



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño del frontal para vehículo de transporte de carga  
para la mejora de la eficiencia aerodinámica

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: María Latorre, Miquel

Tutor/a: Pérez Sánchez, Modesto

Cotutor/a: Gómez Sellés, Elena

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025

**Título:** Diseño del frontal para vehículo de transporte de carga para la mejora de la eficiencia aerodinámica

## Resumen

En el siguiente Trabajo fin de grado (TFG), se va a realizar el diseño de un frontal de un vehículo de transporte de carga, para con ello obtener una mejora de la eficiencia aerodinámico y por lo tanto reducir la carga de arrastre del vehículo y mejorar la movilidad de este, y de esta forma poder reducir el consumo de combustible del vehículo; por lo tanto, de esta forma se reduciría considerablemente la emisión de gases invernadero. Esta optimización se realizará mediante la utilización de técnicas CFD y haciendo un cálculo analítico manual del coeficiente de arrastre aerodinámica del vehículo; Para realizar la optimización, primero se realizará un estudio aerodinámico del estado original del vehículo y posteriormente se realizarán un diseño del frontal que mejore la eficiencia aerodinámica de este; para realizar este nuevo diseño, se hará un dimensionado preciso de las nuevas piezas, se estudiara el procedimiento de fabricación adecuado para estas y se tendrán en cuenta los requisitos de seguridad establecidos por la normativa vigente en España. Una vez conseguido esta mejora del rendimiento aerodinámico, se calculará la nueva distribución de cargas producidas en el nuevo frontal, y se seleccionará el material idóneo para estas condiciones, a partir del software Solid Works. Debido a que actualmente la combustión de combustibles fósiles contribuye considerablemente a la generación de gases invernadero, esta optimización supondrá un cambio indispensable en el vehículo, ya que este tipo de vehículo consume un 40% de la energía procedente del combustible para vencer la resistencia del aire. Finalmente, se presentará un presupuesto detallado que indique todos los precios unitarios, presupuestos parciales y presupuesto total.

COMPETENCIAS DE VERIFICA DESARROLLADAS:

64, 66, 67, 68, 73, 02, 05, 22, 23, 28, 41, 44, 47, 61, 63, TFG.

**Palabras clave:** aerodinámica; eficiencia; consumo; emisiones.

**Títol:** Disseny del frontal per a vehicle de transport de càrrega per a la millora de l'eficiència aerodinàmica.

## Resum

En el següent Treball fi de grau (TFG), es realitzarà el disseny d'un frontal d'un vehicle de transport de càrrega, envers això se obtindrà una millora de l'eficiència aerodinàmica i per tant reduir la càrrega d'arrossegament del vehicle i millorar la mobilitat d'este, i d'esta manera poder reduir el consum de combustible del vehicle; per tant, d'esta manera es reduiria considerablement l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Esta optimització es realitzarà mitjançant la utilització de tècniques CFD i fent un càlcul analític manual del coeficient de arrossegament aerodinàmica del vehicle; Per a realitzar l'optimització, primer es realitzarà un estudi aerodinàmic de l'estat original del vehicle i posteriorment es realitzaran un disseny del frontal que millora l'eficiència aerodinàmica d'este; per a realitzar este nou disseny, es farà un dimensionament precís de les noves peces, s'estudiarà el procediment de fabricació adequat per a estes i es tindran en compte els requisits de seguretat establides per la normativa vigent a Espanya. Una vegada aconseguit esta millora del rendiment aerodinàmic, es calcularà la nova distribució de càrregues produïdes en el nou frontal, i se seleccionarà el material idoni per a estes condicions, a partir del programa Solid Works. Pel fet que actualment la combustió de combustibles fòssils contribuïx considerablement a la generació de gasos amb efecte d'hivernacle, esta optimització suposarà un canvi indispensable en el vehicle, ja que este tipus de vehicle consumeix un 40% de l'energia procedent del combustible per a vèncer la resistència de l'aire. Finalment, es presentarà un pressupost detallat que indiqui tots els preus unitaris, pressupostos parcials i pressupost total.

COMPETÈNCIES DE VERIFICA DESENVOLUPADES:

64, 66, 67, 68, 73, 02, 05, 22, 23, 28, 41, 44, 47, 61, 63, TFG.

**Paraules clau:** aerodinàmica; eficiència; consum; emissions.

**Title:** Design of the front end for a cargo transport vehicle to improve aerodynamic efficiency.

## **Abstract**

In the following Final Degree Project (TFG), the design of a front end of a cargo transport vehicle is going to be carried out, in order to obtain an improvement in aerodynamic efficiency and therefore reduce the drag load of the vehicle and improve its mobility, and in this way be able to reduce the vehicle's fuel consumption; therefore, in this way the emission of greenhouse gases would be considerably reduced. This optimisation will be carried out using CFD techniques and making a manual analytical calculation of the aerodynamic drag coefficient of the vehicle. To carry out the optimisation, first an aerodynamic study of the original state of the vehicle will be carried out and then a design of the front end will be made to improve the aerodynamic efficiency of the vehicle; to make this new design, a precise dimensioning of the new parts will be made, the appropriate manufacturing procedure for these will be studied and the safety requirements established by the current regulations in Spain will be taken into account. Once this improvement in aerodynamic performance has been achieved, the new load distribution produced in the new front end will be calculated, and the ideal material for these conditions will be selected, using Solid Works software. As the combustion of fossil fuels currently contributes considerably to the generation of greenhouse gases, this optimisation will be an indispensable change in the freight vehicle, as this type of vehicle consumes 40% of the energy from the fuel to overcome air resistance. Finally, a detailed budget will be presented indicating all unit prices, partial budgets and total budget.

**COMPETENCES DEVELOPED:**

64, 66, 67, 68, 73, 02, 05, 22, 23, 28, 41, 44, 47, 61, 63, TFG.

**Keywords:** aerodynamics; efficiency; consumption; emissions.



# ÍNDICE:

MEMORIA .....	10
1 Objetivo .....	11
2 Normativa aplicada.....	12
3 Necesidades por resolver del problema .....	15
4 Conceptos Básicos de la Aerodinámica: .....	16
4.1 3ª Ley de Newton.....	16
4.2 Teorema de Bernoulli.....	16
4.3 Efecto Venturi. ....	17
4.4 Capa límite y Perfil alar.....	17
5 Fórmulas matemáticas aplicadas.....	20
6 Estudio CFD.....	24
6.1 Condiciones iniciales. ....	24
6.2 Estudio de sensibilidad de la malla.....	29
6.3 Análisis de los resultados. ....	32
7 Procedimiento Experimental. ....	41
7.1 Deflectores. ....	41
7.2 Modelos. ....	46
7.3 Análisis de los resultados. ....	48
7.4 Cálculo consumo de combustible.....	52
8 Cálculo Resistente y Elección del Material.....	57
8.1 Análisis de los esfuerzos.....	57
8.2 Materiales planteados.....	62
8.3 Análisis Resistente.....	65
8.4 Volumen y Coste de Material. ....	68
8.5 Elección final del material. ....	70
9 Proceso de fabricación. ....	72
9.1 Procesos de fabricación planteados.....	72
9.2 Elección del proceso de fabricación. ....	77
10 Elección de sujeciones.....	78
11 Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.....	79
11.1 Objetivo.....	79
11.1.1 Alcance del proyecto. ....	79
11.2 Normativa y condiciones de carácter general.....	79

11.3	Condiciones particulares.....	80
11.3.1	Requisitos de pruebas.....	80
11.3.2	Condiciones económicas.....	81
11.3.3	Condiciones legales.....	81
12	Presupuesto.....	82
12.1	Mediciones.....	82
12.2	Cuadro de precios unitarios.....	82
12.3	Presupuestos parciales.....	84
12.4	Resumen del presupuesto.....	84
13	Planos.....	86
14	Conclusiones.....	96
15	Referencias bibliográficas.....	97

## Listado de Figuras

Ilustración 1 - Efecto Venturi.....	17
Ilustración 2 - Dimensiones perfil alar.....	18
Ilustración 3 - Capa limite .....	19
Ilustración 4 - Modelo 3D del vehículo.....	24
Ilustración 5 - Comprobación geométrica del modelo 3D .....	25
Ilustración 6 - Condiciones del fluido en la simulación .....	25
Ilustración 7 - Rugosidad del modelo en la simulación .....	26
Ilustración 8 - Condiciones ambientales e iniciales de la simulación.....	27
Ilustración 9 - Volumen de control.....	28
Ilustración 10 - Dimensiones volumen de control .....	28
Ilustración 11 - "Goals" simulación.....	29
Ilustración 12 - Refinamiento de la malla 1.....	30
Ilustración 13 - Simulación 1 .....	30
Ilustración 14 - Simulación 2 .....	31
Ilustración 15 - Simulación 3 .....	31
Ilustración 16 - Simulación 4 .....	32
Ilustración 17 - Error refinamiento de malla .....	32
Ilustración 18 - Contornos de presión en el plano medio .....	33
Ilustración 19 - Contornos de velocidad en el plano medio.....	33
Ilustración 20 - Líneas de flujo en el plano medio.....	33
Ilustración 21 - Contornos de presión en el frontal .....	34
Ilustración 22 - "Flow Trajectories" desde el frontal.....	35
Ilustración 23 - "Flow Trajectories" desde el lateral .....	35
Ilustración 24 - "Flow Trajectories" desde la parte trasera .....	35
Ilustración 25 - "Flow Trajectories" deflector superior .....	36
Ilustración 26 - "Flow Trajectories" escalón puerta .....	36
Ilustración 27 - "Flow Trajectories" lateral cabeza tractora.....	37
Ilustración 28 - "Flow Trajectories" localizado 1 .....	37
Ilustración 29 - "Flow Trajectories" localizado 2 .....	38
Ilustración 30 - Extracción de los "goals" .....	38
Ilustración 31 - Contorno área frontal.....	39
Ilustración 32 - Valor área frontal .....	40
Ilustración 33 - Propiedades del aire a la presión de 1 atm.....	40
Ilustración 34 - Deflector superior cabeza tractora .....	42
Ilustración 35 - Deflector lateral medio .....	42
Ilustración 36 - Deflector lateral inferior.....	43
Ilustración 37 - Deflector lateral superior .....	43
Ilustración 38 - Fondo Plano .....	43
Ilustración 39 - Cubierta escalón puerta .....	44
Ilustración 40 - Cubierta faro.....	44
Ilustración 41 - Deflectores laterales.....	45

Ilustración 42 - Laminador de flujo.....	45
Ilustración 43 - Nuevo deflector cabeza tractora.....	46
Ilustración 44 - Modelo 1.....	47
Ilustración 45 - Modelo 2.....	47
Ilustración 46 - Modelo 3.....	48
Ilustración 47 - Contornos de presión en el plano medio.....	49
Ilustración 48 - Contornos de velocidad en el plano medio.....	50
Ilustración 49 - Contornos de presión en el frontal.....	50
Ilustración 50 - "Flow Trajectories" deflector superior de la cabeza tractora.....	51
Ilustración 51 - "Flow Trajectories" Fondo plano y cubierta escalón puerta.....	51
Ilustración 52 - "Flow Trajectories" Frontal.....	52
Ilustración 53 - "Flow Trajectories" lateral.....	52
Ilustración 54 - Esfuerzos modelo.....	57
Ilustración 55 - Propiedades aluminio.....	63
Ilustración 56 - Propiedades ABS.....	64
Ilustración 57 - Propiedades poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	65
Ilustración 58 - Esfuerzos y sujeciones en los deflectores.....	65
Ilustración 59 - Ensayo poliéster reforzado con fibra de vidrio.....	66
Ilustración 60 - Ensayo ABS.....	67
Ilustración 61 - Ensayo aluminio.....	67
Ilustración 62 - Cálculo volumen deflectores.....	68
Ilustración 63 - Compuesto de moldeo de lámina (SMC).....	72
Ilustración 64 - Compuesto de moldeo volumétrico (DMC).....	73
Ilustración 65 - Laminado manual.....	73
Ilustración 66 - Moldeo por bolsa de vacío (VARTM).....	74
Ilustración 67 - Método de Interfase (Fosgenación).....	74
Ilustración 68 - cubierta de faro.....	75
Ilustración 69 - deflector lateral.....	75
Ilustración 70 - deflector superior de la cabeza tractora.....	75
Ilustración 71 - Fondo plano.....	76
Ilustración 72 - Cubierta del escalón de la puerta.....	76
Ilustración 73 - deflector inferior lateral.....	76
Ilustración 74 - Bomba de vacío.....	83

## Listado de Tablas

Tabla 1 - MMA máximas según normativa.....	12
Tabla 2 - Longitud máxima según normativa .....	13
Tabla 3 - Anchura máxima según normativa.....	13
Tabla 4 - Altura máxima según normativa .....	14
Tabla 5 - Partes perfil alar.....	18
Tabla 6 - Rugosidades absolutas de los materiales .....	26
Tabla 7 - Valores Cx modelo original .....	41
Tabla 8 - Cx de los diferentes modelos.....	48
Tabla 9 - Cx del modelo más eficiente.....	49
Tabla 10 - Resistencia de rodadura .....	53
Tabla 11 – Perdidas mecánicas por la transmisión .....	53
Tabla 12 - Resistencia aerodinámica .....	53
Tabla 13 - Resistencia total al avance(N).....	54
Tabla 14 - Potencia necesaria para vencer la resistencia (W).....	54
Tabla 15 - Potencia necesaria para vencer la resistencia (CV).....	54
Tabla 16 - Consumo de combustible (kg/kWh) .....	55
Tabla 17 - Consumo de combustible (litros/100km).....	55
Tabla 18 - Porcentaje de mejora .....	55
Tabla 19 - Esfuerzos 90 km/h .....	59
Tabla 20 - Esfuerzos 120 km/h .....	62
Tabla 21 - Volúmenes y masas del poliéster .....	69
Tabla 22 - Volúmenes y masa del aluminio .....	69
Tabla 23 - Volúmenes y masas del PC .....	69
Tabla 24 - Precios de los materiales .....	70
Tabla 25 - Coste del material de los deflectores .....	70
Tabla 26 - Mediciones.....	82

## Listado de Acrónimos

En el siguiente listado, se van a enumerar todos los acrónimos o abreviaturas utilizadas en la redacción del presente proyecto.

CFD – “*Computational Fluid Dynamics*”

Lat. – Lateral.

Der. – Derecha.

Izq. – Izquierda.

Sup. – Superior.

Inf. – Inferior.

Med. – Medio.

Def. – Deflector.

SMC - Compuesto de moldeo de lámina.

VARTM - Moldeo por bolsa de vacío.

DMC - Compuesto de moldeo volumétrico.

MMA - masa máxima admisible.

$C_x$ -Coeficiente de penetración.

# MEMORIA

## 1 Objetivo

El objetivo que se va a tratar de resolver en este proyecto de fin de grado es rediseñar el frontal de un vehículo utilitario de transporte de carga pesado, en este caso se trata de un Volvo FH12 420 del 1995; este rediseño se va a centrar en optimizar aerodinámicamente el vehículo para reducir la fuerza de arrastre que presenta este y a su vez el coeficiente aerodinámico.

Esta reducción supondrá que la potencia necesaria para realizar los mismos trayectos de transporte de mercancías será menor; por lo tanto, se podrán montar motores con menor potencia o cilindrada, u optar por programar la centralita del motor para que este entregue menor potencia.

Estas modificaciones supondrían un menor consumo de combustible, lo que repercutiría en unas menores emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes como pueden ser los óxidos de nitrógeno; esta es una de las razones más determinantes para realizar este rediseño, ya que actualmente la concienciación ambiental es un factor muy importante para tener en cuenta. Pero, a su vez este rediseño supondría un menor gasto económico para la empresa que disponga de este modelo de camión, para el transporte de mercancías, y opte por este rediseño del frontal.

Una vez alcanzado el objetivo de rediseñar el frontal para obtener esta mejora en la eficiencia aerodinámica, se buscará el material que ofrezca mejores prestaciones para este propósito y a su vez que este sea lo más económico posible. También se determinará el procedimiento de fabricación utilizado para realizar las piezas diseñadas con el material seleccionado. Para realizar esta selección tanto de material como de proceso de fabricación se propondrán las opciones que se puedan llevar a cabo y se seleccionara la mejor opción entre estas.

Al alcanzar este punto solo faltaría seleccionar las sujeciones necesarias para las piezas diseñadas, y estas van a depender del tipo de pieza que se trate en cada caso y de los esfuerzos que tenga que soportar esta. Para determinar esto, se realizarán los diferentes estudios de esfuerzos que tengan que soportar estas piezas.

Finalmente, se realizará un presupuesto del coste de este proyecto y se analizaran los resultados obtenidos a lo largo de este, para determinar con validez los cambios realizados en este rediseño.



## 2 Normativa aplicada

La normativa que se ha tenido en cuenta para la realización de este proyecto ha sido extraída de la dirección general de tráfico (DGT), siendo el documento utilizado: “Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa.”, siendo la edición utilizada la del 2018, ya que siguen en vigencia y es la última actualización de este reglamento.

La información principal que podemos ver en este documento y a su vez la información que más se debe tener en cuenta para realizar cualquier rediseño en un vehículo pesado son: las dimensiones máximas admisibles para este tipo de vehículos, y a su vez la masa máxima admisible (MMA). En este caso el modelo que se va a utilizar para realizar el proyecto es un Volvo Fh12 6X2, disponiendo de dos ejes, uno motriz y otro directriz. En el caso del semirremolque dispone de 3 ejes sin tracción. Por lo tanto, el vehículo dispone de 5 ejes en total.

En el siguiente punto se van a contemplar las diferentes masas máximas admisibles permitidas, dependiendo del número de ejes que disponga el vehículo pesado. Estos valores se van a contemplar en la tabla (1):

- **“Vehículos articulado de 5 o más ejes”:**

<b>Vehículos articulado de 5 o más ejes</b>	<b>Toneladas</b>
Vehículo motor con 2 ejes y con semirremolque de 3 ejes	40
Vehículo motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 o 3 ejes	40
Vehículo motor con 3 ejes con semirremolque de 2 o 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	44
Vehículo motor con 3 ejes con semirremolque de 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	42

*Tabla 1 - MMA máximas según normativa*

Como en este caso, el modelo seleccionado para realizar este proyecto dispone de 2 ejes en el vehículo motor y 3 ejes en el semirremolque, su masa máxima admisible (MMA) es de 40 toneladas. Una vez calculado el peso total de los nuevos deflectores diseñados en el proyecto, se le restará el peso de estos a la MMA, para determinar la nueva carga que se puede transportar con este nuevo rediseño. [1]

En el siguiente punto se van a contemplar las dimensiones que se van a tener en cuenta para la realización del proyecto.

- **Dimensiones máximas:**

En la siguiente tabla, tabla (2), se van a observar las diferentes longitudes máximas permisibles para distintos tipos de vehículos.

<b>Longitud máxima</b>	<b>Metros</b>
Remolques	12,00
Vehículos articulados, excepto autobuses articulados	16,50
<b>Semirremolques</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La distancia máxima entre el eje del pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque</li> </ul>	12,00
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La distancia entre el eje del pivote de enganche y un punto cualquier de la parte delantera del semirremolque, horizontalmente</li> </ul>	2,04
Trenes de carretera	18,75

*Tabla 2 - Longitud máxima según normativa*

Al tratarse de un vehículo articulado, la distancia máxima posible que podrá disponer el vehículo será de 16,50 metros, y en este caso la longitud total del modelo utilizado es de 15,92 metros, por lo tanto, los deflectores utilizados no pueden añadir más de 0,58 metros al total de la longitud del vehículo. Pero, inicialmente no se tiene pensado realizar ningún tipo de deflector que añada longitud al vehículo. [1]

En la siguiente tabla, tabla (3), se van a observar las diferentes anchuras máximas permisibles como norma general y en otro caso diferente.

<b>Anchura máxima</b>	<b>Metros</b>
La anchura máxima autorizada, como regla general	2,55
<b>Superestructuras de vehículos acondicionados</b> Un vehículo acondicionado es cualquier vehículo cuya superestructuras fijas o móviles estén parcialmente equipadas para el transporte de mercancías a temperaturas dirigidas y en el que el espesor de cada pared lateral, incluido el aislamiento sea de 45 mm como mínimo	2,60

*Tabla 3 - Anchura máxima según normativa*

Por lo tanto, como no se trata en este caso de un vehículo acondicionado, se va a tomar la medida establecida como norma general, siendo de 2,55 metros. En este caso, el modelo seleccionado dispone de 2,50 metros y en la ficha técnica del vehículo figuran 2,55 metro, pero en ambos casos se ciñen a la normativa y no se va a realizar ningún deflector que supere esta medida de anchura.

En la siguiente tabla, tabla (4), se van a observar las diferentes alturas máximas permisibles incluida la carga del vehículo, es decir, la caja del semirremolque.

Altura máxima	Metros
La altura máxima, incluida la carga	4,00
Altura máxima de los siguientes vehículos, incluida la carga	4,50
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Portaveículos: camiones rígidos y conjuntos de vehículos (trenes de carretera y vehículos articulados) cuando estén especializados en el transporte de vehículos</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehículos que transportan contenedores cerrados homologados para el transporte combinado intermodal</li> </ul>	

*Tabla 4 - Altura máxima según normativa*

En este caso, la altura máxima permisible para el modelo seleccionado es de 4,00 metros, y en el modelo seleccionado, la altura máxima de este es de 3,94 metros; por lo tanto, como tampoco se tiene pensado realizar deflectores que añadan altura al vehículo, el proyecto va a cumplir con la altura máxima permisible.

Como ya se ha comentado en este apartado, el modelo seleccionado para la realización del proyecto cumple las medidas establecidas por la "Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa." de la edición del 2018, y tampoco se tiene pensado que los deflectores diseñados añadan nada a estas dimensiones, por lo tanto, el proyecto cumple totalmente las medidas establecidas por este reglamento.

También se tendrá que recordar posteriormente, una vez determinada la carga total de los deflectores, la nueva carga máxima de transporte disponible teniendo en cuenta el MMA establecido por la "Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa.".

Finalmente, remarcar que la señalización obligatoria en este tipo de vehículos no se verá afectada la posición de esta por los nuevos deflectores; por lo tanto, seguirá cumpliendo la normativa establecida a la señalización establecida en este reglamento.

[1]

### 3 Necesidades por resolver del problema

Los camiones, en los tiempos actuales, se encargan de una función muy importante para el comercio, tanto para el comercio nacional como internacional; ya que estos se encargan de la mayor parte de transporte terrestre de las mercancías, haciendo de esta manera posible el transporte de bienes para las empresas o incluso particulares. Este transporte es uno de los más utilizados para el transporte de mercancías debido a que es uno de los más económicos, y además se requiere de este para subir y bajar las mercancías a otros tipos de transportes como pueden ser barcos, y también se requieren para acabar de distribuir las mercancías a los recintos de las industrias en caso de utilizar estos otros tipos de transporte.

Por lo tanto, como se ha comentado, este tipo de transporte va a tener una gran importancia en la distribución de mercancías de cualquier empresa; y a su vez, una reducción de costos en este transporte va a reducir los gastos de las empresas de una forma significativa. Por este motivo, en los últimos años se ha tratado de reducir el consumo de combustible de los camiones, para que los gastos en el transporte de mercancías sean menores; y esta reducción de combustible se ha llevado a cabo a partir de la aplicación de mejoras en la aerodinámica de estos vehículos.

En estas mejoras en la aerodinámica se busca la reducción de la fuerza de arrastre aerodinámica que sufre el vehículo para reducir el coeficiente aerodinámico en la dirección de avance del camión; para poder reducir la fuerza de arrastre se incorporan deflectores, como puede ser el que se incorpora encima de la cabeza tractora del camión, esta reducción supondrá que para alcanzar la misma velocidad requerirá de menor potencia, por lo tanto, se producirá un ahorro de combustible.

Por lo tanto, una vez determinadas la importancia de reducir el coste en el transporte de mercancías y la manera de reducir este gasto económico; se puede decir que la necesidad que va a satisfacer este proyecto, es realizar un nuevo diseño de la carrocería del camión, para que la fuerza de arrastre de este sea menor y por lo tanto el consumo de combustible también. Este diseño en la carecía se podría realizar en la propia carrocería base del camión o añadiendo nuevos deflectores a la carrocería base que reduzcan este coeficiente aerodinámico.

## 4 Conceptos Básicos de la Aerodinámica:

En este apartado se van a comentar los conceptos básicos y generales conocidos y utilizados hasta el momento de la aerodinámica, a partir de los conceptos expuestos seguidamente se van a realizar deflectores que mejoren el rendimiento aerodinámico del vehículo.

Antes de empezar a comentar estos conceptos básicos, se tiene que entender que la ciencia de la aerodinámica tiene muy pocos años de historia; ya que se puede observar en modelos del pasado como no se tenía en consideración ninguno de los aspectos a comentar, y los cambios que lograban alguna mejora en el aspecto aerodinámico se lograban de manera experimental. No fue hasta la década de 1900, donde algunos coches de competición empezaban a incorporar algunos guiños a la aerodinámica. [2]

Con esta pequeña introducción histórica de la aerodinámica, se pretende comprender que esta ciencia se lleva estudiando alrededor de un siglo en la historia, lo que supone muy poco tiempo de evolución para cualquier ciencia. Pero hoy en día se tienen muchos avances en ella como puede ser el estudio CFD que nos proporciona un primer estudio del fluido lo suficiente bueno para empezar con unos primeros diseños con mejor rendimiento aerodinámico.

Seguidamente se van a comentar a lo largo de diferentes apartados, los diferentes conceptos básicos y las principales leyes de la aerodinámica.

### 4.1 3ª Ley de Newton.

Primero que nada, se va a comentar la tercera ley de Newton para entender el comportamiento del vehículo al atravesar el fluido, ya que como anuncia esta ley " toda acción genera una reacción de igual intensidad, pero en sentido opuesto". Por lo tanto, a partir de esta ley, se puede comprender que la fuerza que genera el fluido en el avance del vehículo es la misma que está ejerciendo este al propio fluido.[3]

### 4.2 Teorema de Bernoulli.

En el Teorema de Bernoulli, formulado por Daniel Bernoulli (1700-1782), se puede apreciar una declaración de la conservación de la energía para el flujo de fluidos. Ya que en este se presenta el comportamiento cualitativo de un fluido, donde con el descenso de la presión tenemos un aumento de la velocidad del flujo, para de esta forma obtener la conservación de la energía. [4]

Se encuentran descensos de la presión al hacer pasar el fluido por un estrechamiento, y puede parecer extraño que al encontrarse un estrechamiento la presión disminuya, pero en realidad no es tan extraño si se trata la presión en términos de densidad de energía. En el flujo a través de un estrechamiento, se debe disminuir la energía de presión a causa del incremento de la energía cinética. [3]

La formulación matemática del Teorema de Bernoulli representa que la energía por unidad de volumen antes es igual a la energía por unidad de volumen después:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

### 4.3 Efecto Venturi.

El efecto Venturi, validado de manera experimental por Giovanni Battista Venturi (1746-1822), deriva del teorema de Bernoulli expuesto anteriormente. Ya que en este se demostraba experimentalmente que, al hacer pasar un fluido por un estrechamiento, las partículas de este disminuyen la presión y aumentan la velocidad.[3]

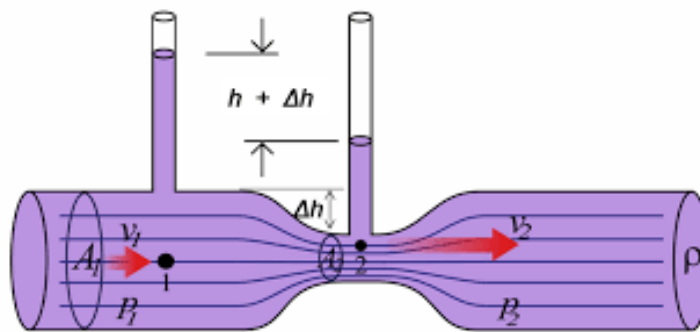


Ilustración 1 - Efecto Venturi

### 4.4 Capa límite y Perfil alar.

En este apartado se van a contemplar dos de los conceptos más importantes a tener en cuenta en el momento de diseñar componentes con prestaciones aerodinámicas óptimas, estos son la capa límite y el perfil alar.

Primeramente, se va a comentar el concepto de perfil alar, que en este caso se consideran unas leyes para diseñar los propios perfiles alares de la manera más eficiente posible. Las características geométricas, que debe presentar un perfil alar para poder disponer de las mejores prestaciones aerodinámicas, son las que se pueden observar en la ilustración 2.

Por lo general, este perfil está pensado para que el flujo vaya en la dirección del borde de ataque al borde de salida, y será muy relevante conocer la longitud de la propia cuerda del perfil alar. Esta longitud será relevante para caracterizar el flujo a partir del número de Reynolds referido a la cuerda "Re<sub>c</sub>".[5]

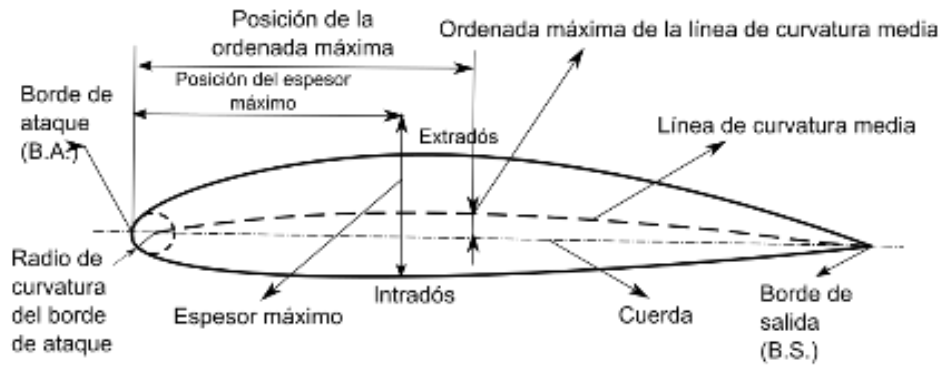


Ilustración 2 - Dimensiones perfil alar

En la siguiente tabla, tabla (5), se pueden ver las diferentes zonas más características del perfil alar, y además una breve descripción de estas y que función suponen estas en el funcionamiento del perfil.

Zona	Definición
Borde de ataque	Es el punto de la zona delantera del perfil alar, que presenta la máxima curvatura y por lo tanto el menor radio de curvatura
Radio de curvatura	Lugar geométrico generado a partir de ajustar los valores del punto de interés y sus adyacencias inmediatas a una circunferencia.
Borde de salida	Tiene la misma definición que el punto del borde de ataque, pero en este caso está situado en la zona posterior del perfil alar.
Extradós	Es la zona superior del perfil y también es conocida por ser la zona de succión del perfil, ya que, en esta zona al ser la parte más larga de las dos, las velocidades del flujo en esta son mayores y por lo tanto la presión estática es menor.
Intradós	En este caso, se trata de la superficie de la parte inferior del perfil; y en este caso, la superficie es más larga y por lo tanto las velocidades son inferiores y por lo tanto la presión estática es inferior que en el extradós. Por lo tanto, la resultante de estas dos genera la sustentación del perfil alar.
Cuerda	Línea que se traza por los bordes de ataque y de salida. Esta será la longitud característica para definir el número de Reynolds del perfil.
Línea de curvatura media	Si se trazan líneas perpendiculares a la tangente en cualquier punto, la distancia entre esta línea de curvatura media y ambas superficies en la perpendicular serán iguales. Esta curva coincidirá con la línea de cuerda en perfiles simétricos.

