIRECTOR: David Abellán López

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	ANTECEDENTES.....	7
1.1.1.	MEDIDAS EN LAS CIUDADES EUROPEAS.....	8
1.1.2.	REACCIÓN ANTE LA PANDEMIA.....	11
1.1.3.	TRANSPORTE DE MERCANCIAS TERRESTRE DE GRAN CAPACIDAD.....	12
1.1.4.	LA ÚLTIMA MILLA.....	14
1.1.5.	ASPECTOS DE LA CARROCERÍA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS ACTUALES.....	17
1.1.6.	INICIATIVA DEL DISEÑO DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO CON CHASIS AUTOPORTANTE	19
1.2.	EL CAMIÓN MODULAR.....	19
1.3.	UNIONES	22
1.3.1.	TIPO DE UNIONES	22
1.3.2.	MEDIO DE UNIÓN EMPLEADO.....	24
1.4.	OBJETIVO.....	25
1.5.	ALCANCE DEL PROYECTO	25
2.	METODOLOGÍA.....	26
2.1.	CONFIGURACIÓN DE LA UNIÓN ENTRE MÓDULOS	27
2.2.	INVENTOR	29
2.3.	ANSYS WORKBENCH	33
2.4.	SUBMODELING.....	36
2.5.	REAJUSTE DE LOS MODELOS.....	41
2.6.	CASO DE CARGA DESFAVORABLE	42

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

2.7.	DETALLES DE LAS UNIONES.....	42
3.	RESULTADOS.....	44
3.1.	TENSIONES EN LOS MODELOS EN SITUACIÓN ESTÁTICA	44
3.1.1.	TENSIONES EN LOS PERFILES ESTRUCTURALES.....	45
3.1.2.	TENSIONES EN LOS TORNILLOS.....	48
3.2.	TENSIONES EN LOS MODELOS EN SITUACIÓN DESFAVORABLE	49
3.2.1.	TENSIONES EN LOS PERFILES ESTRUCTURALES.....	50
3.2.2.	TENSIONES EN LOS TORNILLOS.....	50
3.3.	DEFORMACIONES MÁXIMAS	51
3.3.1.	DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA EN SITUACIÓN ESTÁTICA.....	51
3.3.2.	DEFORMACIONES MÁXIMAS DE LAS ESTRUCTURAS EN SITUACIÓN DESFAVORABLE	53
4.	CONCLUSIONES.....	54
5.	FUENTES	59

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Comisión europea	7
Figura 1.2: Zona restringida de vehículos en Londres denominada "Low Emission Zone"	8
Figura 1.3: Distintivos "Crit'Air" utilizados en los vehículos en Francia	9
Figura 1.4: Propuesta de Madrid 360.....	10
Figura 1.5: Zona de Bajas Emisiones de Barcelona	11
Figura 1.6: Electrolinera de Iberdrola.....	12
Figura 1.7: Camión eléctrico Volta Zero	12
Figura 1.8: Camión eléctrico DAF CF.....	13
Figura 1.9: Camión eléctrico DAF LF.....	13
Figura 1.10: Diseño del camión futurista de la marca Bugatti	13
Figura 1.11: Recreación del movimiento de mercancías a gran escala.....	14
Figura 1.12: Entrega del pedido	15
Figura 1.13: Furgonetas Volkswagen Caddy	16
Figura 1.14: Vehículo fabricado por BoxLane para el reparto en La Última Milla	16
Figura 1.15: Furgonetas eléctricas Nissan e-NV200.....	17
Figura 1.16: Iveco Daily chasis cabina carrozado	18
Figura 1.17: Iveco Daily chasis cabina	18
Figura 1.18: Chasis autoportante	18
Figura 1.19: Chasis autoportante del camión modular al que se le van a diseñar las uniones en este proyecto.....	20
Figura 1.20: Diseño 3D final de la estructura con 4 módulos.....	21
Figura 1.21: Diseño 3D final de la estructura con 3 módulos.....	21

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Figura 1.22: Unión articulada.....	22
Figura 1.23: Unión rígida.....	23
Figura 1.24: Unión semirrígida.....	23
Figura 1.25: Unión atornillada.....	24
Figura 2.1: Croquis de la unión con perfiles tipo C atornillados entre sí.....	28
Figura 2.2: Croquis de la unión con perfiles tipo L atornillados entre sí	28
Figura 2.3: Croquis de la unión con perfiles de tipo tubular de sección cuadrada atornillados entre sí con casquillos en su interior	29
Figura 2.4: Diseño de la estructura del módulo de tracción hecha con rectas por donde irán los perfiles estructurales.....	29
Figura 2.5: Módulo de carga con los perfiles de sección en L. Estructura finalizada	30
Figura 2.6: Bisel entre perfiles de sección en L	31
Figura 2.7: Estructura ensamblada con perfiles de sección en C	31
Figura 2.8: Estructura ensamblada con perfiles de sección en L.....	32
Figura 2.9: Estructura ensamblada con perfiles de sección tubular cuadrada.....	32
Figura 2.10: Generación de una unión entre perfiles de tipo "Bonded"	33
Figura 2.11: Perfiles unidos entre sí creando un conjunto	33
Figura 2.12: Mayado de la estructura con perfiles tipo C	34
Figura 2.13: Unión entre perfiles de tipo "Bonded" y formulación "MPC"	35
Figura 2.14: Tensiones de Von Mises generadas en la estructura con perfiles tubulares de sección cuadrada.....	35
Figura 2.15: Tensiones de Von Mises generadas en la estructura con perfiles tipo L.....	36
Figura 2.16: Situación de las uniones que se van a analizar mediante submodelos de la estructura con perfiles tubulares de sección cuadrada	37

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Figura 2.17: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles de sección tubular cuadradas.....	38
Figura 2.18: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles en L.....	38
Figura 2.19: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles en C	39
Figura 3.1: Representación gráfica de las tensiones del submodelo de la parte superior del pilar de la estructura 1	45
Figura 3.2: Descarte de las tensiones en los cortes del submodelo de la parte superior del pilar de la estructura 1	46
Figura 3.3: Estructura 1 – Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente.....	47
Figura 3.4: Estructura 2 - Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente.....	47
Figura 3.5: Estructura 3 - Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente.....	47
Figura 3.6: Distribución de tensiones en el tornillo que forma parte del submodelo de la parte del travesaño de la estructura 2.....	49
Figura 3.7: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 1	51
Figura 3.8: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 2	52
Figura 3.9: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 3	52
Figura 4.1: Contacto entre perfiles del submodelo de la parte del pilar superior de la estructura 1.....	58

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Relación entre los diámetros nominales de los tornillos con sus correspondientes áreas nominales y sus áreas resistentes a tracción 40

Tabla 3.1: Tensiones máximas obtenidas en los perfiles estructurales de los submodelos, en concreto, la parte de alrededor de la unión, provenientes de las estructuras en situación estática. Unidades en MPa 46

Tabla 3.2: Tensiones máximas obtenidas en los tornillos de los submodelos provenientes de las estructuras en situación estática. Unidades en MPa..... 48

Tabla 3.3: Valores de las tensiones máximas de los casquillos de la unión. Unidades en MPa 49

Tabla 3.4: Tensiones máximas obtenidas en los perfiles estructurales de los submodelos, en concreto, la parte de alrededor de la unión, provenientes de las estructuras en situación desfavorable. Unidades en MPa 50

Tabla 3.5: Tensiones máximas obtenidas en los tornillos de los submodelos provenientes de las estructuras en situación desfavorable. Unidades en MPa 51

Tabla 3.6: Deformaciones máximas en el eje Z de cada estructura en estado estático en valores absolutos. Unidades en mm..... 53

Tabla 3.7: Deformaciones máximas en el eje Z de cada estructura en estado desfavorable en valores absolutos. Unidades en mm..... 53

Tabla 4.1: Valores de las masas de las tres estructuras. Unidades en kg 54

Tabla 4.2: Valores de las ratios derivados de las tensiones máximas de los submodelos y el peso de sus correspondientes estructuras. Unidades en $\text{KPa}^{-1}\text{g}^{-1}$ 55

Tabla 4.3: Valores de las ratios derivados de las deformaciones máximas de las estructuras y el peso de sus correspondientes estructuras. Unidades en $\text{m}^{-1}\text{g}^{-1}$ 56

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de fin de grado se expondrá un análisis para determinar qué tipo de unión será la más adecuada para implementar en un vehículo eléctrico con chasis autoportante de carácter modular.

1.1. ANTECEDENTES

Es bien sabido que el cambio climático es un problema que nos atañe a todos. Por esa razón varias organizaciones gubernamentales se involucran con el fin de mejorar la situación actual que vivimos con este problema. La Comisión Europea es una de ellas y dentro de sus estrategias contra el cambio climático hace referencia al sector del transporte ya que, según ellos, “El transporte representa casi una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero de Europa y es la principal causa de contaminación del aire en las ciudades”.



Figura 1.1: Comisión europea

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.1.1. MEDIDAS EN LAS CIUDADES EUROPEAS

Con el objetivo de reducir la emisión gases de efecto invernadero a nivel global y de reducir la polución dentro de las ciudades, son cada vez más las administraciones que están fomentando el uso de vehículos eléctricos, tanto vehículos utilitarios como vehículos industriales. Con esto se han tomado medidas en las grandes ciudades europeas para limitar el acceso de los vehículos con motor de combustión. Algunos ejemplos son:

Londres

Fue la primera ciudad en instaurar un coste por entrar a la zona restringida denominada "Central London" en 2003. Actualmente cuenta con dos zonas denominadas "Low Emission Zone" (LEZ) y "Ultra Low Emission Zone" (ULEZ). La zona LEZ cuenta con un coste por circular a los vehículos excepto los vehículos eléctricos, motos, vehículos con más de 9 plazas y los vehículos utilizados para el mantenimiento de las carreteras, además de un coste adicional para los vehículos de gasolina que no cumplan la normativa Euro 4 y los diésel que no cumplan la Euro 6. Para los residentes se les aplica un descuento del 90%.



Figura 1.2: Zona restringida de vehículos en Londres denominada "Low Emission Zone"

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

París

El objetivo de esta ciudad es ir implementando normativas cada 2 o 3 años consiguiendo que progresivamente en 2030 solo haya vehículos nuevos. Partiendo de este planteamiento, la nueva normativa de circulación en la capital actualizada en 2019 ofrece unos distintivos a los vehículos numerados que van del 1 al 5 yendo de menor a mayores emisiones siendo 4 y 5 los vehículos con más emisiones de gases perjudiciales. Esta restricción sanciona a los vehículos que circulen con el distintivo 4 o 5 además de todos los que no lleven este distintivo en los días laborales de 8:00 a 20:00 h.



Figura 1.3: Distintivos "Crit'Air" utilizados en los vehículos en Francia

Madrid

Estas restricciones también afectan a las ciudades españolas como Madrid y Barcelona entre otras. En el caso de Madrid la nueva normativa planteada se denomina Madrid 360 donde se va a peatonalizar la Puerta del Sol y sus alrededores con el fin de convertirse en una auténtica zona de 0 emisiones.

Otra de las medidas que se aplica es la apuesta por el transporte público con la llamada "Línea Zero" con cero emisiones y gratuito para los ciudadanos para moverse por la zona centro y alrededores.

Además de estas medidas, entre otras, también se va a restringir la movilidad de vehículos en su interior. Para identificar de qué tipo de vehículo se trata, se emplean unos distintivos colocados en los propios vehículos parecido al sistema francés. Los que posean el distintivo Cero podrán circular y aparcar libremente en la zona; los que posean el distintivo Eco podrán hacer lo mismo solo que con una restricción temporal de 2h; los vehículos con distintivo B y C podrán acceder, pero solo podrán aparcar en aparcamientos públicos o privados, sin la posibilidad de aparcar en las zonas verdes. Los vehículos sin distintivo o con distintivo A directamente no podrán acceder a la zona restringida.

Aquellas personas que sean residentes sí que podrán acceder con sus vehículos sin excepción, pero se les aplicaran una serie de restricciones según el distintivo que lleve.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.4: Propuesta de Madrid 360

Barcelona

Otra de las grandes ciudades que destacan por ofrecer estas normativas para la reducción de gases de efecto invernadero y gases NO_x en el centro de la ciudad es Barcelona con la normativa aplicada el 1 de enero del 2020 llamada Zona de Bajas Emisiones (ZBE) donde limita el acceso a los vehículos sin distintivo los días laborales de 7:00 a 20:00 h.

Los turismos que no tienen acceso a estos distintivos son aquellos matriculados antes de enero del 2000 en el caso de los que empleaban gasolina como combustible y, en el caso de los turismos con motorizaciones diésel, aquellos matriculados antes del 2006. En el caso de las motos no tendrán acceso a estos distintivos aquellas matriculadas antes del 2003.

Estas restricciones tuvieron una moratoria en los particulares y hasta el 15 de septiembre del 2021 no se empezó a sancionar mientras que en las furgonetas comerciales y autónomos con rentas bajas no se empezó a sancionar hasta el 1 de abril del mismo año.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.5: Zona de Bajas Emisiones de Barcelona

1.1.2. REACCIÓN ANTE LA PANDEMIA

A esto se le suma la crisis provocada por el COVID-19 que ha fomentado en países de la UE propuestas y leyes para apostar por un transporte más limpio. Un ejemplo en España sería el Real Decreto-ley 25/2020, de 3 de julio, de medidas urgentes para apoyar la reactivación económica y el empleo ya que en él se propone, entre otras cosas, en la Disposición adicional primera un “Crédito extraordinario en el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo para atender el Plan Renove del Plan de Impulso de la cadena de valor de la Industria de la automoción”.

Con este marco político y económico se han llegado a pactos como el de Seat, Iberdrola y el Ministerio de Industria donde se propone la construcción de una fábrica de baterías para la fabricación completa de vehículos eléctricos en España.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.6: Electrolinera de Iberdrola

1.1.3. TRANSPORTE DE MERCANCIAS TERRESTRE DE GRAN CAPACIDAD

Como se ha dicho anteriormente, el transporte es uno de los sectores más contaminantes del planeta. Por ello, varias empresas se han puesto a trabajar en alternativas para reducir la huella de carbono que dejan los vehículos dedicados al transporte de mercancías como son los camiones.

