



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

# **DISEÑO DE UNIÓN ESTRUCTURAL DE VEHÍCULO FRIGORÍFICO OBTENIDA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D**

**Alumno: Jesús Prieto Quesada**

Tutor: Daniel Carazo Álvarez

Dpto: Ingeniería mecánica y minera



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Ingeniería Mecánica y minera

Don Daniel Carazo Álvarez, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:- Diseño de unión estructural para vehículos frigoríficos mediante impresión 3D, –que presenta Jesús Prieto Quesada, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2019

El alumno:

Los tutores:

Jesús Prieto Quesada

Daniel Carazo Álvarez

## Índice

Escuela Politécnica Superior de Jaén.....	1
Grado en Ingeniería Mecánica .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. Objetivos del trabajo.....	5
1.2. Historia de la carrocería .....	6
1.3. Empresa colaboradora .....	7
1.4. Sector carrocerero.....	8
1.5. Nomenclatura.....	9
1.5.1. Nomenclatura de la caja .....	9
1.5.2. Nomenclatura carrocería .....	10
2. CÁLCULO DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL.....	12
2.1. Introducción .....	12
2.2. Cálculo estructural .....	12
2.3. Datos de estudio .....	14
2.4. Cálculo de esfuerzos.....	14
3. DISEÑO NUEVA PERFILERÍA.....	16
3.1. Requisitos del diseño .....	16
3.2. Características de la nueva perfilería .....	16
3.2.1. Facilidad de montaje.....	16
3.2.2. Unión interior-exterior .....	17
3.2.3. Unión perfil – panel sándwich .....	17
3.3. Primera fase de diseño .....	19
3.4. Segunda fase de diseño.....	20
3.5. Material de fabricación .....	22
4. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS .....	26
4.1. Análisis en elementos finitos. Introducción .....	26
4.1.1. Software de simulación.....	27
4.1.2. Modelo CAD .....	27
4.2. Información de modelo.....	29
4.3. Propiedades de estudio.....	31
4.4. Unidades.....	31
4.5. Propiedades de material .....	32

4.6.	Cargas y sujeciones .....	33
4.7.	Información de contacto .....	34
4.8.	Información de malla .....	34
4.9.	Información de malla-Detalles .....	34
4.10.	Fuerzas resultantes .....	37
4.10.1	Fuerzas de reacción .....	37
4.10.2	Momentos de reacción .....	37
4.11.	Resultados del estudio .....	37
5.	IMPRESIÓN 3D .....	40
5.1.	Industria 4.0 .....	40
5.1.1	Elementos que conforman la Industria 4.0 .....	41
5.2.	Fabricación aditiva .....	43
5.3.	Extrusión de material.....	43
5.4.	Proceso de impresión 3D del prototipo.....	44
5.4.1	Impresora seleccionada.....	44
5.4.2.	Software de impresión .....	45
5.4.2.	Problemas en la impresión del prototipo .....	45
6.	PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	52
6.1	Programa experimental .....	52
6.2	Útiles de ensayo.....	52
7.	CONCLUSIONES.....	56
8.	TRABAJOS FUTUROS .....	59
9.	ANEXOS .....	61
	Bibliografía .....	62

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivos del trabajo**

El objetivo del presente trabajo, es el diseño, investigación, desarrollo e implantación de un nuevo tipo de perfilería destinada al sector carrocero.

Con este se pretende dar un paso más en la investigación de nuevos materiales implantados en este sector, el cuál puede presumir de un elevado interés industrial, inquietudes por parte de sus técnicos, debido a una alta competencia.

Se busca una solución con facilidad de implantación, materiales respetuosos con el medio ambiente, resistencia estructural, y conseguir estos objetivos con herramientas de la industria 4.0.

Realizar el proceso completo de diseño de una pieza de uso industrial, desde el establecimiento de los condicionantes del diseño hasta la validación experimental del prototipo, pasando por un análisis numérico completo del problema.

Aplicar el método de elementos finitos para la solución de problemas reales en la industria, construyendo y optimizando modelos, y realizando simulaciones para establecer el comportamiento resistente.

Profundizar en el conocimiento de elementos de unión, e investigar el comportamiento de uniones estructurales realizadas con elementos fabricados mediante impresión 3D.

Aprender a diseñar y realizar un programa experimental partiendo de la normativa existente, estableciendo número y geometría de las muestras, metodología de ensayo, adquisición de datos, procesamiento de resultados y valoración del error cometido.

Adquirir conocimientos sobre los materiales empleados en la impresión 3D y sus propiedades mecánicas.

## 1.2. Historia de la carrocería

La carrocería, no es más, que otra gran herramienta creada por la necesidad del transporte, en determinadas condiciones, ya sea de capacidad, o condiciones térmicas de conservación o refrigeración. Es por ello, que en este sector se distinguen entre varios tipos de carrocerías, comúnmente denominadas, carrocería paquetera, carrocería isoterma y carrocería refrigerada.

En la actualidad, se utilizan diversidad de materiales, los cuales cada uno de ellos tienen su función primordial en la carrocería, como por ejemplo el poliuretano como aislante térmico, la madera como elemento estructural al igual que el aluminio.

Antiguamente, el aluminio componía prácticamente el 90 % de la carrocería, ya que era un material con un gran balance entre resistencia y ligereza. Aplicando distintas aleaciones, espesores o disposición del material, se conseguía una carrocería. Es por ello, que el salto industrial que vivió este sector cuando el aluminio fue siendo reemplazado poco a poco por otros materiales, fue rechazado por los carroceros más experimentados del sector. Fue difícil, pero al fin, acabó reemplazando prácticamente el 75 % del aluminio que se utilizaba en elemento de una carrocería básica, por poliéster, poliuretano, madera, etc.

En la actualidad, el aluminio, se utiliza como elemento estructural exclusivamente. Se trata de perfilaría de pequeño espesor la cual es la encargada de una perfecta unión entre componentes de la carrocería. Con este proyecto, se pretende avanzar un paso más en la investigación de este campo, y sustituir la perfilaría estructural de la carrocería, por una perfilaría, rápida, resistente, ligera, aislante y reciclable.



### 1.3. Empresa colaboradora

RecuBox Ibérica S.L, es la empresa colaboradora en este proyecto, empresa de la que formo parte en el departamento de ingeniería, la cual ha apoyado este proyecto en todo momento.



Empresa constituida en 2017, una empresa joven, aunque experimentada. A cargo de la misma se encuentra personal, cuya vida laboral siempre ha estado relacionada en este sector, personal con gran experiencia y dedicación.

RecuBox Ibérica, cuenta con una ideología de innovación admirable, una empresa que elimina soluciones a problemas existentes para encontrar las suyas propias, de manera que incentiva a su personal tanto al desarrollo propio ingenieril, como a una implicación profesional, la cual es la que hace posibles proyectos como este.

#### **1.4. Sector carrocerero**

En el sector de la carrocería existe relación entre distintas empresas con diferente actividad. Los denominados carroceros, empresas de equipo de frío, las cuales son aquellas encargadas de la fabricación de sistemas de refrigeración para vehículos de transporte y normalmente, también son las encargadas de instalar su producto, ya que hace falta cualificación especializadas para la instalación de estos equipos.

El sector de la carrocería, está dividido por los denominados carroceros de primera fase y segunda fase. RecuBox Ibérica S.L corresponde a “Fabricante de carrocerías de primera fase” en la actualidad. Son aquellas empresas dedicadas a la fabricación de nuevas carrocerías y/o reparaciones.

Los carroceros de primera fase tienen el objetivo de cumplir los requisitos especificados por cada cliente, ya que, aunque el sector de la carrocería industrial es único, no lo es la actividad a la que está dirigida la carrocería, es por ello, que a cada cliente se le debe facilitar toda la información necesaria sobre diseño, estudio de resistencia, estudios térmicos, homologaciones y un largo etc. Los carroceros de primera fase deben ser los más experimentados en la materia, especialistas en su producto e innovadores.

Correspondiente a los “Fabricantes de carrocerías de segunda fase” son aquellas empresas, cuya actividad profesional se basa en carrozar el producto terminado de los carroceros de primera fase. Esto es el anclaje de la caja (paquetera, isoterma o refrigerada) al chasis del vehículo. Estas empresas deben estudiar los diferentes sistemas de anclajes que prestan las distintas marcas de vehículos.

En muchas ocasiones, existe una gran relación dependiente entre carroceros de primera y segunda fase, de manera, que, en primera fase, se diseña un sobrechasis adaptado a cada vehículo para así en la segunda fase, el chasis y el sobrechasis simplemente se ha de unir mediante elementos suministrados por

proveedores comerciales o incluso el propio sobrechasis sirve de elemento de unión entre el vehículo y la caja.

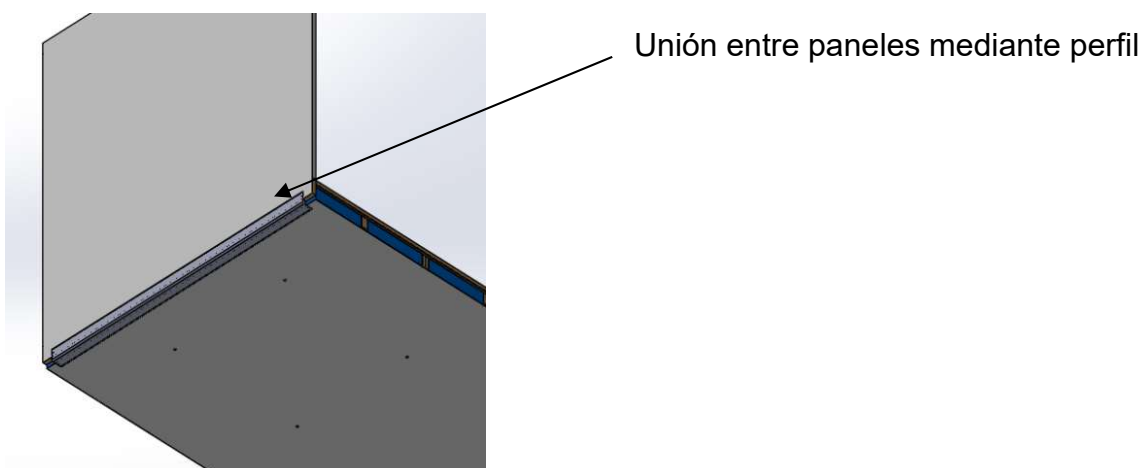
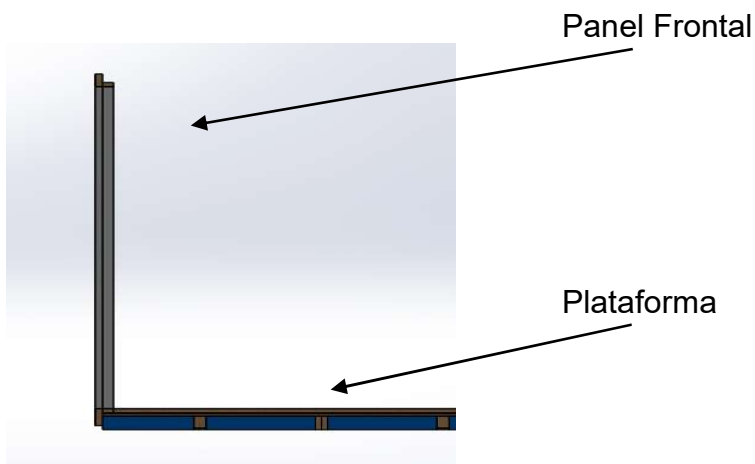
## 1.5. Nomenclatura

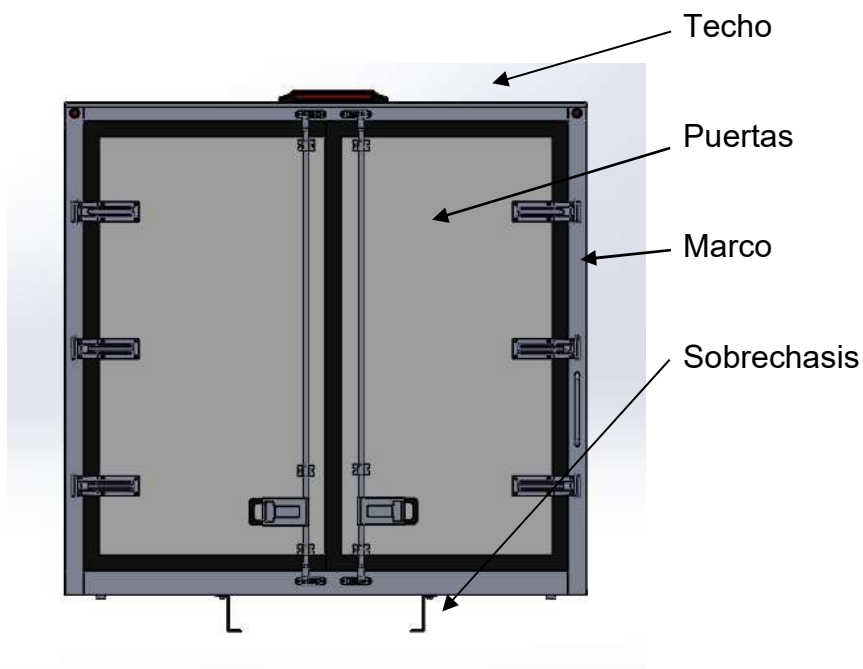
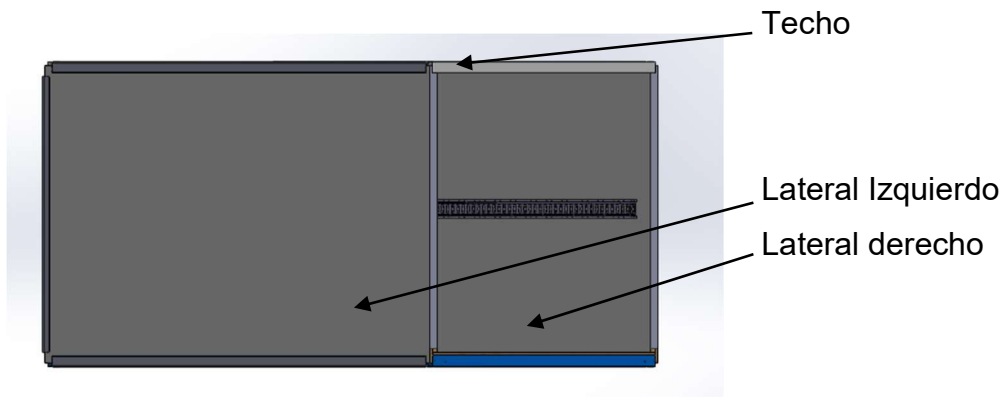
En el sector de la carrocería, la nomenclatura utilizada es heredada, debido a la antigüedad del sector. A continuación, se pretenden dar unas breves nociones de algunas de las partes más utilizadas en este sector para una mejor comprensión de este proyecto.

Normalmente, la ubicación de los diferentes elementos se nombra con vista desde la trasera.