Tabla 5 - Partes perfil alar

En el caso del concepto de la capa límite, lo que está representando esta son las interacciones entre el fluido y el propio objeto que está sumergido en este, en este caso la carrocería del camión. Esta interacción tendrá un efecto en las cercanías de la superficie del objeto, que consistirá en detener el fluido en esta zona por el efecto de la propia viscosidad del fluido y la condición de no desplazamiento que hace que las partículas del fluido tengan una velocidad similar a la velocidad del sólido. [3]

En la siguiente ilustración 3 se puede observar diferentes reacciones de la capa límite interaccionando con el fluido en diferentes regímenes y velocidades.

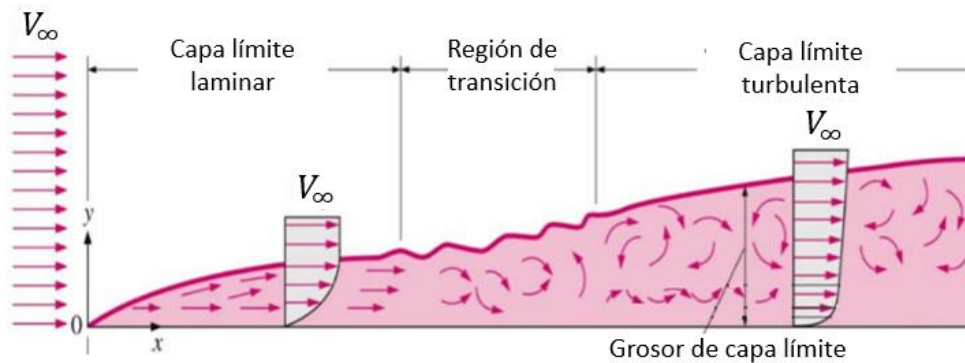


Ilustración 3 - Capa límite

La capa límite también va a generar un efecto interesante para el estudio aerodinámico al separarse del sólido sumergido, esta separación se suele conocer como desprendimiento de la capa límite; y este efecto en automoción va a formar muchas turbulencias en la parte posterior del vehículo, que van a provocar una succión que generará un aumento de la fuerza de arrastre y el coeficiente de arrastre aerodinámico.

Por lo tanto, se buscará en el diseño de la carrocería que el desprendimiento de la capa límite sea lo más lejos posible del vehículo para que no tenga ningún efecto de succión en este. [5]



## 5 Fórmulas matemáticas aplicadas.

Para poder verificar la viabilidad de este proyecto, se tiene que realizar un estudio aerodinámico del camión, en este caso un Volvo FH12 420, con la carrocería base y los nuevos deflectores diseñados en este proyecto; y de esta forma verificar la eficiencia de estos y la viabilidad del proyecto. También se tendrá que calcular, la repercusión de esta mejora aerodinámica en el consumo del vehículo estudiado. Para todo esto, se van a contemplar en este apartado todas las fórmulas matemáticas utilizadas para realizar los diferentes cálculos a lo largo del proyecto.

Lo que se trata en esta mejora de la eficiencia aerodinámica del vehículo, que concierne este proyecto, es reducir la resistencia aerodinámica o “drag forcé” de este; esta resistencia se define como la fuerza que genera un sólido al pasar a través de un fluido o, enunciado de manera diferente, la resistencia que presenta un fluido al ser atravesado por un sólido. En el momento de determinar esta resistencia, los factores más importantes y relevantes en esta van a ser, la velocidad del sólido al atravesar el fluido; y el área frontal del sólido, que va a ser la primera superficie en interactuar con el fluido.

Para determinar esta resistencia, también se utilizan diferentes coeficientes aerodinámicos, que se tratan de números adimensionales que describen la resistencia de este sólido al atravesar el fluido, tomando como valor uno de este coeficiente la resistencia que opone una plancha cuadrada de un metro cuadrado al atravesar un sólido. El coeficiente de la dirección de avance del vehículo va a ser el más relevante en el gremio de la automoción, también conocido este como coeficiente de penetración ( $C_x$ ).

En la obtención de este coeficiente, también se van a tener en cuenta otros factores como la rugosidad superficial del sólido y la humedad del ambiente, pero estos factores no van a ser tan relevantes. A parte de los mencionados, la densidad del fluido que va a ser atravesado va a influir en la resistencia aerodinámica, aumentando está a mayor densidad tenga el fluido. Una vez comentado todo sobre la resistencia aerodinámica, la fórmula matemática (1) de esta se expresa de la siguiente forma: [6]

$$F_{xa} = \frac{1}{2} \times v^2 \times A_f \times \rho \times C_x$$

(1)

Siendo:

$F_{xa}$  = Fuerza de arrastre o “Drag”.

$V$  = Velocidad del sólido.

$A_f$  = Área frontal del sólido.

$\rho$  = Densidad del fluido.

$C_x$  = Coeficiente de penetración.

Es importante destacar que el coeficiente de penetración no va a depender de la velocidad del sólido ni del área de este sino de la geometría que tenga este; y, por lo tanto, la resistencia que suponga la geometría de este. Ya que vehículos con diferente área pueden disponer del mismo coeficiente de penetración, esto es debido a que el que tiene menor área dispone de una geometría que genera más resistencia aerodinámica que el que dispone de mayor área frontal.

La expresión matemática del coeficiente de penetración (2), tendría la siguiente forma al despejar la fórmula de la resistencia aerodinámica (1):

$$C_x = \frac{2 \times F_{xa}}{\rho \times v^2 \times A_f} \quad (2)$$

Una vez determinada la resistencia aerodinámica, se tendrán que determinar las diferentes resistencias que faltan para obtener la resistencia al avance total del vehículo, y estas serían la resistencia de rodadura del vehículo y la resistencia por pérdidas mecánicas de la transmisión del vehículo.

Para determinar la resistencia a la rodadura del vehículo, se deberá tener en consideración que esta va a depender de la masa del vehículo, la gravedad y el coeficiente de rodadura (f), coeficiente que depende del objeto que rueda (las ruedas del vehículo) y el pavimento por el que rueda (carretera), así como el radio de las ruedas como el número de estas. [7]

De esta forma, la expresión resultante de la resistencia de rodadura (3), tiene la siguiente forma:

$$R_r = M \times g \times f \quad ; \quad f = \frac{\mu_r}{r_r} \quad (3)$$

Siendo:

$R_r$  = Resistencia a la rodadura. (N)

$M$  = Masa de vehículo. (kg)

$g$  = Aceleración gravitatoria. (m/s<sup>2</sup>)

$f$  = Coeficiente de rodadura. (\*)

$\mu_r$  = Coeficiente de fricción rueda-carretera.

$r_r$  = Radio de la rueda. (m)

En el caso de la resistencia mecánica, atribuidas a las pérdidas mecánicas de la transmisión del vehículo. Estas pérdidas proceden del rozamiento entre todos los componentes mecánicos de la transmisión. Y, en este caso, no se dispone de ninguna formulación matemática, ya que el cálculo de estas es más complejo y laborioso; pero

se atribuyen a estas pérdidas entre un 10-15% de la potencia transmitida por el motor. [8]

Una vez obtenidas estas tres resistencias, la resistencia total del avance del vehículo sería el sumatorio de estas tres, por lo tanto, la fórmula matemática de la resistencia del avance (4), tendrá la siguiente forma:

$$F_t = R_a + R_r + R_{tr} \text{ (N)} \quad (4)$$

Siendo:

$F_t$  = Resistencia total al avance. (N)

$R_a$  = Resistencia aerodinámica o "Drag Force". (N)

$R_r$  = Resistencia debida a la rodadura. (N)

$R_{tr}$  = Resistencia debida a las perdidas mecánicas. (N)

Una vez se ha determinado la resistencia total que tiene que vencer el vehículo, se tiene que determinar la potencia necesaria para vencer esta resistencia (5). Seguidamente se relacionará esta potencia con el correspondiente consumo de combustible, definiéndose de esta manera el consumo horario (6) y el consumo específico del vehículo. [9]

$$P_N = \frac{(R_a + R_r) \times v}{\eta_{tr}} \text{ (kW)} \quad (5)$$

Siendo:

$\eta_{tr}$  = Rendimiento de la transmisión. (\*)

$$B = P_N \times b_e \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \quad (6)$$

Siendo:

$B$  = Consumo horario. (kg/kWh)

$b_e$  = Consumo específico. (kg/h)

Una vez determinado el consumo horario del vehículo, es decir el consumo del vehículo en relación con el tiempo, se puede calcular el consumo total del vehículo con la siguiente formula (7): [9]

$$B_t = B \times t \text{ (kg)} \quad (7)$$

Siendo:

t = Tiempo de funcionamiento del vehículo. (h)

También interesa tener datos de consumo con relación a la distancia recorrida, es decir el consumo de combustible por unidad de distancia (8) y sobre todo el dato de consumo más utilizado por los fabricantes, siendo este el de consumo en litros a los cien kilómetros (9):[9]

$$B_d = \frac{B}{v \times 3600} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \quad (8)$$

$$B_d = \frac{(0,25 \times M \times f + 0,017 \times C_x \times A_f \times v^2) \times b_e}{\eta_{tr} \times \rho_b} \left( \frac{\text{litros}}{100\text{km}} \right) \quad (9)$$

Siendo:

$\rho_b$  = Densidad del combustible.

V = Velocidad del vehículo.

$A_f$  = Área frontal del sólido.

$C_x$  = Coeficiente de penetración.

M = Masa de vehículo. (kg)

f = Coeficiente de rodadura. (\*)

$b_e$  = Consumo específico. (kg/h)

$\eta_{tr}$  = Rendimiento de la transmisión. (\*)

Con todas estas fórmulas, ya se pueden realizar todos los cálculos necesarios para realizar todos los estudios requeridos en este proyecto. Seguidamente se obtendrán todos los valores necesarios para realizar estos cálculos a partir del estudio CFD del vehículo y de la propia ficha técnica de este.

## 6 Estudio CFD.

En este apartado se van a realizar los diferentes estudios CFD del modelo original, para que de esta forma queden los suficientemente explicados y detallados para los siguientes estudios realizados de los modelos finales realizados en el proyecto. Este apartado se subdividirá en los necesarios para determinar este estudio CFD, siendo estos los siguientes: Condiciones iniciales, Estudio de sensibilidad de la malla y Análisis de los resultados obtenidos.

### 6.1 Condiciones iniciales.

Primero que nada, se debe encontrar un modelo 3D del vehículo al que se quiere realizar el estudio CFD; una vez encontrado este modelo, en este caso un modelo 3D del Volvo FH12 420, lo insertamos en el Software que se vaya a utilizar para realizar el estudio CFD, como se puede apreciar en la siguiente imagen, imagen 4.

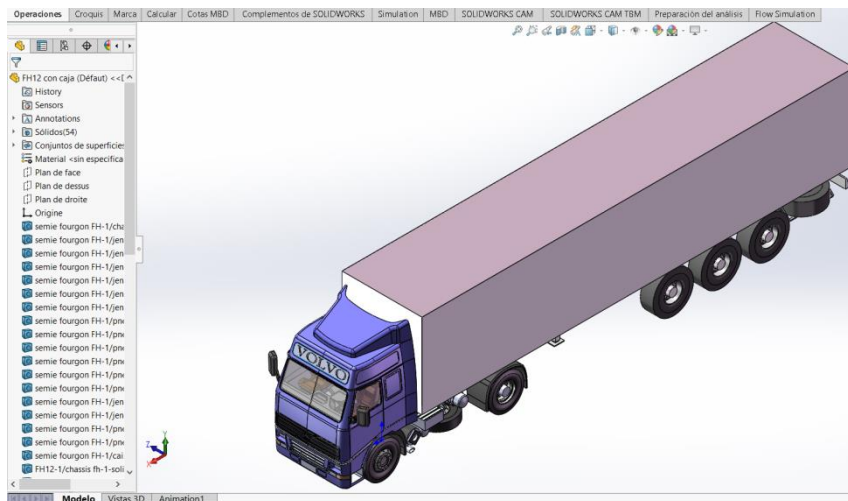


Ilustración 4 - Modelo 3D del vehículo

Una vez obtenido este modelo y ya insertado en el software, se va a realizar un chequeo de toda la geometría del modelo, para asegurar que esta es lo suficientemente buena para poder realizar el estudio con seguridad de su calidad y fidelidad con el modelo real. Como se puede ver en la siguiente imagen se ha realizado este chequeo de la geometría y ha sido satisfactorio su resultado, imagen 5.

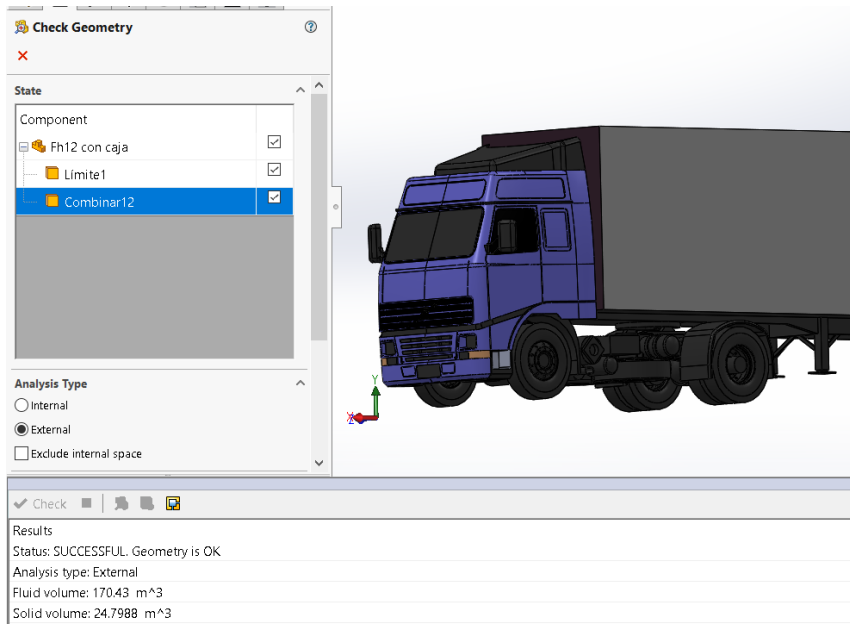


Ilustración 5 - Comprobación geométrica del modelo 3D

Una vez revisada la geometría del modelo 3D, se va a generar el nuevo proyecto en el apartado “Flow simulation” que dispone SolidWorks, siendo este el apartado destinado para realizar todo tipo de estudios CFD; cuando se haya generado este proyecto, se va a seleccionar el fluido con el que se va a trabajar (en nuestro caso aire); y a su vez, se selecciona la casilla de “Humidity”, de la manera que se aprecia en la imagen 6, para posteriormente seleccionar un porcentaje de humedad.

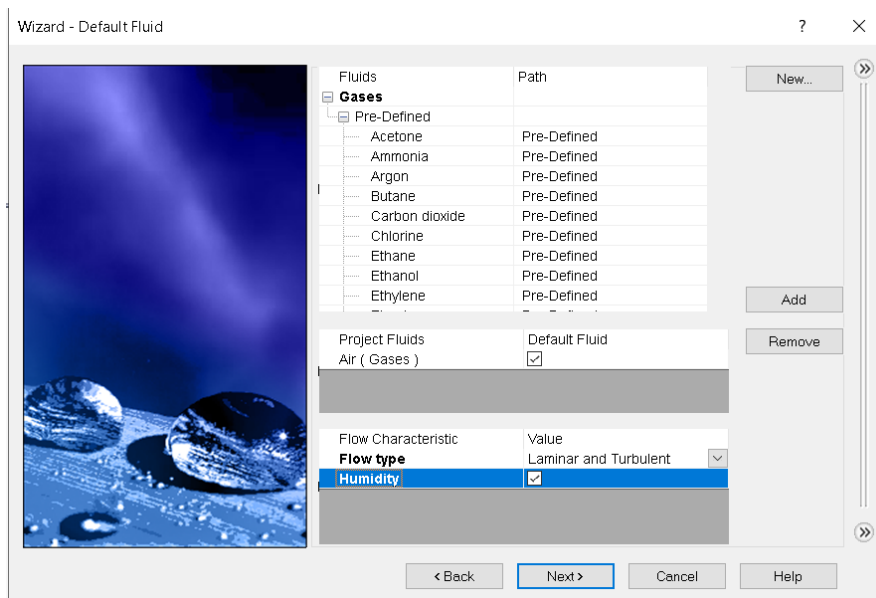


Ilustración 6 - Condiciones del fluido en la simulación

En siguiente apartado se tiene que seleccionar la rugosidad del sólido, para ello se ha tomado el valor de rugosidad del poliéster reforzado con fibra de vidrio, ya que es el material que dispone en su gran mayoría la carrocería de este modelo; siendo este de

0,01 mm como se puede apreciar en la siguiente tabla de rugosidades absolutas de diferentes materiales, tabla (6).

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y	0,03-
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90

Tabla 6 - Rugosidades absolutas de los materiales

Una vez seleccionada la rugosidad del modelo, se inserta en el apartado, como se aprecia en la imagen 7, que se había comentado de "Flow Simulation", pero en este apartado se tiene que insertar en micras y no en milímetros por lo tanto en este caso se trata de 10 micras.

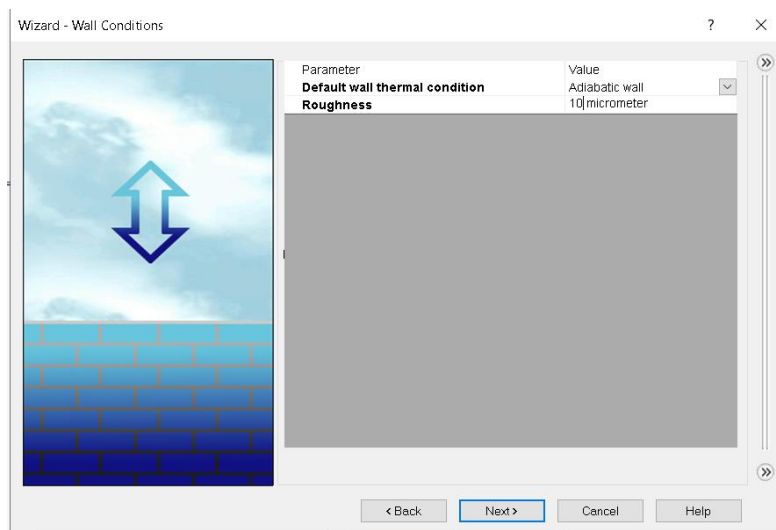


Ilustración 7 - Rugosidad del modelo en la simulación

Para finalizar, la selección de parámetros para el estudio aerodinámico, en este caso se ha seleccionado la velocidad del fluido, en dirección opuesta al avance del camión para simular el movimiento de este (90 km/h en este caso), también se ha seleccionado la presión del fluido y la temperatura (25°C y 1 atm, valores estándar); al

igual que una humedad del 70%, a esta temperatura; como se puede ver en la imagen 8.

Se ha seleccionado esta humedad para realizar el estudio en unas condiciones ambiente bastante desfavorables, ya que a mayor humedad menor rendimiento aerodinámico.

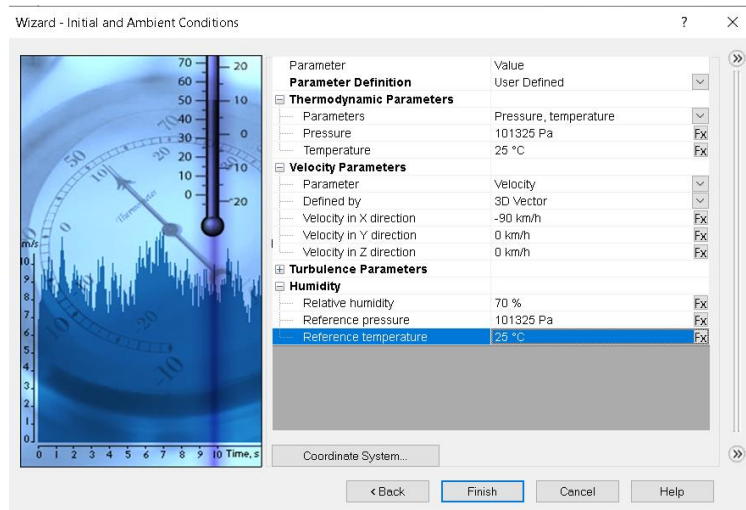
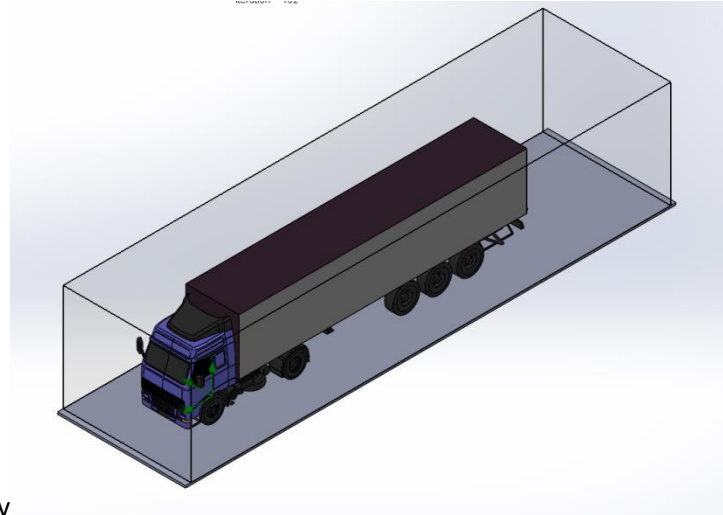


Ilustración 8 - Condiciones ambientales e iniciales de la simulación

Una vez establecidos todos los parámetros y condiciones iniciales, finalizamos la ejecución del proyecto y se genera un volumen de control inicial que se debe de ajustar al requerido para el caso, ya que si se deja demasiado volumen de control el tiempo de computacional será demasiado elevado. Una vez ajustado este volumen queda con las medidas que se pueden apreciar en las imágenes [9] y [10].

Se ajusta el volumen de control, para realizar un estudio lo más cercano a la realidad; delimitando un poco los laterales y la parte superior, pero sobre todo se simulará el suelo para reproducir los efectos que tiene el aire con respecto a este y el camión. También se dejará el suficiente espacio en la parte posterior para poder observar las turbulencias que genera el camión.





y

Ilustración 9 - Volumen de control

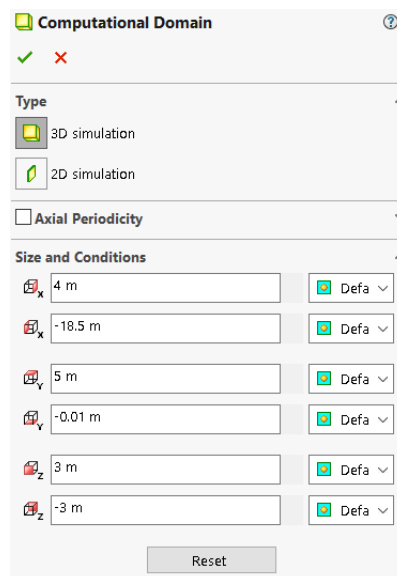


Ilustración 10 - Dimensiones volumen de control

Ahora se van a seleccionar diferentes parámetros que el programa nos va a mostrar y se va a centrar en el cálculo de estos, mostrando estos a lo largo de todas las iteraciones que se van a realizar en el cálculo, en formato de gráficas. Para poder observar si estos convergen adecuadamente durante el propio cálculo. En la imagen 11, se pueden observar los parámetros seleccionados para el primer cálculo del modelo.

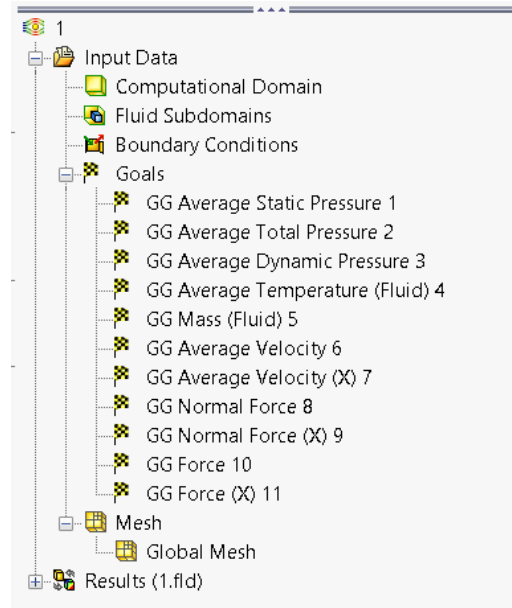


Ilustración 11 - "Goals" simulación

Una vez seleccionado el volumen de control idóneo para el proyecto y los parámetros que se desean ver en el cálculo de este, solo falta seleccionar el refinamiento de la malla que se quiere tener para el modelo. Pero para escoger el mejor tamaño de malla es necesario realizar un estudio de sensibilidad de la malla.

## 6.2 Estudio de sensibilidad de la malla.

Es necesario realizar un estudio de sensibilidad de la malla, antes de obtener los resultados del estudio CFD; ya que sin un tamaño de la malla correcto podemos obtener resultados no validos o no lo suficientemente precisos. Por lo tanto, será imprescindible realizar este estudio antes de extraer ningún valor del estudio.

Para realizar este estudio se van a realizar diferentes cálculos con diferentes tamaños de malla, y en estos se va a observar que todas las variables converjan en un resultado de forma correcta; y a su vez, determinar un tamaño de dominio de la malla correcto para que esta tenga la precisión correcta y no suponga un requerimiento computacional excesivo.

El primer cálculo se va a realizar con un nivel de mallado global 7, siendo el máximo que proporciona la herramienta "Flow Simulation"; y, en las imágenes [12] y [13], se observara la convergencia de los parámetros seleccionados y a su vez el tiempo de cálculo requerido.

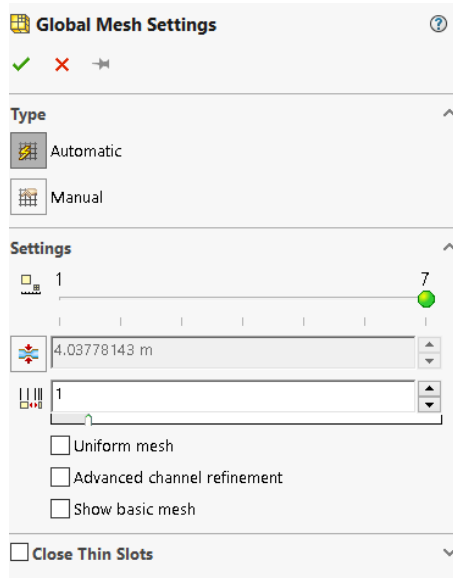


Ilustración 12 - Refinamiento de la malla 1

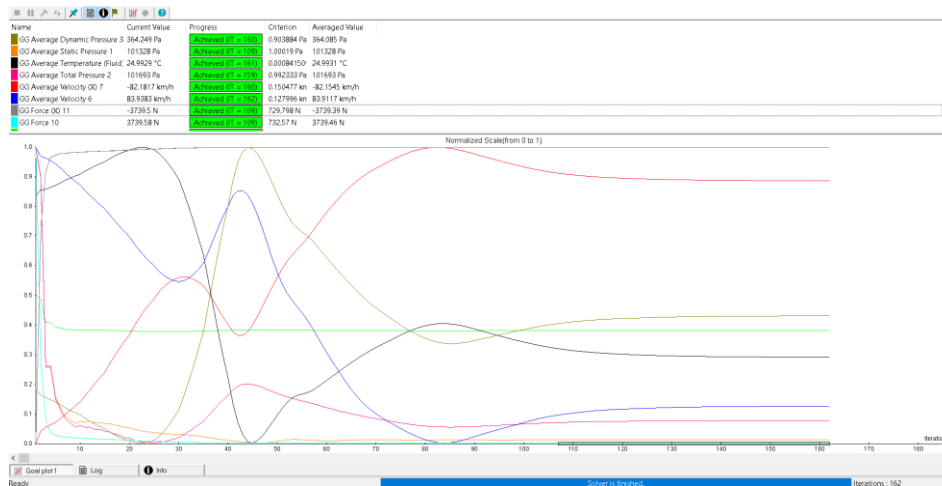


Ilustración 13 - Simulación 1

Una vez observado, que con el mallado seleccionado los resultados convergen adecuadamente, y el tiempo de cálculo no ha sido muy prolongado, se va a reducir el "Ratio Factor" de la malla de 1 a 0.5, siendo este parámetro un factor que se utiliza para evaluar la relación entre el tamaño de las celdas de la malla y las escalas de longitud característica del flujo en el volumen de control.

Esta reducción puede generar resultados más precisos, pero a su vez puede requerir más requerimientos computacionales, por lo tanto, se va a realizar el cálculo y comprobar la precisión de los cálculos y el tiempo requerido de cálculo.

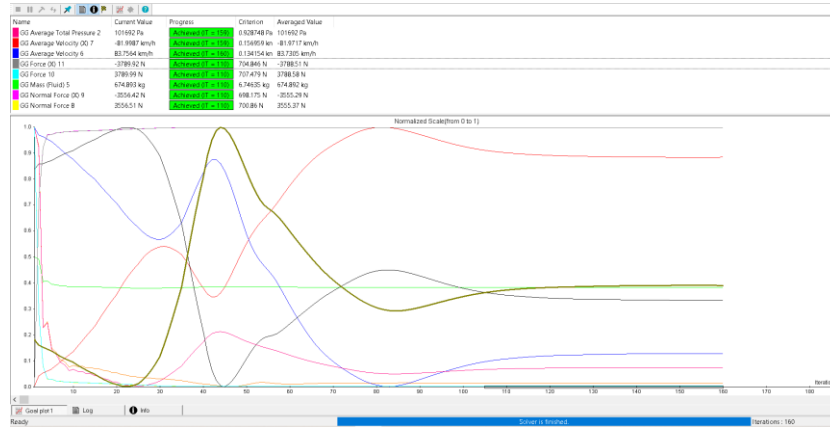


Ilustración 14 - Simulación 2

Una vez realizado este segundo cálculo, se puede observar que los resultados convergen adecuadamente y el tiempo computacional tampoco es excesivo, pero los resultados varían un poco; por lo tanto, se va a realizar otro cálculo con otra reducción del “Ratio Factor” para obtener unos resultados más precisos o que estos no varíen considerablemente y de esta forma considerar estos como lo suficientemente precisos. En este caso la reducción va a ser de 0.5 a 0.25.