La marca Volta Trucks ha desarrollado un camión, el cual, ya ha sido puesto a prueba en varias ciudades nórdicas. Este camión de 16 toneladas denominado Volta Zero ha sido diseñado para reducir las emisiones y los accidentes urbanos.

Este camión ya cuenta con una empresa interesada en adquirirlos que resulta ser Bring and Posten, el principal distribuidor de correos y paquetería de regiones nórdicas.



Figura 1.7: Camión eléctrico Volta Zero

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

La marca líder en distribución de camiones eléctricos DAF, como no podría ser de otra manera, presume de tener en su flota el DAF CF eléctrico. Se trata de un camión integral eléctrico. Está disponible como unidad tractora de 2 ejes y como camión rígido de 3 ejes. Según la entidad, está diseñado para la realización de entregas a supermercados urbanos las 24 h del día. Esto se debe a sus 200 km de autonomía que porta. También cuenta con el DAF LF eléctrico que posee 280 km de autonomía y cuenta con una MMA de 19 toneladas.



Figura 1.8: Camión eléctrico DAF CF



Figura 1.9: Camión eléctrico DAF LF

Estos proyectos están captando la atención de empresas, las cuales nunca se habían dedicado al mercado de los vehículos de transporte de mercancías. Un ejemplo es la conocida marca de hiperdeportivos Bugatti, de gran prestigio en la fabricación de coches que alcanzaron en el pasado varios récords de velocidad en sus autos matriculados. Esta marca ya tiene su diseño de la mano de Prathyush Devada. Se trata del diseño de un camión de carga futurista como el que introduce la empresa Tesla en su flota, el Tesla Semi.



Figura 1.10: Diseño del camión futurista de la marca Bugatti

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.1.4. LA ÚLTIMA MILLA

En estos últimos años ha incrementado el uso de las plataformas online para realizar todo tipo de compras. Esto se debe a la digitalización que se va arraigando cada vez más en la sociedad aportando comodidad a la hora de realizar compras y ponérselo más fácil al consumidor ya que el pedido se genera desde casa y, normalmente en un corto periodo de tiempo es entregado en el propio domicilio si se desea.

Este fenómeno conlleva un aumento en la demanda de pedidos y, por lo tanto, un incremento de la actividad en las empresas de reparto. Pero este reparto es distinto a lo que era habitual hace una década debido a que, lo más común en ese entonces, era el transporte fuera de los núcleos urbanos.



Figura 1.11: Recreación del movimiento de mercancías a gran escala

Con el paso del tiempo y como consecuencia de los pedidos electrónicos, en la actualidad, la frecuencia con la que los repartos llegan es mayor dentro de los núcleos urbanos hasta alcanzar el punto de entrega deseado por el cliente que, normalmente será un domicilio o un lugar de trabajo.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.12: Entrega del pedido

Este último tramo interurbano que hace el pedido antes de llegar a las manos del cliente ha cobrado importancia en el reparto y se denomina La Última Milla. Este tramo, al ser interurbano, no se libra de las restricciones aplicadas a las grandes ciudades europeas y, por lo tanto, están surgiendo propuestas para realizar los envíos lo más rápidamente posible de una manera lo más limpia y respetuosa con respecto al medioambiente y la salud de los propios ciudadanos. Por ese motivo, se propone que este tramo esté cubierto por vehículos ecológicos.

Además, para ayudar a que el reparto sea más rápido, estos vehículos tendrán que ser más livianos para que puedan acceder a cualquier lugar situado dentro de pueblos.

La empresa SEUR ha incluido en su flota de vehículos de reparto 82 furgonetas Volkswagen Caddy propulsadas por gas natural.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.13: Furgonetas Volkswagen Caddy

Otra forma que tiene la SEUR de propiciar este avance en el reparto es el acuerdo pactado con la empresa BoxLane la cual, ofrece vehículos eléctricos específicamente para el reparto de La Última Milla.



Figura 1.14: Vehículo fabricado por BoxLane para el reparto en La Última Milla

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Otra empresa que ha adquirido vehículos ecológicos es DPDgroup con la aportación a su flota de 300 furgonetas eléctricas Nissan e-NV200.



Figura 1.15: Furgonetas eléctricas Nissan e-NV200

Por su parte, Amazon anunció en 2020 que sustituirá sus furgonetas de reparto por modelos eléctricos, que junto con la instalación de puntos de recarga en todos sus centros logísticos de España y la creación de plantas solares con 149 megavatios de capacidad de producción conseguirá que su reparto en la última milla tenga “cero emisiones”.

1.1.5. ASPECTOS DE LA CARROCERÍA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS ACTUALES

Con estas iniciativas planteadas y siguiendo la dinámica de una transición energética, en concreto, en el sector del transporte, de cara a la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente se puede observar en el mercado actual un claro incremento de la fabricación de vehículos eléctricos. El problema de estos vehículos es que la inmensa mayoría están fabricados partiendo de los chasis de los modelos con motorizaciones de combustión. Esto se debe al abaratamiento del producto.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR



Figura 1.16: Iveco Daily chasis cabina carrozado



Figura 1.17: Iveco Daily chasis cabina

Hay que tener en cuenta que los elementos necesarios y su distribución para la fabricación de un vehículo con respecto al otro no tienen nada que ver en cuanto al sistema de tracción. De esa manera, a la hora de fabricar el vehículo eléctrico se desaprovechan ventajas como por ejemplo el espacio que se puede crear si el diseño de la carrocería se ajustara correctamente.



Figura 1.18: Chasis autoportante

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.1.6. INICIATIVA DEL DISEÑO DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO CON CHASIS AUTOPORTANTE

Por estas dos razones primordiales, la lucha contra el cambio climático en el sector de la automoción y el diseño de una estructura que se ajuste al vehículo eléctrico se ha llegado a la idea de diseñar un vehículo industrial, en concreto un camión, de motorización eléctrica y con un chasis autoportante diseñado para maximizar la capacidad de carga.

Además, se ha pensado en un tipo de estructura modular. Esto generará un gran abaratamiento de la construcción del camión ya que se podrá fabricar, por un lado, la cabina y el módulo de tracción de forma genérica, y por otro lado se fabricarán los módulos personalizados en base a las necesidades del cliente.

Con esta configuración podría ser un buen candidato para ser partícipe en la entrega de paquetes en el tramo de La última milla pudiendo acceder a esos centros urbanos de las ciudades europeas más importantes cumpliendo con su cometido.

1.2. EL CAMIÓN MODULAR

Con esta idea del diseño de un vehículo industrial eléctrico, con chasis autoportante y dividido por módulos, la cual, viene definida por los planteamientos plasmados anteriormente, se ha comenzado a realizar el diseño y seleccionar las partes necesarias para la posible construcción de este camión.

Una de las partes más importantes y que va a generar una gran diferencia entre los camiones convencionales es el propio chasis autoportante. Este chasis de carácter modular se va a dividir en cuatro módulos definidos de la siguiente manera:

- Módulo 1: Se trata de la cabina donde irá alojado el conductor.
- Módulo 2: Se corresponde con una zona de carga de un amplio volumen.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

- Módulo 3: Es la zona donde se instalará el tren trasero junto con las baterías que alimentarán las ruedas motrices. Este módulo también podrá admitir carga.
- Módulo 4: Se define como el voladizo del camión. Al igual que en el módulo 2 también se corresponde como una zona de carga de gran volumen.

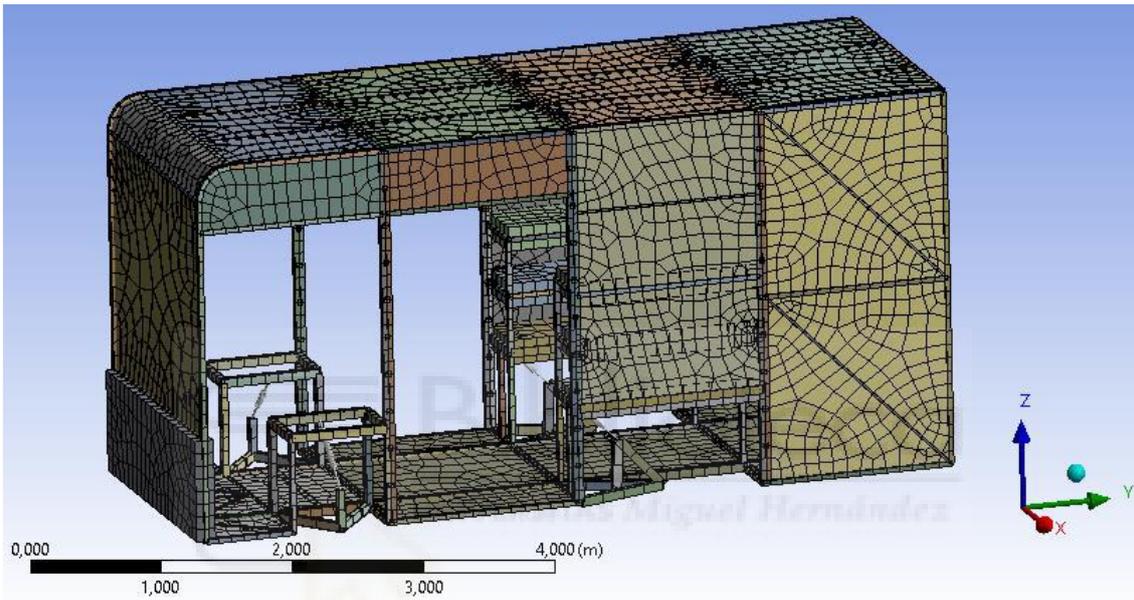


Figura 1.19: Chasis autoportante del camión modular al que se le van a diseñar las uniones en este proyecto

Definidas sus partes ya se puede abarcar la descripción en detalle de la estructura. Comenzando por la parte de la cabina donde se alojará el conductor. Cuenta con un acceso lateral en cada lado. Además, se ha diseñado para que el acceso hacia el módulo 2 no se vea perjudicado por ningún elemento que pueda obstaculizar el paso, dotando al camión de una gran accesibilidad interna hacia la carga.

A continuación, el módulo 2 será uno de los lugares del vehículo donde se podrá almacenar gran parte de la carga. Este módulo se caracteriza por su amplia accesibilidad para cargar por el lateral de este. Esto es debido por la ausencia de elementos estructurales en sus laterales haciéndolo apto a cargas de gran volumen.

El siguiente módulo que se une al módulo 2 es el módulo de tracción o módulo 3. Este espacio albergará las baterías de los motores de las ruedas motrices

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

encima de los pasos de rueda para aprovechar al máximo el espacio de carga en el centro.

Finalmente se encuentra el voladizo del camión cuyas dimensiones y función serán iguales que en el módulo 2. La diferencia es que podrá contar con un acceso en la parte trasera desde el exterior para introducir o extraer carga.

Debido al chasis autoportante, este camión cuenta con una superficie plana en todo el suelo con la ausencia de obstáculos como podrían ser escalones o desniveles indeseados (sin tener en cuenta los pasos de rueda traseros). Además, contará con unas suspensiones neumáticas que se le instalarán para conseguir una distancia al suelo lo más próxima posible. Todo ello hace que se pueda cargar y descargar el camión de una manera más fácil y sencilla. De esta manera hace que este vehículo sea ideal para poder trabajar en el sector del transporte interurbano facilitando el trabajo de los empleados y proporcionando un bienestar en la población debido a la inexistencia de ruidos molestos y gases perjudiciales para la salud como los gases NO_x.

Finalmente, los módulos le van a aportar versatilidad gracias a poder modificar su tamaño añadiendo o quitando módulos como se pueden ver en las figuras siguientes:

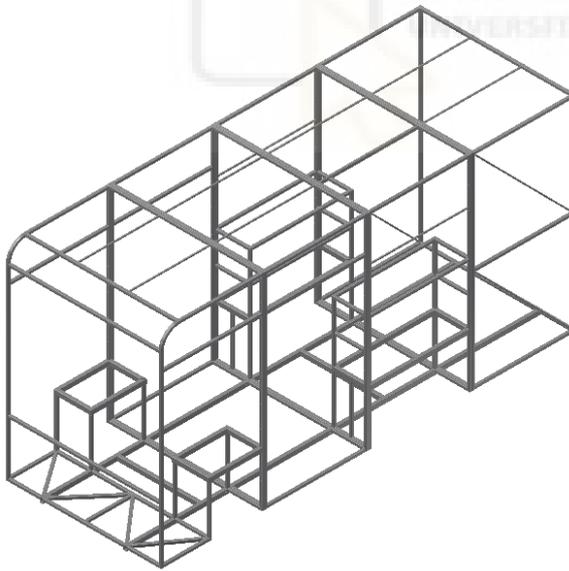


Figura 1.20: Diseño 3D final de la estructura con 4 módulos

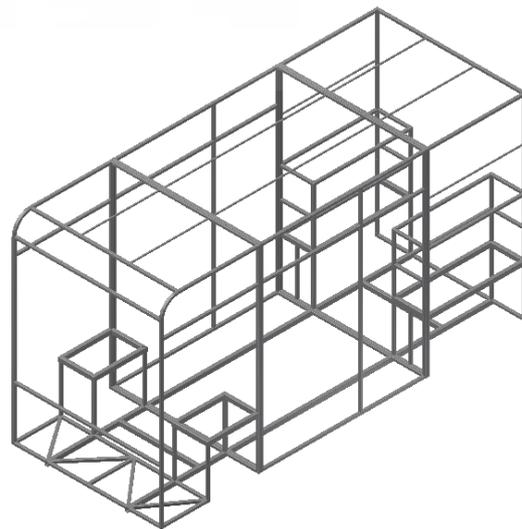


Figura 1.21: Diseño 3D final de la estructura con 3 módulos

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.3. UNIONES

En anteriores Trabajos de Fin de Grado se han ido desarrollando las diferentes partes de este camión. Este proyecto se centrará en el estudio de las uniones entre sus módulos.

1.3.1. TIPO DE UNIONES

Para poder establecer el tipo de unión hay que considerar antes las distintas opciones que se podría llevar a cabo. Para ello, se comenzará clasificando los tipos de unión, y una forma para identificar esos diferentes grupos es a través de su rigidez.

