

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE  
DE UNA CARAVANA***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## LABURPENA

Europar Batasunak ezarritako Garapen Jasangarriko Helburuei erantzunez, proiektu honetan zehar karabanen industriari beste ikuspegi bat eman nahi zaio zura inguratzaile guztiari esleituz.

Behin zuraren onurak zein mugak zeintzuk diren argi edukita, diseinuaren planteamenduari hasiera ematen zaio hainbat katalogotatik formak eta neurriak hartuz, eta materialak zehaztuz.

Materialak zurezko ohol kontratxapatuak, XPS eta "Pino Radiata"-z egindako profilak izango dira.

Diseinuaren egonkortasuna bermatzeko, egitura portiko biempotratua izango balitz suposatzen da eta honen gainean haizeak eta elurrak eragin ahal dituen indarrak jartzen dira.

Materialaren aldaketak suposatzen duena aztertzeke, pisuren eta aislamendu termikoaren gainean konparaketak egiten dira.

Azkenik diseinu berriaren eta orainarteko metodoaren arteko igorpenen balantzea egiten da.

Proiektu honi CADWORK 3D softwarean ematen zaio itxura.

## RESUMEN

Con la mirada puesta en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible, se pretende dar un nuevo enfoque a la industria de las caravanas utilizando la madera como material principal en la construcción de su envolvente.

Definidos los beneficios y condicionantes que supone diseñar una envolvente de tales características se procede a su replanteo, donde se definen la forma y dimensiones de la estructura basándose en la normativa y en modelos del mercado, así como los materiales a utilizar.

Se decide construir con madera contrachapada, aislante XPS y perfiles de madera Pino Radiata.

Para asegurar que los materiales escogidos puedan soportar las solicitaciones de esfuerzos que va a sufrir la envolvente durante su vida útil, se simplifica la estructura a un pórtico biempotrado y se aplica la carga horizontal que ejerce la fuerza del viento y la carga vertical por sobrecarga de nieve.

En un análisis comparativo, se estudian las propiedades aislantes y el peso del diseño que se plantea, con los otros métodos de construcción habituales en la industria.

Por último, se lleva a cabo un balance entre las emisiones que conlleva el modelo en madera y el modelo habitual a causa de las diferencias de peso y fabricación de los materiales.

El proyecto representa en un modelo 3D hecho con el Software CADWORK.

## ABSTRACT

Considering the main objective for a sustainable development, this project tries to give a new perspective about the industry of the camping trailer, using wood as the principal material for the construction of its covering.

Once the benefits and conditions of designing a covering with those characteristics were designated, the next step was to replan it. Defining the shape and dimensions of the structure according to the regulations and the available models on the market, as well as the materials to use.

It was decided to use plywood, XPS insulation and Radiata Pine wood profiles.

In order to ensure that the selected materials would be able to support the required efforts during the lifespan, the design was simplified into a fitted portico and the horizontal load of the wind and the vertical load due to the overload of the snow were applied.

In a comparative analysis with other common construction methods in the industry, the isolation properties and the weight of the design were contemplated.

Lastly, an evaluation between the emissions produced by the model made of wood and the common model was conducted. Analysing the difference in weight and manufacturing methods of the materials.

The project is represented in a 3D model, designed in the CADWORK Software.

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE  
DE UNA CARAVANA***

***DOCUMENTO I- ÍNDICE***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## ÍNDICE

## Tabla de contenido

<b>MEMORIA</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Contexto</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivos y alcance del trabajo</b> .....	<b>5</b>
<b>Beneficios que aporta el trabajo</b> .....	<b>6</b>
Desarrollo sostenible .....	6
Beneficios del trabajo .....	7
<b>Estado del arte</b> .....	<b>8</b>
Revestimiento de aluminio .....	8
Revestimiento de poliéster reforzado con fibra de vidrio, PRFV .....	9
Mini- caravana a base de tableros contrachapados .....	12
<b>Envolvente en base madera</b> .....	<b>14</b>
Beneficios de construir en madera .....	15
Condicionantes .....	17
<b>Descripción de la solución propuesta</b> .....	<b>18</b>
<b>Diseño</b> .....	<b>18</b>
<b>Normativa</b> .....	<b>18</b>
<b>Estructura</b> .....	<b>19</b>
<b>Materiales</b> .....	<b>20</b>
Tableros contrachapados de madera .....	20
Perfiles .....	21
Aislamiento térmico .....	22

<b>Montaje</b> .....	<b>23</b>
Paredes interiores .....	23
Perfiles .....	24
Aislamiento.....	25
Paneles exteriores .....	25
<b>Uniones</b> .....	<b>26</b>
Unión paneles interiores.....	26
Unión paneles exteriores .....	27
Uniones paneles- perfiles.....	29
Uniones entre perfiles.....	29
<b><i>METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO</i></b> .....	<b>33</b>
<b>Descripción de tareas, fases, equipos o procedimientos</b> .....	<b>33</b>
<b>Diagrama de Gantt</b> .....	<b>36</b>
<b>Cálculos</b> .....	<b>37</b>
Cargas de viento y nieve .....	37
Teoría de pórticos.....	39
Resultados de los esfuerzos .....	42
Resistencia térmica y transmitancia de la envolvente .....	47
Ensayos para calcular la conductividad de los materiales.....	49
Resultados de resistencia térmica y transmitancia de la envolvente .....	52
Peso de la estructura .....	55
Impacto del peso en el combustible .....	57
Impacto medioambiental de los materiales escogidos.....	60
<b>Análisis de resultados</b> .....	<b>63</b>
Análisis de los resultados de resistencia mecánica .....	63
Análisis de los resultados de la resistencia térmica .....	63
Análisis de los resultados del peso.....	64
Impacto del peso en el combustible .....	64

Impacto ambiental de los materiales-----	65
Balance entre impacto ambiental debido a las emisiones y los materiales utilizados.-----	65
Conclusiones -----	66
<b>ASPECTOS ECONÓMICOS -----</b>	<b>68</b>
<b>Descripción del presupuesto-----</b>	<b>68</b>
Costes directos-----	69
Costes indirectos -----	70
Costes totales -----	70
<b>Análisis de rentabilidad-----</b>	<b>71</b>
<b><i>BILBIOGRAFÍA-----</i></b>	<b>73</b>

## LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS

<i>Ilustración 1. Fotografía de una familia y sus carromatos</i>	1
<i>Ilustración 2. Primera caravana “The Wanderer”</i>	2
<i>Ilustración 3. Primera caravana remolcada por un automóvil</i>	3
<i>Ilustración 4. Evaluación matriculaciones caravanas y autocaravanas 2009-2018. Fuente: Aseicar</i>	4
<i>Ilustración 5. Disminución de ventas del sector del caravaning en el 2020. Fuente: Aseicar</i>	4
<i>Ilustración 6. Objetivo 13 ODS</i>	8
<i>Ilustración 7. Autocaravana HYMER</i>	9
<i>Ilustración 8. Panel sándwich autocaravana HYMER</i>	9
<i>Ilustración 9. Descomposición de la envolvente del fabricante Adria</i>	10
<i>Ilustración 10. Descomposición de la envolvente del fabricante Challenger</i>	11
<i>Ilustración 11. Prototipo envolvente</i>	18
<i>Ilustración 12. Composición del prototipo</i>	19
<i>Ilustración 13. Tablero contrachapado interior</i>	20
<i>Ilustración 14. Composición tablero contrachapado interior</i>	20
<i>Ilustración 15. Tablero contrachapado exterior</i>	21
<i>Ilustración 16. Composición de tablero piel exterior</i>	21
<i>Ilustración 17. Poliestireno extruido XPS</i>	23
<i>Ilustración 18. Despiece paredes interiores</i>	24
<i>Ilustración 19. Detalle apoyo paneles interiores</i>	24
<i>Ilustración 20. Vista 3D paneles interiores y perfiles</i>	24
<i>Ilustración 21. Vista 3D aislamiento</i>	25
<i>Ilustración 22. Despiece paneles exteriores</i>	26
<i>Ilustración 23. Detalle encuentros paneles interiores</i>	27
<i>Ilustración 24. Conector metálico en ángulo</i>	27
<i>Ilustración 25. Conector metálico plano</i>	27
<i>Ilustración 26. Detalle apoyo panel sobre perfil</i>	28
<i>Ilustración 27. Detalle unión paneles</i>	28

## ÍNDICE DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS

<i>Ilustración 28. Detalle unión panel frontal- panel techo</i>	29
<i>Ilustración 29. Vista 3D uniones</i>	30
<i>Ilustración 30. Detalle de media madera listones techo</i>	31
<i>Ilustración 31. Detalle media madera listones curvados</i>	31
<i>Ilustración 32. Solución unión perfil vertical catálogo Rothoblaas</i>	32
<i>Ilustración 33. Conector VGZ EVO FRAME Rothoblaas</i>	32
<i>Ilustración 34. Detalle uniones verticales perfiles</i>	32
<i>Ilustración 35. Espesores de las diferentes capas del prototipo</i>	37
<i>Ilustración 36. Pórtico empotrado con carga distribuida lateral</i>	39
<i>Ilustración 37. Diagrama momentos flectores pórtico empotrado</i>	39
<i>Ilustración 38. Pórtico empotrado con carga distribuida vertical</i>	41
<i>Ilustración 39. Tablero sin termotratar izq. tablero termotratado drcha.</i>	49
<i>Ilustración 40. Tablero sin termotratar</i>	49
<i>Ilustración 41. Tablero termotratado</i>	49
<i>Ilustración 42. Máquina para medir conductividad</i>	50
<i>Ilustración 43. Ensayo de conductividad térmica</i>	50
<i>Ilustración 44. Ensayo de madera sin termotratar</i>	51

## ÍNDICE DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS

<i>Tabla 1. Fijación de CO<sub>2</sub> para 1 m<sup>3</sup> de tablero contrachapado</i> .....	15
<i>Tabla 2. Propiedades mecánicas del pino radiata</i> .....	22
<i>Tabla 3. Diagrama de Gantt</i> .....	36
<i>Tabla 4. Resultados hipótesis de viento 1</i> .....	43
<i>Tabla 5. Resultados hipótesis de viento 2</i> .....	44
<i>Tabla 6. Resultados hipótesis sobrecarga de nieve 1</i> .....	45
<i>Tabla 7. Resultados hipótesis sobrecarga de nieve 2</i> .....	46
<i>Tabla 8. Resultados de ensayos de conductividad térmica</i> .....	51
<i>Tabla 9. Resistencia térmica maderas de Llodio</i> .....	52
<i>Tabla 10. Resistencia térmica madera termotrataada</i> .....	52
<i>Tabla 11. Resistencia térmica madera sin termotratar</i> .....	53
<i>Tabla 12. Resistencia térmica panel nido de abeja</i> .....	53
<i>Tabla 13. Resistencia térmica panel PRFV</i> .....	54
<i>Tabla 14. Peso estructura de madera</i> .....	56
<i>Tabla 15. Peso estructura PRFV</i> .....	56
<i>Tabla 16. Peso estructura Aluminio</i> .....	56
<i>Tabla 17. Resultados de hipótesis de cargas</i> .....	63
<i>Tabla 18. Resultados resistencia térmica</i> .....	64
<i>Tabla 19. Resultados peso de envolvente</i> .....	64
<i>Tabla 20. Incremento de combustible</i> .....	65
<i>Tabla 21. Incremento de emisiones por combustible</i> .....	65
<i>Tabla 22. Incremento de emisiones en función del tipo de materiales</i> .....	65
<i>Tabla 23. Coste de materiales</i> .....	69
<i>Tabla 24. Costes de fabricación componentes del diseño</i> .....	69
<i>Tabla 25. Coste de ingeniería y montaje</i> .....	70
<i>Tabla 26. Costes indirectos</i> .....	70

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

### ***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE DE UNA CARAVANA***

#### ***DOCUMENTO II- MEMORIA***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## MEMORIA

### Introducción

Las caravanas tal y como se conocen hoy en día, fueron inventadas hace menos de cien años, pero sus orígenes se remontan a varios siglos atrás.

Se cree que la primera etnia en diseñar su casa sobre ruedas fueron los gitanos, llamaban a estos hogares portátiles carromatos y tiraban de ellos con caballos, permitiéndose así vivir como nómadas. Hay quién dice que este concepto se remonta al siglo XV.



*Ilustración 1. Fotografía de una familia y sus carromatos*

Aunque el origen de las casas portátiles se remonte a muchos años atrás, no ha sido hasta finales del siglo XIX que se diseñó la primera caravana destinada al ocio por la mano de Bristol Carriage Company en el año 1885. Este primer ejemplar remolcado por caballos y apodado “The Wanderer”, fue para el Dr. W. Gordon-Stables que recorrió en toda Gran Bretaña mientras escribía un libro titulado *The Gentleman Gypsy* (El Gitano caballero)



*Ilustración 2. Primera caravana "The Wanderer"*

Este modelo causó cierta atracción entre el resto de los caballeros ingleses, y fueron muchos los que quisieron tener su propia caravana, formando así el primer club Caravanista Británico en el año 1907. La moda de las casas portátiles se vio interrumpida por la primera guerra mundial, cuando los caballeros ingleses tuvieron que acudir al frente.

En los Estados Unidos de América también se había rozado el concepto de caravana hacia los 1870, diseñando casas portátiles en las cercanías de la playa que podían transportarse con caballos. Pero fue después de la primera guerra mundial que empezaron a fabricarse las primeras caravanas remolcadas con coche con unos precios tan elevados (95 libras) que solo se lo podían permitir la gente de clase alta.



*Ilustración 3. Primera caravana remolcada por un automóvil*

La moda de las caravanas llegó a Europa en los años 30, extendiéndose por Alemania, Holanda y Gran Bretaña, teniendo un parón durante la segunda guerra mundial, para volver a popularizarse en los años 50.

A España esta industria llegó un poco más tarde, ya en la década de los 60 con las primeras empresas *Moncayo (Zaragoza)* y *Catusa (Pontevedra)*. Pero parece que esta industria llegó para quedarse.

### Contexto

En los últimos años, tal y como revela en sus estadísticas *Aseicar (Asociación Española de la industria y el comercio del caravaning)* la industria de las caravanas y autocaravanas no ha hecho más que crecer. Según los datos recogidos, entre los años 2013- 2018 el aumento de matriculaciones fue más que notable.

Respecto a las autocaravanas, en 2018 en total se matricularon 7.046, un 21,86% más que en 2017 y un 445% respecto al 2013 cuando el sector tocó fondo por la crisis económica.

En lo que a caravanas se refiere, también continúan con una recuperación más suave: un 3,51% respecto a 2017 y un 53% respecto al 2013.



Ilustración 4. Evaluación matriculaciones caravanas y autocaravanas 2009-2018. Fuente: Aseicar

Siguiendo con esta tendencia al alza, el sector tuvo en el 2019 un incremento del 19,2% respecto al 2018. Alcanzando los vehículos camper las 180 matriculaciones mensuales, y las caravanas consiguen un 31% más de matriculaciones respecto al año anterior.

