



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO  
AERODINÁMICO DE ELEMENTOS  
DEFLECTORES EN SEMIRREMOLQUES**

**Trabajo Final de Grado  
Grado en Ingeniería Mecánica**

**Autor:  
D. JORDI GONZÁLEZ LLORCA**

**Tutor:  
D. TOMÁS VICENTE ESQUERDO LLORET**

**Curso académico: 2015-2016**





## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.

### Castellano

#### Resumen general

En un mundo altamente globalizado, donde el comercio entre países es un pilar fundamental para la economía y la sociedad, los medios para realizar el transporte y distribución de mercancías son de gran importancia para la vida tal y como la conocemos.

Concretamente, en el transporte por tierra, los camiones son los encargados de realizar esta tarea, vehículos de gran masa y tamaño, con motores que requieren de un alto consumo en combustible para moverlos, lo que repercute en las emisiones contaminantes así como en el beneficio económico del conductor o empresa. En este ámbito, la aerodinámica se ha comenzado a aplicar desde hace relativamente poco tiempo.

Por ello, este proyecto se centrará en el diseño y análisis de deflectores, los cuales irán incorporados a un tráiler destinado al transporte de mercancías, con el objetivo de reducir la resistencia que el viento ejerce sobre el vehículo, mejorando el paso del mismo a través del fluido, reduciendo el consumo de combustible. Para su fabricación, se buscará escoger materiales ligeros, que añadan el mínimo peso adicional al vehículo.

#### Palabras clave:

Aerodinámica, deflectores, resistencia aerodinámica, coeficiente de penetración, consumo combustible, semirremolque, SolidWorks.



## **Valencià**

### **Resum general**

En un món altament globalitzat, on el comerç entre països es un pilar fonamental per a l'economia i la societat, els medis per a realitzar el transport i la distribució de mercaderies són de gran importància per a la vida tal i com la coneixem.

Concretament, en el transport per terra, els camions són els encarregats de realitzar aquesta tasca, vehicles de gran massa i grandària, amb motors que requereixen d'un alt consum en combustible per moure'ls el que repercuteix en les emissions contaminants, així com en el benefici econòmic del conductor o empresa. En aquest àmbit, l'aerodinàmica ha començat a aplicar-se desde fa relativament poc temps.

Per això, aquest projecte es centrarà en el disseny i anàlisi de deflectors, els quals aniran incorporats a un tràiler destinat al transport de mercaderies, concretament el Mercedes Actros, amb l'objectiu de reduir la resistència que el vent exerceix sobre el vehicle, millorant el pas del mateix a través del fluid, reduint el consum de combustible. Per a la seua fabricació, es buscarà escollir materials lleugers, que afegeixen el mínim pes addicional al vehicle.

### **Paraules clau**

Aerodinàmica, deflectors, resistència aerodinàmica, coeficient de penetració, consum combustible, semiremolc, SolidWorks



## English

### **Abstract**

In a highly globalized world where trade between the countries is a fundamental pillar for both the economy and society, the means to carry out the transportation and distribution of goods are of great importance for the life as we know.

Specifically, in ground transport, trucks are responsible for this task, vehicle mass and size with engines that require a high fuel consumption to move them, which has impact on pollutant emissions as well as the economics of the driver or company benefit. In this area, aerodynamics has started to implement from relatively recently.

Therefore, this project will focus on the design and analysis of deflectors, which are added to a trailer intended for the carriage of goods, namely the Mercedes Actros, with the aim of reducing the resistance of the wind exerts on the vehicle, improving the same pass through the fluid, reducing fuel consumption. For its manufacture, it will search to choose lightweight materials that add the minimum additional weight to the vehicle.

### **Keywords**

Aerodynamics, deflectors, drag force, penetration coefficient, fuel consumption, semitrailer, SolidWorks



## Índice

1. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	11
2. NECESIDADES A RESOLVER.....	12
3. HISTORIA DE LA AERODINÁMICA.....	13
3.1. La aerodinámica en la era del espacio.....	15
3.2 La aerodinámica a servicio de la eficiencia.....	16
3.3. La aerodinámica invisible.....	17
4. INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA: CONCEPTOS BÁSICOS.....	20
4.1 Teorema de Bernoulli.....	20
4.2. Efecto Venturi.....	21
4.3. 3ª Ley de Newton.....	22
4.4. Perfil alar.....	22
4.5. Capa límite.....	23
5. FORMULACIÓN MATEMÁTICA.....	26
6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	33
6.1. Deflectores.....	33
6.2. Modelos.....	36
6.3. Software.....	39
7. RESULTADOS.....	44
7.1. Combinación deflectores.....	44
7.2. Análisis aerodinámico de los modelos.....	47
8.3 Contornos coloreados.....	58
7.4 Corte de sección.....	62
7.5 Trayectorias del fluido.....	66
7.6. Modelo 4.....	74
9. NORMATIVA.....	76
10. MATERIALES.....	79
10. PROCESO DE FABRICACIÓN.....	83
11. COSTE MATERIAL.....	91
12. ELECCIÓN DEL MATERIAL Y PROCESO DE FABRICACIÓN.....	93
13. CÁLCULO RESISTENTE.....	94
13.1. Diseño de sujeciones.....	94
13.2. Posibles materiales: Elección.....	98



13.3. Análisis resistente. ....	98
14. PLANOS.....	105
15. PRESUPUESTO.....	119
16. CONCLUSIONES.....	123
17. BIBLIOGRAFÍA.....	125



## Índice de tablas

<i>Tabla 1.</i> Resistencia aerodinámica para diferentes combinaciones. ....	45
<i>Tabla 2.</i> Resistencia Aerodinámica con respecto a la velocidad.....	47
<i>Tabla 3.</i> Coeficiente de penetración .....	48
<i>Tabla 4.</i> Coeficiente de resistencia a la rodadura $\mu_r$ . Fuente: TheEngineeringToolbox	50
<i>Tabla 5.</i> Conversión Rtr de potencia (W) a resistencia (N). ....	51
<i>Tabla 6.</i> Resistencia total al avance (Ft). ....	51
<i>Tabla 7.</i> Potencia necesaria para vencer las resistencias al avance.....	52
<i>Tabla 8.</i> Conversión de unidades de potencia, vatios a caballos de vapor.....	52
<i>Tabla 9.</i> Consumo horario de combustible.....	53
<i>Tabla 10.</i> Consumo por metro recorrido. ....	54
<i>Tabla 11.</i> Consumo en kilogramos a los cien kilómetros.....	54
<i>Tabla 12.</i> Consumo en litros a los cien kilómetros. ....	55
<i>Tabla 13.</i> Variación en porcentaje del consumo de combustible entre configuraciones	55
<i>Tabla 14.</i> Resistencia y consumo del modelo 4. ....	75
<i>Tabla 15.</i> Volumen, masa y coste del material. ....	91
<i>Tabla 16.</i> Esfuerzos soportados por los deflectores a 90 Km/h. ....	99
<i>Tabla 17.</i> Esfuerzos soportados por los deflectores a 120 Km/h. ....	99
<i>Tabla 18.</i> Tensiones y deformaciones en los principales deflectores.....	104
<i>Tabla 19.</i> TARA, MMA del vehículo y masa de los deflectores. ....	119
<i>Tabla 20.</i> Masa deflectores y coste del material. ....	120
<i>Tabla 21.</i> Obtención costes material y fabricación. ....	119





## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Ford T .....	13
<i>Figura 2.</i> RumplerTropfenwagen.....	14
<i>Figura 3.</i> Alfa 40/60 HP.....	14
<i>Figura 4.</i> Dymaxion .....	14
<i>Figura 5.</i> Chrysler Airflow.....	14
<i>Figura 6.</i> Inserción de elementos aeronáuticos en automoció .....	16
<i>Figura 7.</i> Citroen DS.....	16
<i>Figura 8.</i> Citroen AX. ....	17
<i>Figura 9.</i> Opel Calibra .....	17
<i>Figura 10.</i> Mercedes CLA en túnel de viento.....	18
<i>Figura 11.</i> Toyota Prius. ....	19
<i>Figura 12.</i> Honda Insight. ....	19
<i>Figura 13.</i> Esquema del Efecto Venturi.....	22
<i>Figura 14.</i> Componentes de la fuerza aerodinámica. Perfil alar normal (aviación), perfil alar invertido (automoción) .....	23
<i>Figura 15.</i> Influencia del ángulo de ataque en la sustentación. ....	23
<i>Figura 16.</i> Capa de límite, grosor y velocidad.....	24
<i>Figura 17.</i> Capa límite y ángulo de ataque: desprendimiento y pérdida.....	24
<i>Figura 18.</i> Deflector remolque trasero lateral Fuente.....	34
<i>Figura 19.</i> Deflector Lateral Cabeza Tractora Fuente .....	34
<i>Figura 20.</i> Deflector Remolque Trasero Superior .....	34
<i>Figura 21.</i> Deflector Remolque Inferior Delantero.....	34
<i>Figura 22.</i> Deflector Remolque Inferior Intermedio.....	34
<i>Figura 23.</i> Deflector Remolque Inferior Trasero.....	35
<i>Figura 24.</i> Deflector Superior Cabeza Tractora.....	35
<i>Figura 25.</i> Deflector Vertical Cabina-Remolque.....	35
<i>Figura 26.</i> Modelo sin deflectores (Modelo1) .....	36
<i>Figura 27.</i> Modelo sin deflectores; isométrica (Modelo1).....	36
<i>Figura 28.</i> Modelo con deflectores básicos (Modelo 2). ....	37
<i>Figura 29.</i> Modelo con deflectores básicos, isométrica (Modelo 2).....	37
<i>Figura 30.</i> Modelo con deflectores completo (Modelo 3). ....	38
<i>Figura 31.</i> Modelo con deflectores completo, isométrica (Modelo 3).....	38
<i>Figura 32.</i> Modelo con deflectores completo, vista inferior (Modelo 3).....	39
<i>Figura 33.</i> Elección de unidades para el análisis. ....	40
<i>Figura 34.</i> Tipo de análisis, tiempo y fuerzas gravitatoria.....	40
<i>Figura 35.</i> Elección del fluido, humedad y tipo del fluido .....	41
<i>Figura 36.</i> Se fija presión, temperatura, velocidad y humedad.....	41
<i>Figura 37.</i> Resolución de los cálculos. ....	42
<i>Figura 38.</i> Dominio de análisis.....	42
<i>Figura 39.</i> Objetivos a analizar.....	42
<i>Figura 40.</i> Consumo específico frente a revoluciones del motor.....	53



<i>Figura 41.</i> Modelo 1, vista frontal .....	58
<i>Figura 42.</i> Modelo 2, vista frontal .....	58
<i>Figura 43.</i> Modelo 3, vista frontal. ....	59
<i>Figura 44.</i> Modelo 1, vista isométrica. ....	59
<i>Figura 45.</i> Modelo 2, vista inferior. ....	60
<i>Figura 46.</i> Modelo 3, vista inferior. ....	60
<i>Figura 47.</i> Modelo 3, vista lateral .....	61
<i>Figura 48.</i> Modelo 1, presión, vista lateral. ....	62
<i>Figura 49.</i> Modelo 2, presión, vista lateral. ....	62
<i>Figura 50.</i> Modelo 3, presión, vista lateral. ....	62
<i>Figura 51.</i> Modelo 1, velocidad, vista lateral.....	63
<i>Figura 52.</i> Modelo 2, velocidad. ....	63
<i>Figura 53.</i> Modelo 3, velocidad. ....	63
<i>Figura 54.</i> Modelo 1, velocidad, detalle A.....	64
<i>Figura 55.</i> Modelo 3, velocidad, detalle A.....	64
<i>Figura 56.</i> Modelo 1, velocidad, detalle B. ....	64
<i>Figura 57.</i> Modelo 3, velocidad, detalle A.....	65
<i>Figura 58.</i> Modelo 1, vista frontal. ....	66
<i>Figura 59.</i> Modelo 2, vista frontal. ....	66
<i>Figura 60.</i> Modelo 3, vista fronta .....	67
<i>Figura 61.</i> Modelo 1, vista superior delantera .....	68
<i>Figura 62.</i> Modelo 2, vista superior delantera .....	68
<i>Figura 63.</i> Modelo 1, isométrica. ....	69
<i>Figura 64.</i> Modelo 3, vista isométrica .....	69
<i>Figura 65.</i> Modelo 2, detalle deflectores .....	70
<i>Figura 66.</i> Modelo 2, detalle posterior.....	71
<i>Figura 67.</i> Modelo 1, vista superior trasera. ....	71
<i>Figura 68.</i> Modelo 2, vista superior posterior.....	72
<i>Figura 69.</i> Modelo 3, vista inferior .....	72
<i>Figura 70.</i> Modelo 3, vista posterior.....	73
<i>Figura 71.</i> Modelo 3, deflector superior. ....	73
<i>Figura 72.</i> Modelo 3, Deflector Lateral .....	74
<i>Figura 73.</i> Modelo con Deflectores Completos Recortados (Modelo 4) .....	75
<i>Figura 74.</i> Modelo con Deflectores Completos (Modelo 3).....	75
<i>Figura 75.</i> Ejemplo de tuberías realizadas con GFRP. ....	80
<i>Figura 76.</i> Ejemplo de Aluminio serie 5083.....	81
<i>Figura 77.</i> Propiedades mecánicas del Aluminio 5083.....	81
<i>Figura 78.</i> Propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante SMC.....	82
<i>Figura 79.</i> Propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante DMC.....	82
<i>Figura 80.</i> Aproximación propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante laminado manual y VARTM. ....	82
<i>Figura 81.</i> Esquema del proceso SheetMoldingCompound (SMC). ....	83
<i>Figura 82.</i> Esquema del proceso DoughMoldingCompound (DMC).....	84



<i>Figura 83.</i> Esquema del proceso de laminado manual.....	84
<i>Figura 84.</i> Esquema del proceso VARTM.....	85
<i>Figura 85.</i> Esquema de diversos procesos de estampación.....	86
<i>Figura 86.</i> Deflector Trasero Lateral .....	87
<i>Figura 87.</i> Deflector Vertical Cabina-Remolque .....	87
<i>Figura 88.</i> Deflector Trasero Superior .....	87
<i>Figura 89.</i> Deflector Inferior Trasero.....	87
<i>Figura 90.</i> Deflector Inferior Delantero .....	88
<i>Figura 91.</i> Deflector Inferior Intermedio. ....	88
<i>Figura 92.</i> Deflector Superior Cabeza Tractora .....	88
<i>Figura 93.</i> Deflector Lateral Cabeza Tractora .....	89
<i>Figura 95.</i> Diseño bisagra, vista posterior .....	96
<i>Figura 94.</i> Diseño bisagra, vista frontal.....	96
<i>Figura 97.</i> Diseño cilindro hidráulico extendido. ....	96
<i>Figura 96.</i> Diseño cilindro hidráulico .....	96
<i>Figura 98.</i> Sujeciones instaladas por Mercedes Benz en deflector lateral.....	97
<i>Figura 99.</i> Cilindro hidráulico .....	97
<i>Figura 100.</i> Características cilindro hidráulico.....	98
<i>Figura 100.</i> Resultados análisis resistente, dirección X a 120 Km/h.....	99
<i>Figura 102.</i> Deflector Lateral analizado .....	100
<i>Figura 101.</i> Diseño Deflector Lateral con bisagras. ....	100
<i>Figura 103.</i> Tensiones obtenidas en el deflector.....	101
<i>Figura 104.</i> Tensiones en las bisagras. ....	101
<i>Figura 106 .</i> Deformación en las bisagras.....	101
<i>Figura 105.</i> Deformación en el deflector. ....	101
<i>Figura 107.</i> Tensiones deflector superior cabeza tractora. . ....	102
<i>Figura 108.</i> Deformación deflector superior cabeza tractora.....	102
<i>Figura 109.</i> Tensión deflector superior trasero. ....	103
<i>Figura 110.</i> Deformación deflector superior trasero.....	103
<i>Figura 111.</i> Bomba de vacío para VARTM.....	120
<i>Figura 112.</i> Máquina SMC. ....	120
<i>Figura 113.</i> Comparación costes métodos de fabricación con respecto a la producción. .....	122



## Listado de abreviaturas

Símbolo	Unidades	Descripción
<b>P</b>	MPa	Presión
<b><math>\rho</math></b>	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del aire
<b>v</b>	m/s	Velocidad
<b>g</b>	m/s <sup>2</sup>	Aceleración gravitatoria
<b>h</b>	m	Altura
<b>D</b>	N	Resistencia Aerodinámica
<b>S</b>	m <sup>2</sup>	Área frontal del vehículo
<b>C<sub>x</sub></b>	-	Coefficiente de penetración
<b>R<sub>r</sub></b>	N	Resistencia a la rodadura
<b>M</b>	Masa	Kg
<b>f</b>	-	Coefficiente de rodadura
<b><math>\mu_r</math></b>	-	Coefficiente de fricción rueda-pavimento
<b>r<sub>r</sub></b>	m	Radio de la rueda
<b>F<sub>t</sub></b>	N	Resistencia al avance
<b>R<sub>a</sub></b>	N	Resistencia aerodinámica
<b>R<sub>tr</sub></b>	N	Resistencia debida a perdidas mecánicas
<b>P<sub>N</sub></b>	W	Potencia necesaria debido a las resistencias
<b>b<sub>e</sub></b>	Kg/KWh	Consumo específico
<b>B</b>	Kg/h	Consumo horario
<b>t</b>	s	tiempo
<b>d</b>	m	Distancia
<b>B<sub>d</sub></b>	l/100Km	Consumo
<b><math>\eta_{tr}</math></b>	-	Rendimiento
<b><math>\rho_b</math></b>	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del combustible
<b>G<sub>ef</sub></b>	g/Kwh	Consumo específico



## 1. OBJETIVO DEL PROYECTO.

El objetivo de este proyecto consiste en diseñar y analizar un conjunto de deflectores, para su uso en trailers de transporte de mercancías, concretamente en el Mercedes Actros, con el objetivo de reducir la resistencia producida por el contacto del aire con el vehículo, reduciendo su coeficiente aerodinámico, y así reducir la potencia necesaria para vencer dicha resistencia, con lo que podría reducirse la cilindrada del motor, con la consiguiente reducción de peso. Todo esto, provocaría una disminución del gasto de combustible del vehículo, el cual se acentuaría en distancias grandes, así como un ahorro económico. Por tanto, tanto los fabricantes como los conductores verían incrementada la eficiencia de sus vehículos, teniendo una menor resistencia aerodinámica, un menor consumo de combustible y por tanto un mayor ahorro económico así como una menor contaminación ambiental.

Por otro lado, se propondrán varios materiales posibles, así como procesos de fabricación, los cuales se expondrán sus principales características, posteriormente se escogerá el más adecuado para la aplicación buscada, así como las dimensiones de las piezas a diseñar.

Además, se diseñaran las pertinentes sujeciones para anclar los deflectores al vehículo, así como que permitan plegar y desplegarlos para la correcta abertura y cierre de las puertas traseras, permitiendo la carga y descarga de mercancías sin que los deflectores obstaculicen dicha operación. Se escogerá el material, dimensiones y se analizaran para observar y dimensionar las sujeciones con la intención de soportar los esfuerzos que se producen en los deflectores debidos principalmente a la acción del viento y el peso de los mismos.

Posteriormente se extraerá un presupuesto aproximado, contando el coste del material, a partir de los kilogramos necesarios previamente obtenidos, coste de fabricación y tiempo de fabricación.

Finalmente, una vez obtenidos los apartados anteriores, se analizaran los resultados así como las posibles alternativas y se escogerá el modelo más adecuado, el material, procesos de fabricación y sujeciones, además del coste aproximado del conjunto.



## 2. NECESIDADES A RESOLVER.

En la actualidad, los camiones cumplen con una función importante para el comercio, tanto nacional como internacional, ya que son utilizados, junto con barcos y aviones, para el transporte de mercancías, haciendo posible la distribución de todo tipo de bienes. Requieren de un menor coste que los otros tipos de transporte, aunque de mayor tiempo, lo que los convierte en la primera opción en transporte de mercancías en distancias medias o en lugares en los que el mar o aeropuertos no se encuentren próximos. Además, complementan las otras dos opciones, ya que en muchos casos, después de llegar el avión al aeropuerto o el barco al puerto, se utilizan camiones para la distribución de las mercancías, debido a que un barco pueden cargar cientos de toneladas las cuales no van dirigidas al mismo punto.

En los inicios de la aerodinámica en automoción, los avances iban principalmente enfocados a la competición, que posteriormente se adaptó a los turismos y camiones, aunque en estos últimos no tuvo tanta relevancia hasta unos 20 años atrás, cuando empezaron a incorporarse pequeñas modificaciones en la carrocería, como el deflector colocado encima de la cabeza tractora, para desviar el flujo de aire y así minimizar el efecto que el aire provocaba en las grandes masas de los camiones, que necesitaban de motores de alta cilindrada para compensar la potencia requerida en vencer la resistencia producida por el aire.

Las necesidades que se busca satisfacer al incorporar un mayor número de deflectores en los camiones, es la de reducir la fuerza que el aire ejerce sobre la carrocería y desviar el flujo del mismo, consiguiendo menores presiones sobre el vehículo, reduciendo la sustentación generada y por tanto, reduciendo la resistencia que el aire ejerce sobre la gran masa y volumen de los camiones por lo que se reduciría la potencia necesaria para vencer la resistencia del aire reduciendo así el gasto en combustible que esto genera, redundando en un mayor beneficio económico.

### 3. HISTORIA DE LA AERODINÁMICA

En los inicios de la automoción, los primeros vehículos, como el Ford T (Figura 1), no tenían en cuenta aspectos aerodinámicos, ya que la velocidad que podían alcanzar era relativamente baja y por tanto la aerodinámica no era relevante. Como se puede observar en la Figura 1, el Ford T tenía mayor similitud a un coche de tracción animal que a los vehículos actuales, tenía una forma rectangular, una altura excesiva y con una capota de lona que creaba un "efecto bolsa" con la resistencia del aire.

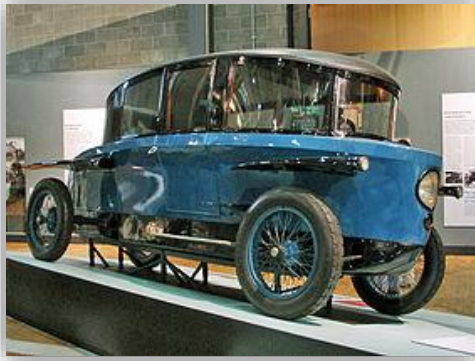


*Figura 1. Ford T.*  
Fuente: [Lista de Carros \(©2016\)](#).

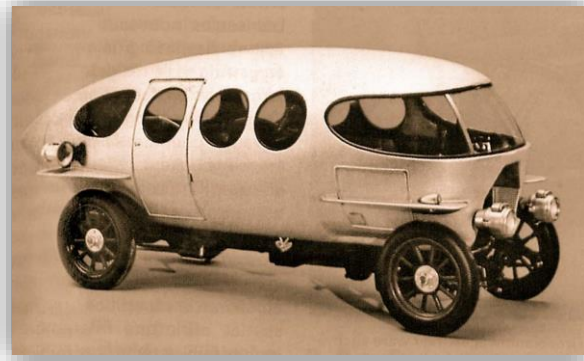
Posteriormente, a partir de estudios hechos para la aviación, observando a los pájaros y peces moverse por diferentes fluidos, los fabricantes comenzaron a adoptar la forma de gota de agua en sus nuevos diseños. De esta forma, aparecieron los primeros rasgos de aerodinámica en la automoción. En 1921 el diseñador Edmund Rumpler creó el Rumpler Tropfenwagen (Figura 2), un coche que intentaba asemejarse a la forma de una gota y el cual consiguió un coeficiente aerodinámico de 0,27 y el cual impactó por su estética novedosa para la época.

Otros modelos con características similares que se fabricaron durante dichos años fueron el Alfa 40/60HP (Figura 3) en 1913 y el Dymaxion de Buckminster Fuller (Figura 4) en 1933, el cual solo llegaron a producirse 3 modelos.

Por otro lado, en E.E.U.U. se produjo el Chrysler Airflow (Figura 5) en 1934, inspirado en la estética de los pájaros, el cual tenía una relación de pesos de 50%-50%, teniendo el mismo peso en los dos ejes. Fue presentado junto a uno de los mayores trenes de la época, pero aunque Chrysler puso mucho esfuerzo en este vehículo, su aspecto poco convencional y la Gran Depresión que afectaba al país, lo condenaron al fracaso.



*Figura 2. Rumpler Tropfenwagen.*  
Fuente. [Wikipedia](#).



*Figura 3. Alfa 40/60 HP.*  
Fuente. [Fast Company & Inc](#) (© 2016).



*Figura 4. Dymaxion.*  
Fuente. [Diario Motor](#) (© 2016).



*Figura 5. Chrysler Airflow.*  
Fuente. [Diario Motor](#) (© 2016).

Se buscaban coches eficientes, ligeros, con poca altura y con motores pequeños y a través de la mejora de la aerodinámica se podían conseguir todos los aspectos.





### 3.1. La aerodinámica en la era del espacio.

Tras la Segunda Guerra Mundial, los pequeños coches aerodinámicos diseñados durante los años 30 tuvieron que esperar casi 20 años para que el mercado estuviese en disposición de comprarlos, y para entonces el mundo había cambiado profundamente. Posteriormente, la estandarización de los métodos de producción, que redujo la posibilidad de fabricar coches "diferentes", unido al periodo de bonanza en los precios del petróleo hizo que la aerodinámica pasase a un segundo plano, excepto para los deportivos y la competición, que fueron los únicos que la tuvieron en cuenta. Los pocos elementos aerodinámicos surgieron a raíz de la carrera espacial en Estados Unidos, cuyos diseños fueron trasladados a los coches, aunque mayormente como elemento decorativo (Figura 6).

Los trabajos de Jean Lefebvre y Flaminio Bertoni así como sus ideas avanzadas dieron como resultado la creación del Citroën DS (Figura 7), cuyo diseño se basa en la aerodinámica y que se ha perpetuado hasta la actualidad, sin tener efecto alguno de respuesta en el resto de marcas. De esta manera, durante algunas décadas la puesta en práctica de los estudios aerodinámicos quedó limitada a reinventar las carrocerías de coches deportivos (Jaguar E-Type, Ferrari 250, Mercedes SL...) mientras que en los coches cotidianos se redujo a elementos más simples, como redondear las aristas de las carrocerías. Este rumbo pudo haberse visto modificado cuando en los años 60-70 comenzó a usarse la fuerza del viento con la finalidad de mejorar la adherencia de los coches. De esta manera, faldones, alerones y entradas de aire empezaron a formar parte del diseño habitual de vehículos de producción.



**Figura 6.** Inserción de elementos aeronáuticos en automoción.

Fuente. [Diario Motor](#) (© 2016).



**Figura 7.** Citroen DS.

Fuente. [Classic Driver](#) (© 2016).

### 3.2 La aerodinámica a servicio de la eficiencia.

Estos esfuerzos se vieron malogrados con la llegada de la crisis del petróleo, ya que el alza de su precio supuso un cambio en la forma en la que se entendían los automóviles, obligando a replantearse numerosos elementos, tales como la construcción de motores, el diseño de carrocerías y los segmentos del mercado.

Las principales consecuencias de esta crisis fueron dos:

- El auge de los coches compactos, es decir, la aerodinámica pasó a ser una prioridad, de manera que se obtuviera el máximo rendimiento con el mínimo combustible.  
Surgieron así los coches compactos modernos, tales como el Volkswagen Golf y el Honda Civic.
- La vuelta a la exploración de diseños que optimizasen la aerodinámica, cuyos efectos pudieron observarse en el diseño de deportivos de extrema suavidad de líneas, como el Lancia Stratos (1971) o el Lotus Esprit (1973), y también conceptos extremadamente innovadores como el Renault Espace (1984).

Posteriormente, en los años 80 y a raíz de estas innovaciones, se continuó con la tendencia de suavizar y redondear las carrocerías. Surgieron así coches como el Citroën AX (Figura

8), el cual se promocionaba con el lema "Adiós al viento en contra", o el Opel Calibra de 1989 (Figura 9), icono de aquella época con un  $C_x$  de 0,26.

A pesar de las evoluciones, desde principios de siglo hasta la década de los 80's, la aerodinámica se centraba en el suavizado exterior e inclinación del frontal del vehículo.



*Figura 8. Citroën AX.*  
Fuente. [Pruebas de época \(© 2016\)](#)



*Figura 9. Opel Calibra.*  
Fuente. [Carerac \(© 2015\)](#).

### 3.3. La aerodinámica invisible

A partir de los años 90 el concepto de aerodinámica ha sufrido cambios tanto en nuestro lenguaje como en el de diseñadores de coches, mayormente debido a la gran evolución de la informática y la implementación de nuevos software, los cuales agilizan los estudios así como reducen la necesidad de túneles de viento, que requieren de un alto coste de mantenimiento así como un gran espacio. De igual manera, a partir de los 60's, se incrementó el uso de los túneles de viento (Figura 10), lo cual mejoro notablemente el estudio de la aerodinámica en automóviles.

Las líneas exteriores de los coches se han vuelto muy variadas, las formas de gota han quedado restringidas al segmento de los coches "ultra eficientes" como el Toyota Prius (Figura 11) o el Honda Insight (Figura 12) entre otros.

Todo ello no implica que la aerodinámica no importe, sino que, tanto fabricantes como diseñadores se han encargado de hacerla invisible, de manera que, en el siglo XXI, la aerodinámica se encuentra extendida por todo el coche.

Este aspecto ha ido mejorando de manera imperceptible gracias a diversos factores como el estudio de los flujos de aire en la carrocería y los bajos, la búsqueda de una menor

altura total de los coches e incluso la mejora en las uniones de las planchas y plásticos.

Se puede afirmar, que la aerodinámica ya no depende de formas fluidas o afiladas, sino de la canalización de los flujos de aire. Este proceso requiere mucho más trabajo pero es imperceptible para nuestros ojos, por lo que, hoy en día, se dice que la aerodinámica se ha vuelto invisible.