Citando la cuarta edición del libro Diseño de máquinas de Robert L. Norton: “Se podrá establecer la rigidez de una unión mediante ensayos o a partir de experiencia previa contrastada, aunque en general se calculará a partir de la flexibilidad de sus componentes básicos, determinada mediante ensayos previos.” Con esta definición abre paso a las posibilidades de unión que se pueden realizar:

- Uniones nominalmente articuladas: Estas uniones se caracterizan por no transmitir los esfuerzos cortantes de una parte de la estructura a la otra y, por ende, los momentos flectores permitiendo el giro de la propia unión. Eso significa que a través de una estructura articulada solo cabe la posibilidad de transmitir esfuerzos axiales.



Figura 1.22: Unión articulada

- Uniones rígidas: estas uniones trabajan permitiendo la transmisión de esfuerzos cortantes y flectores haciendo además de los esfuerzos axiales.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Esto dificulta el cálculo, pero se consiguen uniones más sólidas y en muchos casos, la unión es más sencilla de realizar en la práctica.



Figura 1.23: Unión rígida

- Uniones semirrígidas: Son aquellas uniones en las que se permite un giro relativo entre las barras adyacentes, pero, a su vez, pueden transmitir esfuerzos cortantes y flectores, aunque en menor medida que las uniones rígidas a igualdad de condiciones.

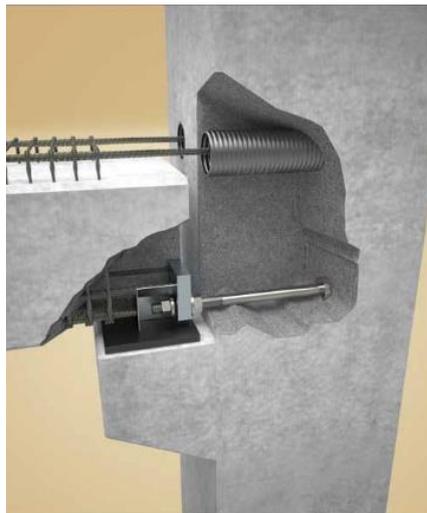


Figura 1.24: Unión semirrígida

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.3.2. MEDIO DE UNIÓN EMPLEADO

A continuación, se explicará el medio de unión empleado en este proyecto:

Uniones atornilladas

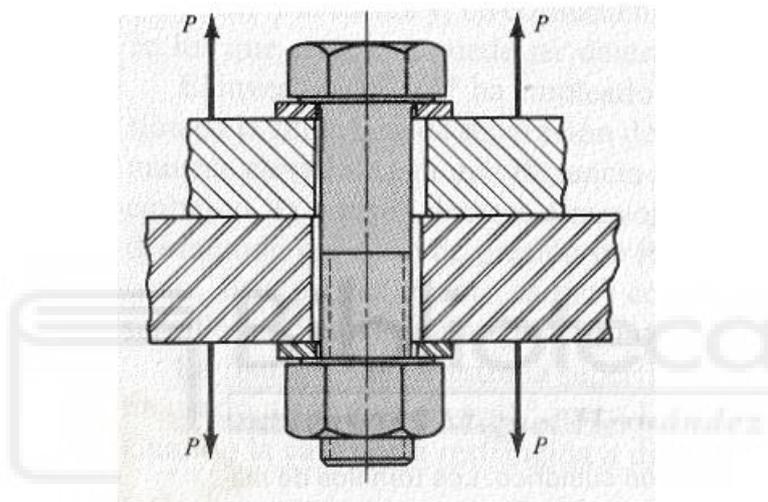


Figura 1.25: Unión atornillada

Los tornillos se caracterizan por ser un plano inclinado enrollado en un cilindro formando una hélice. Esta hélice que se forma se denomina cuerda y cuando gira el tornillo, esta provoca un avance axial hacia la pieza que se quiere unir. Las dimensiones están estandarizadas por normativas mediante el diámetro exterior de la cuerda y el paso. El paso es la distancia que existe entre dos cuerdas contiguas. Usualmente los tornillos se utilizan para sujetar piezas las cuales transmiten cargas a éstos dotándolos de tensión. Por ese motivo es común aplicar una precarga cercana a su límite elástico. Estas uniones pueden ser desmontadas con la ventaja de que, en caso de falla de alguna de las partes, poder ser sustituida con relativa facilidad.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

1.4. OBJETIVO

Este proyecto se centrará en la creación de una metodología para poder determinar el tipo de unión entre módulos que mejor se comporta frente a las solicitaciones que soportará la estructura, y las situaciones desfavorables donde se verá la estructura comprometida del camión eléctrico, además de optimizarla. Esto se realizará a partir del Software Ansys Workbench, donde se generarán una serie de submodelos, partiendo de la estructura principal, donde se desarrollarán, con detalle y precisión, los resultados de las tensiones provocadas alrededor de las uniones atornilladas entre los módulos, además de las tensiones de los propios tornillos, con el objetivo de determinar el tipo de unión más conveniente que se empleará entre los módulos de la estructura del camión.

Una vez determinado el tipo de unión que se pretende diseñar, este estudio plantea una serie de perfiles estructurales elegidos para analizar en las uniones y observar su comportamiento.

Además, se deberá plantear una serie de constantes para obtener un análisis de partida. Estas constantes serán la geometría de los módulos (deben ser idénticos, aunque cambie el tipo de perfil); el número de tornillos y la distancia que hay entre ellos y, por último, la métrica de estos tornillos que, en este caso, partiremos con una M8.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto comienza por un proceso de selección del tipo y medio de uniones que se quiere emplear en el ensamblaje entre módulos del camión. Para llevar a cabo este paso se ha de valorar con detenimiento las ventajas y desventajas que ofrecen cada tipo y medio de unión. De esta forma se elegirá de entre todas las opciones, la más conveniente a las necesidades requeridas. Este ensamblaje no va a contemplar las uniones aplicadas en los largueros inferiores del vehículo ya que han sido diseñadas con anterioridad en otro proyecto relacionado.

Tampoco entra dentro del alcance de este proyecto la optimización de los perfiles de la estructura, métricas y disposición de las uniones. Solo se planteará la metodología para poder realizar dicho estudio a partir de la técnica de Submodeling con elemento finitos. Lo que si se hace será plantear tres posibles tipologías de unión y comparar sus ventajas, inconvenientes y comportamiento.

En los modelos realizados no se valora la influencia que los cerramientos del camión tienen sobre la rigidez y la resistencia de la estructura.

Una vez se elige el tipo de unión y el medio, se procederá a la elección de un tipo de perfil estructural que se pueda unir entre sí generando una unión

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

resistente y adecuada para que la estructura no pierda sus cualidades mecánicas. Esto se determinará escogiendo una serie de candidatos escogidos.

Ya que en este caso la estructura es compleja y grande, se tendrá que analizar la estructura con los perfiles escogidos mediante procesos de cálculo computacional. Para ello se ejecutará el modelado en 3D en el software Inventor y posteriormente se trasladará al software Ansys Workbench para su análisis de tensiones y deformaciones de las opciones elegidas previamente. De esta manera se concluirá con unos resultados obtenidos y unas conclusiones sobre estos resultados aportados, finalizando el proyecto y dando paso a futuros estudios como podría ser la resistencia a fatiga de esas uniones, la cantidad de tornillos óptima, la determinación de su métrica, la resistencia a vibraciones y un largo etcétera para concluir el proyecto principal de la realización del camión modular con chasis autoportante.

2. METODOLOGÍA

En este apartado se analizará la metodología empleada para realizar el presente proyecto.

Para comenzar este análisis se escogerá, de entre los tipos de unión mencionados anteriormente, la más idónea para este fin. Una vez escogida la forma de unir los módulos entre sí, se determinará el tipo de perfil estructural que mejor se adapte. Para ello, se escogerán tres candidatos para analizar posteriormente con las herramientas oportunas. Cada uno del tipo de perfil estructural utilizado requiere de una tipología de unión atornillada distinta, como se muestra más adelante. Una vez se haya decidido qué perfiles se quieren comparar y la configuración de la unión, para el posterior análisis se crearán los modelos en el software Inventor para posteriormente analizarlas en el software Ansys Workbench.

Cabe señalar la importancia que tiene este análisis en Ansys ya que es la parte donde se le ha dado un mayor protagonismo. Esto se debe ya que al ser la estructura tan grande y con cierta complejidad para resolverla con un alto grado de calidad en los resultados se han tenido que realizar submodelos de la propia estructura, es decir, escoger ciertas partes de esta para poder analizarlas en profundidad con una mayor aproximación a lo que sucedería en la realidad, utilizando un mallado más elaborado para alcanzar ese nivel de exigencia en las soluciones obtenidas.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

2.1. CONFIGURACIÓN DE LA UNIÓN ENTRE MÓDULOS

Partimos de la posibilidad de realizar una unión rígida o articulada. Valorando estas dos opciones hay que tener en cuenta que una unión articulada entre los módulos del camión sería muy pesada y laboriosa. Sin embargo, las uniones rígidas son mucho más sencillas de realizar en la práctica y son más ligeras. Además, siendo una unión atornillada, nos permitirá construir los diferentes módulos terminados, y en una planta de fabricación distinta, ensamblarlos dando la posibilidad, por un lado, a tener módulos personalizables, y por otro, tener el módulo de tracción y la cabina estandarizados y listos para ensamblar. Por lo tanto, se optará por una unión rígida.

Una vez se opta por una unión rígida, hay que valorar las distintas opciones que nos ofrece esta elección. Ya que se le está proporcionando una ventaja considerable al proporcionar a un camión la posibilidad de cambiar su utilización conmutando módulos personalizables distintos, se ha llegado a la conclusión de diseñar una unión que, cuando se desee realizar otras tareas distintas a las que se le otorgó en un inicio al camión, se pueda desmontar los módulos personalizables por otros que cumplan con el futuro desempeño. De esta manera, surge un notable punto a favor, ya que hace más viable todavía su reutilización.

Siguiendo con el proceso de diseño de la unión se tiene que determinar qué perfiles son más adecuados para las uniones. En este apartado la valoración de elegir un candidato supone un problema porque no se puede predecir qué tipo de perfil es el más idóneo para implementar en el diseño. A partir de este momento la elección de un buen candidato se vuelve compleja y por ello se ha de realizar un trabajo mediante croquis de posibles uniones para poder ser analizadas de la manera que se explica en los apartados venideros.

En este caso se proponen tres uniones diferentes mostradas a continuación:

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

- La primera opción serían dos perfiles en C

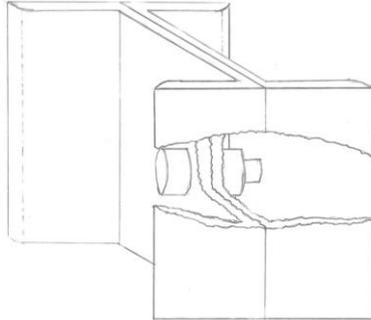


Figura 2.1: Croquis de la unión con perfiles tipo C atornillados entre sí

- La segunda opción serían dos perfiles en L

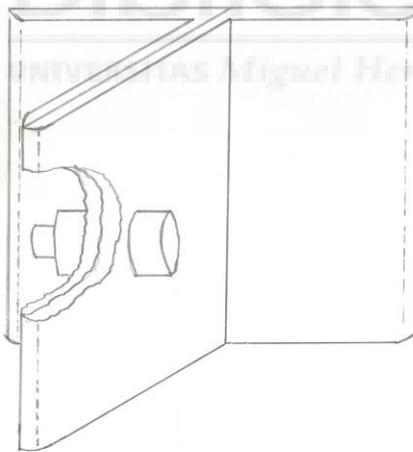


Figura 2.2: Croquis de la unión con perfiles tipo L atornillados entre sí

- La tercera opción serían dos tubos de sección cuadrada con unos casquillos para evitar el colapso de la estructura al introducir las pretensiones de los tornillos.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

A continuación, se crea un ensamblaje (.iam) de cada módulo donde con el generador de estructuras se colocarán esos perfiles.

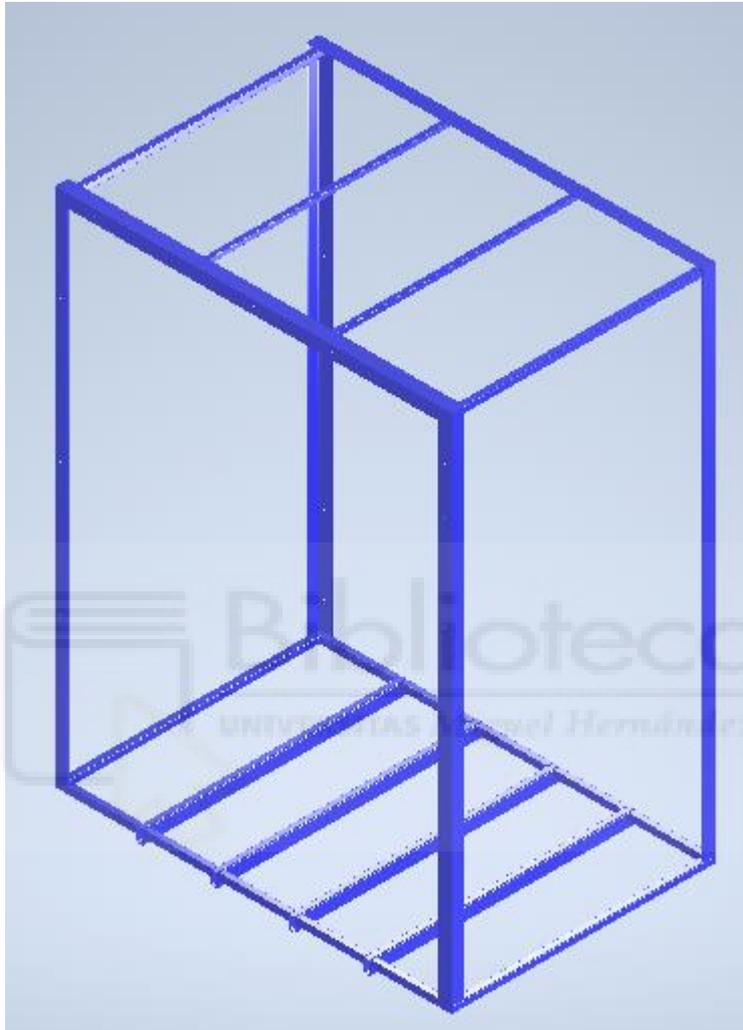


Figura 2.5: Módulo de carga con los perfiles de sección en L. Estructura finalizada

Después se procederá a biselar y recortar o alargar cada perfil a su justa medida para que dicha estructura quede con un buen acabado.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

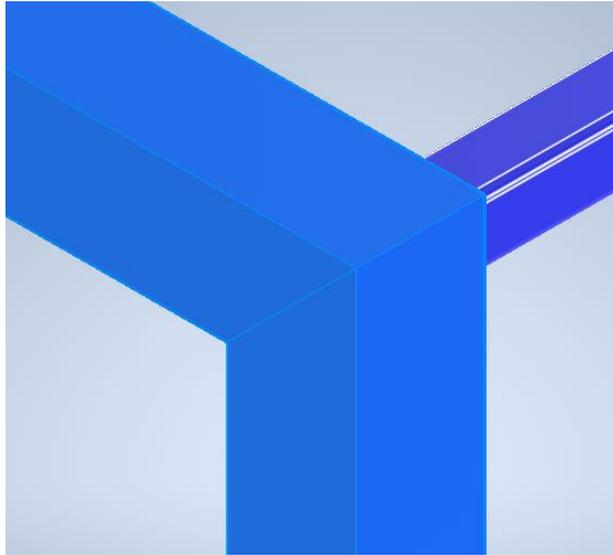


Figura 2.6: Bisel entre perfiles de sección en L

Posteriormente, en cada uno de los perfiles estructurales creados se podrá realizar los agujeros donde irán colocados los tornillos de la unión.