En este tercer cálculo, se observa otra vez que los resultados convergen adecuadamente y a su vez el tiempo computacional sigue siendo lo suficientemente corto; pero en este caso los resultados no varían de una forma muy grande, ya que en el caso de la presión total se tiene una variación de un Pascal y en las velocidades medias (tanto la total como la de la componente X) se tiene una variación en los decimales, estando estas en kilómetros por hora.

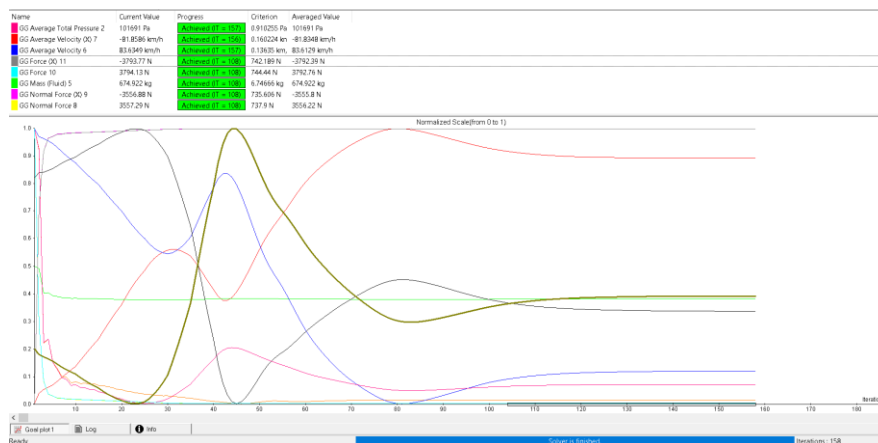


Ilustración 15 - Simulación 3

Seguidamente se realizará otro cálculo para comprobar que estos ya se pueden considerar lo suficientemente precisos; y para este cálculo se va a seleccionar un “Ratio Factor” de 0.1.

En este caso los resultados convergen adecuadamente y el tiempo computacional es un poco más alto pero aceptable; y los valores obtenidos tienen una variación menor. Por lo tanto, se van a tomar estos como correctos ya que los resultados son lo suficiente precisos, y en el caso de reducir más “Ratio Factor” podría ocasionar un tiempo computacional demasiado elevado y a su vez podría producir que los valores no convergiesen adecuadamente al aumentar los requerimientos computacionales.

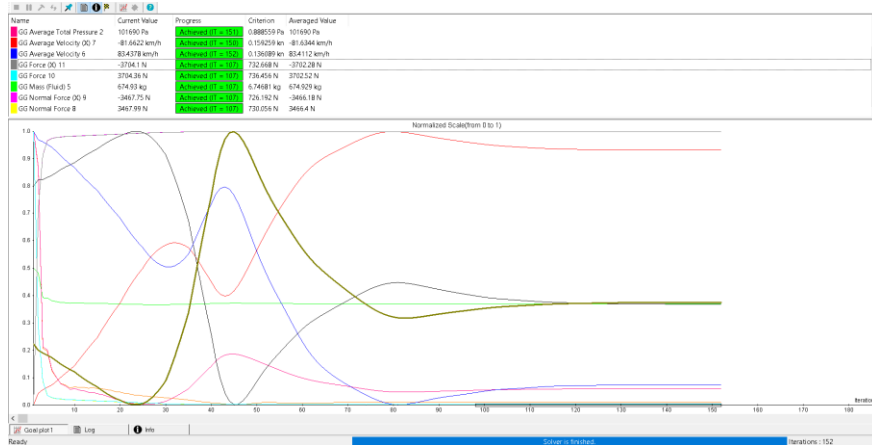


Ilustración 16 - Simulación 4

Estos resultados se pueden considerar lo suficiente precisos, por lo argumentado anteriormente y debido a que el programa no deja reducir más el parámetro de “Ratio Factor”; como se puede ver en la siguiente imagen, imagen 17. Siendo este el límite más detallado que nos deja reducir el software, y a su vez quedando un refinamiento de la malla adecuado ya que los resultados no varían al refinar más la malla, como se ha visto en los anteriores pasos.

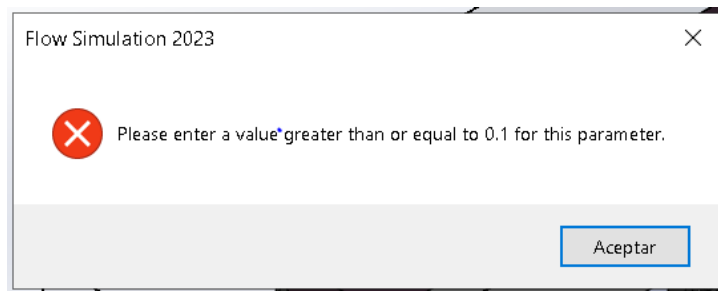


Ilustración 17 - Error refinamiento de malla

### 6.3 Análisis de los resultados.

Una vez finalizado el estudio de sensibilidad de la malla, para poder obtener los resultados de la manera más fiable posible, se puede pasar a estudiar los resultados obtenidos. Para estudiar estos resultados se van a observar todas las opciones que presenta “Flow Simulation” para estudiar el comportamiento del fluido a través del volumen de control.

Primero se van a ver unos contornos en el plano medio del camión, tanto de presión relativa como de velocidad del flujo, que representa SolidWorks a través de la herramienta "Cut Plots". En la imagen 18, se pueden observar los contornos de la presión relativa a lo largo del plano medio del camión, a su vez se puede ver que la presión se concentra en la parte frontal más plana de todas y también los valores de presión, para tener un orden de las magnitudes de presión en este modelo.



Ilustración 18 - Contornos de presión en el plano medio

En la imagen 19, se puede observar otra vez en el plano medio los contornos de la velocidad en la dirección X; y en este caso la velocidad no es tan uniforme como la presión relativa, pero se puede ver que en el frontal del camión se reduce la velocidad del fluido y a su vez aumenta la presión relativa de este. Cumpliéndose en este caso el teorema, anunciado anteriormente, de Bernoulli. También se le pueden añadir a este plano medio las líneas de flujo, pudiendo observar de una manera inicial el trayecto de estas, en la imagen 20.

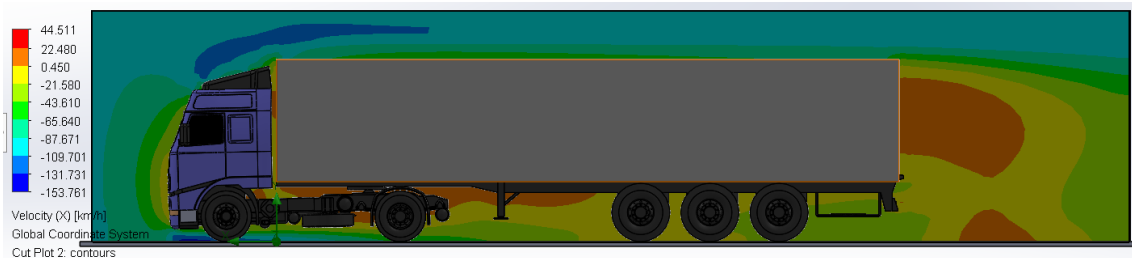


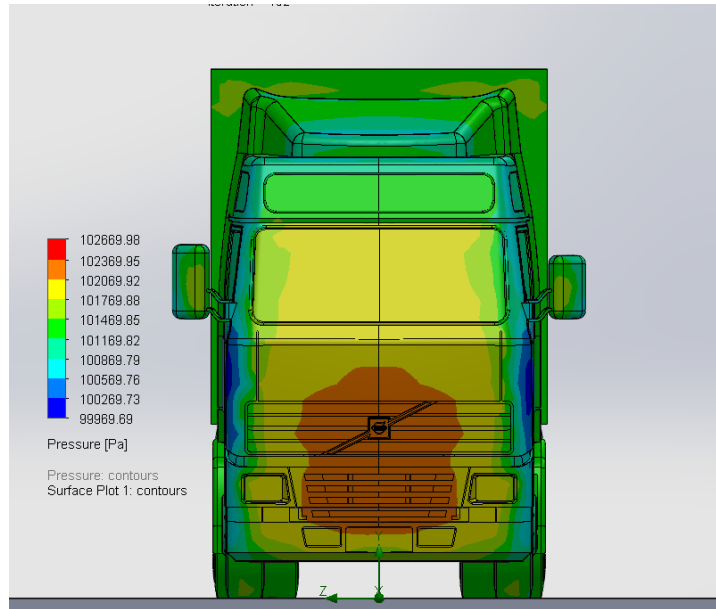
Ilustración 19 - Contornos de velocidad en el plano medio



Ilustración 20 - Líneas de flujo en el plano medio

También se pueden observar los contornos anteriores, pero en la propias superficies del camión, siendo esto posible a través de la herramienta "Surface Plots" de

SolidWorks; gracias a esta segunda vista de las presiones, se puede observar de manera más detallada, en la imagen 21, la concentración de las presiones en el frontal, como ya se había dicho anteriormente, y a su vez también se puede apreciar que en las esquinas del frontal se tiene una pérdida de presión procedente de la generación de turbulencias en estos puntos.



*Ilustración 21 - Contornos de presión en el frontal*

A partir de la herramienta “Flow Trajectories”, se van a generar muchas líneas de flujo alrededor de todo el camión; y de esta forma poder comprender el comportamiento y la trayectoria del flujo, y a su vez poder determinar las zonas más desfavorables para la eficiencia aerodinámica del vehículo; y, por lo tanto, a partir de esta herramienta determinar las partes en las que focalizar el nuevo diseño.

Primero se van a ver diferentes imágenes, imagen 22, 23, y 24, en las que se van a poder ver las principales perspectivas, de forma general, del camión (frontal, lateral y trasera). También se puede observar, que las líneas de flujo que genera esta herramienta, representa la presión a través de la línea de flujo con un contorno, de la misma forma que en las herramientas anteriores.

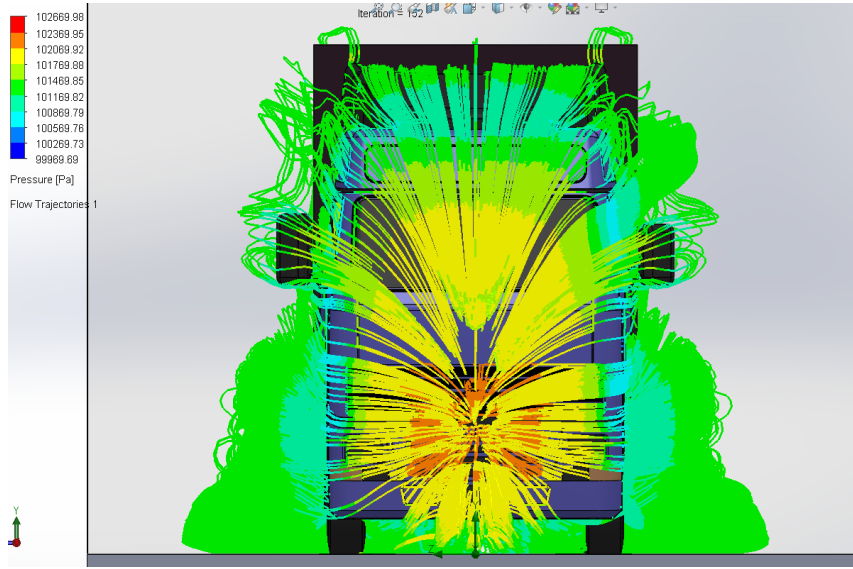


Ilustración 22 - "Flow Trajectories" desde el frontal

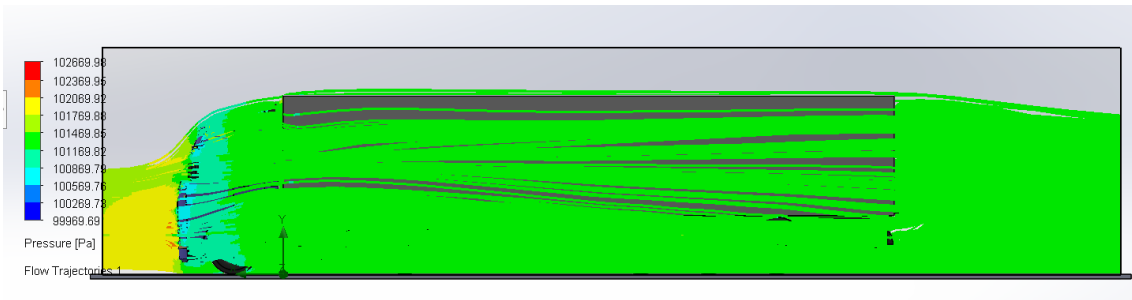


Ilustración 23 - "Flow Trajectories" desde el lateral

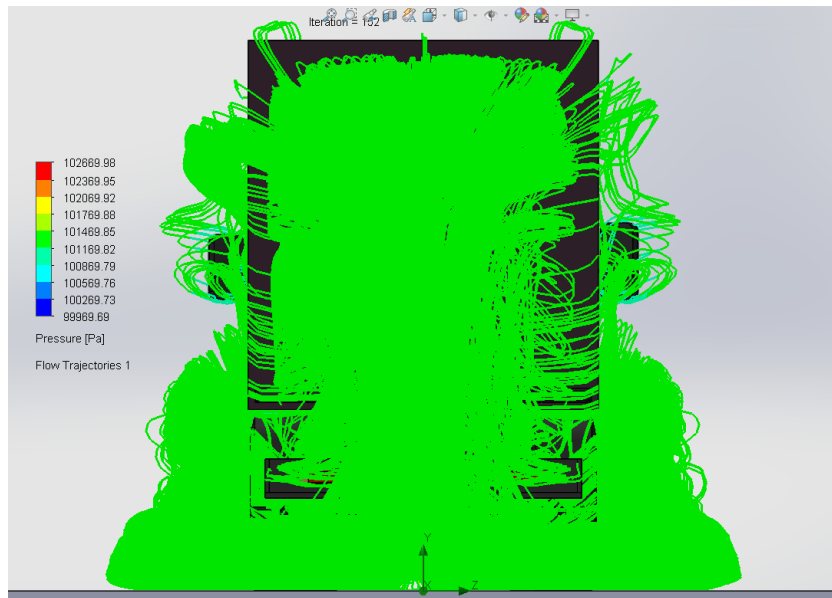


Ilustración 24 - "Flow Trajectories" desde la parte trasera

Seguidamente podemos ver en la imagen 25, como el fluido choca con la caja del semirremolque y se desvía hacia la parte inferior de esta; esto es debido principalmente



a que el deflector situado en la parte de arriba de la cabeza tractora que dispone este modelo, no es lo suficiente grande ya que no abarca toda la superficie de la pared frontal de la caja del semirremolque. Por lo tanto, ya se tiene una pieza que se deberá de rediseñar.

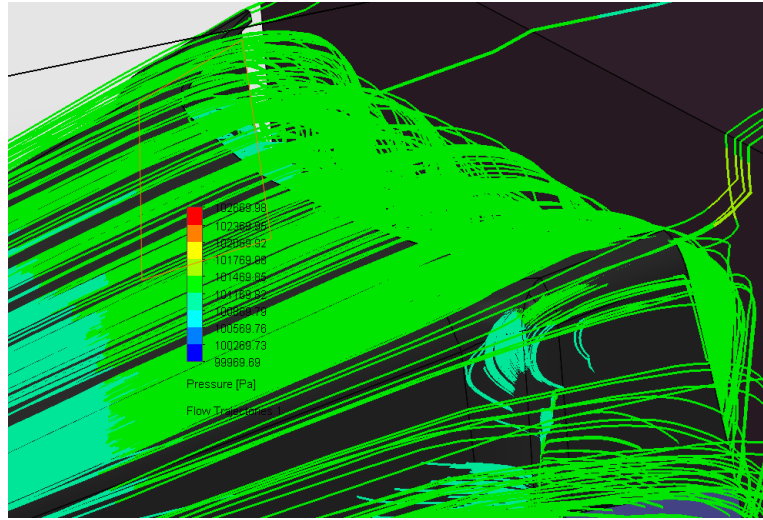


Ilustración 25 - "Flow Trajectories" deflector superior

En la parte del escalón que disponen las puertas, se ha encontrado un estancamiento del fluido del fluido, como se puede observar en la imagen 26, por lo tanto, será necesario diseñar una especie de tapa que se acople a la puerta para cuando este cierre, cubra este hueco para evitar este estancamiento.

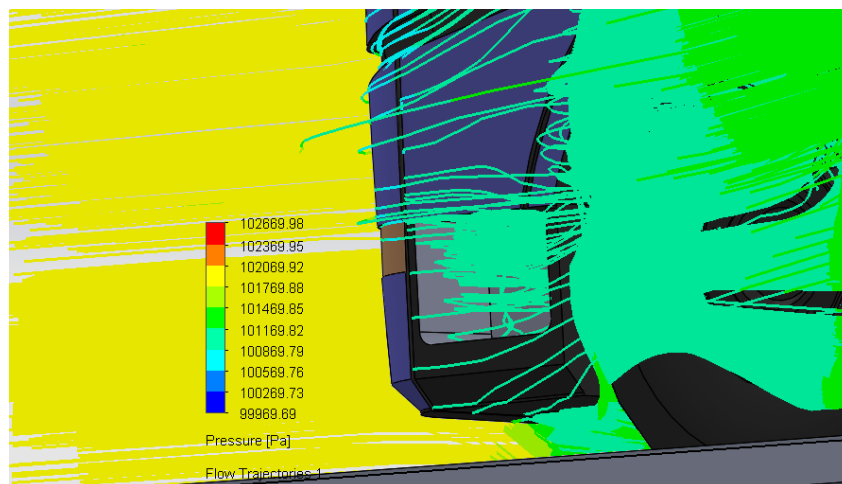


Ilustración 26 - "Flow Trajectories" escalón puerta

En la imagen 27, se puede observar cómo se estanca en fluido entre la cabeza tractora y la caja del semirremolque, y esto es debido a lo comentado anteriormente, pero también se da este efecto porqué los deflectores laterales de la cabeza tractora tienen el mismo defecto que el que está situado en la parte superior, es decir, que no cubren toda el área de la caja del semirremolque; por lo tanto, es necesario hacer un nuevo diseño de estos también.

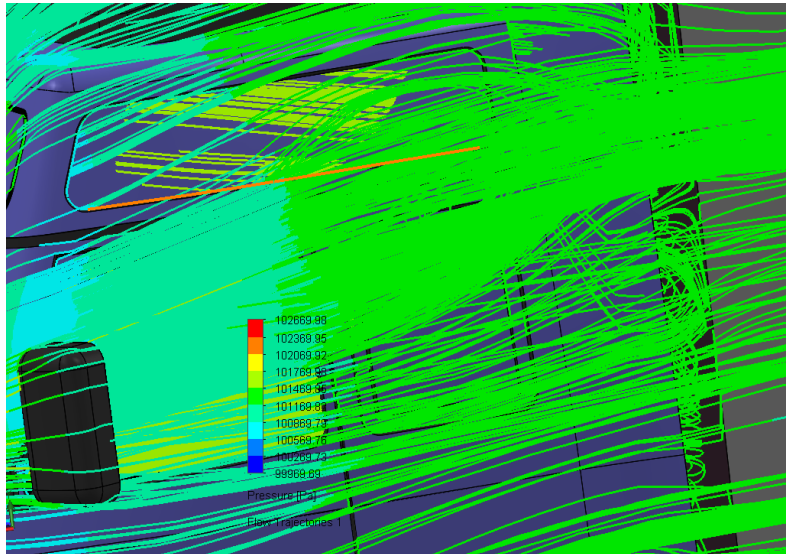


Ilustración 27 - "Flow Trajectories" lateral cabeza tractora

También se pueden realizar estos mismos estudios de una manera más localizada, para estudiar con detalle ciertos componentes de la carrocería delantera, y determinar de una forma más clara, ya que no se dispone de tantas líneas de flujo y las que se encuentran son solo del componente a estudiar, los cambios en la trayectoria del fluido que supone un cierto componente. Este estudio localizado se puede ver en las imágenes [28] y [29].

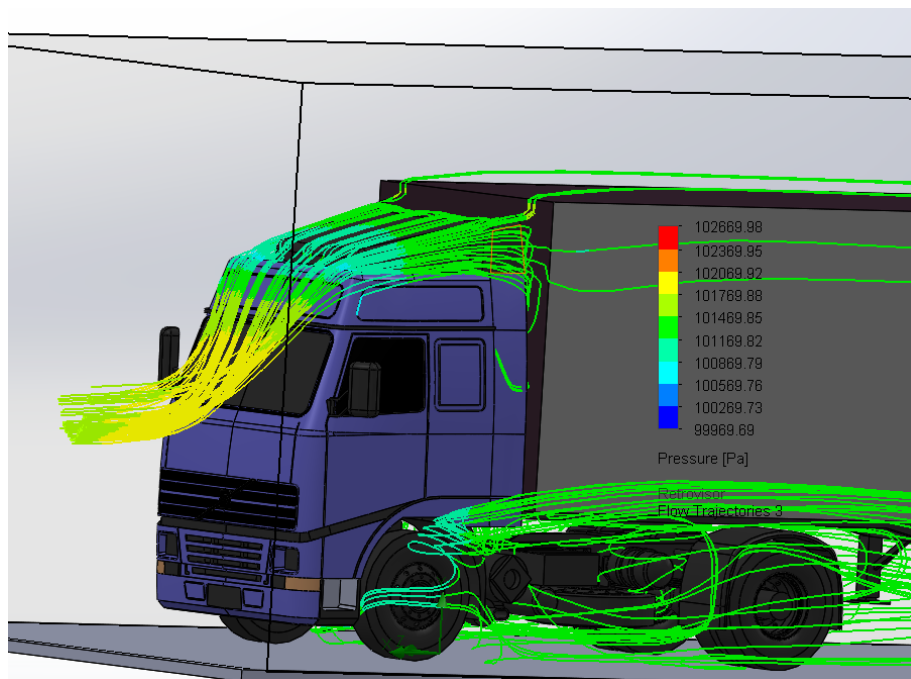


Ilustración 28 - "Flow Trajectories" localizado 1

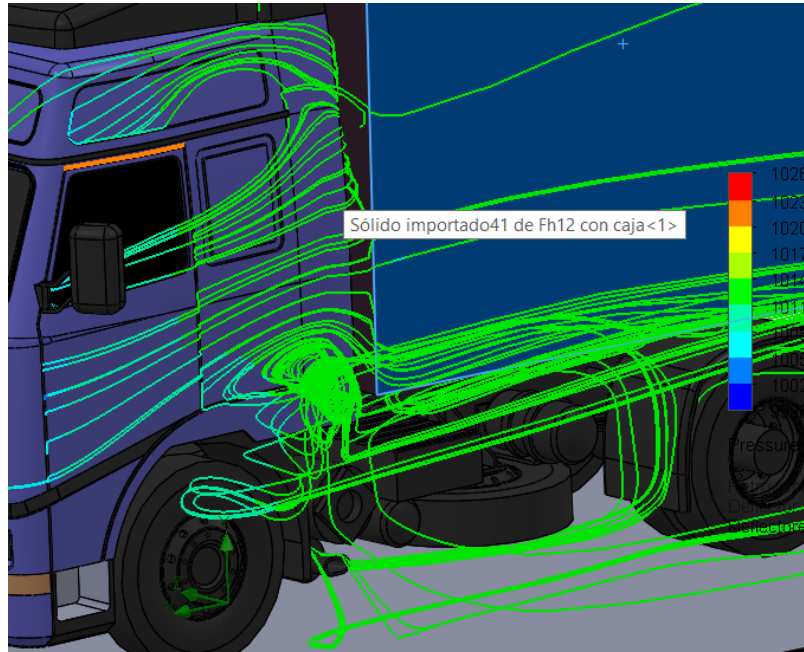


Ilustración 29 - "Flow Trajectories" localizado 2

Tras analizar de forma más localizada componentes como el deflector superior y los laterales; podemos observar que estos componentes generan muchas turbulencias y a su vez recirculan muy mal el flujo de aire; por lo tanto, estos serán unos de los componentes para tener en cuenta en el rediseño del frontal del camión.

Finalmente se va a extraer del programa la fuerza de arrastre que sufre el camión, siendo esta la fuerza normal media en la dirección de avance del camión. La fuerza en esta dirección es negativa, como se puede ver en la imagen 30, ya que se opone a la dirección de avance del camión; por lo tanto, lo frena y supone un coste de combustible mayor.

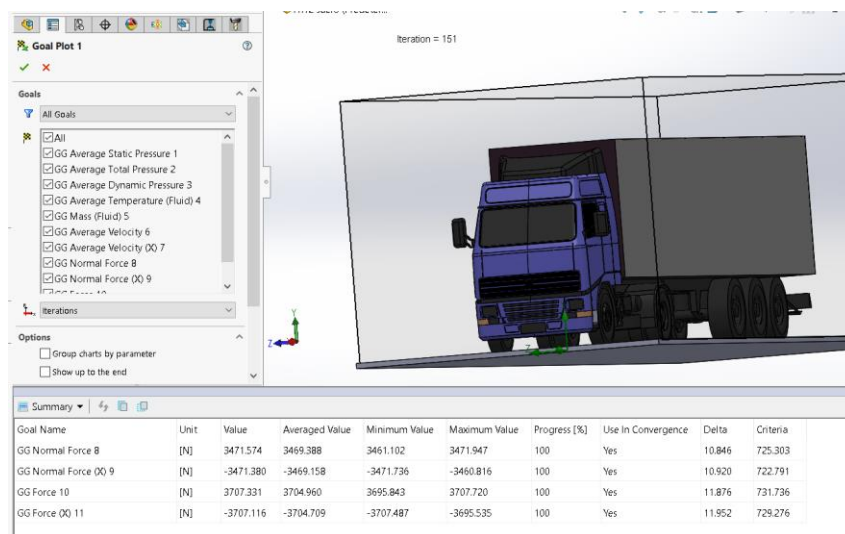
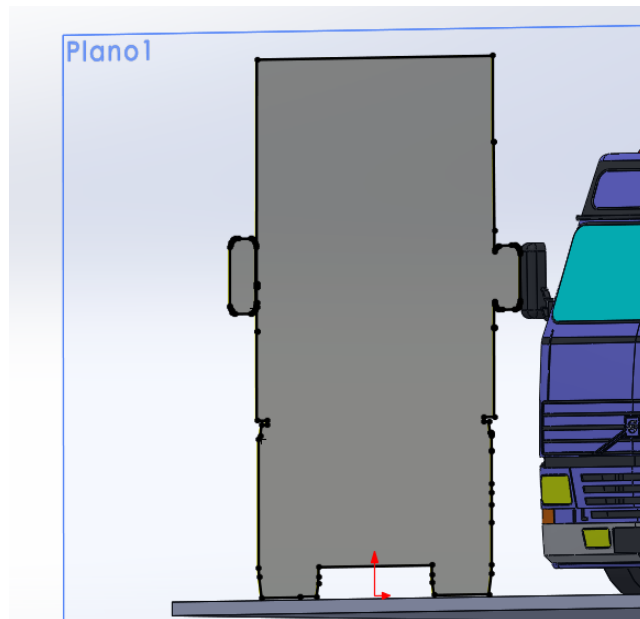


Ilustración 30 - Extracción de los "goals"

Una vez obtenida la fuerza de arrastre que sufre el frontal del camión a 90 km/h, podemos pasar a calcular los diferentes componentes de la fórmula, ya anunciada anteriormente, del coeficiente de arrastre o penetración; fórmula [2].

Pero antes de proceder a este cálculo, se debe de obtener el área frontal proyectada del camión. Para obtener esta área se va a utilizar el mismo software que se ha utilizado para todo el estudio CFD, es decir, SolidWorks. Para realizar el cálculo, primero se va a generar un plano en el frontal del camión, como se ve en la imagen 31, para posteriormente proyectar la silueta del área frontal.



*Ilustración 31 - Contorno área frontal*

Una vez generado el plano y la silueta de este área frontal en este plano, como se ha podido ver en la imagen anterior, se va a extruir un sólido a partir de la silueta generada; y a partir de la herramienta "Medir", que dispone SolidWorks, se va a calcular el área de este sólido extruido, como se puede ver en la imagen 32, que va a corresponder al área proyectada frontal del camión.

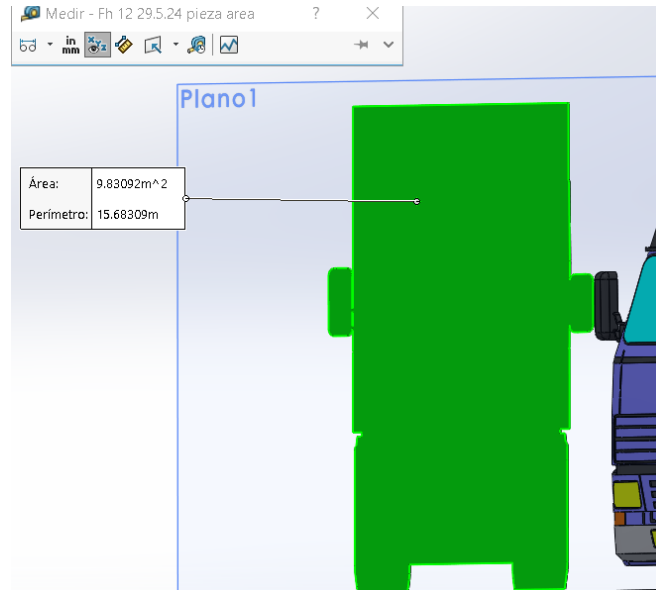


Ilustración 32 - Valor área frontal

Una vez obtenido el área frontal del vehículo, como se ha visto en la imagen anterior, resultando un valor de:  $A_f = 9,72 \text{ m}^2$ . Al tener el área frontal calculada, solo faltaría seleccionar un valor de la densidad del aire para poder calcular el coeficiente aerodinámico de arrastre. En la siguiente imagen se puede observar diferentes propiedades del aire para diferentes temperaturas, imagen 33.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111

Ilustración 33 - Propiedades del aire a la presión de 1 atm

En la imagen anterior, podemos ver la densidad a 25°C es igual a 1,184 kg/m<sup>3</sup>. Se ha escogido el valor de la densidad a 25°C, ya que las simulaciones CFD se han realizado a 25°C. Una vez determinado este valor se va a calcular el coeficiente de penetración, a partir de la ecuación (2) que se ha expuesto anteriormente.

$$C_x = \frac{2 \times 3469,16}{1,184 \times 25^2 \times 9,72} = 0,9646$$

(2)

Una vez realizado todo el procedimiento para el cálculo del coeficiente de penetración, se va a repetir este proceso para diferentes estudios a diferentes velocidades. En la siguiente tabla, tabla (7), se van a presentar los valores de diferentes coeficientes de penetración del mismo modelo para diferentes velocidades.