### 1.5.1. Nomenclatura de la caja

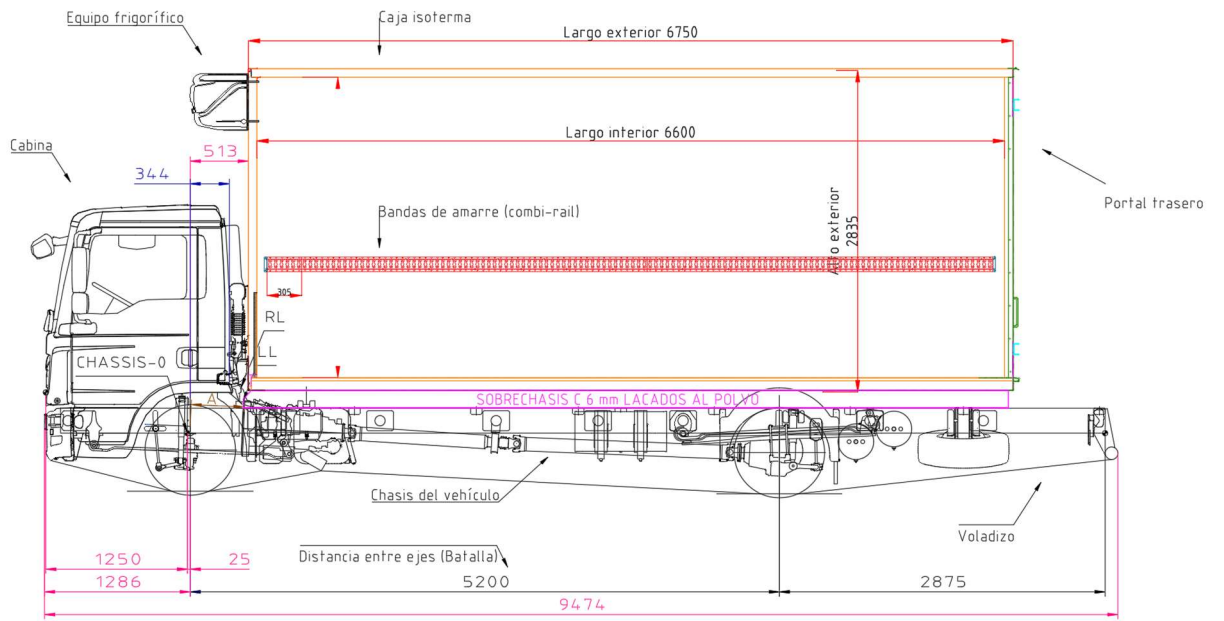
La caja es el conjunto formado por Frontal, Techo, Lateral, Plataforma y Puertas.





### 1.5.2 Nomenclatura carrocería

A continuación, se repite el apartado anterior, incluyendo el vehículo, de manera que se puede visualizar los diferentes elementos básicos y como ensamblarlos:



## 2. CÁLCULO DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL

### 2.1 Introducción

El estudio de este proyecto, se basa en las normas recogidas de diseño estructural de carrocerías, las cuales no resultan muy numerosas en este sector. Las principales normas contempladas son: (Real Decreto 563/2017):

“EN 12195: Cálculo de las fuerzas de amarre

EN 12640: Puntos de amarre

EN 12642: Resistencia de la estructura de la carrocería de los vehículos

EN 12195-2: Cintas de amarre de cintas sintéticas.

EN 12195-3: Cadenas de amarre

EN 12195-4: Cables de acero de amarre.

ISO 1161 // ISO1496: Contenedores ISO.

EN 283: Cajas móviles.

EN 12641: Lonas.

EUMOS 40511: Postes-Teleros

EUMOS 40509: Empaquetado para transporte”

La normativa utilizada para la obtención de datos de carácter resistivo de este proyecto, han sido obtenidos prácticamente en su totalidad de la norma (Real Decreto 563/2017 [1]) “EN 12642: Resistencia de la carrocería de los vehículos”.

### 2.2 Cálculo estructural

Para el cálculo del esfuerzo que debe resistir la unión a diseñar, la norma diferencia entre elementos estructurales y su composición:

$$\cdot \text{Frontal: } F = 0.40 P g \text{ [1]}$$

$$\cdot \text{Trasera: } F = 0.25 P g \text{ [2]}$$

$$\cdot \text{Lateral: } F = 0.30 P g \text{ [3]}$$

Siendo P la tara del vehículo en su totalidad, con la caja de transporte carrozada y el producto en su interior, y g el valor de la gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>).

Como se puede observar, el caso más desfavorable es el frontal, por el que se selecciona como objeto de este estudio.

La norma también hace referencia a los mismos elementos de la carrocería mencionados anteriormente, pero cuya composición está reforzada. Esto indica que su composición no la denominada "Composición virgen de panel sándwich". Esta, en el sector de la carrocería, es la que hace referencia a la unión de dos placas de poliéster y un núcleo aislante de poliuretano unidos mediante un adhesivo de base de poliuretano. Con la composición reforzada, se pretende aumentar la resistencia de estos paneles, ya que es interesante en algunos casos, dependiendo de algunos factores como puede ser el equipo de frío que vaya a instalar, o el destino de la carrocería y su producto de transporte.

En este caso, se decide finalmente, que se pretende estudiar el frontal, ya que es el caso más desfavorable, y en particular en elemento no reforzado, ya que sería el estado más crítico al que sería expuesto.

La norma, especifica el tipo de ensayo que se debe de realizar y las condiciones de este. Especifica que se debe de aplicar una presión, en función de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{F}{0.75 \times H \times B} \text{ [4]}$$

Siendo H la altura de del frontal, y B el ancho. Por lo que sustituyendo el valor de F anterior, se obtiene:

$$p = \frac{0.40 P g}{0.75 \times H \times B} \text{ [5]}$$

### 2.3 Datos de estudio

Para este proyecto, se va a utilizar uno de los últimos diseños realizados en la empresa, los cuales han tenido que pasar por ensayos de certificación y homologación, los cuales ha aprobado sin problema.

Las dimensiones de esta carrocería han sido de 1800 x 1800 x 2000 mm. En concreto el frontal, cuenta con una superficie de 1800 mm x 1800 mm (3.24m<sup>2</sup>).

La composición de este panel es de:

- Poliéster de 2.0 mm de espesor reforzado con fibra de vidrio
- Núcleo aislante de espuma de poliuretano rígida en planchas.
- Poliéster de 2.0 mm de espesor reforzado con fibra de vidrio.

Todos estos componentes, se unen mediante un adhesivo de base de poliuretano, y se les aplica presión. Una vez pasado el tiempo recomendado por el fabricante, se obtiene un panel perfectamente unido y uniforme.

### 2.4 Cálculo de esfuerzos

Para calcular la presión que se debe aplicar al conjunto y evaluar posteriormente el ensayo que se procederá a realizar, se debe aplicar la ecuación anteriormente expuesta (Ecuación [5]):

$$p = \frac{0.40 P g}{0.75 x H x B} \quad [5]$$

La presión en su definición más simple es una fuerza determinada en un área, por lo que se sustituyen los valores de la superficie real del frontal, pero para obtener la fuerza de aplicación que tendremos que desarrollar en el ensayo, se obtendrá de multiplicar la presión obtenida por la superficie de la probeta de ensayo.

Sustituyendo los datos:

$$P = 3500 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H = 1.8 \text{ m}$$

$$B = 1.8 \text{ m}$$

Se obtiene  $p = 5651.85 \text{ N/m}^2$ . Este valor de presión, se multiplica el valor de la superficie de muestra ( $0.09 \text{ m}^2$ ), y se obtiene  $F = 508.66 \text{ N}$ .

### **3. DISEÑO NUEVA PERFILERÍA**

#### **3.1 Requisitos del diseño**

Una vez conocido el esfuerzo que debe resistir el perfil se procede al diseño de la nueva perfilería utilizada en las carrocerías. Para ellos primero se deben de conocer que requisitos debe de cumplir el nuevo diseño aparte de soportar el esfuerzo que indica la norma.

Algunos de estos requisitos son: Facilidad de montaje y rapidez, unión interior-exterior, muecas remachables, alijos de adhesivo, etc.

Todos estos requisitos, se intentas abatir en esta primera fase de diseño, de manera que posteriormente el operario encargado de montarlos, encuentre el mínimo número de inconvenientes, para así aumentar su producción. Todos estos son fruto de la experiencia, que en este caso debido a que se parte de que en la actualidad la empresa cuenta con una perfilería bicomponente de aluminio, extruida y lacada en blanco RAL-9016.

Por otro lado, no se debe olvidar, que el proceso de fabricación y material a emplear en este nuevo perfil cambian, y sus propiedades son dependiente de la disposición del material en esta fase.

#### **3.2 Características de la nueva perfilería**

##### **3.2.1 Facilidad de montaje**

Esta característica es muy importante, ya que impone que la perfilería pueda ser instalada por un único operario. De esta forma aumentaría la producción, evitando que un segundo operario tenga que estar presente en el momento de la instalación, pudiendo estar produciendo. La velocidad de montaje también está ligada con la facilidad por dos aspectos, el primero ya se ha mencionado anteriormente referente a la producción y menor mano de obra, y la segunda es por el tipo de instalación de este tipo de perfilería, la cual normalmente utiliza como elemento de fijación adhesivos plásticos (silicona) y remaches o tornillos. Pero haciendo hincapié en la fijación de

adhesivos, si la instalación durase más tiempo del estipulado, se corre el riesgo del secado parcial o total del adhesivo, sin que haya realizado su función de fijación.

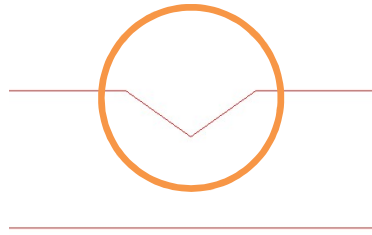
Normalmente la perfilería utilizada en este sector es de pequeño espesor, y suelen necesitar de un transporte previo, en el que la perfilería sufre pequeños deterioros, como pequeñas deformaciones, que no son apreciables a simple vista, pero en el momento de la instalación una pequeña desviación del perfil se descubre rápidamente. Este tipo de defectos normalmente, a no ser que el perfil esté prácticamente inservible, se suele enderezar o arreglar adaptándolo a la carrocería, por lo que mientras se está resolviendo ese inconveniente, se está perdiendo tiempo de adhesión, por lo que este contratiempo también se pretende tener en cuenta en el nuevo diseño.

### **3.2.2 Unión interior-exterior**

Actualmente, en el sector, se suele utilizar un sistema de perfilería doble individual, la cual se une mediante tornillería. Se ha demostrado, que este sistema presenta grandes resultados de resistencia, la cual es una característica de gran importancia en este proyecto. Es por ello, que se adopta este requisito y se implanta en el nuevo diseño de la perfilería como requisito primordial.

### **3.2.3 Unión perfil – panel sándwich**

Uno de los requisitos especialmente obligatorio a cumplir, es el de facilitar la unión perfil- panel sándwich. Este requisito es primordial para la correcta colocación del perfil. Para ello se diseñan en el perfil, la denominada como muesca remachable. Se trata de una hendidura de sección triangular. Su objetivo es el de servir de guía para la colocación de todos los remaches que componen en sólido.



Para colocar un remache, normalmente remache de flor estructural de acero de 4.9 mm, primero se ha de taladrar con una broca de 5 mm de diámetro.



Estos tipos de remaches son fácilmente distinguibles por su cabeza. Tiene unas pequeñas estrías que son las encargadas de abrir el recubrimiento que lleva en el vástago. El resultado de uno ya remachado es el siguiente:



Por otro lado, es de vital importancia implantar alijos de adhesivo. Este tipo de perfilera, se monta con silicona estructural en la cara interior del perfil y remachado en la cara interior.

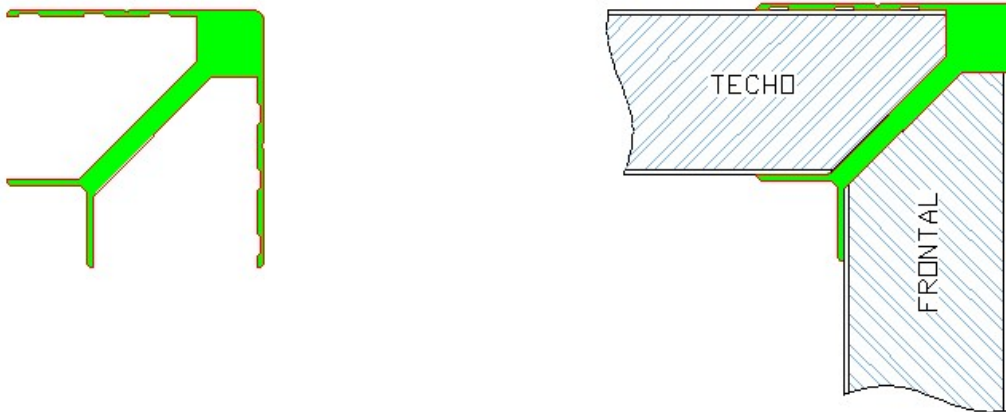
Los alijos de adhesivo, están calculado para alojar 5 cm<sup>3</sup>/m, cantidad suficiente para una correcta fijación del mismo.