Finalmente, los módulos creados se ensamblarán en otro ensamblaje aparte finalizando el proceso de diseño de diseño. Este archivo se guardará en formato “.sat” para poder importarlo en Ansys.

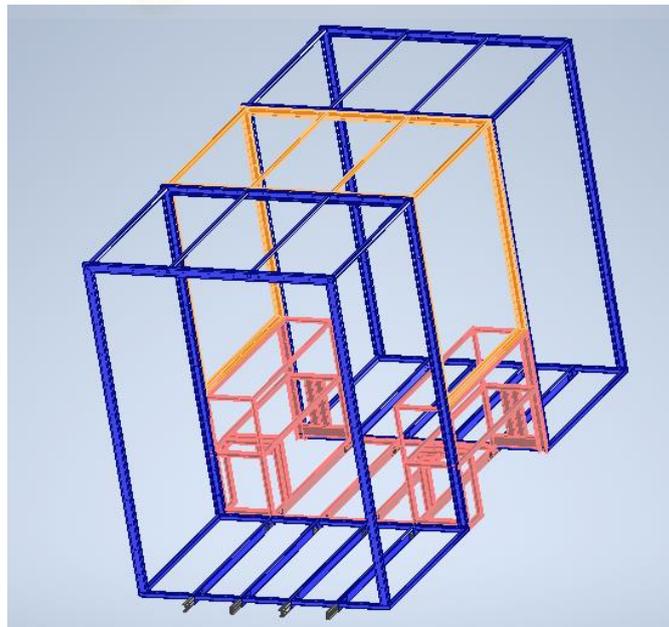


Figura 2.7: Estructura ensamblada con perfiles de sección en C

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

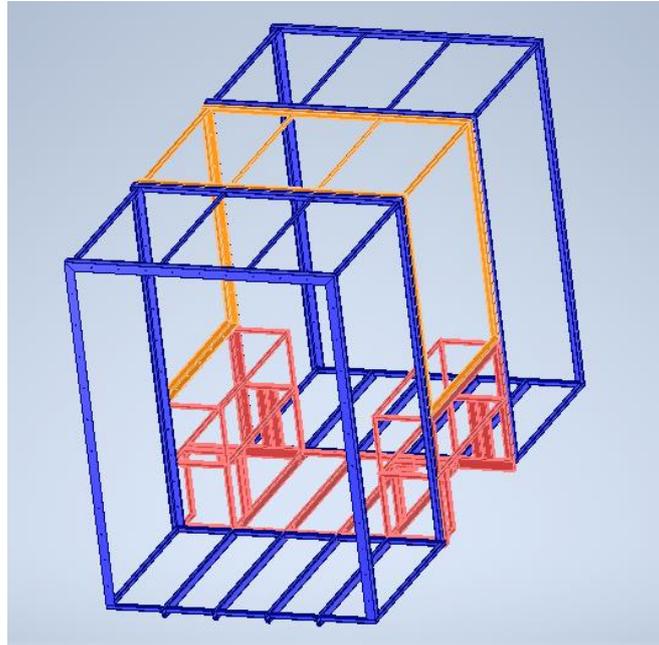


Figura 2.8: Estructura ensamblada con perfiles de sección en L

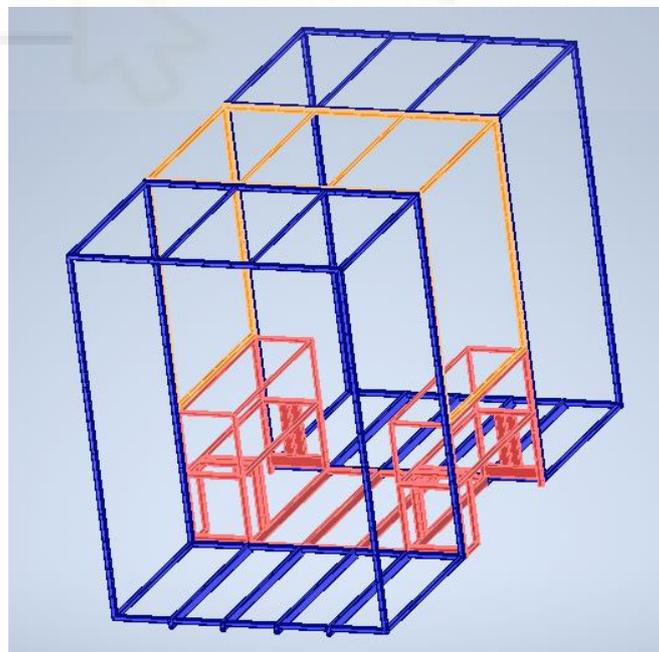


Figura 2.9: Estructura ensamblada con perfiles de sección tubular cuadrada

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

2.3. ANSYS WORKBENCH

Una vez realizados los diseños de las tres estructuras en Inventor se procederá al cálculo de tensiones. Para ello se importará el modelo al software Ansys.

Para empezar, al abrir el software se elegirá de la caja de herramientas la opción de “estructura estática”. De esta manera, entrando en la opción de “Geometría”, se podrá proceder a la importación del archivo que se habrá creado anteriormente como tipo de archivo “.sat”.

A continuación, en el apartado de “Modelo”, se revisarán todos los contactos de la estructura para que, de esa forma, pueda funcionar el modelo sin errores. Como el modelo es bastante grande y para ahorrarle cálculos al software, en el apartado de “Geometría”, algunos perfiles que coinciden en alguna unión se han metido dentro de un conjunto para que, de esa manera, formen parte de una pieza sola. Esto se ha realizado en la mayoría de las uniones formadas mediante biseles y se procederá a ello antes de revisar las propias uniones. Estas uniones serán de tipo “Bonded”.

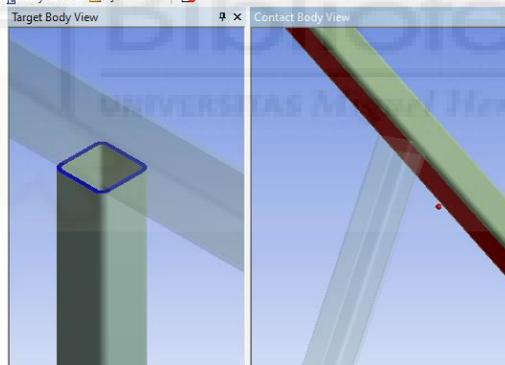


Figura 2.10: Generación de una unión entre perfiles de tipo "Bonded"

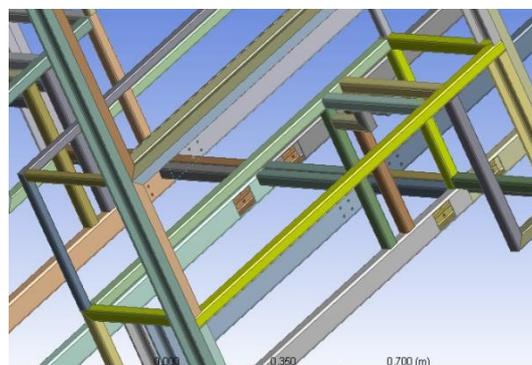


Figura 2.11: Perfiles unidos entre sí creando un conjunto

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Después se procederá a generar la malla para pasar toda la estructura a elementos finitos y de esta manera, mediante el método numérico, se pueda resolver de manera aproximada las tensiones y deformaciones de cada parte discreta del mallado.



Figura 2.12: Mayado de la estructura con perfiles tipo C

Una vez realizada la malla se procederá a restringir las distintas partes donde iría montada la suspensión del camión para definir los puntos de apoyo. Estos apoyos inicialmente se supondrán como soportes fijos para hacerlo sencillo y ver que todo funcione. Más adelante se cambiará para hacerlo más realista.

Finalmente se procederá a aplicar las fuerzas de carga del camión y las baterías y se resolverá la estructura.

Una vez se comprueba que el sistema se resuelve se podrá cambiar los contactos de las uniones que queremos analizar por unos contactos más realistas. Esto se hará introduciendo unos contactos alrededor de los agujeros de tipo "Bonded" con formulación "MPC" y se pondrá como "Pinball Region" de tipo "Radius" y un radio de 20 mm. Esto provocará un contacto fijo únicamente alrededor de los agujeros. Esto se debe ya que, al apretar los tornillos, solo permanecerá pegado la parte de los perfiles que se encuentre cerca de los tornillos, en este caso, a 20 mm del centro del tornillo. Este es un radio aproximadamente igual al de la cabeza de un perno con brida o arandela. Esta restricción de unión se realiza ya que la unión que se le aplicaba anteriormente unía las dos superficies en contacto en su totalidad de los perfiles involucrados. En el caso de las uniones atornilladas, esto no es así ya que la unión se produce solamente alrededor del agujero debido a la presión que ejerce la tuerca con la cabeza del tornillo al pretensar el propio tornillo.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

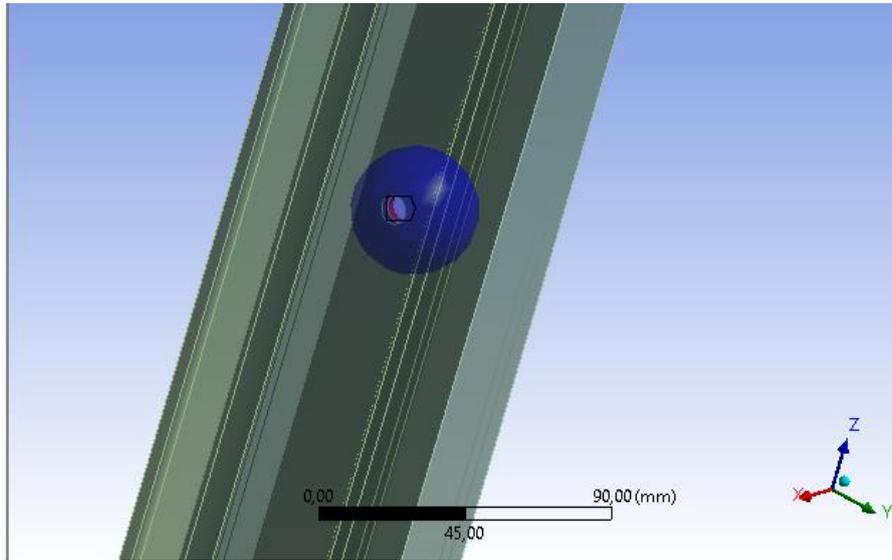


Figura 2.13: Unión entre perfiles de tipo "Bonded" y formulación "MPC"

Se vuelve a comprobar que la resolución del sistema y al verificar que todo está correcto se procederá a realizar los submodelos de las partes de la estructura que queremos analizar con mayor detalle.

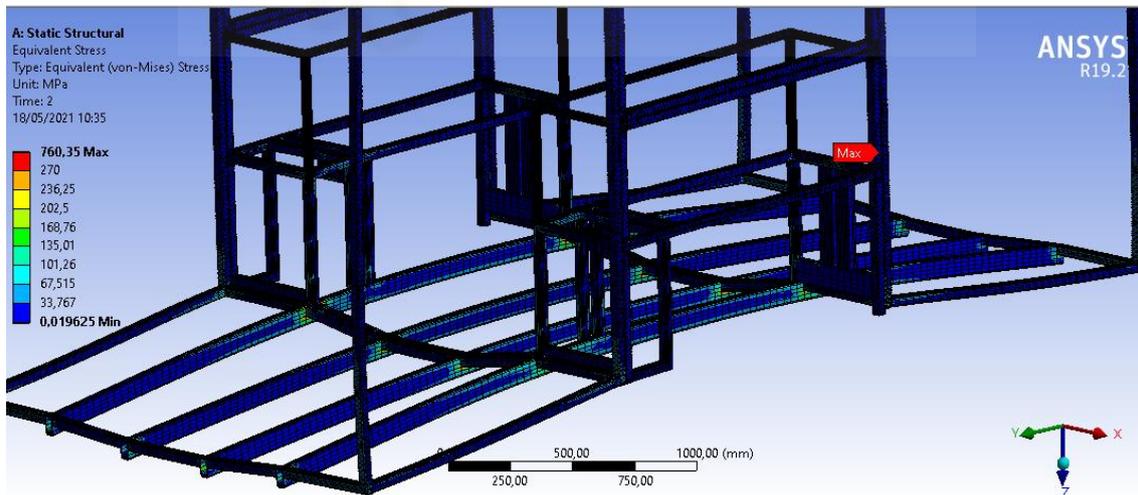


Figura 2.14: Tensiones de Von Mises generadas en la estructura con perfiles tubulares de sección cuadrada