El año 2020 trajo un gran receso en las ventas del sector en toda Europa y las ventas disminuyeron considerablemente entre los meses de mayo, junio y julio.

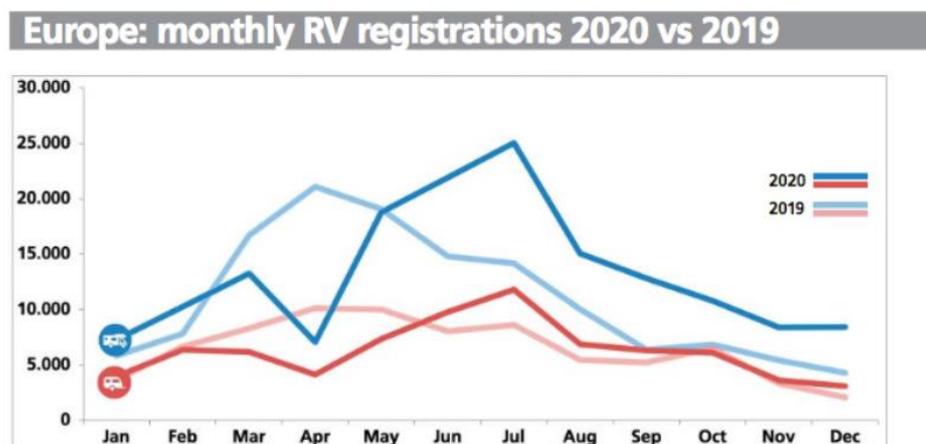


Ilustración 5. Disminución de ventas del sector del caravaning en el 2020. Fuente: Aseicar

En el año 2021, las expectativas a futuro son buenas. El verano del 2020 se realizaron entrevistas a 400 personas en diferentes campings de España, o zonas de acampada libre y parkings de la Costa Brava, obteniendo resultados optimistas.

Aunque hubiera un innegable aumento de las empresas de alquiler, la gran mayoría de campistas eran propietarios de los vehículos (el 50% habiéndolos adquirido hace menos de 5 años). En contra de los tópicos, se definió un segmento turístico aficionado al camping, y es que una gran parte de los entrevistados, el 50% tiene estudios universitarios y un nivel adquisitivo elevado (por encima del 30% de la media), lo que refleja que no se escoge este modelo vacacional por falta de capacidad adquisitiva, si no por la sensación de libertad y contacto con la naturaleza, el relax y la familia.

Cabe decir que el 30% de las personas no habían vivido anteriormente una experiencia campista, y el 99,3% afirmó que al año siguiente repetiría independientemente a la situación sanitaria.

Estos datos evidencian una tendencia muy positiva del sector en los años venideros.

### **Objetivos y alcance del trabajo**

El objetivo de este proyecto, es diseñar la envolvente de una caravana fabricada con materiales de certificación sostenible, intentado simplificar al máximo su diseño para un montaje sencillo y asegurar la optimización del material para crear un vehículo ligero.

El alcance del trabajo es escoger los materiales que se van a utilizar, definir sus beneficios y sus limitaciones, y comprobar que soportan los esfuerzos a los que se van a ver sometidos. Así como, comprar las ventajas y desventajas que puede suponer desde el punto de vista del peso y la eficiencia térmica.

Para materializar este prototipo se diseña con el Software CADWORK un modelo 3D. Quedan fuera del alcance del proyecto el cálculo de las uniones, así como, las especificaciones de montaje, el mobiliario interior y los pasos de instalaciones.

Se aporta documentación gráfica que es lo suficientemente precisa para comprender el diseño de la estructura y envolvente en cuestión, definiendo las dimensiones de los elementos constructivos, los sistemas y las uniones entre piezas.

### **Beneficios que aporta el trabajo**

Para poder definir cuáles son los beneficios que aporta el trabajo, primero hay que definir que es el desarrollo sostenible.

#### **Desarrollo sostenible**

El desarrollo sostenible es un concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población.

Muchos de los retos a los que se enfrenta el ser humano, tales como el cambio climático, la escasez de agua, las desigualdades o el hambre, solo se pueden resolver desde una perspectiva global y promoviendo el desarrollo sostenible: una apuesta por el progreso social, el equilibrio medioambiental y el crecimiento económico.

Como una nueva hoja de ruta para lograr un desarrollo sostenible, Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas comunes para proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas. Estas metas comunes necesitan la implicación activa de las personas, las empresas, las administraciones y los países de todo el mundo.

La sostenibilidad se apoya en tres pilares: el social, el ambiental y el económico.



*Ilustración 6. Pilares de la sostenibilidad*

La **sostenibilidad social** fomenta el desarrollo de las personas, comunidades y culturas para conseguir un nivel global de calidad de vida, sanidad y educación adecuado equitativo. Así como, la lucha por la igualdad de género en especial en los países en desarrollo.

La **sostenibilidad ambiental** defiende que la naturaleza no es una fuente inagotable de recursos, y vela por su protección y uso racional. Aspectos como el cuidado del medio ambiente, la inversión en energías renovables, el ahorro del agua, la apuesta por la movilidad sostenible o la innovación en construcción y arquitectura sostenible contribuyen.

La **sostenibilidad económica** busca impulsar un crecimiento económico que genere riqueza equitativa sin perjudicar los recursos naturales. Una inversión y reparto igualitario de los recursos económicos permitirá potenciar los demás pilares de la sostenibilidad para lograr un desarrollo completo.

### Beneficios del trabajo

La elección de los materiales que se escoge para construir cualquier estructura conlleva sobre todo un impacto medio ambiental. Tal y como se ha visto anteriormente, este es un sector que no para de crecer, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> que conlleva su fabricación tampoco lo harán.

Enfocando la mirada a los objetivos europeos para el 2030, el duodécimo Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), insta a la producción y el consumo responsable, tratando, entre otras cosas, de desvincular el crecimiento económico de

la degradación medioambiental y aumentar la eficiencia de recursos, así como promover los estilos de vida sostenibles.



*Ilustración 7. Objetivo 13 ODS*

### Estado del arte

A continuación, se exponen los diferentes métodos de fabricación se llevan a cabo hoy en día para la construcción de las caravanas. En el mercado existen sobre todo dos tipos de envolventes; las de aluminio y las de PRFV.

#### Revestimiento de aluminio

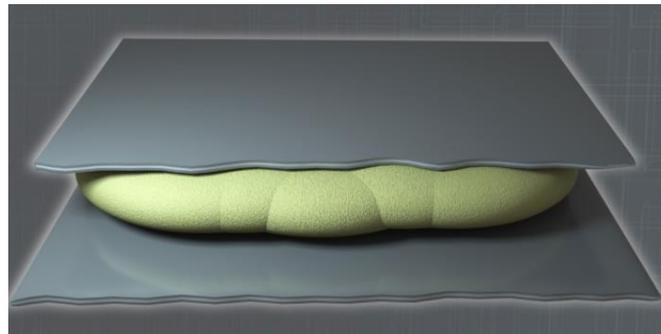
El aluminio es un material que aporta una gran ligereza a la estructura dado a su bajo peso y tiene una excelente durabilidad a lo largo del tiempo.

En contra, tiene una baja resistencia a los impactos pequeños y es uno de los materiales con mayor conductividad térmica,  $209'3 W/Km$ .

Aun así, hay fabricantes de auto caravanas que utilizan este material para construir sus carrocerías, como es el caso de la marca *Hymer*. Con una fórmula mejorada, crean un panel sándwich que está compuesto por dos capas de aluminio y espuma de poliuretano de poro fino consiguiendo un buen aislamiento térmico, el espesor de estos paneles ronda los 30 mm.



*Ilustración 8. Autocaravana HYMER*



*Ilustración 9. Panel sándwich autocaravana HYMER*

### Revestimiento de poliéster reforzado con fibra de vidrio, PRFV

Por su lado, este segundo tipo de caravanas, están compuestas de materiales que aportan facilidad en el montaje y alta resistencia mecánica a la envolvente del vehículo, así como fortaleza extrema y resistencia a la abrasión, resistencia al estiramiento y alta elasticidad.

Todo esto sumado a un precio más bajo que el aluminio, el modelo se convierte ideal para la fabricación de caravana de gama media-baja.

Este segundo tipo de revestimiento lleva un aislamiento que varía según el fabricante, pueden ser *polietileno expandido (XHP)*, *espuma de poliuretano entre las hojas de fibra de vidrio*, *espuma de polietileno (PE)* o *poliestireno expandido (XPS)*.

Estos tipos de aislantes proporcionan una muy buena protección térmica debido a su baja conductividad y ligereza.

Además del aislamiento térmico, algunas caravanas también están protegidas frente a las adversidades meteorológicas (como el granizo) con una protección GFK, añadiéndose una fina lámina de fibra de vidrio sobre el plástico que la recubre.

En la siguiente imagen se muestran las capas de la envolvente de una caravana de la mano de la fabricante *Adria*.



*Ilustración 10. Descomposición de la envolvente del fabricante Adria*

1. Panel de madera compuesta
2. Juntas de poliuretano

3. Eps de espuma de poliestireno
4. Revestimiento exterior de carrocería de poliéster (pared lateral)
5. Revestimiento exterior de carrocería de poliéster (suelo)
6. Aislante de espuma de poliestireno XPS
7. Perfil de madera dura reforzada

En la siguiente ilustración se muestra la imagen que proporciona otro fabricante de caravanas, *Challenger*, con un método de montaje y materiales muy similares al anterior. En la imagen se ve el poliéster que protege la caravana desde la capa exterior, el poliestireno extruido XPS que tiene mayor espesor en el techo y en el suelo y por último el contrachapado de madera que recubre el aislamiento y da un acabado interior.

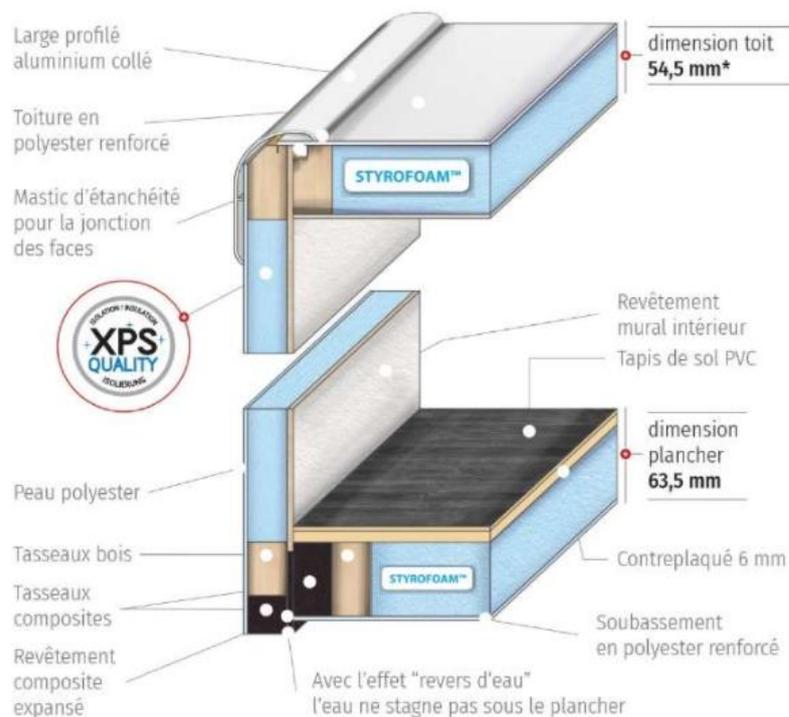


Ilustración 11. Descomposición de la envoltura del fabricante Challenger

## Mini- caravana a base de tableros contrachapados

Aprovechando la tendencia al alza del sector, la empresa portuguesa YGONow ha lanzado recientemente un modelo de mini- caravana a la que ha llamado *Cocoon*, fabricada a base de madera. Esta casa sobre ruedas mide 2,48 m de largo, 1,4 m de ancho y 1,3 m de alto.



*Ilustración 12. Mini caravana Cocoon*

Esta novedad se compone de; un tablero interior que forma el habitáculo; placas de aislamiento que recubren todo el tablero interior proporcionando mayor confort; y por último un tablero exterior con una protección HPL que protege el interior dando mayor aislamiento térmico, permeabilidad y siendo más resistente a posibles impactos.



*Ilustración 13. Tablero interior caravana Cocoon*



*Ilustración 14. Aislamiento caravana Cocoon*



Ilustración 15. Acabado con tablero HPL caravana Cocoon

### Envolvente en base madera

A continuación, se explica la propuesta de la estudiante de diseñar la envolvente de una caravana a base de tableros contrachapados de madera.

Para llevar a cabo este proyecto, primero se estudian cuáles son los beneficios de construir en madera, y también cuáles son sus condicionantes. Se plantea un diseño en base a otros productos similares (caravanas escogidas de varios catálogos) y siguiendo las normativas.

Se hace una búsqueda para elegir los materiales más adecuados para el modelo, y se estudian sus características. Teniendo en cuenta las solicitaciones que se estima que va a tener la estructura durante su vida útil se hacen unas hipótesis de carga y se comprueba que los materiales lo vayan a soportar (apartado *cálculos*). Una vez definidos todos los componentes se comienza con el modelo 3D para replantear el montaje y las uniones.

Este material se escoge partiendo desde un punto de vista medioambiental. La

madera (en esta aplicación) no tiene mejores propiedades resistentes que los materiales mentados anteriormente, pero si posee una característica que el resto no, durante su proceso de fabricación (el ciclo de vida de un árbol) absorbe CO<sub>2</sub> de la atmósfera para emitir O<sub>2</sub>.

### Beneficios de construir en madera

La madera, a diferencia de la fibra de vidrio, el poliéster o el aluminio, es un recurso renovable e inagotable. Sus residuos no producen impactos ambientales negativos, se puede reciclar y al final de su vida útil aporta energía limpia pudiéndose usar para caldera de biomasa, por ejemplo.

Durante su fabricación, esta produce oxígeno y filtra los gases que producen efecto invernadero, en consecuencia, la madera produce un balance neutro de CO<sub>2</sub>, es decir, en la fabricación de un tablero contrachapado, se puede consumir menos CO<sub>2</sub> del que la madera ha absorbido durante su crecimiento.

La empresa fabricante de tableros contrachapados que es una de las que se ha tomado como referencia para este proyecto, *Maderas de Llodio*, afirma que cada m<sup>3</sup> de sus tableros contrachapados ha absorbido la cantidad de CO<sub>2</sub> que se muestra en la siguiente tabla.

#### *Fijación de CO<sub>2</sub> para 1m<sup>3</sup> de tablero contrachapado LAUDIO FORM*

Categoría de Impacto	Cantidad	Unidades
CML-IA Fijación de CO <sub>2</sub>	440	kg CO <sub>2</sub> eq.