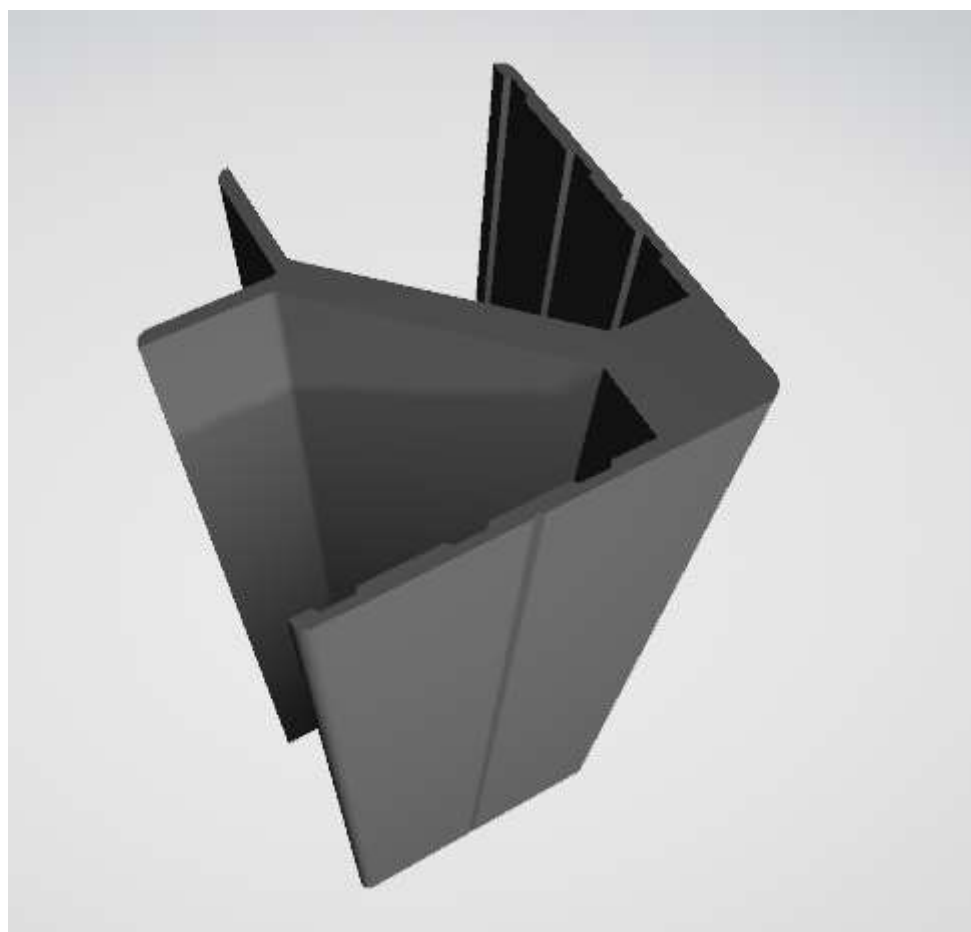
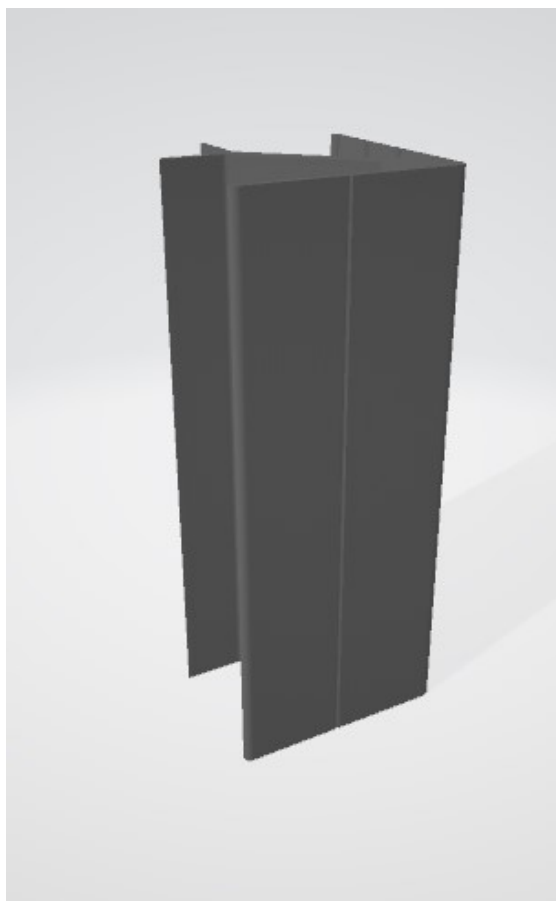
### 3.4 Segunda fase de diseño

Tras un primer análisis de problemas evidentes, y búsqueda de otros posibles inconvenientes que se pudiesen encontrar a posteriori, se procede al rediseño del perfil, buscando una solución capaz de solventar aquellos requisitos más relevantes. Principalmente, se busca el menor impacto posible en la empresa, pero la implantación de un nuevo perfil, generando mejores resultados, resulta una tarea tediosa sin hacer cambios, por lo que se decide, se podría realizar un cambio en el corte de paneles, siempre y cuando con este cambio también haya una mejoría.

Es por ello que se presenta el rediseño del perfil:



Finalmente, se procede al diseño del perfil en CAD 3D, para su posterior análisis:



### 3.5 Material de fabricación

Tras la solución elegida para la implantación de una nueva perfilería para vehículos frigoríficos e isotermos obtenida mediante impresión 3D se procede a la elección de material.

En la actualidad, la llegada de la Industria 4.0 ha supuesto una gran repercusión industrial en el sector de la fabricación. Nuevas tecnologías como la fabricación aditiva han conseguido un gran avance en el estudio de nuevos procesos de fabricación. La impresión 3D, técnicamente denominada “Proceso de extrusión de material” han ayudado a la obtención de piezas y prototipados rápidos a bajo costo.

Con este proyecto, se pretende llegar más allá, y conseguir con la ayuda de estas nuevas tecnologías el resultado de producto terminado o lo más próximo a él. Obtener el producto terminado, y aplicar un revestimiento o tipo de terminación en algunos casos, trasladando la impresión 3D de las oficinas técnicas a las plantas industriales, pudiéndose utilizar como una herramienta más.

#### TDS POLYCARBONATE



## POLICARBONATO INNOVATEFIL® POLICARBONATO INNOVATEFIL

Es un filamento avanzado con gran resistencia al impacto. Eso Tiene alta resistencia a la deformación térmica y muy buena estabilidad dimensional.

Este material ha sido diseñado para ser utilizado para la impresión 3D, por lo que las contracciones son mínimas durante el uso. Algunas de sus ventajas son:

- Resistencia al impacto bastante alta.
- Alta resistencia y rigidez.
- Alta resistencia a la deformación térmica

	TYPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD
<b>PHYSICAL PROPERTIES</b>			
Chemical Name	Polycarbonate		
Material Density	1.2	g/cm3	ISO 1183 B
<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>			
Tensile Stress at Yield	65	MPa	ISO 527
Modulus of elasticity in tension	2000	MPa	ISO 527
Flexural Strength	90	MPa	ISO 178
Modulus in Flexure	2300	MPa	ISO 178
Charpy Impact (notched at 23°)	15	KJ/m2	ISO 176
Rockwell Hardness	75	R/M scale	ISO 20/39
<b>THERMAL PROPERTIES</b>			
Vicat Softening Point (A/10N)	145	°C	ISO 306
Temperature of deflection under load (1.82 Mpa)	124	°C	ISO 75 A
Heat Conductivity	0.24	W/mK	
<b>PRINTING PROPERTIES</b>			
Print Temperature	250-270	°C	
Bed Temperature	90-110	°C	
Fan Layer	OFF	%	
Print Speed	40-60	mm/s	

## TPU HARDNESS +



### INNOVATEFIL® TPU HARDNESS +

Es un poliuretano termoplástico que combina dureza, elasticidad y resistencia mecánica, por lo que mantiene todas las ventajas de este elastómero, para que podamos fabricar piezas completamente rígidas. Sus principales características son:

- Alta resistencia al desgaste y abrasión.
- Disminuye el impacto y las vibraciones.
- Alta resistencia a grasas, aceites, oxígeno y ozono.
- Gran resistencia a la hidrólisis y estabilizado en luz UV.
- Alta resistencia a los microorganismos.

	TYPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD
<b>PHYSICAL PROPERTIES</b>			
Chemical Name	Polyurethane thermoplastic		
Material Density	1.22	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183-1-A
Hardness	83	Shore D	ISO 7619-1
Tensile Strength	67	MPa	DIN 53504-S2
Elongation at break	170	%	DIN 53504-S2
Tear Strength	310	N/mm	ISO 527
Modulus of elasticity - Tensile test	2000	MPa	ISO 527
Vicat Softening Point (A/10N)	164	°C	ISO 306
<b>PRINTING PROPERTIES</b>			
Print Temperature	210-230	°C	
Bed Temperature	80-100	°C	
Fan Layer	ON (20-100)	%	
Print Speed	40-60	mm/s	

Ambos materiales tienen unas características idóneas para la aplicación que estamos desarrollando. En primer lugar, el material con base de policarbonato, cuenta con una gran resistencia al impacto, lo cual nos beneficiaría para nuestro ensayo, contar con un material con tan buena característica.

En segundo lugar, el material con base de poliuretano, tiene como base este mismo, el poliuretano, el cual es el material estrella en la fabricación de carrocerías de tipo isoterma, por lo cual estaríamos utilizando el mismo material para construir el 90 % del producto final, el cual es el principal objeto de estudio, el desarrollo de una carrocería cuyo porcentaje de metal disminuya, y cada vez más.

Por otro lado, este material cuenta con una resistencia alta a la radiación UV, el cual fue un requisito por el cual se descartó en primera instancia el ABS. Cuenta con una característica de disminución de vibraciones, la cual, aplicándola a nuestro caso, es un tema de estudio en el transporte de vehículos por carretera.

Finalmente, no hay que olvidar que, en este tipo de transporte, la mayoría de veces se utiliza para el transporte de productos perecederos, por lo tanto, la alta resistencia a los microorganismos, que nos ofrece este material, y sumándolo al resto expuesto anteriormente, lo hace prácticamente perfecto para nuestro diseño.

## 4. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

### 4.1 Análisis en elementos finitos. Introducción

El análisis por elementos finitos *FEA*, (Finite Element Analysis) es una técnica de simulación en software usada en ingeniería. En la actualidad existen diversos softwares, libres y comerciales, especializados en sectores concretos. También hay algunos softwares que cuentan con diferentes módulos.

El análisis empleado en las simulaciones ingenieriles tiene varios métodos de cálculo base, los cuales han evolucionado exponencialmente. Este crecimiento exponencial lo rige paralelamente el crecimiento que han experimentado las memorias, procesadores, y resto de elementos hardware que componen un sistema informático.

A día de hoy, por bajo coste se puede obtener un ordenador capaz de simular importantes proyectos.

Algunos de los métodos utilizados para el cálculo de simulaciones son:

- Método de elementos finitos (FEM)
- Método de volúmenes finitos (FVM)
- Método de diferencias finitas (FDM)

En este caso, donde el objetivo es el estudio y análisis estructural de la unión entre elementos estructurales de una carrocería, el más adecuado es el Método de elementos finitos. Este método consiste en la resolución de las ecuaciones diferenciales mediante iteraciones hasta su llegada a la convergencia.

El método de elementos finitos es un método de cálculo en el que se subdivide un modelo CAD en elementos diferenciales, pero de tamaño finito con formas geométricas simples. Una de las razones por la que se ha seleccionado este método es por la gran fiabilidad que ofrece con una tasa alta de éxito. Esto se debe a que se basa en la resolución de las ecuaciones físicas mecánicas.

### 4.1.1 Software de simulación

Para la simulación del elemento se ha utilizado el Software comercial *SolidWorks*, en concreto el módulo *Solidworks Simulations*.

Esta decisión fue tomada, ya que, en primera instancia, cuando se definió el modelo, se estableció el fallo mecánico en el punto de deformación plástica permanente. Esto fue debido al tratarse el proyecto, en concreto el perfil de unión, como un elemento comercial. Este mismo, al llegar al punto de deformación plástica, se considera como fallo, y en términos empresariales sería motivo de una reparación. No por estética, si no por la falta de estanqueidad que produciría, bajada del coeficiente térmico  $k$  (W/m K), entre otros.

Tras definir el modelo, se procedió al estudio de diferentes softwares disponibles. Gracias a la licencia estudiantil de la Universidad de Jaén, se pudo acceder a softwares muy potentes como lo son: SolidWorks, Abaqus, Ansys Structures, etc.

Finalmente, debido a que se consideraba como fallo, la deformación plástica permanente, se decidió SolidWorks como software de simulación a emplear.

Otros softwares, simulan elementos estructurales hasta la rotura del elemento.

### 4.1.2 Modelo CAD

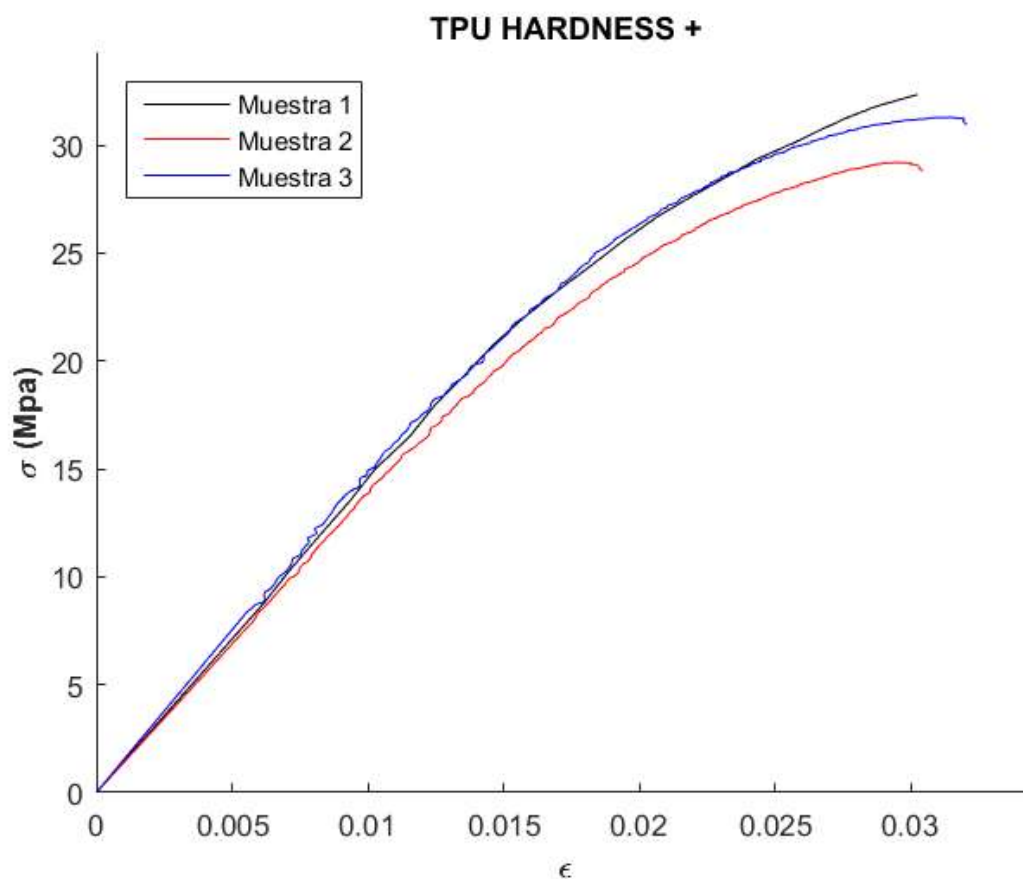
Para proceder a la simulación del modelo, primero se creó en un archivo CAD. Para ello se diseñó cada uno de los elementos que lo componen por separado, definiendo detalles y dimensiones reales, definiendo así con exactitud el modelo.

A continuación, se creó un ensamblaje en el que se unió cada uno de los elementos entre sí. Una vez formado el modelo completo, se accede al módulo *Solidworks Simulations*.

El primer paso, es la creación de un nuevo estudio de simulación. A continuación, se procede a la definición de los materiales empleados en cada uno de los elementos que forman el modelo. Gracias a la situación que ocupó en la empresa colaboradora RecuBox Ibérica S.L. la obtención de fichas técnicas de los materiales

ha sido una tarea sin complicación, con la ventaja de obtener datos reales para el análisis.

En primer lugar, el material seleccionado para el perfil TPU Hardness. Las propiedades mecánicas en las piezas impresas con este material se han extraído del TFM “Caracterización mecánica de nuevos materiales para impresión 3D” [2], propiedades que se han empleado para caracterizar los materiales en el software de simulación.