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

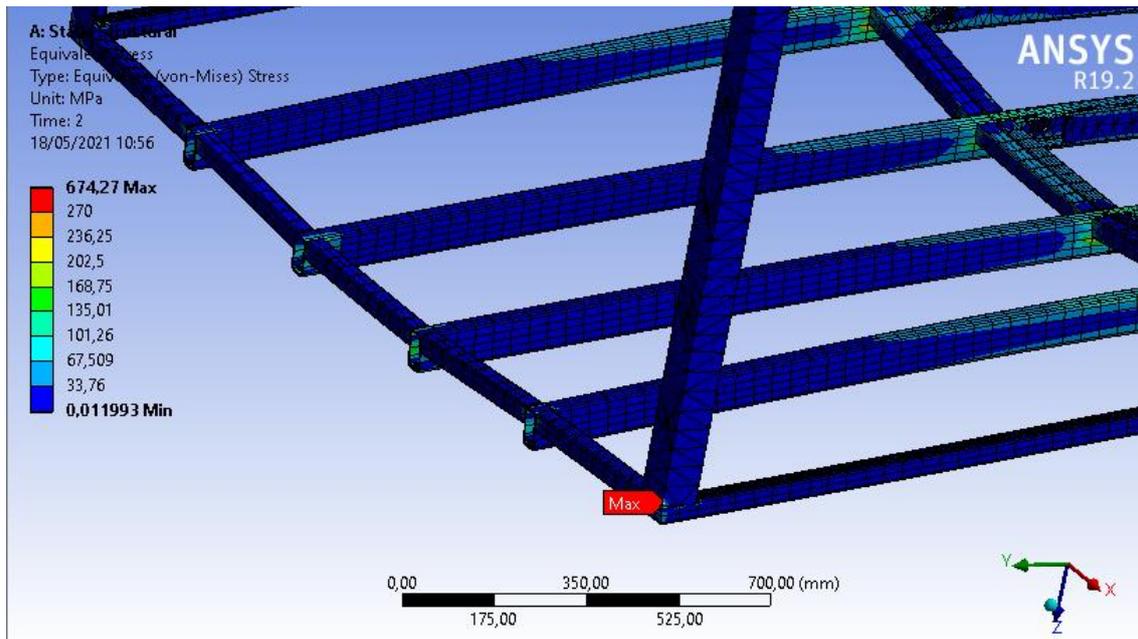


Figura 2.15: Tensiones de Von Mises generadas en la estructura con perfiles tipo L

A modo de ejemplo, en el caso de la figura 2.14 se muestra una tensión máxima de 760,35 MPa ubicada en uno de los agujeros por donde irá un tornillo generando una unión en ese espacio. Esto se debe a la calidad de la malla ya que ésta no es buena y es un claro ejemplo del por qué es necesario la aplicación del “submodelado” de ciertas partes de la estructura. También podemos tener el caso de que esas tensiones tan elevadas se den en uno de los extremos de un perfil como se puede observar en la figura 2.15 con una tensión máxima de 674,27 MPa, pero este comportamiento se debe a la falta de representación de la soldadura en las uniones, las cuales, al aplicar esa soldadura en la práctica, estas tensiones tan altas desaparecerán. Este fenómeno se deberá tener en cuenta a lo largo de todo el proceso de análisis tensional para poder ejecutar una buena predicción en el comportamiento de la estructura porque este fenómeno también puede aparecer en los submodelos.

2.4. SUBMODELING

Aunque este apartado se dé dentro del Software Ansys Workbench se tratará a parte dada la relevancia que se le otorga en este proyecto ya que es la parte donde se le ha hecho un mayor hincapié.

Como se ha mencionado anteriormente, la estructura es demasiado grande que, para poder calcularla con un detalle aceptable (cercano a la realidad), se ha tenido que escoger de entre toda la estructura, ciertas partes a modo de probetas para poderlas analizar a parte. Al ser estas partes escogidas mucho más

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

pequeñas y simples, se les ha dotado de un mayor detalle incorporando los tornillos y de más elementos que formarán parte de las uniones. Esto evita tener que detallar toda la estructura por completo y, como consecuencia, se contemplará un ahorro en los cálculos computacionales, los cuales, en su gran mayoría, no serían relevantes. De esta manera se optimiza el proceso de diseño, ahorrando, sobre todo, tiempo.

Para empezar, se escogerán tres zonas de la estructura. Esas zonas serán las mismas en cada estructura para que, una vez se tengan los resultados de las tensiones de los submodelos, se pueda hacer una comparación y observar cual es la unión que mejor se comporta.

Las zonas que se escogerán son la parte inferior del pilar trasero, una parte superior del mismo pilar y una parte del travesaño del arco trasero.

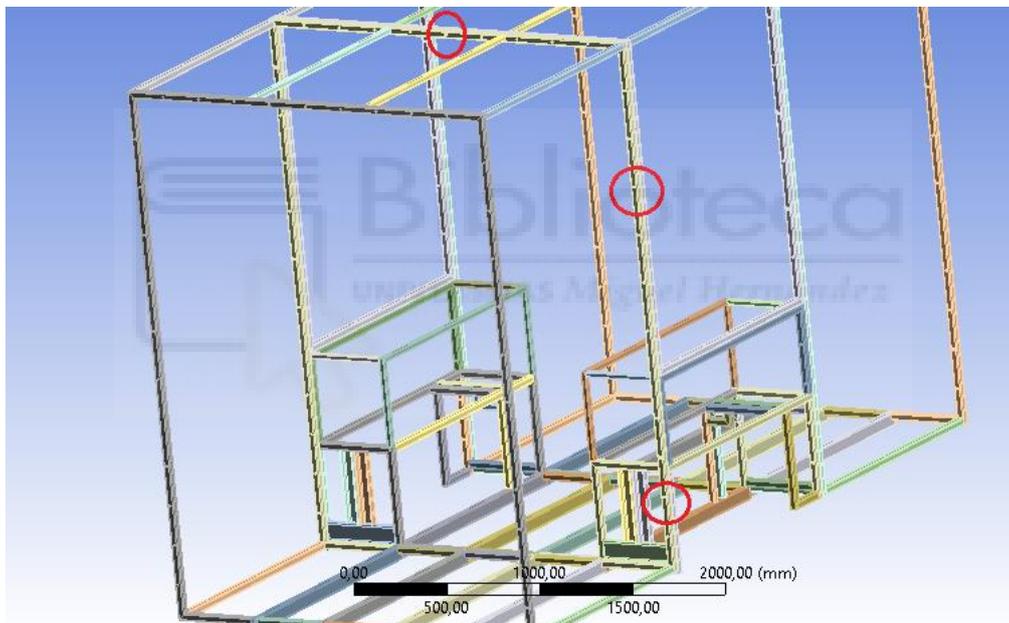


Figura 2.16: Situación de las uniones que se van a analizar mediante submodelos de la estructura con perfiles tubulares de sección cuadrada

Para empezar a generar los submodelos primero se duplicará la estructura. Una vez duplicada se abrirá el apartado de “Geometría” y se crearán unos planos para que posteriormente se pueda seccionar la parte deseada. En estos casos solo harán falta crear 2 planos de corte. Para realizar dichos cortes se empleará la herramienta “Slice” donde se dividirá la estructura en partes apoyándose en dichos planos. Los submodelos que se desean tener en estos casos estarán compuestos de las partes de dos perfiles en los que se incorporará una unión atornillada por lo que al tener la estructura dividida se harán dos partes: una primera parte con el tramo que se quiere analizar y otra con todo lo demás. Esta última se suprimirá y se continuará incorporando el tornillo y la tuerca que se

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

crearán a partir de bocetos en el mismo espacio de trabajo. En la estructura formada con tubos de sección cuadrada también se le añadirán los casquillos. Una vez terminada la geometría podemos explotar la parte en la que se encuentran los dos tramos de los perfiles para poder analizar el sistema correctamente.

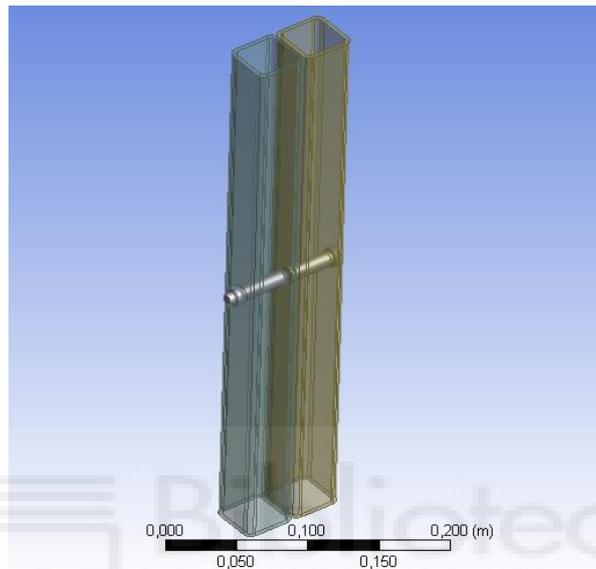


Figura 2.17: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles de sección tubular cuadradas

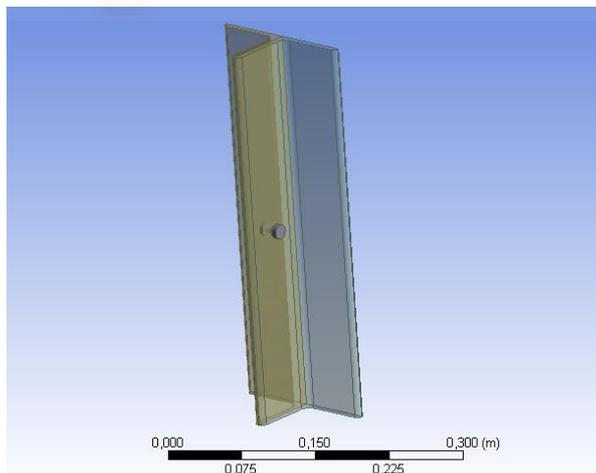


Figura 2.18: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles en L

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

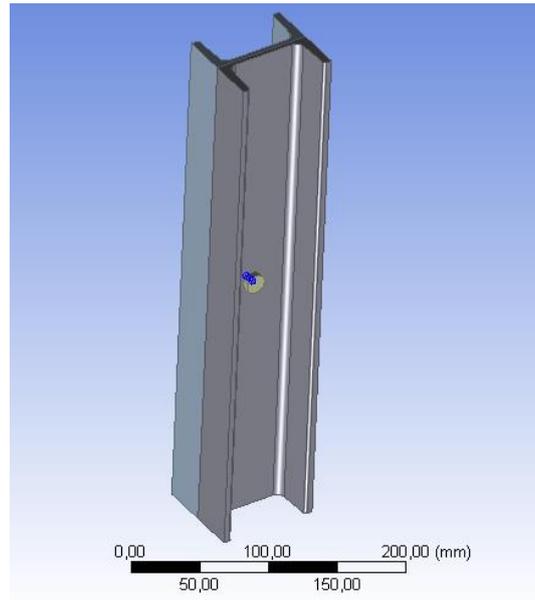


Figura 2.19: Parte del travesaño superior de la estructura con perfiles en C

Una vez terminada la geometría por completo se seguirá en el apartado de “Model”. En este apartado se comenzará indicando el tipo de material de cada sólido, en este caso, acero estructural.

A continuación, reajustaremos los contactos de las piezas introduciendo un contacto de tipo “Frictional” entre ambos perfiles ya que en esa zona habrá deslizamiento con un determinado coeficiente de fricción.

Después se procederá a formar un mallado de mayor calidad tanto para la estructura cercana a la unión atornillada como para el tornillo y su tuerca.

Posteriormente se le aplicará la pretensión del tornillo. Esta fuerza tendrá que ser el 70% del área resistente a tracción por el límite elástico. De esta manera y partiendo de una M8 se podrá determinar los datos necesarios para su cálculo y posteriormente su resultado.

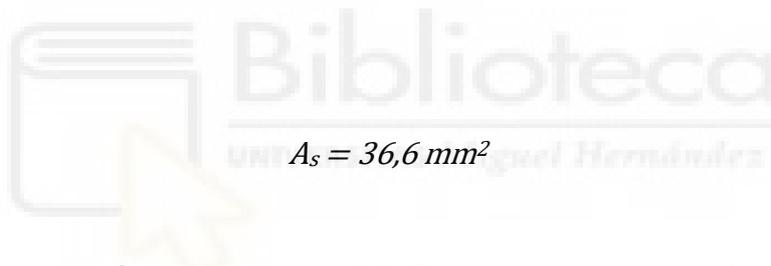
Sabiendo la métrica del tornillo, podemos extraer de la tabla su área resistente a tracción:

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Diámetro nominal d_b (mm)	Área nominal A (mm ²)	Área resistente a tracción A_s (mm ²)
8	50,3	36,6
10	78,5	58,0
12	113	84,3
14	154	115
16	201	157
18	254	192
20	314	245
22	380	303
24	452	363
27	573	459
30	707	561

Tabla 2.1: Relación entre los diámetros nominales de los tornillos con sus correspondientes áreas nominales y sus áreas resistentes a tracción

Por lo tanto:



$$A_s = 36,6 \text{ mm}^2$$

También se supondrá una calidad de 6.8. Dado que la primera cifra es 6 se podrá saber su límite ultimo:

$$S_u = 6 \times 100 = 600 \text{ N/mm}^2$$

La segunda cifra hace referencia al límite elástico siendo S_y el 80% de S_u .

$$S_y = 0,8 \times 600 = 480 \text{ N/mm}^2$$

Con estos datos ya se podrá calcular la fuerza de pretensión de los tornillos:

$$F_{pret} = 0,7 \times A_s \times S_y$$

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

$$F_{pret} = 12297,6 \text{ N}$$

Ya que este valor es una referencia para la pretensión se podrá aproximar a 12000 N.

En este paso cabe señalar que, para la correcta aplicación de todos los esfuerzos de la estructura, ya sea del modelo principal como de los submodelos, los esfuerzos deberán seguir un orden de aplicación. Este orden estará compuesto por dos tiempos o "Steps". El primer tiempo se introducirán las pretensiones generadas por los tornillos en los submodelos y el segundo tiempo se implementarán las cargas del modelo de la estructura principal. De esta manera terminaremos de trabajar en el apartado de "Model".

Por último, relacionaremos el modelo con los submodelos desde la pantalla principal de Ansys Workbench relacionando el apartado de "Solution" del modelo principal con el apartado de "Setup" de cada uno de los submodelos.