Velocidad (km/h)	C <sub>x</sub>
60	0,9647
90	0,9646
100	0,9655
120	0,9660

Tabla 7 - Valores C<sub>x</sub> modelo original

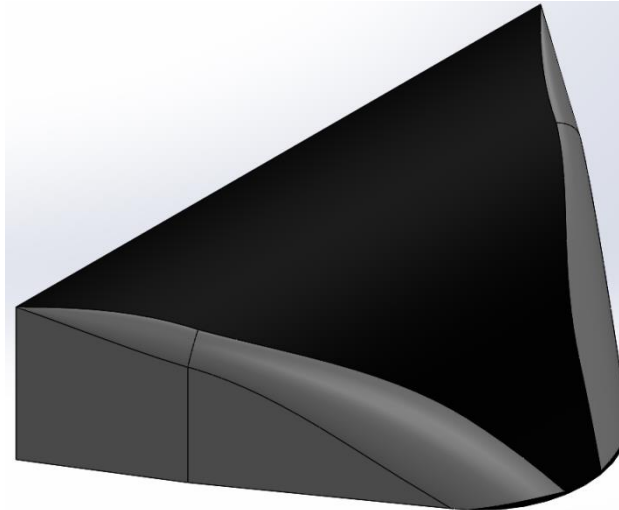
Una vez se han realizado todas las iteraciones de este proceso para diferentes velocidades de funcionamiento del vehículo, se puede apreciar que el coeficiente de penetración no depende de la velocidad de funcionamiento del objeto, ya que apenas varía con esta. Seguidamente se diseñarán diferentes deflectores, que reduzcan la fuerza de arrastre y por lo tanto reduzcan el coeficiente de penetración.

## 7 Procedimiento Experimental.

En este apartado se van a realizar y presentar diferentes diseños de deflectores que van a reducir la fuerza de arrastre del camión; se presentaran diferentes combinaciones de estos, para valorar diferentes alternativas, y una vez presentadas todas se elegirá la más eficiente de todas estas.

### 7.1 Deflectores.

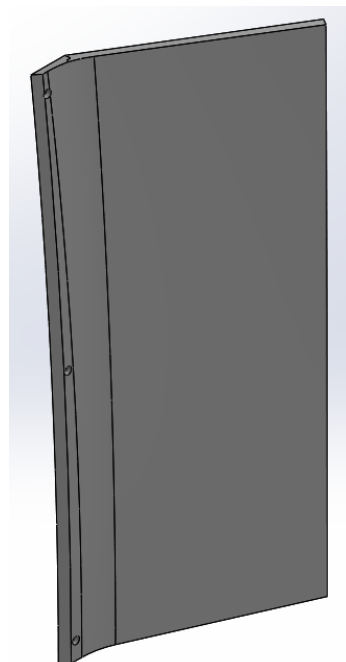
En este apartado se van a presentar diferentes deflectores y a su vez se va a definir porqué se han diseñado, ya que estos se han diseñado observando las zonas más desfavorables del modelo una vez se han realizado los primeros estudiado. Por lo tanto, seguidamente se van a insertar las diferentes imágenes de los deflectores; en la imagen 34 se puede ver el primer deflector que se ha diseñado:



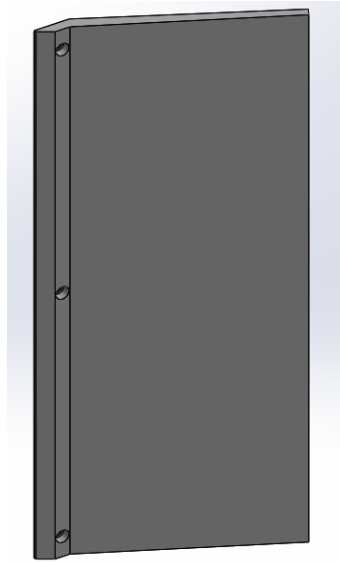
*Ilustración 34 - Deflector superior cabeza tractora*

Este deflector va situado sustituyendo el deflector original superior de la cabeza tractora, ya que el inicial no cubre toda la superficie de la caja tractora; quedando de esta forma una superficie plana expuesta directamente, generando un aumento de la fuerza de arrastre; por lo tanto, se ha diseñado este nuevo deflector para cubrir toda la superficie y reducir esta fuerza de arrastre.

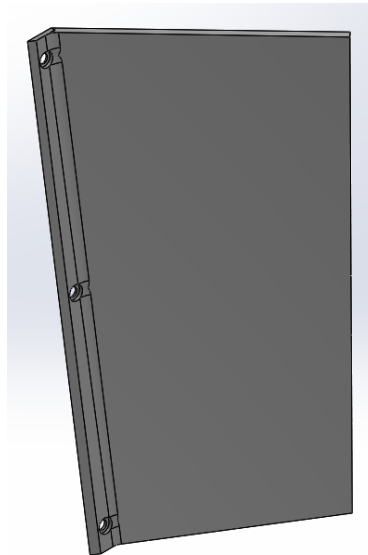
También se produce el mismo efecto en la parte lateral de la cabeza tractora, ya que, los deflectores que monta el camión originalmente dejan superficie de la caja del semirremolque expuesta. Por lo tanto, se han diseñado diferentes deflectores en la parte lateral que cubren toda esta superficie para suprimir este efecto. Seguidamente se insertan las imágenes [35] [36] [37], de estos deflectores laterales:



*Ilustración 35 - Deflector lateral medio*

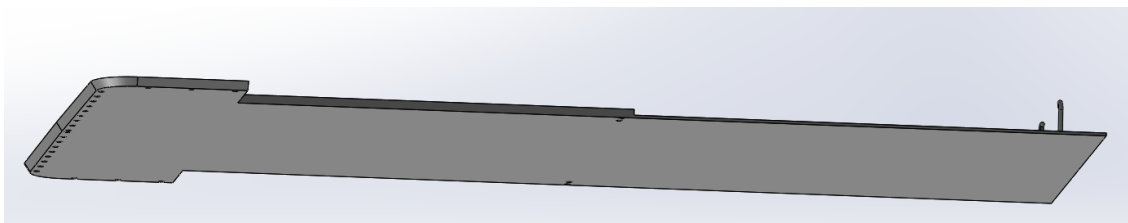


*Ilustración 36 - Deflector lateral inferior*



*Ilustración 37 - Deflector lateral superior*

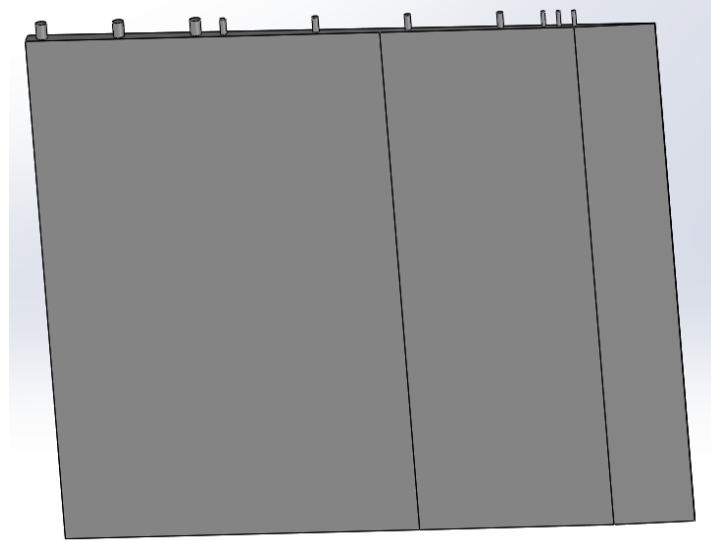
Para evitar todas las turbulencias que se generan por las partes mecánicas expuestas de la parte inferior del vehículo, se ha diseñado una placa plana que se situara en la parte inferior, de esta forma eliminara las turbulencias generadas por estas partes y a su vez ayudara a que el fluido se lamine lo antes posible. En la siguiente imagen 38, se puede ver este fondo plano:



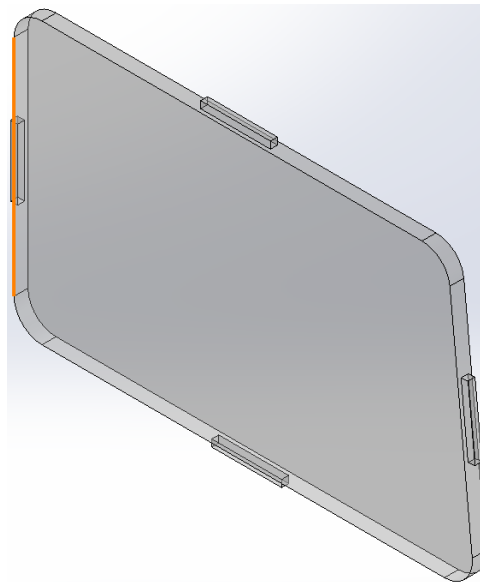
*Ilustración 38 - Fondo Plano*



En los estudios CFD iniciales, se aprecia que tanto en el hueco que dejan los faros como en el hueco que deja el escalón de las puertas, se generan muchas turbulencias en ambos casos; por lo tanto, se ha pensado diseñar unas cubiertas para estos dos huecos (en el caso de los faros se seleccionara un material con una buena transparencia) y de esta forma eliminar las turbulencias que se generan. En las siguientes imágenes [39] [40], se pueden observar el diseño de estas cubiertas:



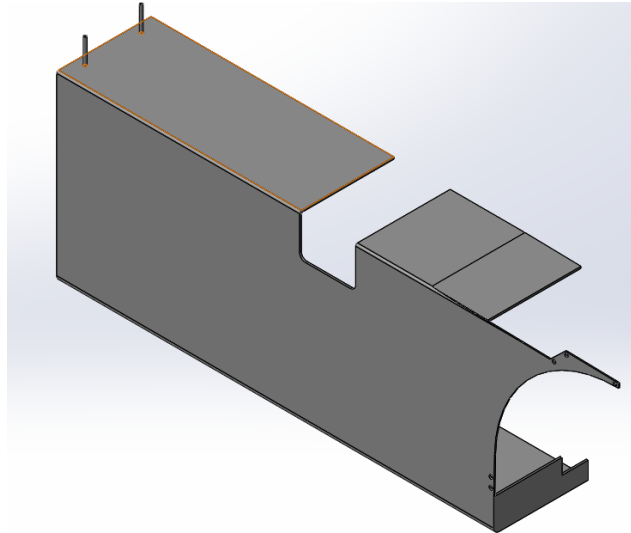
*Ilustración 39 - Cubierta escalón puerta*



*Ilustración 40 - Cubierta faro*

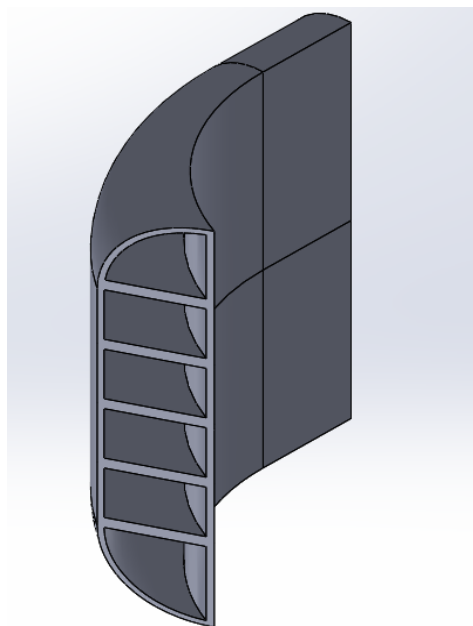
Para dejar lo más lisa posible la parte inferior de los laterales del remolque, y de esta forma eliminar las turbulencias generadas en esta parte, y a su vez canalizar el fluido mucho mejor junto al fondo plano; ya que quedan superficies planas en los laterales y en el fondo del vehículo (parte inferior).

Seguidamente se va a mostrar una imagen 41 de una estas piezas, pero el caso de la parte derecha del camión; ya que estas piezas varían un poco debido a que en un lateral está dispuesto el depósito de combustible; y, por lo tanto, se ha tenido que realizar un agujero en esta pieza para poder repostar el combustible del vehículo.



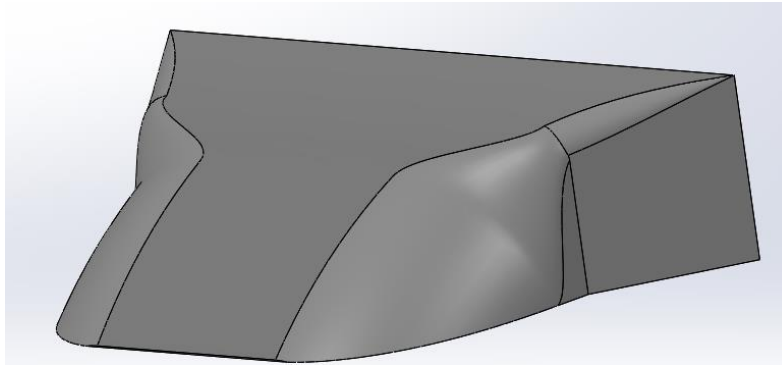
*Ilustración 41 - Deflectores laterales*

Se ha pensado en realizar un laminador del flujo que se sitúe en la parte frontal, en la zona inferior del parabrisas, para que coja el flujo en el cambio de superficie del frontal con el lateral y lo redirija de forma correcta para que no se formen turbulencias y quede el flujo lo más laminado posible. En la imagen 42 se puede observar este deflector que tiene la función de laminar el flujo:



*Ilustración 42 - Laminador de flujo*

También se ha realizado otro modelo del deflector superior de la cabeza tractora, ya que este es el deflector más influyente en la eficiencia aerodinámica del vehículo; por lo tanto, se ha planteado otro diseño para valorar cuál de los dos presenta mejor comportamiento aerodinámico de los dos. En la imagen 43 se puede ver esta nueva versión del deflector superior de la cabeza tractora.



*Ilustración 43 - Nuevo deflector cabeza tractora*

Una vez presentados todos los deflectores que se han propuesto, se van a presentar diferentes modelos donde se escojan varias opciones de estos, para poder comprobar cuál es la elección correcta de estos, es decir, la más eficiente aerodinámicamente.

## 7.2 Modelos.

En este subapartado se van a plantear los diferentes modelos que montaran diferentes deflectores, para comprobar la eficiencia aerodinámica de estos.

- **Modelo 1:**

En este primer modelo se va a montar el primer deflector superior de la cabeza tractora que se ha planteado, en este caso no se va a montar el laminador; para de esta forma comprobar cuál de los dos deflectores es más eficiente. El resto de los deflectores van a ser comunes en el resto de los modelos; por lo tanto, no tendrán variación alguna en la eficiencia aerodinámica entre los modelos por estos deflectores. En la imagen 44 se puede ver el primer modelo montado en el vehículo:

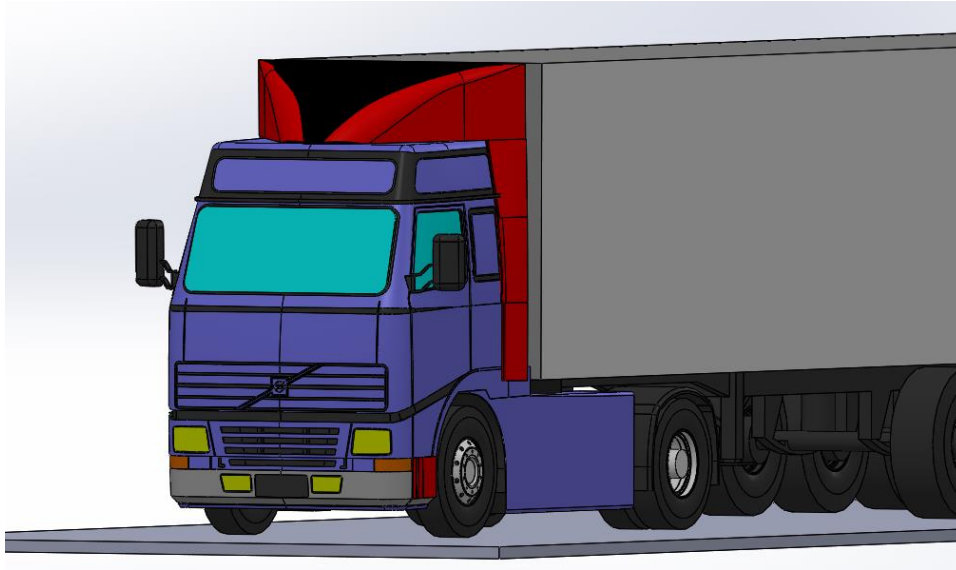


Ilustración 44 - Modelo 1

- **Modelo 2:**

En este segundo modelo se va a plantear la segunda opción del deflector de la cabeza tractora; para de esta forma, como ya se ha dicho anteriormente, comprobar cuál de las dos es mejor opción para la alternativa final. En este caso tampoco se va a contemplar la incorporación del laminador, por lo dicho anteriormente. En la imagen 45 se puede ver el segundo modelo montado en el vehículo:

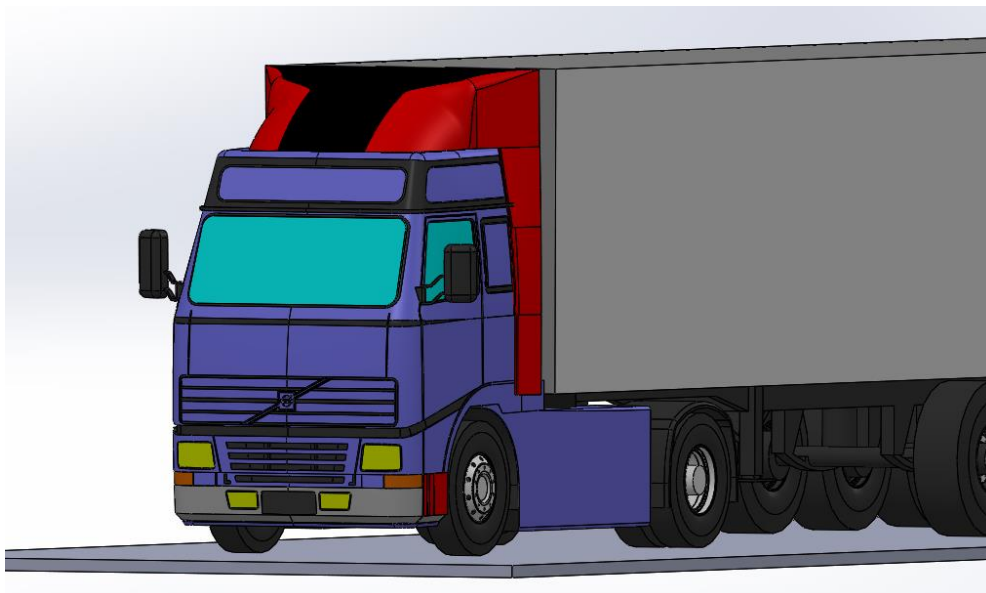


Ilustración 45 - Modelo 2

- **Modelo 3:**

En el último y tercer modelo, se va a montar la segunda opción del deflector de la cabeza tractora junto al laminador para comprobar el efecto que va a tener este al

compararlo con el segundo modelo. En la imagen 46 se puede ver el tercer modelo montado en el vehículo:

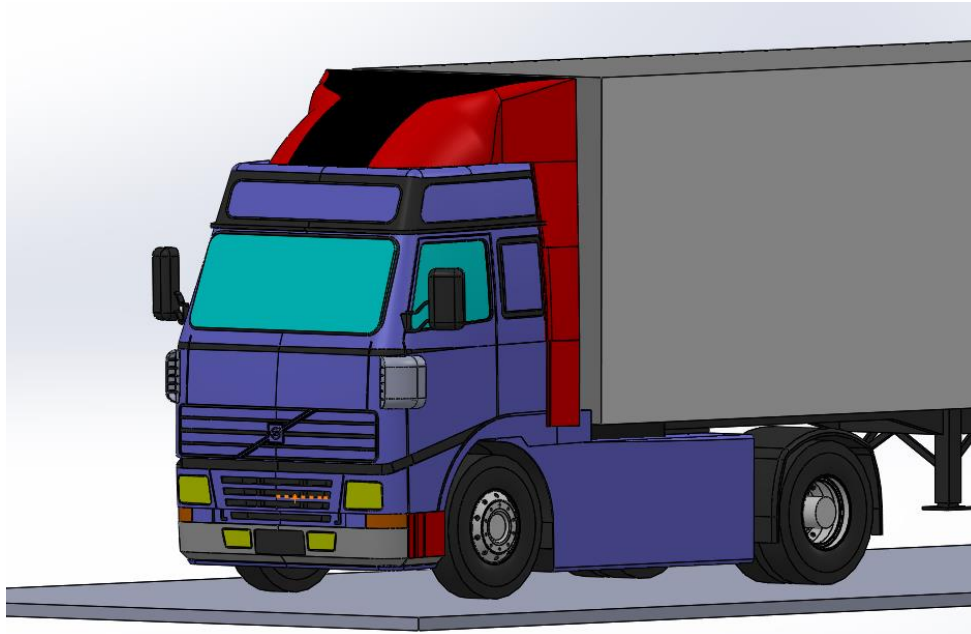


Ilustración 46 - Modelo 3

Una vez presentadas todas las alternativas se realizarán los mismos estudios CFD que se han realizado para el modelo original, y de esta forma se determinara cual es la opción más eficiente de todos estos. En el siguiente subapartados se observará los resultados obtenidos de estas simulaciones para determinar esta elección.

### 7.3 Análisis de los resultados.

En este apartado se van a observar todos los resultados de los análisis CFD de los diferentes modelos, para de esta forma, poder determinar la opción más eficiente de todas las planteadas. Por lo tanto, seguidamente se va a contemplar en la tabla (8) los resultados de los estudios CFD, para posteriormente contemplar el análisis completo de la opción más eficiente.

Modelos	Fuerza de arrastre (N)	C <sub>x</sub> (-)
1	3144,612	0,8744
2	3128,472	0,8690
3	3231,096	0,8847

Tabla 8 - C<sub>x</sub> de los diferentes modelos

Una vez visto en la tabla anterior todos los resultados de los diferentes estudios CFD, se va a pasar a observar con más detenimiento el modelo más eficiente de todos. Y como se puede observar el modelo más eficiente de todos ha sido el segundo de estos, el modelo 2.

Como ya se ha comentado anteriormente, el mejor modelo por lo visto es el modelo dos, pero antes de analizar este con detenimiento, comentar que el primer modelo es algo inferior por el cambio del deflector superior de la cabeza tractora; por lo tanto, se descarta el primero por este motivo. En el caso del tercer modelo se observa que la fuerza de arrastre aumenta al aumentar el área frontal por añadir los laminadores del flujo, pero al laminar el flujo el coeficiente de arrastre no se ve afectado tanto; pero igualmente no mejora tanto al laminar el flujo como para ser este el modelo seleccionado.

Una vez determinado el modelo más eficiente de los planteados, se van a contemplar los resultados de los diferentes estudios CFD, en la siguiente tabla (9) se pueden observar los coeficientes de penetración para diferentes estudios a diferentes velocidades:

Velocidad (km/h)	$C_x$
60	0,8692
90	0,8690
100	0,8715
120	0,8716

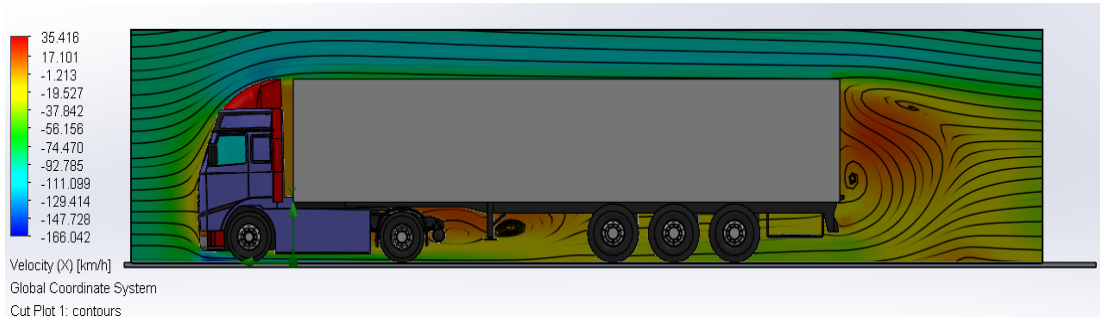
Tabla 9 -  $C_x$  del modelo más eficiente

Seguidamente, se van a contemplar las mismas imágenes de los estudios iniciales CFD que se realizaron para el modelo original, para de esta manera poder observar de manera más detallada las mejoras que se han producido en la aerodinámica del vehículo.

Primeramente, se va a contemplar en las siguientes ilustraciones, imagen 47 y 48, el plano medio del camión con los contornos de presión y velocidad en la dirección X, a su vez, se van a mostrar las líneas de flujo en este plano. Se puede apreciar en estas imágenes, en comparación al modelo original, que las presiones han disminuido y las velocidades han aumentado, ya que la eficiencia aerodinámica del vehículo ha aumentado.

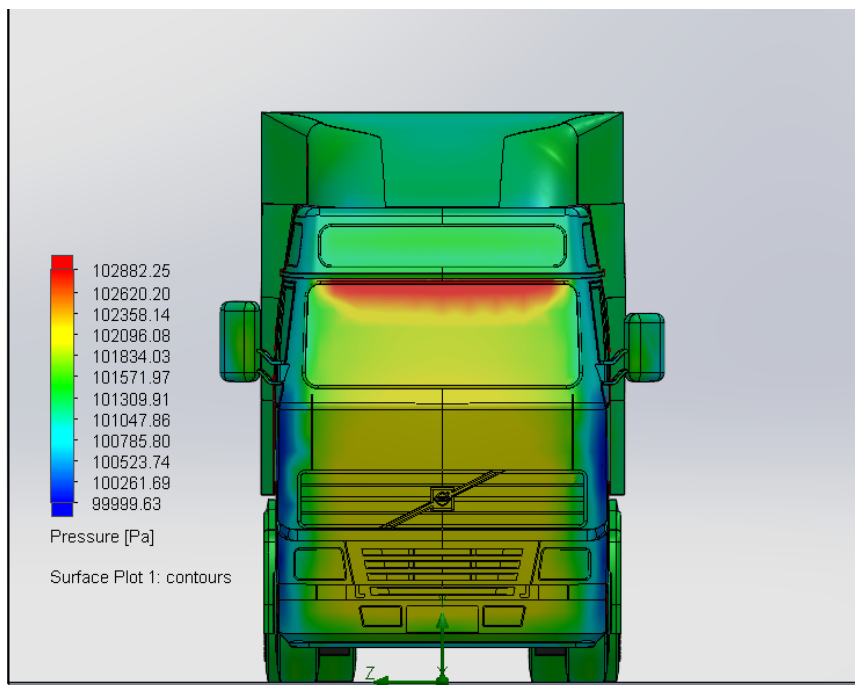


Ilustración 47 - Contornos de presión en el plano medio



*Ilustración 48 - Contornos de velocidad en el plano medio*

En la siguiente imagen 49 se puede observar la parte frontal del camión con los contornos marcados de la presión, y en este caso podemos ver que también se han reducido la presión, factor muy importante ya que es la parte más influyente del vehículo en el factor aerodinámico.



*Ilustración 49 - Contornos de presión en el frontal*

En las siguientes imágenes se van a observar diferentes planos del camión con las líneas de flujo a lo largo de todo este, de esta forma se podrá observar si el comportamiento del fluido ha mejorado.

En la primera de estas, imagen 50, se puede comprobar que en este nuevo modelo el flujo no choca con la pared de la caja del semirremolque gracias a el nuevo deflector superior de la cabeza tractora. Por lo tanto, gracias a esto se ha mejorado la eficiencia aerodinámica del vehículo.

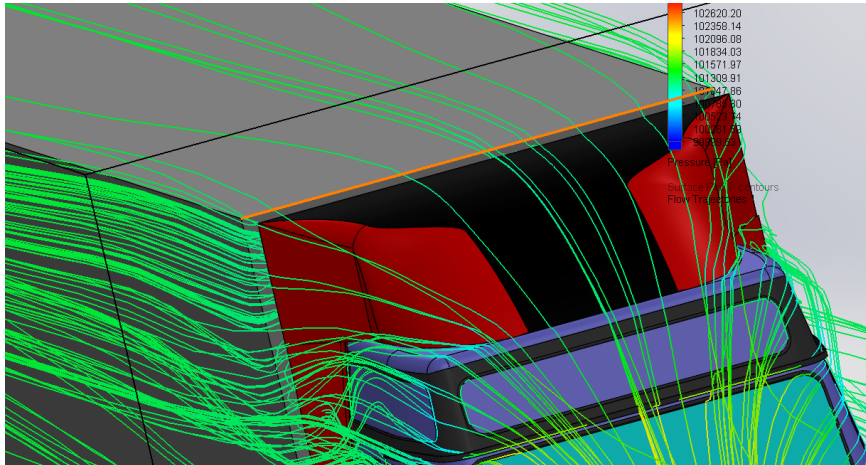


Ilustración 50 - "Flow Trajectories" deflector superior de la cabeza tractora

En la segunda imagen 51 de las líneas de flujo, se puede apreciar que el flujo en la parte inferior del vehículo va más laminado que en el modelo original gracias al nuevo fondo plano, y a su vez, se puede ver como no se generan turbulencias en el escalón de la puerta gracias a la nueva cubierta que se ha montado.