*Figura 10. Mercedes CLA en túnel de viento.*  
Fuente: [Diario Motor](#) (© 2016).



*Figura 11. Toyota Prius.*



*Figura 12. Honda Insight.*



## 4. INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA: CONCEPTOS BÁSICOS.

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que se dedica al estudio de los gases, principalmente aire, en movimiento así como de las fuerzas y reacciones de los sólidos que se hayan sumergidos en ellos. De acuerdo con el número de Mach o velocidad relativa de un móvil con respecto al aire, la aerodinámica se divide en subsónica y supersónica según que dicho número sea inferior o superior a la unidad. En este proyecto y puesto que los automóviles aun no alcanzan la velocidad del sonido, se aplicará la teoría en el rango subsónico.

Las principales leyes de la aerodinámica, las cuales se expondrán posteriormente, son las que permiten el vuelo de objetos más pesados que el aire, y son utilizadas para la fabricación de aviones, proyectiles, transmisión del sonido, así como para el diseño de vehículos y su posterior movimiento a través de un fluido, el aire. Para el estudio aerodinámico, es indiferente considerar el movimiento en el sólido o en el fluido, pudiendo ser cualquiera de los dos el cual que se mueve a través del otro. A partir de esta relación, se crearon los túneles de viento, donde el sólido no tiene movimiento y es el aire el que se mueve a su alrededor. A partir de dichos estudios, se pueden conocer parámetros como la temperatura, densidad del aire, presión, velocidad, fuerzas...

Las principales **leyes y efectos utilizados en aerodinámica** son las siguientes:

### 4.1 Teorema de Bernoulli

**Teorema de Bernoulli**, formulado por Daniel Bernoulli (1700-1782), quien comprobó experimentalmente y estableció la ecuación, la cual definía que la presión interna de un fluido decrecía en la medida en que aumenta su velocidad, o dicho de otro modo, la suma de la presión interna de un fluido y su velocidad se mantiene constante. Por tanto, si un fluido aumenta su presión, disminuye su velocidad, como se puede comprobar por ejemplo en el grifo de casa o en los diques, donde el agua tiene una presión determinada mientras su velocidad es cero, y al abrir el grifo o dique, la presión de dicho fluido comienza a decrecer a medida que su velocidad aumenta. En dicha ecuación también



influye la variación de altura, pero debido a que en automoción esta variación es mínima, tendiendo a cero, se suele despreciar dicho valor.

La formulación matemática del Teorema de Bernoulli es la siguiente:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

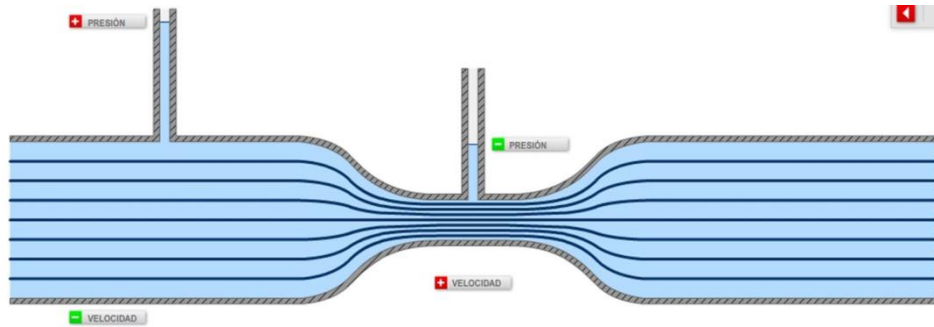
Siendo:

- $P$  = Presión interna del fluido (MPa).
- $\rho$  = Densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>).
- $v$  = Velocidad (m/s).
- $g$  = Aceleración gravitatoria (m/s<sup>2</sup>).
- $h = z$  = Altura, utilizando un punto de referencia (m). Para aplicar dicha ecuación se deben tener en cuenta los siguientes supuestos:
- Viscosidad del fluido (fricción interna) = 0. El fluido no tiene viscosidad en la zona de análisis.
- Caudal constante.
- Fluido incompresible,  $\rho = \text{constante}$ .

En resumen, para cualquier parcela de aire, alta velocidad implica baja presión y baja velocidad supone alta presión. Esto ocurre a velocidades inferiores a la del sonido pues a partir de esta ocurren otros fenómenos que afectan de forma importante a esta relación.

## 4.2. Efecto Venturi

**Efecto Venturi**, comprobado experimentalmente por Giovanni Battista Venturi (1746-1822) el cual demostraba que al pasar un fluido por un estrechamiento, sus partículas aumentan de velocidad y disminuyen la presión. Puede considerarse una derivación del Teorema de Bernoulli y el teorema de conservación de la energía mecánica aplicable en ciertos casos.



*Figura 13. Esquema del Efecto Venturi.*  
Fuente. [Blogspot, Ángeles en la cabeza \(© 2013\).](#)

### 4.3. 3ª Ley de Newton.

**3ª Ley del movimiento de Newton.** Por cada fuerza de acción, existe una fuerza de reacción de igual intensidad, pero sentido contrario.

### 4.4. Perfil alar.

Dichas leyes son utilizadas para el diseño de los perfiles alares utilizados en aviación, a partir del Teorema de Bernoulli se diseña la geometría de las alas para que el fluido recorra una distancia mayor por la parte superior (extradós) que por la inferior (intradós). Como el perfil alar es incompresible, las partículas de fluido que recorren el extradós deben ir a mayor velocidad que las del intradós, y por tanto generan una zona de menor presión en el extradós. Al ser mayor la presión del intradós que la del extradós, se produce una fuerza vertical, al tender el fluido a igualar presiones, lo que genera una sustentación que permite al avión mantenerse en el aire. Por otro lado, el ángulo de ataque del perfil alar provoca que cierta parte del fluido que lo recorre, choque contra el perfil y genere una reacción, por la 3ª Ley de Newton, en dirección opuesta a dichos choques, que permite una mayor sustentación.

Del mismo modo, en automoción se utilizan los mismos principios para el diseño de deflectores o alerones. Si se invierte la geometría del perfil, dicha depresión se produce en la zona inferior del deflector, por lo que se produce una sustentación negativa o downforce que genera que el vehículo se pegue al suelo, y por tanto tenga una mayor adherencia en curva, lo que permite tomar las curvas con una mayor velocidad.



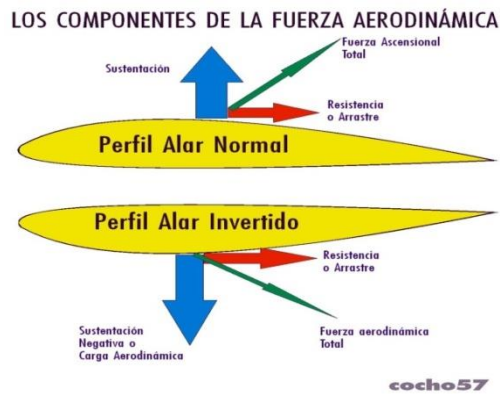


Figura 14. Componentes de la fuerza aerodinámica. Perfil alar normal (aviación), perfil alar invertido (automoción).  
Fuente. [Taringa, el efecto suelo \(© 2013\)](#).

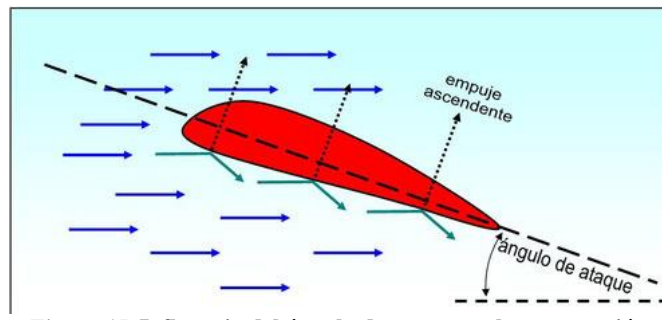
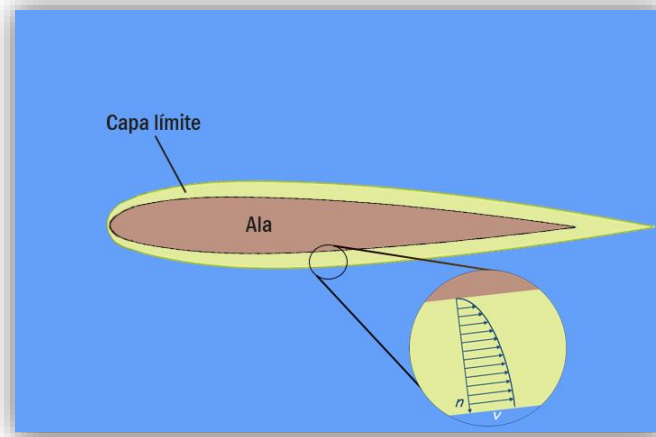


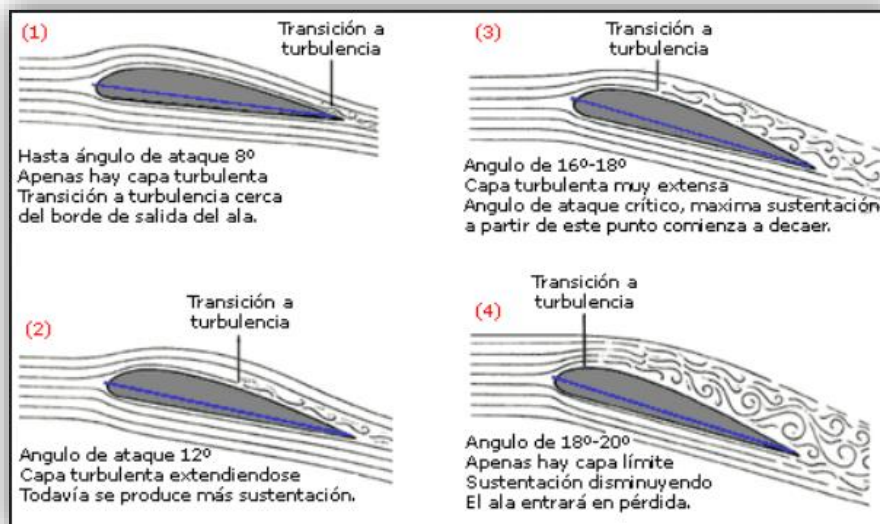
Figura 15. Influencia del ángulo de ataque en la sustentación.  
Fuente. [Canal de ciencias \(© 2013\)](#).

## 4.5. Capa límite.

Otro concepto importante a destacar en el estudio aerodinámico es el de **Capa Limite**. Es la zona donde el movimiento del fluido es perturbado por la presencia de un sólido con el que está en contacto. La capa límite se entiende como aquella en la que la velocidad del fluido respecto al sólido en movimiento varía desde cero, fluido pegado al sólido, hasta el 99% de la velocidad de la corriente no perturbada.



**Figura 16. Capa de límite, grosor y velocidad.**  
Fuente. [10000pies](#) (© 2010)



**Figura 17. Capa límite y ángulo de ataque: desprendimiento y pérdida.**  
Fuente. [Webnode, Aviación y un poco más](#) (© 2013).

En cuanto a la automoción, el desprendimiento de la capa límite no provoca una entrada en pérdida y caída del vehículo, sino que las turbulencias creadas por dicho desprendimiento se formaran en la parte trasera del vehículo y generaran una succión hacia atrás, con lo que la fuerza generada ira en sentido opuesto al avance del vehículo.

Por tanto, se debe buscar que el desprendimiento de la capa límite sea lo más atrás posible, para evitar dicha succión y en consecuencia, evitar fuerzas que vayan en contra del avance del vehículo y que requieren de mayor potencia del motor para vencerlas.



Otras fuerzas que influyen en el avance del vehículo a través del fluido y de las que se hablan en siguientes apartados son la resistencia aerodinámica (dragforce), la resistencia debida a la rodadura y la resistencia debida a pérdidas en la transmisión mecánica.



## 5. FORMULACIÓN MATEMÁTICA.

En este proyecto se pretende analizar, mediante un estudio aerodinámico, el diseño, la eficiencia y viabilidad de la incorporación de deflectores en camiones, en este caso en el Mercedes Actros, con la finalidad de reducir la resistencia aerodinámica (drag force) que soporta el vehículo, facilitando el paso de este a través del fluido y así reduciendo la potencia necesaria por el motor para vencer dicha resistencia, con el consiguiente ahorro de combustible y reduciendo las emisiones generadas. Además, se estudiara la viabilidad del proyecto, el diseño, material, cálculos resistentes y el coste aproximado de fabricación y montaje de dichos deflectores.

La resistencia aerodinámica o "drag force" se define como la fuerza que se genera al pasar un sólido a través de un fluido o la resistencia que presenta un fluido a ser atravesado. Esta resistencia varia de manera significativa con la velocidad, siendo mayor cuanto mayor sea la velocidad del sólido. La geometría del vehículo, mayormente la parte frontal, también es un factor importante a la hora de determinar la resistencia aerodinámica.

Para clasificar dicha geometría y la resistencia que opone al paso a través del fluido, se utilizan diferentes coeficientes, siendo estos una medida del tamaño de la superficie con respecto a un cuadrado, referencia, de valor 1 y que ocupa el 100% del ancho y del alto de la superficie. En el caso de automoción, el coeficiente más relevante es el de la dirección de la velocidad, también llamado coeficiente de penetración,  $C_d$  en aviación y  $C_x$  para automoción. Además de los factores ya mencionados, velocidad y coeficiente de penetración, la densidad del fluido es otro factor que influye en la resistencia aerodinámica (1), quedando la expresión matemática del siguiente modo:

$$D = \frac{V^2 * \rho * S * C_x}{2} \quad (1)$$

*Fórmula 1.* Resistencia aerodinámica (Drag Force)



Siendo:

$D$  = Resistencia Aerodinámica o Drag Force.

$V$  = Velocidad del vehículo.

$\rho$  = Densidad del fluido.

$S$  = Área frontal del vehículo.

$C_x = C_d$  = Coeficiente de penetración.

Cabe destacar que los coeficientes de penetración son un modo de definir la dificultad de atravesar cierto fluido, únicamente dependiendo de la geometría del sólido, siendo esta menor cuanto menor sea el coeficiente. Por otro lado, además del coeficiente de penetración, se tiene en cuenta el área frontal del vehículo, ya que cuanto mayor sea esta, mayor será el volumen de fluido que tendrá que mover para poder atravesarlo. Dos vehículos con un mismo  $C_x$ , con áreas diferentes, tendrán resistencias aerodinámicas totalmente diferentes.

Por tanto, se suele utilizar el valor  $C_x * S$ , coeficiente de penetración por área frontal, como valor de referencia a la hora de comparar vehículos y decidir cual tendrá un mejor paso a través del fluido. Por otro lado, no siempre se busca minimizar el coeficiente de penetración, en ciertos casos, como en la Formula 1, se utiliza el aire para ayudar al frenado o para crear flujos que mejoren la adherencia del vehículo, por esto se utilizan coeficientes entre 0,7 y 1,2, valores mucho más altos que los de los turismos (0,2-0,5) e incluso que camiones (0,6-0,9).

La resistencia aerodinámica es la fuerza principal para este estudio, la cual será obtenida a partir del software elegido, SolidWorks 2015, y de ella se obtendrán los diferentes coeficientes de penetración (2) para los diferentes casos, pero también existen otras fuerzas que van en contra del movimiento y que por tanto, necesitan de una mayor potencia en el motor para ser vencidas. Estas fuerzas, de las que se hablara a continuación son la resistencia por rodadura y la resistencia debida a la transmisión mecánica.



$$C_x = \frac{D}{2 * \rho * S * V^2} \quad (2)$$

Fórmula 2. Coeficiente de penetración

La resistencia a la rodadura ( $R_r$ ) se presenta cuando un cuerpo rueda sobre una superficie, deformándose uno o ambos cuerpos de manera no elástica. Esta resistencia no aparece si ambos cuerpos son indeformables.

Del mismo modo que en la fricción por deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal es necesario aplicar una fuerza externa para mantener el cuerpo con velocidad constante, en el caso de la rodadura sin deslizamiento de un cilindro (rueda) sobre una superficie horizontal es necesario aplicar un momento o par externo que iguale o supere el par resistente producido por la reacción del pavimento sobre la rueda para mantener la velocidad constante.

La resistencia a la rodadura depende principalmente de la masa del vehículo, la gravedad y un coeficiente de rodadura ( $f$ ), el cual representa el porcentaje del peso soportado que se transforma en resistencia al avance, y depende del objeto que rueda y el pavimento sobre el que rueda, así como del número de ruedas y el radio de las mismas.

Por tanto, la expresión matemática de la resistencia de rodadura es la siguiente:

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

Fórmula 3. Resistencia de rodadura

Siendo:

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

$M$  = Masa del vehículo (Kg).

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



$f$  = Coeficiente de rodadura.

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

$r_r$  = Radio de la rueda (m)

De esta expresión se deduce que cuanto mayor sea la masa del vehículo, mayor será la resistencia a la rodadura y en cambio, a mayor radio de rueda y número de estas, menor resistencia a la rodadura. La velocidad del vehículo es indiferente para el cálculo de la resistencia por rodadura.

La resistencia por pérdidas mecánicas en la transmisión ( $R_{tr}$ ) es debida a la fricción entre los diferentes componentes que componen la transmisión del vehículo, así como a las pérdidas por las uniones de la transmisión, este valor se encuentra entre 0,85 y 0,9, es decir, se pierde un 10-15% de la potencia transmitida por el motor.

La resistencia total que se opone al avance del vehículo será, por tanto, la suma de las 3 anteriores, la cual se calculara para diferentes velocidades y diferentes combinaciones de deflectores. Una vez obtenida la fuerza total que se opone al avance, multiplicándola por la velocidad del vehículo, se obtendrá la potencia necesaria para vencer dicha fuerza.

La ecuación queda de la siguiente forma:

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

*Fórmula 4.* Resistencia al avance

$$P_N = F_t * v \quad (W) \quad (5)$$

$$P_N = \frac{(R_a + R_R) * v}{\eta_{tr}} \quad (6)$$

*Fórmula 5, 6.* Potencia necesaria para vencer la resistencia al avance

Siendo:

$F_t$  = Resistencia al avance (N).

$R_a$  = Resistencia aerodinámica (N).

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



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

$P_N$  = Potencia necesaria debido a las resistencias (W).

$v$  = Velocidad del vehículo (m/s).

Una vez obtenida la potencia necesaria para vencer la resistencia al avance, es necesario relacionarla con el consumo de combustible. Para ello, se debe definir el consumo horario (B) y el consumo específico del vehículo ( $b_e$ ).

$$P_N = \frac{B}{b_e} (KW) \quad (7)$$

*Fórmula 7.* Potencia necesaria para vencer la resistencia al avance

$$B = P_N * b_e \left( \frac{Kg}{h} \right) \quad (8)$$

*Fórmula 8.* Consumo horario

$b_e$  = Consumo específico (Kg/KWh).

B = Consumo horario (Kg/h).

El consumo de energía total ( $B_t$ ) será:

$$B_t = B * t (Kg) \quad (9)$$

*Fórmula 9.* Consumo de energía total

t = tiempo funcionando.

Y conociendo:  $v = \frac{d}{t} \left( \frac{m}{s} \right) \quad (10)$

*Fórmula 10.* Velocidad

$v$  = velocidad (m/s).

d = distancia (m).

t = tiempo (s).





La siguiente ecuación relaciona la velocidad y el consumo energético:

$$B_T = B * \frac{d}{v * 3600} (Kg) \quad (11)$$

*Fórmula 11.* Relación velocidad y consumo energético

Se busca obtener el consumo a cierta distancia y manteniendo la velocidad constante, por lo que relacionando consumo y distancia, obtenemos la siguiente ecuación:

$$B_d = \frac{B}{v * 3600} \left( \frac{Kg}{m} \right) \quad (12)$$

*Fórmula 12.* Relación consumo y distancia

Los fabricantes proporcionan datos de consumo en litros a los cien kilómetros, por lo que transformando las unidades, la ecuación queda del siguiente modo:

$$B_d = \frac{B}{v * 3600} * 10^5 = \frac{P_N * b_e}{v * 3600} * 10^5 \left( \frac{Kg}{100Km} \right) \quad (13)$$

*Fórmula 13.* Consumo a los 100 Km.

Conociendo la densidad del combustible, así como la del aire, la ecuación que nos expresa el consumo en litros a los 100 kilómetros será:

$$B_d = \frac{(0,25 * M * f + 0,017 * C_x * S * v^2) * b_e}{\eta_{tr} * \rho_b} \left( \frac{litros}{100Km} \right) \quad (14)$$

*Fórmula 14.* Consumo en litros a los 100Km.



Siendo:

$M$  = Masa del vehículo (Kg).

$f$  = Coeficiente de rodadura.

$C_x = C_d$  = Coeficiente de penetración.

$S$  = Área frontal del vehículo.

$v$  = Velocidad.

$b_e$  = Consumo específico (Kg/KWh).

$\eta_{tr}$  = Rendimiento.

$\rho_b$  = Densidad del combustible.



## 6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Una vez explicado el procedimiento matemático a seguir, continuaremos exponiendo el procedimiento que se ha seguido con el software SolidWorks 2015 para el análisis aerodinámico del diseño del modelo anteriormente especificado, Mercedes Actros, y la obtención de la resistencia aerodinámica ( $R_a$ ) para cada uno de los deflectores de manera individualizada, visualizando su influencia con respecto al modelo sin deflectores así como en los tres modelos diferentes, el camión sin deflectores (Modelo1), con deflectores básicos (Modelo2) y con conjunto de deflectores mayor (Modelo3). Además de las diferentes combinaciones de deflectores, se han analizado para diferentes velocidades 60, 90, 100 y 120 Km/h, para analizar, junto con la geometría, la influencia de la velocidad del vehículo en la resistencia aerodinámica.

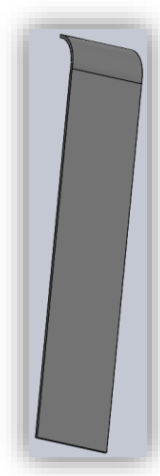
Se supone una temperatura exterior constante, o mínimamente variable, 25°C, por lo que la densidad del aire también será constante. Por otro lado, la superficie frontal del camión también se mantiene constante, ya que al ser el semirremolque de igual tamaño, la aplicación de deflectores en la parte delantera utiliza el mismo espacio frontal que el semirremolque, por lo que no aumenta. No se ha buscado reducir dicha área, por no modificar el tamaño del semirremolque, lo que implicaría una pérdida de capacidad de carga en el mismo.

### 6.1. Deflectores.

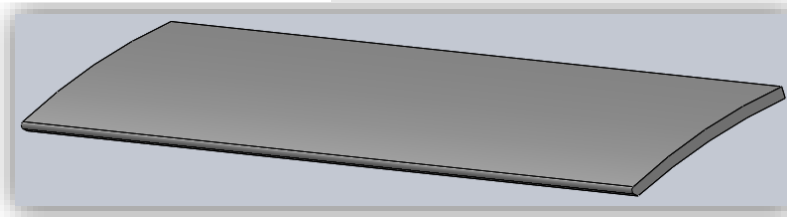
En primer lugar, se mostraran los deflectores de manera individual, para observar su geometría, así como los planos, en los cuales se muestran las diferentes superficies y dimensiones de los mismos. Posteriormente se mostraran los tres modelos a analizar, sin deflectores (Modelo 1), con pocos deflectores (básico) y con el conjunto de deflectores (completo).



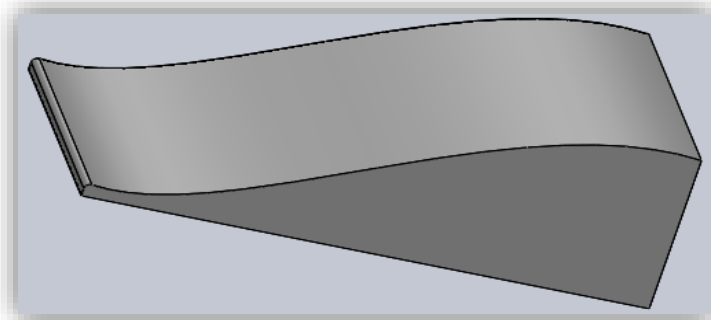
**Figura 18. Deflector remolque trasero lateral**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



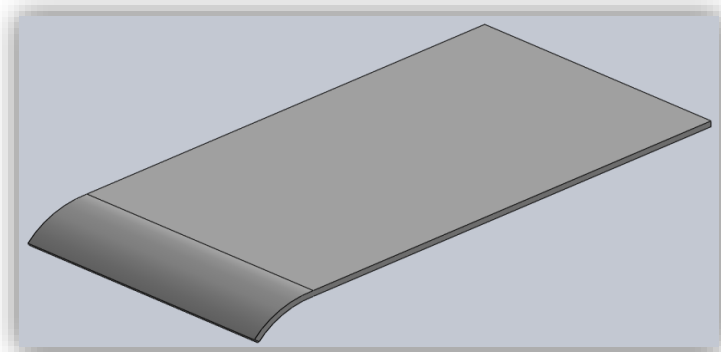
**Figura 19. Deflector Lateral Cabeza Tractora**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



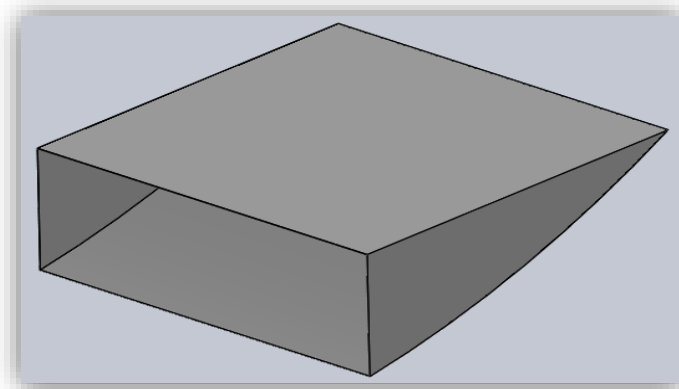
**Figura 20. Deflector Remolque Trasero Superior**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



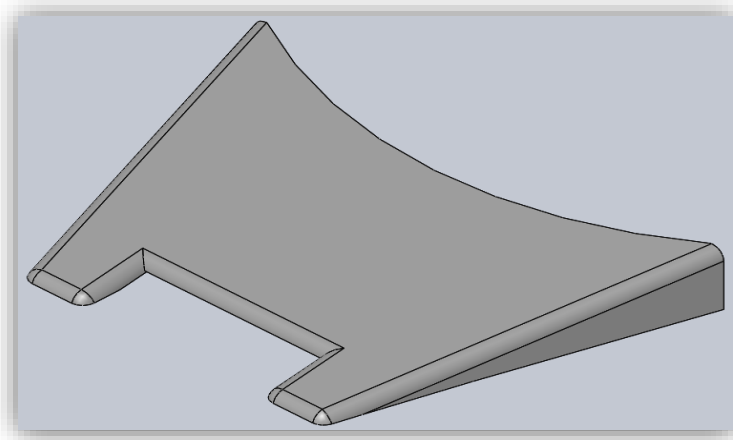
**Figura 21. Deflector Remolque Inferior Delantero.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



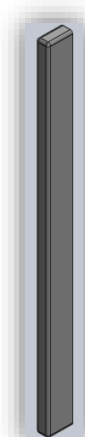
**Figura 22. Deflector Remolque Inferior Intermedio.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 23. Deflector Remolque Inferior Trasero.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 24. Deflector Superior Cabeza Tractora.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

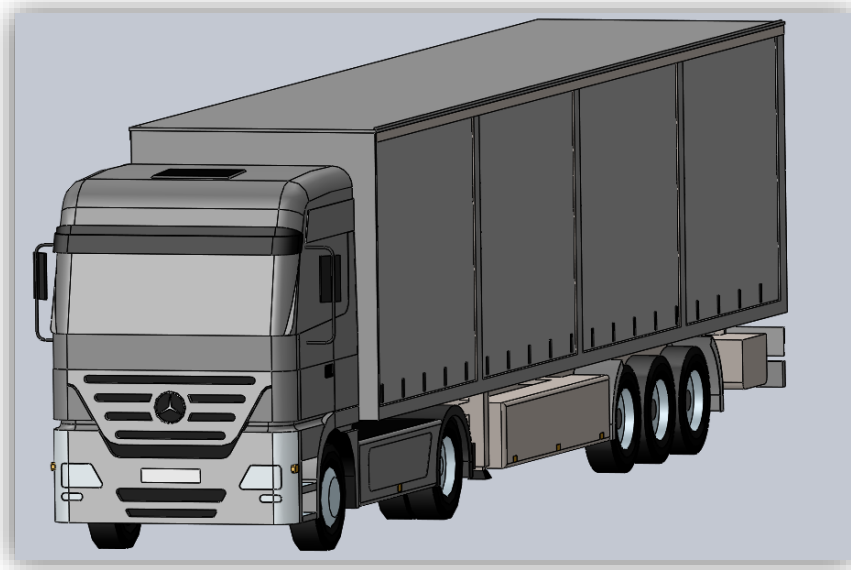


**Figura 25. Deflector Vertical Cabina-Remolque.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

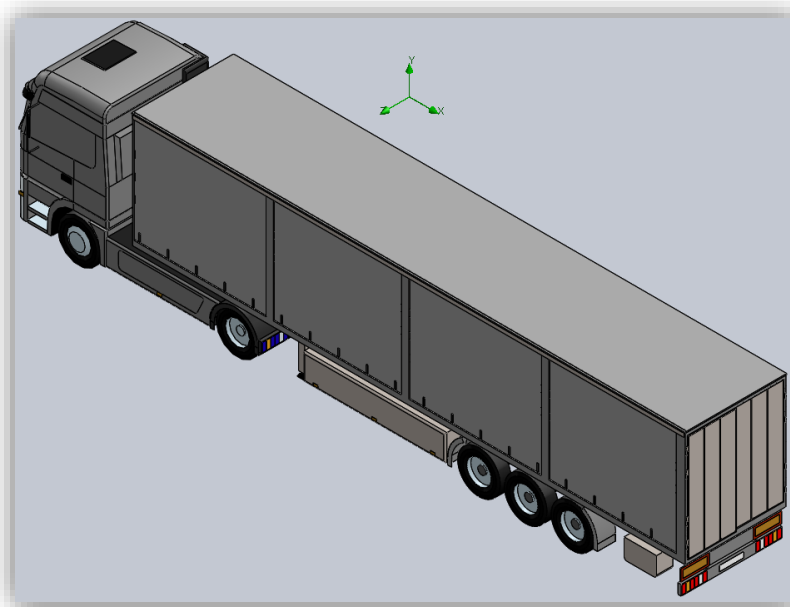
Se pueden observar los diferentes deflectores, los cuales se han destacado en color rojo en las siguientes imágenes. El modelo con deflectores básicos (Modelo 2) solo tiene deflectores

incorporados a la cabeza tractora, ningún deflector en el semirremolque, mientras que el modelo con deflectores completos (Modelo 3) lleva instalados todos los anteriores mostrados.