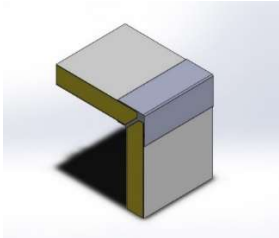
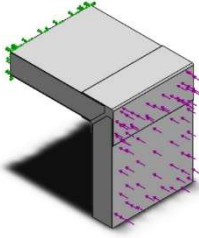
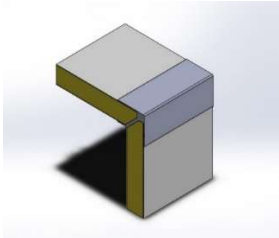
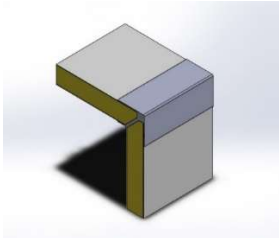
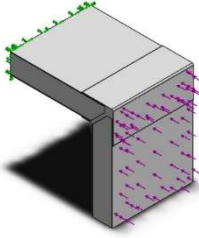
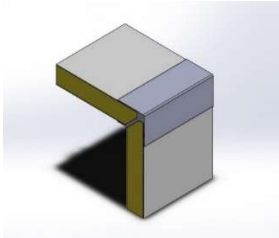
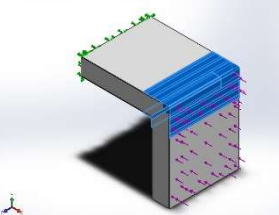


Gracias a esta información, ha sido posible la completa caracterización del material en el software de simulación, haciendo posible llevar esta a un estado de mayor semejanza con la realidad, pudiendo así obtener resultados con mayor fiabilidad.

	Módulo de Young	Tensión máxima	Tensión rotura	Deformación rotura
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
Muestra 1	1442,1	32,3	32,3	0,030
Muestra 2	1387,1	29,2	28,8	0,030
Muestra 3	1486,1	31,3	30,9	0,032
<b>MEDIA</b>	<b>1438,4</b>	<b>30,9</b>	<b>30,7</b>	<b>0,031</b>
<b>DESVIACIÓN TIPICA (%)</b>	<b>3,4</b>	<b>5,2</b>	<b>5,8</b>	<b>3,2</b>

## 4.2 Información de modelo

En este apartado se muestra las propiedades físicas de cada uno de los elementos diseñados. La propiedad densidad de cada uno de los materiales ha sido facilitado por el fabricante.

Sólidos		
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
	Sólido	Masa:0.425543 kg Volumen:0.00709238 m <sup>3</sup> Densidad:60 kg/m <sup>3</sup> Peso:4.17032 N
	Sólido	Masa:0.251568 kg Volumen:0.000179692 m <sup>3</sup> Densidad:1400 kg/ m <sup>3</sup> Peso:2.46537 N
	Sólido	Masa:0.295739 kg Volumen:0.000211242 m <sup>3</sup> Densidad:1400 kg/ m <sup>3</sup> Peso:2.89824 N
	Sólido	Masa:0.425543 kg Volumen:0.00709238 m <sup>3</sup> Densidad:60 kg/ m <sup>3</sup> Peso:4.17032 N
	Sólido	Masa:0.251568 kg Volumen:0.000179692 m <sup>3</sup> Densidad:1400 kg/ m <sup>3</sup> Peso:2.46537 N
	Sólido	Masa:0.295739 kg Volumen:0.000211242 m <sup>3</sup> Densidad:1400 kg/ m <sup>3</sup> Peso:2.89824 N
Saliente-Extruir 	Sólido	Masa:0.876462 kg Volumen:0.000718412 m <sup>3</sup> Densidad:1220 kg/ m <sup>3</sup> Peso:8.58933 N

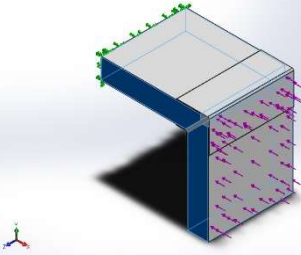
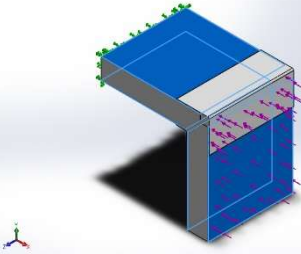
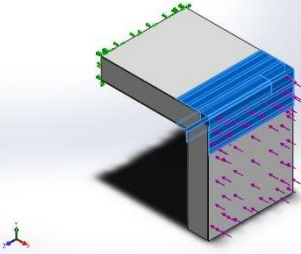
### 4.3 Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Simulacion
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Gran desplazamiento</b>	Activar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar

### 4.4 Unidades

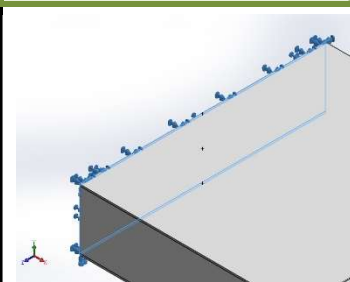
<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

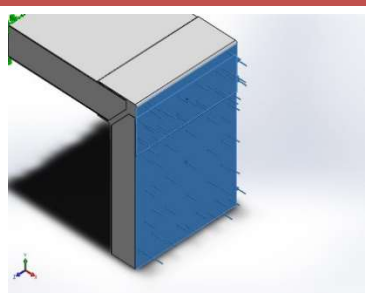
### 4.5 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	
	<p>Nombre:                      Tipo de modelo:                      Criterio de error predeterminado:                      Límite elástico:                      Límite de tracción:                      Módulo elástico:                      Coeficiente de Poisson:                      Densidad:                      Módulo cortante:</p>	<p><b>Poliuretano</b>  <b>Isotrópico elástico lineal</b>  <b>Tensión de von Mises máx.</b>  <b><math>300 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2</math></b>  <b><math>300 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2</math></b>  <b><math>300 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2</math></b>  <b>0.49</b>  <b><math>60 \text{ kg/m}^3</math></b>  <b><math>300 \cdot 10^3 \text{ N/ m}^2</math></b></p>
	<p>Nombre:                      Tipo de modelo:                      Criterio de error predeterminado:                      Límite elástico:                      Límite de tracción:                      Módulo elástico:                      Coeficiente de Poisson:                      Densidad:                      Módulo cortante:</p>	<p><b>Poliéster PLACAPOL</b>  <b>Isotrópico elástico lineal</b>  <b>Tensión de von Mises máx.</b>  <b><math>80 \cdot 10^6 \text{ N/ m}^2</math></b>  <b><math>89 \cdot 10^6 \text{ N/ m}^2</math></b>  <b><math>6.75 \cdot 10^9 \text{ N/ m}^2</math></b>  <b>0.44</b>  <b><math>1400 \text{ kg/m}^3</math></b>  <b><math>6.39 \cdot 10^9 \text{ N/ m}^2</math></b></p>
	<p>Nombre:                      Tipo de modelo:                      Criterio de error predeterminado:                      Límite elástico:                      Límite de tracción:                      Módulo elástico:                      Coeficiente de Poisson:                      Densidad:</p>	<p><b>TPU HARDNESS +</b>  <b>Isotrópico elástico lineal</b>  <b>Tensión de von Mises máx.</b>  <b><math>30.7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2</math></b>  <b><math>30.7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2</math></b>  <b><math>1.4384 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2</math></b>  <b>0.49</b>  <b><math>1220 \text{ kg/m}^3</math></b></p>

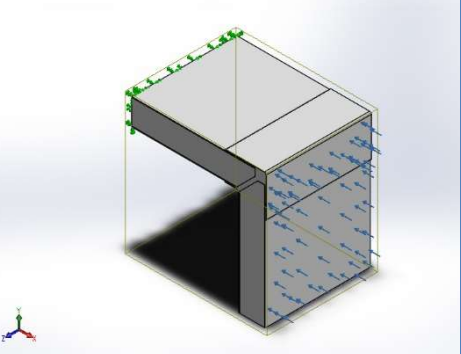
#### 4.6. Cargas y sujeciones

A continuación, se presenta las condiciones iniciales y de contorno del modelo para la simulación:

Nombre sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo		<b>Entidades:</b>	<b>3 cara(s)</b>		
		<b>Tipo:</b>	<b>Geometría fija</b>		
<b>Fuerzas resultantes</b>					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>12.5672</b>	<b>388.232</b>	<b>-7.45157</b>	<b>388.507</b>	
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza		<b>Entidades:</b>	<b>2 cara(s)</b>
		<b>Tipo:</b>	<b>Aplicar fuerza normal</b>
		<b>Valor:</b>	<b>510 N</b>

#### 4.7. Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		<b>Tipo:</b> Unión rígida <b>Componentes:</b> 1 componente(s) <b>Opciones:</b> Mallado compatible

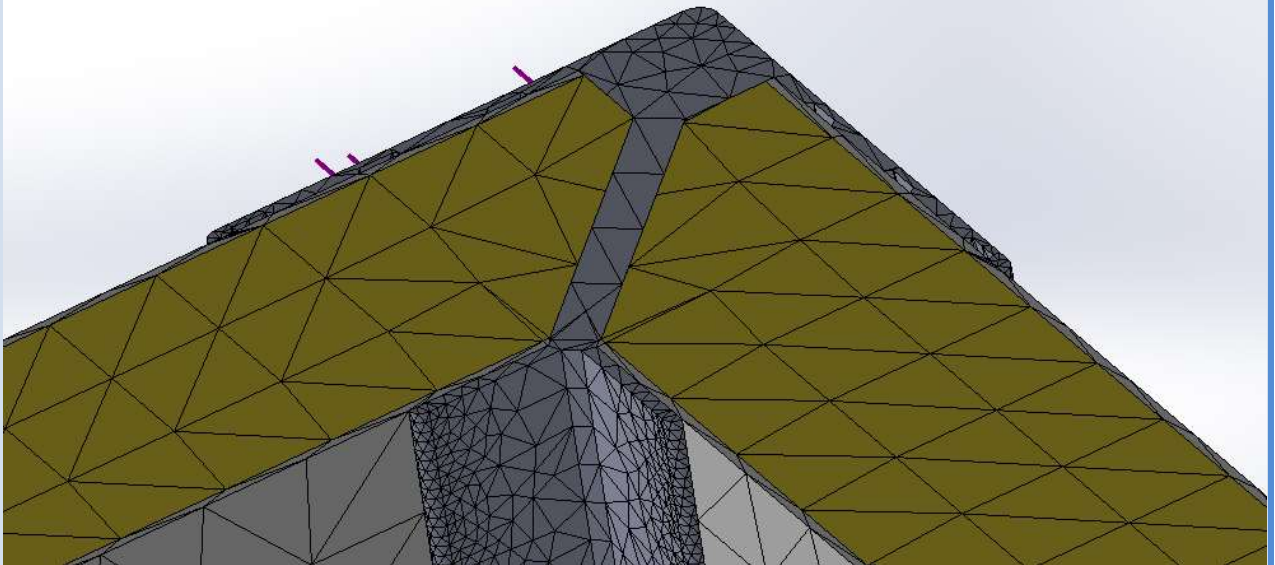
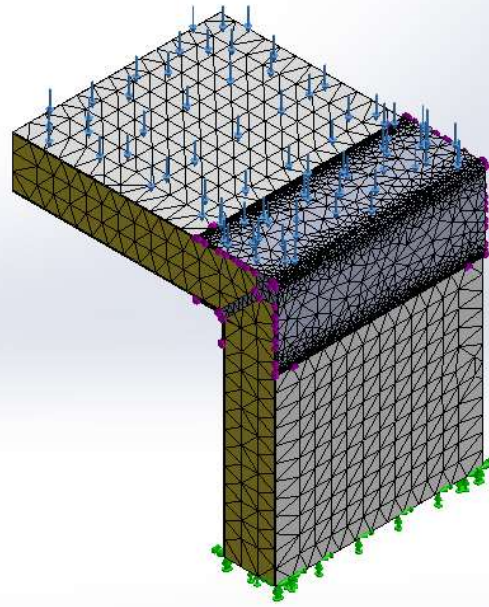
#### 4.8. Información de malla

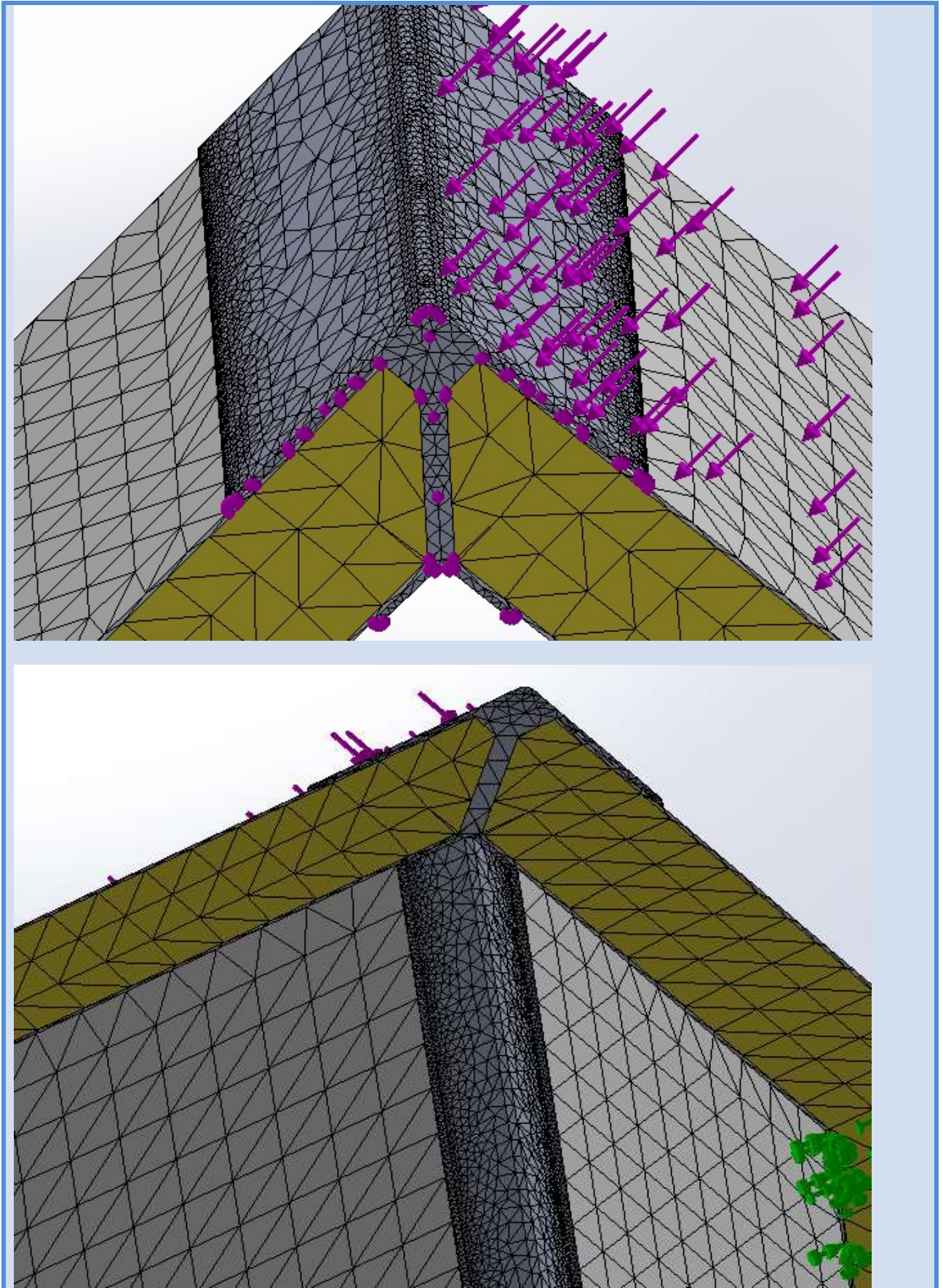
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	25.4569 mm
<b>Tolerancia</b>	1.17284 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible</b>	Desactivar