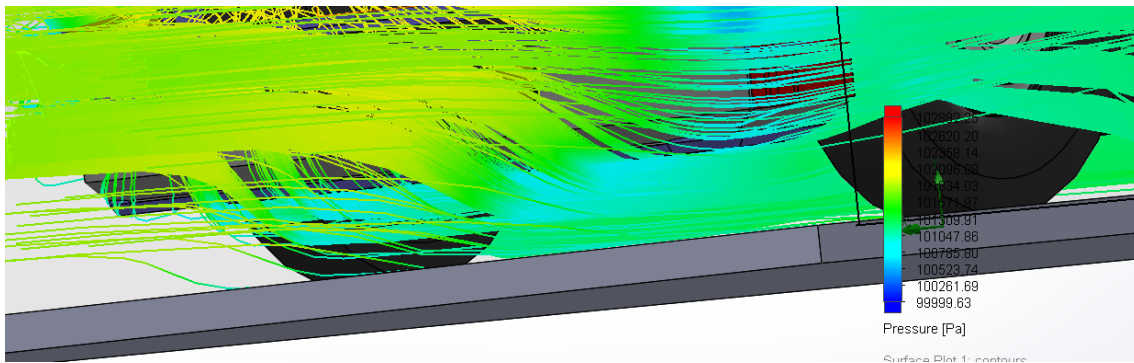


Ilustración 51 - "Flow Trajectories" Fondo plano y cubierta escalón puerta

En las siguientes imágenes, imagen 52 y 53, se puede ver las líneas de flujo desde la perspectiva frontal y lateral del vehículo:



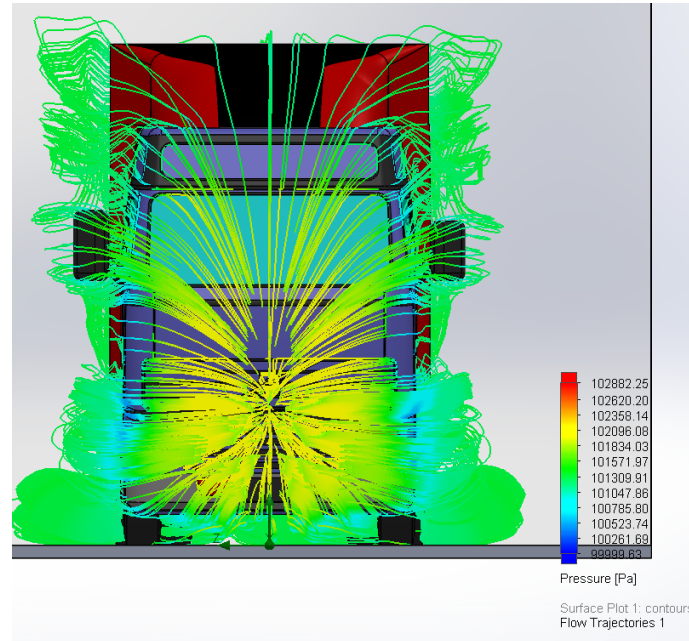


Ilustración 52 - "Flow Trajectories" Frontal

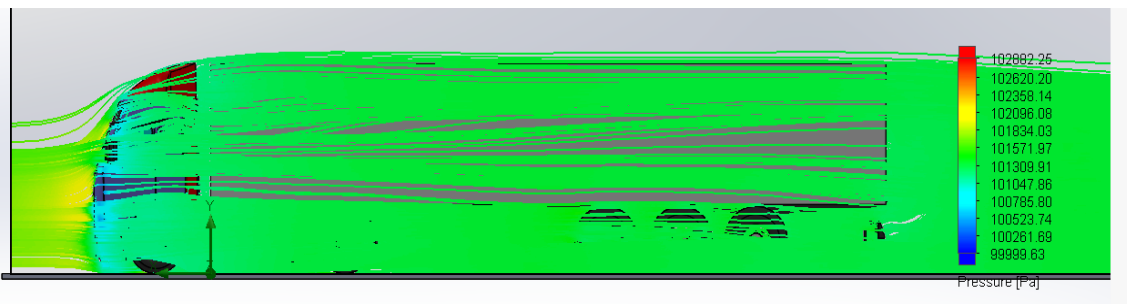


Ilustración 53 - "Flow Trajectories" lateral

Una vez seleccionado el modelo más eficiente de todos y observado detalladamente las mejoras que incorpora este al modelo original, se va a calcular la mejora que se tiene en cuanto al consumo de combustible del vehículo.

#### 7.4 Cálculo consumo de combustible.

En este apartado, como ya se ha dicho anteriormente, se va a calcular el consumo de combustible, y de esta forma poder cuantificar como ha repercutido la mejora de la eficiencia aerodinámica en el vehículo.

Para realizar estos cálculos se va a emplear la ecuación (9), que se ha presentado anteriormente, para obtener el consumo de combustible del vehículo cada cien kilómetros. Realizaremos este cálculo para el caso del modelo original y de los nuevos modelos obtenidos en el proyecto, siendo este el modelo 2 de todos los planteados.

Para determinar el coeficiente de rodadura se ha tomado un coeficiente de fricción de 0,01. Y el radio de los neumáticos, como su designación según la ficha técnica

es de 10-315/80 R22,5, el radio de la rueda resulta de 0,823 metro. Quedando un coeficiente de rodadura de 0,01215

Por lo tanto, la resistencia de rodadura para diferentes cargas y los diferentes modelos serán las que se muestren en la siguiente tabla, tabla (10):

<b>Modelos y cargas</b>	<b>Resistencia de rodadura (N)</b>
<b>Modelo original sin carga</b>	1640,075
<b>Modelo original con carga</b>	4767,66
<b>Modelo 2 sin carga</b>	1728,57
<b>Modelo 2 con carga</b>	4856,15

*Tabla 10 - Resistencia de rodadura*

Para el cálculo de las pérdidas por transmisión mecánica, se va a estipular un 10% de la potencia máxima del vehículo; Por lo tanto, como según la ficha técnica el vehículo dispone de 309.000 N\*m/s, Por lo tanto, las pérdidas mecánicas por la transmisión serán las siguiente:

$$R_{tr} = 0,1 \times 309.000 (N * m/s) = 30.900 N * m/s$$

Para poder obtener esta resistencia en forma de fuerza, se va a dividir por las diferentes velocidades de funcionamiento, mostrando estas fuerzas en la siguiente tabla (11):

<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>R<sub>tr</sub> (N)</b>
<b>60</b>	1853,63
<b>90</b>	1236,00
<b>100</b>	1112,31
<b>120</b>	926,81

*Tabla 11 – Pérdidas mecánicas por la transmisión*

Y, por último, para calcular la resistencia total del vehículo se van a mostrar las fuerzas de arrastre que sufre el vehículo por el factor aerodinámico, en la siguiente tabla (12):

<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>R<sub>a</sub> (N)</b>
<b>60</b>	1389,89
<b>90</b>	3125,27
<b>100</b>	3870,08
<b>120</b>	5571,55

*Tabla 12 - Resistencia aerodinámica*

Una vez obtenidas todas las componentes de la resistencia total al avance del vehículo; en el caso de la resistencia de rodadura se va a tomar el caso de los modelos cargados. Y en la siguiente tabla (13) se van a mostrar estos valores:

Velocidad (km/h)	$F_t$ (N)	
	Modelo Final	Modelo Original
60	8099,67	8165,16
90	9217,42	9475,98
100	9838,54	10167,48
120	11354,51	11869,96

Tabla 13 - Resistencia total al avance(N)

Para obtener este valor en formato de potencia se va a multiplicar este con la velocidad de funcionamiento. Esta potencia representa la potencia necesaria que requiere el vehículo para alcanzar esta velocidad, quedando los siguientes valores, tabla (14).:

Velocidad (km/h)	$P_N$ (W)	
	Modelo Final	Modelo Original
60	135021,499	136113,217
90	230435,500	236899,500
100	273314,641	282452,594
120	378559,363	395744,466

Tabla 14 - Potencia necesaria para vencer la resistencia (W)

Para obtener este valor en caballos fuerza se va a realizar el cambio de unidades, que se puede ver en la tabla (15):

Velocidad (km/h)	$P_N$ (CV)	
	Modelo Final	Modelo Original
60	181,07	182,53
90	309,02	317,69
100	366,52	378,78
120	507,66	530,70

Tabla 15 - Potencia necesaria para vencer la resistencia (CV)

Para proseguir con los cálculos del consumo de combustible, es necesario obtener el valor del consumo de combustible del camión. Se ha encontrado una gráfica proporcionada por el fabricante, donde se puede ver que en la potencia máxima (a 1850 rpm) el consumo específico es igual a  $190 \text{ g/kWh} = 0,19 \text{ kg/kWh}$ . Una vez obtenido este

valor se puede pasar a calcular el consumo horario, a partir de la ecuación (6). Seguidamente en la tabla (16) se van a mostrar los valores de consumo horario:

Velocidad (km/h)	B (kg/kWh)	
	Modelo Final	Modelo Original
60	25,65	25,86
90	43,78	45,01
100	51,93	53,67
120	71,93	75,19

Tabla 16 - Consumo de combustible (kg/kWh)

Por último, para obtener el valor más utilizado de consumo de combustible se va a calcular el consumo de combustible en litros cada cien kilómetros. Para realizar este cálculo se va a utilizar la ecuación (9), presentada anteriormente. En la tabla (17) se muestran los valores de esta unidad.

Velocidad (km/h)	B <sub>d</sub> (litros/100km)	
	Modelo Final	Modelo Original
60	40,65	41,18
90	53,03	54,92
100	58,34	60,76
120	70,50	74,24

Tabla 17 - Consumo de combustible (litros/100km)

Finalmente, ya se ha podido ver en la última tabla la mejora en el ahorro de combustible, aunque el valor de la velocidad a 120 km/h es un poco irrelevante ya que la potencia que es requerida para alcanzar esta velocidad no la dispone el motor del vehículo; pero igualmente la velocidad máxima en territorio español para este tipo de vehículo es de noventa kilómetros por hora.

Una vez visto la mejora en la tabla anterior, se va a calcular la mejora de manera porcentual para poder apreciar mejor está mejor. En la tabla (18), se puede ver los valores de estos porcentajes:

Velocidad (km/h)	Porcentaje de mejora (%)
60	1,28
90	3,45
100	3,98
120	5,05

Tabla 18 - Porcentaje de mejora

Como ya se ha apreciado, se ha ganado una mejora en el consumo de combustible, pero esto también repercute en la vida útil del camión y en los costes de fabricación; ya que, al tener que revolucionar menos el motor para alcanzar la misma velocidad, los componentes mecánicos del vehículo se van a desgastar menos; y, por lo tanto, van a tener una vida útil más extensa.

## 8 Cálculo Resistente y Elección del Material.

### 8.1 Análisis de los esfuerzos.

En este apartado se van a determinar las exigencias que sufren todos los deflectores del camión, para posteriormente poder realizar la selección del material y de las propias sujeciones de estos deflectores. Los esfuerzos que sufren estos deflectores se van a extraer del software SolidWorks 2023, insertando “Goals” en el apartado de “Flow simulation” a cada una de las caras de todos los deflectores; y estos “Goals” van a ser de las fuerzas en x, y, z, que soporta cada deflector.

Se van a extraer estas fuerzas para dos casos, uno en el que el camino circulara a una velocidad de noventa kilómetros por hora y otro caso en el que circulara a ciento veinte kilómetros por hora. De esta forma, también se podrá observar el efecto que tiene la velocidad del vehículo en los esfuerzos que van a soportar estos deflectores. En la siguiente imagen, imagen 54, se pueden observar estos valores:

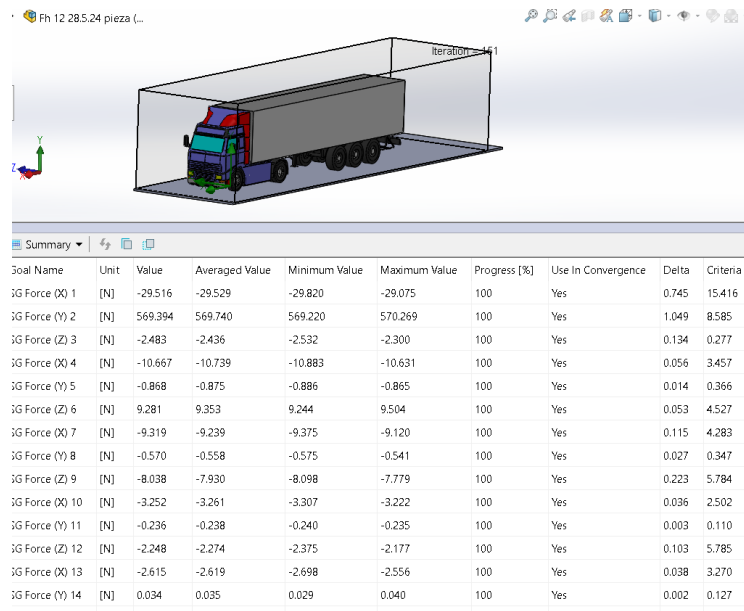


Ilustración 54 - Esfuerzos modelo

En la siguiente tabla, tabla (19), se pueden observar todos los valores de las fuerzas extraídas, en el software SolidWorks 2023, para todos los deflectores del conjunto, en el primer caso de noventa kilómetros por hora:

Deflectores	Fuerzas (N)
Def. Sup. (X)	-29,529
Def. Sup. (Y)	569,740
Def. Sup. (Z)	-2,436

Def. Sup. Lat. Der. (X)	-10,739
Def. Sup. Lat. Der. (Y)	-0,875
Def. Sup. Lat. Der. (Z)	9,353
Def. Sup. Lat. Izq. (X)	-9,239
Def. Sup. Lat. Izq. (Y)	-0,558
Def. Sup. Lat. Izq. (Z)	-7,930
Def. Med. Lat. Izq. (X)	-3,261
Def. Med. Lat. Izq. (Y)	-0,238
Def. Med. Lat. Izq. (Z)	-2,274
Def. Med. Lat. Der. (X)	-2,619
Def. Med. Lat. Der. (Y)	0,035
Def. Med. Lat. Der. (Z)	1,334
Def. Inf. Lat. Der. (X)	-5,122
Def. Inf. Lat. Der. (Y)	0,113
Def. Inf. Lat. Der. (Z)	5,515
Def. Inf. Lat. Izq. (X)	-4,009
Def. Inf. Lat. Izq. (Y)	0,012
Def. Inf. Lat. Izq. (Z)	-5,531
Faro Izq. (X)	-26,752
Faro Izq. (Y)	0,997
Faro Izq. (Z)	-1,225
Faro Der. (X)	-22,650
Faro Der. (Y)	1,410

Faro Der. (Z)	2,618
Lat. Der. (X)	1,013
Lat. Der. (Y)	-116,811
Lat. Der. (Z)	-201,299
Lat. Izq. (X)	0,905
Lat. Izq. (Y)	0,739
Lat. Izq. (Z)	204,386
Fondo Plano (X)	19,927
Fondo Plano (Y)	-829,767
Fondo Plano (Z)	-0,298
Puerta Der. (X)	0,455
Puerta Der. (Y)	-0,883
Puerta Der. (Z)	-49,887
Puerta Izq. (X)	1,289
Puerta Izq. (Y)	-0,567
Puerta Izq. (Z)	51,351

Tabla 19 - Esfuerzos 90 km/h

Y en esta segunda tabla, tabla (20), se pueden observar los valores en el segundo caso de ciento veinte kilómetros por hora:

<b>Deflectores</b>	<b>Fuerzas (N)</b>
Def. Sup. (X)	-50,799
Def. Sup. (Y)	1013,715



Def. Sup. (Z)	-4,274
Def. Sup. Lat. Der. (X)	-19,097
Def. Sup. Lat. Der. (Y)	-1,548
Def. Sup. Lat. Der. (Z)	16,644
Def. Sup. Lat. Izq. (X)	-16,351
Def. Sup. Lat. Izq. (Y)	-0,981
Def. Sup. Lat. Izq. (Z)	-14,019
Def. Med. Lat. Izq. (X)	-5,698
Def. Med. Lat. Izq. (Y)	-0,422
Def. Med. Lat. Izq. (Z)	-3,813
Def. Med. Lat. Der. (X)	-4,753
Def. Med. Lat. Der. (Y)	0,064
Def. Med. Lat. Der. (Z)	2,555
Def. Inf. Lat. Der. (X)	-8,839
Def. Inf. Lat. Der. (Y)	0,206

Def. Inf. Lat. Der. (Z)	9,268
Def. Inf. Lat. Izq. (X)	-6,916
Def. Inf. Lat. Izq. (Y)	0,026
Def. Inf. Lat. Izq. (Z)	-9,335
Faro Izq. (X)	-47,770
Faro Izq. (Y)	1,784
Faro Izq. (Z)	-2,202
Faro Der. (X)	-40,487
Faro Der. (Y)	2,520
Faro Der. (Z)	4,701
Lat. Der. (X)	2,0825
Lat. Der. (Y)	-208,06
Lat. Der. (Z)	-358,437
Lat. Izq. (X)	1,855
Lat. Izq. (Y)	0,697

Lat. Izq. (Z)	364,743
Fondo Plano (X)	35,432
Fondo Plano (Y)	-1477,69
Fondo Plano (Z)	-0,555
Puerta Der. (X)	0,827
Puerta Der. (Y)	-1,580
Puerta Der. (Z)	-88,953
Puerta Izq. (X)	2,290
Puerta Izq. (Y)	-1,0136
Puerta Izq. (Z)	91,369

*Tabla 20 - Esfuerzos 120 km/h*

Una vez obtenidos los valores de los esfuerzos para los dos casos, se puede observar que estos son bastante mayores para el segundo caso, debido a la mayor velocidad del fluido. Para selección del material y de los soportes, se va a utilizar el segundo caso, aunque la velocidad máxima de circulación para este tipo de vehículo sea de noventa kilómetros por hora, para ofrecer un factor de seguridad ante cualquier tipo de factor externo que pueda modificar estos valores.

## 8.2 Materiales planteados.

Para la elección del material de los deflectores diseñados, se van a plantear tres ejemplos de materiales posibles para el objetivo que están diseñados; y tras realizar los cálculos de esfuerzos que van a sufrir estas piezas (en el caso más desfavorable) y determinar cuál será la opción más rentable económicamente para el proyecto, se determinará la elección final del material.

En este caso, los materiales planteados para el proyecto van a ser: ABS, que se trata de un termoplásticos muy utilizado en el diseño de piezas en carrocería de vehículos por su resistencia al impacto y flexibilidad; poliéster reforzado con fibra de vidrio, debido a que dispone de una alta rigidez y resistencia, además de una densidad mucho más baja que los metales; y finalmente también se planteara la utilización de aluminio forjado, debido a que presenta unas propiedades mecánicas muy buenas.

- Aluminio Forjado, el aluminio forjado utilizado en este caso va a ser el aluminio 6061 T6, ya que dispone de una gran resistencia y de unas buenas características de acabado superficial; a su vez es una aleación ligera y dúctil, cosa que facilita el conformado de estas piezas. También presenta muy buena resistencia a la corrosión, factor de vital importancia debido a que van a ser piezas muy expuestas a diferentes factores ambientales. [10]

Seguidamente, se puede observar en la imagen 55 los parámetros del material que se han introducido en el software utilizado para analizar los esfuerzos que sufren las piezas diseñadas. Siendo este el mismo que se ha utilizado para realizar el estudio CFD, SolidWorks.

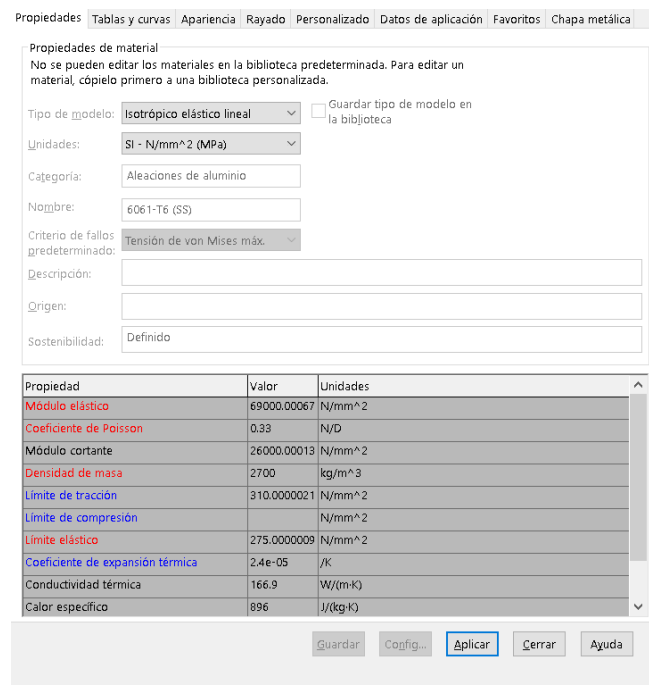


Ilustración 55 - Propiedades aluminio

- ABS, el ABS (Acrlonitrilo-Butadieno-Estireno) se trata de un copolímero que dispone de una buena resistencia al impacto y química, al tratarse de un polímero dispone de un peso muy ligero, esto es de gran interés ya que, si se montan piezas con un alto peso al vehículo, va a suponer un consumo de combustible mayor al que reducen por la optimización aerodinámica que van a suponer estas. Un factor muy importante de este material es que se trata de un reciclable, por lo tanto, una vez finalizada la utilización de estas piezas debido a

que se reemplaza el vehículo o cualquier otro caso, se pueden reciclar estas para la fabricación de otros deflectores o para cualquier otro propósito en el que el material reciclado sea válido. [11]

Se puede observar la misma imagen que en el caso anterior, imagen 56, de los parámetros del material:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	1020	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	30	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico		N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)
Calor específico	1386	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Ilustración 56 - Propiedades ABS

- Poliéster reforzado con fibra de vidrio, se trata de un material compuesto por fibras de vidrio de refuerzo y una resina de poliéster que actúa como matriz sobre estas fibras. Este material posee una densidad baja para las elevadas propiedades resistentes que dispone, a su dispone de buenos acabados superficiales y una excepcional resistencia a la corrosión (ya que es un material que no se puede oxidar). La única desventaja que podemos encontrar en este tipo de material es que su coste es más elevado que las otras opciones, debido a que los métodos de fabricación de este son más elevados. [12]

Se puede observar la misma imagen que en el caso anterior, imagen 57, de los parámetros del material:



Ilustración 57 - Propiedades poliéster reforzado con fibra de vidrio

### 8.3 Análisis Resistente.

En este apartado se van a realizar las simulaciones para los cálculos resistentes de los materiales planteados para todos los deflectores, para hacer la elección del material se ha seleccionado la pieza que está sometida a mayores esfuerzos para realizar esta determinación del material. Seguidamente se puede contemplar, imagen 58, las cargas en las caras expuestas (siendo los valores los extraídos anteriormente) y las sujeciones fijas en los agujeros realizados para estas.

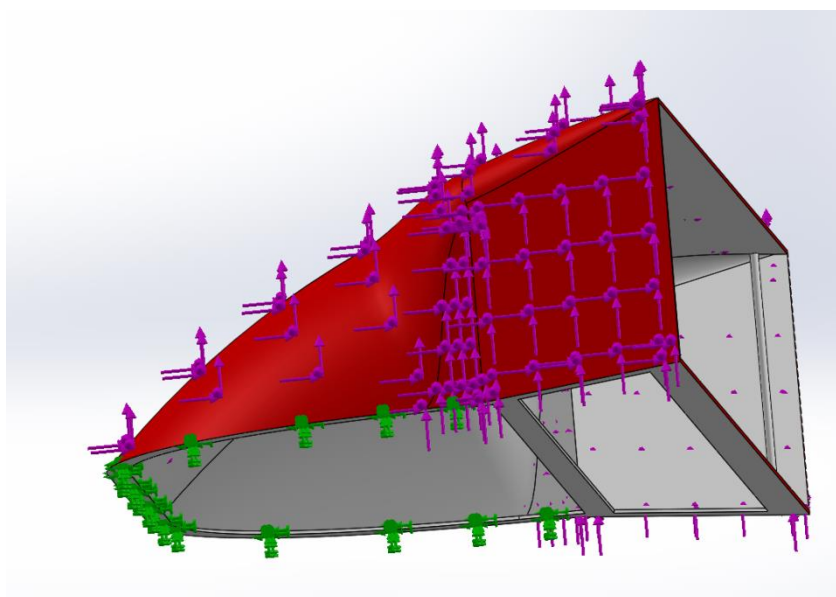


Ilustración 58 - Esfuerzos y sujeciones en los deflectores

Una vez establecidos todas las cargas y sujeciones necesarias se van a aplicar los diferentes materiales que se han planteado anteriormente, y se van a realizar las diferentes simulaciones, para el cálculo resistente, para cada material. En la siguiente imagen, imagen 59, se pueden observar los desplazamientos a los que está sometido el deflector superior de la cabeza tractora, siendo el material aplicado el de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

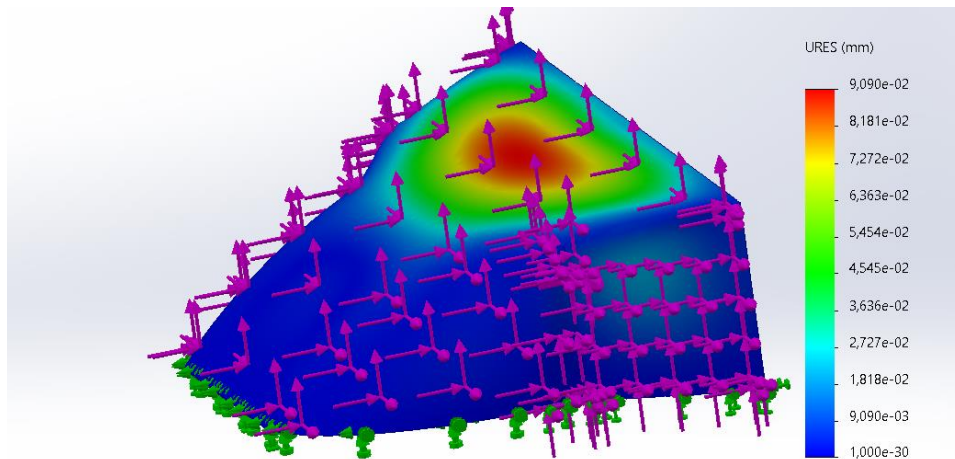
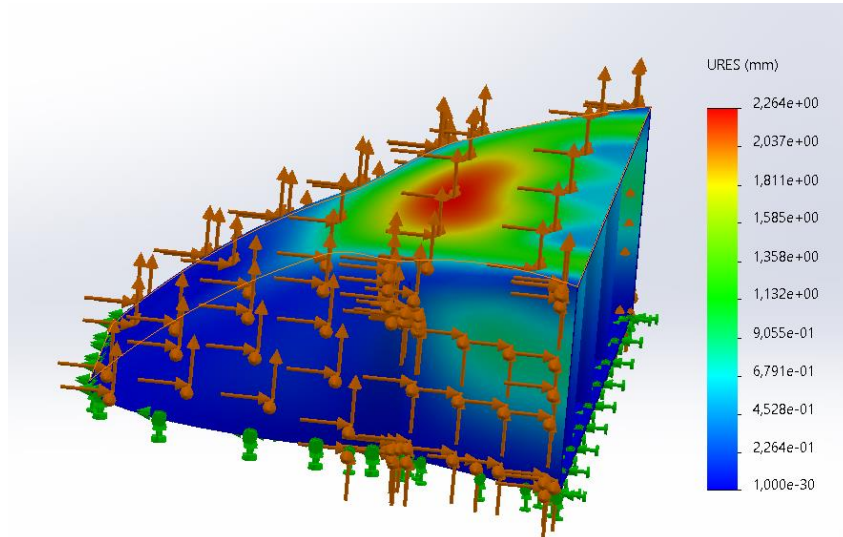


Ilustración 59 - Ensayo poliéster reforzado con fibra de vidrio

En esta imagen se puede observar que los desplazamientos que sufre la pieza son mínimos, ya que el valor máximo de estos es inferior a 0,1 milímetros, por lo tanto, este material tiene una deformación más que aceptable para esta aplicación. También se ha de tener en cuenta que estas piezas no se van a someter nunca a estas tensiones, ya que la velocidad máxima de circulación es de noventa kilómetros por hora. Por lo tanto, las deformaciones normales de este deflector serán mucho menores.

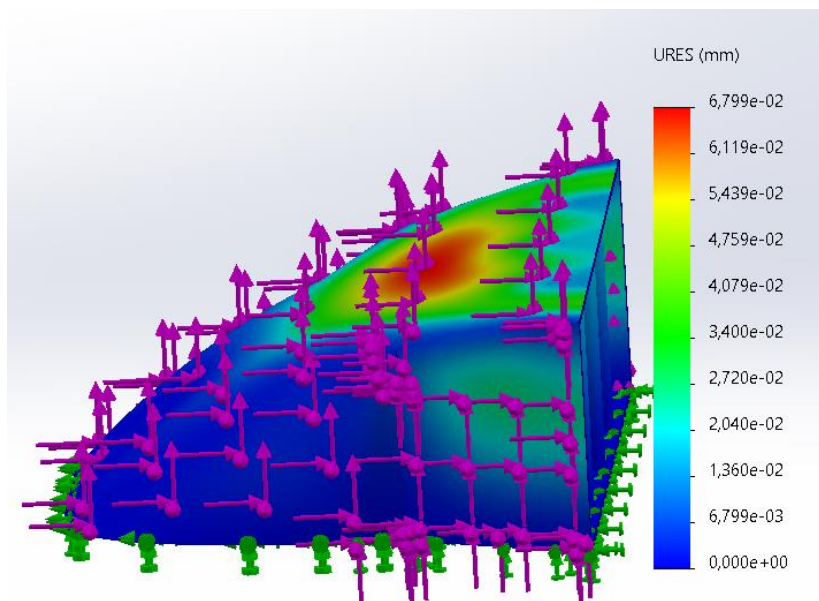
Ahora se va a realizar la misma simulación, pero para el caso del copolímero, es decir, para el ABS. En este caso se trata de un material menos rígido y resistente que en el caso anterior, por lo tanto, es probable que en este caso se encuentren deformaciones mayores que en el caso anterior.



*Ilustración 60 - Ensayo ABS*

Se puede observar, en la imagen 60, que las deformaciones son mucho mayores en este caso, como se había comentado anteriormente, ya que son más de 4 veces mayores que en el caso anterior. Esta diferencia de deformaciones puede ocasionar vibraciones mucho mayores en esta pieza, factor que favorecerá la rotura por fatiga de esta pieza. Por lo tanto, este material será desechado para la elección final del material.

Por último, se va a realizar esta misma simulación, pero para el último caso del material planteado, siendo este el aluminio 6061 T6. En este caso, el material planteado es más rígido y resistente que el ABS, por lo que se podrán obtener deformaciones menores en este caso y ser un material más atractivo para esta aplicación.



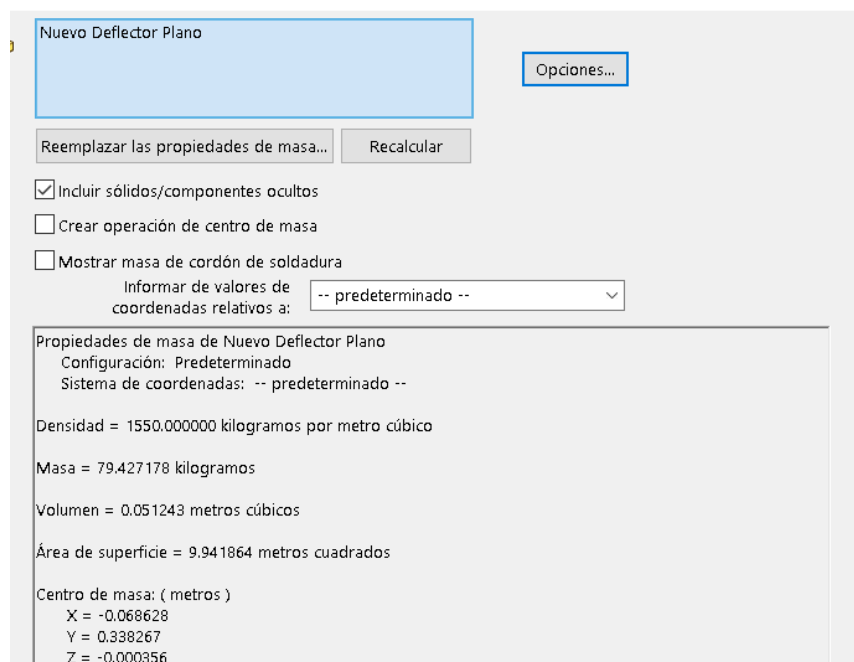
*Ilustración 61 - Ensayo aluminio*



En este caso, como se puede ver en la imagen 61, las deformaciones son mucho menores que en el ABS; por lo tanto, solo teniendo en cuenta este factor este sería la mejor opción junto al poliéster reforzado con fibra de vidrio para la selección del material. Pero seguidamente, se planteará la opción final del material y se expondrán todos los motivos que han derivado en esta selección.