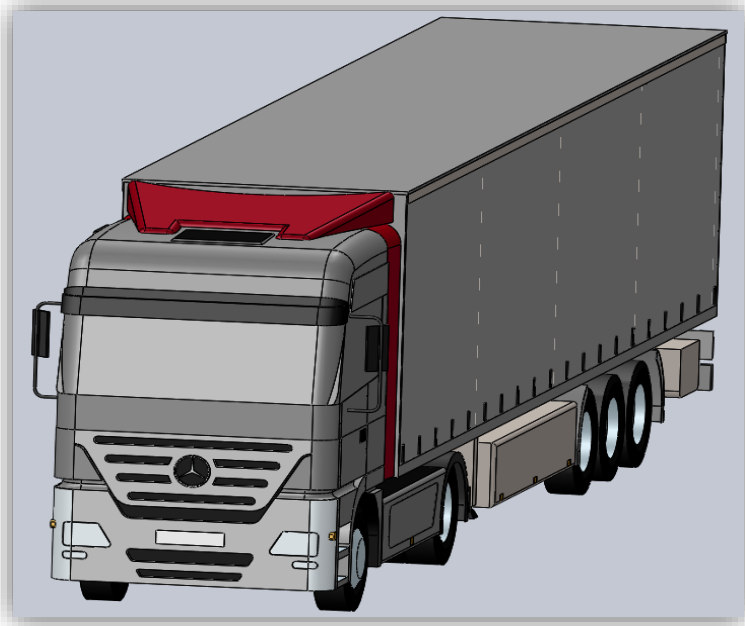
## 6.2. Modelos.



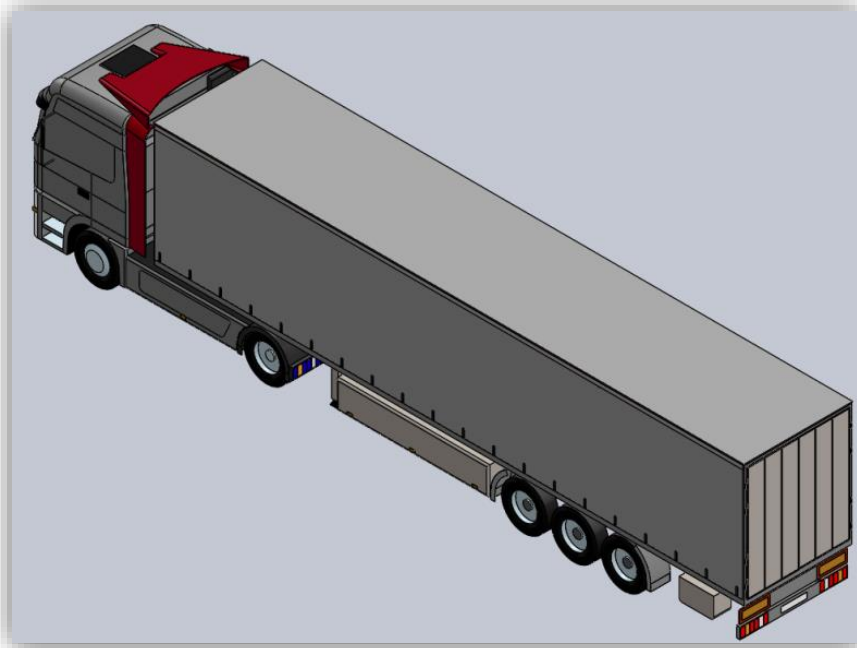
**Figura 26. Modelo sin deflectores (Modelo1).**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



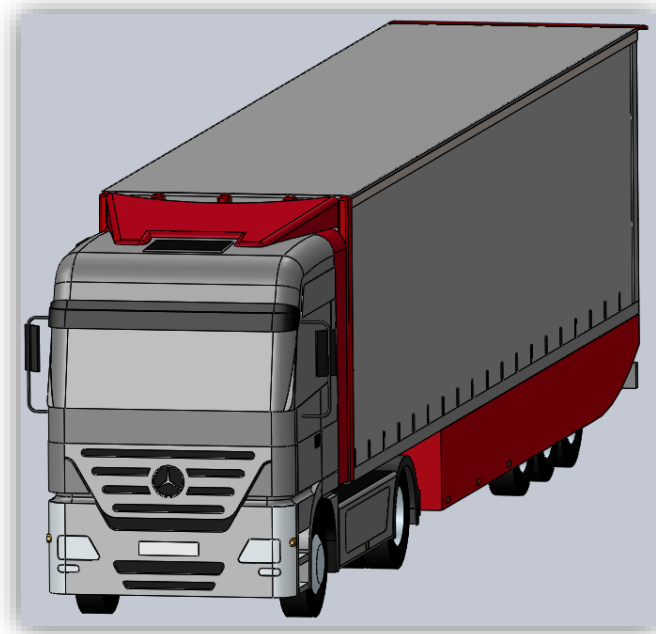
**Figura 27. Modelo sin deflectores; isométrica (Modelo1).**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 201



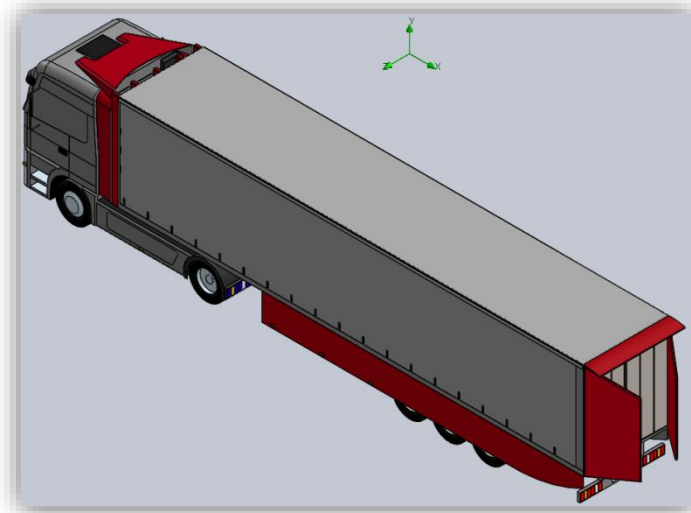
**Figura 28. Modelo con deflectores básicos (Modelo 2).**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 29. Modelo con deflectores básicos, isométrica (Modelo 2).**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

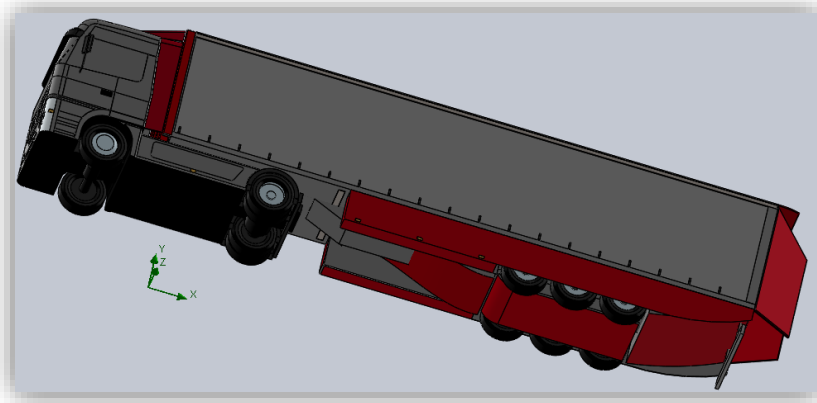


**Figura 30. Modelo con deflectores completo (Modelo 3).  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



**Figura 31. Modelo con deflectores completo, isométrica (Modelo 3).  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**





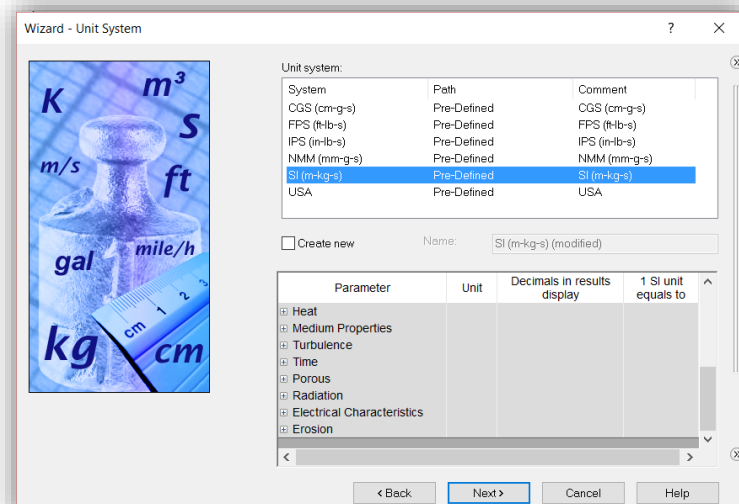
**Figura 32. Modelo con deflectores completo, vista inferior (Modelo 3).  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**

### 6.3. Software.

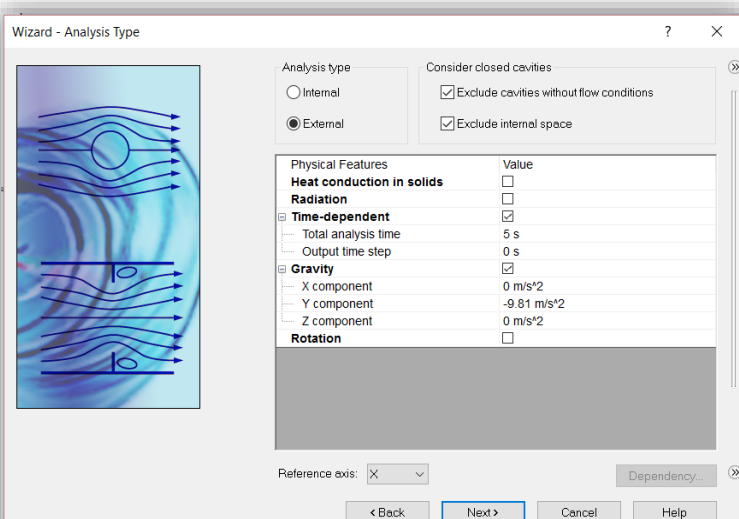
El procedimiento seguido para el análisis, tanto en 2D como en 3D, es el siguiente:

- Se escogen las unidades de medida para el análisis, en este caso el Sistema Internacional (SI).
- Se registran los valores de presión y temperatura, así como las fuerzas externas y el tiempo que durara el análisis. En este caso, 1 bar de presión y 25°C de temperatura ambiente. Se aplica la fuerza gravitatoria y el tiempo de duración del análisis, cinco segundos, por creerse que es suficiente para obtener resultados fiables.
- Se escoge el fluido el cual va a atravesar el sólido, en este caso un gas, el aire. También se fijan las cualidades del flujo, laminar, turbulento o mixto, así como el porcentaje de humedad en el ambiente. En este caso el flujo va a ser mixto, laminar y turbulento, por ser el caso más cercano a la realidad. La humedad supuesta es de un 50%.
- Se aplica la resolución que se desea en los resultados, de un margen de 3 a 8, ya que por debajo del tres la resolución es poco fiable. En este proyecto se ha escogido el valor 7, por ser un valor lo suficientemente alto, resultados muy fiables, sin necesidad de un tiempo excesivo.

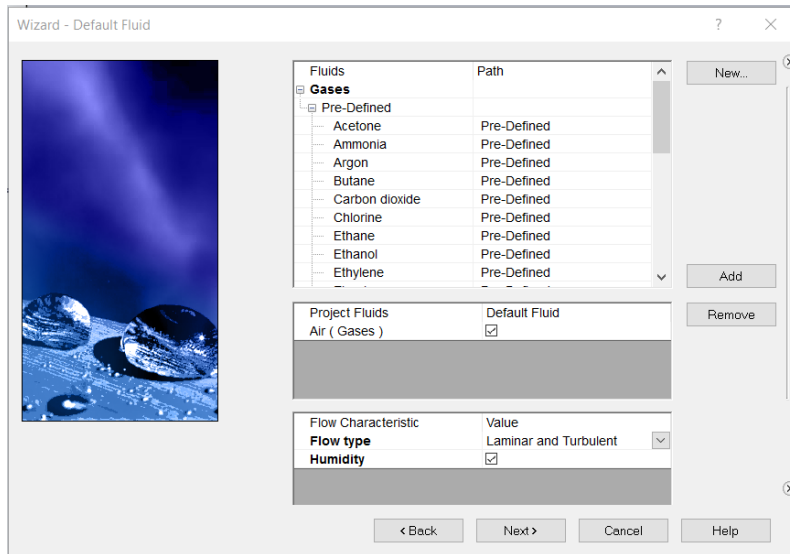
Esto son los parámetros de unidades, ambientales y del fluido para el análisis. En las siguientes imágenes se pueden observar los pasos anteriormente descritos.



**Figura 33. Elección de unidades para el análisis.**  
 Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

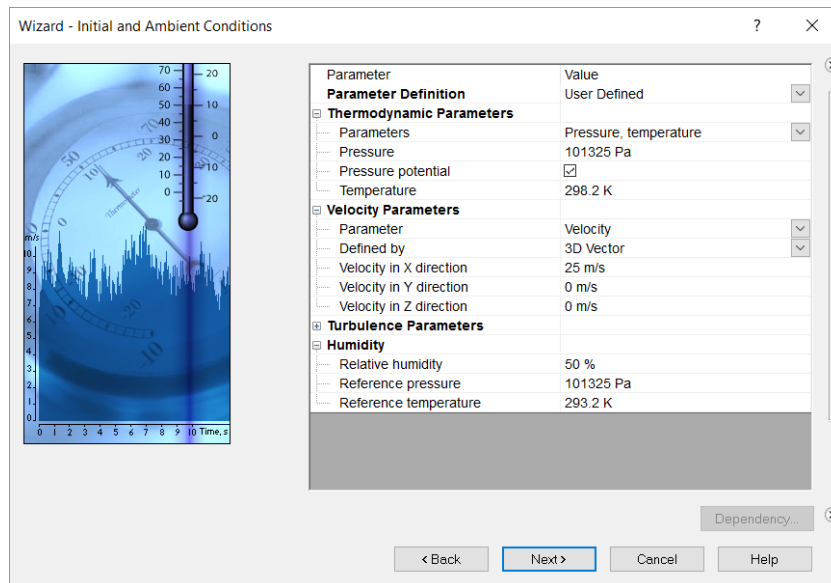


**Figura 34. Tipo de análisis, tiempo y fuerzas gravitatoria.**  
 Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



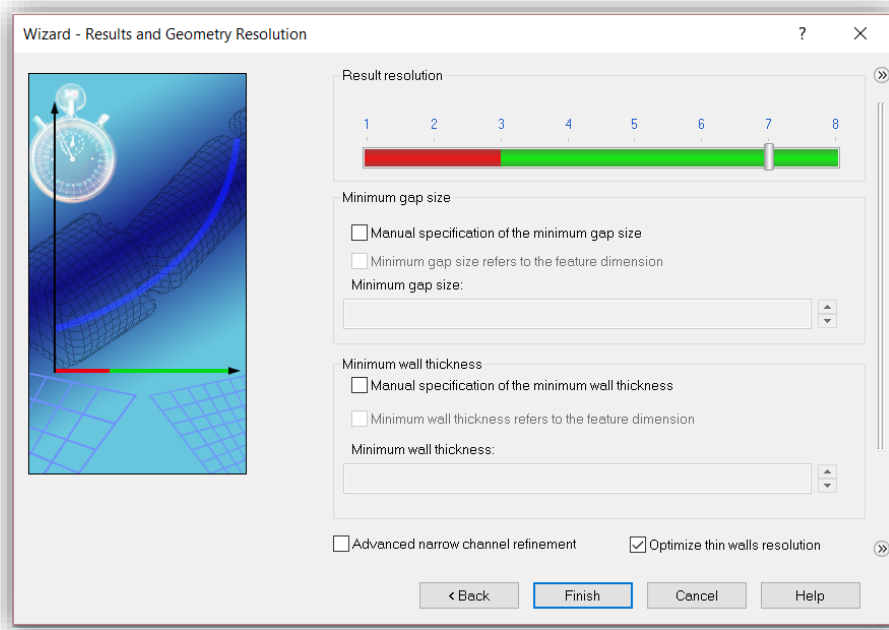
**Figura 35.** Elección del fluido, humedad y tipo del fluido.

Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



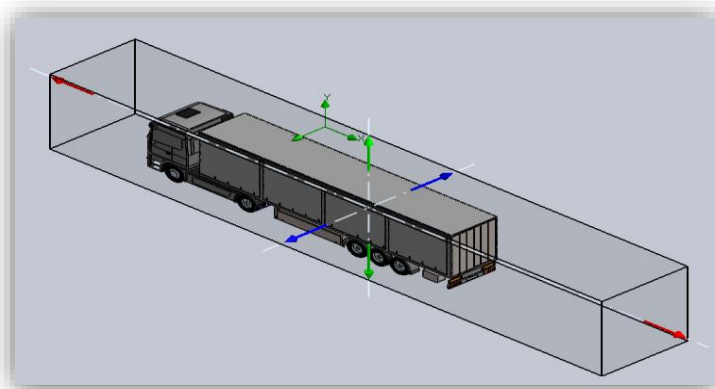
**Figura 36.** Se fija presión, temperatura, velocidad y humedad.

Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

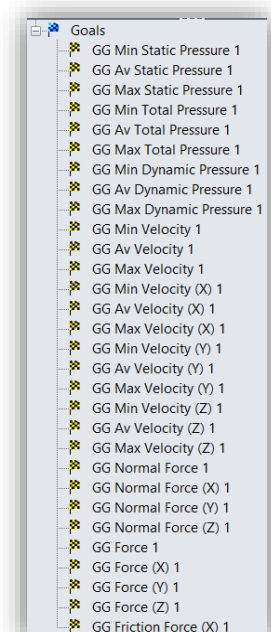


**Figura 37. Resolución de los cálculos.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

Posteriormente se fija el dominio del análisis, el volumen por donde se moverá el fluido, atravesando los diferentes modelos, así como los parámetros a medir en dicho análisis (Goals).



**Figura 38. Dominio de análisis.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 39. Objetivos a analizar.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



Una vez realizados los análisis, se pueden obtener contornos coloreados, donde nos indica la presión en las diferentes zonas del modelo, cortes que nos permiten ver el movimiento del flujo en 2D, en la dirección buscada, así como líneas de flujo que recorren el modelo y nos permite observar velocidad, posición y presión de las diferentes partes del modelo en 3D. Además de las imágenes, se nos proporcionan tablas con los valores de los parámetros que se han fijado anteriormente.



## 7. RESULTADOS

En este apartado, se expondrán e interpretarán los resultados obtenidos del análisis aerodinámico de los diferentes modelos, determinando cuanto afectan la geometría del modelo, incorporación de deflectores, así como el efecto de la velocidad en dichos modelos. Además, se mostrarán las imágenes obtenidas de la posición del fluido atravesando los modelos, la presión que este ejerce así como su velocidad. Posteriormente, mediante las ecuaciones matemáticas, indicadas en el apartado 5, se obtendrán los diferentes coeficientes aerodinámicos, centrándonos en el coeficiente de penetración ( $C_x$ ), las fuerzas externas o resistencias que frenan el vehículo, la potencia necesaria para vencer dichas resistencias, así como el consumo en litros a los cien kilómetros. Finalmente se analizará el ahorro de combustible, y por tanto la emisión de gases contaminantes, dependiendo de la velocidad y cantidad de deflectores en el vehículo.

### 7.1. Combinación deflectores.

Antes de analizar los tres modelos anteriormente mencionados, cabe destacar la diferencia entre el Modelo 2 y el Modelo 3. En el Modelo 2, los deflectores se han incorporado en la cabeza tractora, en la parte superior y los laterales de la misma, dejando el semirremolque igual que en el Modelo 1, sin deflectores, mientras que en el Modelo 3, además de en la cabeza tractora, se ha decidido incorporar deflectores en el semirremolque, con la finalidad de mejorar el paso del vehículo a través del fluido, así como reducir las fuerzas de succión que se crean en la parte posterior del vehículo.

Debido a que los diferentes apéndices incorporados en el Modelo 2 suavizan el paso del fluido a través del vehículo (Figura 28-29), redondeando la cabeza tractora y cerrando huecos que podían existir en la misma, pero no afectan a la parte posterior del vehículo, y al ser ampliamente utilizados por los fabricantes de cabezas tractoras se ha preferido analizar de manera individual los deflectores instalados en el semirremolque, incorporados en el Modelo 3, para observar de qué manera afectan y cuál es la mejor combinación para el semirremolque, reduciendo así la resistencia generada por el fluido con respecto al Modelo 2. Dicha combinación, será la que finalmente se adoptara como



Modelo 3 y se analizara junto con el Modelo 1, sin deflectores y Modelo 2, con deflectores en la cabeza tractora.

Las diferentes combinaciones de deflectores posibles analizadas de manera individual y conjunta, para observar su eficacia, a 90 Km/h, son las siguientes:

Los tres acoplados en la parte inferior del vehículo, señalados como "Inferior delantero" (Figura 21) "Inferior intermedio" (Figura 22) e "Inferior trasero" (Figura 23).

Los acoplados en la parte posterior del vehículo, concretamente en los laterales y parte superior de las puertas traseras del vehículo, nombrados como "Trasero lateral" (Figura 18) y "Trasero superior" (Figura 20).

Redondeo de la parte lateral del vehículo, cubriendo parte de las ruedas.

Deflectores verticales entre cabina y remolque (Figura 25), con la intención de reducir los vórtices generados en dicha área.

La resistencia aerodinámica soportada por los diferentes modelos se observa en la siguiente tabla.

Modelo 2 (Referencia) = 2517,18 N

Combinaciones	Ra (N)
Laterales Traseros	2375,052
Superior Trasero	2317,605
Laterales + Superior	2231,868
Inferior Delantero	2373,642
Inferior Intermedio	2374,044
Inferior Trasero	2407,076
Inferior Completo	2224,347
Redondeo Lateral	2437,904
Completo (Trasero + Inferior)	2153,458

**Tabla 1. Resistencia aerodinámica para diferentes combinaciones.**



Utilizando como referencia el Modelo 2, con deflectores en la cabeza tractora, se han incorporado diferentes combinaciones de deflectores en el remolque. Se observa como los diferentes deflectores por separado consiguen una mejora aerodinámica del modelo, incluso el redondeo de la superficie lateral, cubriendo parte de las ruedas, consigue una reducción de 100 N sobre el Modelo 2. Además, se ha comprobado que la combinación de varios de estos deflectores, reduce aún más la fuerza provocada por el fluido en el vehículo, como se observa en los resultados de "Laterales+Superior" comparados con los laterales solos o el superior.

Por último, se ha observado que la combinación con todos los deflectores en el semirremolque, consigue una mayor reducción (2153,458 N) en comparación con el Modelo 2, utilizado como referencia (2517,18 N). Por tanto, se ha decidido incorporar todos los deflectores anteriormente descritos al remolque, el cual será nombrado como Modelo 3 o Modelo con Deflectores Completos.





## 7.2. Análisis aerodinámico de los modelos.

La resistencia aerodinámica (Ra), o fuerza en el eje X, obtenida en los diferentes modelos y para las diferentes velocidades se puede observar en la siguiente tabla:

Velocidad (Km/h)	Ra (N)		
	Sin Deflectores (Modelo 1)	Deflectores Básico (Modelo 2)	Deflectores Completo (Modelo 3)
60	1167,981	1072,096	1014,123
90	3172,195	2517,286	2153,458
100	3532,240	3089,320	2970,680
120	4916,480	4387,386	4007,771

**Tabla 2. Resistencia Aerodinámica con respecto a la velocidad.**

Como se puede observar, la adición de deflectores para canalizar el flujo de aire, reduce considerablemente la resistencia aerodinámica del modelo, como se muestra en el modelo sin deflectores y el modelo con deflectores completo. La adición de varios deflectores básicos ya reduce la resistencia, siendo la diferencia entre el modelo sin deflectores y que tiene deflectores básicos mayor que entre este y el que tiene deflectores completos. Además, cabe destacar como la velocidad del vehículo afecta de forma exponencial a la resistencia aerodinámica, siendo la diferencia entre llevar deflectores o no, mucho mayor cuanto mayor es la velocidad (a 60 Km/h hay una diferencia de 100 N entre llevar todos los deflectores y no llevar ninguno, mientras que a 120 Km/h esa diferencia aumenta a 900 N).

Posteriormente se analizara la viabilidad de ambos modelos con deflectores (básico y completo), ya que, como se puede observar, el modelo con deflectores completo tiene muchos más deflectores que el de deflectores básicos, lo que implica un mayor coste de material, mano de obra y peso en el vehículo, y en cambio, la reducción de resistencias entre los modelos puede no compensar dicho coste.



Una vez obtenida la fuerza que ejerce el aire sobre el vehículo, y a partir de esta, utilizando la ecuación (2) se obtendrán los diferentes coeficientes de penetración, para cada modelo y cada velocidad.

Velocidad (Km/h)	Cx		
	Sin Deflectores	Deflectores Básico	Deflectores Completo
60	0,776	0,712	0,673
90	0,936	0,743	0,635
100	0,845	0,738	0,710
120	0,816	0,728	0,665

**Tabla 3. Coeficiente de penetración**

La variación en los coeficientes de penetración ( $C_x$ ) es proporcional a la resistencia aerodinámica, debido principalmente a que los demás parámetros que afecta a la ecuación, como son velocidad, densidad del aire y área frontal del vehículo, se han mantenido constantes en los tres casos. Se observa una reducción del coeficiente de penetración, a medida que se le añade un mayor número de deflectores al vehículo, esto confirma la función de los deflectores, dirigir al fluido, evitar que choque frontalmente contra el vehículo o que se creen turbulencias en ciertas zonas del modelo. En resumen, ayudar al vehículo a penetrar en el fluido, reduciendo así la fuerza que este ejerce sobre el sólido.

Por otro lado, mediante la fórmula (3) y suponiendo un rendimiento mecánico del 90%, se obtienen tanto la resistencia a la rodadura como las pérdidas por transmisión mecánica. Dichas fuerzas serán contantes para los diferentes modelos, y serán independientes de la velocidad.

Por tanto la resistencia a la rodadura ( $R_r$ ), como se ha explicado en el apartado 5, vendrá condicionada por la masa del vehículo, la fuerza gravitatoria y un coeficiente de rodadura (f).



Para la masa del vehículo, se ha tomado la masa máxima autorizada (MMA) para vehículos combinados de cinco ejes, dos en la cabeza tractora y tres en el remolque, a partir del documento de la dirección general de tráfico (DGT): "Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa", la cual es un extracto de dicho documento que se adjunta en este proyecto, es de 40 toneladas.

#### **B.- Vehículos articulados de 5 o más ejes:**

- Vehículo motor con 2 ejes y con semirremolque de 3 ejes: 40 toneladas.
- Vehículo motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 ó 3 ejes: 40 toneladas.
- Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 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 toneladas.
- Vehículo motor de 2 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 toneladas.

*(DGT, Reglamentación sobre vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa, 2015, p. 19)*

En cuanto a la fuerza gravitatoria, se tomará el valor a nivel del mar:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

El coeficiente de rodadura ( $f$ ), depende del material de la rueda y el pavimento sobre el que se mueve ( $\mu_r$ ), así como del radio de la rueda ( $r_r$ ).

El coeficiente  $\mu_r$ , que depende del material de la rueda y del asfalto, se ha obtenido de la siguiente tabla:



Coeficiente de resistencia a la rodadura		
do	c <sub>1</sub> (mm)	
0,001 - 0,002	0,5	ruedas de acero sobre rieles de acero del ferrocarril
0,001		neumático de la bicicleta en la pista de madera
0,002 - 0,005		neumáticos sin cámara de baja resistencia
0,002		neumático de la bicicleta en el concreto
0,004		neumático de la bicicleta en la carretera de asfalto
0,005		raíles de tranvía sucios
0,006 - 0,01		neumático de camión en el asfalto
0,008		neumático de bicicleta de carretera asfaltada en bruto
0,01 - 0,015		neumáticos para automóviles ordinarios en hormigón, asfalto nuevo, adoquines pequeña nueva
0,02		los neumáticos para automóviles de alquitrán o asfalto
0,02		neumáticos de coche en la grava - rodó nueva
0,03		los neumáticos para automóviles de gran adoquines desgastados -
0,04 - 0,08		neumático del coche en la arena sólida, grava suelta desgastada, mediano suelo duro
0,2-0,4		neumático de automóvil en la arena suelta

**Tabla 4. Coeficiente de resistencia a la rodadura  $\mu_r$ .**

Fuente: [TheEngineeringToolbox](#)

Siendo  $\mu_r = 0,01$ .

El fabricante nos proporciona el tipo de neumático que utiliza el vehículo, por lo que a partir de la designación se obtiene el radio de la rueda ( $r_r$ ).

Designación neumático: 295 / 80 R 22,5.

El radio de la rueda, será el radio de la llanta más el ancho del neumático, siendo:

Radio de la llanta = 22,5 pulgadas = 0,571 metros

Ancho del neumático = 0,8 \* 295 = 0,236 metros

Radio rueda ( $r_r$ ) = 0,571 + 0,236 = 0,807 metros.