#### *Fijación de CO<sub>2</sub> para 1m<sup>3</sup> de tablero contrachapado LAUDIO PLY*

Categoría de Impacto	Cantidad	Unidades
CML-IA Fijación de CO <sub>2</sub>	580	kg CO <sub>2</sub> eq.

*Tabla 1. Fijación de CO<sub>2</sub> para 1 m<sup>3</sup> de tablero contrachapado*

En lo que a las emisiones se refiere, en las siguientes tablas se muestran las correspondientes a cada uno.

Unidad declarada = 1 m<sup>3</sup> de tablero contrachapado LAUDIO FORM  
Perfil ambiental para cada módulo y etapa

CATEGORÍA DE IMPACTO	UPSTREAM	CORE			TOTAL [A1-A2-A3]
	Obtención mat. primas [A1]	Transporte [A2]	Fabricación [A3]	Total Core [A2-A3]	
Calentamiento global [kg CO <sub>2</sub> eq.]	2,64E+02	9,59E-04	1,93E02	1,93E+02	4,57E+02
Acidificación [kg SO <sub>2</sub> eq.]	1,48E+00	3,09E-06	1,07E+00	1,07E+00	2,54E+00
Eutrofización [kg PO <sub>4</sub> eq.]	1,43E-01	2,68E-02	4,46E-01	4,44E-01	8,89E-01
Oxidación fotoquímica [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.]	2,14E-01	1,31E-07	1,57E-01	1,57E-01	3,71E-01
Destrucción capa ozono [kg CFC-11 eq.]	1,40E-05	6,70E-11	1,09E-05	1,1E-05	2,49E-05
Agotamiento recursos abióticos (elementos) [kg Sb eq.]	9,54E-05	2,51E-09	6,70E-04	6,7E-04	1,64E-03
Agotamiento recursos abióticos (fósiles) [MJ]	6,27E+03	1,43E+03	4,88E+03	4,88E+03	1,11E+04

Unidad declarada = 1 m<sup>3</sup> de tablero contrachapado LAUDIO PLY  
Perfil ambiental para cada módulo y etapa

CATEGORÍA DE IMPACTO	UPSTREAM	CORE			TOTAL [A1-A2-A3]
	Obtención mat. primas [A1]	Transporte [A2]	Fabricación [A3]	Total Core [A2-A3]	
Calentamiento global [kg CO <sub>2</sub> eq.]	1,24E+02	5,18E-04	1,89E+02	1,89E+02	3,17E+02
Acidificación [kg SO <sub>2</sub> eq.]	6,86E-01	1,71E-06	1,06E+00	1,06E+00	1,75E+00
Eutrofización [kg PO <sub>4</sub> eq.]	2,08E-01	3,97E-07	4,51E-01	4,51E-01	6,60E-01
Oxidación fotoquímica [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.]	1,01E-01	7,27E-08	1,58E-01	1,58E-01	2,59E-01
Destrucción capa ozono [kg CFC-11 eq.]	6,70E-06	3,67E-11	1,1E-05	1,1E-05	1,77E-05
Agotamiento recursos abióticos (elementos) [kg Sb eq.]	4,10E-04	2,34E-05	6,60E-04	6,60E-04	1,08E-03
Agotamiento recursos abióticos (fósiles) [MJ]	2,95E+03	7,80E-03	4,82E+03	4,82E+03	7,77E+03

En el caso del primer tablero, *Llaudio Form* el kg CO<sub>2</sub> eq emitido a la atmósfera es algo mayor que el absorbido, en el caso del segundo tablero, sin embargo, la madera ha absorbido más CO<sub>2</sub> del que ha emitido, por lo tanto, el balance es positivo.

## Condicionantes

Aunque la madera proporcione esta ventaja medioambiental, sus propiedades mecánicas no alcanzan las del aluminio o la fibra de vidrio, lo que supone un inconveniente a la hora de diseñar la estructura.

Por un lado, la menor resistencia mecánica supone un incremento de material para poder soportar los esfuerzos a los que se va a ver sometida, por lo tanto, el peso será mayor.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que habrá que tomar más medidas para proteger la envolvente de condiciones climatológicas adversas.

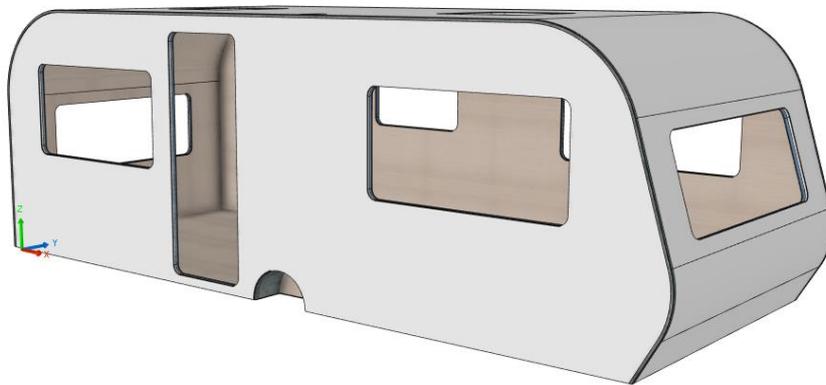
## Descripción de la solución propuesta

Con el fin de crear una alternativa a los materiales más habituales, se ha diseñado la envolvente de una caravana construida a base de tableros de madera contrachapada reforzada con listones de madera, y aislada con poliestireno expandido.

## Diseño

En lo que a diseño se refiere, el prototipo es similar a las caravanas que se pueden encontrar hoy en día en el mercado, tanto por fuera como por dentro.

Las dimensiones de la misma se corresponden a las de una caravana de tamaño medio- grande, con una capacidad máxima para seis personas. El interior tiene 14'27 m<sup>2</sup> de superficie habitable y 2 m de alto. Estas medidas corresponden a una caravana real, por lo tanto, no supondría un problema adaptarla a cualquier chasis (queda fuera del alcance del proyecto).



*Ilustración 16. Prototipo envolvente*

## Normativa

Dado a que solo se va a diseñar la envolvente de la caravana, los aspectos que se van a tener en cuenta son aquellos que establecen las dimensiones de esta, y la normativa establece lo siguiente:

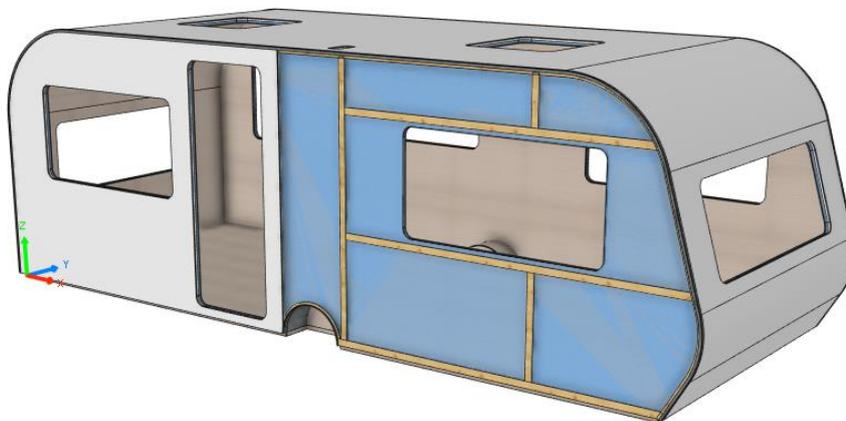
- Longitud máxima con vehículo: 12 m

- Anchura máxima: 2,55 m
- Altura máxima: 4 m desde el suelo
- Peso máximo: 1500 kg

## Estructura

La estructura la componen; la piel interior, enfocada sobre todo a un aspecto decorativo más que resistente; los perfiles, que aportan rigidez a la estructura y donde a su vez se aloja el aislamiento; y la piel exterior, más resistente a la interior para hacer frente a los agentes externos.

Se han colocado los perfiles de tal manera que trabajen como pórticos biempotrados y sean capaces de soportar las cargas que aguantaran durante su vida útil (como se verá más adelante en los cálculos). Además de trabajar como elementos resistentes, también sirven para mantener unidos los paneles exterior e interior mediante conectores.



*Ilustración 17. Composición del prototipo*

## Materiales

### Tableros contrachapados de madera

El Contrachapado es un tipo de tablero de madera fabricado mediante el encolado y posterior prensado de chapas de madera. Estas chapas se disponen con las fibras en sentido contrario al de las chapas adyacentes mejorando así la estabilidad dimensional del tablero.

Para la construcción de las paredes interior y exterior se ha optado por tableros contrachapados escogidos del catálogo de la empresa *GARNICA*, ambos fabricados con madera de chopo 100% de origen europeo sostenible. En el apartado anexos se adjuntan las fichas técnicas de estos materiales.

### Piel interior y suelo

Para la construcción de la piel interior se ha escogido un contrachapado decorativo con caras y núcleo de chopo, con un espesor de 5mm *Efficiency Poplar 100% Chopo Europeo Sostenible*.



Ilustración 18. Tablero contrachapado interior

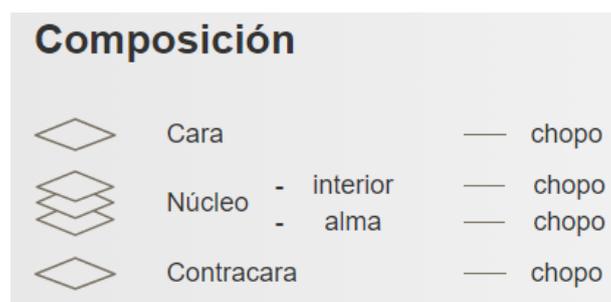


Ilustración 19. Composición tablero contrachapado interior

## Piel exterior

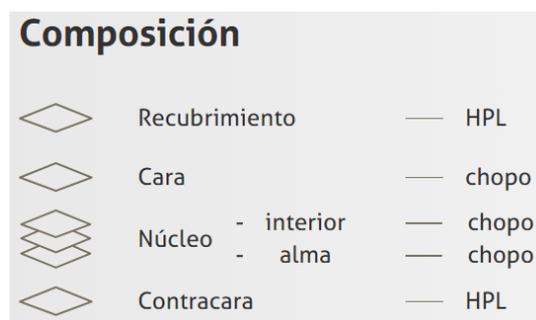
Para la piel exterior, sin embargo, se escoge otro panel más resistente con mayor espesor para proporcionar rigidez ante los esfuerzos que pueda sufrir, y una protección especial de HPL para hacer frente a las inclemencias climáticas, *Performance Poplar HPL*.

Se toma como referencia la mini caravana *Cocoon* en cuya construcción también se ha optado por este tablero.

Este contrachapado está fabricado con un núcleo de chopo, una cara de chopo y por cada cara un recubrimiento de HPL.



*Ilustración 20. Tablero contrachapado exterior*



*Ilustración 21. Composición de tablero piel exterior*

## Perfiles

Los perfiles deben ser la parte más resistente de la estructura porque van a soportar gran parte de los esfuerzos que se generen en esta.

Para su construcción se propone una especie local, el Pino Radiata. Las propiedades mecánicas de esta especie conífera se muestran en la siguiente tabla.

<b>P. r a d i a t a</b>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>0,5</sub>	519	487	508
		D <sub>0,05</sub>	432	411	414
	MOR (MPa)	f <sub>0,5</sub>	48.6	34.7	37
		f <sub>0,05</sub>	27	18	17
	MOE (MPa)	E <sub>0,5</sub>	12610	11080	11293
	Espesor medio del anillo (mm)				7.0
	Asignación clase resistente		C24	C18	C14
	Rendimiento clasificatorio		26%	46%	100%

*Tabla 2. Propiedades mecánicas del pino radiata*

Se toma como referencia el valor MOR, que representa la tensión unitaria máxima a flexión que soporta un material antes de que se produzca el fallo. Entre los valores  $f_{0,5}$  y  $f_{0,05}$ , se escoge el segundo para hacer unos cálculos más conservadores, ya que este valor representa la tensión máxima a flexión que no ha roto el 95% de las muestras que se han ensayado mientras el primero solo el 50%.

Por lo tanto, la tensión máxima a flexión es igual a 27 N/mm<sup>2</sup>.

### Aislamiento térmico

Como protección a las condiciones térmicas exteriores, se opta por una solución de aislamiento térmico a base de poliestireno expandido (XPS).

Este coloca entre las caras exterior e interior en el hueco que crean los perfiles de madera, que tienen 20 mm de espesor.

Se escoge este material por su baja conductividad térmica y su precio económico.



Ilustración 22. Poliestireno extruido XPS

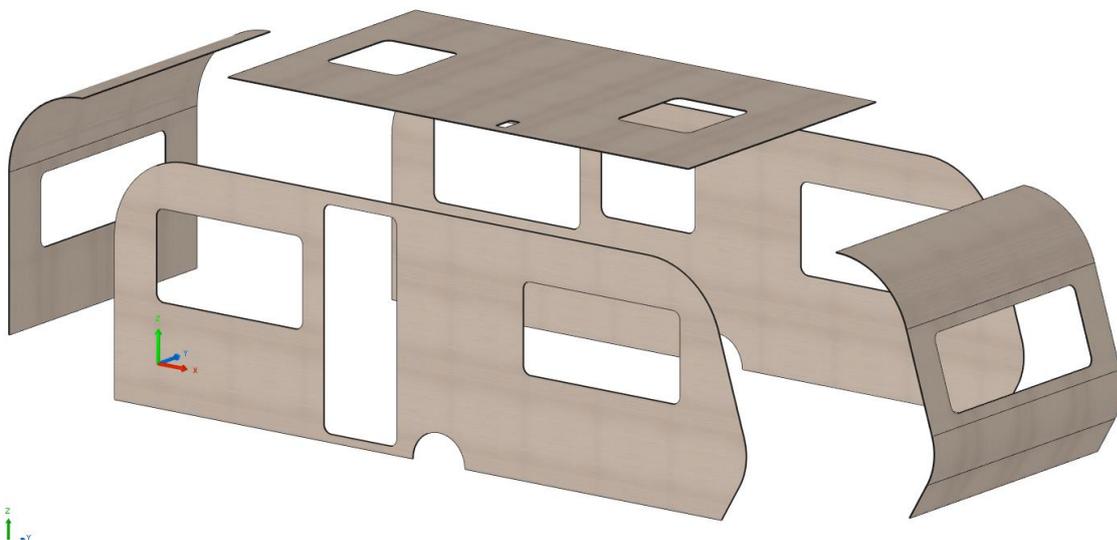
## Montaje

En el siguiente apartado se exponen los diferentes elementos de los que se compone el modelo en el orden correspondiente al montaje.

La base de la caravana no forma parte del proyecto ya que requiere más especificaciones técnicas que están fuera del alcance de este.

### Paredes interiores

Las paredes interiores se componen de cinco tableros, cada uno previamente mecanizado para adaptar los huecos y curvaturas a las especificaciones de los planos.