Dentro de los "Setup" de cada submodelo se marcarán las zonas por donde se ha cortado la estructura para que el programa pueda aplicar los desplazamientos de la estructura general de estos cortes. También se revisarán los "Steps" para que concuerden los esfuerzos en su correspondiente orden.

Con todo esto ya se podrá resolver los 3 modelos con sus respectivos submodelos para posteriormente observar los resultados de las tensiones en esas uniones analizadas.

2.5. REAJUSTE DE LOS MODELOS

Una vez se observa que no hay errores en el proceso y que todo funciona correctamente se procederá al reajuste de ciertos pasos hechos anteriormente para que se aproxime lo máximo posible a un caso real.

Uno de los cambios que se realizarán es el tipo de punto de apoyo donde se aguantará la estructura. Estos soportes actualmente rígidos pasaran a ser unos puntos de apoyo con una capacidad de movimiento limitado. De esta manera se podrá ajustar al movimiento de las suspensiones del propio camión.

Por otra parte, haciendo hincapié en poder llegar a obtener resultados lo más próximo a la realidad, se generará un mado de la estructura completa más fino. En los submodelos, incluso se cambiarán los elementos en forma de tetraedros por elementos en forma de hexaedros para poder ajustarse mejor a la geometría preestablecida con distintas formas de mallado localizadas en distintas superficies y partes del conjunto como, por ejemplo, en los tornillos o en las superficies de los orificios adyacentes a los tornillos.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

De esta manera se concluye la parte del modelado de las uniones para que, posteriormente, se puedan extraer los resultados que servirán para determinar el tipo de unión que mejor se ajusta a la demanda de esfuerzos propuesta.

2.6. CASO DE CARGA DESFAVORABLE

Después de todo el proceso de diseño y modelado de las tres estructuras a analizar, se podrán analizar casos desfavorables introduciendo aceleraciones o deceleraciones según se desee.

En este caso se ha optado por un caso particular de frenada junto con giro. Las aceleraciones aplicadas son 1g para la deceleración de frenada y 0,5g para la aceleración lateral de giro, más la carga de la gravedad. De esta manera se podrá observar el comportamiento de las uniones en este caso cuando el camión vaya totalmente cargado.

2.7. DETALLES DE LAS UNIONES

Para definir mejor estas uniones, en este apartado se va a detallar todo lo necesario para poder poner en práctica estas uniones.

Para ello se comenzará definiendo el tipo de tornillo, el cual, resultará ser un tornillo de cabeza hexagonal que estará amparado por la normativa ISO 7014 con una calidad de 6.8. El paso de este será de 1mm y, al ser de una sola cuerda, el avance coincidirá con el paso. El paso será de esas dimensiones ya que la cuerda es lo suficientemente fina como para aguantar las posibles vibraciones que pueda tener (se tendrá que hacer un posterior estudio si realmente es necesario o no), y lo suficientemente gruesa como para que, en el montaje y desmontaje entre los módulos, la unión no se vea dañada.

Como candidata para el tipo de tuerca se podría optar por la normativa ISO 8673 que coincide con el paso de 1mm además de la métrica.

Una vez seleccionado el tipo de tornillo se puede calcular el par de apriete para determinar por completo el montaje. Esto se calculará a través de la ecuación siguiente:

$$T_i = K_i * F_i * d$$

T_i → par de apriete

K_i → coeficiente de torque

F_i → pretensado

d → diámetro nominal del tornillo

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

El valor del pretensado del tornillo se ha calculado en apartados anteriores adquiriendo un valor de 12000 N. También se ha determinado el diámetro anteriormente, siendo un tornillo M8 por lo que corresponde a un diámetro de 8mm.

Para calcular el coeficiente de torque se hará a través de esta otra fórmula:

$$k_i = 0,5 * \frac{\mu + \tan \lambda * \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu * \tan \lambda} + 0,625 * \mu_c$$

μ → coeficiente de fricción entre la cuerda del tornillo y la tuerca

λ → ángulo de avance

α → ángulo radial de la cuerda

μ_c → coeficiente de fricción entre la cabeza del tornillo y la superficie de la estructura

Los dos coeficientes de fricción se supondrán iguales adquiriendo un valor de 0,15. En el caso del ángulo radial de la cuerda, al ser el tornillo fabricado según la norma ISO, será de 60°.

Para acabar de dar valores a los datos necesarios, el ángulo de avance se calculará con la siguiente fórmula:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi * d}$$

L → avance de la cuerda

Dado que los tornillos solo presentan una cuerda, el avance de la cuerda es igual al paso, siendo este de 1mm.

Obtenidos todos los parámetros necesarios ya se puede calcular todas las incógnitas:

$$\tan \lambda = \frac{1 (mm)}{\pi * 8 (mm)}$$

$$\lambda = 7,125^\circ$$

$$k_i = 0,5 * \frac{0,15 + \tan 7,125^\circ * \cos 60^\circ}{\cos 60^\circ - 0,15 * \tan 7,125^\circ} + 0,625 * 0,15$$

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

$$K_i = 0,103$$

Finalmente, ya se pueden sustituir las incógnitas para sacar el par de apriete que se tendrán que aplicar a los tornillos:

$$T_i = 0,103 * 12000 (N) * 0,008 (m)$$

$$T_i = 9,89 Nm$$

3. RESULTADOS

Finalizando el proyecto, en este apartado se presentan las soluciones obtenidas de los distintos casos de las tensiones obtenidas en las partes de la estructura cercanas a la unión atornillada que se han analizado en los submodelos anteriormente junto con las tensiones obtenidas en dichos tornillos con el fin de poder extraer las conclusiones finales posteriormente y determinar cuál es la mejor opción, si es que la hay, o mencionar futuros estudios para seguir optimizando la unión entre módulos que se presentan en este proyecto.

3.1. TENSIONES EN LOS MODELOS EN SITUACIÓN ESTÁTICA

Habiendo generado los submodelos partiendo de los modelos estructurales globales que se desean comparar con los distintos perfiles propuestos en apartados anteriores, ya se pueden extraer las soluciones de las tensiones que nos ofrece el software para poder analizarlas en profundidad.

Para hacer una referencia de las estructuras más sencilla se proponen los nombres de estructura 1 para la estructura con perfiles en C; estructura 2 para la estructura con perfiles en L y estructura 3 para la estructura con perfiles tubulares de sección cuadrada.

En esta ocasión, las soluciones obtenidas derivan del camión en carga máxima.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

3.1.1. TENSIONES EN LOS PERFILES ESTRUCTURALES

Como se puede observar en el submodelo representado en la anterior figura, la tensión máxima se sitúa justo en el corte del submodelo. Estas tensiones generadas en los cortes del submodelo no son reales ya que, en estas zonas, el submodelo capta las deformaciones del modelo. El problema reside en la forma que tiene el software de restringir esas zonas suponiéndolas como empotramientos en las regiones de frontera. Es por esto por lo que se tiene que descartar el análisis de dichas regiones.



Figura 3.1: Representación gráfica de las tensiones del submodelo de la parte superior del pilar de la estructura 1

Para ello se seleccionará la parte central de la pieza analizándola a parte y extrayendo las tensiones máximas.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

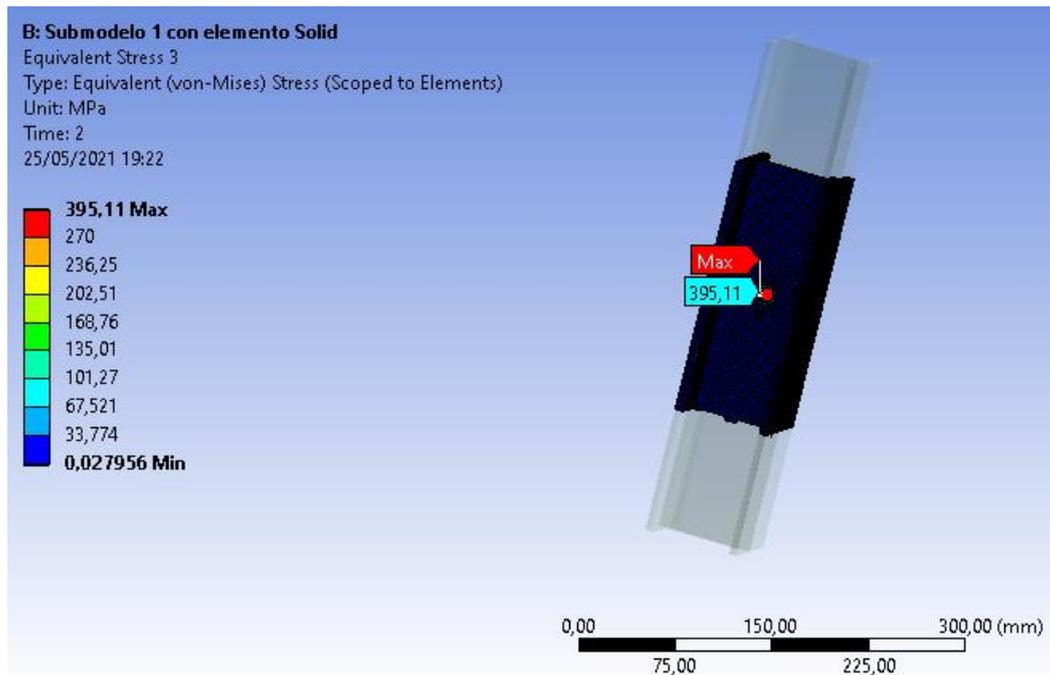


Figura 3.2: Descarte de las tensiones en los cortes del submodelo de la parte superior del pilar de la estructura 1

A continuación, se exponen los resultados de las máximas tensiones obtenidas en las zonas cercanas a la unión atornillada de cada submodelo que se ha analizado previamente.

	ESTRUCTURA 1 (C)	ESTRUCTURA 2 (L)	ESTRUCTURA 3 (□)
PILAR PARTE INFERIOR	479,42	433,93	235,69
PILAR PARTE SUPERIOR	395,11	367,85	232,13
TRAVESAÑO	365,98	359,38	251,54

Tabla 3.1: Tensiones máximas obtenidas en los perfiles estructurales de los submodelos, en concreto, la parte de alrededor de la unión, provenientes de las estructuras en situación estática. Unidades en MPa

A simple vista se puede observar unos valores de tensión bastante elevados en esas regiones llegando a sobrepasar su límite elástico si este fuese de 270 N/mm² debido a la pretensión de los tornillos y los esfuerzos de carga aplicados en las estructuras 1 y 2. En la estructura 3 esas tensiones máximas se producen en los interiores de los tubos a causa de las presiones que ejercen los casquillos contra las paredes. Pero estos datos hay que analizarlos con un mayor detenimiento. Para ello, se exponen en las siguientes figuras las representaciones de las soluciones obtenidas en el software para analizarlas con más detenimiento:

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

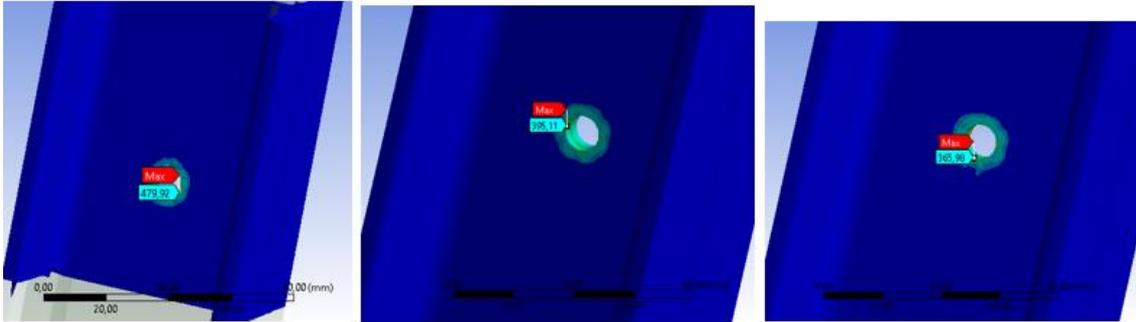


Figura 3.3: Estructura 1 – Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente

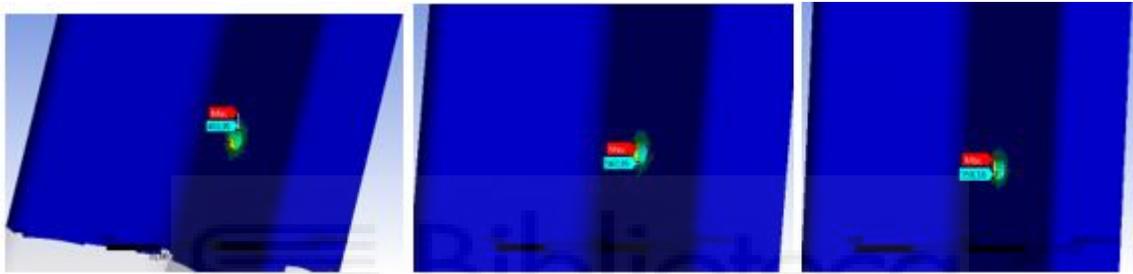


Figura 3.4: Estructura 2 - Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente

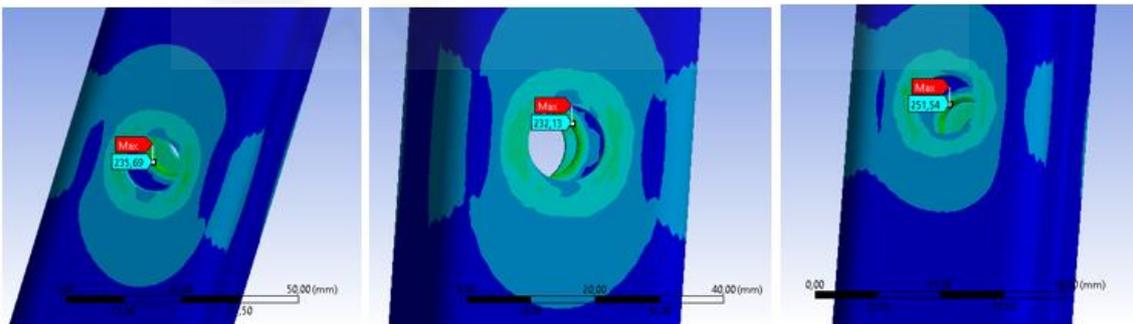


Figura 3.5: Estructura 3 - Submodelos pilar parte inferior, pilar parte superior y travesaño respectivamente

Observando los ejemplos de los submodelos podemos ver que esas zonas están situadas en regiones muy localizadas en los casos de las estructuras 1 y 2, justo en los bordes del agujero utilizado para la incorporación del tornillo. Esta concentración de tensiones tan puntual y en estas regiones se producen dado que la cabeza del tornillo tiene un área de contacto lo suficientemente reducida para que los esfuerzos de pretensión generados se repartan en una superficie relativamente pequeña ocasionando una presión contra la pieza bastante elevada en esas zonas. En la estructura 3 se puede visualizar unas tensiones en la estructura menores, por debajo del límite elástico.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Por lo tanto, para evitarlas, se debe implementar el uso de arandelas de acero endurecido. Esto ampliará el área de contacto y, como consecuencia, se reducirán esas tensiones indeseadas en la estructura.