Por tanto, el coeficiente de rodadura (3) será:

$$f = \frac{0,010}{0,807} = 0,124$$



Finalmente, la resistencia a la rodadura del vehículo se obtendrá multiplicando masa, fuerza gravitatoria y coeficiente de rodadura:

$$R_r = 40000 * 9,81 * 0,124 = 4859,443 \text{ N}$$

Por otro lado, suponiendo un rendimiento mecánico del 90%, las pérdidas por transmisión mecánica serán de un 10% de la potencia máxima del vehículo. Según el fabricante, el vehículo desarrolla 456 CV a las 1800 revoluciones. Por tanto, las pérdidas por transmisión mecánica ( $R_{tr}$ ) son:

$$456 \text{ CV} = 456 * 735,498 = 335387,088 \text{ W} = 335,387 \text{ KW}$$

$$R_{tr} = 0,1 * 335387 = 33538,7 \text{ W} = 33,5387 \text{ KW}$$

Se obtiene la resistencia en forma de potencia, para transformarlo en una fuerza, dividimos el valor obtenido por la velocidad del vehículo.

Velocidad (Km/h) / (m/s)	$R_{tr}$ (N)
60 / 16,67	2012,32
90 / 25	1341,55
100 / 27,78	1207,39
120 / 33,34	1006,16

**Tabla 5. Conversión  $R_{tr}$  de potencia (W) a resistencia (N).**

La resistencia total al avance del vehículo ( $F_t$ ) será la suma de la resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y pérdidas por transmisión mecánica (4). Los valores para el cálculo de la resistencia total se toman de la tabla 2, el valor de resistencia a la rodadura y la tabla 5.

V (Km/h)	$F_t$ (N)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	7885,88	7943,86	7885,48
90	8354,45	8718,27	9373,18
100	9037,37	9156,16	9599,07
120	9873,37	10252,99	10782,08

**Tabla 6. Resistencia total al avance ( $F_t$ ).**



Una vez obtenida la fuerza total, se multiplica por la velocidad del vehículo, como se indica en la fórmula (6), para obtener la potencia necesaria por el motor para vencer las resistencias al avance.

V (Km/h)	P <sub>N</sub> (W)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	108769,74	109843,31	111618,96
90	200358,35	204909,13	223101,05
100	241670,36	245332,27	259002,46
120	328415,32	342475,14	362071,21

**Tabla 7. Potencia necesaria para vencer las resistencias al avance.**

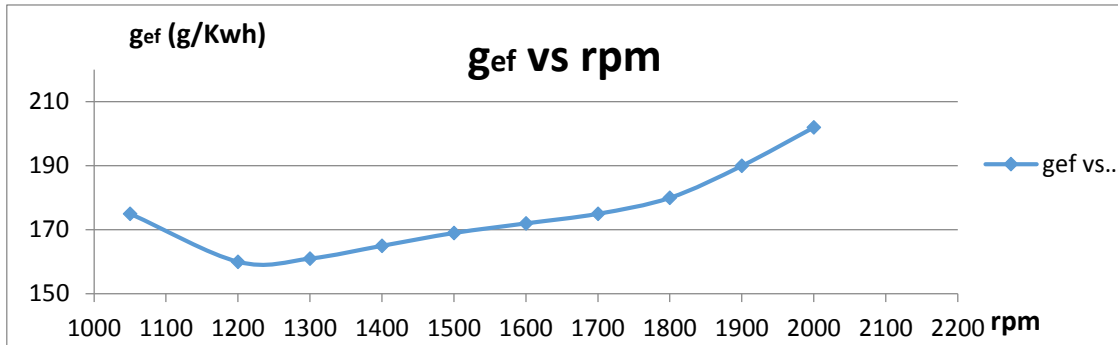
Realizando un cambio de unidades, se puede observar la potencia requerida por el motor en caballos de fuerza.

V (Km/h)	P <sub>N</sub> (CV)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	147,88	149,34	151,76
90	264,85	278,60	303,33
100	328,58	333,56	352,14
120	446,52	465,64	492,28

**Tabla 8. Conversión de unidades de potencia, vatios a caballos de vapor.**

Cabe destacar la potencia requerida al ir a 120 Km/h, con el camión cargado (40000 Kg), la cual es mayor a la potencia máxima que desarrolla el motor, 456CV, por lo que el vehículo no podría mantener dicha velocidad en recta. Solo con el conjunto de deflectores completo sería capaz de conservar algo de potencia y mantenerse en dicha velocidad. De todas formas, en España, la velocidad máxima permitida para estos vehículos es de 90 Km/h por autovías y autopistas, por lo que estos datos informan de lo que aumenta la necesidad de potencia a mayor velocidad, aunque no se alcance en un caso práctico.

Una vez obtenida la potencia necesaria para vencer las fuerzas que se oponen al avance, se continuará calculando el consumo que requiere el vehículo, para las distintas combinaciones y velocidades. Para ello, es necesario conocer el consumo específico del vehículo, dato proporcionado por el fabricante.



**Figura 40.** Consumo específico frente a revoluciones del motor.  
 Fuente. Grafico creado en Excel a partir de la ficha técnica del vehículo.

Como se observa en el gráfico, en el punto de máxima potencia, a las 1800 rpm, el consumo específico es de aproximadamente  $180 \text{ g/Kwh} = 0,18 \text{ Kg/Kwh}$ . Mediante las ecuaciones (7) y (8), se obtiene el consumo horario (B) de los diferentes modelos.

V (Km/h)	B (Kg/h)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	19,58	19,77	20,09
90	35,06	36,88	40,16
100	43,50	44,16	46,62
120	59,11	61,64	65,17

**Tabla 9.** Consumo horario de combustible.

Para relacionar consumo y distancia, se ha utilizado la ecuación (12), donde se obtendrá el consumo por metro de cada modelo y a las diferentes velocidades. Para ello, se divide el consumo horario entre el producto de la velocidad por tres mil seis cientos, con el fin de pasar de horas a segundos y así eliminar las unidades de tiempo (s). Este es un paso previo, ya que a partir de estos datos y con la densidad del combustible, se obtendrá el consumo en litros a los cien kilómetros mediante las ecuaciones (13) y (14).



V (Km/h)	B <sub>d</sub> (Kg/m)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	326,309*10 <sup>-6</sup>	329,530*10 <sup>-6</sup>	334,857*10 <sup>-6</sup>
90	389,607*10 <sup>-6</sup>	409,818*10 <sup>-6</sup>	446,202*10 <sup>-6</sup>
100	435,007*10 <sup>-6</sup>	441,598*10 <sup>-6</sup>	466,204*10 <sup>-6</sup>
120	492,623*10 <sup>-6</sup>	513,713*10 <sup>-6</sup>	543,107*10 <sup>-6</sup>

**Tabla 10. Consumo por metro recorrido.**

Los valores obtenidos son muy pequeños y no se encuentran en unidades que sean fácilmente visualizables, por lo que el siguiente paso será multiplicarlos por cien mil, como se observa en la ecuación (13) para obtener los kilogramos de combustible por cada cien kilómetros.

V (Km/h)	B <sub>d</sub> (Kg/100Km)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	32,630	32,953	33,485
90	38,960	40,981	44,620
100	43,500	44,159	46,620
120	49,262	51,371	54,310

**Tabla 11. Consumo en kilogramos a los cien kilómetros.**

Con estos valores ya puede deducirse la reducción en el consumo de combustible con la incorporación de deflectores, el mayor cambio se produce al incorporar los alerones básicos, ya que el consumo del modelo sin deflectores es el mayor, con diferencia. A medida que se incorporan un mayor número de deflectores, la reducción es mayor, aunque la diferencia entre el modelo con deflectores básicos y el que tiene los deflectores completos no es tan grande, por lo que habrá que analizar si la fabricación y montaje de un mayor número de deflectores compensa la reducción de combustible.

Finalmente, como el combustible se suministra en litros, se transformaran los valores, con la formula (14), en litros a los cien kilómetros, y así observar dicha reducción en unidades más comerciales.

Cabe destacar que la densidad del combustible se ha obtenido mediante análisis realizados por Repsol S.A., hoja que se adjunta con este proyecto, en la cual se ha obtenido un valor





de densidad de  $0,87 \text{ g/cm}^3$  para el combustible diesel, combustible que utiliza el vehículo utilizado para el modelo de los diferentes diseños.

V (Km/h)	B <sub>a</sub> (litros/100Km)		
	Completo	Básico	Sin Deflectores
60	35,16	35,55	36,18
90	42,68	45,09	49,41
100	48,08	48,86	51,78
120	54,93	57,43	60,92

*Tabla 12. Consumo en litros a los cien kilómetros.*

En la anterior tabla se puede observar la variación de consumo entre las diferentes configuraciones, pero para observar con mayor claridad la disminución del combustible, se ha creado la siguiente tabla, en donde se obtienen las diferencias, en porcentaje, entre los distintos modelos.

V (Km/h)	$\Delta B_a$ (%)		
	<b>Sin-Completo</b> <b>Modelo1-Modelo3</b>	<b>Sin-Básico</b> <b>Modelo1-Modelo2</b>	<b>Básico-Completo</b> <b>Modelo2-Modelo3</b>
60	2,81	1,75	1,08
90	13,61	8,75	5,33
100	7,16	5,65	1,60
120	9,85	5,73	4,36

*Tabla 13. Variación en porcentaje del consumo de combustible entre configuraciones.*

Como se ha comentado anteriormente, la velocidad influye significativamente en la resistencia aerodinámica y por consiguiente, en el consumo de combustible del vehículo, con mayor relevancia si son vehículos de transporte de mercancías, en los que la masa es mucho mayor que en un turismo, como en el caso que se estudia en este proyecto, cuya masa es de 40 toneladas, mientras que un turismo puede estar sobre las 1,5-2,5 toneladas. Como se aprecia en la Tabla 11, el consumo aumenta de forma drástica a medida que aumenta la velocidad del vehículo.



Por otro lado, a medida que la velocidad aumenta, el efecto de los deflectores es mayor, por lo que el consumo de las configuraciones con deflectores es menor y por tanto la diferencia de consumo entre las configuraciones también, como se aprecia en la Tabla 12.

Esto es lógico, ya que los elementos aerodinámicos añadidos se diseñan con la geometría necesaria para canalizar el aire y facilitar el paso del vehículo a través del mismo, si esto no fuera así, solo serían apéndices estéticos añadidos al vehículo que añadirían peso al mismo.

Cabe destacar, la diferencia entre los dos modelos con deflectores y el sin ningún deflector (Sin-Completo / Sin-Básico) cuando el vehículo se mueve a 90 Km/h, la cual es la mayor para los casos analizados, al contrario de lo expuesto en el párrafo anterior, no aumenta con la velocidad, sino que se obtiene la máxima diferencia en este punto. Esta irregularidad es debida a que la velocidad afecta de manera significativa en la resistencia aerodinámica y por tanto, como se ha comentado, a mayor velocidad mayor efecto de los deflectores, pero mayor resistencia aerodinámica, por lo que existe un punto máximo en el que el efecto de los deflectores es mayor que la resistencia que provoca la velocidad y a partir de este, la resistencia aerodinámica aumenta considerablemente por la velocidad del vehículo y aunque los deflectores compensen parte de esta, la resultante es menor debido al gran aumento de la resistencia, mayormente a causa de la velocidad. Para explicar esto con mayor detalle, pongamos un ejemplo:

En la Tabla 1 se observan los valores de resistencia del aire o resistencia aerodinámica obtenida en los diferentes análisis realizados sobre los distintos modelos. Para un mismo modelo, el "Sin Deflectores" por ejemplo, se observa como aumentando la velocidad del vehículo, manteniendo constante otros parámetros como densidad del aire o área frontal, la resistencia producida por el aire puede llegar incluso a duplicar su valor, a 60 Km/h el valor es de 1167 N mientras que a 90 Km/h es de 3172 N. En cambio, la adición de deflectores, comparando "Sin Deflectores" y "Deflectores Completo" a la misma velocidad, puede observarse como la reducción de resistencia producida por el aire es menor que la que se produce al aumentar la velocidad en un mismo modelo, a 60 Km/h la diferencia entre llevar deflectores y no llevarlos es de algo más de 100 N y a 90 Km/h es de algo más de 800 N. Con esto, se quiere expresar que en vehículos de una masa tan grande, el aumento de velocidad afecta enormemente al avance del vehículo, y aunque se incorporen deflectores, la eficiencia cae en picado si la velocidad es alta.



Como curiosidad, exponer que los valores 100 Km/h y 120 Km/h se han obtenido como elemento informativo, para tener un mayor rango de resultados y del efecto que los deflectores realizan sobre los modelos, ya que este tipo de vehículos, en España, tienen prohibido circular a más de 90 Km/h, por lo que los resultados obtenidos para 90 Km/h, los cuales son los más favorables, también son los que serían aplicados a una situación real, un tráiler de 40 toneladas transportando mercancías a través de una autovía o autopista.

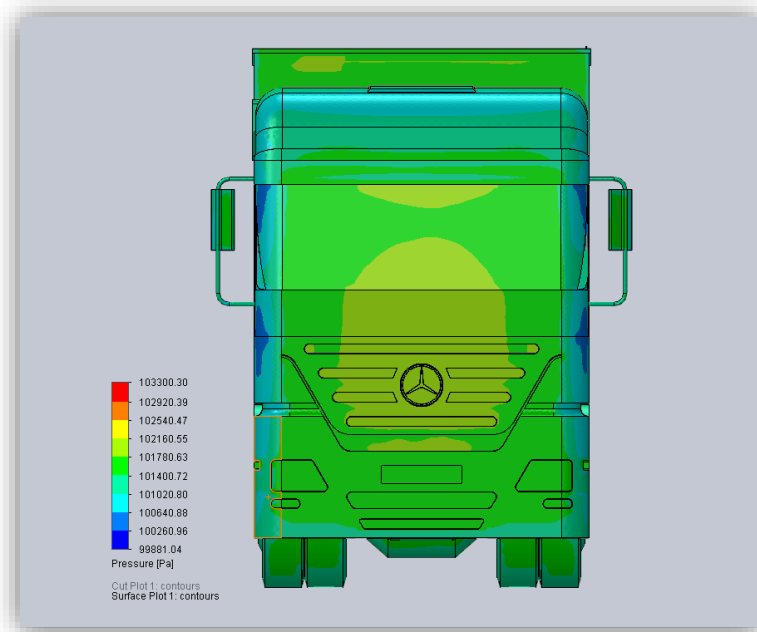
Resumiendo la Tabla 13, se observa como la mayor reducción en el consumo de combustible se produce a los 90 Km/h, por lo expuesto anteriormente, entre los modelos con deflectores y el modelo sin nada, siendo dicha reducción de un 8,75% entre no llevar deflectores y llevar los básicos y de un 13,61% en el caso de los deflectores completos. Por otro lado, comparando los dos modelos que incorporan deflectores, la reducción de combustible es similar a lo anteriormente mencionado, siendo mayor en el caso de los deflectores completos, un 2,40% a 90Km/h y de un 4,36% a 120Km/h.

Una vez obtenidos y analizados los resultados proporcionados por el software, se expondrán y analizarán las imágenes obtenidas, para comprobar de manera gráfica los resultados anteriormente comentados, así como verificar donde se producían las mayores pérdidas y como se han subsanado.

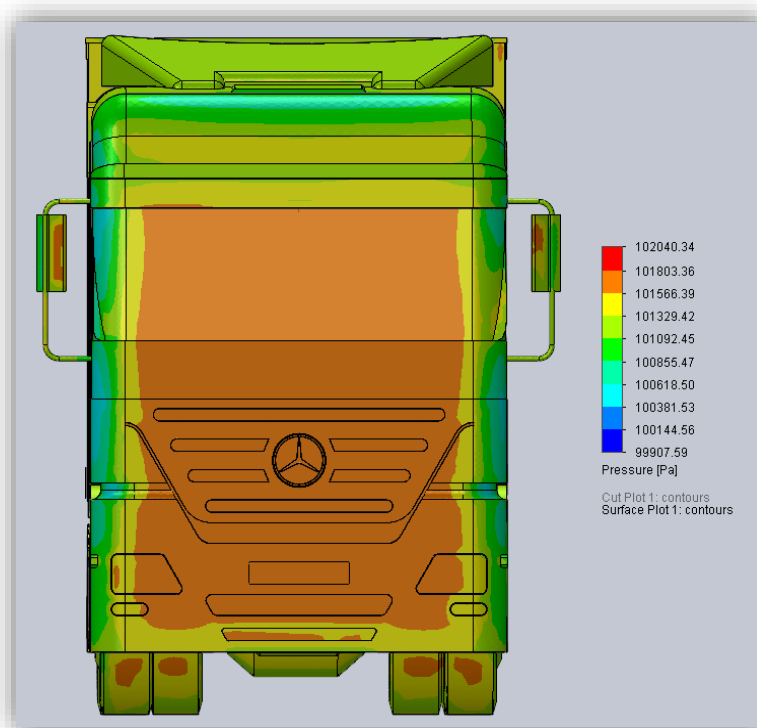
Se han obtenido diferentes tipos de imágenes, contornos coloreados, cortes de sección y trayectorias del fluido. Los contornos coloreados nos proporcionan valores de presión en el sólido, mostrando que parte del sólido está sometida a una mayor presión, y por tanto a un mayor esfuerzo. Los cortes de sección nos muestran el sólido en 2D, y así mostrar las líneas del fluido así como su valor en la dirección deseada. Las trayectorias del fluido nos proporcionan una muestra visual del recorrido del fluido a través del sólido, en 3D, así como su velocidad.

Como se han analizado los tres modelos a distinta velocidad, se han obtenido decenas de imágenes, las cuales no se incluirán en su totalidad en este documento, debido a que sería redundante, se adjuntarán en el proyecto, por si fueran necesarias para realizar comprobaciones. Por este motivo, a continuación se mostrarán las imágenes de los tres modelos a 90Km/h, por las razones anteriormente expuestas, y a partir de ellas, se extraerán las conclusiones pertinentes.

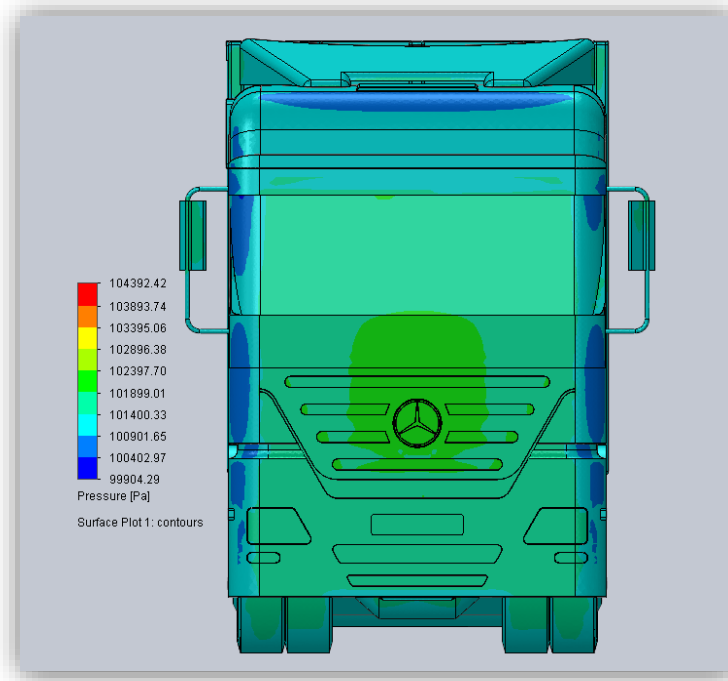
### 8.3 Contornos coloreados.



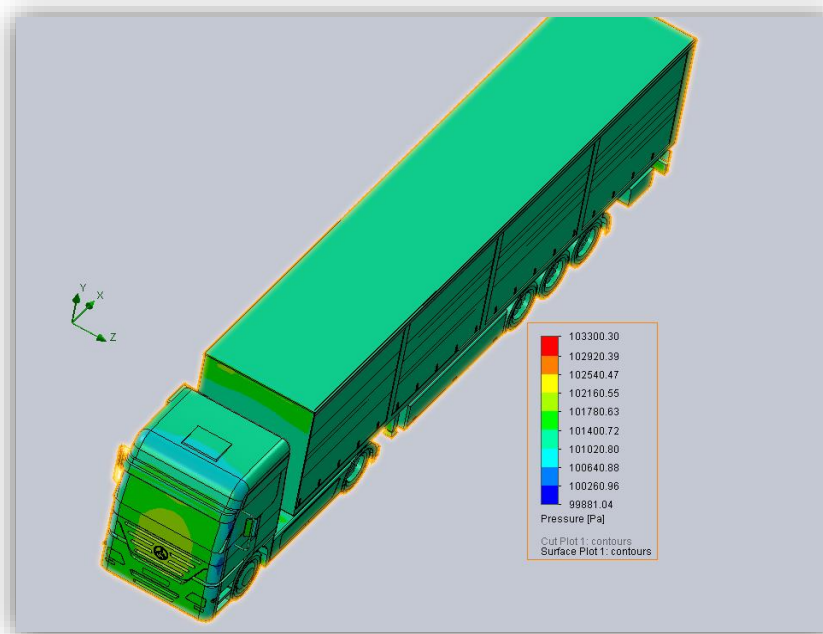
**Figura 41. Modelo 1, vista frontal**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



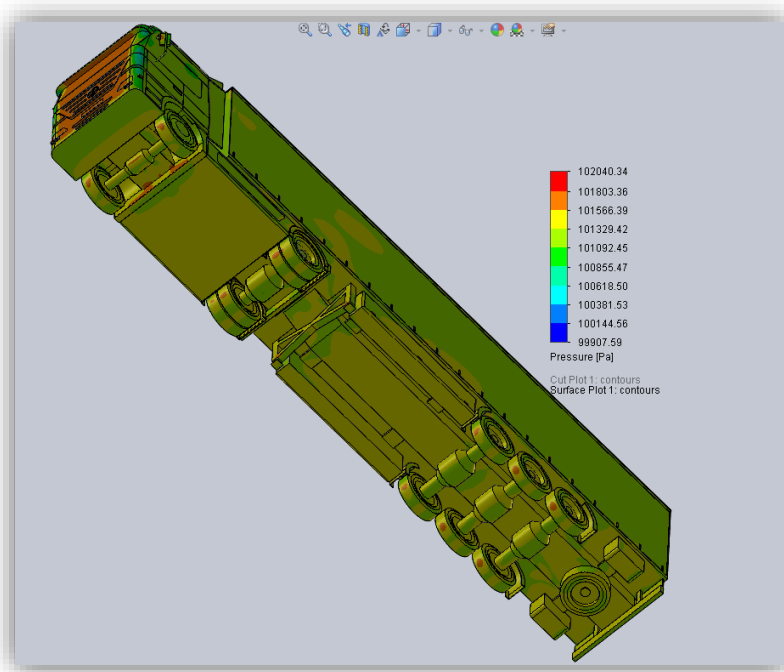
**Figura 42. Modelo 2, vista frontal**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



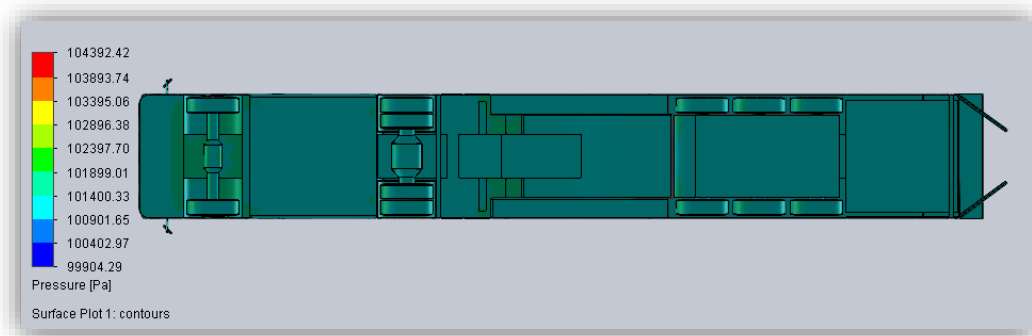
**Figura 43. Modelo 3, vista frontal.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



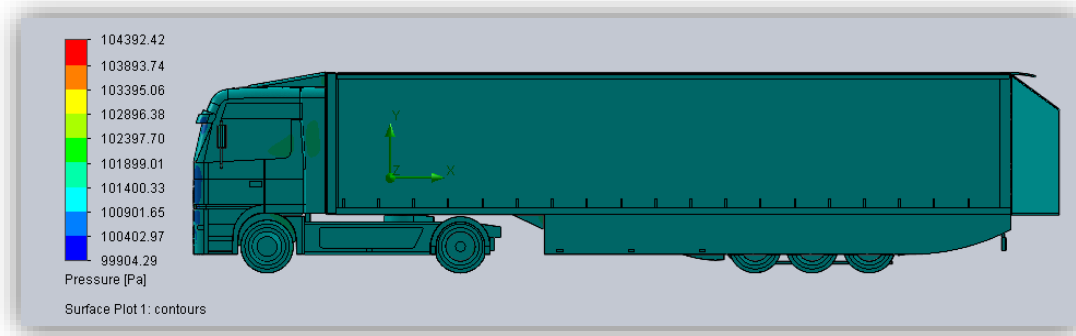
**Figura 44. Modelo 1, vista isométrica.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 45. Modelo 2, vista inferior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



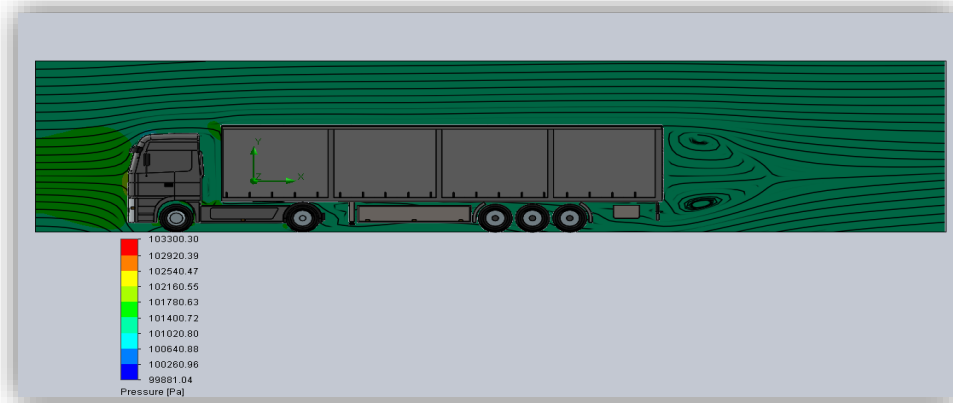
**Figura 46. Modelo 3, vista inferior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



**Figura 47. Modelo 3, vista lateral.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**

En cuanto a las imágenes, se observa cómo a medida que se añaden deflectores al modelo, la presión máxima decrece, por lo que la fuerza ejercida sobre el modelo también, resultando en una menor resistencia aerodinámica y por tanto en un mejor paso a través del fluido.

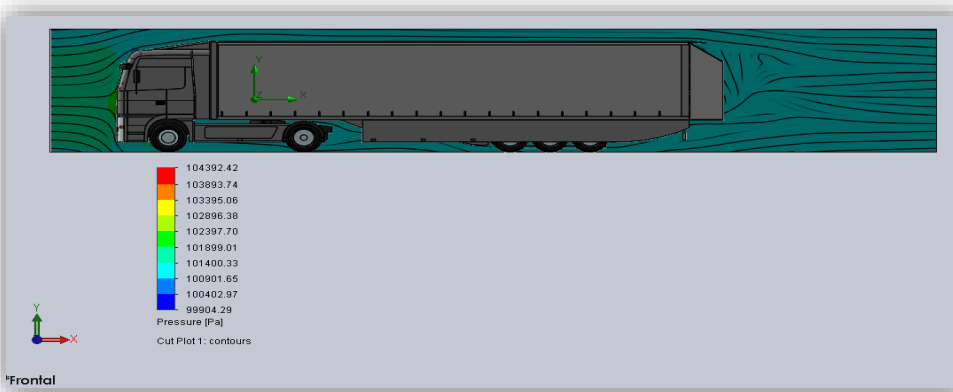
## 7.4 Corte de sección.