#### 4.9. Información de malla-Detalles

<b>Número total de nodos</b>	76366
<b>Número total de elementos</b>	33579
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	5513.2
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	70.8
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	12.3
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0.59
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:05

Nombre del modelo: Nueva Solucion\_Holgura  
Nombre de estudio: Análisis estático 5 (Pre determinado-)  
Tipo de resultado: Malla Trazado de calidad de malla1





### 4.10. Fuerzas resultantes

#### 4.10.1 Fuerzas de reacción

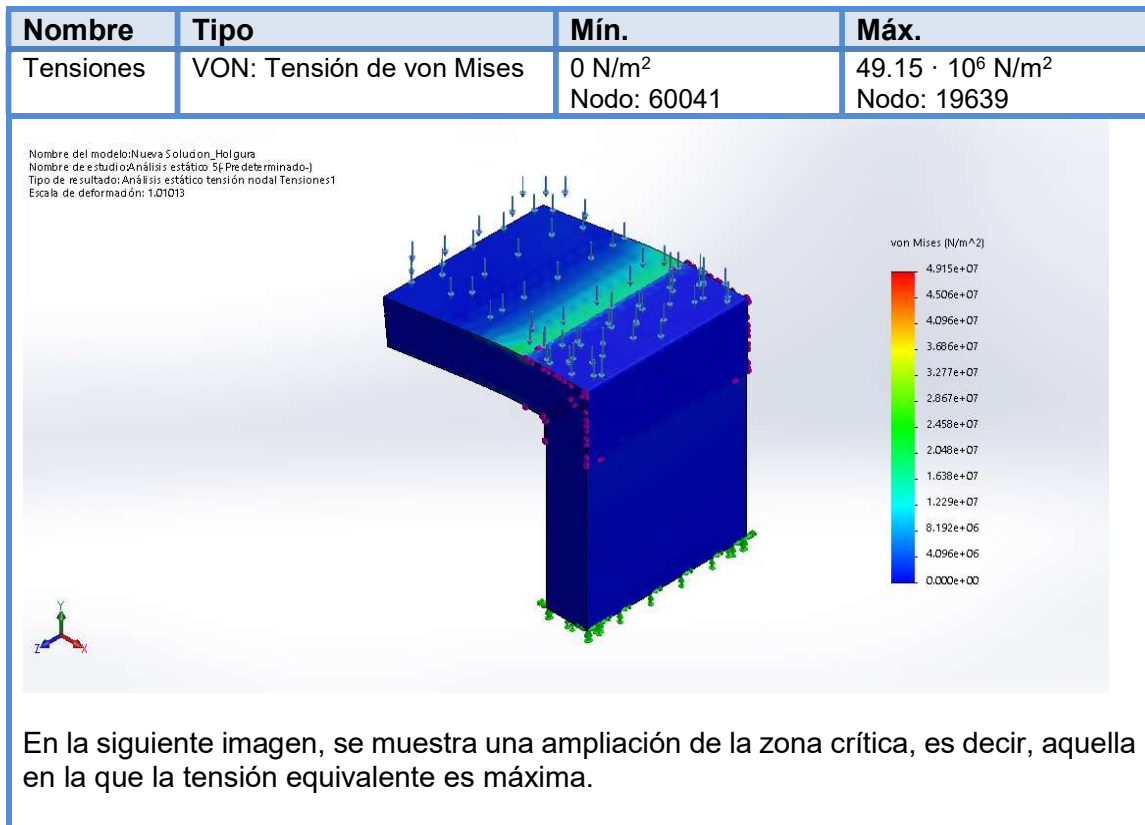
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	12.5672	388.232	-7.45157	388.507

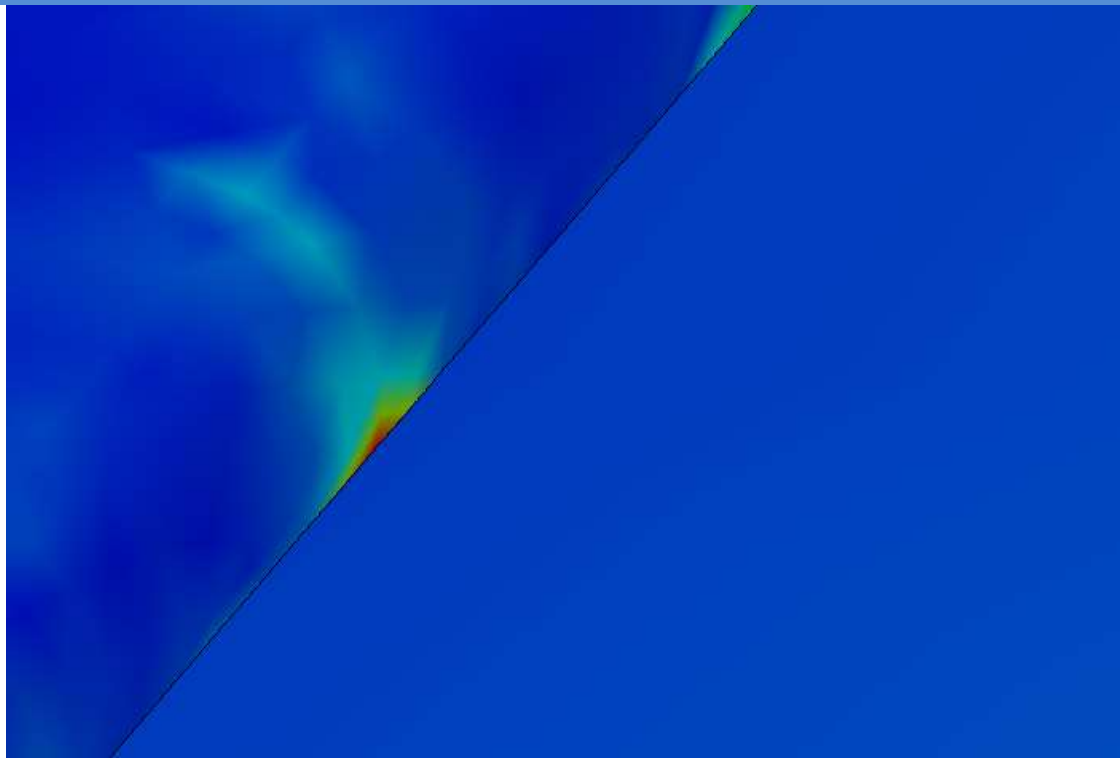
#### 4.10.2 Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

### 4.11. Resultados del estudio

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la simulación en elementos finitos. En primer lugar, en la siguiente imagen se puede observar la representación gráfica en todo el modelo de la tensión equivalente de Von Mises:

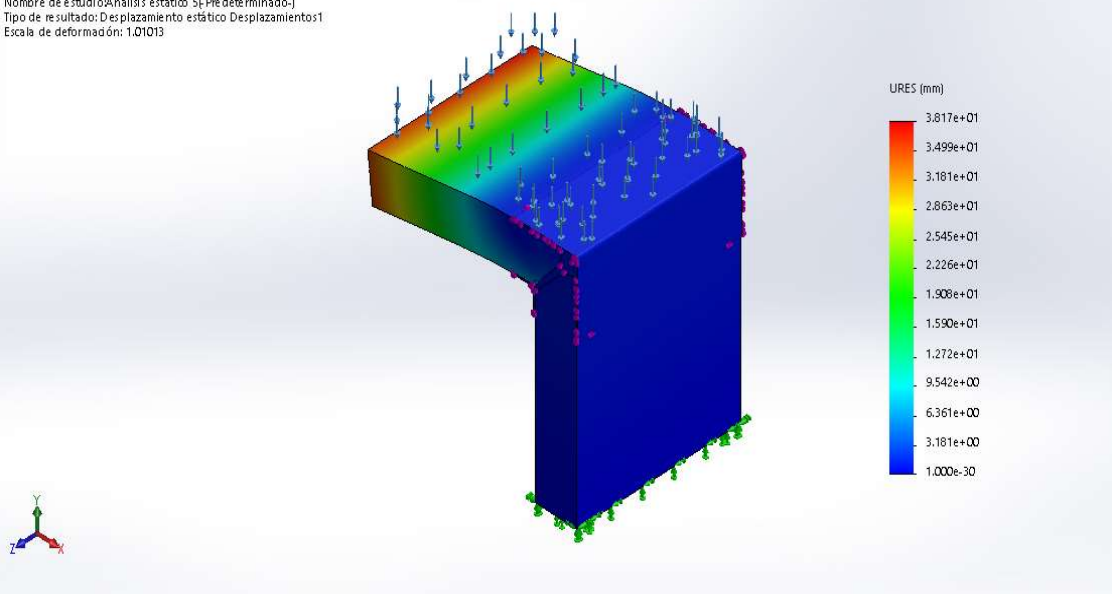




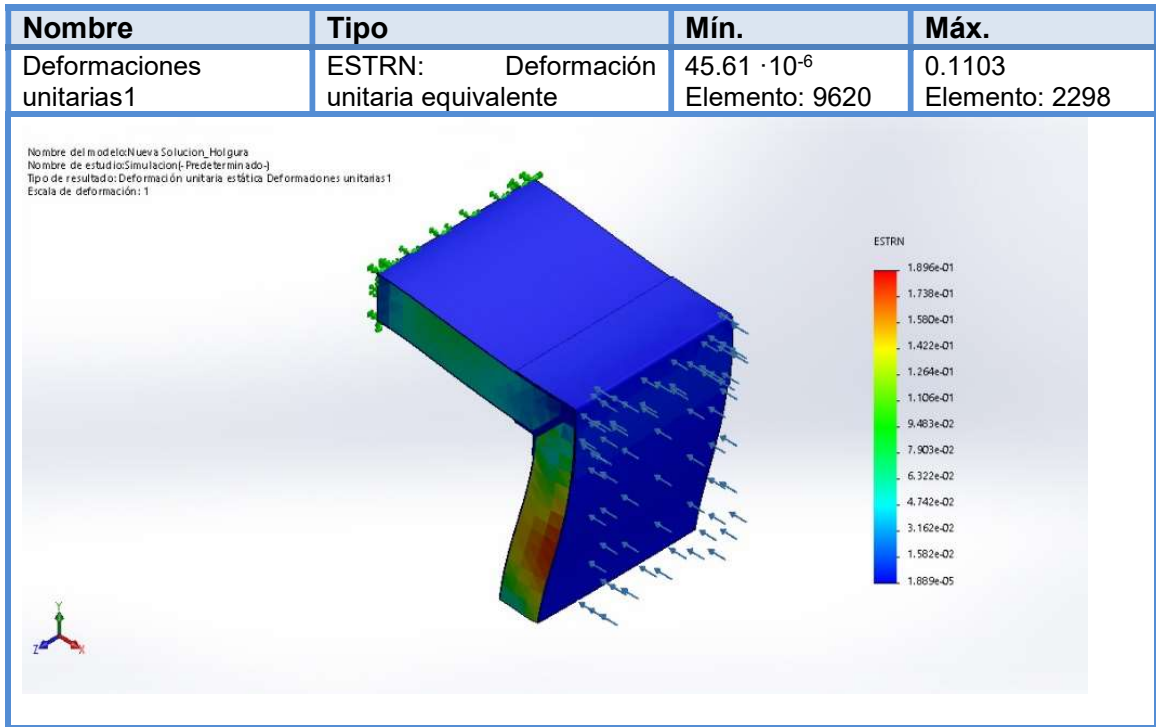
A continuación, se muestra la representación gráfica de los desplazamientos. Como era de esperar, el valor máximo se obtiene en el extremo del voladizo. Aún así, el valor es de 38.17 mm, valor más que asumible.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000 mm	38.17 mm
		Nodo: 1	Nodo: 15104

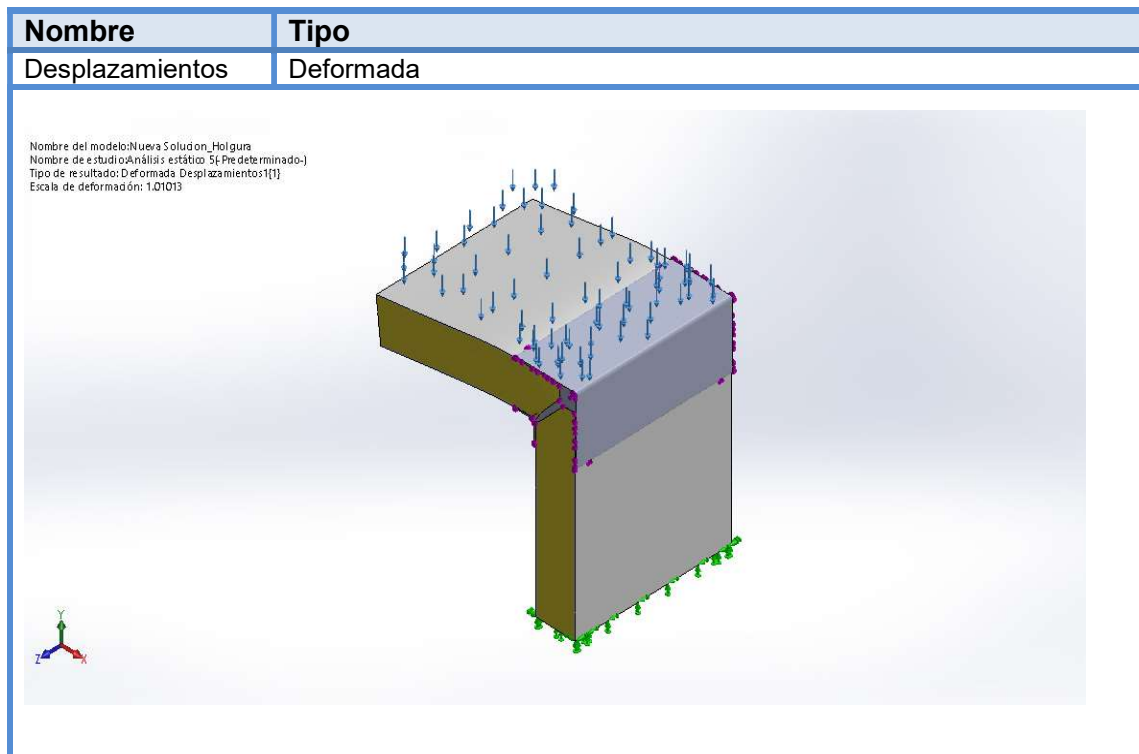
Nombre del modelo: Nueva Solucion\_Holgura  
 Nombre de estudio: Análisis estático 5[-Pre determinado-]  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 1.01013



La siguiente imagen muestra la representación gráfica de la deformación:



Por último, se muestra una imagen de la deformada del modelo tras la simulación ;



## 5. IMPRESIÓN 3D

### 5.1. Industria 4.0

La Industria 4.0, tal y como se conoce en la actualidad, es la implementación de la tecnología en la fabricación. Un concepto que lleva ligado una gran apertura de la mentalidad, ya que cambia en su totalidad el concepto de fábrica tal y como se conocía hasta ahora.