*Ilustración 23. Despiece paredes interiores*

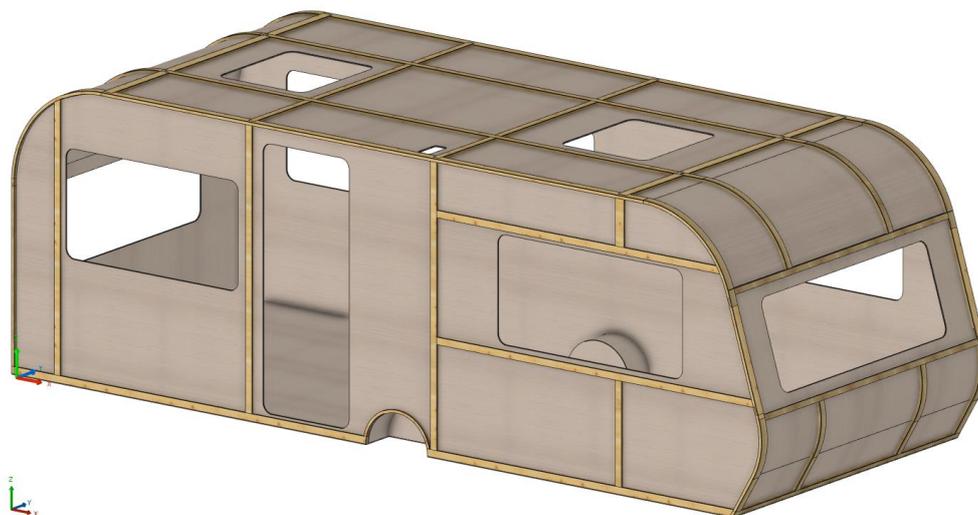
En la siguiente imagen se muestra en detalle como las paredes que componen la parte delantera, la trasera y el techo, se apoyan sobre las paredes laterales. Como se unen entre ellas se explica más adelante en el apartado *Uniones*.

*Ilustración 24. Detalle apoyo paneles interiores*

## Perfiles

El siguiente paso consiste en colocar los perfiles y travesaños asegurando las uniones con el panel interior y entre los mismos.

Los listones de madera han sido previamente cortados hasta la largura deseada y mecanizados para completar las uniones.

*Ilustración 25. Vista 3D paneles interiores y perfiles*

## Aislamiento

Las placas de XPS rellenan los huecos que han dejado los perfiles. Todas ellas tienen el mismo espesor, aunque su forma varia, se intenta mantener la mayor homogeneidad posible.

Al tratarse de un material frágil el mecanizado es más sencillo. Esta tarea es más laboriosa al tratarse de un único diseño, si existiera un montaje en cadena se reducirían considerablemente los costes y tiempos.

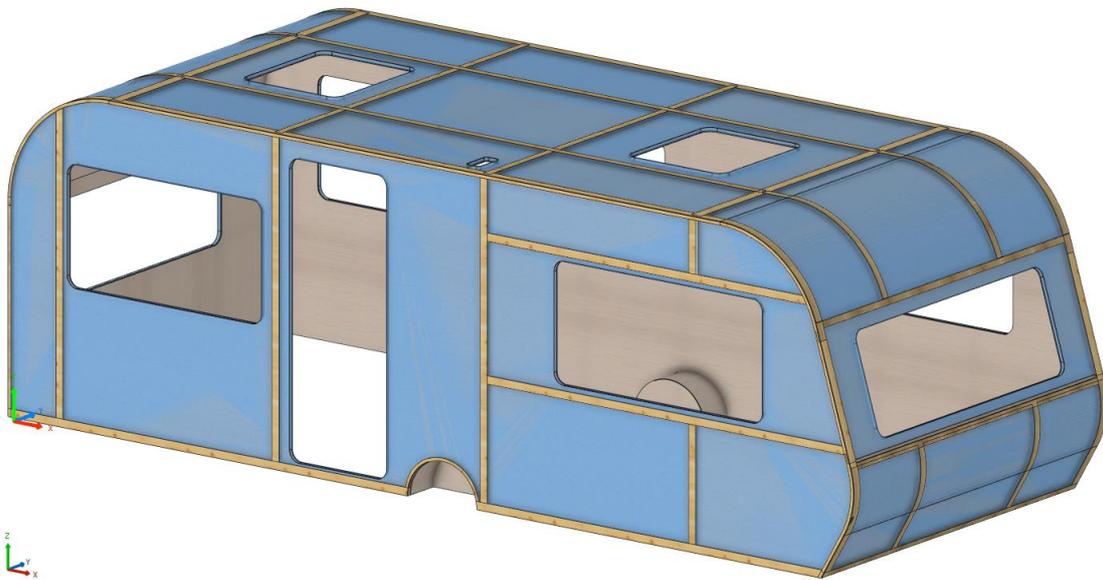


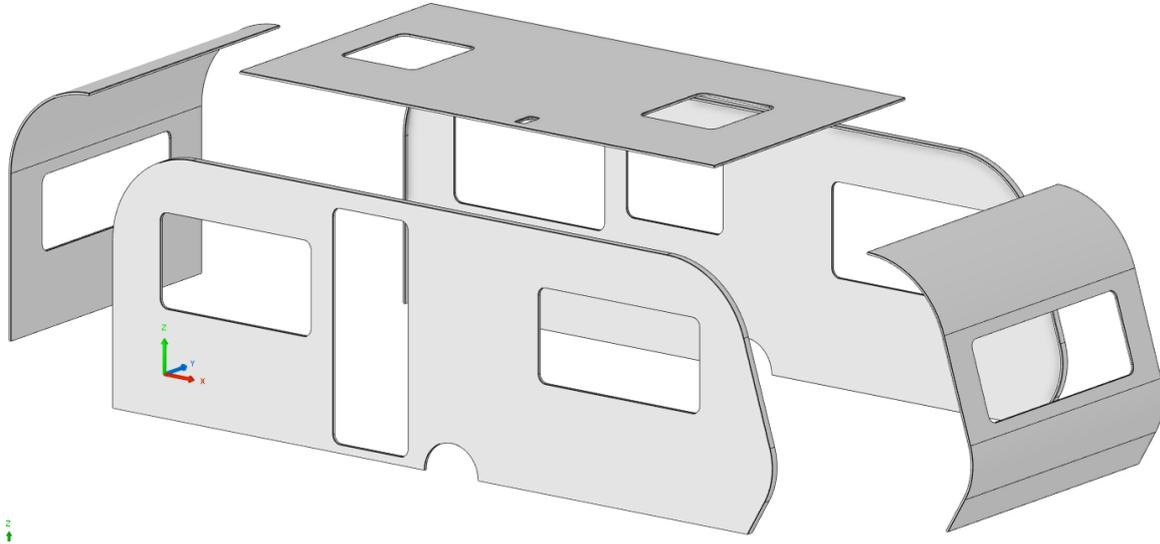
Ilustración 26. Vista 3D aislamiento

## Paneles exteriores

Los paneles exteriores también se componen de cinco piezas diferentes, que como los interiores son previamente mecanizadas.

El primer paso del montaje es colocar los tableros laterales sobre el contorno de los perfiles, detalle en el que se profundiza más adelante en el apartado de *uniones*.

Después se colocan los tableros que forman el techo, la parte delantera y la trasera de la caravana mediante unas uniones de cordón silicona, que también se especifican en el siguiente apartado.



*Ilustración 27. Despiece paneles exteriores*

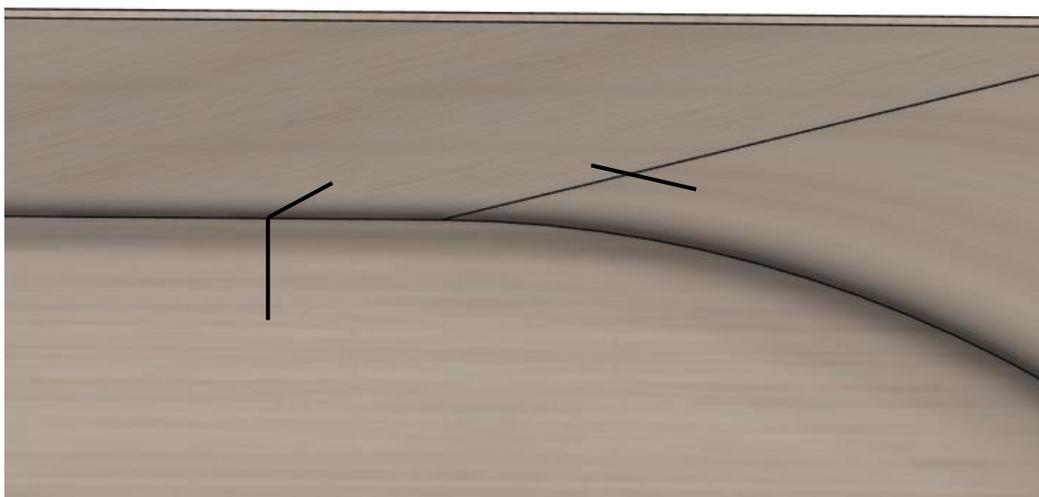
## Uniones

Tal y como se define en el alcance del trabajo, no se definen todas las uniones del prototipo, solamente las que se consideran más importantes, y dentro de las posibilidades del manejo del Software.

### Unión paneles interiores

Dado al pequeño espesor de los tableros, se propone unir los paneles interiores entre sí utilizando conectores de acero. Estos mecanismos se colocan en el interior y se camuflan al amueblar la caravana.

Se diferencian dos tipos de conectores; el primer tipo para resolver encuentros de paneles a 90°, y el segundo tipo para los encuentros longitudinales.



*Ilustración 28. Detalle encuentros paneles interiores*



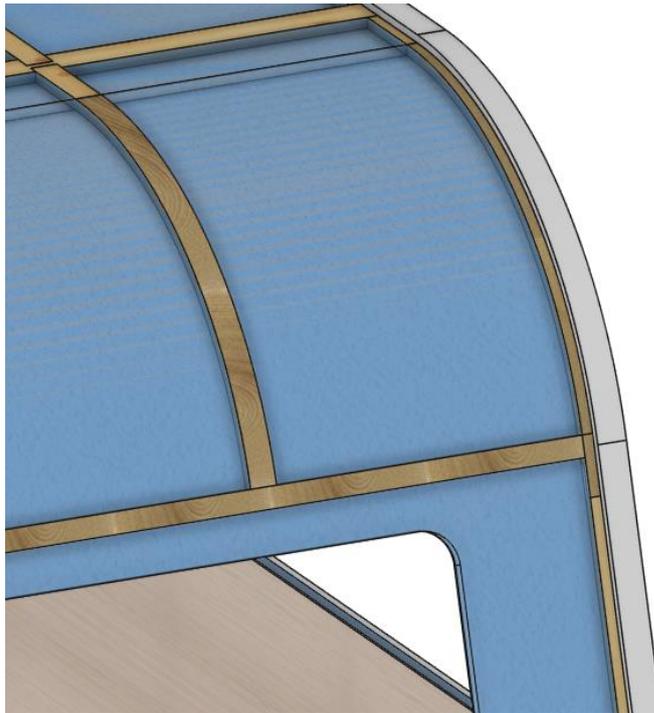
*Ilustración 29. Conector metálico en ángulo*



*Ilustración 30. Conector metálico plano*

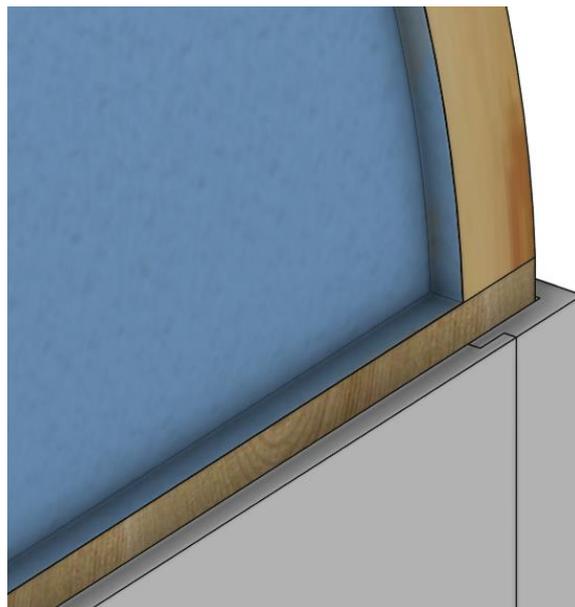
## Unión paneles exteriores

Tal y como se muestra en el apartado de montaje, las paredes laterales se apoyan sobre el contorno de los perfiles. Esta unión se basa únicamente en el apoyo.



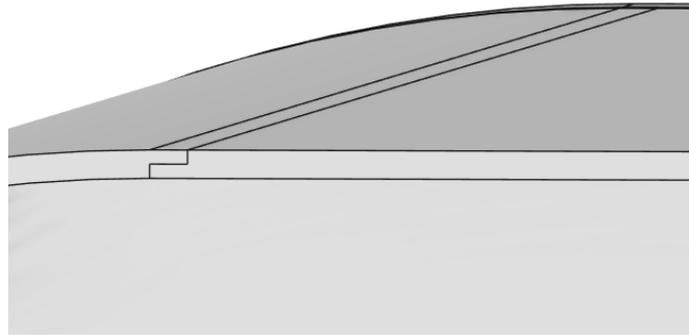
*Ilustración 31. Detalle apoyo panel sobre perfil*

Una vez se han colocado las paredes laterales, se asegura su posición uniendo los paneles restantes (techo, delantero, trasero) aplicando un cordón de silicona en la pestaña mecanizada para esta unión. Esta solución además de ser un fuerte agarre, aporta estanqueidad a la estructura.



*Ilustración 32. Detalle unión paneles*

Para asegurar la correcta unión entre las paredes delanteras y traseras con el techo, se sigue el mismo método. En el caso de la siguiente imagen, la pared delantera se apoya sobre el techo.



*Ilustración 33. Detalle unión panel frontal- panel techo*

### Uniones paneles- perfiles

Para asegurar que la sección resistente que componen los tableros y los perfiles trabajan conjuntamente, se plantea unir los tres elementos mediante conectores de acero. Estos puntos de conexión se ubican en los perfiles verticales, uno en la parte inferior, el segundo en la mitad y el tercero en la parte superior.