#### 8.4 Volumen y Coste de Material.

Para la elección final de los materiales planteados, se tiene que calcular los volúmenes de las piezas, a partir del software SolidWorks, para poder calcular el peso de estas con la densidad del material; y una vez determinado el peso de estas calcular el coste de cada deflector. En la siguiente imagen, imagen 62, se puede observar la información que proporciona el software de las propiedades físicas de cada pieza:



*Ilustración 62 - Cálculo volumen deflectores*

Como se puede observar en la imagen anterior, el software ya te proporciona el peso de cada pieza, ya que anteriormente se han introducido las características de cada material. Posteriormente, se han ido sacando las propiedades físicas de todas las piezas, y en la siguiente tabla, tabla (21), se reúnen todas las propiedades físicas de todos los deflectores para el poliéster de fibra de vidrio:

Nombre	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)
Deflector superior de la cabeza tractora	0,0512	79,427
Bajos laterales derecha	0,0433	67,182
Bajos laterales izquierda	0,0446	69,076
Fondo Plano	0,1204	186,680
Deflector Lateral Medio (x2)	0,0021	3,283
Deflector Lateral Inferior (x2)	0,0021	3,246
Deflector Lateral Superior (x2)	0,0021	3,267
Tapas escalón Puertas (x2)	0,0011	1,688

Tabla 21 - Volúmenes y masas del poliéster

En la siguiente tabla, tabla (22), se van a mostrar las propiedades físicas de las piezas, pero en el caso del aluminio 6061 T6:

Nombre	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)
Deflector superior de la cabeza tractora	0,0512	138,357
Bajos laterales derecha	0,0433	117,027
Bajos laterales izquierda	0,0446	120,325
Fondo Plano	0,1204	325,185
Deflector Lateral Medio (x2)	0,0021	5,720
Deflector Lateral Inferior (x2)	0,0021	5,655
Deflector Lateral Superior (x2)	0,0021	5,690
Tapas escalón Puertas (x2)	0,0011	2,941

Tabla 22 - Volúmenes y masa del aluminio

Y, por último, en la tabla (23), se van a mostrar las propiedades físicas de la tapa de faro ya que en este caso es la única pieza que está formado por un material diferente al resto, Policarbonato (PC).

Nombre	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (kg)
Tapa de faro (x2)	0,000642	0,763

Tabla 23 - Volúmenes y masas del PC

Una vez determinado el peso de cada uno de los deflectores para todos los materiales planteados, se tiene que determinar el coste por kilogramo de cada material, tabla (24), para posteriormente determinar el coste de cada pieza. Para determinar este coste unitario, se ha tenido en cuenta los datos proporcionados por el instituto nacional de Estadística. [13]

	<b>Poliéster/fib. vid.</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Policarbonato</b>
<b>€/kg</b>	5,15	4,25	3,05

Tabla 24 - Precios de los materiales

Una vez determinados estos costes unitarios, se pueden calcular los costes de material que van a tener cada una de las piezas para los distintos materiales, en la siguiente tabla, tabla (25), se van a poder observar estos costes:

<b>Nombre</b>	<b>Coste Poliéster</b>	<b>Coste Aluminio</b>	<b>Coste PC</b>
Deflector superior de la cabeza tractora	409,049€	588,017€	-
Bajos laterales derecha	345,987€	497,635€	-
Bajos laterales izquierda	355,741€	511,301€	-
Fondo Plano	961,402€	1382,036€	-
Deflector Lateral Medio (x2)	16,959€	24,310€	-
Deflector Lateral Inferior (x2)	16,717€	24,034€	-
Deflector Lateral Superior (x2)	16,825€	24,183€	-
Tapas escalón Puertas (x2)	8,693€	12,499€	-
Tapa de faro (x2)	-	-	2,327€
<b>Total</b>	2190,567€	3149,041€	4,654€

Tabla 25 - Coste del material de los deflectores

Finalmente, al calcular los costes de cada deflector, se puede observar que, aunque el coste unitario del poliéster reforzado con fibra de vidrio sea el mayor, el coste final de este es menor que el de aluminio, ya que las piezas tienen un peso mayor.

### 8.5 Elección final del material.

Una vez comentados los tres materiales planteados, y realizados los cálculos resistentes de estos en el software SolidWorks; se ha descartado directamente el material polimérico, es decir, el termoplástico; ya que la deformación que sufre este material es excesiva y por lo tanto sufriría mucho desgaste la pieza por fatiga, a la vez que generaría muchas vibraciones y ruido. Otras desventajas que genera esta deformación es la pérdida de rendimiento aerodinámico, ya que, al perder la forma óptima, aerodinámicamente hablando, el rendimiento aerodinámico es inferior.

Una vez descartado el ABS, solo falta decidir que material presenta más ventajas entre el aluminio 6061 T6 y el poliéster reforzado con fibra de vidrio, para seleccionar este como el material definitivo. El aluminio 6061 T6 presenta la ventaja de que no se deforma tanto como el poliéster reforzado con fibra de vidrio, pero cabe destacar que la deformación que presentan ambos es muy baja, y por lo tanto este no es un factor determinante a la hora de seleccionar el material definitivo.

El aluminio 6061 T6 también es un material más económico que el poliéster reforzado con fibra de vidrio, aunque la diferencia de precio no es tan alta como sería el caso de un aluminio convencional, y además al ser más denso el aluminio que el poliéster reforzado con fibra de vidrio, por lo tanto, al ser piezas más pesadas el coste de material se igualara, aunque el aluminio sea más barato.

Siguiendo lo comentado anteriormente, el poliéster reforzado con fibra de vidrio presenta una densidad mucho menor que el aluminio, por lo tanto, el coste de material, aunque sea mayor el del poliéster al tener menos masa se igualara algo al del aluminio. Pero la parte más importante de que disponga de menor densidad es que al tener menos peso los deflectores, le estamos sumando menos masa total al vehículo, por lo tanto, el consumo del vehículo será menor con estas piezas.

El poliéster reforzado con fibra de vidrio también presenta una resistencia mucho mayor a los impactos que el aluminio 6061 T6, por lo tanto, si en marcha el vehículo sufre algún impacto de cualquier piedra procedente de la calzada, en el caso del poliéster reforzado con fibra de vidrio no se sufrirá ninguna rotura ni deformación. A su vez, el poliéster presenta una gran resistencia contra agentes químicos y es una materia que no va a presentar corrosión.

En el caso de las tapas de faro, debido a que es necesario que sean de un material totalmente transparente, se ha optado por el policarbonato, ya que es uno de los materiales más utilizados para las cubiertas de faros, debido a que tiene una alta resistencia a los impactos, una buena transparencia y resistencia a los rayos UV.

Finalmente, con todos los motivos expuestos anteriormente, se llega a la conclusión que el mejor material para la fabricación de los deflectores es el poliéster reforzado con fibra de vidrio, por todos los motivos enunciados anteriormente, pero el motivo que más peso a tenido en la selección ha sido la baja densidad que presenta este material.

## 9 Proceso de fabricación.

### 9.1 Procesos de fabricación planteados.

Una vez determinado el material que se va a utilizar para la fabricación de los diferentes deflectores, se tiene que seleccionar el proceso de fabricación; teniendo en cuenta que para un material se pueden realizar diferentes procesos de fabricación. Para seleccionar uno se deberá tener en cuenta factores como el coste de producción y el volumen de producción.

Como el material seleccionado para la fabricación de los deflectores a sido el poliéster reforzado con fibra de vidrio, se han seleccionado los siguientes procesos de fabricación como posibles para el conformado de las piezas: Compuesto de moldeo volumétrico (DMC), Compuesto de moldeo de lámina (SMC), Laminado manual y Moldeo por bolsa de vacío (VARTM).

- Compuesto de moldeo de lámina (SMC), en este proceso se dispone de un molde de metal al que se le introduce el material plástico, y posteriormente se calienta el molde, para que este se ablande con el calor, y se reparta por todas las cavidades del molde al aplicar presión. En este caso se deberían de introducir las fibras y repartir adecuadamente, a la vez que se introduce el material plástico, siendo en este caso poliéster. Este proceso de fabricación permite realizar piezas de formas complejas, el desecho de material sobrante es muy bajo, y el coste de mantenimiento y de fabricación de moldes es bajo. [14]

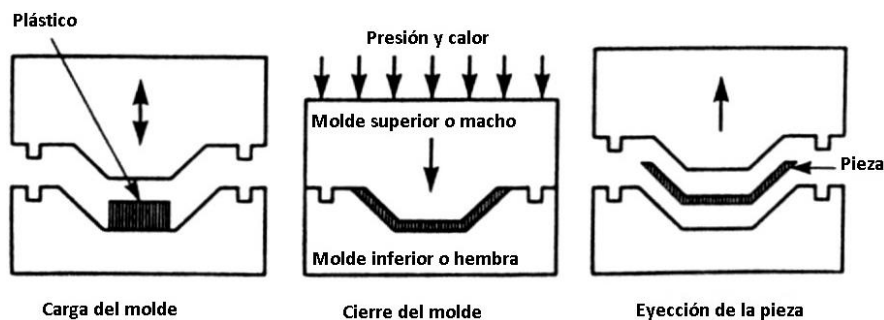


Ilustración 63 - Compuesto de moldeo de lámina (SMC)

- Compuesto de moldeo volumétrico (DMC), se trata de un proceso de fabricación similar al SMC, formando piezas con una forma volumétrica, creando sólidos 3D.

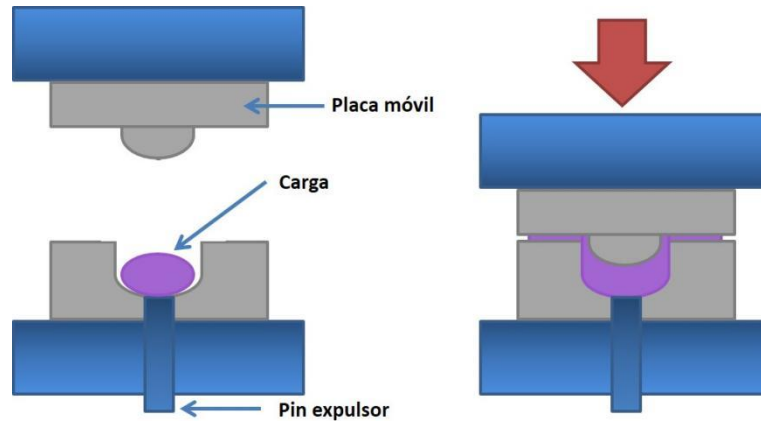


Ilustración 64 - Compuesto de moldeo volumétrico (DMC)

- Laminado manual, Este es el proceso de fabricación de materiales compuestos, más primitivo de todos los expuestos, ya que en este la resina y las fibras, se colocan en el molde de la pieza con una brocha y se les da forma en el molde manualmente con un rodillo. La presión que se le ejerce con el rodillo elimina las burbujas de aire atrapadas y compacta el producto, pero al hacerse de forma manual el material no queda lo más homogéneo posible, y a su vez una de las caras de las piezas conformadas no va a tener un buen acabado.



Ilustración 65 - Laminado manual

- Moldeo por bolsa de vacío (VARTM), consiste en un método de moldeo por transferencia de resina asistido por vacío para producir un componente. La presurización del laminado cumple varias funciones; primera, remover el aire atrapado entre capas; segunda, compactar las capas de refuerzo por transmisión de fuerzas, proporcionando unos laminados más fuertes y tercera, evita que la orientación del laminado se modifique durante el curado. Las piezas que se conforman con este proceso de fabricación presentan un alta calidad de

laminado, los costos de producción son reducidos, la flexibilidad de producción es alta y las propiedades de las piezas son mejoradas a las de otros métodos como el laminado manual. [15]

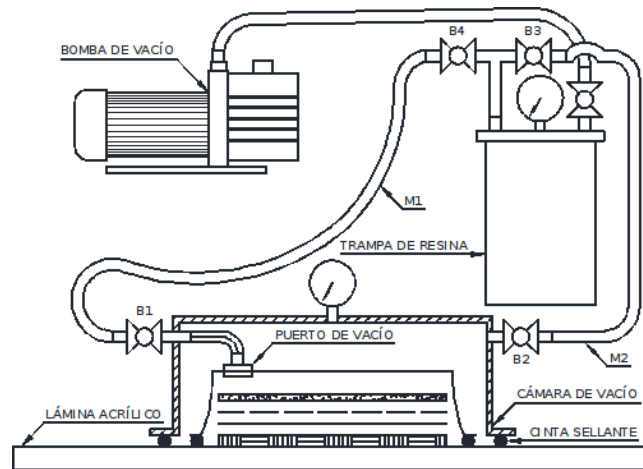


Ilustración 66 - Moldeo por bolsa de vacío (VARTM)

Para concluir los procesos de fabricación, se debe tener en cuenta que para las cubiertas de faro se ha elegido el policarbonato como material de fabricación de esta pieza, por lo tanto, se tiene que plantear un proceso de fabricación adecuado para este material. Se ha elegido para este material el proceso de fabricación conocido como, método de Interfase (Fosgenación).[16]

- Método de Interfase (Fosgenación), Este es el método más utilizado para la fabricación de piezas de policarbonato, y consiste en la reacción de bisfenol A (BPA) con fosgeno en presencia de una base, soliendo ser esta típicamente hidróxido de sodio (NaOH). Este proceso para el policarbonato otorga a este una alta resistencia al impacto con una buena transparencia, dos de las propiedades más importantes para la fabricación de estas cubiertas. [16]

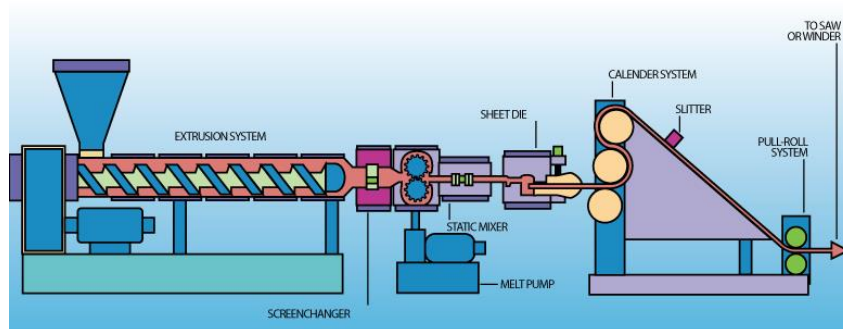
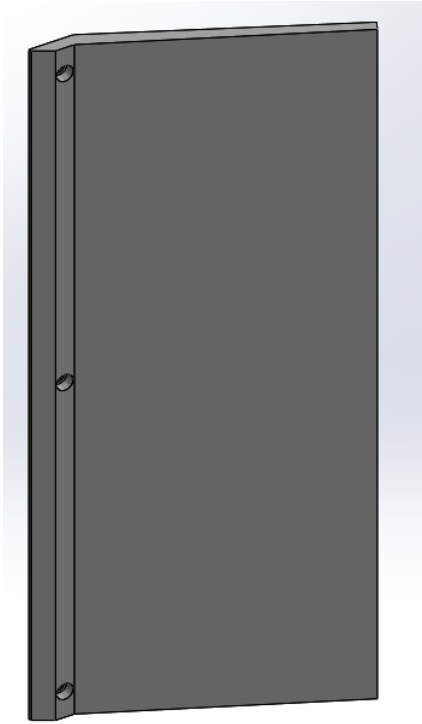
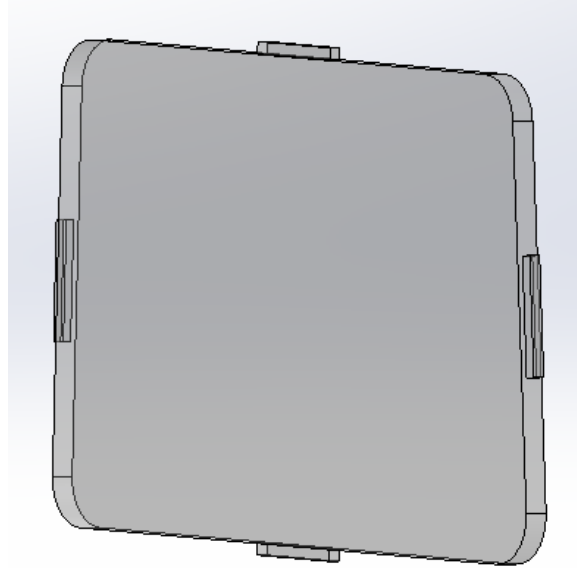


Ilustración 67 - Método de Interfase (Fosgenación)

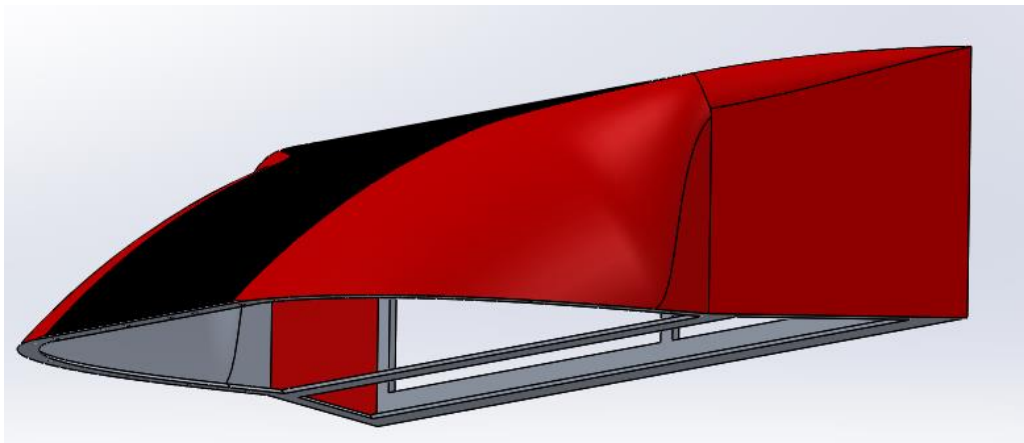
Una vez expuestos todos los procesos posibles para los deflectores y las cubiertas de los faros, se debe tener en cuenta la complejidad de las formas que van a tener los deflectores. Para estos se van a mostrar seguidamente diferentes imágenes individuales de los deflectores que se van a fabricar en el proyecto:



*Ilustración 69 - deflector lateral*



*Ilustración 68 - cubierta de faro*



*Ilustración 70 - deflector superior de la cabeza tractora*



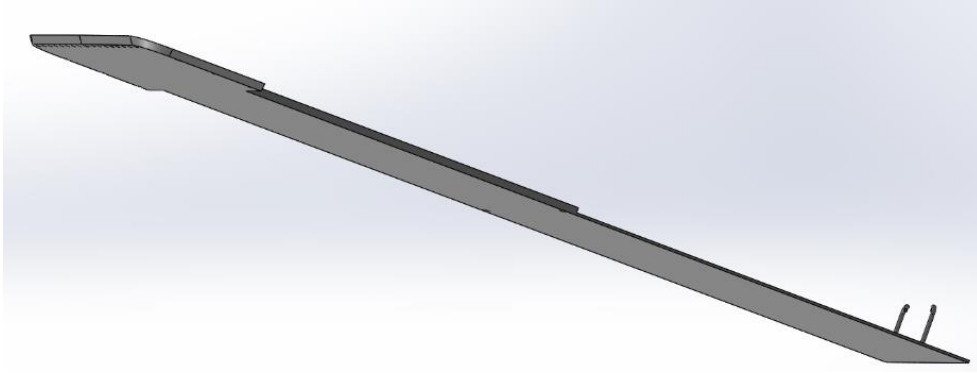


Ilustración 71 - Fondo plano

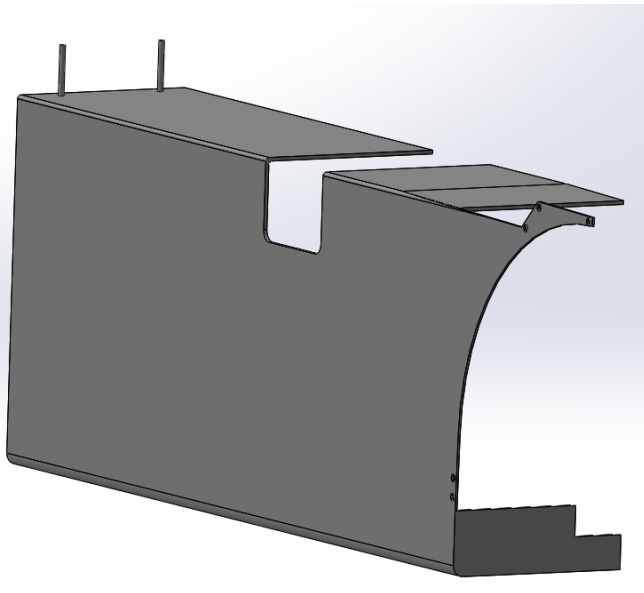


Ilustración 73 - deflector inferior lateral

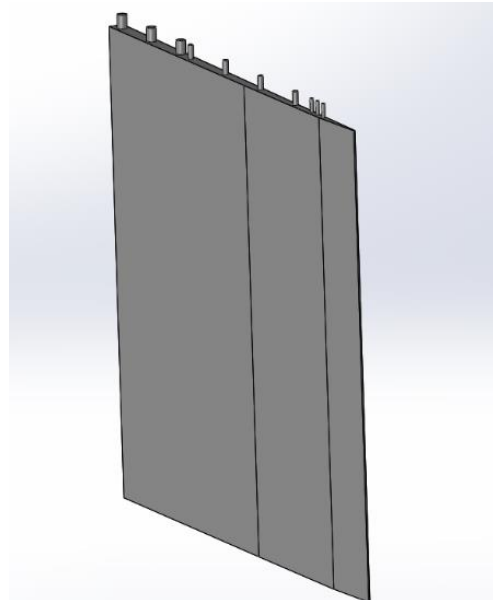


Ilustración 72 - Cubierta del escalón de la puerta

Como se puede observar en las imágenes anteriores las piezas tienen una cierta complejidad, pero se pueden fabricar con la unión de diferentes chapas, y a su vez tienen un espesor relativamente pequeño. Uno de los motivos que se ha escogido este material, poliéster reforzado con fibra de vidrio, es por qué espesor de estas piezas, ya que es necesario que sea un material muy resistente por este poco espesor.

Por ser el conformado de estas piezas con la unión de diferentes chapas formadas por SMC y VARTM, se han tomado estas dos como las dos mejores opciones para el conformado de las piezas. Para el caso de las cubiertas de faro, ya se ha hecho la elección final de este proceso, por ser el más común para la fabricación de estas piezas, y por las buenas propiedades que confiere este proceso de fabricación. En el siguiente apartado se definirá la elección final del proceso de fabricación y se darán las razones de esta elección.

## 9.2 Elección del proceso de fabricación.

Como se ha comentado ya en el apartado anterior, la elección del proceso para la fabricación de las cubiertas de faro en policarbonato; pero para el resto de los deflectores se han establecidos dos opciones de las cuatro planteadas como las opciones para la aplicación que se les va a dar, siendo estas las siguientes: Moldeo por bolsa de vacío (VARTM) y Compuesto de moldeo de lámina (SMC).

En el caso de realizar la fabricación con el método SMC, se obtendría una producción de las piezas mucho más rápida que en el caso de la utilización del método VARTM, pero en este caso la rapidez de la producción no es un factor tan decisivo debido a que no se estima una gran producción de lotes aerodinámicos de estas piezas. En contraposición a este método, no es posible orientar las fibras y tampoco se pueden utilizar fibras continuas; por lo tanto, las piezas realizadas con este método presentarían menor resistencia que las realizadas con el VARTM.

En el caso del VARTM, se trata de un método más económico que el SMC, ya que la maquinaria para realizar este proceso de fabricación es mucho más económica en el caso del VARTM, eso sí, al realizarse de una manera más manual la rapidez de producción es menor en este caso, pero como se ha comentado no es un factor influyente. Este método también proporciona una mejor mezcla fibra-resina, y a su vez permite la orientación de las fibras y la utilización de fibras continuas; por lo tanto, la resistencia de las piezas fabricadas con este método será mucho mayor.

Finalmente, la elección del proceso de fabricación se va a decantar por la utilización del moldeo por bolsa de vacío (VARTM), ya que las piezas van a presentar mejores propiedades mecánicas y a su vez van a presentar menor coste de producción. Y para la producción de piezas con mayor o menor complejidad, se realizarán diferentes puntos de infusión en el proceso de vacío.

## 10 Elección de sujeciones.

Para la elección de las sujeciones se va a tener en cuenta la tensión máxima que ha de soportar el conjunto entero, para asegurar de esta forma que el conjunto quede fijo de la manera más segura posible. Tener en cuenta que las métricas que se van a utilizar en todas las piezas van a ser de métrica 14 y métrica 12. Por lo tanto, como el material utilizado para todas las sujeciones va a ser el mismo, se va a calcular el esfuerzo máximo para la sujeción de métrica 12 ya que van a tener menor diámetro que las de métrica 14.

Como en este proyecto no se ha diseñado ningún tipo de deflector que sea móvil o que tenga que ser móvil por normativa, no es necesario utilizar ningún tipo de bisagra o cilindro hidráulico. Por lo tanto, se podrán utilizar tornillería básica como va a ser el tornillo de cabeza hexagonal.

Teniendo en cuenta que la fuerza máxima que va a tener que soportar el conjunto va a ser de: 1013,715 N, y al ser métrica 12 los tornillos que se van a utilizar como referencia para seleccionar el material que estos, la sección de estos tornillos va a ser de: 74,31 mm<sup>2</sup>. Por lo tanto, seguidamente se va a calcular el límite elástico que van a tener que soportar los tornillos, con la ecuación (10).

$$\sigma_e = \frac{F}{A}$$

(10)

Una vez realizado este cálculo se obtiene que los tornillos van a tener que soportar como máximo un límite elástico de: 13,64 N/mm<sup>2</sup>. Como el valor que ha de soportar de límite elástico la gran mayoría de tornillería puede soportar este valor. Por lo tanto, se han seleccionado tornillos de cabeza hexagonal de rosca métrica DIN-933 M12 y M14.

Una vez determinadas las sujeciones se va a calcular el coste de estas, teniendo en cuenta que los tornillos de M12 se han encontrado a un coste de 0,27 € la unidad, comprando un pack de 100 tornillos; y en el caso de los mismos tornillos, pero de M14, el coste de estos es de 0,30 € la unidad, comprando un pack de 100 tornillos. Debido a que con los dos packs de 100 tornillos se tienen suficientes sujeciones para todos los deflectores, solo se va a tener que comprar un pack de cada uno. [18] [19]

Para finalizar este apartado, se ha de tener en cuenta que se va a utilizar un fijador de tornillos para que se aseguren más estos debido a las posibles vibraciones que va a tener el conjunto; y a su vez, para que actúen de sellante. Por lo tanto, se va a emplear un fijador de tornillos de alta resistencia de 75 ml, con un coste de 11,95 €. [17]

## 11 Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

En este apartado se va a realizar el pliego de prescripciones técnicas particulares, este es un documento fundamental que establece los criterios de realización, los requisitos técnicos y las diferentes especificaciones que se deben cumplir a lo largo de todo el proyecto.

### 11.1 Objetivo.

En el presente proyecto, destinado para la realización del trabajo Final de Grado de Ingeniería Mecánica, se va a desarrollar el diseño de los deflectores que van a ser instalados en el frontal de un Volvo Fh12 420 de 1995, para gracias a estos reducir el coeficiente de arrastre, y de esta manera disminuir el consumo de combustible de este vehículo, y a su vez, reducir las emisiones de gases contaminantes de este.

Este diseño cumple con toda la normativa vigente en la DGT española, y gracias a esto este vehículo podrá circular por todo el territorio español y europeo. En este documento se recogen todas las especificaciones y directrices para que, al realizar este proyecto bajo estas, el vehicula cumpla con los requisitos demandados por la DGT.

#### 11.1.1 Alcance del proyecto.

El alcance de este proyecto es lograr que un vehículo de una cierta longevidad pueda mejorar sus prestaciones en cuanto a consumo de combustible y emisiones CO<sub>2</sub>, para que de esta manera sea un vehículo con una concienciación ambiental más aceptable para la época, debido a que las restricciones de la Euro 6d son mas restrictivas que nunca con las emisiones.

#### 11.2 Normativa y condiciones de carácter general.

Todos los requisitos que debe cumplir el proyecto se recogen en la DGT, siendo más concretos en la “Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa.”, siendo la vigente y la utilizada la edición la de 2018.

El material utilizado para la realización del proyecto, es decir, los deflectores diseñados en el proyecto, ha sido el poliéster reforzado con fibra de vidrio, utilizando como refuerzo dos mallas de fibra; además sea utilizado el policarbonato para realizar una pieza, en concreto la nueva cubierta de faro que se ha diseñado.

El Proceso que se ha utilizado para la realización de las diferentes piezas ha sido, el moldeo por succión de vacío (VARTM) y el método de Interfase (Fosgenación); para el proceso de VARTM se requiere un operario experimentado, ya que es u n proceso manual donde se requiere colocar la fibra manualmente y delimitar la pieza manualmente , posteriormente conectar con los conductos la resina con la bolsa de vacío y la bomba de succión; y finalmente conectar la bomba para que se haga la transfusión de resina.

En el caso del método de interfase, al tratarse de un método con maquinaria costosa, se optará por pedir a una empresa externa laminas del mismo grosor que el que requieren las cubiertas y posteriormente mecanizar estas hasta alcanza las medidas concretados en los planos de fabricación.

### 11.3 Condiciones particulares.

En este subapartado del pliego de prescripciones técnicas, se va a describir todo tipo de características técnicas, económicas y legales que se deberá llevar a cabo a lo largo del proyecto; todas estas condiciones deberán quedar acordadas con anterioridad por el contratista y el ingeniero encargado de realizar el proyecto.

#### 11.3.1 Requisitos de pruebas.

En la realización de este proyecto se van a realizar diferentes pruebas o simulaciones CFD; y a su vez, también se realizarán pruebas resistentes para determinar el material óptimo para las piezas diseñadas en el proyecto, todas estas simulaciones se van a realizar con un software CAD, siendo el utilizado SolidWorks. Los diferentes ensayos que se van a realizar son los siguientes:

- Ensayos de resistencia: para realizar estos estudios, primero se deberán extraer los esfuerzos a los que están sometidas las piezas, a partir, de las simulaciones aerodinámicas (CFD); una vez extraídas los esfuerzos, se aplicaran estos a las piezas diseñadas y a su vez se aplicaran las sujeciones en los orificios diseñados para estas. Una vez realizada la malla se realizarán los cálculos de los ensayos resistentes para los diferentes materiales planteados.
- CFD (“Computational Fluid Dynamics”): Para realizar los estudios CFD, primero se tendrá que realizar un estudio de sensibilidad de la malla, para realizar este se realizaran todas las iteraciones necesarias, reduciendo el tamaño del mallado, hasta que los valores no se alteren y los resultados converjan adecuadamente. Una vez obtenido un tamaño de malla adecuado para que los valores sean lo suficientemente precisos, se establecerán las condiciones de contorno del modelo, que en este caso van a ser: la rugosidad superficial del modelo, que este caso van a ser diez micras; también se establecerá la presión y temperatura ambiente; además se establecer el porcentaje de humedad ambiente, que en este caso va a ser de 70%; y finalmente, se establecerán las diferentes velocidades de circulación para el vehículo.