La empresa industrial, sin importa su tamaño, debe de realizar la labor de conocer e intentar implantar la Industria 4.0, ya que una no adaptación, podría producir, importantes problemas de planificación, logística y por lo tanto comercial, ya que el camino comercial de los sectores siempre cambia con la llegada de nuevas tecnologías.

Por otro lado, la Industria 4.0 ofrece una gran variedad de ventajas, las cuales pueden ayudar a la creación de empleo. Este es un tema muy criticado en la sociedad actual, ya que se piensa que la llegada de la automatización y robótica está haciendo desaparecer empleos, aunque la realidad no es esa, sino que solo está cambiado empleos, unos por otros.

Algunas de las ventajas que ofrece esta Cuarta revolución Industrial son:

- Atención al cliente más personalizado
- Series de producción más cortas y rentables
- Capacidad de adaptación a la demanda
- Servicio post venta personalizada con el cliente
- Añadir servicios a los productos físicos
- Diseñar, producir y vender productos en menor tiempo

### 5.1.1 Elementos que conforman la Industria 4.0

- Big data y análisis de datos

Su función no es otra que la de dar respuestas a las empresas. El hecho de trabajar con una gran cantidad de datos, puede dar a conocer tendencias en el sector, pudiendo así las empresas tomar decisiones, planificar y organizar. En una empresa, la planificación lo es todo, es por ello, que el Big Data es una herramienta tan importante y funciones, ya que puede ayudar a la empresa a la reducción de costes, mejorar su toma de decisiones y hacerlo a mayor velocidad y por supuesto, trabajar en el desarrollo de nuevos productos y servicios.

- Cloud Computing

Cloud Computing es una herramienta la cual ofrece a las empresas la capacidad de formar equipos multidisciplinares. Esto se debe a que por lo general los proyectos ingenieriles necesitan de varias especialidades para desarrollarse. Con Cloud Computing, esto es posible, ya que ofrece la posibilidad de trabajar, cada uno en su área, y no es necesario estar en la misma localización. El ejemplo que mejor lo define es BIM.

- Ciberseguridad

Debido al último punto explicado, la informática y gestión por ordenador cada vez está más explotada. Es por ello que también hay un gran riesgo de filtración de datos y se debe de proteger. Aquí entra la ciberseguridad. Por ejemplo, los sistemas de cifrado más fuertes que existen en la actualidad, se basan simplemente en un algoritmo de búsqueda de números primos. No existe tal algoritmo y nadie capaz de desarrollarlo, por lo que los sistemas de cifrado se basan en número primos para

protegerlos. Aun así, ya se está investigando en nuevos sistemas de protección, incluso aún más potentes.

- Internet de las cosas

Internet de las cosas es la conexión entre diferentes objetos, siendo posible la comunicación entre ellos. Un ejemplo con el que se entiende muy bien son las impresoras comerciales. Antiguamente, las impresoras y empresas que ofrecían el alquiler de estas para empresas, ofrecían el alquiler de la máquina y su mantenimiento. Los tóneres, cuando acababan su tinta, dejaban de imprimir, y alguien debía ir a reponerlo, avisando con antelación para que la máquina no quedase sin poder utilizarla. En la actualidad, estas empresas, ofrecen el alquiler de la máquina y la conectan a la red. Esta máquina, viene configurada de manera que cuando detecta que el nivel de tinta es bajo, automáticamente envía un mensaje a la empresa proveedora, y esta te ofrece la instalación de un tóner nuevo. Ofrece al usuario, la no preocupación del mantenimiento de la máquina, gracias al Internet de las cosas.

- Simulación y prototipado

La simulación y prototipado, se puede decir que es la base de este proyecto, ya que sin estas dos herramientas no podría haberse desarrollado. La simulación abre un campo enorme de capacidades y otorga un ahorro económico importante, ya que, sin él, la única forma, que es como se hacía hasta hace poco, de encontrar problemas en un diseño industrial era la fabricación de este.

Es así, como también se une el prototipado a este punto, siendo este cada vez más rápido y barato, como por ejemplo la impresión 3D. Una herramienta, capaz de usarse con conocimientos bajos, y ofreciendo una información muy valiosa para la fabricación de nuevos elementos.

## 5.2. Fabricación aditiva

La fabricación aditiva es una tecnología que se fundamenta en la elaboración de componentes a través de contribuciones de diversos materiales. Actualmente, la fabricación aditiva es expresada como una revolución industrial en diversos sectores como, por ejemplo; biomedicina, automoción... Además, se utiliza para la producción de piezas funcionales.

Algunas de las ventajas de la fabricación aditiva son:

- Permite la posibilidad de reparar piezas de un elevado valor sin tener que elaborar dicha pieza de nuevo.
- Posibilita la personalización de un producto a un coste muy bajo.
- Permite una rapidez desde la concepción del producto hasta su fabricación.

Cabe destacar que la fabricación aditiva presenta algunas de las siguientes desventajas:

- Se requieren inversiones muy elevadas, mayormente en el aporte de materiales de origen metálico.
- Se necesita un coste muy alto de la materia prima.
- No existe la diversidad de materiales.

## 5.3. Extrusión de material

En el proceso de extrusión de material se funde un filamento sólido y se deposita por capas atendiendo a una trayectoria 2D. Dicho filamento es de material termoplástico (PLA, ABS, Nylon...).

La extrusión de material es usada para prototipado rápido y fabricación rápida de bajo coste.

Este proceso es el más popular a nivel de usuario. Además, es usado en las impresoras 3D convencionales.

Por un lado, una de las ventajas que presenta la extrusión de material es:

- Es de bajo coste y los tiempos de producción son muy cortos.

Por otro lado, hay que destacar una de las desventajas que conlleva la extrusión de material:

- Presenta una poca precisión dimensional y pobres acabados superficiales.

La impresión 3D ofrece una posibilidad que no ofrece ninguna de las otras tecnologías de las que dispone el hombre. Permite manipular aquello que inicialmente es digital.

Por tanto, la impresión 3D es algo muy importante y sobre todo trascendente.

## **5.4. Proceso de impresión 3D del prototipo**

### **5.4.1 Impresora seleccionada**

Para la impresión del prototipo, en primera instancia, se decidió imprimir en una de las impresoras de la Universidad de Jaén. En concreto el modelo 3D Tevo Little Monster.

La razón por la que se eligió este modelo fue por su volumen de impresión. No tanto por su área ya que la sección del perfil no es excesivamente grande si no por su altura, ya que se necesitaba un total de 300 mm impresos por probeta.

Este modelo cuenta con un volumen de impresión de: 340 mm x 340 mm x 500 mm.

Cuenta con cama caliente, y un extrusor para filamento de 1.75 mm de diámetro:



Tiene un sistema de correderas, el cual es el encargado de desplazar el extrusor por toda el área límite de impresión.

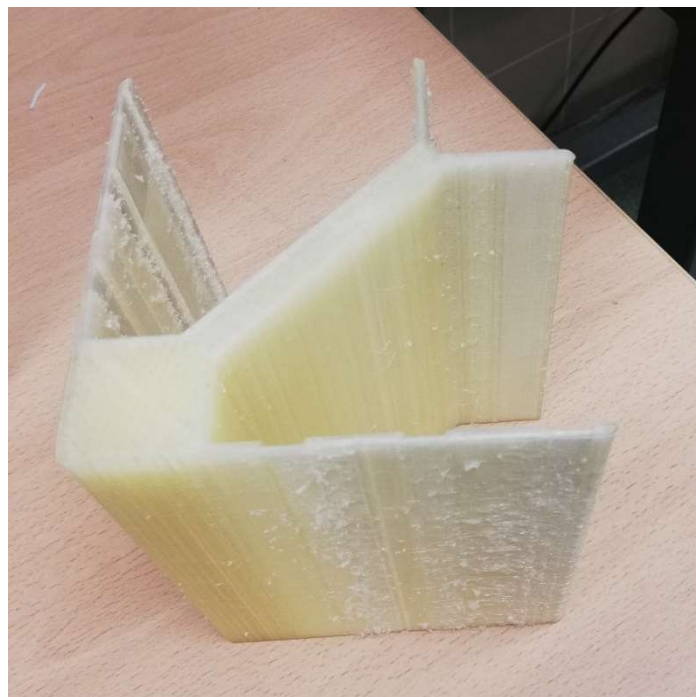
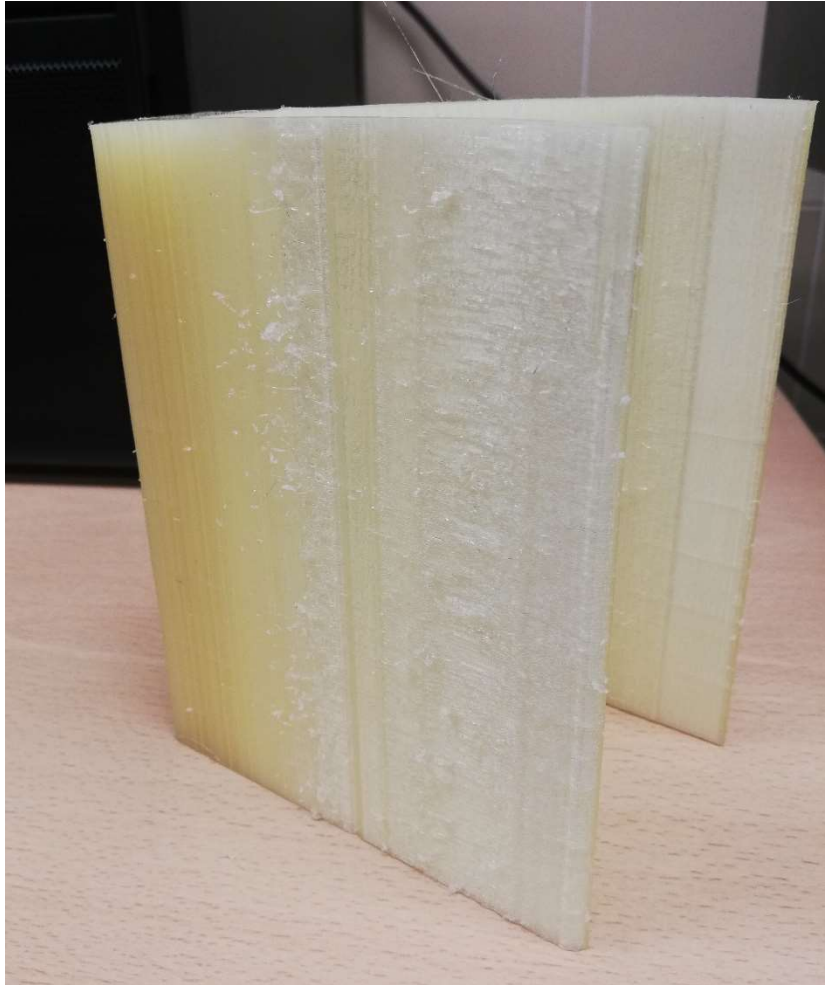
#### **5.4.2. Software de impresión**

El software utilizado para la impresión 3D ha sido Ultimaker Cura 4.0.0. Los parámetros de impresión dependientes del material, se rigieron por utilizar el valor medio de los intervalos facilitados en la ficha técnica del material otorgado por el fabricante.

#### **5.4.2. Problemas en la impresión del prototipo**

Tras iniciar el proceso de impresión de la primera probeta, se dejó imprimir durante 24 horas. Con este tiempo se consiguió el 50 % de la probeta. Pero se detectaron unos fallos, que debían corregirse por lo que se decidió cancelar la impresión.

Los problemas fueron, un mal acabado superficial, el cuál al principio se relacionó con un bajo espesor en el ala del perfil. Pero el segundo, y más grave, fueron la aparición de unas grietas en las alas pequeñas del perfil.





Este defecto, se pensó que debía estar relacionado con el efecto térmico. El material TPU HARDNESS +, es un material, el cual para su extrusión precisa de cama caliente. Al aparecer las grietas a 100 mm aproximadamente de la base del perfil, se pensó, que la transferencia de calor de la cama al perfil, estaba disminuyendo con la temperatura.

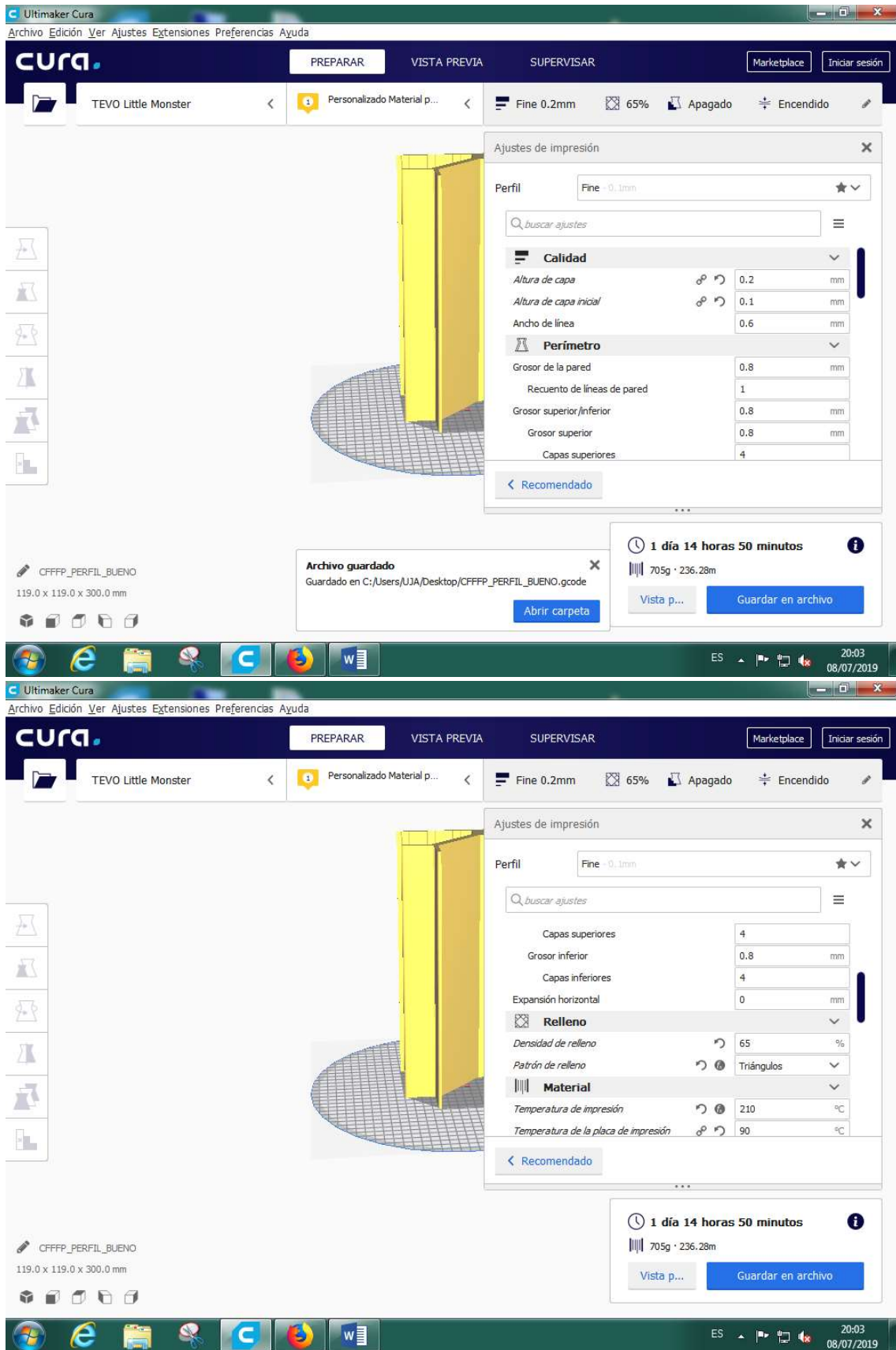
Contactando con el proveedor de material, nos indicó que el problema de acabado superficial estaba ligado a un exceso de temperatura. Para mejorarlo, se debía disminuir entre 5 y 10 °C, y aumentar las retracciones. Esto último, es la retracción que sufre el material en el extrusor, cuando debe de desplazarse sin extruir material, de esta forma se evita la deposición de material de forma inintencionada.