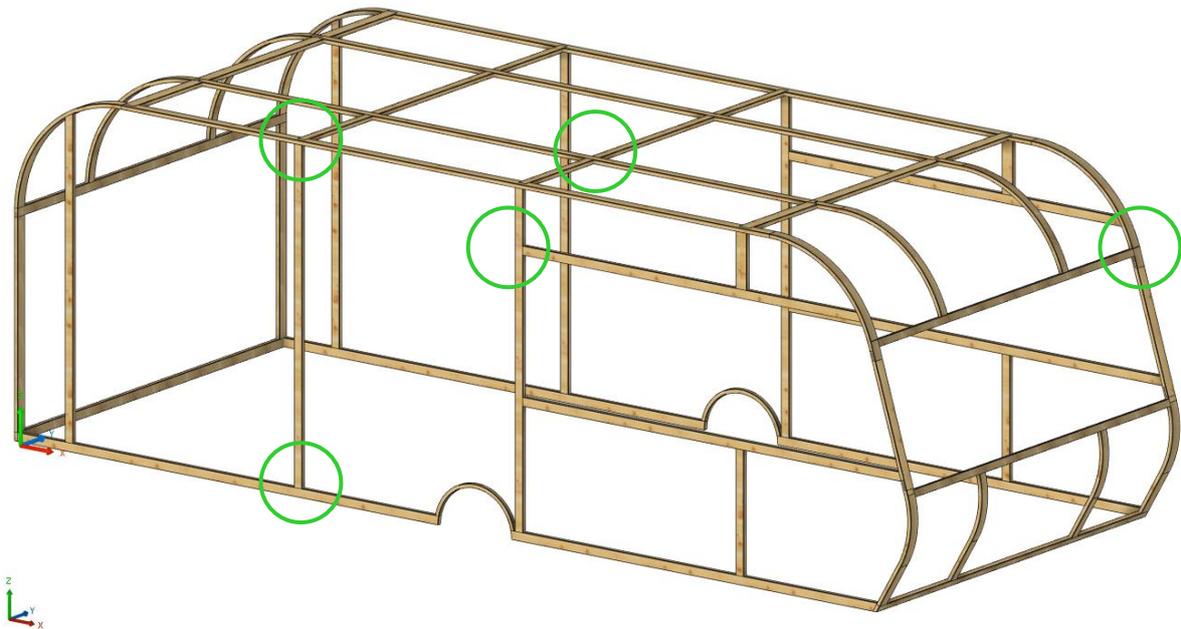
### Uniones entre perfiles

Los perfiles componen la estructura resistente de la envolvente, si bien los tableros también aportan estabilidad y sirven de apoyo para los mismos.

En este apartado, se definen dos tipos de uniones; las uniones de “media madera”, y las uniones con conectores de acero.

El primer tipo de unión se utiliza sobre todo en el caso de los listones cruzados como en el techo, y en los listones curvados.

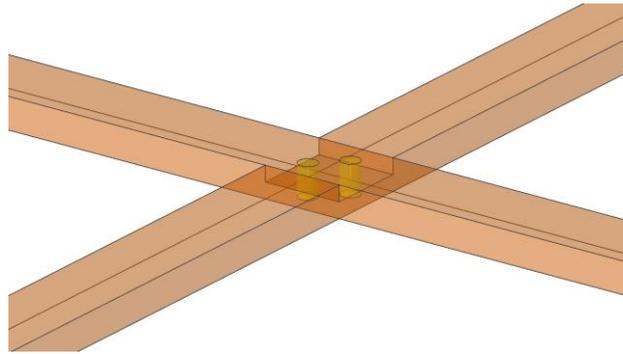
A continuación, se muestran algunas imágenes de modelo 3D, y en los anexos se ofrecen planos más detallados.



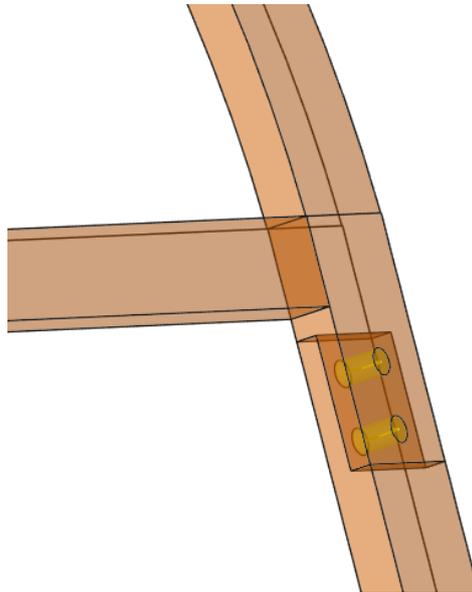
*Ilustración 34. Vista 3D uniones*

### **Unión “media - madera”**

Este tipo de unión se propone para diseñar el techo del habitáculo y para conectar los listones curvados a los rectos. Se basa en hacer dos ranuras idénticas a cada listón, a uno en la parte superior y a otro en la parte inferior, de tal manera que cuando se crucen queden acoplados el uno con el otro, por último, se asegura la unión con dos pasadores. En este caso concreto, los rebajes se hacen a la mitad del espesor de los listones.



*Ilustración 35. Detalle de media madera listones techo*



*Ilustración 36. Detalle media madera listones curvados*

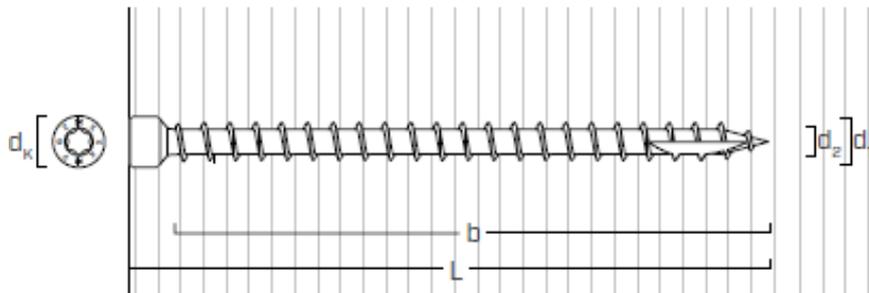
### **Uniones con conectores**

Este segundo tipo de unión se propone para los casos donde la madera se cruza formando una T. Se opta por esta opción a causa de los pequeños espesores que tienen los listones.

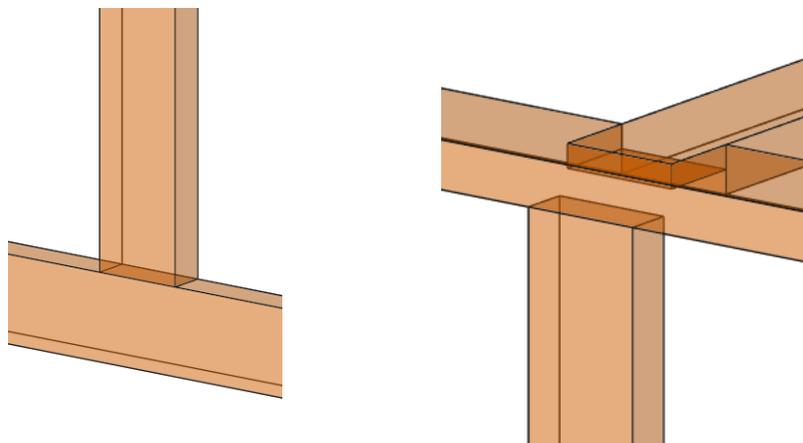
La inserción de los conectores en CADWOTK están fuera del alcance del trabajo, pero para su elección se acude al catálogo de Rothoblaas y se busca la solución óptima con *VGZ EVO FRAME*.



*Ilustración 37. Solución unión perfil vertical catálogo Rothoblaas*



*Ilustración 38. Conector VGZ EVO FRAME Rothoblaas*



*Ilustración 39. Detalle uniones verticales perfiles*

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE  
DE UNA CARAVANA***

***DOCUMENTO II- METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL  
TRABAJO***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

### Descripción de tareas, fases, equipos o procedimientos

El primer paso para empezar con el proyecto es estudiar cual es la situación del mercado de las caravanas- autocaravanas a nivel nacional e internacional. Una vez vista la tendencia del sector, se hace una búsqueda de los diferentes materiales que se utilizan para fabricar estos vehículos y cuáles son sus propiedades.

Con la intención de llevar a cabo una producción más sostenible se propone diseñar una envolvente fabricada a base de madera tanto por el exterior como por el interior. Para llevar a cabo la propuesta se opta por el uso de tableros contrachapados y perfiles de pino para mayor estabilidad. Como aislamiento térmico se escoge el XPS dada a su baja densidad y precio económico.

Una vez se han establecido las dimensiones de la caravana, se estudia la estructura como si fuera un pórtico y se plantean unas hipótesis de viento y sobre carga de nieve. Después de comprobar los cálculos se realiza el modelo 3D basándose en caravanas standard, y se replantean el montaje y las uniones.

Mediante unos ensayos hechos en la universidad y bibliografía se hace un cálculo aproximado de la resistencia térmica del modelo, y esta también se compara con el resto de los materiales.

Al terminar el modelo se calcula su peso y se compara con el de otros materiales. En base a estos datos, se estima cual va a ser el incremento de combustible que supone el transporte.

Además, se lleva a cabo una estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> que supone fabricar con otro tipo de material, y se comparan los resultados con los de incremento en combustible.

Por último, se analizan los resultados y se hace un estudio económico del prototipo.

### **Fase 1. Tendencia del sector**

Se estudia la demanda del sector en base a los datos que proporciona Aseicar (*Asociación Española de la industria y el comercio del caravaning*).

### **Fases 2-3. Estudio y clasificación de los productos del mercado**

Con la información que ofrecen las empresas fabricantes de caravanas, se hace una clasificación de las mismas según los materiales que se hayan utilizado para su construcción.

### **Fase 4. Propuesta de alternativas**

Una vez se ha realizado el estudio de las ofertas del mercado, se propone un nuevo diseño en base madera.

### **Fase 5. Búsqueda de materiales**

Se pretende utilizar material de certificación sostenible, y se escogen tableros contrachapados de la empresa GARNICA que puedan adaptarse a las prestaciones del proyecto.

### **Fase 6. Replanteo del diseño constructivo**

En esta fase se replantean la forma y las dimensiones de un modelo de envolvente con los materiales escogidos previamente.

### **Fase 7. Cálculo de resistencia mecánica**

Para asegurar que el diseño de la fase anterior es suficientemente resistente, se supone la estructura como un pórtico biempotrado y se aplican las cargas de viento y de sobrecarga de nieve y se verifica que  $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}}$ .

### **Fase 8. Comparativa de resistencia térmica**

Se hace una comparativa de aislamiento con los materiales del proyecto y los más utilizados actualmente en la construcción de caravanas. Para obtener los datos de

conductividad térmica de la madera y los paneles nido de abeja se llevan a cabo unos ensayos en la universidad.

### **Fase 9-10-11. Modelo 3D, montaje y uniones, planos**

Para realizar el modelo 3D se usa el Software CADWORK, con el mismo se diseñan las uniones entre los distintos componentes y se representan en planos las cotas generales.

### **Fase 12. Comparativa de peso**

Con los volúmenes obtenidos en CADWORK se calcula es peso del conjunto de la envolvente del proyecto y se compara con el peso que supondría diseñarlo con otro tipo de materiales.

### **Fase 13. Comparativa de emisiones**

Del mismo modo que se ha hecho con la comparativa del peso y el aislamiento térmico, se realiza un balance de emisiones debido al transporte y a los materiales de fabricación.

### **Fase 14. Análisis económico y de rentabilidad**

Por último se calcula el coste del modelo y se analiza su rentabilidad.

Diagrama de Gantt

Tabla 3. Diagrama de Gantt

	JUNIO					JULIO				AGOSTO				
	31-may.	7-jun.	14-jun.	21-jun.	28-jun.	5-jul.	12-jul.	19-jul.	26-jul.	2-ago.	9-ago.	16-ago.	23-ago.	30-ago.
Tendencia del sector	■													
Estudio de los productos en el mercado	■													
Clasificación de los productos en el mercado		■												
Propuesta de alternativa			■	■										
Búsqueda de materiales				■	■									
Replanteo de diseño constructivo						■	■							
Cálculo de resistencia mecánica						■	■							
Comparativa de resistencia térmica							■	■						
Modelo 3D								■	■	■				
Montaje y uniones											■			
Planos												■		
Comparativa de peso													■	
Comparativa de emisiones													■	
Análisis económico y de rentabilidad														■

## Cálculos

### Cargas de viento y nieve

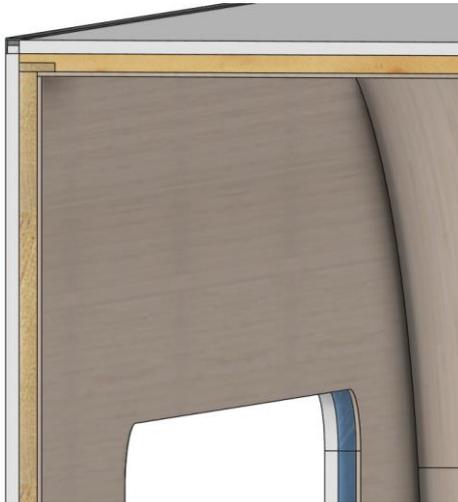
Con el fin de saber si el diseño es lo suficientemente resistente, se hace una estimación de los esfuerzos que puede sufrir la caravana durante su vida útil y se aplican sobre este.

### Diseño estructural

En lo que a estructura se refiere, al principio se estima que la distancia entre los rastreles (perfiles verticales) es de 1,5 m y el largo 2 m (la altura de la caravana).

El espesor de los perfiles se toma de 20 mm, a lo que se le añade el espesor de los tableros que son 5 mm y 15 mm, sumando un total de 40 mm

Se establece un ancho de perfiles de 50mm.



#### **Espesores:**

Piel exterior: **15 mm**

Perfiles: **20 mm**

Piel interior: **5 mm**

*Ilustración 40. Espesores de las diferentes capas del prototipo*

### Esfuerzos

En cuanto a esfuerzos, se tienen en cuenta las acciones del viento y la nieve. El viento en las caras laterales de la caravana, y la nieve en la cubierta.

Para aplicar estas cargas distribuidas se plantea la estructura como un pórtico empotrado y se aplican las fórmulas correspondientes para calcular el momento flector máximo en cada uno de los casos. Una vez se calcula este, se comprueba que los esfuerzos de tracción por flexión que sufre la estructura sean menores a la resistencia a flexión que proporciona el material.

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

Se toma como resistencia máxima a flexión la del pino radiata, 27 N/mm<sup>2</sup>.

## Hipótesis

### Esfuerzos de viento

Las hipótesis 1 y 2 se hacen en base a la fuerza que ejerce la velocidad del viento contra la pared lateral. En la primera toma la velocidad media del viento en el año 2020, con un valor de 9'8 km/h y en la segunda, lo que considera un viento muy fuerte con un valor de 70 km/h.

Cálculo de la fuerza que ejerce el viento sobre una superficie según su velocidad:

$$F_{viento} = 0'5 \cdot \rho_{aire} \cdot v_{viento}^2$$

Donde  $\rho_{aire}$  es la densidad del aire que tiene un valor aproximado de 1,25 kg/m<sup>3</sup>

Una vez conocida la fuerza que ejerce el viento por unidad de superficie (N/m<sup>2</sup>) se calcula cuál va a ser la carga distribuida que se va a ejercer sobre el lateral de pórtico, dividiendo el resultado anterior entre la distancia que hay entre los rastreles verticales, que es de 1,5 m.

$$p = \frac{F_{viento}}{dist. entre rastreles}$$

Una vez conocidos los esfuerzos, se aplica la teoría de los pórticos empotrados.