**Figura 48.** Modelo 1, presión, vista lateral.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 49.** Modelo 2, presión, vista lateral.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 50.** Modelo 3, presión, vista lateral.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015





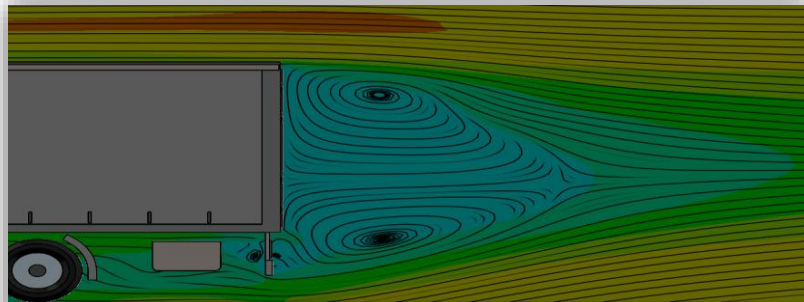
**Figura 51. Modelo 1, velocidad, vista lateral.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



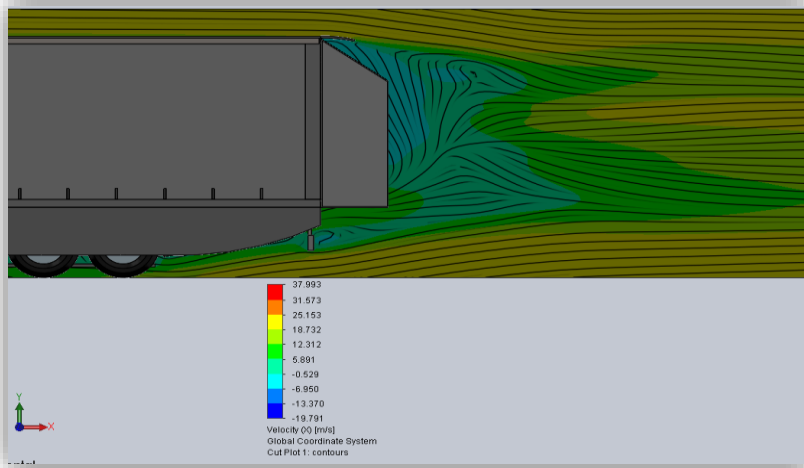
**Figura 52. Modelo 2, velocidad.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



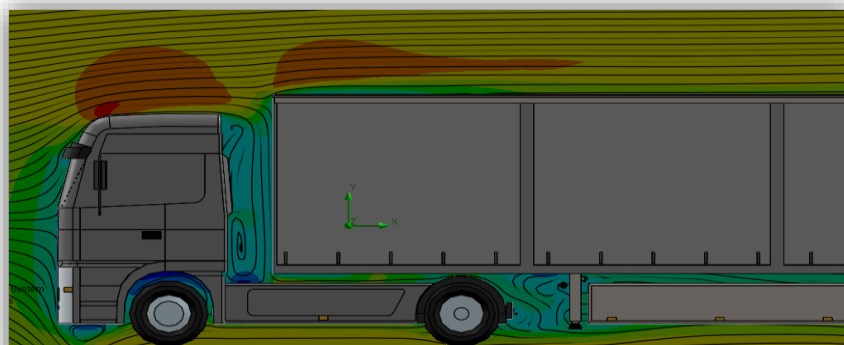
**Figura 53. Modelo 3, velocidad.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



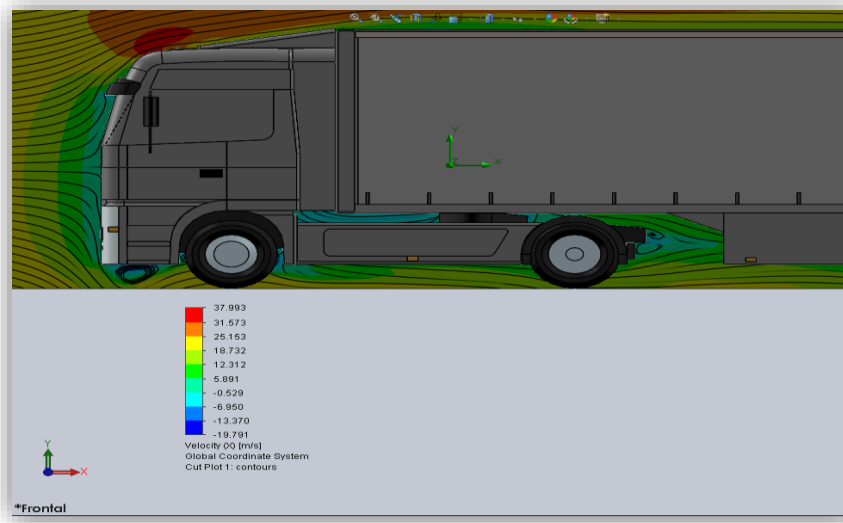
**Figura 54. Modelo 1, velocidad, detalle A.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 55. Modelo 3, velocidad, detalle A**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 56. Modelo 1, velocidad, detalle B.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



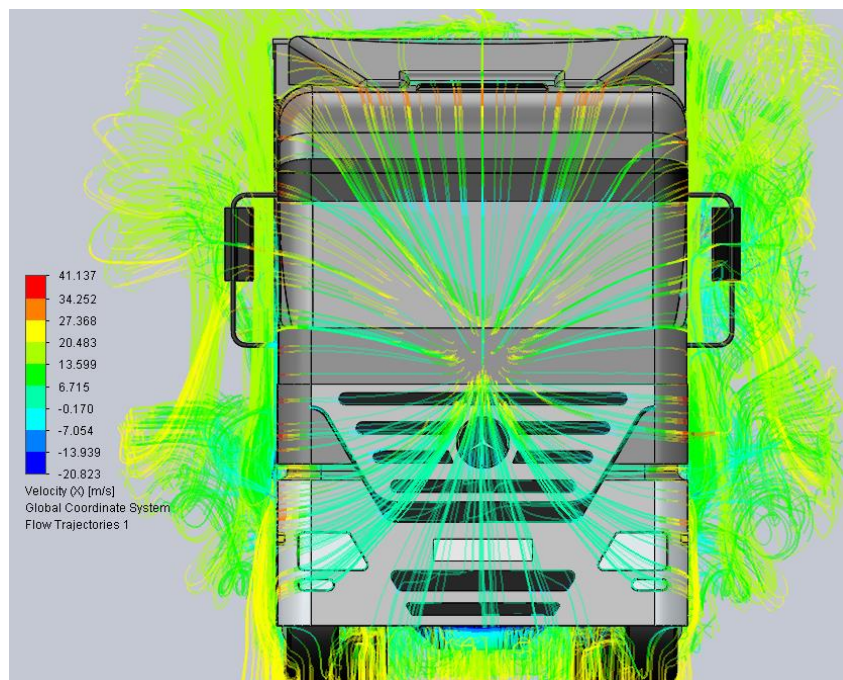
**Figura 57. Modelo 3, velocidad, detalle A.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**

Como se ha observado en las imágenes de contornos y verificado por los cortes de sección, la presión del modelo disminuye a medida que se incorporan deflectores, ya que estos facilitan el paso del fluido a través del modelo. Además, se observa una disminución de los vórtices generados por el aire en la parte trasera del vehículo, así como en la conexión cabina-remolque, y por tanto se incrementa el flujo laminar del fluido en dichas zonas, reduciendo la fuerza de succión generada en la parte trasera, la cual ejerce como resistencia, atrayendo el vehículo hacia atrás y generando un mayor consumo de combustible para vencerlas.

## 7.5 Trayectorias del fluido.



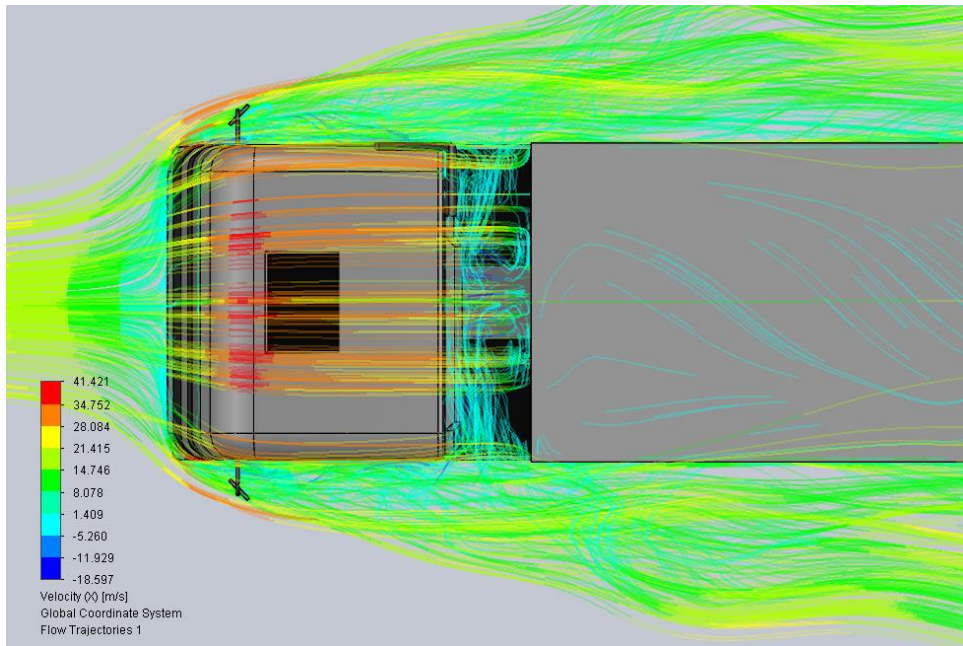
**Figura 588. Modelo 1, vista frontal.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



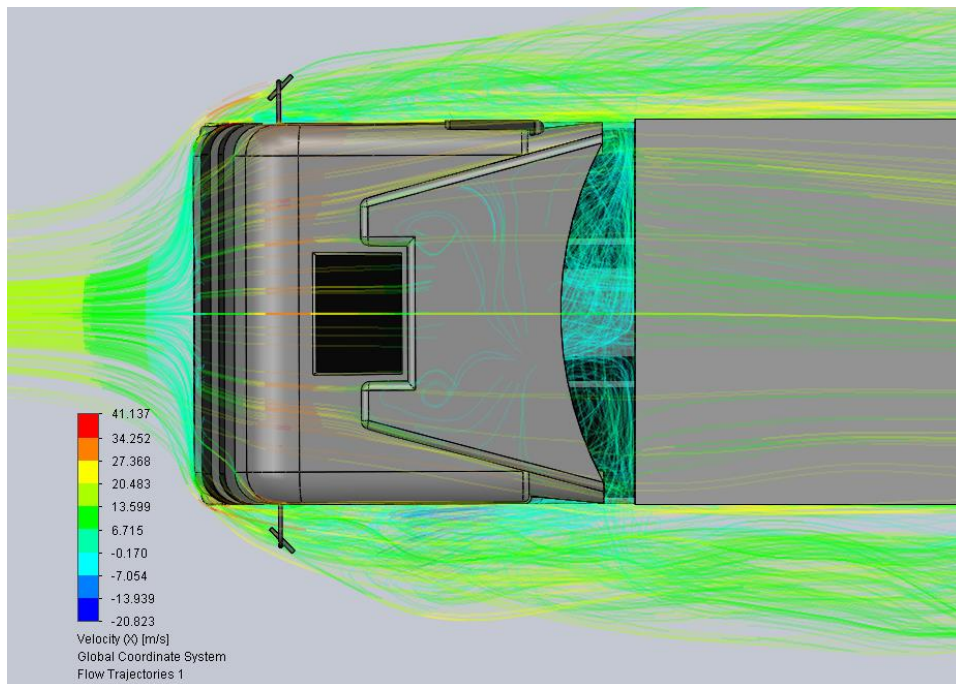
**Figura 59. Modelo 2, vista frontal.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



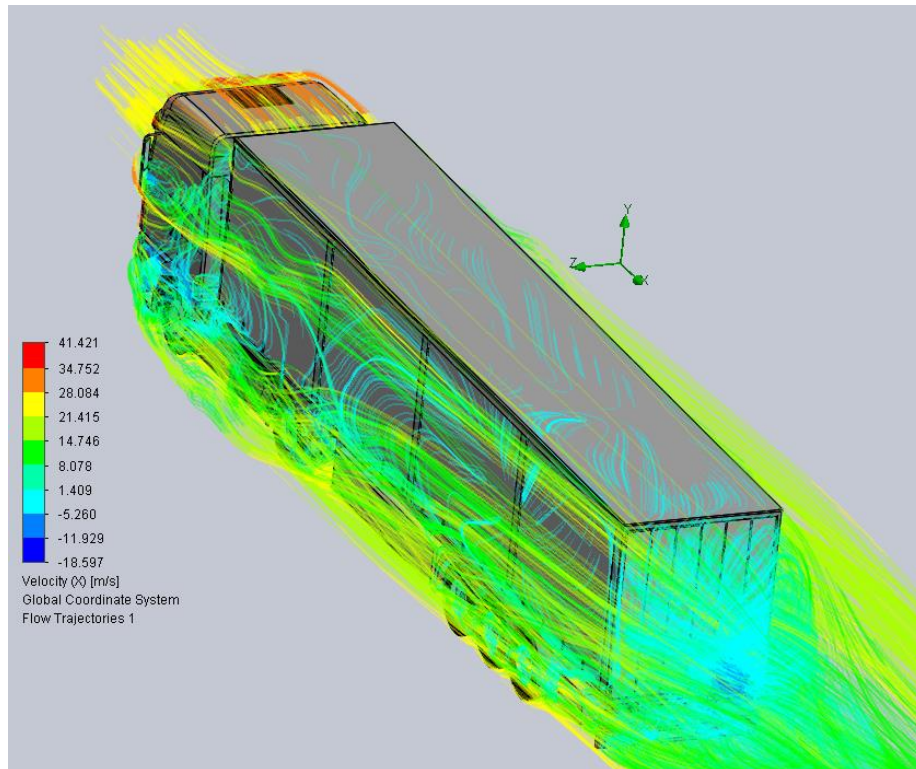
**Figura 60.** Modelo 3, vista frontal.  
**Fuente.** Imagen creada con SolidWorks 2015



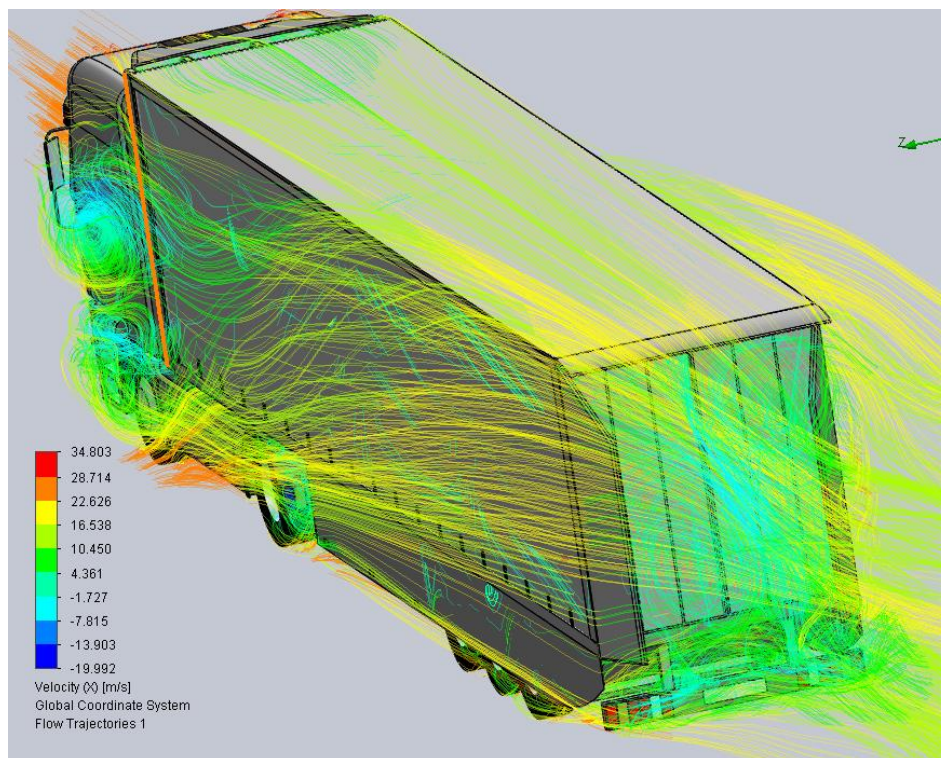
**Figura 61. Modelo 1, vista superior delantera.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



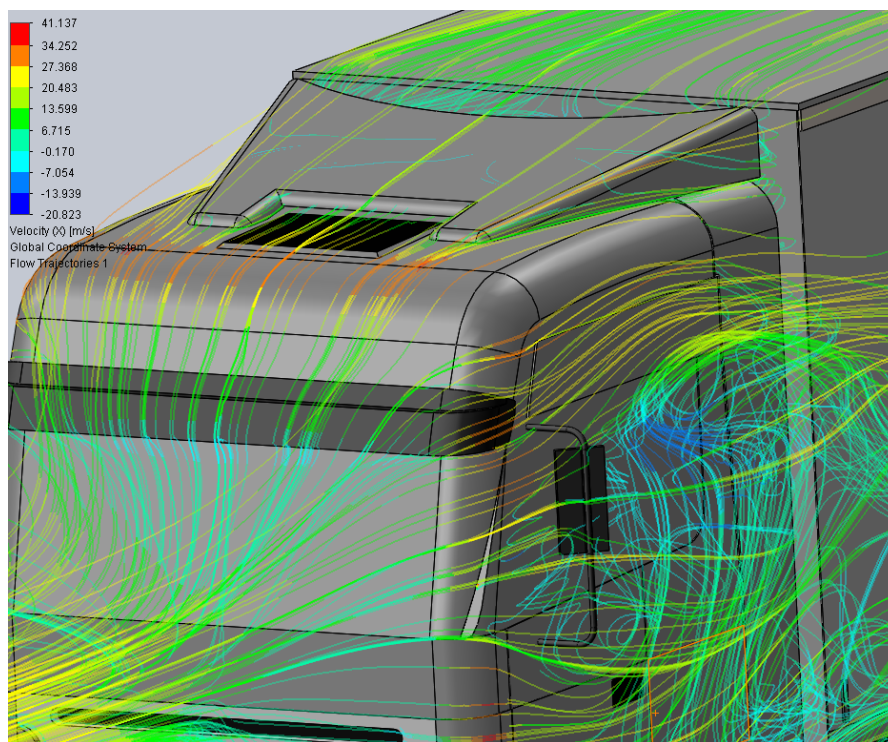
**Figura 62. Modelo 2, vista superior delantera.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



**Figura 63. Modelo 1, isométrica.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

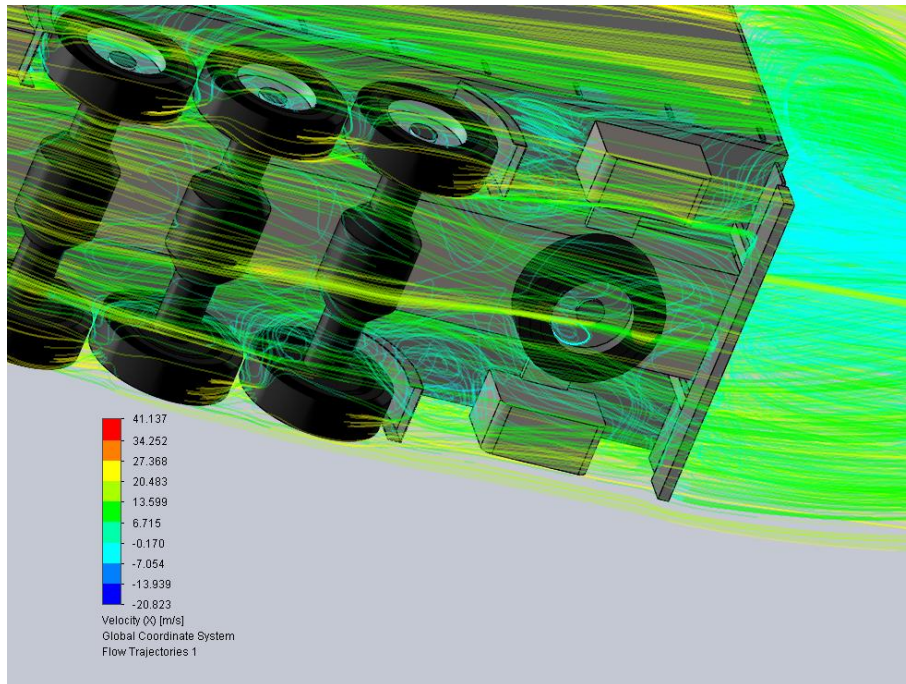


**Figura 64. Modelo 3, vista isométrica.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

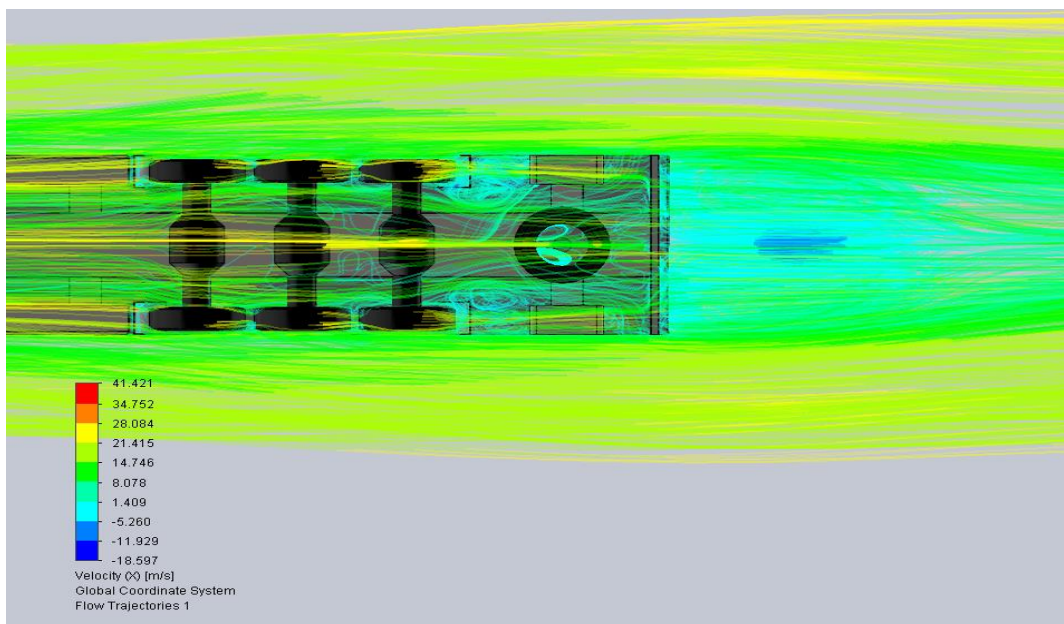


*Figura 65. Modelo 2, detalle deflectores.*  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

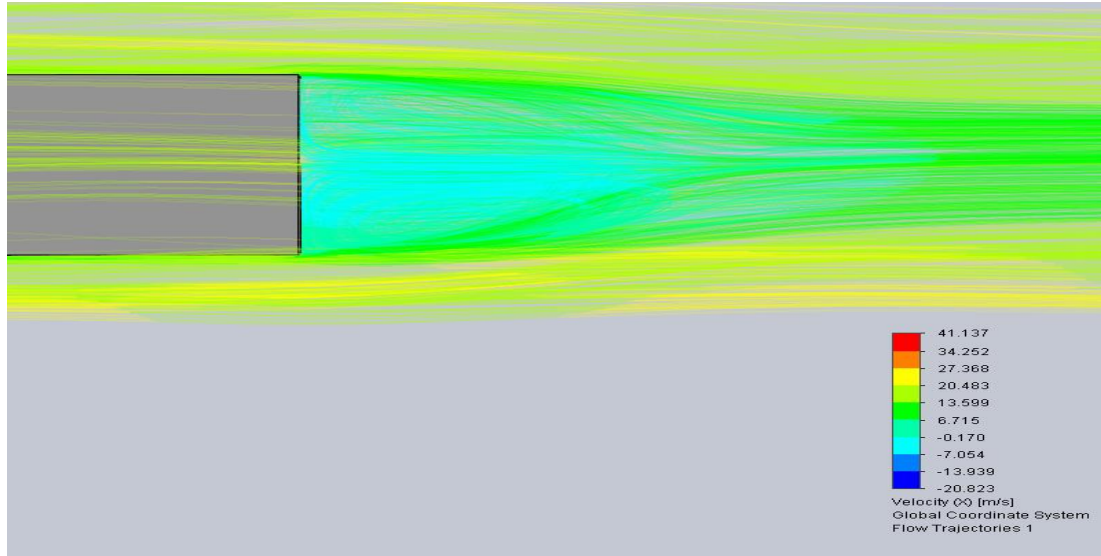




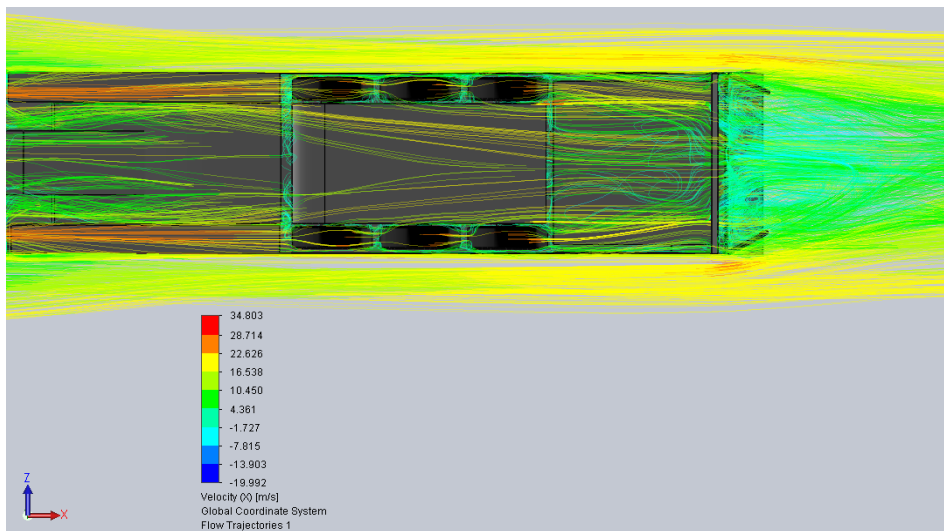
**Figura 66. Modelo 2, detalle posterior.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



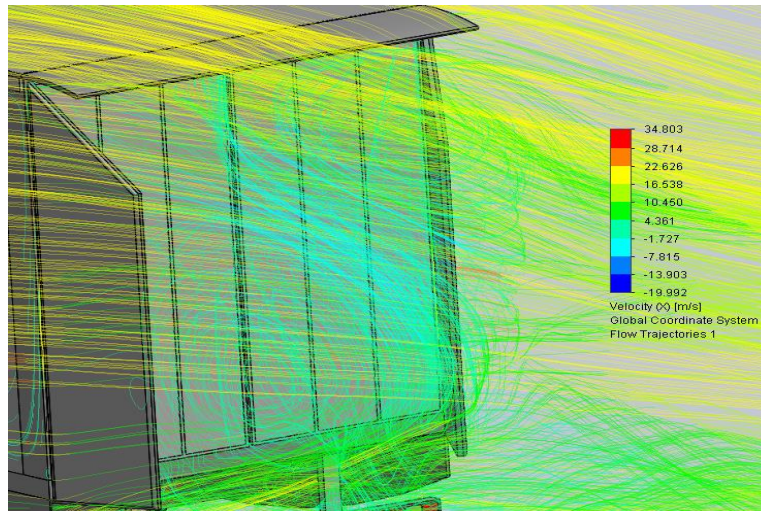
**Figura 67. Modelo 1, vista superior trasera.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



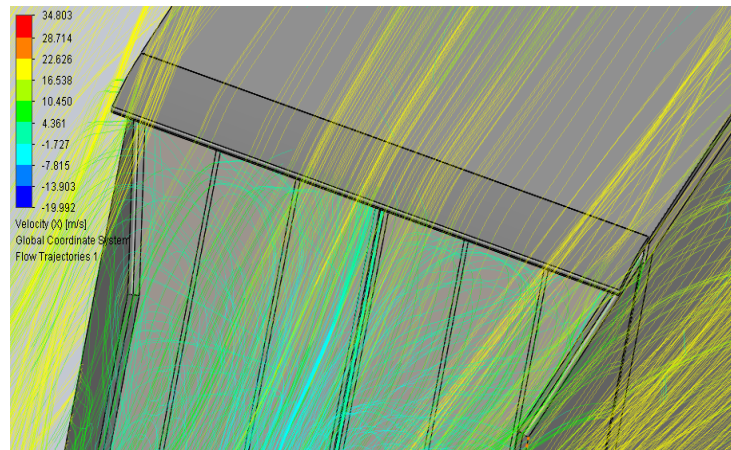
**Figura 68. Modelo 2, vista superior posterior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



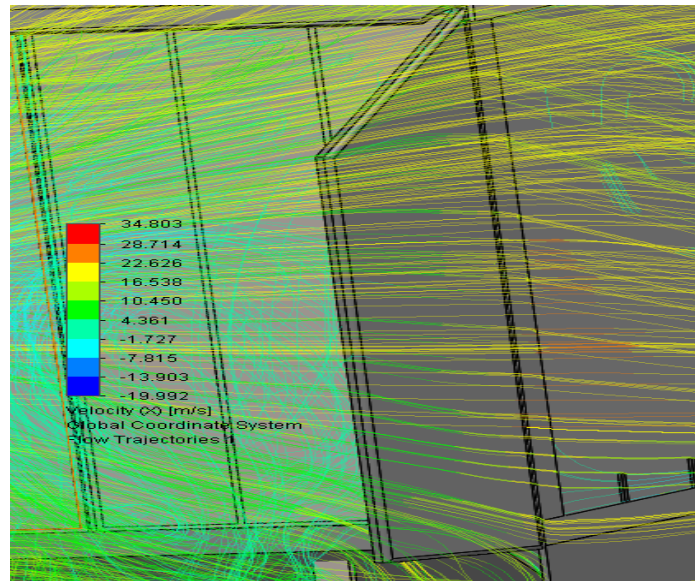
**Figura 69. Modelo 3, vista inferior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



**Figura 70. Modelo 3, vista posterior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**



**Figura 71. Modelo 3, deflector superior.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**

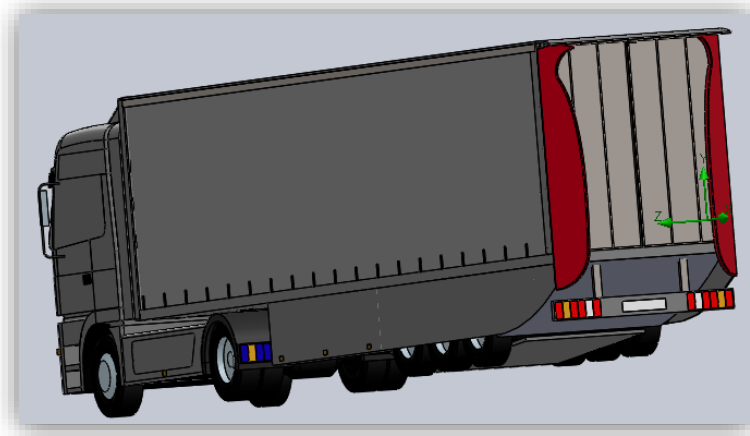


**Figura 72. Modelo 3, Deflector Lateral.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

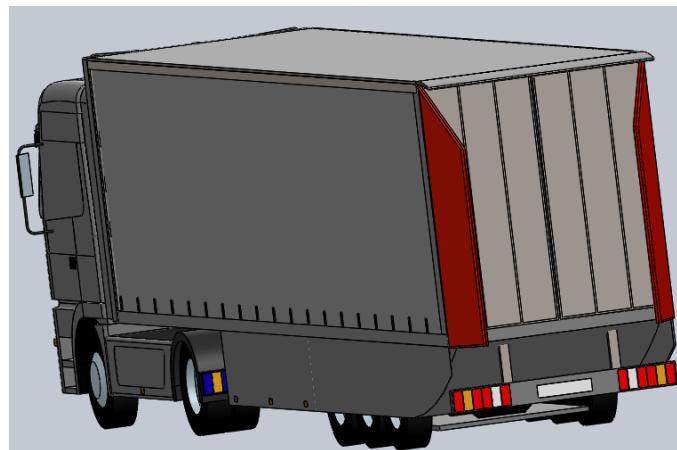
Las trayectorias del fluido nos dan una información similar a los cortes de sección pero observando tres dimensiones, lo que nos proporciona información de cómo atraviesa el fluido los laterales del vehículo, así como el ancho de las turbulencias generadas en la parte trasera del vehículo. Se observa una disminución del ancho de las turbulencias a medida que se incorporan deflectores, esto reduce la fuerza de succión anteriormente mencionada. Además, el flujo que atraviesa los laterales del vehículo se vuelve más laminar, suavizando la trayectoria de este y por tanto, mejorando el paso a través del fluido.