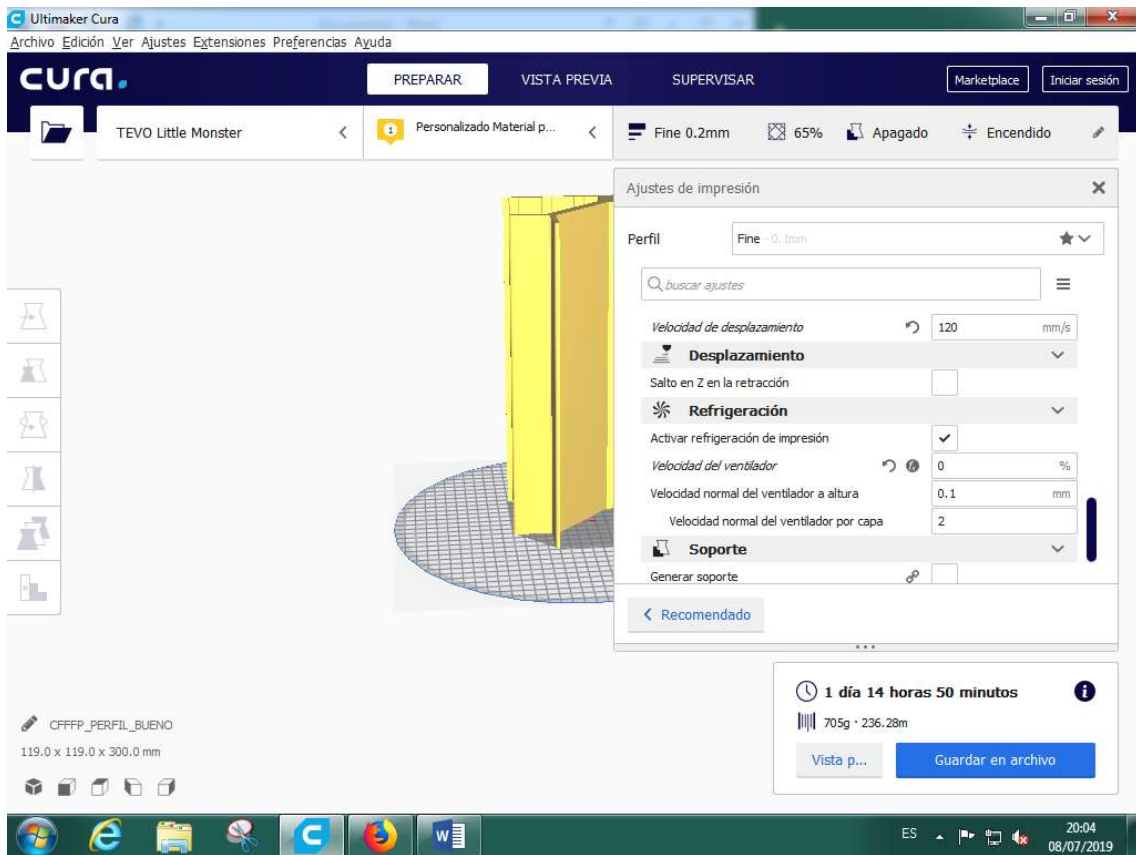
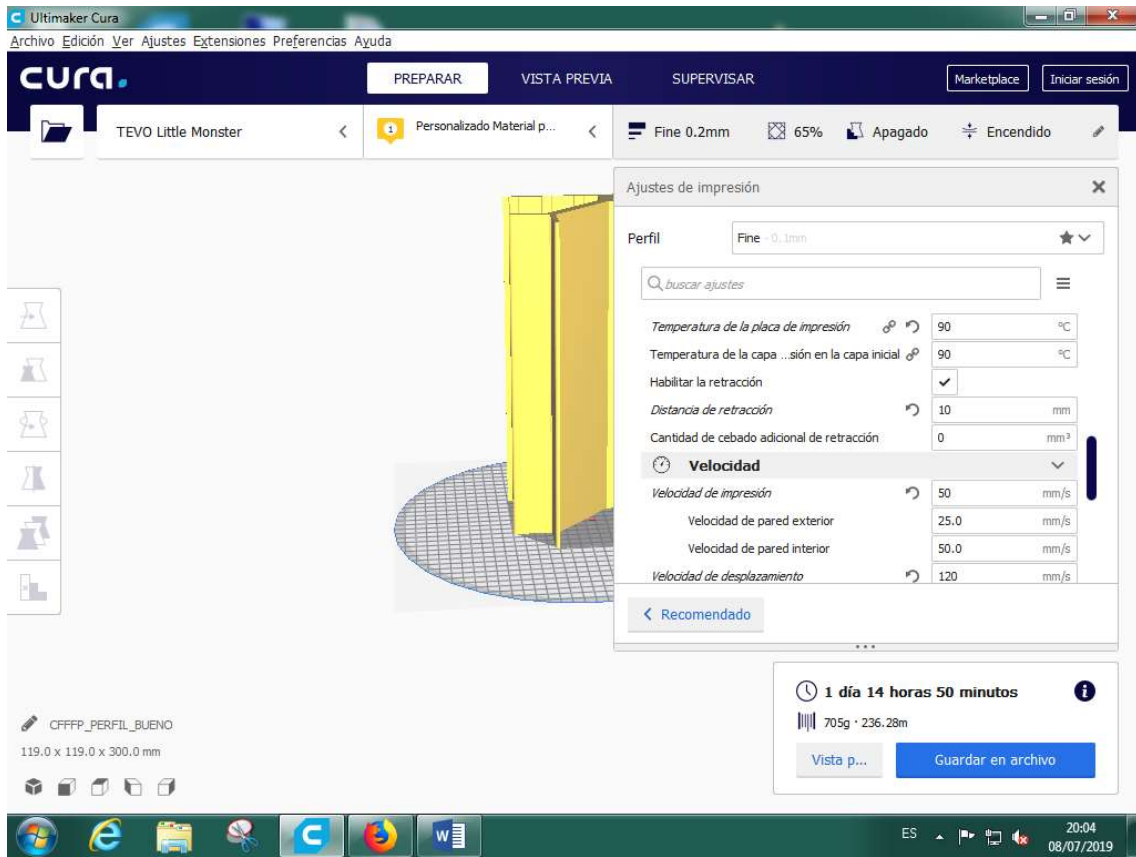
Para evitar la aparición de grietas, las recomendaciones fueron, mantener la temperatura del lugar donde se estaba imprimiendo constante o lo más próximo a ello. Disminuir la velocidad de impresión, de esta manera el material tendría más tiempo de asentamiento en las zonas de impresión. Por último, desactivar el ventilador de capa, así se consigue la relajación del material y evitar contracciones que puedan separar las distintas capas.

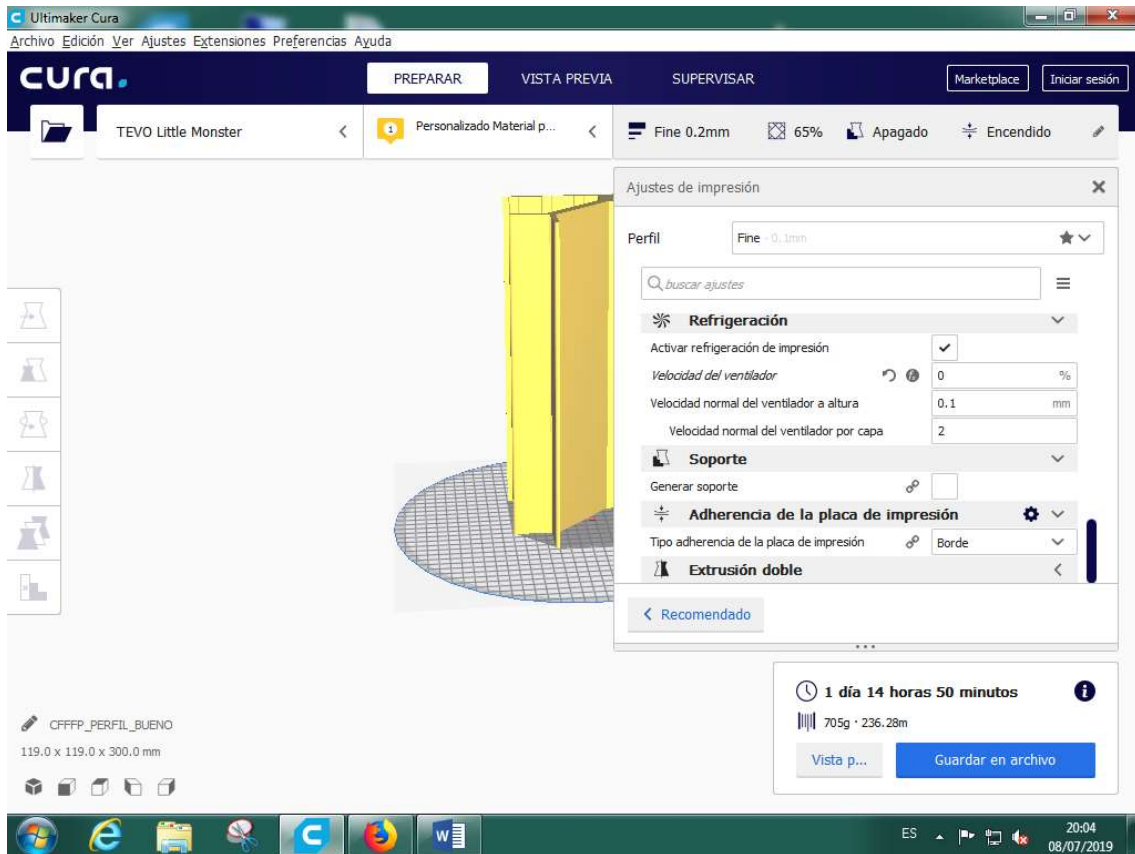
Por nuestra parte, se propuso también el aumento del espesor de las alas exteriores del perfil, consiguiéndose así una mayor superficie, y aumentar el momento de inercia de este.

Una vez que se habían tenido en cuenta todas estas recomendaciones, se procedió a la modificación del archivo de impresión (denominado comúnmente gcode, debido a que este es la extensión del archivo).

Estos fueron los parámetros establecidos:







Tras aplicar los cambios, se trasladó el archivo a la impresora, con la sorpresa de que no calentaban ni el extrusor, el encargado de fundir el material, ni la cama caliente. Este fue un problema que no se pudo resolver. La impresora sigue en mantenimiento intentando arreglar los sensores de temperatura que suele ser el fallo más común.

Es por este motivo, por el cual, no se han podido obtener las probetas necesarias para realizar los ensayos. Esta es una tarea la cual queda pendiente. La intención es la de seguir con este proyecto en el futuro, terminarlo, e incluso aumentarlo, tal y como se explica en el apartado de trabajos futuros.

## 6. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 6.1 Programa experimental

El fin de este proyecto era el de poder ensayar las probetas ensambladas con los paneles sándwich. Se pretendía realizar 2 ensayos con carga controlada y medir la deformación para poder comparar con la simulación realizada y expuesta anteriormente en elementos finitos.

Lamentablemente, debido a los problemas presentados en la etapa de fabricación de probetas mediante impresión 3D, este apartado no ha podido realizarse ya que no se dispone de medios para la obtención de probetas.

Sin embargo, el programa experimental está diseñado en su totalidad. Para poder llevarlo a cabo, se precisan de unos útiles de ensayo especiales, es decir, las mordazas que ofrece el fabricante de ensayo no son válidas y se han diseñado y fabricado. Los útiles son de diseño y fabricación propia.



### 6.2 Útiles de ensayo

Para poder ensayar correctamente las probetas, se precisan de dos útiles diferentes. El primero, consta de un vástago el cual se introduce perfectamente en el

taladro que tiene el banco de ensayos. A continuación, se introduce un prisionero, de diámetro 13 mm el cual impide la rotación sobre el eje principal. Para la fabricación de este vástago, se ha empleado tubo redondo de 50 mm macizo. Este funciona como asentamiento en la máquina, y sirve para evitar la concentración de tensiones y generar una transición de las misma, para que la tensión aplicada se distribuya de forma uniforme.



El segundo útil, parte de la misma base que el anterior. A este se le han añadido unos taladros de diámetro 21 mm en su base, con el fin de poder atornillar la placa a la base del banco de ensayos. Esto se ha ideado debido a que esta placa será la encargada de sujetar la parte inferior del sólido e impedir su movimiento, pero debe de hacerlo desde uno de los extremos, por lo que se crea una excentricidad que se debe de corregir para evitar falsear el ensayo.