Una vez establecidas todas las condiciones de contorno, se realizarán los cálculos de la simulación, y una vez finalizados estos se extraerán todos los resultados necesarios para poder valorar la eficiencia aerodinámica del vehículo y las mejoras realizadas en el modelo original con respecto al modelo realizado a lo largo del proyecto.

### 11.3.2 Condiciones económicas.

Antes de realizar el proyecto, es fundamental establecer un acuerdo económico con el contratista y el ingeniero, donde se debe englobar el precio final del proyecto, junto a las diferentes particiones de este, y a su vez se deberá marcar la forma de pago y los tiempos de pago.

Antes de realizar la propuesta al contratista, el ingeniero deberá realizar un estudio económico del proyecto, para poder determinar su rentabilidad y su retorno, y, por lo tanto, poder determinar si el proyecto es viable económicamente. En dicho estudio económico, se deberán tener en cuenta costes de ingeniería como pueden ser: la búsqueda de información necesaria para el proyecto, el diseño de las piezas y los diferentes estudios realizados en el proyecto. Por otra parte, los costes de fabricación contando la mano de obra de los operarios, el coste de la maquinaria de los procesos de fabricación. Finalmente se deberá de contabilizar los costes de material.

Una vez obtenido el presupuesto total se le ha de aplicar la tasa imponible del 21 % (IVA). Una vez aprobada la propuesta por el contratista, será necesario saber la forma de pago y los tiempos de pago. Antes de realizar el proyecto, se le exigirá al contratista un 25% del coste total del proyecto, el 50 % del presupuesto total una vez los deflectores hayan sido entregados al contratista y el 25% restante en un plazo de 60 días después de la entrega de las piezas.

En el supuesto caso, de que el contratista decida abandonar el acuerdo establecido en el proyecto y no seguir adelante con este, deberá realizar un reembolso del 100% del presupuesto total del proyecto, en el caso de que el avance de este no llegue al 50%, pero en el caso de estar en un estado de avance superior al 50%, el reembolso será del 125%, para suponer un 25% como penalización por abandonar el proyecto en un estado final de este.

### 11.3.3 Condiciones legales.

Los miembros que hayan participado en el proyecto, es decir, el ingeniero y el contratista que demanda el proyecto, con ayuda de su equipo de abogados y asesores deberán establecer un acuerdo y firmar un contrato que refleje este acuerdo, y a su vez, toda la información acerca de la legalidad de dicho proyecto, así como todos los contratos de trabajo que se van a realizar para todo el personal implicado en el proyecto, a su vez, las indemnizaciones en caso de accidente de trabajo.

Estas piezas, al ser de un material muy resistente, disponen de una garantía de 5 años, y en caso de accidente y queden dañadas, disponen de la homologación y quedaran bajo responsabilidad del seguro vigente del vehículo.

## 12 Presupuesto.

En este apartado se va a contabilizar el coste total que supone la realización del proyecto, pero a su vez también se van a realizar presupuestos parciales, tablas de mediciones para tener claro el total de componentes del proyecto, como los precios unitarios de todos estos. Para calcular el coste de todo estos, se van a tener en cuenta el material final y el proceso de fabricación final, es decir, no se van a tener en cuenta ninguno de los planteados y desechados.

### 12.1 Mediciones

En este subapartado se van a realizar las mediciones de todos los componentes utilizados en el proyecto. Para ello se van a enumerar estos en una tabla, la tabla (26):

Nombre	Unidades	Masa (kg)
Deflector superior de la cabeza tractora	1	79,427
Bajos laterales derecha	1	67,182
Bajos laterales izquierda	1	69,076
Fondo Plano	1	186,680
Deflector Lateral Medio	2	3,283
Deflector Lateral Inferior	2	3,246
Deflector Lateral Superior	2	3,267
Tapas escalón Puertas	2	1,688
Tapa de faro	2	0,763
Tornillos de cabeza hexagonal de rosca métrica DIN-933 M12	100	-
Tornillos de cabeza hexagonal de rosca métrica DIN-933 M14	100	-
Fijador de tornillos de alta resistencia de 75 ml	1	-

Tabla 26 - Mediciones

Una vez enumerados todos los componentes utilizados en el proyecto, a falta de la maquinaria necesaria para la fabricación de las piezas, solo faltaría determinar el coste unitario tanto del material como los componentes de sujeción.

### 12.2 Cuadro de precios unitarios

En el subapartado presente se va a realizar un cuadro, tabla (27), con todos los precios unitarios del proyecto, para posteriormente con las mediciones obtenidas anteriormente obtener el coste total de realización del proyecto. Pero antes de eso se va a insertar una tabla del coste por kilogramo del material empleado, tabla (28):

	<b>Poliéster/fib. vid.</b>	<b>Policarbonato</b>
<b>€/kg</b>	5,15	3,05

Tabla 27 - Coste unitario del material

<b>Nombre</b>	<b>Coste Unitario (€)</b>
Deflector superior de la cabeza tractora	409,05
Bajos laterales derecha	345,99
Bajos laterales izquierda	355,74
Fondo Plano	961,40
Deflector Lateral Medio	16,91
Deflector Lateral Inferior	16,72
Deflector Lateral Superior	16,83
Tapas escalón Puertas	8,69
Tapa de faro	2,33
Tornillos de cabeza hexagonal de rosca métrica DIN-933 M12	0,27
Tornillos de cabeza hexagonal de rosca métrica DIN-933 M14	0,30
Fijador de tornillos de alta resistencia de 75 ml	11,95

Tabla 28 - Coste unitario de los diferentes componentes

Una vez determinados todos los precios unitarios de los componentes solo faltaría realizar el cálculo de la maquinaria para el proceso de fabricación, y en este caso se ha utilizado el VARTM para la fabricación de las piezas de poliéster reforzado con fibra de vidrio y el método de Interfase (Fosgenación) para la pieza de policarbonato.

Para el proceso de fabricación se ha elegido un Kit de bomba de vacío con un cámara de 5 litros para almacenar la resina sobrante, este kit tendría un precio de 154,99 €. [20]



Ilustración 74 - Bomba de vacío



Para las bolsas de vacío, se ha optado por comprar unas bolsas específicas para este proceso, las cuales tienen un coste de 14,58 € un pack de 50 unidades. Y, para las tuberías utilizadas para la infusión de resina, solo se van a comprar 5 metros de estas de recambio, ya que el kit de la bomba ya dispone de algunas de estas, y estas van a tener un coste de 9,95 €. [21]

Finalmente, solo quedaría determinar el coste de los operarios que van a realizar el proyecto, para ello se ha de estimar que mínimo van a ser dos: el operario que realice el proceso de fabricación manualmente (VARTM) y el ingeniero que realice el proyecto. Teniendo en cuenta que este proceso de fabricación es costoso y a su vez se va a tener el rango de salario en Europa para este trabajo, se va a estimar un salario de 20 € la hora. Para el caso del Ingeniero se va a estimar un salario de 35 € la hora.

### 12.3 Presupuestos parciales

En este apartado se van a calcular diferentes presupuestos, para estimar de esta manera que parte del proceso del proyecto supone más coste. Para ello, se generarán presupuestos de materiales, de coste de producción y de generación del proyecto.

El primer presupuesto que se va a realizar es el de coste de materiales, y para ello se va a tener en cuenta el coste del material de las piezas producidas en el proyecto, es decir, todos los deflectores; y, a su vez, se va a tener el coste del material para la sujeción de estas piezas. El coste final de este presupuesto parcial de los materiales es de: 2264,09 €.

En el segundo caso, se va a realizar el presupuesto parcial del coste de producción; y para este se va a tener en cuenta el coste de la maquinaria de producción y el salario que se le tendrá que retribuir al operario. El coste total de la maquinaria es de: 179,52 €. Y al operario se le estima un total de horas de trabajo de 40 horas, lo que supondría un coste de: 800€. Por lo tanto, el coste del presupuesto parcial de producción ascendería a un total de: 979,52 €.

Por último, al presupuesto de generación del proyecto solo se le va a tener en cuenta el salario que se le tendrá que retribuir al Ingeniero del proyecto, para este proyecto se van a estimar unas 100 horas de realización del proyecto. Lo que generación un coste de generación del proyecto de: 3500 €.

### 12.4 Resumen del presupuesto

Para acabar el apartado de presupuesto del proyecto, se va a calcular el coste total de realización del proyecto. Pero antes comentar un poco la diferencia entre los diferentes presupuestos del proyecto, ya que el coste de generación de este es superior a todos los demás. Esto es debido que para realizar este proyecto se tienen que realizar muchas simulaciones e iteraciones de estas para poder lograr el modelo final del proyecto, por eso el total de las horas de trabajo es muy elevado.

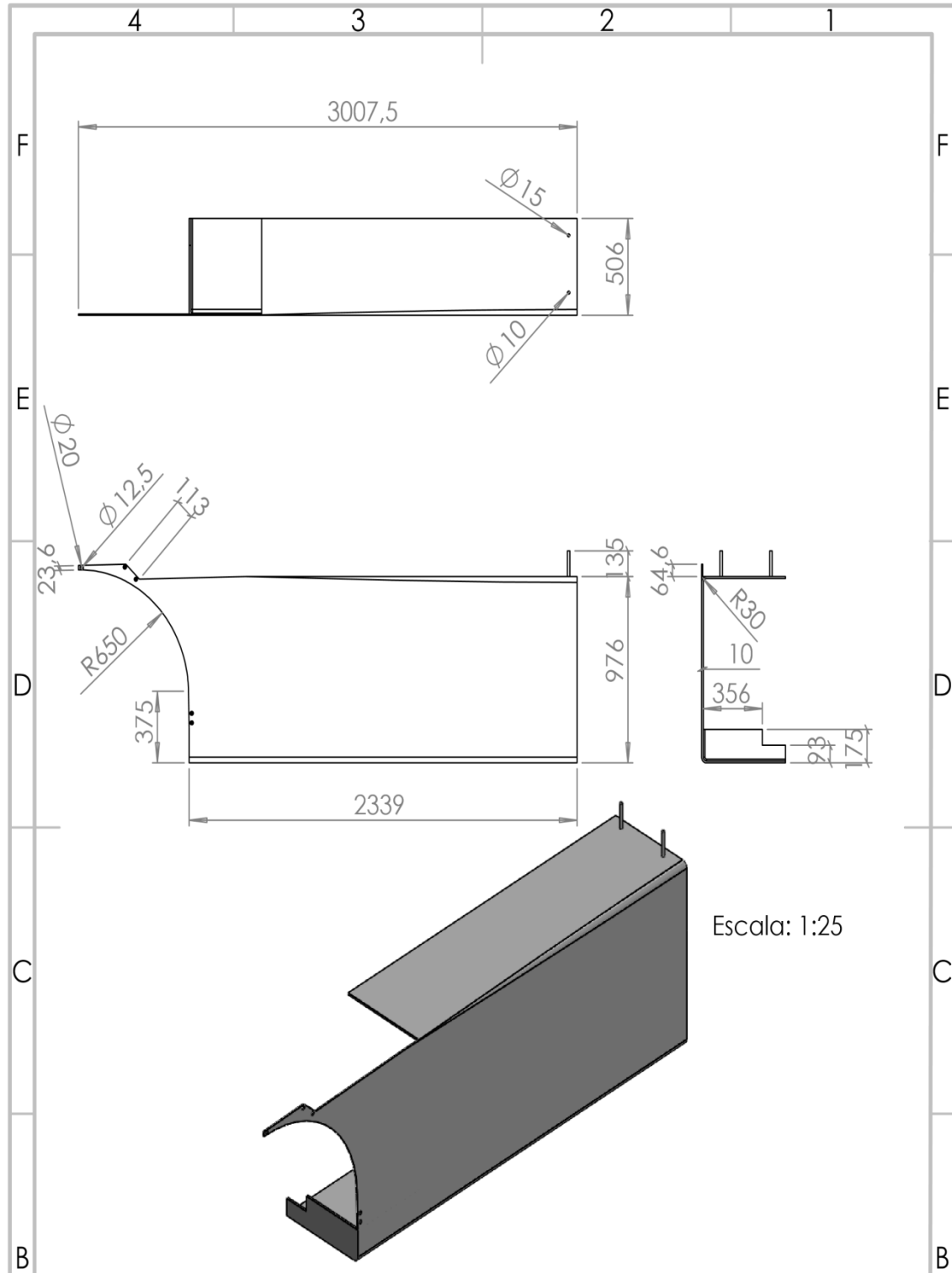
El coste de producción no es muy elevado, aunque el salario del operario sea alto, ya que el proceso de producción utilizado (VARTM) ha sido el más económico posible. Y aunque el proceso de producción no es muy costoso, el material empleado sí lo es, por eso el coste de material también es bastante elevado.

Para acabar este apartado, el coste final de realización del proyecto alcanza la cifra de: 6743,61 €. Este coste solo sería realizando un lote de producción de deflectores, si se quisiera realizar más lotes de producción se tendría que multiplicar el coste de material y el coste de producción, lo único que permanecería constante es el coste de generación del proyecto.

## 13 Planos.

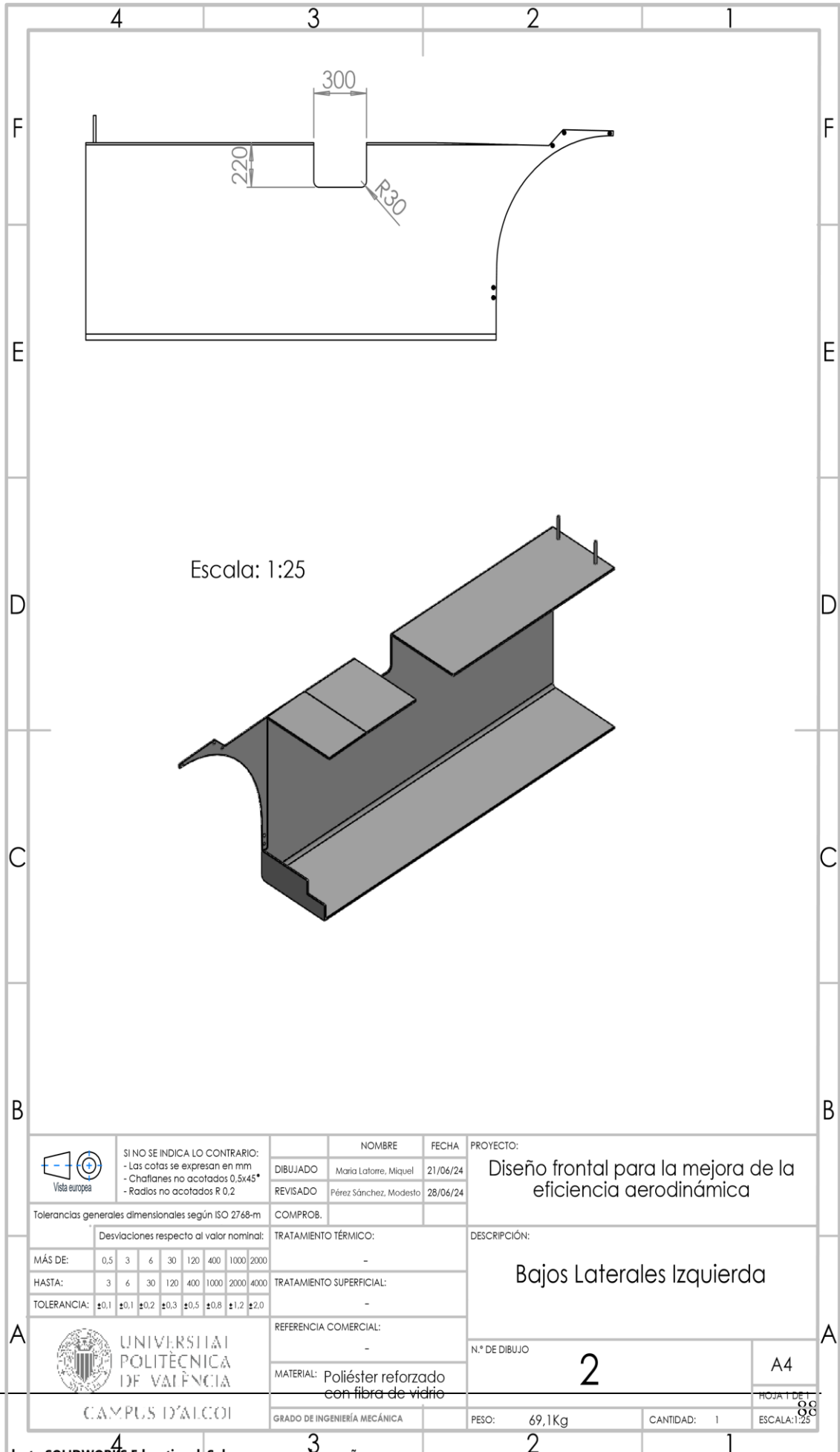
En este apartado se van a mostrar todos los planos de fabricación de los diferentes deflectores; estos están enumerados en el orden que podemos ver el siguiente índice:

- Plano Bajos Laterales Derecha.
- Plano Bajos Laterales Izquierda.
- Plano Cubierta Escalón Puerta.
- Plano Cubierta Faro.
- Plano Deflector Lateral Inferior.
- Plano Deflector Lateral Intermedio.
- Plano Deflector Lateral Superior.
- Plano Deflector Superior Cabeza Tractora.
- Plano Fondo Plano.

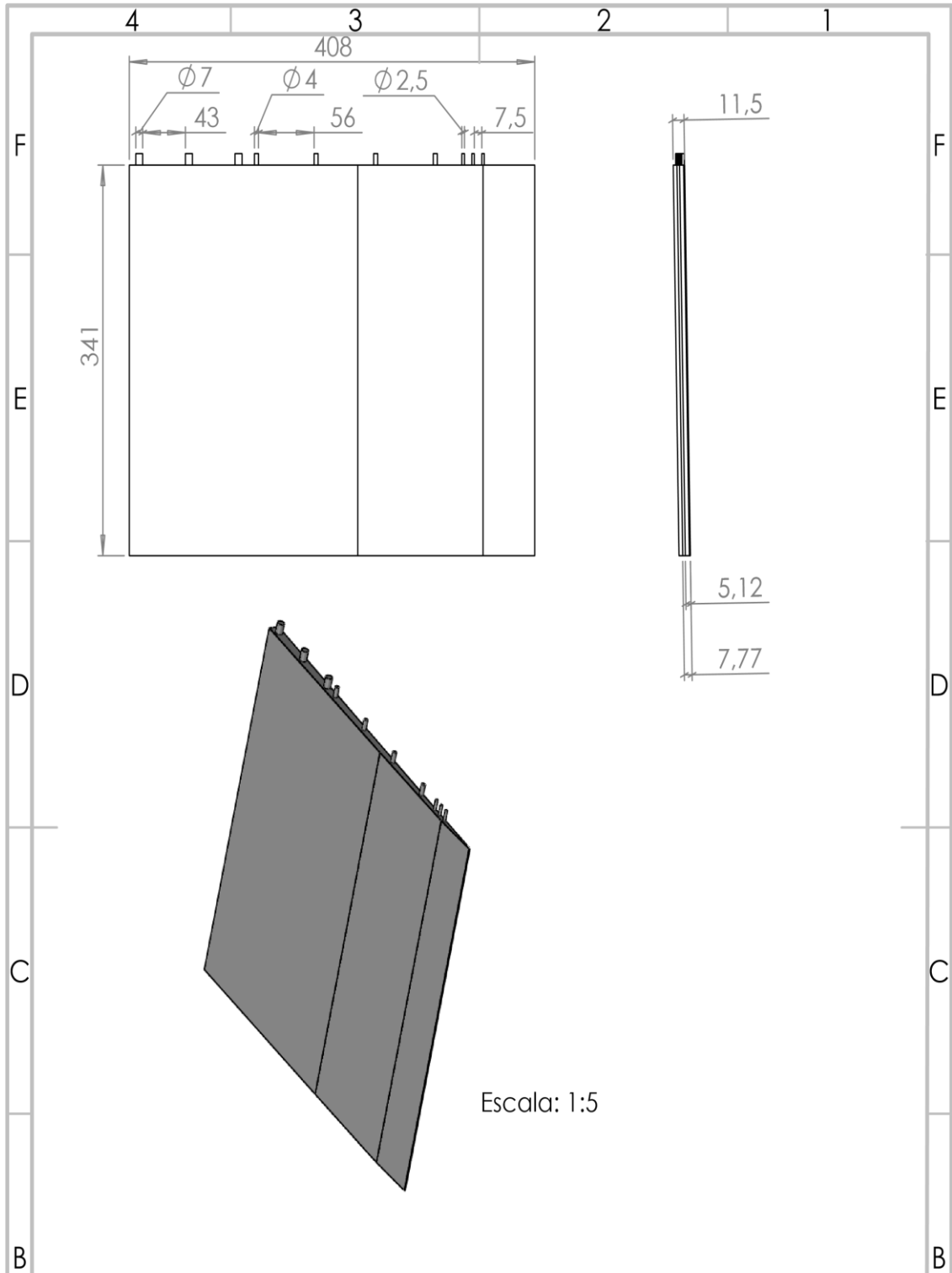


Escala: 1:25



<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0.2</p>	NOMBRE	FECHA	PROYECTO:
		DIBUJADO	Maria Latorre, Miquel	21/06/24
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		REVISADO	Pérez Sánchez, Modesto	28/06/24
Desviaciones respecto al valor nominal:		COMPROB.		DESCRIPCIÓN:
MÁS DE:	0,5 3 6 30 120 400 1000 2000	TRATAMIENTO TÉRMICO:	-	Bajos Laterales Derecha
HASTA:	3 6 30 120 400 1000 2000 4000	TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-	
TOLERANCIA:	±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0	REFERENCIA COMERCIAL:	-	N.º DE DIBUJO
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	MATERIAL:	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	1	A4
	GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	PESO:	67,2 Kg	CANTIDAD:
				HOJA 1 DE 1

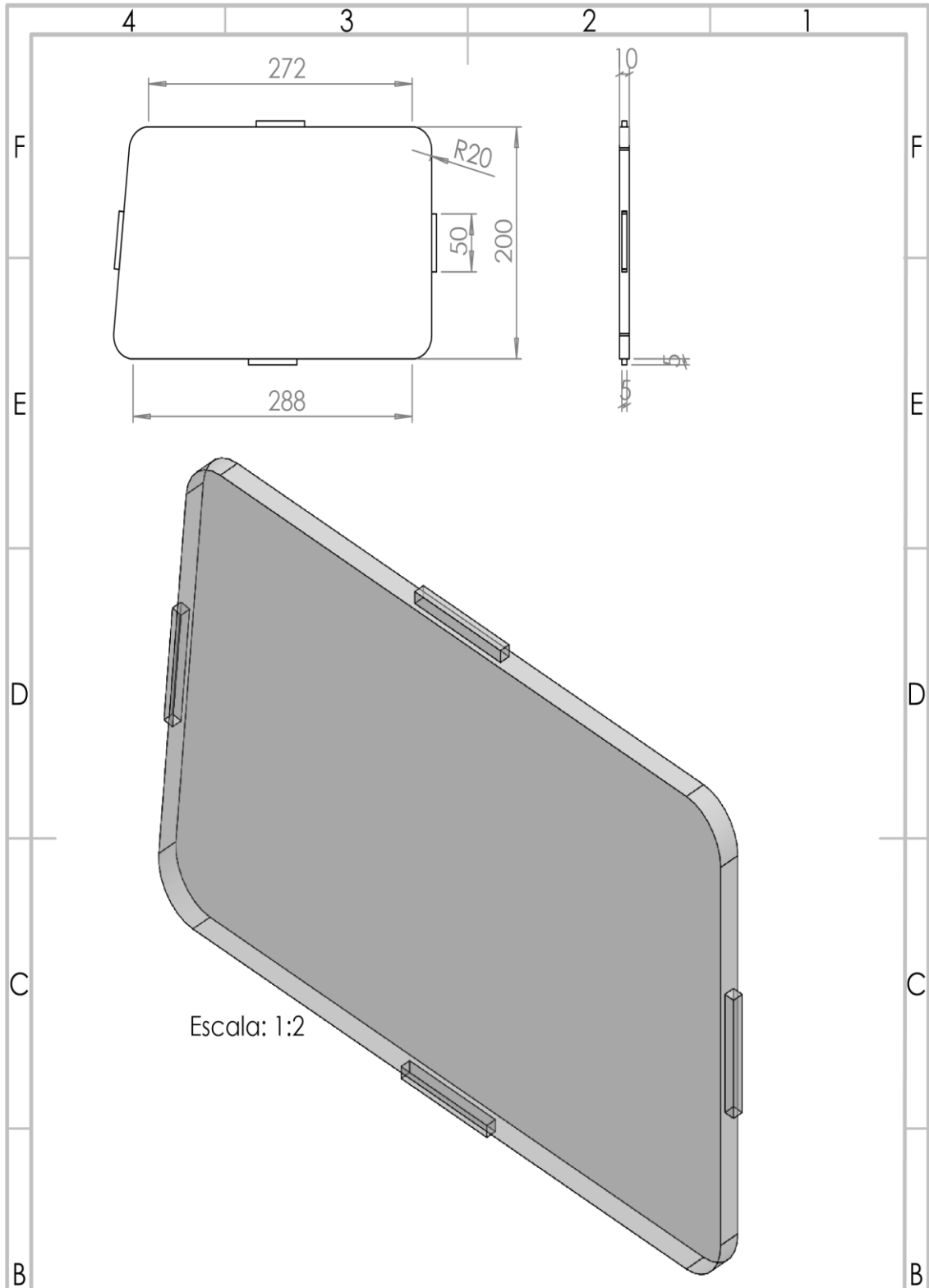


<p>Vista europea</p>	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2		NOMBRE	FECHA	PROYECTO: Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica
	DIBUJADO	Maria Latorre, Miquel	21/06/24		
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		COMPROB.	DESCRIPCIÓN: Bajos Laterales Izquierda		
Desviaciones respecto al valor nominal: MÁS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: ±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		N.º DE DIBUJO 2	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL: -		REFERENCIA COMERCIAL: -		A4	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		MATERIAL: Polièster reforzado con fibra de vidriu		ESCALA: 1:25	
		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		PESO: 69,1Kg CANTIDAD: 1	



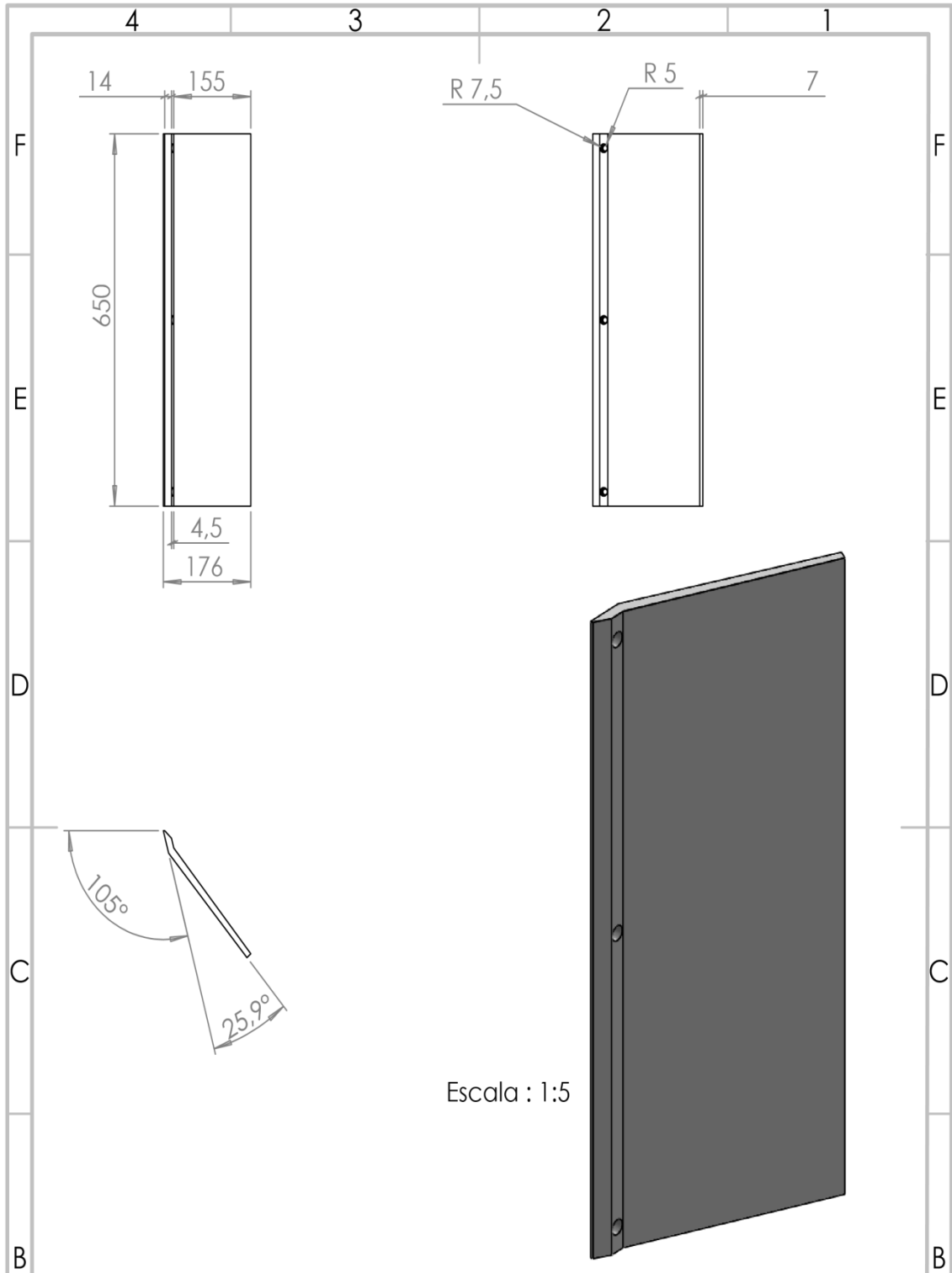
Escala: 1:5

 Vista europea	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0.2		NOMBRE	FECHA	PROYECTO:
	Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		DIBUJADO	24/06/24	Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica
Desviaciones respecto al valor nominal: MÁS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: ±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0		REVISADO	28/06/24	DESCRIPCIÓN:	
TOLERANCIA: ±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0		COMPROB.	DESCRIPCIÓN: Cubierta Escalon Puerta		
 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b> CAMPUS D'ALCOI		TRATAMIENTO TÉRMICO:	N.º DE DIBUJO <b>3</b>		
REFERENCIA COMERCIAL: -		TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	A4		
MATERIAL: Poliéster reforzado con fibra de vidrio		REFERENCIA COMERCIAL:	HOJA 1 DE 1		
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		REFERENCIA COMERCIAL:	ESCALA: 1:5		
PESO: 1,69 Kg		REFERENCIA COMERCIAL:	CANTIDAD: 2		