3.1.2. TENSIONES EN LOS TORNILLOS

En la siguiente tabla se muestran las tensiones en los tornillos que se han obtenido de los submodelos de las estructuras en situación estática.

	ESTRUCTURA 1 (C)	ESTRUCTURA 2 (L)	ESTRUCTURA 3 (□)
PILAR PARTE INFERIOR	366,67	376,47	352,31
PILAR PARTE SUPERIOR	362,47	326,85	343,26
TRAVESAÑO	365,98	327,08	351,42

Tabla 3.2: Tensiones máximas obtenidas en los tornillos de los submodelos provenientes de las estructuras en situación estática. Unidades en MPa

Se puede observar que todas las tensiones son inferiores al límite elástico de los tornillos de 480 N/mm². En esta ocasión, con el tamaño de tornillo y su distribución propuestos, se puede observar que la parte inferior del pilar, los tornillos tienen unas tensiones más elevadas que la parte del travesaño, y esta, a su vez, es más elevada que la parte superior del pilar:

Tensiones parte inferior del pilar > Tensiones travesaño > Tensiones parte superior del pilar

A continuación, se muestra en la figura el comportamiento que muestran las tensiones de los tornillos:

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

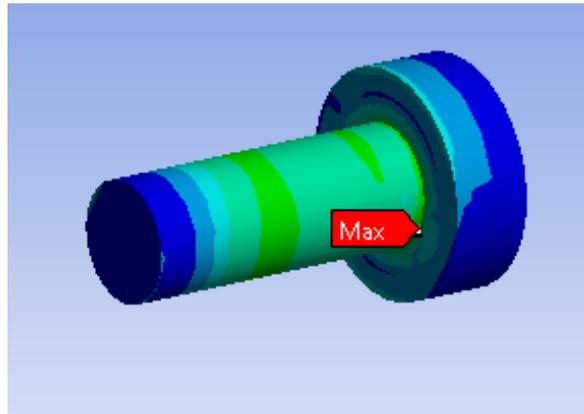


Figura 3.6: Distribución de tensiones en el tornillo que forma parte del submodelo de la parte del travesaño de la estructura 2

En la estructura 3 también hay que hacer referencia a los casquillos ya que forman parte de la unión siendo fundamentales para evitar el colapso de la estructura. En la siguiente tabla se exponen los valores de las tensiones máximas de estos. Al haber dos casquillos en la misma unión se definirán como casquillo 1 y casquillo 2:

	CASQUILLO 1	CASQUILLO 2
PILAR PARTE INFERIOR	392,78	395,31
PILAR PARTE SUPERIOR	384,57	395,51
TRAVESAÑO	432,08	434,91

Tabla 3.3: Valores de las tensiones máximas de los casquillos de la unión. Unidades en MPa

Se observa que las tensiones son bastante altas por lo que, ante un acero con límite elástico de 270MPa se aplastará. Habría que aumentar el espesor de estos para poder trabajar por debajo de este límite.

3.2. TENSIONES EN LOS MODELOS EN SITUACIÓN DESFAVORABLE

Con este método también se podrán cambiar las condiciones que sufrirá el camión como pueden ser la carga o las aceleraciones que sufrirá, para poder saber si aguanta en las condiciones que se planteen. En esta ocasión los modelos se van a ver sometidos a una combinación de aceleraciones. Se supondrá un estado de máxima carga junto con una frenada de 1g y un giro de 0,5g.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

3.2.1. TENSIONES EN LOS PERFILES ESTRUCTURALES

A continuación, se muestran las tensiones máximas de la estructura alrededor de la unión de los submodelos analizados en situación desfavorable:

	ESTRUCTURA 1 (C)	ESTRUCTURA 2 (L)	ESTRUCTURA 3 (□)
PILAR PARTE INFERIOR	471,91	440,54	261,99
PILAR PARTE SUPERIOR	401,00	368,60	236,46
TRAVESAÑO	368,4	357,52	310,29

Tabla 3.4: Tensiones máximas obtenidas en los perfiles estructurales de los submodelos, en concreto, la parte de alrededor de la unión, provenientes de las estructuras en situación desfavorable. Unidades en MPa

De estos resultados se puede extraer que, en la estructura 1, se produce las mayores tensiones en las tres regiones estudiadas con submodelos. En esta estructura las tensiones han aumentado en la parte superior del pilar un 1,49% respecto del análisis con solo la carga vertical. En la estructura 2 el incremento máximo de entre los tres modelos es la parte inferior del pilar, aumentando un 1,52% de su valor tensional inicial. Por último, en la estructura 3, el máximo incremento se muestra en el travesaño alcanzando un incremento del 23,36%.

3.2.2. TENSIONES EN LOS TORNILLOS

Finalizando el solucionario de tensiones máximas en las distintas partes de la estructura analizadas podemos observar los valores de estas en la siguiente tabla.

	ESTRUCTURA 1 (C)	ESTRUCTURA 2 (L)	ESTRUCTURA 3 (□)
PILAR PARTE INFERIOR	364,76	370,21	368,58
PILAR PARTE SUPERIOR	363,91	328,05	337,38
TRAVESAÑO	365,82	328,81	394,4

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Tabla 3.5: Tensiones máximas obtenidas en los tornillos de los submodelos provenientes de las estructuras en situación desfavorable. Unidades en MPa

Comparando los resultados obtenidos del caso en el que la estructura se encuentra en un estado estático junto con la situación en la que ésta se encuentra en una situación de frenada con una fuerza de 1g y un giro con fuerza de 0,5g se puede observar que la diferencia entre tensiones no representa unas diferencias de tensiones del 10,90%.

3.3. DEFORMACIONES MÁXIMAS

Tras haber mostrado las soluciones de las tensiones máximas en los diferentes submodelos de las diferentes estructuras planteadas, hay que mencionar las deformaciones presentadas, ya que estas, van a influir también en la elección de cuál de las opciones planteadas es la que más se ajusta a las exigencias preestablecidas.

3.3.1. DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA EN SITUACIÓN ESTÁTICA

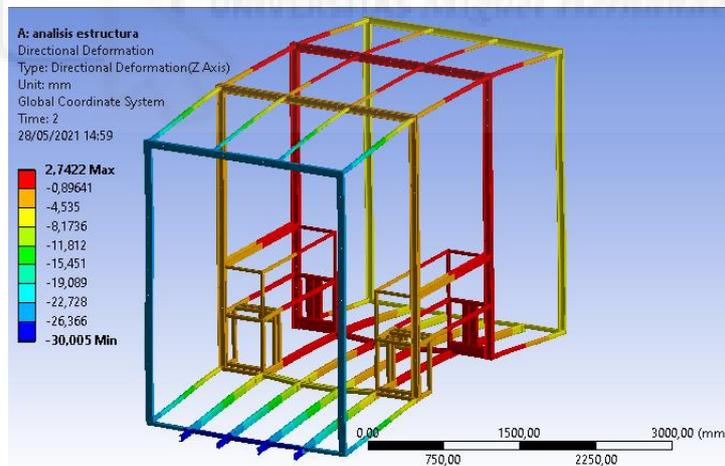


Figura 3.7: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 1

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

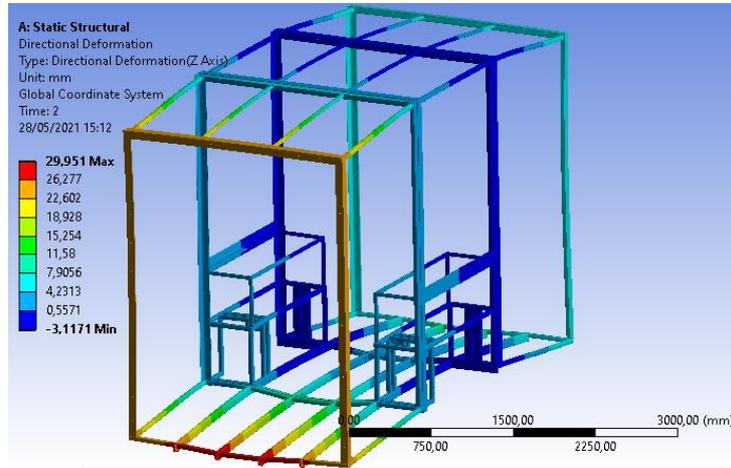


Figura 3.8: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 2

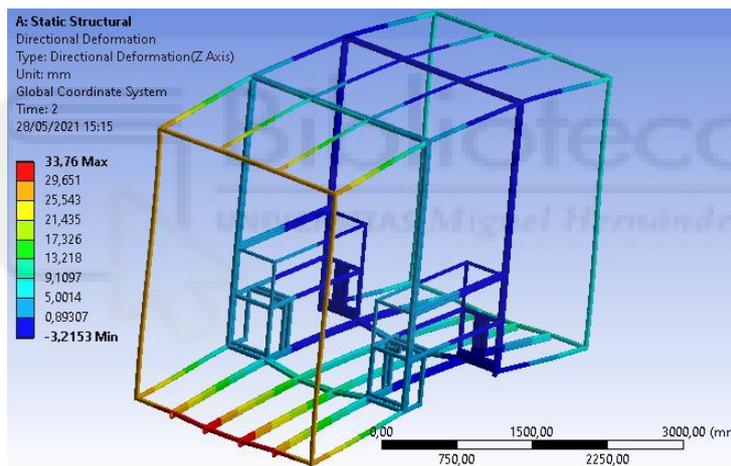


Figura 3.9: Distribución de deformaciones resultantes en el eje Z de la estructura 3

Podemos observar en las figuras anteriores la distribución de las deformaciones en el eje vertical donde se puede observar que las zonas más afectadas de la estructura son las partes inferiores de los módulos 2 y 4, es decir, los dos módulos de carga y, en concreto, en la parte inferior de la estructura

Con la tabla representada a continuación, se ven representados los valores máximos en valores absolutos:

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

	DEFORMACIONES
ESTRUCTURA 1 (C)	30,01
ESTRUCTURA 2 (L)	29,95
ESTRUCTURA 3 (□)	33,76

Tabla 3.6: Deformaciones máximas en el eje Z de cada estructura en estado estático en valores absolutos. Unidades en mm

Se puede observar que la estructura 3 es la estructura que presenta una mayor deformación mientras que la estructura 2 es la estructura que menos deformación presenta.

3.3.2. DEFORMACIONES MÁXIMAS DE LAS ESTRUCTURAS EN SITUACIÓN DESFAVORABLE

Las deformaciones máximas en valor absoluto obtenidas en el eje vertical de las estructuras en situación desfavorable se representan a continuación, en la siguiente tabla:

	DEFORMACIONES
ESTRUCTURA 1 (C)	72,60
ESTRUCTURA 2 (L)	34,05
ESTRUCTURA 3 (□)	91,03

Tabla 3.7: Deformaciones máximas en el eje Z de cada estructura en estado desfavorable en valores absolutos. Unidades en mm

De esta manera se puede observar un incremento del 141,92% de deformación en la estructura 1; un 13,69% en la estructura 2 y, finalmente, un incremento del 169,64% en la estructura 3.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

4. CONCLUSIONES

Este proyecto se ha centrado en el desarrollo de un método para seleccionar qué unión es la más adecuada para poder desarrollarse en la estructura de un camión eléctrico de carácter modular con chasis autoportante.

Este método se compone, en principio, de tres partes fundamentales que determinan las características de este. Comenzando por una etapa de diseño en la que se seleccionan unos perfiles para poder ser comparados posteriormente y, seguidamente, se modelan en 3D. A continuación, se ejecuta la etapa en la que se introducen esos modelos en un programa donde se podrán calcular los datos necesarios para determinar a posteriori qué unión es la más adecuada. Aquí se determinarán parámetros para que los modelos puedan comportarse lo más parecido a lo que lo harían en la realidad. Por último, viendo que estos modelos son demasiado grandes y complejos para que el programa pueda computar todos los datos aportados de una manera fiable, se escogen de entre toda la estructura, unas porciones a modo de probetas para poderlas analizar en profundidad generando unos resultados lo más cercanos a la realidad.

Para entrar en valoraciones, primero, cabe destacar que la elección de los perfiles estructurales ha sido al azar, teniendo en cuenta, únicamente, el tamaño del perfil para que sean más o menos un tamaño equiparable. Pero a esto cabe añadir que sigue siendo una comparación en la que, para poder decidir definitivamente un candidato de entre todas las propuestas que sea realmente la mejor opción, se va a tener en cuenta también el peso de las estructuras y, de esa forma, poder mostrar una ratio, el cual, se destaquen unos valores que se calcularán a partir de las tensiones y el peso, y otros valores que se calcularan a partir de las deformaciones y el peso de la estructura.

Para calcular estas ratios, primero, se van a exponer en la siguiente tabla los pesos de las tres estructuras propuestas:

	MASA
ESTRUCTURA 1 (C)	610,40
ESTRUCTURA 2 (L)	667,98
ESTRUCTURA 3 (□)	477,31

Tabla 4.1: Valores de las masas de las tres estructuras. Unidades en kg

Aprovechando estos datos se puede observar que la estructura 3 es la más ligera mientras que la estructura 2 es la más pesada.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

De esta manera podemos extraer la ratio que relacionará en primer lugar las tensiones máximas de cada submodelo con el peso de la estructura en situación estática.