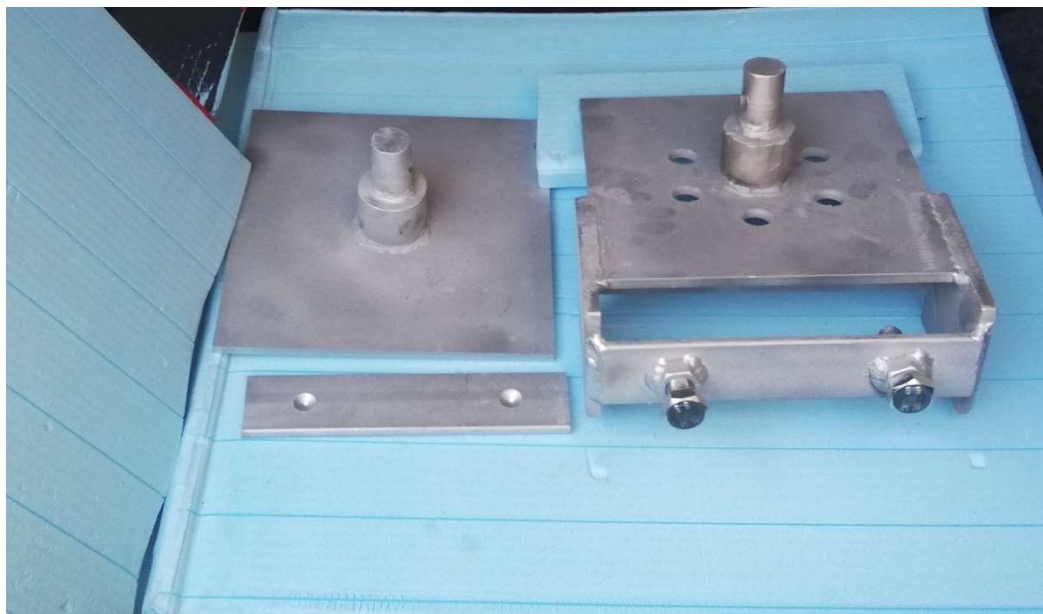


El sistema de sujeción se ha realizado de manera reversible y funcional, es decir, es posible retirar la probeta de forma sencilla tras el ensayo. También se ha diseñado intencionadamente de manera que el espesor del panel que se introduce en su interior es variable. Este apartado se detallará en profundidad en el apartado de Trabajos Futuros. El sistema de fijación no es más que dos tuercas soldadas y un tornillo con una pletina de 4 mm la cual aprieta el panel.

Los ejes de 30 mm, los cuales son los que se introducen en el interior, han sido torneados ya que no se disponía de eje de 30 mm. Se a rebajado de 35 a 30 mm:



Finalmente, estos son los útiles finalizados, y pintados en galvanizado para un mejor acabado:



## 7. CONCLUSIONES

Tras conocer un poco más a fondo el sector de la carrocería para transporte, se concluye con la poca información definida al respecto. Esto significa, que los parámetros básicos de seguridad están definidos, pero no el método para conseguirlo. Esto refleja dos puntos de vista:

El primero, de aspecto positivo, es que deja al carrocerero la libertad de diseño de elementos estructurales, para la fabricación de carrocerías. Este punto, se considera favorable, debido a que se fomenta una continua innovación en el sector, evitando así el plagio.

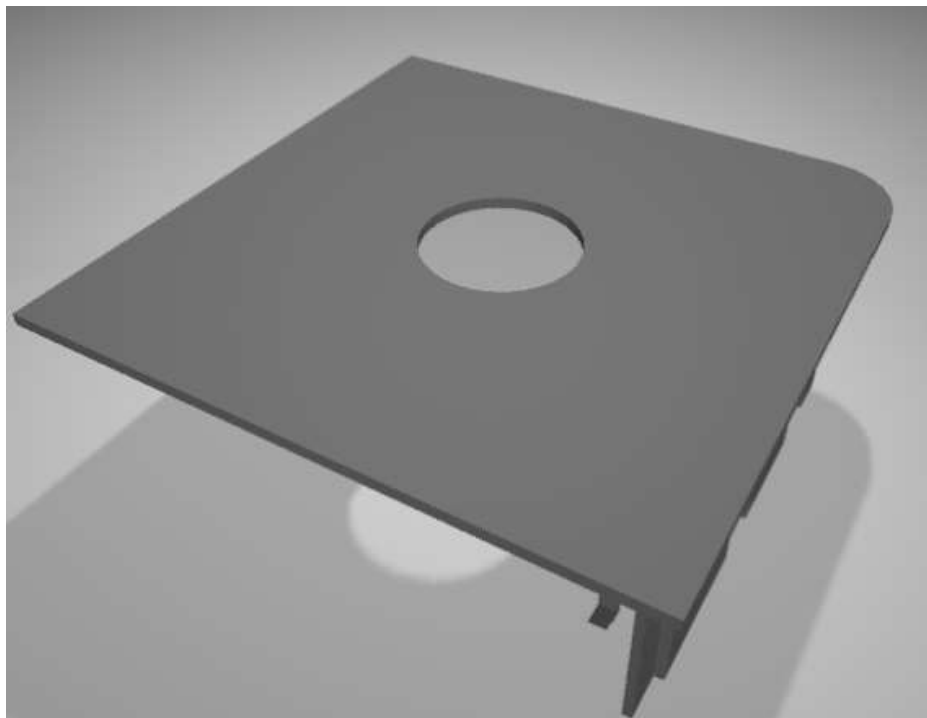
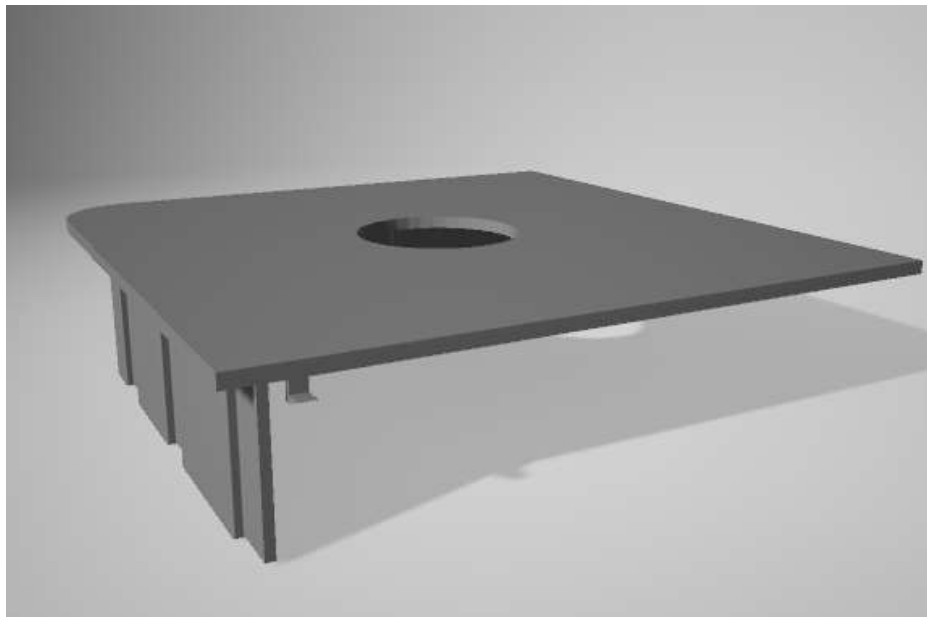
El segundo, de aspecto negativo, es la creación de nueva empresa. No todo el mundo podría empezar de cero una empresa de tales características. Necesitaría diseñar todos y cada uno de los elementos que componen la carrocería, y posteriormente estudiarlos y ensayarlos, para comprobar que cuenta con las medidas mínimas de seguridad, elevando considerablemente la inversión inicial. Es aquí donde entra la experiencia del carrocerero, sabiendo que elementos debe reforzar, en cuales aligerar, y cuales son meramente estéticos.

Pasando al siguiente apartado del trabajo, destacar la necesidad e importancia de la simulación. Es una herramienta joven, la cuál en la actualidad, tiene un fácil acceso, con softwares intuitivos, la cual puede utilizar cualquier personal con cualificación. Esta, facilita una cantidad de información espectacular, la cual, a su vez, es una herramienta para la toma de decisiones. Es por ello, que se decidió integrar un apartado de simulación en elementos finitos en el proyecto, ya que es una herramienta que está cada vez más al orden del día en la industria.

Referente a la fabricación aditiva, y en concreto al proceso de impresión 3D, destacar, por un lado, sus ventajas, como pueden ser el prototipado rápido, bajo costo, y facilidad de uso. Pero, sin embargo, para la creación de piezas, dispuestas para producto final, aún falta desarrollo en este sector. Aunque no cabe duda, de que a la velocidad que se está innovando en este sector, no tardará en llegar. Llegando a ese punto, la impresora 3D, pasará de ser una herramienta de oficina técnica, a serlo también en la planta de fabricación. Por otro lado, destacar la gran variedad de materiales, que se pueden encontrar en el mercado. Este aspecto, muy positivo, deja

el papel principal al uso de polímeros plásticos en la industria, objetivo principal de este proyecto.

Como conclusión del proyecto, en primer lugar, la incorporación de la impresión 3D en este sector, es posible. En primer lugar, porque se conoce de la utilización de piezas pequeñas en el sector, como tapaderas y otros útiles:



Estas son unas tapaderas diseñadas para el hueco que dejan los perfiles de aluminio que están implantados en la actualidad. Pero para elementos estructurales, como es la perfilería, el inconveniente es la longitud de los mismos, ya que la impresora actuales cuenta con un pequeño volumen de impresión. Una posible solución sería el diseño de algún útil de unión entre pequeños perfiles con el mismo método.

Finalmente, si no hubiese ocurrido los problemas de impresión del prototipo ocurridos, se habría llevado a cabo el programa experimental. Debido a que esto no ha sido posible, se pretende continuar con el proyecto y obtener los resultados definitivos del prototipo.

Aunque no se hayan obtenido dichos resultados, destacar que los resultados obtenidos de la simulación son satisfactorios, resultados que impulsan la inquietud de continuar con el proyecto, conseguir el objetivo de implantarlo en una carrocería, e incluso mejorarlo a posteriori con nuevos requisitos que pueda requerir el perfil.

Este Trabajo Fin de Grado, seguirá desarrollándose, y se le seguirá exigiendo, hasta conseguir eliminar el 100 % de metal de la carrocería.

## 8. TRABAJOS FUTUROS

El proyecto en su conjunto, puede extrapolarse también a las carrocerías de otro tipo. Existen las carrocerías paqueteras, las cuales a su vez se dividen en dos tipos, las carrocerías de paneles sándwich de 30 mm las cuales estas compuestas por los mismos elementos que el vehículo isoterma, con la diferencia que el núcleo del panel, deja de ser aislante, y se utiliza poliestireno extruido (XPS) de 26 mm. Con ello se rebaja considerablemente el peso de la carrocería.



Por otro lado, está el denominado furgón de poliéster. En este furgón los paneles se fabrican con una sola plancha de poliéster y se pegan unos pilares con perfiles en formas de omega de acero galvanizado de 0.8 mm, Estos furgones son aún más ligeros,

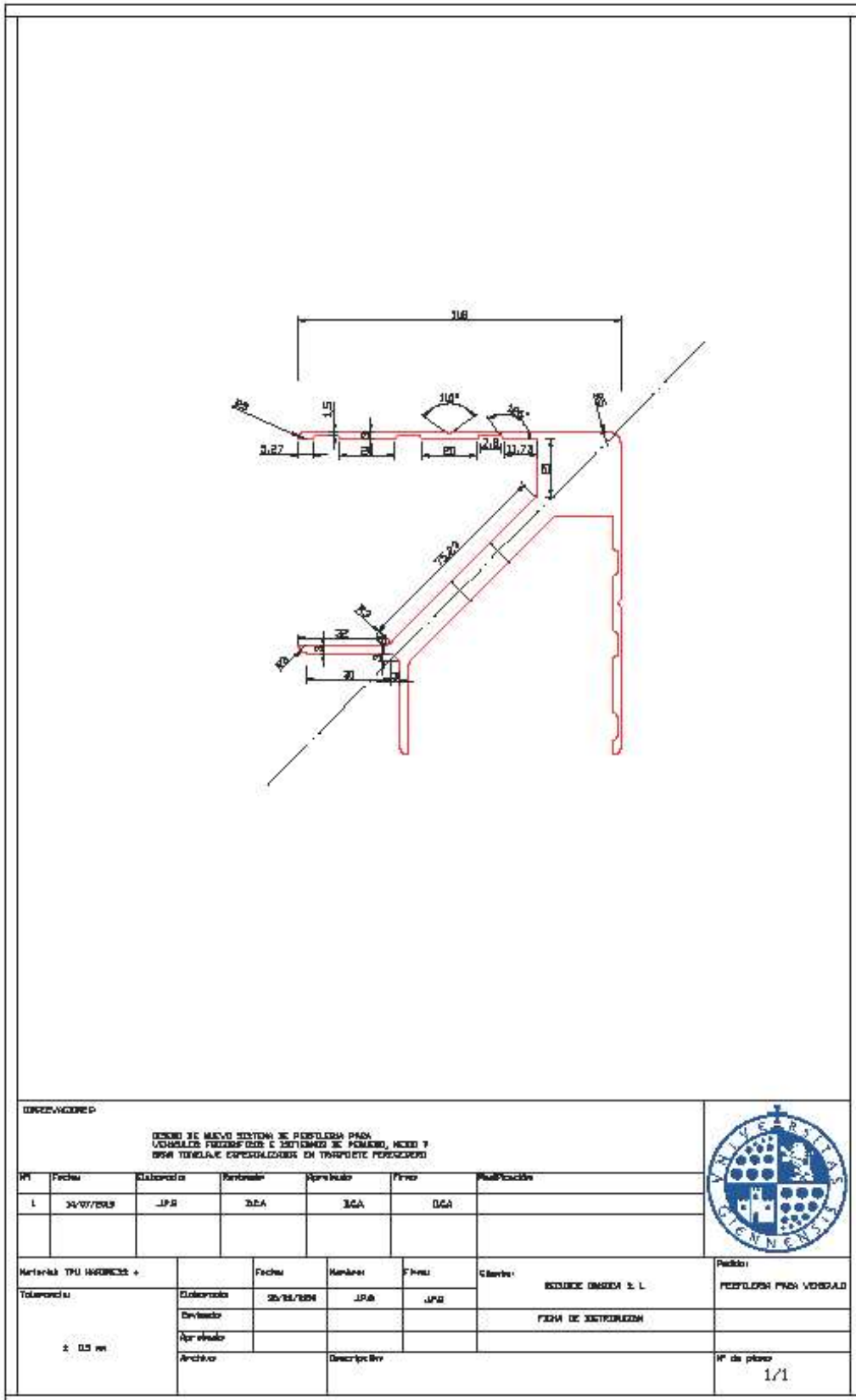


El bajo peso es una de las características más deseadas en el sector carroceros ya que deja mayor carga útil de transporte.

También se pretende conseguir desarrollar el programa experimental del mismo, obtener los resultados de ensayo del perfil y compararlos con la simulación de elementos finitos.

Finalmente, se diseñará un útil de unión entre perfiles y se hará una carrocería prototipo con esta perfilería. Con esto, se eliminará gran cantidad de metal del actual diseño, llevándola así al desarrollo sostenible, y más respetuosa con el medio ambiente.

### 9. ANEXOS



## Bibliografía

- [1] Real Decreto 563/2017, de 2 de junio, por el que se regulan las inspecciones técnicas en carretera de vehículos comerciales que circulan en territorio español.
  
- [2] Víctor Torres Expósito (2018): *Caracterización de nuevos materiales para impresión 3D*. Universidad de Jaén
  
- [3] Orainindustria4.0. (2012). *Fabricación aditiva*. Recuperado de: <https://www.gipuzkoa.eus/documents/20933/1883176/DFG-Industria4-0-Caso-Fabricacion-Aditiva-IMH-Esp.pdf>
  
- [4] Jorquera Ortega, A. (2017). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.