## 7.6. Modelo 4.

Como complemento, añadir que se ha realizado un cuarto modelo, similar al de los deflectores completos, reduciendo la sección de algunos deflectores, sobretodo en la parte trasera con la intención de reducir el coste de material manteniendo el consumo.



**Figura 73. Modelo con Deflectores Completos Recortados (Modelo 4).**  
 Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 74. Modelo con Deflectores Completos (Modelo 3).**  
 Fuente: Imagen creada con SolidWorks 2015.

<b>Deflectores Recortados. (Modelo 4)</b>		
<b>V (Km/h)</b>	<b>Ra (N)</b>	<b>Bd (litros/100Km)</b>
60	1110,138	35,8
90	2387,78	44,23
100	3053,824	48,63
120	4979,629	61,34

**Tabla 14. Resistencia y consumo del modelo 4.**

Como se puede observar en la tabla 12, el resultado no ha sido el esperado, ya que la resistencia aerodinámica ha aumentado en comparación al modelo con deflectores completos, tabla 1, y por tanto, el consumo también. Por estas razones, esta variante del modelo con deflectores completos ha sido descartada de los anteriores análisis.



## 9. NORMATIVA

La normativa aplicable en este proyecto, se ha obtenido de la dirección general de tráfico (DGT), siendo el documento "Reglamentación de vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa." edición del 2015, el cual se adjunta en al final del proyecto.

En dicho documento se pueden encontrar las dimensiones máximas admisibles para un vehículo de condiciones similares al utilizado en este proyecto, así como su masa máxima admisible (MMA).

En modelo a analizar es un Mercedes Actros, el cual la cabeza tractora dispone de 2 ejes siendo uno de ellos motriz y el otro directriz, distribución 4x2. En cuanto al semirremolque, dispone de 3 ejes, sin tracción. En total, el vehículo dispone de 5 ejes, dos en la cabeza tractora y 3 en el semirremolque.

### “B.- Vehículos articulados de 5 o más ejes:

- Vehículo motor con 2 ejes y con semirremolque de 3 ejes: 40 toneladas.
- Vehículo motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 ó 3 ejes: 40 toneladas.
- Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 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 toneladas.
- Vehículo motor de 2 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 toneladas.”

*(DGT, Reglamentación sobre vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa (2015))*

La masa máxima autorizada (MMA) para este tipo de vehículos es de 40 toneladas, ya que el vehículo motor es de dos ejes. A esta MMA habrá que restarle el peso de los deflectores y así obtener cuanta capacidad de carga se pierde debido a su peso.

En cuanto a la longitud máxima permitida, se puede encontrar en el siguiente apartado:



## **2.3 DIMENSIONES MÁXIMAS AUTORIZADAS A LOS VEHÍCULOS PARA PODER CIRCULAR, INCLUIDA LA CARGA.**

### **2.3.1 Longitud máxima.**

- A) Vehículos de motor, excepto autobuses: 12,00 metros.
- B) Remolques; 12,00 metros.
- C) Vehículos articulados, excepto autobuses articulados: 16,50 metros.
- D) Semirremolques:
  - La distancia máxima entre el eje del pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque: 12,00 metros.
  - La distancia entre el eje del pivote de enganche y un punto cualquiera de la parte delantera del semirremolque, horizontalmente: 2,04 metros.

(DGT, 2015, p. 20)

Al considerarse un vehículo articulado, su longitud máxima es de 16,5 metros.

El modelo analizado tiene una longitud de 16,4 metros de longitud, más 0,6 metros por los deflectores traseros, los cuales al ser montados con inclinación, solo añaden 0,3 metros al vehículo, superando la normativa vigente. A falta de una legislación común, divulgada por la Comunidad Europea (CE), para los diferentes países que la conforman cada país ha aplicado su propia normativa. En el caso de España, desde agosto de 2014 se permiten apéndices aerodinámicos de hasta 75 cm de longitud instalados en la parte trasera de los semirremolques. Por tanto, el modelo cumple la normativa en cuanto a longitud máxima, siendo de 16,7 metros, pudiendo alcanzar los 7,25 metros.

En cuanto a la anchura y altura del vehículo, la normativa se encuentra en el siguiente documento:

### **2.3.2 Anchura máxima.**

- La anchura máxima autorizada, como regla general: 2,55 metros.
- Superestructuras de vehículos acondicionados (un vehículo acondicionado es cualquier vehículo cuyas 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, incluida el aislamiento, sea de 45mm como mínimo): 2,60 metros.

- Autobuses especialmente acondicionados para el traslado de presos (se entiende por vehículo tipo autobús, especialmente acondicionado para el traslado de presos, el constituido por un compartimento central para celdas separado del delantero (conducción y escolta) y trasero (escolta), así como por un pasillo central): 2,60 metros.

(DGT, 2015, p. 21)

### **2.3.3 Altura máxima.**

- La altura máxima, incluida la carga: 4,00 metros.
- Altura máxima de los autobuses de la clase I (urbanos): 4,20 metros.
- Altura máxima de los siguientes vehículos, incluida la carga: 4,50 metros.
  - Portavehículos, camiones rígidos y conjuntos de vehículos (trenes de carretera y vehículos articulados) cuando estén especializados en el transporte de vehículos).
  - Vehículos grúa: los destinados a la retirada de vehículos accidentados o averiados.
  - Vehículos que transportan contenedores cerrados homologados para el transporte combinado o intermodal.

(DGT, 2015, p. 21-22)

Al no cumplir las condiciones especiales en ninguna de las dos medidas, se aplicará la regla general para ambas, siendo la anchura máxima de 2,55 metros y la altura máxima de 4 metros.

El modelo original cumple las normativas, teniendo una altura total de 3,98 metros de altura y 2,30 metros de anchura.

Por último, en cuanto a la señalización obligatoria en dichos vehículos, vehículos de gran longitud destinados al transporte de mercancías, no habría conflicto con la posición o longitud de los deflectores instalados.





## 10. MATERIALES

En este apartado se escogerán los materiales de los deflectores, los cuales deben ser resistentes, rígidos y lo más ligeros posibles. Además, se obtendrá la cantidad de material necesario, su peso y coste del material.

En primer lugar, se escogerá el material y el proceso de fabricación de los deflectores. En cuanto al material, se ha realizado una comparación entre dos materiales, los cuales se ha creído son los más indicados para la función a desempeñar.

Para que los deflectores cumplan su función de dirigir el fluido a través del vehículo deben ser rígidos, ya que si no variarían su posición y por tanto su eficiencia, resistentes, deben soportar los esfuerzos que el viento produce sobre ellos así como las posibles vibraciones del vehículo, así como tener un peso relativamente bajo, ya que el peso añadido por los deflectores será reducido de la carga útil que puede transportar el vehículo, siendo la masa máxima autorizada por ley constante y por tanto invariable.

Los materiales escogidos que cumplen con estas características son los materiales compuestos y el aluminio, de los cuales se hará una pequeña introducción para después explicar brevemente sus características mecánicas y las principales diferencias entre ellos.

Los materiales compuestos o composites son uno de los desarrollos en materiales más importantes del siglo XX. Aquellos con mayor rigidez y resistencia se fabrican con fibras continuas, mayormente de vidrio, carbono y kevlar, incrustados en una resina termoestable (poliéster o epoxi). Las fibras son responsables de la rigidez y resistencia actuando la matriz como distribuidor de esfuerzos y proporcionando ductilidad y tenacidad, así como protección a las fibras de los daños causados por la manipulación o el medio ambiente. Es el material de la matriz quien limita la temperatura de servicio y las condiciones de procesamiento. Los composites de vidrio y poliéster (GRP) son los más baratos y con mucho, los más utilizados. El GFRP de alto rendimiento utiliza fibras continuas mientras que los que utilizan fibras de vidrio cortadas son más baratos y se utilizan en cantidades mucho más grandes.

El aluminio es la base de las más importantes aleaciones ligeras, en segundo lugar en uso solamente detrás del acero en cuanto a su volumen de uso. Cuando se usa en estado puro es muy dúctil y resistente a la corrosión.

El aluminio puro tiene una conductividad térmica y eléctrica de alrededor del 60% de la del cobre y es solo una tercera parte más denso. La serie 5000, la cuál será la propuesta para este proyecto, es una aleación de aluminio que utiliza hasta un 5% de magnesio, se encuentra entre las más rígidas y resistentes de las aleaciones de aluminio.

Concretando los materiales, los dos propuestos para la fabricación de deflectores para vehículos son los presentados a continuación:

- Material compuesto, formado por resina de poliéster y fibra de vidrio (GFRP), el cual tiene una densidad menor a los metales, y por tanto un menor peso con el mismo volumen. Su rigidez y resistencia es alta, por lo que se convierte en una buena opción para la fabricación de deflectores. Además, se puede obtener un buen acabado superficial, así como el color deseado sin necesidad de operaciones posteriores. En contraposición, su precio es mayor al de la mayoría de los metales, no es posible su reciclaje y su fabricación es más costosa y requiere de un mayor tiempo que la de otros materiales, como el aluminio.

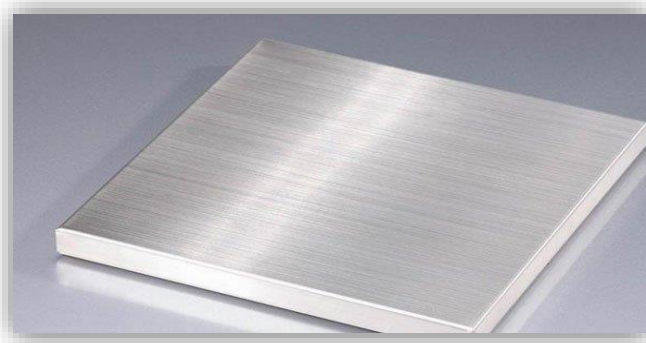


*Figura 75. Ejemplo de tuberías realizadas con GFRP.*

- Aleación de aluminio, concretamente aluminio forjado de la serie 5083. Tiene una alta dureza, así como resistencia mecánica y tenacidad, lo que le permite crear piezas con poco espesor que resistan los esfuerzos. Esta serie usa como principal elemento aleante el magnesio y a veces también se añaden pequeñas cantidades

de Mn cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio. El magnesio es un elemento que endurece más el aluminio que el manganeso (un 0.8 de magnesio produce el mismo efecto que un 1.25 de manganeso) y además se puede añadir más cantidad de magnesio que de manganeso.

Las principales características de estas aleaciones son una media a alta dureza por endurecimiento por deformación, buena soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y una baja capacidad de trabajo en frío.



**Figura 76. Ejemplo de Aluminio serie 5083.**  
 Fuente. [LinkedIn](#) (© 2015)

Las características mecánicas de ambos materiales, proporcionadas por el CES 2016 se muestran a continuación:

Aluminio serie 5083.

**Mechanical properties**

Young's modulus	ⓘ	70	-	73,6	GPa
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	110	-	131	MPa
Tensile strength	ⓘ	248	-	283	MPa
Elongation	ⓘ	12	-	16	% strain
Compressive strength	ⓘ	* 124	-	228	MPa
Flexural modulus	ⓘ	* 70	-	73,6	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	ⓘ	110	-	131	MPa
Shear modulus	ⓘ	23	-	27	GPa
Bulk modulus	ⓘ	69	-	72,5	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	0,33	-	0,343	
Shape factor	ⓘ	39			
Hardness - Vickers	ⓘ	71,3	-	78,8	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	ⓘ	* 63,6	-	66,7	MPa
Fatigue strength model (stress range)	ⓘ	* 57,1	-	74,3	MPa

**Figura 77. Propiedades mecánicas del Aluminio 5083.**  
 Fuente. Ces EduPack 2016.

GFRP (Poliéster reforzado con fibra de vidrio).

**Propiedades mecánicas**

Modulo de Young	ⓘ	9	-	14	GPa
Modulo a cortante	ⓘ	* 3,6	-	6	GPa
Módulo en volumen	ⓘ	* 10	-	13	GPa
Coefficiente de Poisson	ⓘ	0,33	-	0,35	
Límite elástico	ⓘ	50	-	90	MPa
Resistencia a tracción	ⓘ	60	-	100	MPa
Resistencia a compresión	ⓘ	240	-	310	MPa
Elongación	ⓘ	2,5	-	3,2	% strain
Dureza-Vickers	ⓘ	* 15	-	25	HV
Resistencia a fatiga para $10^7$ ciclos	ⓘ	* 20	-	36	MPa
Tenacidad a fractura	ⓘ	* 5	-	13	MPa.m <sup>0.5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	ⓘ	* 0,005	-	0,008	

**Figura 78. Propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante SMC.**  
 Fuente. Ces EduPack 2016.

**Propiedades mecánicas**

Modulo de Young	ⓘ	12	-	14	GPa
Modulo a cortante	ⓘ	* 3,9	-	6	GPa
Módulo en volumen	ⓘ	* 12	-	14	GPa
Coefficiente de Poisson	ⓘ	0,33	-	0,35	
Límite elástico	ⓘ	25	-	55	MPa
Resistencia a tracción	ⓘ	34	-	70	MPa
Resistencia a compresión	ⓘ	140	-	180	MPa
Elongación	ⓘ	1,4	-	1,9	% strain
Dureza-Vickers	ⓘ	* 7	-	16	HV
Resistencia a fatiga para $10^7$ ciclos	ⓘ	* 12	-	27	MPa
Tenacidad a fractura	ⓘ	* 3	-	6	MPa.m <sup>0.5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	ⓘ	* 0,005	-	0,008	

**Figura 79. Propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante DMC.**  
 Fuente. Ces EduPack 2016.

% fibra en peso	20 - 70%
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,4 - 2,1
Resistencia a la Flexión	110 - 1.750
Resistencia a la Tracción (MPa)	60 - 1.200
Módulo de Tracción (MPa)	5 - 50
Resistencia a la compresión (MPa)	110 - 500

**Figura 80. Aproximación propiedades mecánicas del GFRP procesado mediante laminado manual y VARTM.**  
 Fuente. [GazechimComposites Ibérica \(© 2013\)](#)

## 10. PROCESO DE FABRICACIÓN.

En las imágenes anteriores se observa la diferencia de propiedades mecánicas de un mismo material, procesado mediante diferentes métodos de fabricación, el SMC (Sheet Molding Compound), el DMC (Dough Molding Compound), VARTM y laminado manual, los cuales se explican a continuación:

- Compuesto de moldeo de lámina (SMC). Para fabricar este compuesto, primero se cortan hilos continuos de fibra de refuerzo, fibra de vidrio en este caso, como fibras cortas y se depositan con una orientación aleatoria sobre una capa de pasta de resina. Por lo general, la pasta es una mezcla de poliéster, el cual suele contener rellenos como diversos polvos minerales, y se aplica sobre una película de polímero. Posteriormente se deposita una segunda capa de pasta de resina en la parte superior y la hoja se prensa entre rodillos. Una vez realizado el compuesto, se almacena en contenedores para su curado y así obtener la viscosidad deseada. El proceso de curado se efectúa en condiciones controladas de temperatura y humedad y por lo general suele tardar un día. Estos productos tienen una vida de almacenamiento limitada, unos 30 días, y deben ser procesados en este periodo.

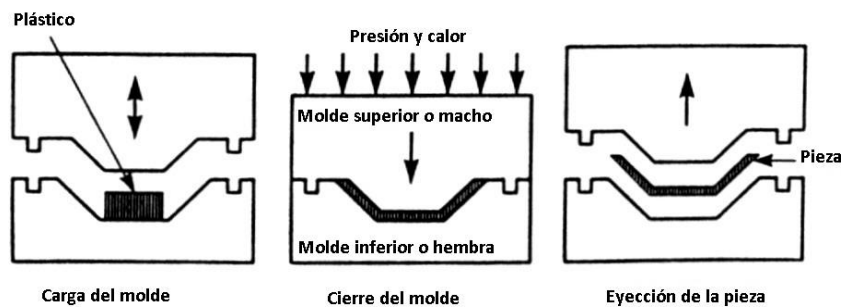
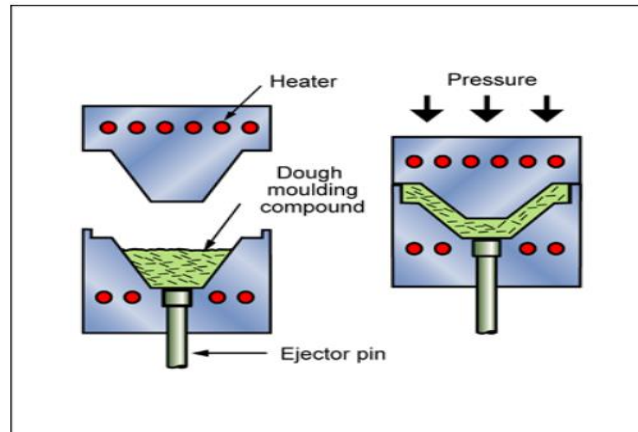


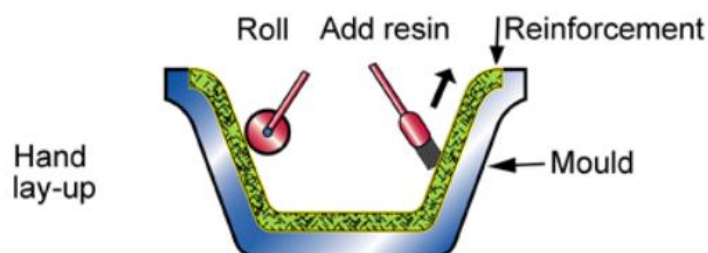
Figura 81. Esquema del proceso Sheet Molding Compound (SMC).  
Fuente: [Blogspot, Tecnología de los plásticos \(© 2011\)](#)

- Compuesto de moldeo volumétrico (DMC). Estos compuestos tienen forma de palanquillas, de ahí el término volumétrico, y su diámetro puede ser de hasta 50mm. Se fabrican de la misma manera que los SMC y se extruden para producir una forma volumétrica, y así poder crear sólidos en 3D.



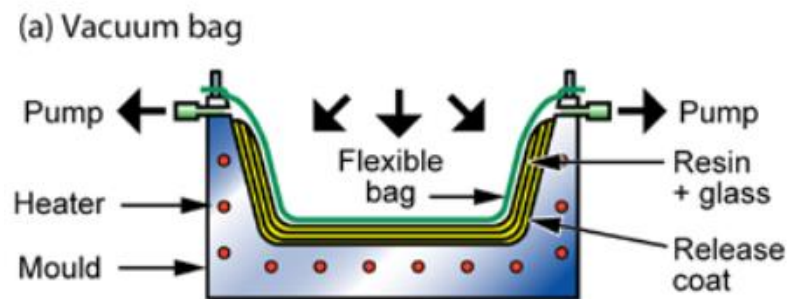
*Figura 82.* Esquema del proceso Dough Molding Compound (DMC).  
Fuente: programa Ces Edupack 2016.

- Laminado manual o arreglo manual. Los materiales, resina y fibras, se colocan en el orden apropiado con una brocha y se les da forma en el molde manualmente con un rodillo. La presión ejercida con el rodillo elimina cualquier burbuja de aire atrapada y compacta el producto. Las fibras colocadas en el molde pueden tener diversas formas, incluyendo pre-impregnados. Por este motivo, es posible controlar la orientación de las fibras en el producto final.



*Figura 83.* Esquema del proceso de laminado manual.  
Fuente: programa Ces Edupack 2016.

- Moldeo por bolsa de vacío (VARTM). En este proceso se colocan pre impregnados en un molde para producir la forma deseada. La presión requerida para formar el producto y desarrollar una buena unión se obtiene cubriendo el arreglo con una bolsa de plástico y creando un vacío, normalmente mediante una bomba. El curado ocurre a temperatura ambiente o en un horno. Si se desean propiedades direccionales específicas, es necesario mantener la orientación de las fibras. Para evitar que la resina se adhiera a la bolsa de vacío y facilitar la eliminación del exceso de resina, se colocan hojas de varios materiales, llamadas "telas de separación", en la parte superior de las hojas pre impregnadas.



*Figura 84. Esquema del proceso VARTM.*  
Fuente: programa Ces Edupack 2016.

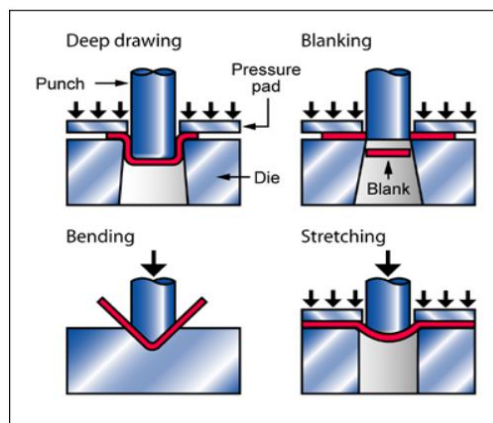
Como se observa en las imágenes anteriores, un mismo producto fabricado por SMC tiene una mayor resistencia que por DMC, debido a que el método DMC necesita inyectar el material en el molde antes de prensarlo y por tanto el espesor y la resistencia mecánica son menores que por el método SMC. Además, la longitud de la fibra para moldearla por DMC es mucho menor al SMC. En contraposición, el DMC permite realizar piezas sólidas en 3D mientras que el SMC solo permite la fabricación de láminas o piezas constituidas por láminas. En cuanto al laminado manual, como se ha expuesto anteriormente, permite distribuir la fibra con cualquier orientación deseada, lo que permite elegir la dirección o direcciones en las que el material tiene una mejor resistencia. Por otro lado, es un proceso mucho más lento que los dos anteriores, así como difícilmente automatizable, pero más económico para lotes de producción pequeños, ya que el coste en maquinaria y herramientas es menor al de los otros métodos, aunque requiere de un mayor tiempo de fabricación.

Por último, el método VARTM tiene características similares al laminado manual, se pueden orientar las fibras y utilizar el tipo de fibra que se prefiera, incluido la fibra

trenzada, lo que proporciona una mayor resistencia y rigidez. El método VARTM tiene la ventaja frente al laminado manual de eliminar con mayor precisión las burbujas de aire, debido al vacío que se crea con la bomba y la bolsa, además se consiguen materiales con menor exceso de resina, ya que al crear el vacío en el producto, la resina impregna la fibra en mayor cantidad que el laminado manual, por lo que el material resultante tiene una mejor combinación fibra-resina, y por tanto mejores propiedades. En contraposición, el proceso VARTM necesita de mayor coste en maquinaria y energía que el laminado manual.

En cuanto al procesado del aluminio, se ha elegido la estampación, o conformado de chapa, por ser el mejor método para crear formas complejas con poco espesor, huecas y partiendo de chapas del material. El proceso de fabricación de estampación o conformado de chapa se define del siguiente modo:

- La estampación es un término genérico para una serie de procesos de conformación que implican matrices y prensas. Esto incluyen el corte, dibujo, plegado, conformado y acuñado, realizado individualmente o de forma consecutiva para crear formas complejas con un espesor uniforme en su sección. Los troqueles progresivos permiten una serie de operaciones en la misma estación dando altas tasas productivas. Las herramientas deben ser complejas y resistentes, por lo que los costes de utillaje son altos. La aplicación de este método de producción se limita a materiales suministrados en forma de chapa.



**Figura 85.** Esquema de diversos procesos de estampación.  
Fuente: programa Ces Edupack 2016.

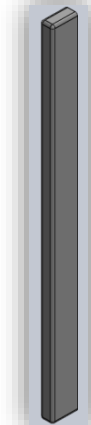


Una vez expuestos los dos materiales, GFRP y Aluminio serie 5083, y los procesos de fabricación más indicados para procesarlos y conseguir la forma de los deflectores, se analizarán por separado dichos procesos así como el coste de los materiales y del proceso de fabricación para finalmente escoger los más apropiados, mediante los cuales se realizarán los deflectores que se incorporarán al vehículo analizado.

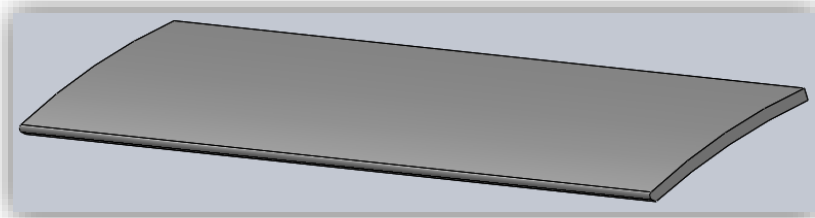
Antes de la elección del material y proceso de fabricación, se mostrarán las imágenes de los deflectores por separado para observar, con mayor detalle, la geometría de los mismos.



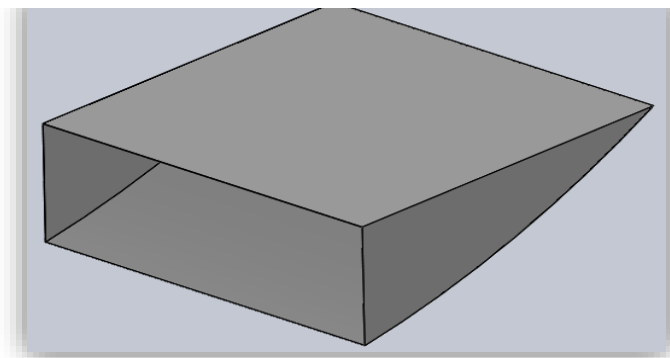
**Figura 86. Deflector Trasero Lateral**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



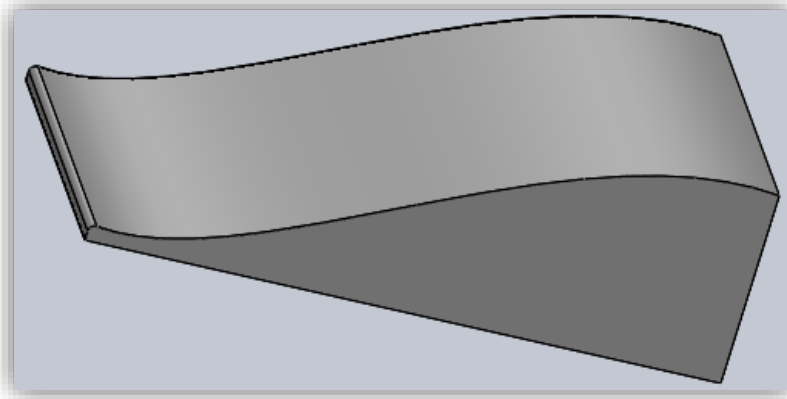
**Figura 87. Deflector Vertical Cabina-Remolque.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



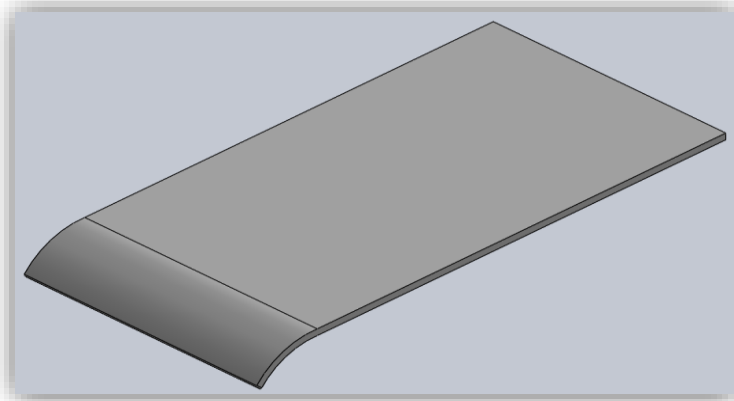
**Figura 88. Deflector Trasero Superior.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



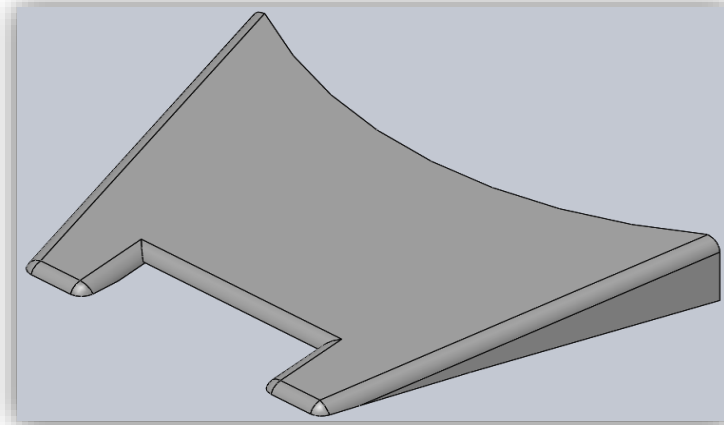
**Figura 89. Deflector Inferior Trasero.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



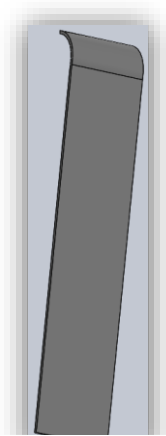
**Figura 90. Deflector Inferior Delantero.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 91. Deflector Inferior Intermedio.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 92. Deflector Superior Cabeza Tractora.**  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 93. Deflector Lateral Cabeza Tractora.**  
**Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015**

Como se observa, todas las piezas pueden estar compuestas por una o uniones de diferentes chapas, ya que su geometría no es altamente compleja y su espesor es relativamente pequeño, tres milímetros. Por esta razón se han escogido los métodos anteriormente mencionados, tanto para el GFRP como para el aluminio, los cuales se analizarán a continuación con la intención de escoger el más adecuado.