## Teoría de pórticos

En el siguiente apartado viene explicada la teoría de los pórticos biempotrados y las fórmulas del momento máximo a flexión.

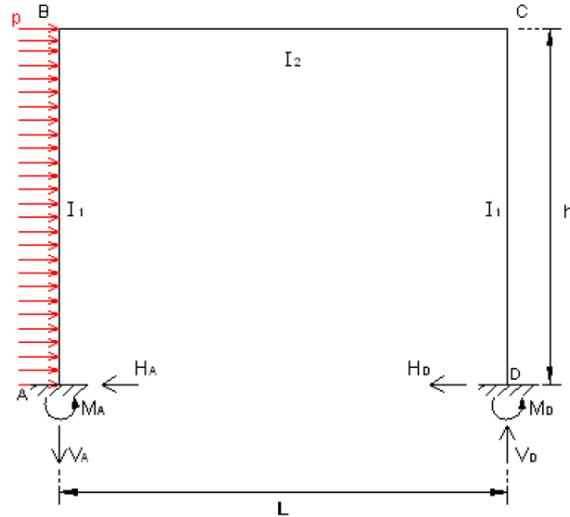


Ilustración 41. Pórtico empotrado con carga distribuida lateral

Diagrama de momento flector:

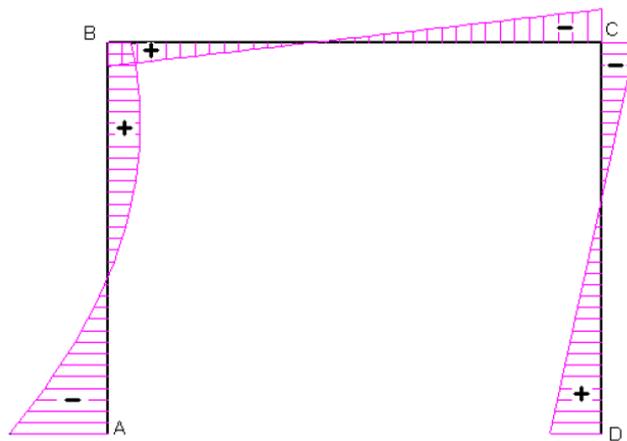


Ilustración 42. Diagrama momentos flectores carga horizontal

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{L}$$

$$V_A = V_D = \frac{q \cdot h^2 \cdot k}{L \cdot (6k + 1)}$$

$$H_A = ph - H_D$$

$$H_D = \frac{p \cdot h \cdot (2k + 3)}{8 \cdot (k + 2)}$$

$$M_A = -\frac{p \cdot h^2}{24} \left( 5 + \frac{2}{6k + 1} + \frac{1}{k + 2} \right)$$

$$M_B = \frac{p \cdot h^2}{24} \left( 1 - \frac{2}{6k + 1} + \frac{2}{k + 2} \right)$$

$$M_C = \frac{p \cdot h^2}{24} \left( 3 - \frac{2}{6k + 1} - \frac{2}{k + 2} \right)$$

$$M_D = \frac{p \cdot h^2}{24} \left( 3 + \frac{2}{6k + 1} - \frac{1}{k + 2} \right)$$

Sobrecarga de nieve

Las hipótesis 3 y 4 se han hecho en base a la sobrecarga de nieve adoptando primero un valor relativamente alto de 0,7 KN/m2 y después 1KN/m2.

Estos datos se extraen del CTE, DBSE-AE, el valor máximo en el estado es de 1KN/m2.

**Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas**

Capital	Altitud m	S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,6	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,7	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,4	Málaga	0	0,6	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,2	Orense / Ourense	130	0,2	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,4	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,2	Palencia	740	0,5	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	0	0,3	Palma de Mallorca	0	0,4	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	1.010	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	70	0,4	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2
	690	0,5						

Ilustración 43. Sobrecarga de nieve en capitales de provincias y ciudades autónomas DBSE-AE

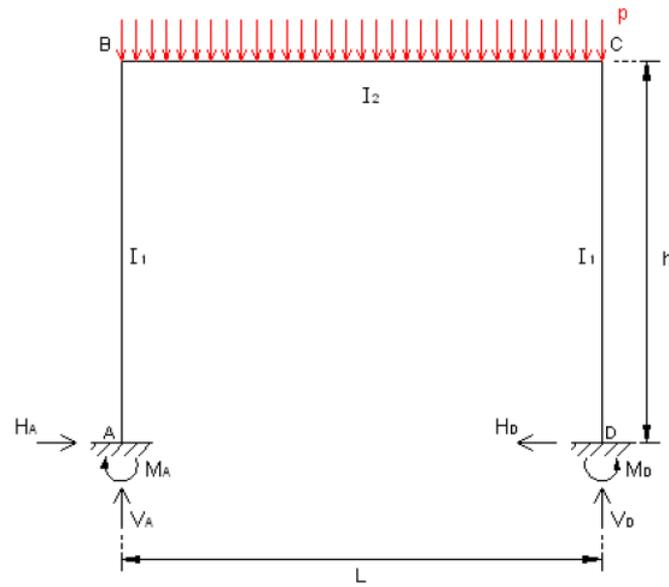


Ilustración 44. Pórtico empotrado con carga distribuida vertical

Diagrama de momento flector:

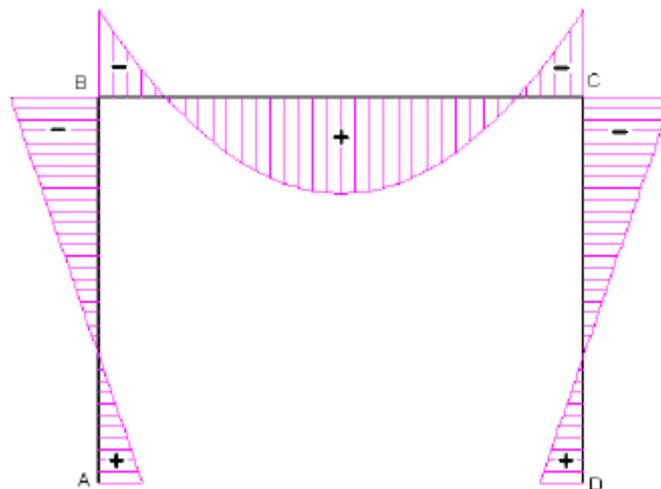


Ilustración 45. Diagrama de momentos flectores carga vertical

$$V_A = V_D = \frac{p \cdot L}{2}$$

$$H_A = H_D = \frac{p \cdot L^2}{4 \cdot h \cdot (k + 2)}$$

$$M_A = M_D = -\frac{p \cdot L^2}{12 \cdot (k + 2)}$$

$$M_B = M_C = -\frac{p \cdot L^2}{6 \cdot (k + 2)}$$

$$M_{max} = M_{BC} = -\frac{p \cdot L^2(3k + 2)}{24 \cdot (k + 2)} \text{ en } x = L/2$$

## Resultados de los esfuerzos

Una vez se resuelven las fórmulas citadas anteriormente, se calcula la tensión a tracción por flexión que genera el momento máximo:

$$\sigma_A = \frac{M_x \cdot y}{I_x}$$

Los cálculos se realizan tablas Excel que se exponen a continuación donde vienen expuestos todos los datos.

HIPÓTESIS 1. VIENTO 9,8 km/h

Datos	
v viento (km/h)	9,8
v viento (m/s)	2,72
densidad aire (kg/m <sup>3</sup> )	1,25
dist. Rastreles (m)	1,5

Datos	
q (KN/m)	6,95
h (m)	2
b (m)	2,3
I (mm)	266666,7

F (N/m <sup>2</sup> )	4,63
-----------------------	------

K	0,87
---	------

p (N/m)	6,95
---------	------

Momentos flectores	
Ma (Nm)	-7,79
Mb (Nm)	0,36
Mc (Nm)	-1,06
Md (Nm)	4,67

$\sigma$ max	
$\sigma$	-0,497

Tabla 4. Resultados hipótesis de viento 1

HIPÓTESIS 2. VIENTO 70 Km/h

Datos		Datos	
v viento (km/h)	70	q (KN/m)	354,46
v viento (m/s)	19,44	h (m)	2
densidad aire (kg/m <sup>3</sup> )	1,25	b (m)	2,3
dist. Rastreles (m)	1,5	l (mm)	266666,7
F (N/m <sup>2</sup> )	236,30	K	0,87
p (N/m)	354,46		
Momentos flectores			
Ma (Nm)	-397,69		
Mb (Nm)	18,53		
Mc (Nm)	-54,33		
Md (Nm)	238,36		
$\sigma$ max			
$\sigma$	-25,353		

Tabla 5. Resultados hipótesis de viento 2

**HIPÓTESIS 3. SOBRECARGA DE NIEVE 0,7 KN/m<sup>2</sup>**

Datos	
Sobre carga (kN/m <sup>2</sup> )	0,7
Dist perfiles (m)	1,04
p (KN/m)	0,728

Datos	
q (KN/m)	0,73
h (m)	2
b (m)	2,3
I (mm)	266666,7

K	0,87
---	------

Momentos flectores	
Ma (Nm)	111,84
Mb (Nm)	-223,68
Mc (Nm)	223,68
Md (Nm)	111,84
Mbc (Nm)	257,71

$\sigma$ max	
$\sigma$	16,429

Tabla 6. Resultados hipótesis sobrecarga de nieve 1

HIPÓTESIS 4. SOBRECARGA DE NIEVE 1 KN/m<sup>2</sup>

Datos	
Sobre carga (kN/m <sup>2</sup> )	1
Dist perfiles (m)	1,04

p (KN/m)	1,04
----------	------

Momentos flectores	
Ma (Nm)	159,77
Mb (Nm)	-319,54
Mc (Nm)	319,54
Md (Nm)	159,77
Mbc (Nm)	368,16

$\sigma$ max	
$\sigma$	23,470

Datos	
q (KN/m)	1,04
h (m)	2
b (m)	2,3
I (mm)	266666,7

K	0,87
---	------

Tabla 7. Resultados hipótesis sobrecarga de nieve 2

## Resistencia térmica y transmitancia de la envolvente

La resistencia térmica ( $R$ ) es la capacidad presenta un material para oponerse a un flujo de temperatura por unidad de superficie, tiene las unidades  $W/Km^2$ .

En los materiales homogéneos se calcula dividiendo es espesor entre la conductividad térmica del mismo,  $\lambda$  ( $W/Km$ )

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Cuando hay dos o más materiales homogéneos diferentes, la resistencia térmica total es la suma de la resistencia de cada una de las capas.

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

En este caso, la envolvente está constituida por tres capas diferentes, el contrachapado interior, el aislante y el contrachapado exterior. Los perfiles no se tienen en cuenta para este cálculo ya que su superficie es despreciable en el conjunto total, aunque el material que se elija tiene que tener una conductividad térmica parecida al resto para que no aparezcan humedades.

Una vez se ha calculado la resistencia térmica total, se calcula la transmitancia del conjunto,  $U$  ( $Km^2/W$ ), que es la inversa a la resistencia térmica.

$$U = \frac{e}{R_T}$$

Cuanto mayor sea la resistencia menor será la transmitancia, y por lo tanto mejores las propiedades aislantes del material.

A modo comparativa se calcula la transmitancia que tendría una caravana al-uso construida con un aislamiento de nido de abeja y poliestireno expandido, también construida con paneles de poliéster reforzadas con fibra de vidrio (PRFV) y por último la de un panel sándwich con caras de aluminio y núcleo de poliuretano de poro fino.

Para obtener los valores de la conductividad térmica de los contrachapados se ha recurrido a diferentes fuentes.

Por un lado, se ha cogido un valor de  $\lambda = 0,13 \text{ W/Km}$  obtenido de la ficha técnica de un tablero contrachapado con características similares fabricado por la empresa *Maderas de Llodio*.

Por otro lado, para poder contrastar con más valores, se han realizado dos ensayos en la universidad donde se han obtenido diversos valores para una madera de pino termotrataada y otra sin termotratar. De estos resultados se han escogido los valores medios, siendo  $\lambda = 0,2049 \text{ W/Km}$  y  $\lambda = 0,2505 \text{ W/Km}$  respectivamente.

Por último, para conseguir el valor de la conductividad del panel de nido de abeja, se ha hecho el ensayo citado anteriormente también, y el valor mínimo obtenido es de  $0,2105 \text{ W/km}$ .

El resto de los valores se obtienen de diversas fuentes de bibliografía en internet, donde se obtiene que el PRFV tiene un valor de conductividad térmica de  $0,065 \text{ W/Km}$  y los fabricantes de autocaravanas HYMER aseguran que sus vehículos tienen la misma resistencia térmica que un ladrillo macizo de 68 cm.

A continuación, se exponen las tablas Excel donde se llevan a cabo los cálculos.

## Ensayos para calcular la conductividad de los materiales

Los ensayos de conductividad se hacen para una madera termotratada, otra sin termotratar y un panel con núcleo de nido de abeja.

El material necesario para llevar a cabo el ensayo es; dos pedazos de tablero de madera termotratada y sin termotratar, dos pedazos de panel de núcleo de nido, y la máquina que mide sus propiedades.



*Ilustración 46. Tablero sin termotratar izq. tablero termotratado drcha.*



*Ilustración 47. Tablero sin termotratar*



*Ilustración 48. Tablero termotratado*



*Ilustración 49. Máquina para medir conductividad*

Una vez dispuestas las herramientas necesarias, se comienza con el ensayo. Para ello, se colocan dos pedazos del mismo material uno sobre el otro, y entre los dos se introduce una lengüeta. Para asegurar que el contacto entre las maderas y la lengüeta es bueno y continuo, se coloca un peso sobre el tablero superior.



*Ilustración 50. Ensayo de conductividad térmica*



*Ilustración 51. Ensayo de madera sin termotratar*

Se analizan tres situaciones diferentes aplicando diferentes potencias. En la primera se aplica 1 W, en la segunda 1'25 W y en la última 1'5 W. A excepción del panel de núcleo de nido de abeja que se realizan solo la primera y la segunda.

Este proceso se repite con todos los materiales. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			
CODUCTIVIDAD TÉRMICA W/Km	1 W	1'25 W	1'5 W
Madera termotratada	0'2137	0,2092	0,2049
Madera sin termotratar	0'2505	0,2668	0'2389
Panel de núcleo de nido de abeja	0'2105	-	0'2119

*Tabla 8. Resultados de ensayos de conductividad térmica*

Para realizar los cálculos, en el caso de las maderas se escogen los valores intermedios de los resultados, y en el caso de panel de núcleo de nido de abeja el menor.