Estas ratios se calcularán, primeramente, en el caso de las deformaciones, pasando la deformación a metros y realizando su inversa. De esta manera obtendremos el coeficiente de rigidez. Para calcular la rigidez específica se dividirá este valor entre la masa en toneladas. Con las tensiones se realizaría de la misma manera, obteniendo una ratio que es proporcional al coeficiente de seguridad y al dividir por la masa un valor que indica la “resistencia específica” y que permite comparar las tres estructuras entre sí. Poniendo como ejemplo para realizar el cálculo de las ratios de la inversa de la tensión la parte inferior del pilar de la estructura 1 se calcularía de la siguiente forma:

$$Tensión = 479,42 \text{ (MPa)} = 479,42 * 10^3 \text{ (KPa)}$$

$$Ratio = \frac{1}{479,42 * 10^3 \text{ (KPa)}} = 2,086 \text{ (KPa}^{-1}\text{)}$$

$$Ratio \text{ específico} = \frac{2,086 \text{ (KPa}^{-1}\text{)}}{\frac{610,4 \text{ (kg)}}{1000}} = 3,417 \text{ (KPa}^{-1}\text{g}^{-1}\text{)}$$

En la siguiente tabla se pueden extraer los resultados:

	ESTRUCTURA 1 (C)	ESTRUCTURA 2 (L)	ESTRUCTURA 3 (□)
PILAR PARTE INFERIOR	3,417	3,450	8,889
PILAR PARTE SUPERIOR	4,146	4,070	9,025
TRAVESAÑO	4,476	4,166	8,329

Tabla 4.2: Valores de las ratios derivados de las tensiones máximas de los submodelos y el peso de sus correspondientes estructuras. Unidades en $\text{KPa}^{-1}\text{g}^{-1}$

Lo que se busca en este caso es una unión que presente las menores tensiones (mayor coeficiente de seguridad), las menores deformaciones (mayor rigidez) y el menor peso de entre las opciones que se estén analizando, además de un montaje lo más sencillo posible.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Observando la tabla se refleja en la estructura 3 tiene unas tensiones inferiores (véase la Tabla 3.4) y además un peso inferior (véase la Tabla 4.1) por tanto tiene la mejor relación resistencia/peso como se muestra en la Tabla 4.2. No hay mucha diferencia entre las estructuras 1 y 2 si se considera únicamente este parámetro.

Lo mismo se hará con las deformaciones de las estructuras relacionándolas con el peso. Poniendo como ejemplo el caso e la estructura 1 se calculará la rigidez específica de la siguiente manera:

$$\text{Deformación} = 30,01 \text{ (mm)} = 30,01 * 10^{-3} \text{ (m)}$$

$$\text{Rigidez} = \frac{1}{30,01 * 10^{-3} \text{ (m)}} = 33,322 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Rigidez Específica} = \frac{33,322 \text{ (m}^{-1}\text{)}}{\frac{610,4 \text{ (kg)}}{1000}} = 54,591 \text{ (m}^{-1}\text{g}^{-1}\text{)}$$

A continuación, se presentan las rigideces específicas de cada estructura:

	RIJIDEZ ESPECÍFICA
ESTRUCTURA 1 (C)	54,591
ESTRUCTURA 2 (L)	49,985
ESTRUCTURA 3 (□)	62,058

Tabla 4.3: Valores de las ratios derivados de las deformaciones máximas de las estructuras y el peso de sus correspondientes estructuras. Unidades en $m^{-1}g^{-1}$

En la anterior tabla se observan los resultados de estas ratios observando una menor rigidez por kg de la estructura 2, seguida de la estructura 1 y finalizando con la estructura 3 que presenta la mayor rigidez por kg de material de la estructura.

Una vez relacionadas las tensiones de los diferentes submodelos de cada estructura con los correspondientes pesos de éstas, junto con la relación de las deformaciones con el peso, hay que hacer mención del montaje de estas uniones ya que su dificultad podría influir en la toma de decisión final para elegir la mejor unión. En las estructuras 1 y 2 el montaje es similar mientras que en la estructura

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

3 se complica de una manera bastante a tener en cuenta. Esto se debe a la implementación de otros elementos en la unión como son los casquillos. Con estos elementos presentes y la disposición de deben llevar, a la hora de montarlo todo podría resultar tedioso realizar la tarea de montaje dificultando su producción.

Finalmente podemos observar que dependiendo de los valores que se estén analizando en estos casos, las estructuras presentadas datos muy dispares para poder seleccionar una de ellas como la candidata a ser seleccionada como unión entre los módulos del camión. Esto se debe a que, la estructura 3 es la estructura más ligera, y también es la que menores tensiones presenta. Sin embargo, ésta es la estructura con un montaje entre módulos más complicado.

Por otra parte, mencionando la unión atornillada, cabe destacar que, viendo las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se puede observar una concentración de tensiones alrededor del agujero donde se va a introducir el tornillo. Estas tensiones pueden ser aliviadas de manera considerable aportando a la unión arandelas de acero endurecido. Al aplicar este elemento, lo que se consigue es aumentar el área de contacto del tornillo haciendo que disminuya la tensión en su alrededor.

También se puede observar en el estudio del contacto entre uniones de todos los casos analizados es bueno, estando la superficie de alrededor del tornillo pegada, mientras que el resto de la superficie está en mayor o menor medida deslizando sin dejar de tener contacto entre los perfiles (véase la figura 4.1 a modo de ejemplo). Siguiendo con el análisis, se puede observar en las tablas 3.2 y 3.5 que los tornillos presentan unas tensiones por debajo de su límite elástico tanto en las estructuras en situación estática como en situación desfavorable. Con todo esto se puede determinar que la distribución de los tornillos y la métrica empleada soportarán con éxito los esfuerzos generados en la estructura.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

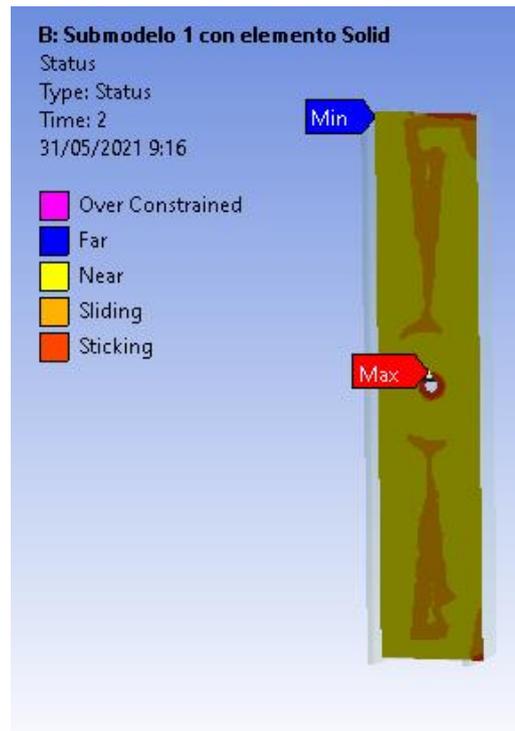


Figura 4.1: Contacto entre perfiles del submodelo de la parte del pilar superior de la estructura 1

Esto deja entrever que la opción más conveniente, si descartamos la estructura 3 por dificultad de realización, es la estructura 1, es decir, la estructura con perfiles en C sería la solución óptima de entre todas las propuestas estudiadas ya que presenta las deformaciones mínimas y es la estructura con la concentración de tensiones más bajas, todo esto, por cada kg de estructura, además de un montaje relativamente sencillo.

Para proseguir con los estudios de estas uniones se podrían realizar estudios a fatiga, a vibraciones y comprobar si, con una métrica más pequeña y una distribución de los tornillos en la que se empleen un menor número, podría ser posible, viendo que las tensiones generadas se encuentran por debajo del límite elástico y que el contacto entre perfiles que componen la unión entran en contacto pegado alrededor del tornillo y con contacto con fricción o deslizamiento en el resto de la superficie.

También habría que analizar diferentes tamaños de cada perfil para poder observar el comportamiento de las ratios que comparan las tensiones y las deformaciones frente al peso de la estructura para predecir su comportamiento. Así se podrá llegar a una configuración óptima de perfil a utilizar, espaciado entre las uniones y métrica.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

5. FUENTES

Javier Vázquez Pagán. Diseño de una estructura modular para un camión eléctrico. Trabajo de Fin de Grado. Escuela Politécnica Superior de Elche. Universidad Miguel Hernández de Elche. 2018

Abel Martínez Morcillo. DESARROLLO DE VARIANTES DE UN DISEÑO MODULAR DE CAMIÓN LIGERO ELÉCTRICO. Trabajo de Fin de Grado. Escuela Politécnica Superior de Elche. Universidad Miguel Hernández de Elche. 2021.

Ximo Vidal Martín. DISEÑO DE MÓDULO DE TRACCIÓN PARA CAMIÓN ELÉCTRICO. Trabajo de Fin de Grado. Escuela Politécnica Superior de Elche. Universidad Miguel Hernández de Elche. 2020

Rafael Llargo Flores. Análisis de Uniones Semirrígidas mediante el Método de los Elementos Finitos. Trabajo de Fin de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. 2017.

Compromiso de Europa por el Medio Ambiente. URL: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment_es (Último acceso 8 de junio de 2021)

Las recomendaciones de la Comisión Europea no contemplan medidas de justicia ni cohesión social. URL: <https://www.ugt.es/las-recomendaciones-de-la-comision-europea-no-contemplan-medidas-de-justicia-ni-cohesion-social> (Último acceso 8 de junio de 2021)

IBERDROLA Y SEAT FIRMAN UN ACUERDO DE COLABORACIÓN EN MATERIA DE MOVILIDAD ELÉCTRICA. URL: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-y-seat-firman-un-acuerdo-de-colaboracion-en-materia-de-movilidad-electrica-8190222920130425> (Último acceso 8 de junio de 2021)

Arquitectura en acero. Uniones y conexiones. URL: <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/uniones-y-conexiones> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Tecnyconta. Uniones con jácena con conexión semirrígida. URL: <https://www.tecnyconta.es/pilares-prefabricados/uniones-jacenas-conexion-semirrígida> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Estructuralia. Tipos de uniones estructurales mecánicas en ingeniería. URL: <https://blog.structuralia.com/uniones> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Real Decreto-ley 25/2020, de 3 de julio, de medidas urgentes para apoyar la reactivación económica y el empleo. «BOE» núm. 185, de 06/07/2020.

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Eduardo Magallón. Maroto anuncia un acuerdo con Seat e Iberdrola para una fábrica de baterías "cerca" de Martorell . La vanguardia. 4 de marzo de 2021. URL: <https://www.lavanguardia.com/economia/20210304/6263663/maroto-anuncia-acuerdo-seat-e-iberdrola-fabrica-baterias-cerca-martorell.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Comisión Europea. Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática y se modifica el Reglamento (UE) 2018/1999 («Ley del Clima Europea»). Bruselas, 4.3.2020 COM(2020) 80 final. 2020/0036 (COD). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020PC0080&from=ES%20LEY%20EUROPEA> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Comisión Europea. Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020. URL: COMPROMISO DE EUROPA CON EL MEDIO AMBIENTE: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en (Último acceso 11 de junio de 2021)

Apuntes de la asignatura Tecnología de Materiales. Código 1790. Universidad Miguel Hernández.

Rentiong Finders. Así se restringe el tráfico en distintas ciudades europeas para cuidar la calidad del aire. URL: <https://rentionfinders.com/blog/movilidad-sostenible/restricciones-traffic-ciudades-europeas/> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Ministère de la transition écologique. Servicio de entregad e certificados calidad de aire. URL: <https://www.certificat-air.gouv.fr/es/> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Ayuntamiento de Madrid. MADRID 360, la estrategia para cumplir con los objetivos de calidad del aire de la Unión Europea. URL: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/MADRID-360-la-estrategia-para-cumplir-con-los-objetivos-de-calidad-del-aire-de-la-Union-Europea/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=3d6c1609d818d610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=a12149fa40ec9410VgnVCM100000171f5a0aRCRD#> (Último acceso 11 de junio de 2021)

MADRID 360: https://www.seguridad-vial.net/blog/288-acceso-madrid-central?gclid=CjwKCAjwtdcFBhBAEiwAKOly514o3znySj9iHITbq8lpW_hX-hazmODSGsSWaUqi2c14askOUUFv-xoCdwYQAvD_BwE

SIMULACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE UNIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN CAMIÓN ELÉCTRICO MODULAR

Nicolas Merino. Madrid Central en 2020: ¿qué ha cambiado?. Autofacil. 3 de enero de 2020. URL: <https://www.autofacil.es/movilidad/restricciones-de-traffic/madrid-central-cambiado/175550.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Nicolas Merino. ZBE de Barcelona en 2021: estos son los vehículos que no pueden circular desde el 1 de abril. Autofacil. 6 de abril de 2021. URL: <https://www.autofacil.es/movilidad/restricciones-de-traffic/zbe-barcelona-son-vehiculos-circular/190580.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Vahle. El transporte de mercancías parte del kilómetro cero. URL: <https://www.manutencionyalmacenaje.com/articulos/312935-El-transporte-de-mercancias-reorienta-su-estrategia.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)

SEUR. Vehículos ecológicos, pieza clave en la última milla. 5 de marzo de 2020. URL: <https://blog.seur.com/vehiculos-ecologicos-ultima-milla/> (Último acceso 11 de junio de 2021)

SEUR. Boxlane: cuando la última milla es eléctrica. 15 de diciembre de 2020. URL: <https://blog.seur.com/vehiculos-ecologicos-ultima-milla/> (Último acceso 11 de junio de 2021)

Gonzalo García. El camión eléctrico de reparto de Volta se pondrá a prueba en condiciones reales. Híbridos y eléctricos. 5 de julio de 2020. URL: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/camion-electrico-reparto-volta-prueba-condiciones-reales/20200703191259036396.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)

DAF. Vehículos eléctricos de batería. Soluciones de transporte con cero emisiones. URL: <https://www.daf.es/es-es/descubra-los-camiones-daf/alternativas-de-combustibles-y-cadenas-cinematicas/vehiculos-electricos-de-bateria> (Último acceso 11 de junio de 2021)

BUGATTI: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/bugatti-tesla-hyper-truck-camion-electrico/20200318131809033926.html>

Gonzalo García. Bugatti le planta cara a Tesla con el Hyper Truck, un camión eléctrico espectacular. 16 de marzo de 2020. URL: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/bugatti-tesla-hyper-truck-camion-electrico/20200318131809033926.html> (Último acceso 11 de junio de 2021)