Si el material escogido es el GFRP, las consideraciones a la hora de escoger un proceso de fabricación son las siguientes:

Como la mayoría de deflectores diseñados tiene uno o dos ejes de simetría y un espesor pequeño, mayormente 3 milímetros, se pueden conformar por la unión de chapas, formadas mediante el proceso SMC, teniendo una buena resistencia y dureza, mayor que si fueran conformadas por DMC. Por otro lado, dichas piezas podrían ser conformadas por laminado manual o el proceso VARTM, pudiendo elegir la orientación de las fibras y por tanto teniendo una mayor resistencia mecánica. Tanto el SMC, el laminado manual y el VARTM permiten realizar piezas con características buenas para la función que va a desempeñar, así como un buen acabado superficial, por lo que la decisión de uno u otro método vendrá condicionada por los costes de fabricación y estos costes, dependen principalmente de la producción que se vaya a realizar, siendo más económico el SMC si la producción es alta, el VARTM para producciones medias y el laminado manual para una producción media-baja.



En cuanto al aluminio, mediante la estampación se pueden conseguir la geometría de los deflectores, partiendo de chapas de aluminio y mediante embutición y doblado, se obtienen las diferentes caras de los deflectores, las cuales serán soldadas (soldadura por puntos) posteriormente para unir las y crear piezas en tres dimensiones con poco espesor y la geometría deseada.

Este proceso requiere de un alto volumen de producción, debido a que las máquinas y utillaje deben de ser resistentes y tener alta dureza, para poder deformar y dar forma al aluminio, lo que implica un alto coste de fabricación.



## 11. COSTE MATERIAL.

Una vez expuestos los dos posibles materiales y los procesos de fabricación que mejor se adecuan a la aplicación y geometría buscada, se han medido las superficies de los deflectores anteriormente mostrados, así como su espesor obteniendo el volumen de las piezas. Mediante el volumen, conociendo la densidad de los materiales, se han obtenido las masas de las piezas para cada material y conociendo el precio por kilo de cada material, obtenemos el coste del material necesario para realizar los deflectores. Por tanto, los costes de material, para todos los deflectores, tanto en GFRP como en aluminio, se observan en la siguiente tabla.

	GFRP		Aluminio	
	Defl. Básico Modelo 2	Defl. Completos Modelo 3	Defl. Básico Modelo 2	Defl. Completos Modelo 3
<b>Volumen (m3)</b>	0,034	0,210	0,034	0,210
<b>Densidad (Kg/m3)</b>	1800	1800	2640	2640
<b>Coste Mat. (€/Kg)</b>	3,02	3,02	2,1	2,1
<b>Masa Defl. (Kg)</b>	<b>62,03</b>	<b>378,07</b>	<b>90,98</b>	<b>554,49</b>
<b>Coste Defl. (€)</b>	<b>187,34</b>	<b>1.141,76</b>	<b>191,06</b>	<b>1.164,44</b>

*Tabla 15. Volumen, masa y coste del material.*

Cabe destacar que esta tabla es un resumen de un cálculo más extenso, el cual se adjunta al proyecto en una hoja de Excel, por si fuera necesaria alguna comprobación.

Fijándose en el apartado de deflectores completos, pudiendo extrapolarse a los deflectores básicos, se observa como para un mismo volumen, los deflectores formados por aluminio tienen una mayor masa, debido a su mayor densidad, 2640 frente a 1800 Kg/m<sup>3</sup>, por lo que al proporcionarnos el material en euros por kilogramo, y aunque el coste del GFRP es mayor al del aluminio, al tener un mayor número de kilogramos el coste del material necesario para la fabricación de deflectores en aluminio es mayor al del GFRP, como se observa en la tabla, el conjunto completo en GFRP costaría 1.141,76 € y en aluminio



1.164,44 €. Estos datos solo tienen en cuenta los kilogramos de material necesario para la fabricación de los deflectores, sin importar el proceso de fabricación, punto que se analizará en el siguiente apartado.

Por tanto, utilizando GFRP obtenemos un menor peso sobre el vehículo por lo que perderemos menos carga útil en el vehículo, debido a que el peso de los deflectores debe restársele al de la carga útil que puede transportar el camión, a causa de que la legislación vigente permite un máximo de 40 toneladas de peso para el vehículo y sus componentes. Además, al necesitar de un menor número de kilogramos para el mismo volumen, su coste es algo menor, aunque su precio unitario sea mayor, lo que es un punto a favor.

Resumiendo, la resistencia y rigidez de ambos materiales es suficiente para dicha aplicación, el peso del GFRP es menor, lo que permite una mayor carga útil, y su coste total también. Además, los procesos de fabricación expuestos anteriormente para el GFRP necesitan menores presiones y fuerzas en la maquinaria, así como para los utillajes en comparación con los necesarios para el conformado del aluminio y por tanto su coste de fabricación será menor al del aluminio, el cual necesita de altas producciones para que sea económicamente viable.



## 12. ELECCIÓN DEL MATERIAL Y PROCESO DE FABRICACIÓN.

Por estas razones, se ha elegido para la fabricación de los deflectores el material compuesto mediante resina de poliéster y fibra de vidrio, con dos capas de fibra como refuerzo y un espesor máximo de tres milímetros.

En cuanto al proceso de fabricación, se plantean dos posibles opciones, dependiendo del volumen de producción y del coste económico deseado: SMC (SheetMoldingCompound) y VARTM (Moldeo por bolsa de vacío).

Mediante SMC se realizarían con mayor rapidez, por la automatización del proceso pero las piezas tendrían una menor resistencia, ya que no se pueden utilizar fibras continuas o tejidas, aunque la resistencia de este tipo de piezas es suficiente para las funciones a cumplir. Si el volumen de producción es alto, este proceso se vuelve económicamente viable, mientras que para una baja producción, su coste es muy superior al método VARTM.

Por otro lado, el método VARTM requiere de un mayor tiempo de preparación, ya que no se ha conseguido el mismo grado de automatización que el SMC, pero las fibras pueden ser orientadas en la dirección que se desee, confiriéndole al material mayor resistencia en cualquier dirección, o en todas. Además, la mezcla fibra-resina es más eficiente que en el laminado manual, debido al vacío que se crea y que produce una mayor adhesión de la resina a la fibra, así como un menor número de burbujas de aire, que debilitarían el material. Este proceso de fabricación es más económico que el SMC, debido al menor uso de maquinaria, aunque también requiere de un mayor tiempo por lo que tiene una mayor viabilidad para producciones medias o bajas. Con un mayor o menor número de puntos de infusión se podrían realizar formas complejas, y por tanto también es posible mediante este método la fabricación de los deflectores necesarios para este proyecto.



## 13. CÁLCULO RESISTENTE.

En este apartado se tratara el cálculo resistente de las sujeciones que se incorporan a los deflectores para anclarlos al vehículo, y así restringir su movimiento cuando el vehículo este en movimiento. Primero se diseñaran, teniendo en cuenta su geometría, donde van a ir posicionados así como la métrica de los tornillos a utilizar. También se elegirá el material para las diferentes sujeciones, dependiendo del esfuerzo a resistir y el coste del producto. Finalmente se obtendrán los esfuerzos que sufren los diferentes deflectores y se realizara un análisis resistente, mediante el software SolidWorks 2015, para comprobar la resistencia de las sujeciones.

### 13.1. Diseño de sujeciones.

El diseño de las sujeciones para los deflectores se realizaran para el modelo con deflectores completos, ya que contiene los deflectores del modelo básico más otros añadidos, por lo que este resultado puede extrapolarse a los dos modelos.

Los deflectores instalados en la cabeza tractora así como en la parte inferior del remolque serán fijos, no necesitan de su movimiento para ajustarse y tampoco dificultan la carga/descarga u otras operaciones que el operario deba realizar, por lo que se ha escogido el anclaje mecánico, mediante uniones atornilladas al vehículo. También se ha supuesto el anclaje mediante grapas metálicas, lo cual tendría un montaje más sencillo, no necesita perforaciones en el vehículo y permite un fácil desmontaje, aunque soportan una resistencia menor. Se ha escogido, para los deflectores fijos, el método por uniones atornilladas por tener una mayor resistencia, además de poder utilizar tanto el número como la métrica más adecuada para cada caso y así ajustar el coste. Como este tipo de deflectores no requieren de su desmontaje, excepto en caso de rotura, se ha preferido utilizar el anclaje mecánico mediante uniones atornilladas.

La complejidad se encuentra en los deflectores instalados en los laterales de las puertas traseras, los cuales deben poder orientarse en la disposición anteriormente mostrada, con ángulo de 60° con respecto a las puertas del camión, cuando el vehículo está en movimiento y poder plegarse cuando el vehículo este parado para permitir la carga y descarga del vehículo sin obstaculizar la apertura de las puertas traseras.





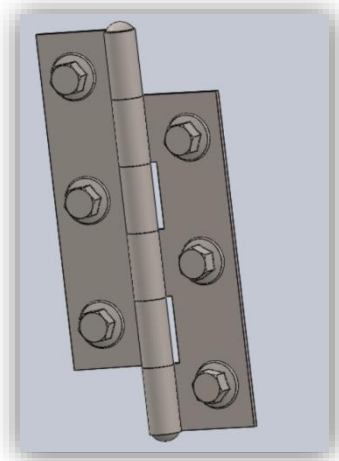
Para poder cumplir estos requisitos se ha decidido diseñar bisagras en los laterales, que permitan el giro para poder cerrar los deflectores y permitir la correcta apertura y cierre de las puertas.

En cuanto al posicionamiento de los deflectores cuando el vehículo se encuentra en movimiento, se ha elegido utilizar brazos, del tipo hidráulico, eléctrico o mecánico, con el fin de ajustar la posición de los deflectores y mantenerla constante durante el trayecto. Tanto el brazo hidráulico como el eléctrico pueden ser una buena opción, ya que el vehículo consta de generadores de ambos tipos, alternador y bomba hidráulica, por tanto no necesitarían de una fuente externa, la cual requeriría de un coste adicional. La ventaja de ambos brazos consiste en su fácil regulación, ya que al necesitar solo una posición, podría programarse para ser posicionados con solo pulsar un botón, además de tener una buena resistencia a las fuerzas del viento y evitan la necesidad de colocar un fijador o pasador que bloquee el mecanismo.

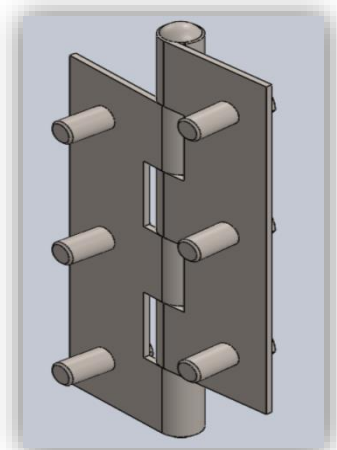
Por otro lado, el método mecánico, colocando una cremallera y un brazo de acero que se mueva a través de ella hasta una posición determinada, la cual debería fijarse mediante un pasador. Este brazo tiene la ventaja de tener una mayor resistencia a los esfuerzos, por ser de acero u otro material resistente, además de tener un menor coste, por ser más simple que si fuera hidráulico o eléctrico y no necesitar energía externa. Este método requiere del posicionamiento manual para abrir o cerrar los deflectores.

Por tener energía suficiente en el vehículo, ser métodos más cómodos para el conductor del vehículo, tener resistencia suficiente para mantener los deflectores en una posición fija y asumiendo un coste algo mayor, se ha preferido escoger el brazo del tipo hidráulico, aunque el eléctrico también cumpliría la función con las mismas ventajas.

A continuación se mostraran los diseños de las uniones mecánicas para los deflectores fijos, así como las bisagras y brazos hidráulicos utilizados para posicionar y recoger los deflectores utilizados en los laterales de las puertas traseras.

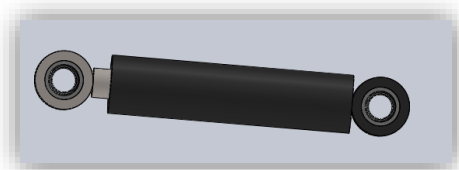


**Figura 95.** Diseño bisagra, vista frontal.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

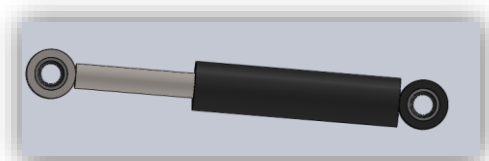


**Figura 94.** Diseño bisagra, vista posterior.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

Las bisagras han sido utilizadas para unir los deflectores posteriores laterales a la parte trasera del vehículo y permitir el giro de los deflectores, siendo posible su plegado y posicionamiento para la marcha.



**Figura 97.** Diseño cilindro hidráulico.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015



**Figura 96.** Diseño cilindro hidráulico extendido.  
Fuente. Imagen creada con SolidWorks 2015

La función del cilindro hidráulico es la de fijar los deflectores laterales en la posición definida, a  $60^\circ$  con respecto a las puertas traseras del vehículo, y evitar posibles movimientos producidos por la fuerza del viento en contacto con el deflector. Se dispondrá de un sistema electrónico capaz de extender o contraer el cilindro dependiendo de la elección del conductor. Para la correcta carga y descarga del vehículo, deberá contraerse para la apertura y cierre de las puertas y extenderse para colocar el deflector en su posición óptima.

Tanto bisagras como brazo hidráulico, han sido inspiradas en un modelo similar, utilizado por Mercedes Benz en sus modelos más recientes, utilizando bisagras para el giro y cilindros hidráulicos para su apertura, cierre y sujeción.



**Figura 98.** Sujeciones instaladas por Mercedes Benz en deflector lateral.  
Fuente: [Blogspot, Mercedes Benz \(© 2012\)](#)

Las bisagras tienen un coste aproximado de 5€ por cada una, mientras que el brazo hidráulico, se han encontrado con dimensiones similares, por 276,32€ como el que se muestra a continuación.



**Figura 99.** Cilindro hidráulico.  
Fuente: [RSonline.com](#)

Serie del Fabricante	1X
Calibre	32mm
Longitud del Recorrido	50mm
Longitud Cerrada	243mm
Longitud Extendida	293mm
Fuerza de Tiro	8.79kN
Caudal Unitario de Salida	4.8l/min
Caudal Unitario de Entrada	3.3l/min
Máxima Presión de Funcionamiento	160bar
Peso	0.55kg

**Figura 100. Características cilindro hidráulico.**  
Fuente: RSONline.com

## 13.2. Posibles materiales: Elección.

Los materiales de las sujeciones son los que proporciona el fabricante, ya que no es rentable fabricar bisagras o cilindros hidráulicos específicos disponiendo de productos normalizados. Por tanto, los materiales proporcionados por el fabricante y que se han utilizado para el análisis resistente son acero inoxidable AISI 316L para los tornillos y bisagras, siendo lo suficientemente resistente y protegiéndolas contra la oxidación provocada por el agua, sal, el sol u otros agentes oxidantes.

En el caso del cilindro hidráulico, está formado en su mayor parte por acero al carbono y utilizan como fluido hidráulico aceite mineral.

## 13.3. Análisis resistente.

En este apartado se ha realizado un cálculo resistente, tanto para los deflectores como para las sujeciones de estos, centrándose en los que más esfuerzos reciben o los que necesitan de sujeciones especiales para su fijación. En las siguientes tablas se muestran los esfuerzos obtenidos mediante el software SolidWorks 2015 para los diferentes deflectores, obtenidos mediante la aplicación de objetivos (Goals) en los análisis realizados.

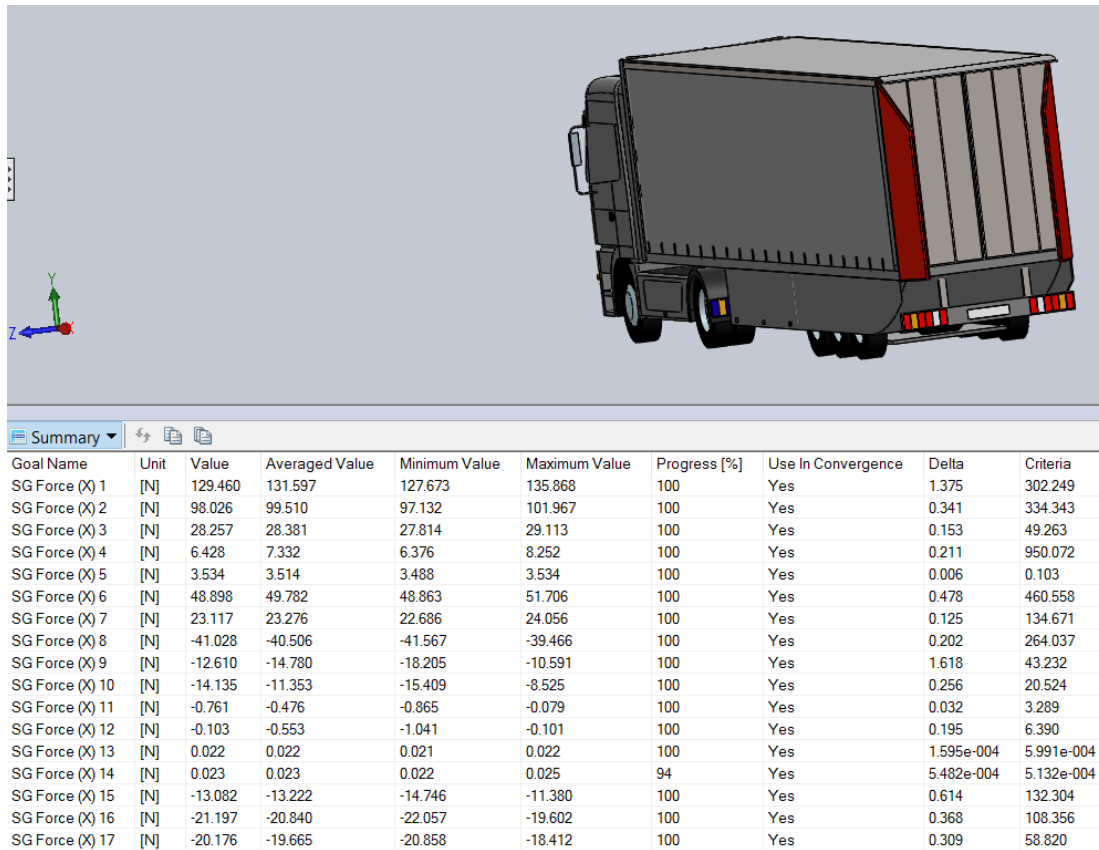


Figura 101. Resultados análisis resistente, dirección X a 120 Km/h.

Fuente: ROnline.com

Deflectores.	A 90 Km/h		
	Fuerza arrastre X (N)	Fuerza lateral Z (N)	Fuerza Sustentación Y (N)
Trasero Lateral Derecho	52,995	-92,002	0,019
Trasero Lateral Izquierdo	45,217	90,957	0,074
Trasero Superior	18,449	-0,039	149,609
Inferior Trasero	-1,568	0,002	-1,101
Inferior Intermedio	2,465	0,022	96,883
Inferior Delantero	31,944	0,002	86,398
Superior Cabina	-27,883	0,006	177,017
Lateral Izquierdo Cabina	-8,609	88,499	-0,056
Lateral Derecho Cabina	-10,119	-102,226	-0,043

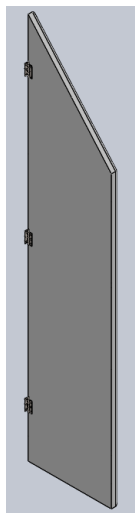
Tabla 16. Esfuerzos soportados por los deflectores a 90 Km/h.

Deflectores.	A 120 Km/h			
	Fuerza arrastre X (N)	Fuerza lateral Z (N)	Fuerza Sustentación Y (N)	Fuerza arrastre X (N)
Trasero Lateral Derecho	129,46	0,201	-164,869	52,995
Trasero Lateral Izquierdo	98,026	0,201	-164,869	45,217
Trasero Superior	28,257	0,011	226,798	18,449
Inferior Trasero	6,428	0,109	-31,688	-1,568
Inferior Intermedio	3,534	0,023	85,015	2,465
Inferior Delantero	48,898	0,037	123,919	31,944
Superior Cabina	-41,028	-0,009	261,143	-27,883
Lateral Izquierdo Cabina	-12,61	126,723	0,023	-8,609
Lateral Derecho Cabina	-14,135	-143,023	0,028	-10,119
Vertical Cabina - Remolque	-14,034	-0,009	2,449	-7,015

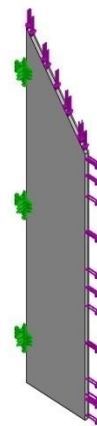
Tabla 17. Esfuerzos soportados por los deflectores a 120 Km/h.

Se han obtenido para una velocidad de 90 y 120 Km/h, siendo 90 Km/h la velocidad máxima permitida y por tanto a la que va a circular el vehículo. Como estos esfuerzos puede verse afectados por factores externos como vientos laterales, la irregularidad del pavimento u otros factores que no se han tenido en cuenta en su totalidad, se ha decidido analizar tanto deflectores como sujeciones para una velocidad de 120 Km/h, teniendo en cuenta estos factores y así tener un margen de seguridad para suplir cualquier variación en los esfuerzos que pueda superar los esfuerzos teóricos obtenidos. Por tanto, se utilizara los valores obtenidos en la Tabla 17.

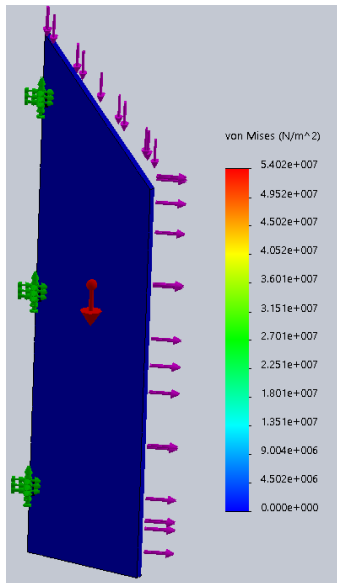
Debido a que el método de sujeción va a ser el mismo para todos los deflectores, excepto los deflectores laterales que se necesita permitir su giro, y a la falta de tiempo para su realización, se han analizado los deflectores que mayor esfuerzo sufren, ya que para un mismo método de sujeción, si estos son capaces de resistir los esfuerzos sin superar el límite elástico de los materiales, GFRP y AISI 316L, los demás lo superaran aun con mayor margen. Estos cálculos son una aproximación, ya que se omiten varios factores, como partes de la sujeción, roscas de los tornillos entre otros factores, por esta razón se han analizado con una fuerza obtenida a 120 Km/h, para suplir estos factores que afectarían al análisis.



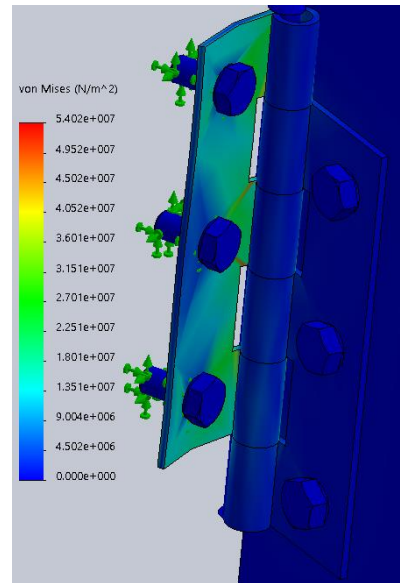
**Figura 103. Diseño Deflector Lateral con bisagras.**  
Fuente. Ces Edupack 2016.



**Figura 102. Deflector Lateral analizado**  
Fuente. Ces Edupack 2016.

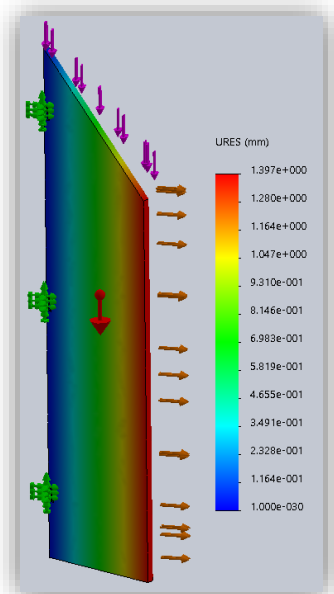


**Figura 104.** Tensiones obtenidas en el deflector.  
 Fuente. Ces Edupack 2016.

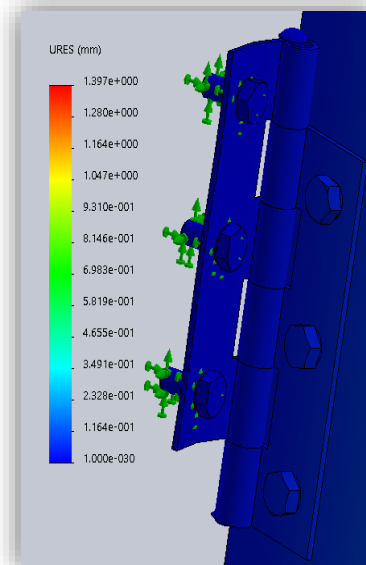


**Figura 105.** Tensiones en las bisagras.  
 Fuente. Ces Edupack 2016.

Se observa como el mayor esfuerzo lo sufren las sujeciones, bisagras en este caso, las cuales sufren una fuerza de  $5,402 \cdot 10^7$  N, fuerza máxima soportada por el modelo, mientras que el deflector no sufre apenas tensión. El límite elástico de los materiales, tanto de la sujeciones como del deflector, AISI 316L ( $1,7 \cdot 10^8$  N) y GFRP moldeado por SMC ( $9 \cdot 10^7$  N) es inferior a la máxima tensión sufrida por las bisagras, por lo que los materiales lo soportan sobradamente.

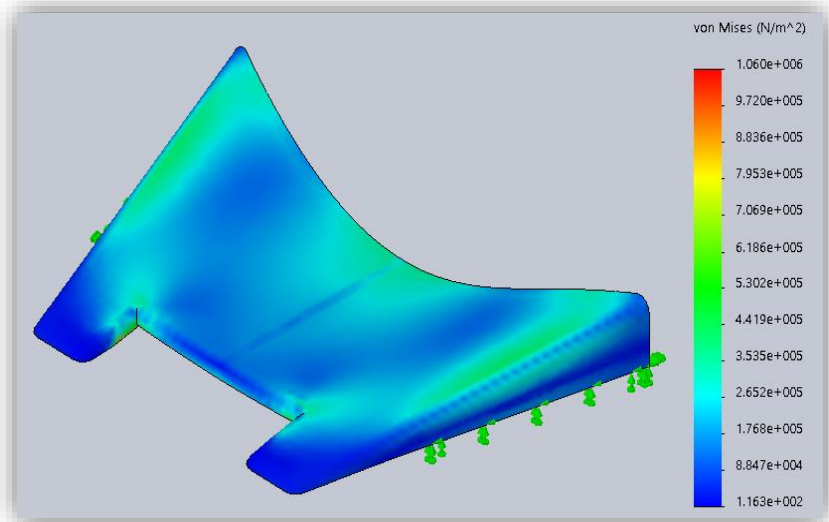


**Figura 107.** Deformación en el deflector.  
 Fuente. Ces Edupack 2016.

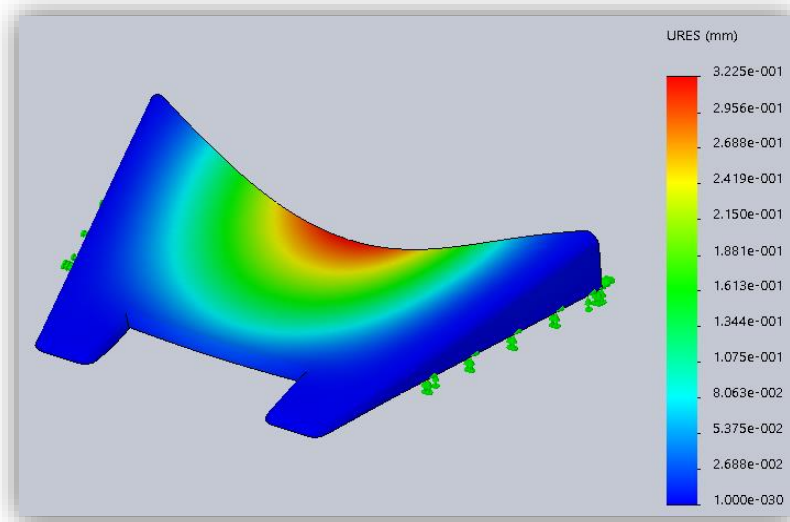


**Figura 106 .** Deformación en las bisagras.  
 Fuente. Ces Edupack 2016.

En cuanto a la deformación, la máxima deformación es de 1,3 milímetros, una deformación media, pero aceptable para este tipo de aplicación.