## Resultados de resistencia térmica y transmitancia de la envolvente

En las siguientes tablas se muestran los resultados para las seis situaciones.

$$R_1 = \frac{e_1}{\lambda_{madera}}, \quad R_2 = \frac{e_2}{\lambda_{XPS}}, \quad R_3 = \frac{e_3}{\lambda_{madera}}$$

MADERAS DE LLODIO			
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		ESPESORES	
$\lambda$ madera	0,13	e1	0,005
$\lambda$ XPS	0,03	e2	0,02
		e3	0,015
RESISTENCIA TÉRMICA			
<b>R1</b>	0,038		
<b>R2</b>	0,667		
<b>R3</b>	0,115		
<b>Rt</b>	0,821		
<b>Ut</b>	1,219		

Tabla 9. Resistencia térmica maderas de Llodio

MADERA TERMOTRATADA			
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		ESPESORES	
$\lambda$ madera	0,2049	e1	0,005
$\lambda$ XPS	0,03	e2	0,02
		e3	0,015
RESISTENCIA TÉRMICA			
<b>R1</b>	0,024		
<b>R2</b>	0,667		
<b>R3</b>	0,073		
<b>Rt</b>	0,764		
<b>Ut</b>	1,308		

Tabla 10. Resistencia térmica madera termotratada

MADERA SIN TERMOTRATAR			
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		ESPESORES	
$\lambda$ madera	0,2505	e1	0,005
$\lambda$ XPS	0,03	e2	0,02
		e3	0,015
RESISTENCIA TÉRMICA			
R1	0,020		
R2	0,667		
R3	0,060		
Rt	0,747		
Ut	1,340		

Tabla 11. Resistencia térmica madera sin termotratar

$$R_1 = \frac{e_1}{\lambda_{madera}}, \quad R_2 = \frac{e_2}{\lambda_{XPS}}, \quad R_3 = \frac{e_3}{\lambda_{nido\ de\ abeja}}$$

PANEL NIDO DE ABEJA			
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		ESPESORES	
$\lambda$ madera	0,2505	e1	0,005
$\lambda$ XPS	0,03	e2	0,02
$\lambda$ nido de abeja	0,2105	e3	0,005
RESISTENCIA TÉRMICA			
R1	0,020		
R2	0,667		
R3	0,024		
Rt	0,710		
Ut	1,408		

Tabla 12. Resistencia térmica panel nido de abeja

$$R_1 = \frac{e_1}{\lambda_{madera}}, \quad R_2 = \frac{e_2}{\lambda_{XPS}}, \quad R_3 = \frac{e_3}{\lambda_{PRFV}}$$

PRFV			
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		ESPESORES	
$\lambda_{madera}$	0,2505	e1	0,005
$\lambda_{XPS}$	0,03	e2	0,02
$\lambda_{PRFV}$	0,065	e3	0,003
<b>RESISTENCIA TÉRMICA</b>			
<b>R1</b>	0,020		
<b>R2</b>	0,667		
<b>R3</b>	0,046		
<b>Rt</b>	0,733		
<b>Ut</b>	1,365		

Tabla 13. Resistencia térmica panel PRFV

Por último, los fabricantes de autocaravanas HYMER aseguran que su envolvente tiene la misma resistencia térmica que un ladrillo macizo de 68 cm, por lo tanto, el resultado sería aproximadamente el siguiente.

$$\lambda_{ladrillo\ macizo} = 0,85 \text{ W/m K}$$

$$e = 0,68 \text{ m}$$

$$R_{aluminio\ con\ poliuretano} = \frac{0,68 \text{ m}}{0,85 \text{ W/m K}} = 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$$

## Peso de la estructura

Una vez diseñada toda la envolvente se calcula su peso aproximado, para ello son necesarios los datos del volumen de cada material y su densidad.

El volumen de cada componente se extrae *CADWORK*, este es útil para calcular el peso real del prototipo.

Después se comparan los resultados con unas aproximaciones de cuanto pensaría la misma caravana fabricada con PRFV y panel de aluminio, para esto se van a modificar los espesores en función del material.

En los casos del panel de PRFV y el de aluminio, los espesores varían, por lo tanto, se divide el volumen de la piel exterior entre el espesor real y se multiplica por el espesor del material que se esté calculando

$$Vol_{PRFV} = \frac{0,5911 \text{ m}^3}{15 \text{ mm}} \cdot 3 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}^3$$

$$Vol_{AL_{ext}} = \frac{0,588 \text{ m}^3}{15 \text{ mm}} \cdot 1,5 \text{ mm} = 0,0588 \text{ m}^3$$

$$Vol_{AL_{int}} = \frac{0,1822 \text{ m}^3}{5 \text{ mm}} \cdot 1,5 \text{ mm} = 0,0546 \text{ m}^3$$

El peso del aislamiento se desprecia porque es mínimo, y en el caso del panel de PRFV se supone que el panel interior es el mismo que en el prototipo, es decir, un tablero contrachapado decorativo.

Se recuerda que estos datos son meramente orientativos ya que no se ha podido encontrar bibliografía donde se muestren exactamente cuáles son los espesores que utilizan los fabricantes.

**CONTRACHAPADO DE MADERA**

	Espesor (mm)	m3	kg/m3	kg
<i>Piel exterior (mad.)</i>	15	0,5911	420	248,26
<i>Piel interior (mad.)</i>	5	0,1822	420	76,52
<i>Perfiles</i>	20	0,0924	510	47,12
<i>Peso total</i>				371,91

*Tabla 14. Peso estructura de madera*

**POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO**

	Espesor (mm)	m3	kg/m3	kg
<i>Piel exterior (PRFV)</i>	3	0,11822	1400	165,5
<i>Piel interior (mad.)</i>	5	0,1822	420	76,52
<i>Peso total</i>				242,03

*Tabla 15. Peso estructura PRFV*

**ALUMINIO CON POLIURETANO**

	Espesor (mm)	m3	kg/m3	kg
<i>Piel exterior (Al)</i>	1,5	0,05911	2700	159,59
<i>Piel interior (Al)</i>	1,5	0,05466	2700	147,582
<i>Peso total</i>				307,18

*Tabla 16. Peso estructura Aluminio*

## Impacto del peso en el combustible

En este aspecto la madera es el material de construcción más pesado. Esto supone un incremento de combustible a la hora de transportar la caravana.

Según un estudio realizado por *Chevrolet*, el incremento de combustible es de aproximadamente medio litro cada cien kilómetros por cada 100 kg de incremento de peso.

Conociendo el incremento de combustible en función del peso, y las diferencias de peso entre los tres prototipos es posible calcular cual es la diferencia que supone en combustible.

$$\Delta peso_{MC\_PRFV} = 129,88 \text{ kg}$$

$$\Delta peso_{MC\_Al} = 64,73 \text{ kg}$$

$$\Delta comustible_{MC-PRFV} = \frac{129,88 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} \cdot 0,5 \text{ l} = 0,65 \text{ l cada } 100 \text{ km}$$

$$\Delta comustible_{MC-Ak} = \frac{64,73 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} \cdot 0,5 \text{ l} = 0,323 \text{ l cada } 100 \text{ km}$$

En el siguiente gráfico se muestra cual sería aproximadamente el incremento de combustible respecto a una envolvente fabricada con PRFV y con Aluminio en un trayecto de 3500 km.

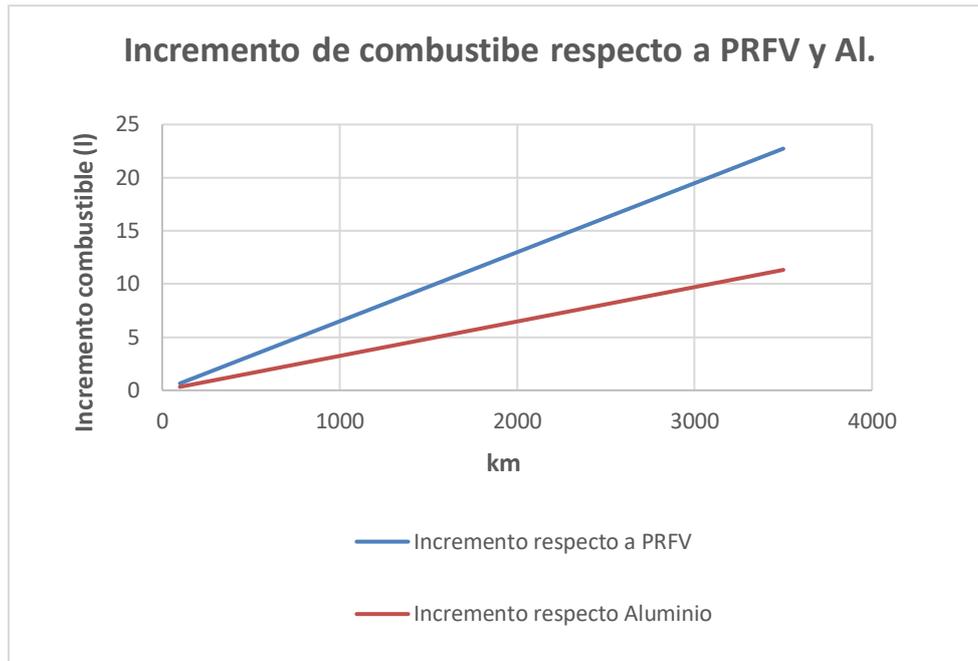


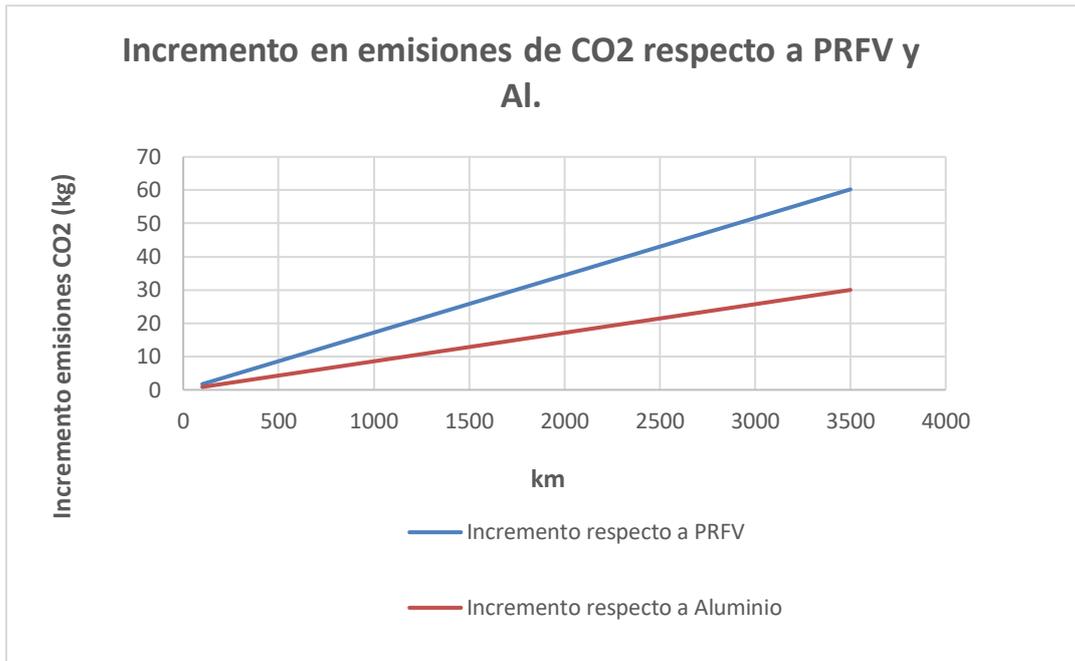
Ilustración 52. Gráfico de incremento de combustible

La mayor diferencia se da con los paneles PRFV con un incremento de 22,73 l y 11,32 l en el caso del aluminio.

Teniendo en consideración que 1l de combustible Diesel emite 2,65 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, se incrementarían las emisiones debido al transporte 60,23 kg CO<sub>2</sub> en el caso del PRFV, y 29,99 kg de CO<sub>2</sub> para el caso del aluminio.

$$22,73 \text{ l} \cdot 2,65 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}} = 60,23 \text{ kg CO}_2 \text{ emitido}$$

$$11,32 \text{ l} \cdot 2,65 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}} = 29,99 \text{ kg CO}_2 \text{ emitido}$$



*Ilustración 53. Gráfico incremento de emisiones de CO2*

## Impacto medioambiental de los materiales escogidos

A continuación, se hace una aproximación del impacto medioambiental que supone la elección de los materiales. Los resultados que se obtengan son orientativos ya que no es posible muchos datos sobre la construcción de estos vehículos.

Según un estudio de la *Fundación universidad de América en Bogotá* el Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) genera unas emisiones de 5,6 kg CO<sub>2</sub> eq. Por panel.

	PRFV (Polietileno)	PRFV (Poliéster)
Resultados por	Pallet	Panel
Energía usada (MJ/kg)	1400	104,188
Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg/kg)	75,3	5,60
DQO en el agua (mg/kg)		
Emisiones de SO <sub>x</sub> (g/kg)	289	21,51
DBO en el agua (mg/kg)	414	30,81
Material particulado (g/kg)		
Emisiones de NO <sub>x</sub> (g/kg)	513	38,18
Emisiones de CO (g/kg)	74,3	5,53
Metano (g)		
Fosfatos en agua (mg/kg)	0,59	0,04
Nitratos en agua (mg/kg)	1,72	0,13

Ilustración 54. Emisiones PRFV

Anteriormente, se ha aproximado que el peso de PRFV para la envolvente de una caravana ronda los 165,5 kg.

$$5,6 \text{ kg } CO_2 \cdot 165,5 \text{ kg} = 926,8 \text{ kg } CO_2 \text{ emitido}$$

En el caso del aluminio, se obtienen los datos de un estudio publicado por *Befesa*. Se muestran las emisiones para cada uno de los procesos de la fabricación del aluminio que se explica a continuación.