Escala: 1:2

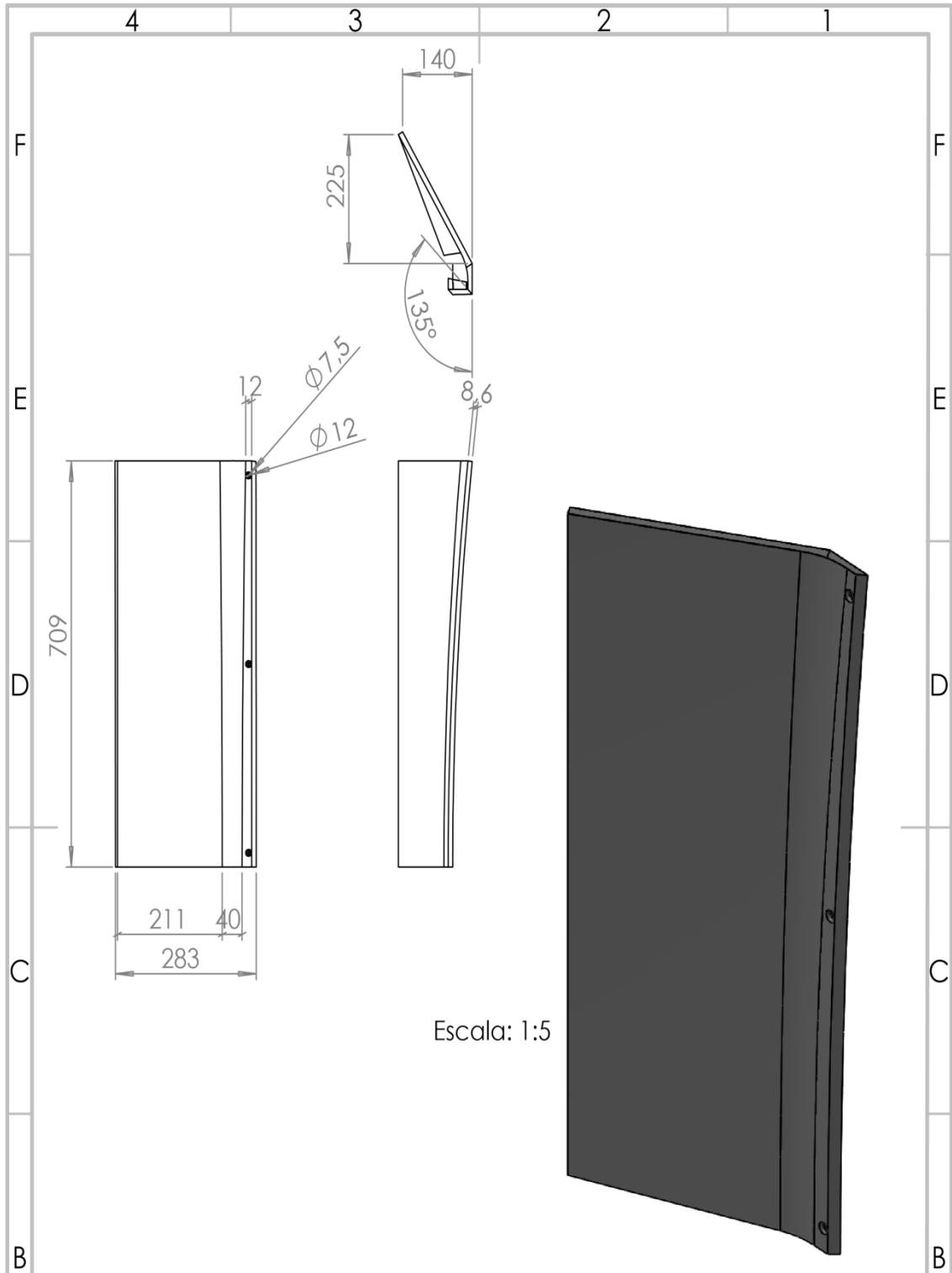
<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilados no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2</p>	<p>NOMBRE</p>	<p>FECHA</p>	<p>PROYECTO:</p> <p>Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica</p>																										
	<p>DIBUJADO</p> <p>María Latorre, Miquel</p>	<p>24/06/24</p>																											
<p>Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m</p>	<p>REVISADO</p> <p>Pérez Sánchez, Modesto</p>	<p>28/06/24</p>	<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Cubierta Faro</p>																										
<p>Desviaciones respecto al valor nominal:</p> <table border="1"> <tr> <td>MÁS DE:</td> <td>0.5</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>HASTA:</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA:</td> <td>±0.1</td> <td>±0.1</td> <td>±0.2</td> <td>±0.3</td> <td>±0.5</td> <td>±0.8</td> <td>±1.2</td> <td>±2.0</td> </tr> </table>	MÁS DE:	0.5		3	6	30	120	400	1000	2000	HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000	TOLERANCIA:	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0	<p>COMPROB.</p>
MÁS DE:	0.5	3	6	30	120	400	1000	2000																					
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000																					
TOLERANCIA:	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0																					
<p>REFERENCIA COMERCIAL:</p> <p>-</p>	<p>MATERIAL:</p> <p>Polycarbonato (PC)</p>	<p>N.º DE DIBUJO</p> <p>4</p>	<p>A4<sup>90</sup></p>																										
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p>GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	<p>PESO: 0,76 Kg</p>	<p>CANTIDAD: 2</p>																										
		<p>ESCALA: 1:5</p>																											



Escala : 1:5

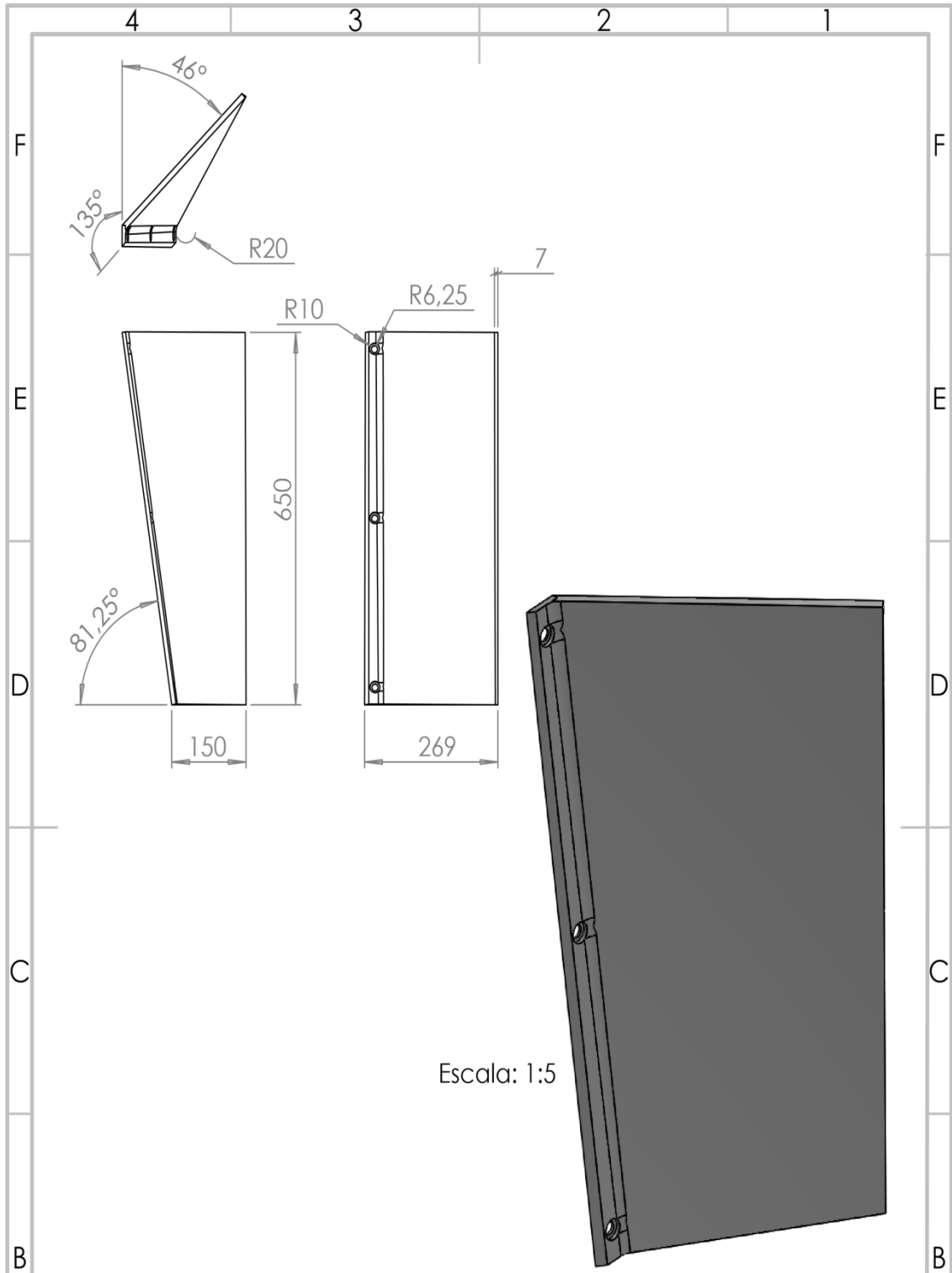
<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2</p>	NOMBRE	FECHA	PROYECTO:
		DIBUJADO	María Latorre, Miquel	25/06/24
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		REVISADO	Pérez Sánchez, Modesto	28/06/24
Desviaciones respecto al valor nominal:		COMPROB.		
MÁS DE:	0,5 3 6 30 120 400 1000 2000	TRATAMIENTO TÉRMICO:	DESCRIPCIÓN:	
HASTA:	3 6 30 120 400 1000 2000 4000	TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	Deflector Lateral Inferior	
TOLERANCIA:	±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0	REFERENCIA COMERCIAL:	-	
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	MATERIAL:	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	N.º DE DIBUJO	5
	GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA			A4
		PESO: 3,25 Kg	CANTIDAD: 2	HOJA 1 DE 1
				ESCALA: 1:10



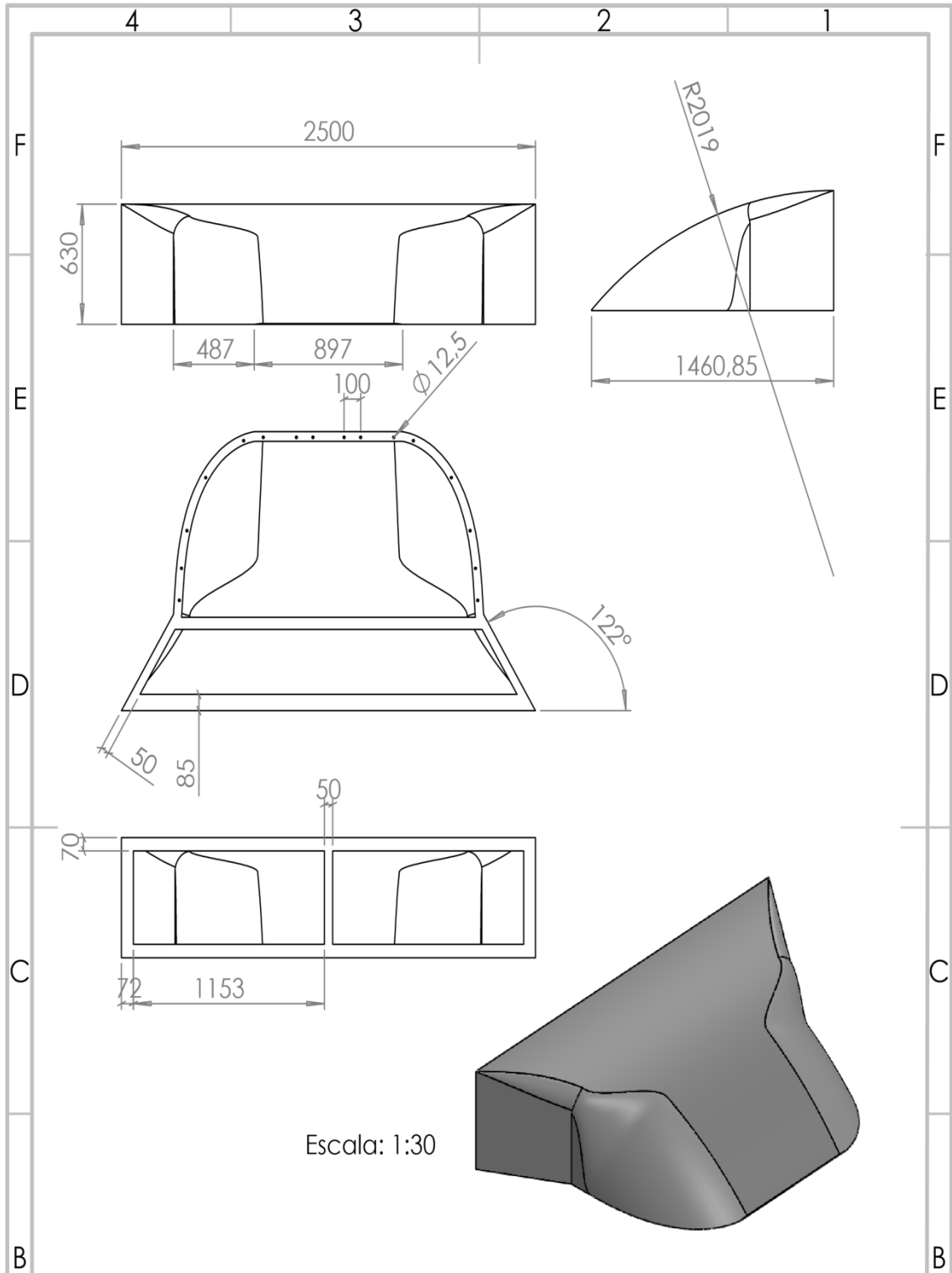


Escala: 1:5

<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2</p>	NOMBRE	FECHA	PROYECTO:																											
	<p>Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m</p>	<p>DIBUJADO: María Latorre, Miquel 24/06/24</p> <p>REVISADO: Pérez Sánchez, Modesto 28/06/24</p>	<p>Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica</p>																												
<p>Desviaciones respecto al valor nominal:</p> <table border="1"> <tr> <td>MÁS DE:</td> <td>0,5</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>HASTA:</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA:</td> <td>±0,1</td> <td>±0,1</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> <td>±1,2</td> <td>±2,0</td> </tr> </table>		MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000	HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000	TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	<p>COMPROB.</p>	<p>TRATAMIENTO TÉRMICO:</p> <p>-</p>	<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Deflector Lateral Intermedio</p>
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000																							
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000																							
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0																							
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p>TRATAMIENTO SUPERFICIAL:</p> <p>-</p>	<p>REFERENCIA COMERCIAL:</p> <p>-</p>	<p>N.º DE DIBUJO</p> <p>6</p>	<p>A4</p>																											
	<p>MATERIAL:</p> <p>Poliéster reforzado con fibra de vidrio</p>	<p>GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	<p>PESO: 3,28 Kg</p>	<p>CANTIDAD: 2</p>																											
	<p>ESCALA: 1:10</p>	<p>HOJA 1 DE 1</p> <p>92</p>																													

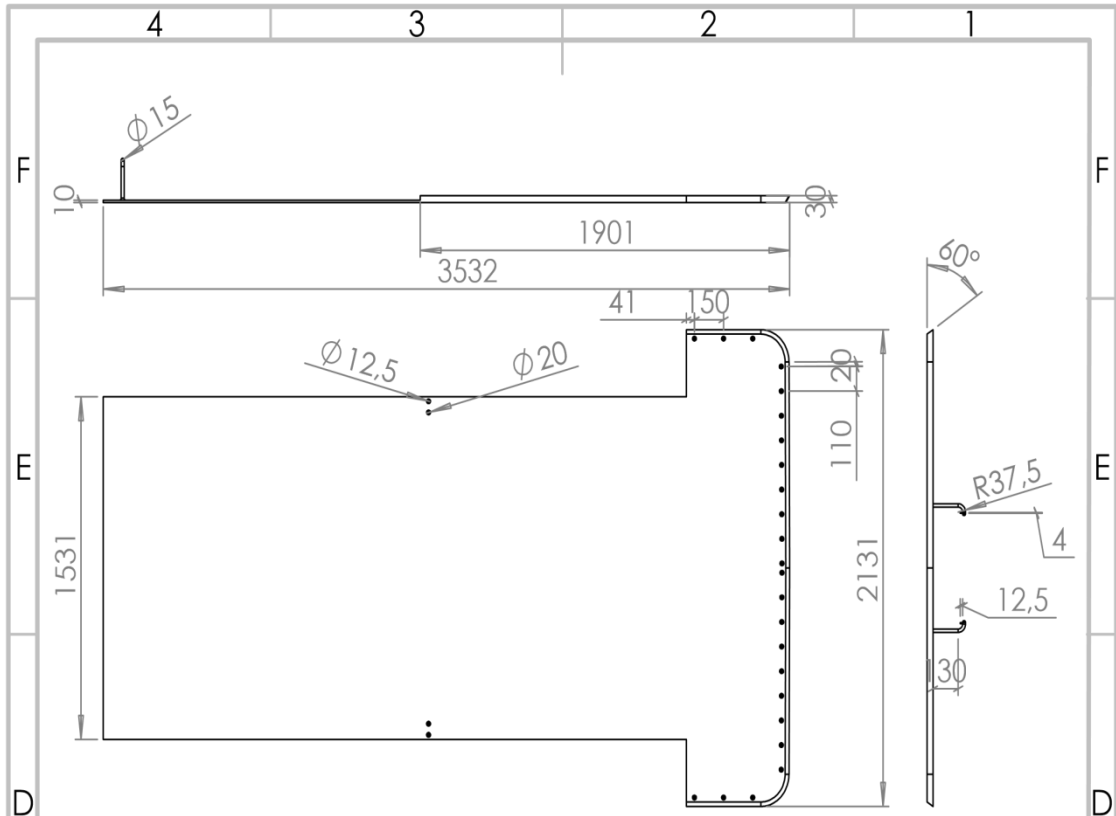


<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2</p>	<p>NOMBRE</p>	<p>FECHA</p>	<p>PROYECTO:</p>	
	<p>Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m</p>	<p>DIBUJADO: María Latorre, Miquel</p> <p>REVISADO: Pérez Sánchez, Modesto</p>	<p>24/06/24</p> <p>28/06/24</p>	<p>Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica</p>	
<p>MÁS DE:</p>	<p>Desviaciones respecto al valor nominal:</p>	<p>TRATAMIENTO TÉRMICO:</p>		<p>DESCRIPCIÓN:</p>	
<p>HASTA:</p>	<p>TOLERANCIA: ±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0</p>	<p>TRATAMIENTO SUPERFICIAL:</p>			
<p>A</p>		<p>REFERENCIA COMERCIAL:</p>		<p>N.º DE DIBUJO</p>	
		<p>MATERIAL: Poliéster reforzado con fibra de vidrio</p>			<p>7</p>
		<p>GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>			
<p>PESO: 3,28 Kg</p>		<p>CANTIDAD: 2</p>		<p>ESCALA: 1:10</p>	

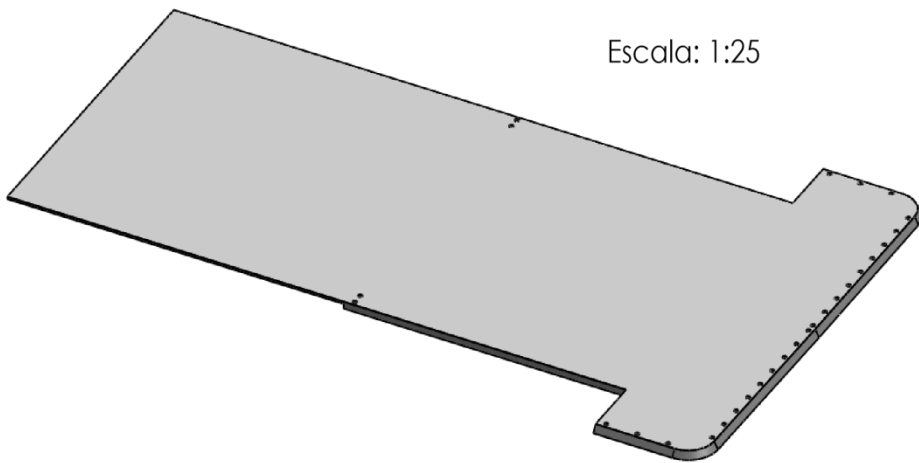


Escala: 1:30

<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2</p>	<p>NOMBRE</p>	<p>FECHA</p>	<p>PROYECTO:</p>	
	<p>DIBUJADO: María Latorre, Miquel</p> <p>REVISADO: Pérez Sánchez, Modesto</p>	<p>24/06/24</p> <p>28/06/24</p>	<p>Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica</p>		
<p>Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m</p>		<p>COMPROB.</p>	<p>DESCRIPCIÓN:</p>		
<p>Desviaciones respecto al valor nominal:</p>		<p>TRATAMIENTO TÉRMICO:</p>		<p>Deflector superior cabeza tractora</p>	
<p>MÁS DE:</p>		<p>-</p>			
<p>HASTA:</p>		<p>TRATAMIENTO SUPERFICIAL:</p>			
<p>TOLERANCIA: ±0,1 ±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±2,0</p>		<p>-</p>			
<p>CAMPUS D'ALCOI</p>	<p>REFERENCIA COMERCIAL:</p>	<p>N.º DE DIBUJO</p>		<p>A4</p>	
	<p>MATERIAL: Poliéster reforzado con fibra de vidrio</p>	<p>8</p>			
	<p>GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	<p>PESO: 79,43 Kg</p>			
	<p>CANTIDAD: 1</p>	<p>ESCALA: 1:30</p>			



Escala: 1:25



	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chalfanes no acotados 0.5x45* - Radios no acotados R 0.2	NOMBRE	FECHA	PROYECTO:
		DIBUJADO	21/06/24	Diseño frontal para la mejora de la eficiencia aerodinámica
		REVISADO	28/06/24	
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		COMPROB.		
Desviaciones respecto al valor nominal: MÁS DE: 0.5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: ±0.1 ±0.1 ±0.2 ±0.3 ±0.5 ±0.8 ±1.2 ±2.0		TRATAMIENTO TÉRMICO:	DESCRIPCIÓN:	
		TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	<h1>Fondo Plano</h1>	
		REFERENCIA COMERCIAL:		
		MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
		Poliéster reforzado con fibra de vidrio	9	HOJA 1 DE 1
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		PESO: 186.7 Kg	CANTIDAD: 1	ESCALA: 1:25

## 14 Conclusiones.

Para poder concluir la memoria de este proyecto, en este apartado, se va a resumir y dar conclusión a todo lo que se ha realizado y logrado con el planteamiento y realización de este.

Posteriormente a la realización del proyecto, se ha llegado a una conclusión en la que para un vehículo con la misma área frontal que el vehículo original, se ha conseguido un coeficiente de penetración o arrastre aerodinámico menor, por lo tanto, la eficiencia aerodinámica de este vehículo es mejor, logrando de esta manera un consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> menores, entre otros gases contaminantes procedentes de la combustión del diésel.

También tener en cuenta que la realización de estos deflectores en este proyecto no solo suponía una ventaja para el vehículo original, ya que estos deflectores suponen un incremento de piezas al vehículo; y, por lo tanto, un incremento de peso al vehículo, lo que supondrá una disminución de transporte de carga al vehículo. Para disminuir este problema al máximo, se han planteado diferentes materiales con propiedades buenas para el diseño de estos deflectores y se ha tomado la opción con mejores prestaciones mecánicas, pero a su vez el menor peso posible.

Aunque está pérdida de carga de transporte sea pequeña por el poco peso de los deflectores, el cliente deberá valor si la reducción de emisiones y consumo de combustible es lo suficiente grande para dejar de transportar la carga de mercancías.

De la misma forma que en la elección del material, también se ha llegado a la conclusión de que el proceso de fabricación de las piezas también se tenía que decantar por el proceso que genere piezas más compactas con menor material, es decir, piezas más ligeras. A su vez, el proceso elegido (VARTM), también tiene un coste inferior a todos los planteados en la realización del proyecto.

La realización de estos estudios ha supuesto la utilización de un Software de simulación CFD, que a supuesto un tiempo computacional para las simulaciones muy elevado; esto ha tenido que ser así ya que realizar estos estudios en túnel de viento supondrían un coste de capital muy grande. Por lo tanto, se ha optado por realizar estos estudios a través del software SolidWorks, aunque estas simulaciones no sean 100% fiables y hayan dado muchos problemas en la realización del proyecto, los resultados son suficientemente buenos como para tomar estos como válidos.

Para finalizar, resaltar que este proyecto es fundamental a día de hoy, ya que en este se busca reducir el consumo de combustible y sobre todo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, factor muy importante; ya que la última normativa europea, Euro 6d, establece unas restricciones muy grandes en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, es de vital importancia realizar estos estudios tanto en los vehículos de nueva producción como en los que ya están en circulación, como ha sido el caso de este proyecto.

## 15 Referencias bibliográficas.

En este apartado se van a citar todas las referencias utilizadas en el proyecto, utilizando el estilo IEEE, ya que es el que se debe utilizar para los proyectos del sector mecánico, y a su vez se van a enumerar por orden de aparición en la memoria:

- [1] “Reglamentación sobre vehículos pesados, ...” dirección general de tráfico. Accedido el 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://sede-org.dgt.gob.es/export/sites/dgt/.galleries/permisos-de-conducir/certificacion-aptitud-profesores-formacion-vial/2018/Manual-III-Reglamento-de-Vehiculos-2018.pdf>
- [2] (Fernando Tablado. (2014). La aerodinámica en los coches: Historia y evolución. Acceso: 14/03/2016, de Cros Digital SL. Sitio web: <http://www.motorafondo.net/la-aerodinamica-en-los-coches-historia-yevolucion/>)
- [3] “Airfoils, Bernoulli and Newton”. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Fluids/airfoil.html>
- [4] Latin-American Journal of Physics Education -- Home Page. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: [http://www.lajpe.org/dec2012/12\\_LAJPE\\_713\\_Hernando\\_Gonzalez\\_preprint\\_corr\\_f.pdf](http://www.lajpe.org/dec2012/12_LAJPE_713_Hernando_Gonzalez_preprint_corr_f.pdf)
- [5] “Estudio del flujo sobre un perfil alar” Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingeniería y diseño industrial. Accedido el 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: [https://oa.upm.es/70033/1/TFG\\_JUAN\\_ANDRES\\_LOPEZ\\_RODRIGUEZ.pdf](https://oa.upm.es/70033/1/TFG_JUAN_ANDRES_LOPEZ_RODRIGUEZ.pdf)
- [6] “Estudio de aerodinámica de los vehículos”. Universidad Autónoma del caribe Colombia. Accedido el 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108011.pdf>
- [7] Dto. de Física | Facultad de Cs. Exactas | UNLP. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisicageneralcn/Resistenciarodadura.pdf>

- [8] E. Engineeringtoolbox. “Rolling Resistance”. The Engineering ToolBox. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
[https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d\\_1303.html](https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html)
- [9] González Llorca, Jorge. “Estudio del comportamiento aerodinámico de elementos deflectores en semirremolques”. RiuNet repositorio UPV. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
<https://riunet.upv.es/handle/10251/74264>
- [10] “Aluminio 6061 T6”. IIRSACERO S.A. DE C.V. | Proveedor de Aceros – Distribuidor de Acero, Plástico de Ingeniería, Hierro, Acero Inoxidable, Barra Hueca 1518. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
<https://iirsacero.com.mx/aluminio-6061-t6/>
- [11] “Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) | CMEmaterials”. UB - Universitat de Barcelona. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs>
- [12] “Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz”. Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
<https://www.redalyc.org/journal/5722/572261628001/html/>
- [13] “INE - Instituto Nacional de Estadística”. INE. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=8378>
- [14] “Moldeo por compresión”. Tecnología de los Plásticos. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible:  
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-compresion.html>
- [15] “ES2929662T3 - Método de moldeo por transferencia de resina asistido por vacío - Google Patents”. Google Patents. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/ES2929662T3/es>

- [16] “ES2286091T3 - Procedimiento para la fabricación de policarbonato de alta pureza. - Google Patents”. Google Patents. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/ES2286091T3/es>
- [17] “Fijador de tornillos alta resistencia 75ml – Agrolim”. Agrolim. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://agrolim.es/adhesivos-quimicos/fijador-de-tornillos-alta-resistencia-75ml/>
- [18] “Tornillo-din-933-8-8-cincado-m14-x-100”. todoanclajes.com. [En línea]. Disponible: <https://todoanclajes.com/producto/tornillo-din-933-8-8-cincado-m14-x-100/>
- [19] “Tornillos de rosca métrica DIN-933 M12 X 20 · Torvigo”. Torvigo suministros industriales · Torvigo. Accedido el 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://shop.torvigo.es/articulo/343209-tornillos-de-rosca-metrica-din-933-m12-x-20/>
- [20] “VEVOR VEVOR Bomba de Vacío Kit de Cámara de Vacío de 5 Galones y Bomba de 100 L/min Kit de Cámara de Desgasificación al Vacío | VEVOR ES”. Vevor. Accedido el 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: [https://www.vevor.es/bomba-de-vacio-c\\_11109/vevor-kit-de-camara-de-vacio-de-5-galones-y-bomba-de-100-l-min-kit-de-camara-de-desgasificacion-al-vacio-con-tapa-de-vidrio-templado-150-w-1-5-hp-bomba-de-vacio-de-1-etapa-con-botella-de-aceite-250-ml-p\\_010939620042?adp=gmc&country=ES&utm\\_source=google&utm](https://www.vevor.es/bomba-de-vacio-c_11109/vevor-kit-de-camara-de-vacio-de-5-galones-y-bomba-de-100-l-min-kit-de-camara-de-desgasificacion-al-vacio-con-tapa-de-vidrio-templado-150-w-1-5-hp-bomba-de-vacio-de-1-etapa-con-botella-de-aceite-250-ml-p_010939620042?adp=gmc&country=ES&utm_source=google&utm)
- [21] “Bolsas de Vacío para Cocción 121 Grados de 90 micras, 200x300mm (20x30cm). Bolsas de 200x300mm para cocinar al vacío.” Venta bolsas de vacío a domicilio: bolsas gofradas, domésticas, 90 micras, Bolsas cocción 121º. Accedido el 4 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.bolsasdevacioonline.com/es/bolsas-de-vacio-para-coccion/282-bolsa-coccion-200x300-8436591362142.html>