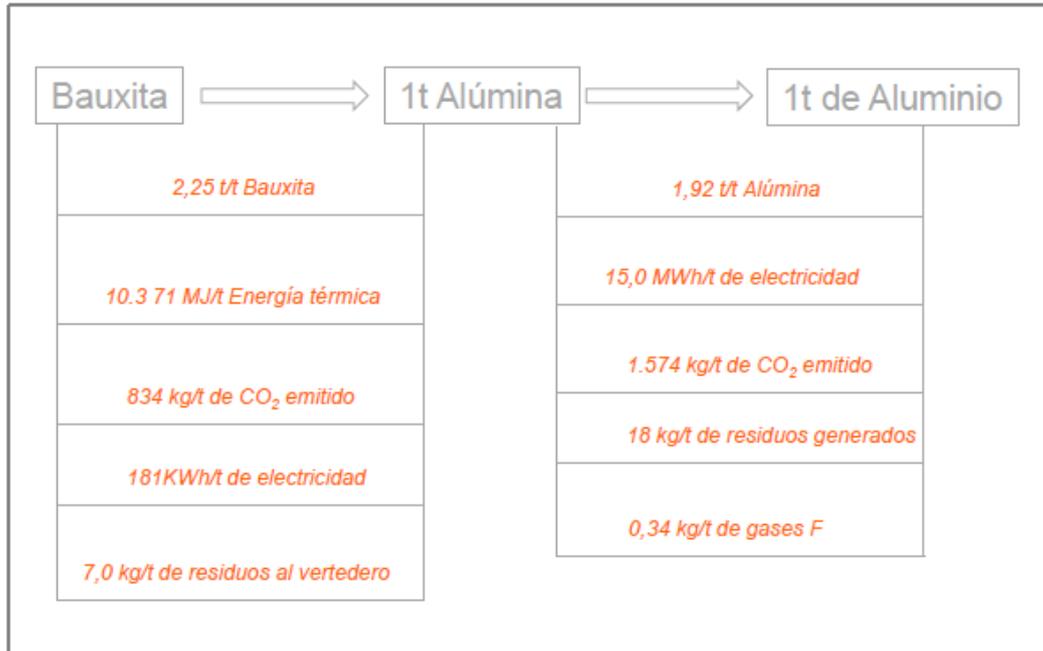


Ilustración 55. Emisiones CO<sub>2</sub> proceso de fabricación de aluminio

El proceso de fabricación del aluminio comienza con la extracción de la bauxita, mineral que abunda en la corteza terrestre. De la bauxita se extrae la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mediante el proceso Bayer, y después mediante electrólisis se obtiene el aluminio de la alúmina.

En la extracción de 2,25 kg de Bauxita se obtienen 1,92 kg de alúmina de los cuales 1kg llegará a ser aluminio.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente en el apartado de los pesos, se aproxima que serán necesarios 307,18 kg de aluminio para la construcción de la envolvente.

$$307,18 \text{ kg Al} \cdot 2,25 \frac{\text{kg Bauxita}}{\text{kg Al}} = 691,15 \text{ kg Bauxita}$$

$$307,18 \text{ kg Al} \cdot 1,92 \frac{\text{kg alúmina}}{\text{kg Al}} = 589,78 \text{ kg Alúmina}$$

En base a las emisiones que se muestran en la tabla, el valor de Kg CO<sub>2</sub> emitidos:

$$0,691 \text{ t Bauxita} \cdot 834 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \text{ CO}_2 \text{ emitido} = 576,29 \text{ kg CO}_2 \text{ emitido}$$

$$0,589 \text{ t alúmina} \cdot 1574 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \text{ CO}_2 \text{ emitido} = 927,08 \text{ kg CO}_2 \text{ emitido}$$

$$576,29 \text{ kg CO}_2 + 927,08 \text{ kg CO}_2 = 1503,27 \text{ kg CO}_2 \text{ emitidos en total}$$

## Análisis de resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en todos los cálculos precedentes y se obtienen conclusiones de los mismos.

### Análisis de los resultados de resistencia mecánica

En lo que a resistencia mecánica se refiere, se comprueba que los materiales son capaces de soportar las sollicitaciones de esfuerzos holgadamente ya que el momento a flexión máxima admisible tiene un valor de 27 N/mm<sup>2</sup>

<b>HIPOTESIS</b>	<b>MOMENTO A FLEXIÓN MAX. N/mm<sup>2</sup></b>
1. CARGA DE VIENTO NORMAL 9,8 km/h	0,497
2. CARGA DE VIENTO FUERTE 70 km/h	25,353
3. SOBRECARGA DE NIEVE 0,7 KN/m <sup>2</sup>	16,429
4. SOBRECARGA DE NIEVE 0,7 KN/m <sup>2</sup>	23,470

*Tabla 17. Resultados de hipótesis de cargas*

### Análisis de los resultados de la resistencia térmica

En cuanto a la resistencia térmica, en los resultados se demuestra la superioridad de las características térmicas de la madera respecto a otros materiales. Esto supondría un menor gasto en calefacción y en ventilación del habitáculo, así como mayor confort para los usuarios.

El panel compuesto de aluminio y poliuretano compite con la madera en este aspecto, aunque no lo supera.

<b>MATERIAL</b>	<b>RESISTENCIA TÉRMICA</b> $m^2K/W$
1. MADERAS DE LLODIO	0,812
2. MADERA TERMOTRATADA	0,764
3. MADERA SIN TERMOTRATAR	0,747
4. PANEL NIDO DE ABEJA	0,71
5. PANEL PRFV	0,733
6. ALUMINIO CON POLIURETANO	0,8

*Tabla 18. Resultados resistencia térmica*

### Análisis de los resultados del peso

La estructura más pesada es la que se ha fabricado con tableros contrachapados, suponiendo un incremento de 129,88 kg respecto al PRFV y 64,73 kg respecto al panel sándwich de aluminio.

<b>MATERIALES</b>	<b>PESO (kg)</b>
1. CONTRACHAPADO DE MADERA	371,91
2. PANEL PRFV	242,03
3. ALUMINIO CON POLIURETANO	307,18

*Tabla 19. Resultados peso de envolvente*

### Impacto del peso en el combustible

Que la estructura sea más pesada tiene sobre todo dos inconvenientes: limitación del mobiliario interior para no superar el límite de peso establecido, y el incremento de combustible en el transporte.

<b>INCREMENTO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>litros / 3500 km</b>
1. Incremento combustible por el uso de paneles PRFV	22,73
2. Incremento combustible por el uso de Aluminio	11,32

*Tabla 20. Incremento de combustible*

<b>INCREMENTO DE EMISIONES POR COMBUSTIBLE</b>	<b>litros / 3500 km</b>
1. Incremento emisiones por el uso de paneles PRFV	60,23
2. Incremento emisiones por el uso de Aluminio	29,99

*Tabla 21. Incremento de emisiones por combustible*

### Impacto ambiental de los materiales

En la siguiente tabla se exponen los resultados de las aproximaciones de kg CO<sub>2</sub> emitidos en los procesos de fabricación con diferentes materiales.

<b>MATERIALES</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> emitidos</b>
Incremento emisiones por el uso de paneles PRFV	926,8
Incremento emisiones por el uso de Aluminio	1503,27

*Tabla 22. Incremento de emisiones en función del tipo de materiales*

Balance entre impacto ambiental debido a las emisiones y los materiales utilizados.

De estos resultados se obtiene que para compensar el impacto que deja la construcción con PRFV el vehículo debería hacer 53.856,88 km durante su vida útil, y para el caso del aluminio la cantidad de kilómetros a recorrer suma 175.439,97 km. Se comparan los kilómetros con la distancia entre Bilbao y Ámsterdam.

53.856,88 km → 38 viajes (16 ida-vuelta)

175.439,97 km → 124 viajes (62 ida- vuelta)

## Conclusiones

La madera demuestra ser lo suficientemente resistente para este tipo de aplicaciones, incluso superando las sollicitaciones con holgura, esto lo convierte en un material idóneo para dar un enfoque sostenible al sector de la automoción y en particular al del caravaning, que tal y como demuestran las estadísticas se trata de un sector con una tendencia creciente en los últimos años.

Respecto a las capacidades de resistencia térmica, aporta mayor confort a los usuarios gracias a sus características, lo que supone menos emisiones debidas a la calefacción y ventilación, así como menor coste económico a los usuarios.

En referencia al peso, la solución planteada presenta un ligero incremento, lo que repercute en el consumo de combustible, aunque este se podría ver compensado con el reducido impacto ambiental que supone la fabricación en madera.

Cabe destacar que este es el primer prototipo construido en madera de una solución industrializada de una caravana de tamaño estándar y los recursos que se han utilizado para el diseño han sido limitados. Se concluye que con la garantía de que la madera pueda cumplir su función estructural, se abre una línea de desarrollo del producto para seguir optimizando el modelo del proyecto.

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE  
DE UNA CARAVANA***

***DOCUMENTO IV-ASPECTOS ECONÓMICOS***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## ASPECTOS ECONÓMICOS

### Descripción del presupuesto

En este apartado se detalla la valoración económica del proyecto, basada en su diseño y el desarrollo. En el presupuesto se incluyen los costes de los materiales, de su fabricación y montaje, y otros recursos auxiliares que son necesarios.

Se diseña el presupuesto para un único prototipo, lo que supone un coste elevado de la pieza y un coste nulo de inversión en maquinaria, si bien, se tiene en cuenta el coste horario de ciertas máquinas.

No está dentro del alcance del proyecto el coste que conlleva hacer una caravana con todos sus componentes.

En el presupuesto se diferencian dos tipos de costes; los costes directos, que engloban la adquisición de material, fabricación propia y costes de ingeniería y montaje; y los costes indirectos que engloban el consumo eléctrico y los servicios administrativos y de compras.

## Costes directos

### Coste de materiales

En este apartado se tiene en cuenta que todos los importes incluyen el Impuesto sobre Valor Añadido (IVA) y el porte hasta el lugar de trabajo. No se incluye la manipulación, corte o montaje de los elementos.

<b>COSTE MATERIALES</b>	<b>m2</b>	<b>€/m2</b>	<b>€</b>
Tablero contrachapado 5 mm	50,48	13,47	679,97 €
Tablero contrachapado 15 mm	39,41	58,15	2.291,50 €
Placa de XPS 20 mm	35,05	4,3	150,72 €
	<b>ml</b>	<b>€/ml</b>	<b>€</b>
Perfil madera aserrada pino radiata 20x50 mm	51,45	2,5	128,63 €
Perfil madera aserrada pino radiata 20X60 mm	8,8	3,3	29,04 €
Perfil madera aserrada p.r curvado 20X60 mm	3,16	5	15,80 €
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>3.295,64 €</b>

Tabla 23. Coste de materiales

### Costes de fabricación y componentes del diseño, ingeniería y montaje

Estos costes se relacionan con la cantidad de horas que se han invertido para fabricar los diferentes componentes de la envolvente y el precio horario de cada máquina, así como, y las horas empleadas en su montaje.

<b>FABRICACIÓN COMPONENTES DE DISEÑO</b>	<b>horas</b>	<b>€/hora</b>	<b>€</b>
Herramientas eléctricas (taladro, sierra...)	1,5	5	7,50 €
Máquina corte tablero contrachapado	0,75	50	37,50 €
Mecanizado perfiles de madera	4,5	25	112,50 €
Maquina corte panel XPS	1,5	50	75,00 €
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>232,50 €</b>

Tabla 24. Costes de fabricación componentes del diseño

<b>COSTE DE INGENIERÍA Y MONTAJE</b>	<b>personal.</b>	<b>horas</b>	<b>€/hora pers.</b>	<b>€</b>
Montaje paneles	2	1,5	13	39,00 €
Montaje perfiles	2	3	13	78,00 €
Montaje paneles XPS	1	1,5	13	19,50 €
<b>COSTE TOTAL</b>				<b>136,50 €</b>

Tabla 25. Coste de ingeniería y montaje

## Costes indirectos

Se han considerado los que derivan de la realización de un proyecto y no han sido incluidos anteriormente ya que propiamente no forman parte del proyecto, pero son necesarios para su realización.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>€</b>
Consumo eléctrico 0,1 €/KWh	90,00 €
Otros consumos (agua, climatización, etc..)	65,00 €
Servicios administrativos y de compras	95,00 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>250,00 €</b>

Tabla 26. Costes indirectos

## Costes totales

<b>COSTES</b>	<b>€</b>
Materiales	3.295,64 €
Fabricación y componentes del diseño	232,50 €
Ingeniería y montaje	136,50 €
Costes indirectos	250,00 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>3.914,64 €</b>

## **Análisis de rentabilidad**

Si se comparan el prototipo realizado con la fabricación en otros materiales, se ha de tener en cuenta que en la fabricación con PRFV o aluminio no son necesarios los perfiles de pino ni su mecanizado, así como también se reducirían gastos en el mecanizado de paneles de XPS ya que no requiere tantos cortes. Además, en los procesos de fabricación actuales existe un montaje en cadena que también disminuye los costes.

Siguiendo la línea del objetivo del proyecto, la construcción a base de materiales alto-emisivos y no renovables también suponen un “coste ambiental” que se vería menguado con el uso de materiales renovables y sostenibles como la madera.

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

***SOLUCIÓN EN BASE MADERA DE LA ENVOLVENTE  
DE UNA CARAVANA***

***DOCUMENTO V- BIBLIOGRAFÍA***

<b>Estudiante</b>	<i>Jauregui Bau, Leire</i>
<b>Director</b>	<i>Cuadrado Rojo, Jesús</i>
<b>Departamento</b>	<i>Ingeniería mecánica</i>
<b>Curso académico</b>	<i>2020-2021</i>

*Bilbao, 10, 9, 2021*

## BILBIOGRAFÍA

- QuelartBarcelona, R. (2020, 23 agosto). *El sector de la autocaravana vive su verano dorado: "La demanda es exagerada"*. La Vanguardia.  
<https://www.lavanguardia.com/economia/20200823/482809885155/caravanas-vacaciones-alquiler-venta-coronavirus.html>
- Spa, V. (2013, 5 mayo). *Vetroresina Spa*. Vetroresina.  
<https://www.vetroresina.com/es/p/12/paneles-de-fibra-de-vidrio-para-autocaravanas-y-caravanas.html>
- *Garnica | Fabricantes de Tableros Contrachapados de Madera*. (s. f.-c). Garnica. Recuperado 21 de mayo de 2021, de <https://www.garnica.one/>
- *Vehículo de Energía Solar con Tablero Contrachapado | Garnica*. (s. f.). Garnica. Recuperado 21 de mayo de 2021, de <https://www.garnica.one/proyectos/vehiculo-solar-mo.html>
- *Cocoon, caravana que cualquier coche puede llevar*. (s. f.). Garnica. Recuperado 21 de mayo de 2021, de <https://www.garnica.one/proyectos/cocoon-mini-caravana-ygo.html>
- (2021, 8 junio). *Crecimiento lento pero constante en el sector del Caravaning en lo que llevamos de año*. Aseicar. <https://aseicar.org/crecimiento-lento-pero-constante-en-el-sector-del-caravaning-en-lo-que-llevamos-de-ano>
- (2021a, marzo 26). *Monocasco en fibra de vidrio*. Wingamm.  
<https://www.wingamm.com/es/monocasco-en-fibra-de-vidrio/>
- Challenger. (s. f.). *La tecnología IRP: innovar para viajar mejor*. Recuperado 16 de agosto de 2021, de <https://www.challenger-autocaravanas.es/ventajas-del-challenger/la-estructura-irp/>
- *Tecnología de carrocería PUAL 2.0 | HYMER*. (s. f.). HYMER. Recuperado 19 de agosto

de 2021, de <https://www.hymer.com/es/es/modelos/tecnologia-innovacion/pual>

- *Valoración del gasto energético que supone la fabricación de los materiales utilizados en la mejora energética de las viviendas existente. (2016, julio).*