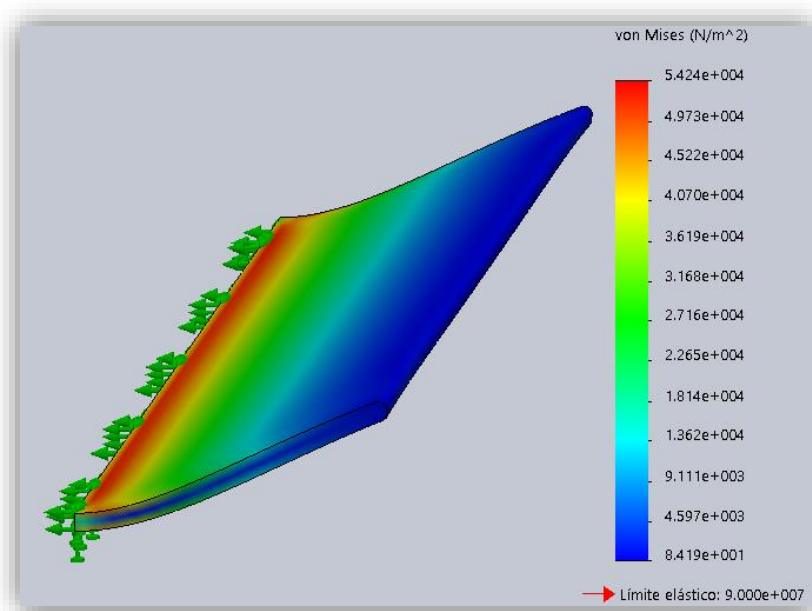


**Figura 108.** Tensiones deflector superior cabeza tractora.  
Fuente. Ces Edupack 2016.

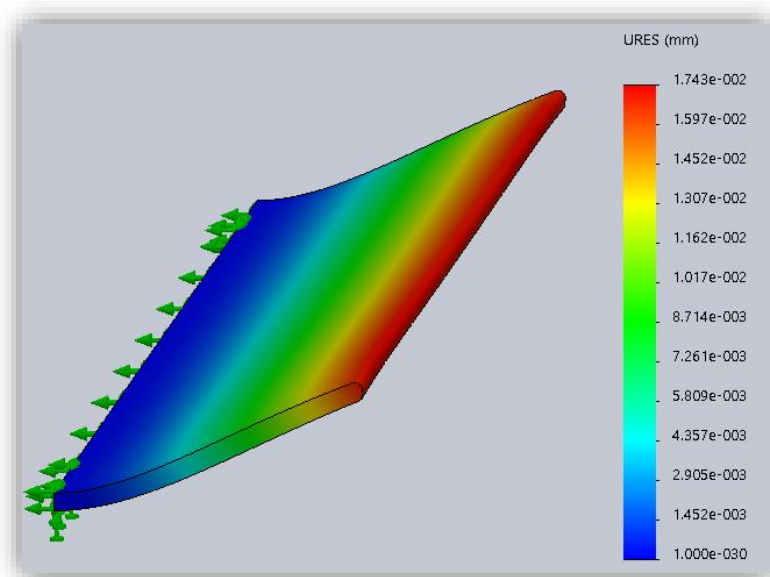


**Figura 1098.** Deformación deflector superior cabeza tractora.  
Fuente. Ces Edupack 2016.





**Figura 110.** Tensión deflector superior trasero.  
Fuente. Ces Edupack 2016.



**Figura 111.** Deformación deflector superior trasero.  
Fuente. Ces Edupack 2016.



	Lateral Trasero	Superior Trasero	Superior Cabina
Tensión (N/m <sup>2</sup> )	5,4*10 <sup>7</sup>	5,42*10 <sup>4</sup>	1,06*10 <sup>6</sup>
Deformación (mm)	1,39	1,74*10 <sup>-2</sup>	0,32

*Tabla 18. Tensiones y deformaciones en los principales deflectores.*

Limite elástico:

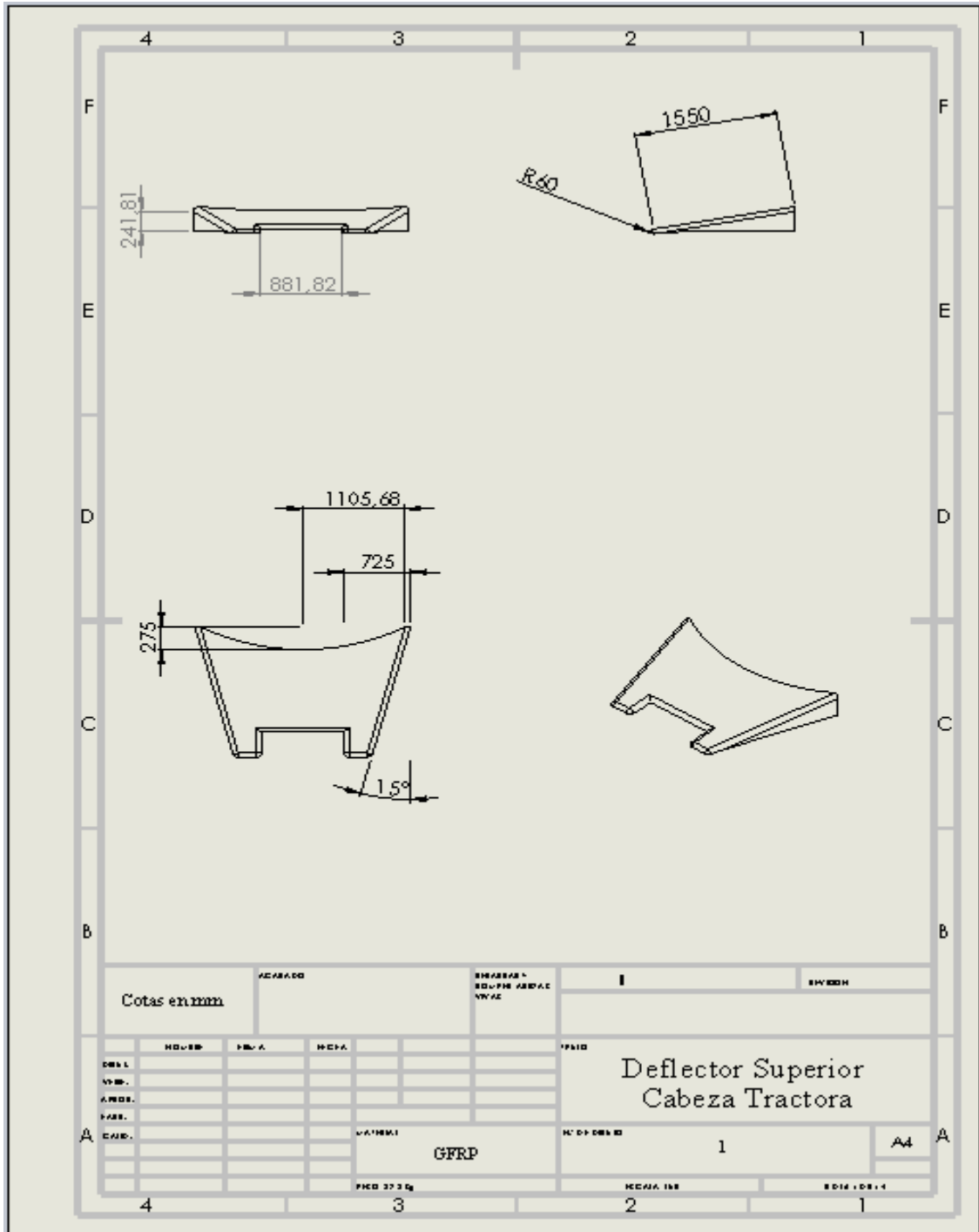
$$\text{GFRP} = 9 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

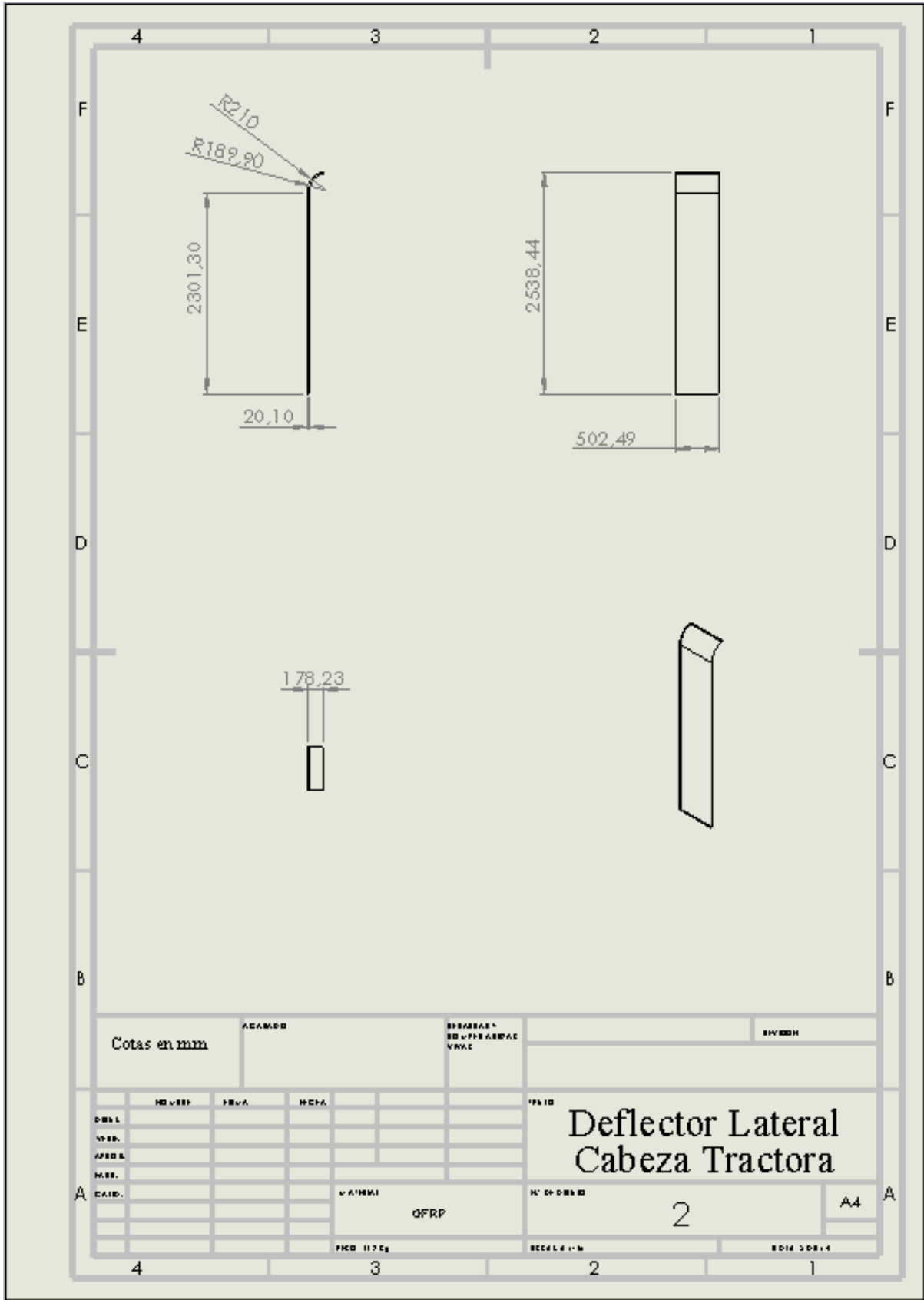
$$\text{AISI316L} = 1,7 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

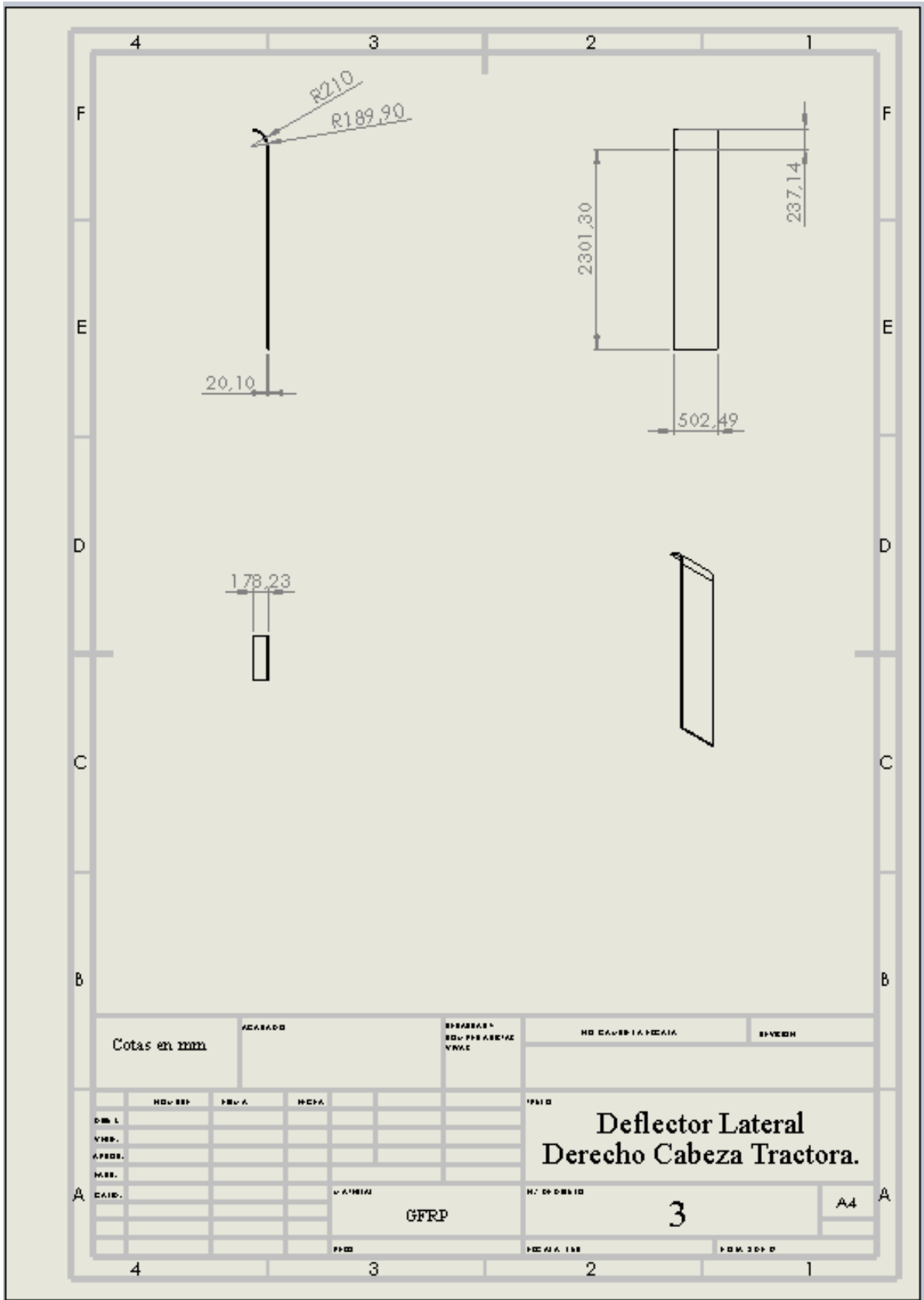
En ninguno de los deflectores analizados la tensión obtenida supera el límite elástico del material, por lo que el material resistirá perfectamente a los esfuerzos a los que será sometido. En cuanto a la deformación, la máxima deformación se produce en el deflector lateral, con 1,39 milímetros, margen aceptable para la función a desempeñar y siendo la pieza de 2,8\*0,6 metros, 1,4 milímetros de deformación no afectan a su función ni a su integridad.

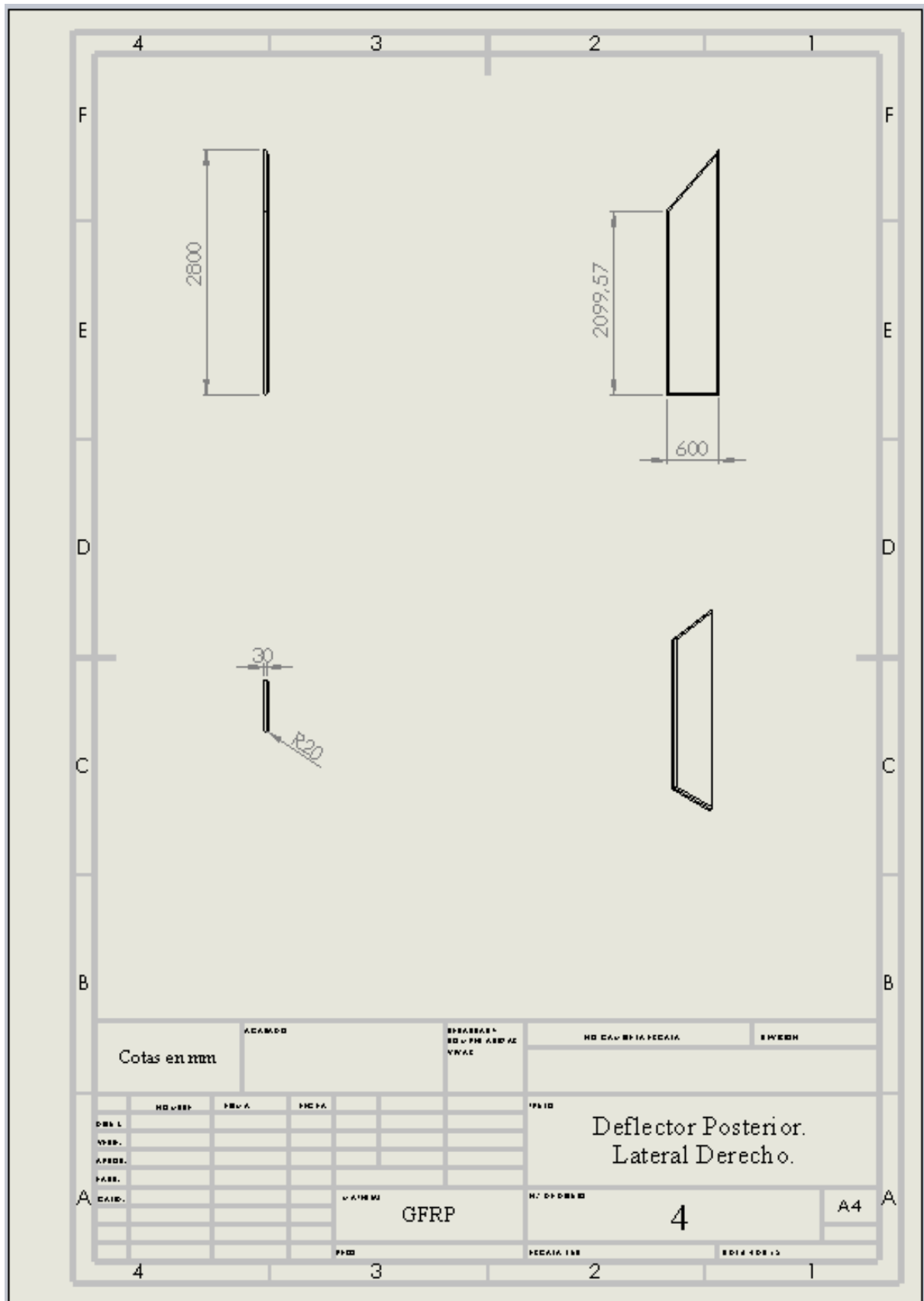
## 14. PLANOS.

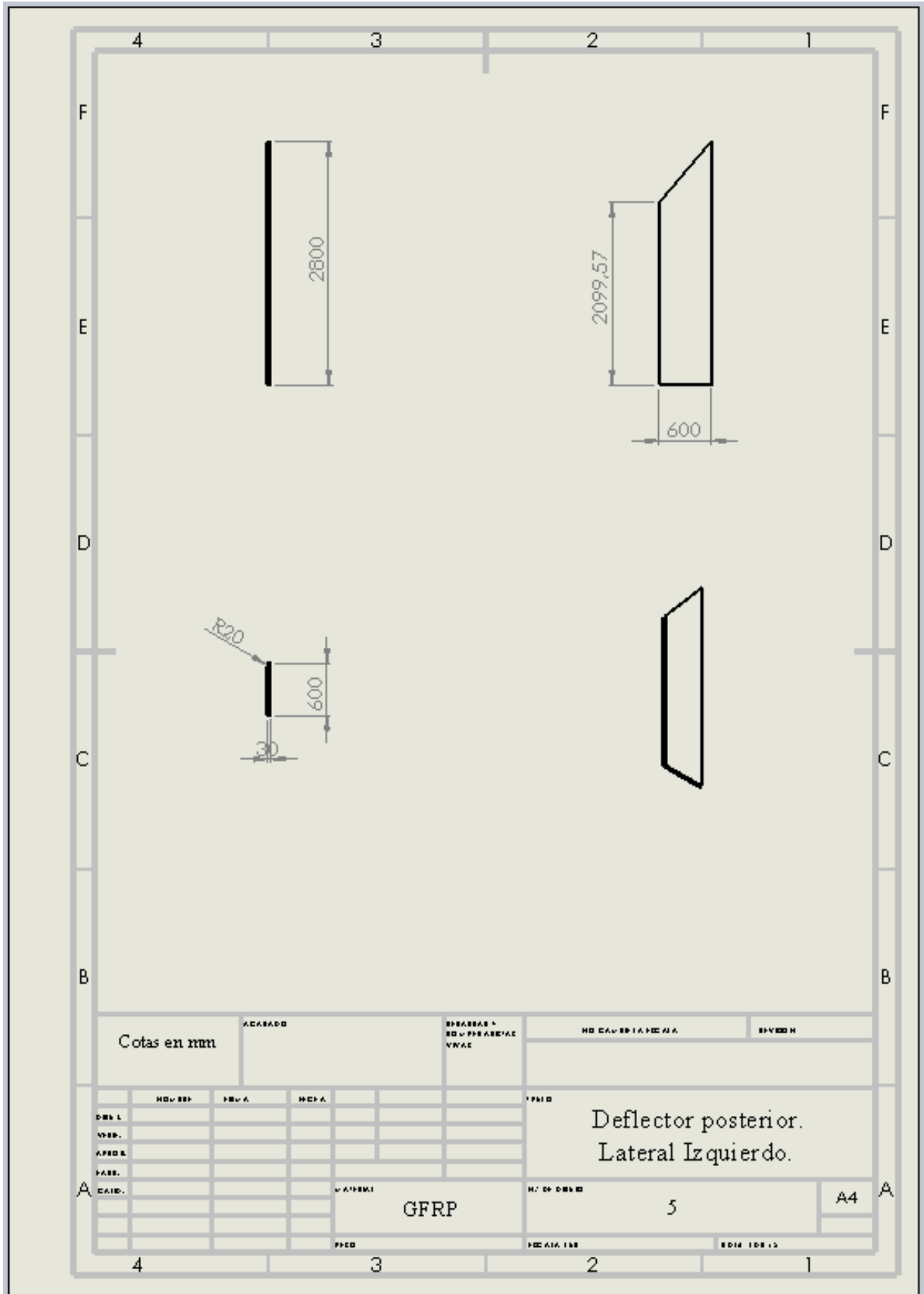
En este apartado, se muestran los planos de diseño de los deflectores, así como de las sujeciones mencionadas. Los planos vienen acotados en milímetros, en formato ISO A4, y muestran las principales dimensiones de los deflectores con el objetivo de facilitar la fabricación de los mismos.

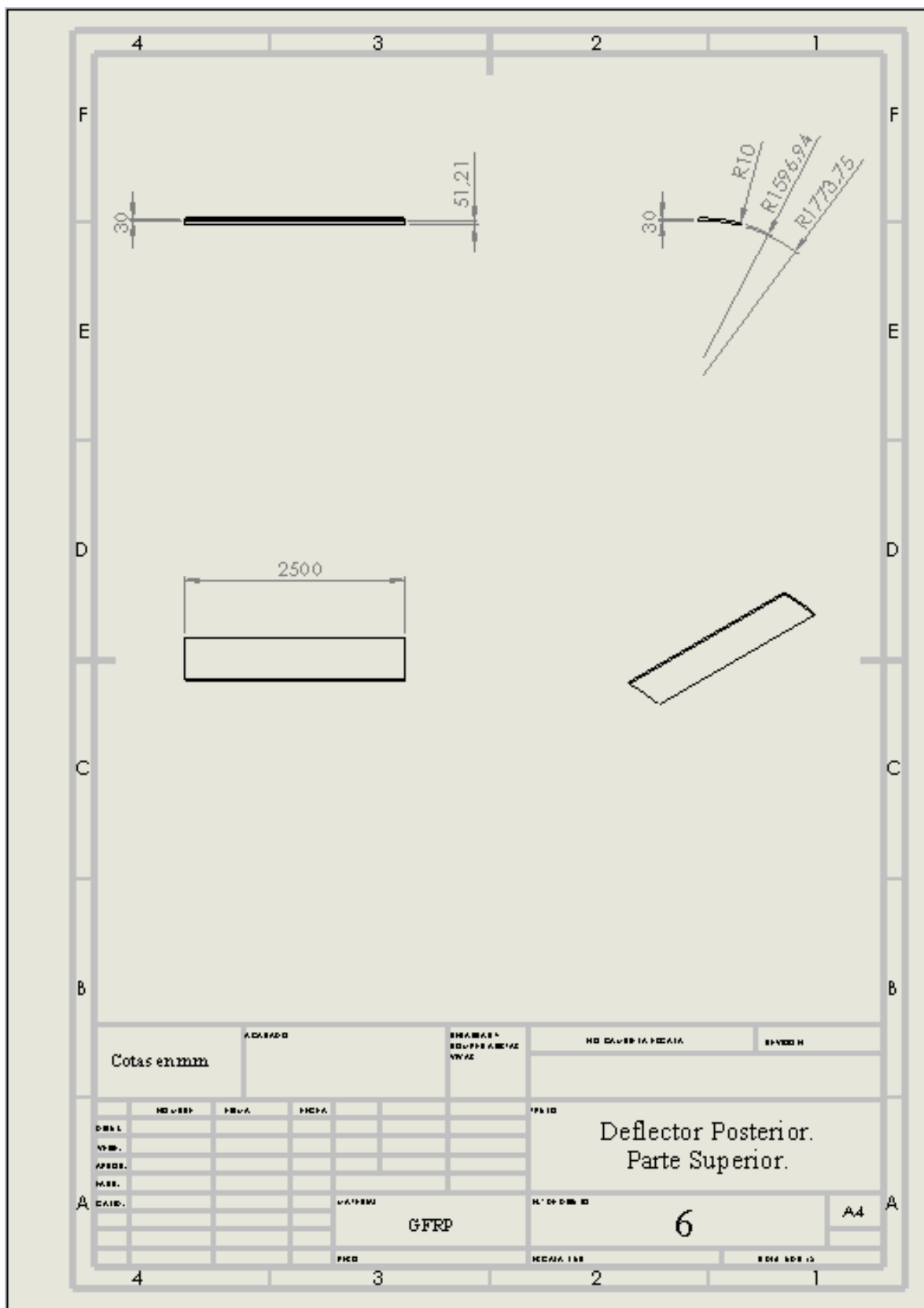




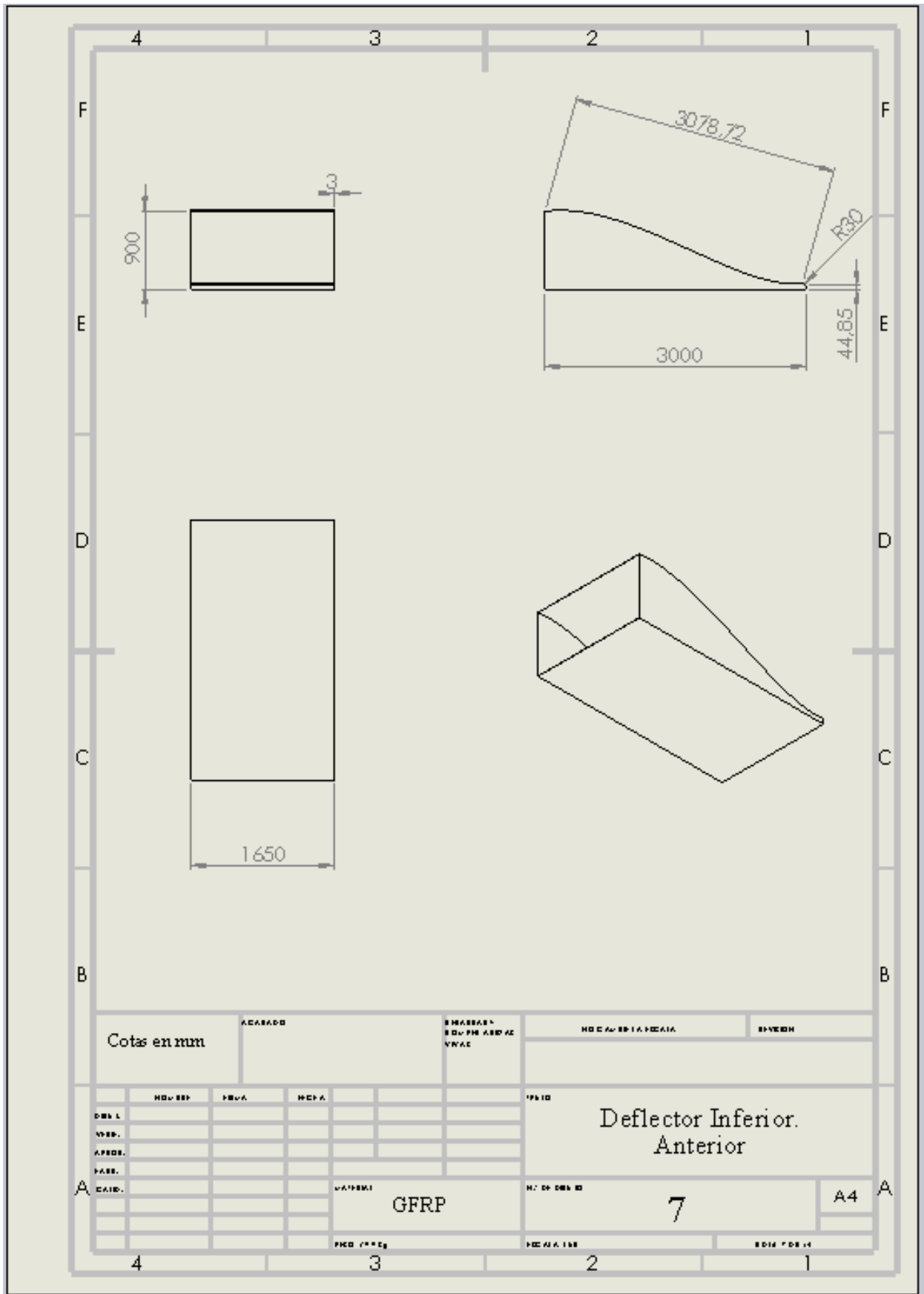


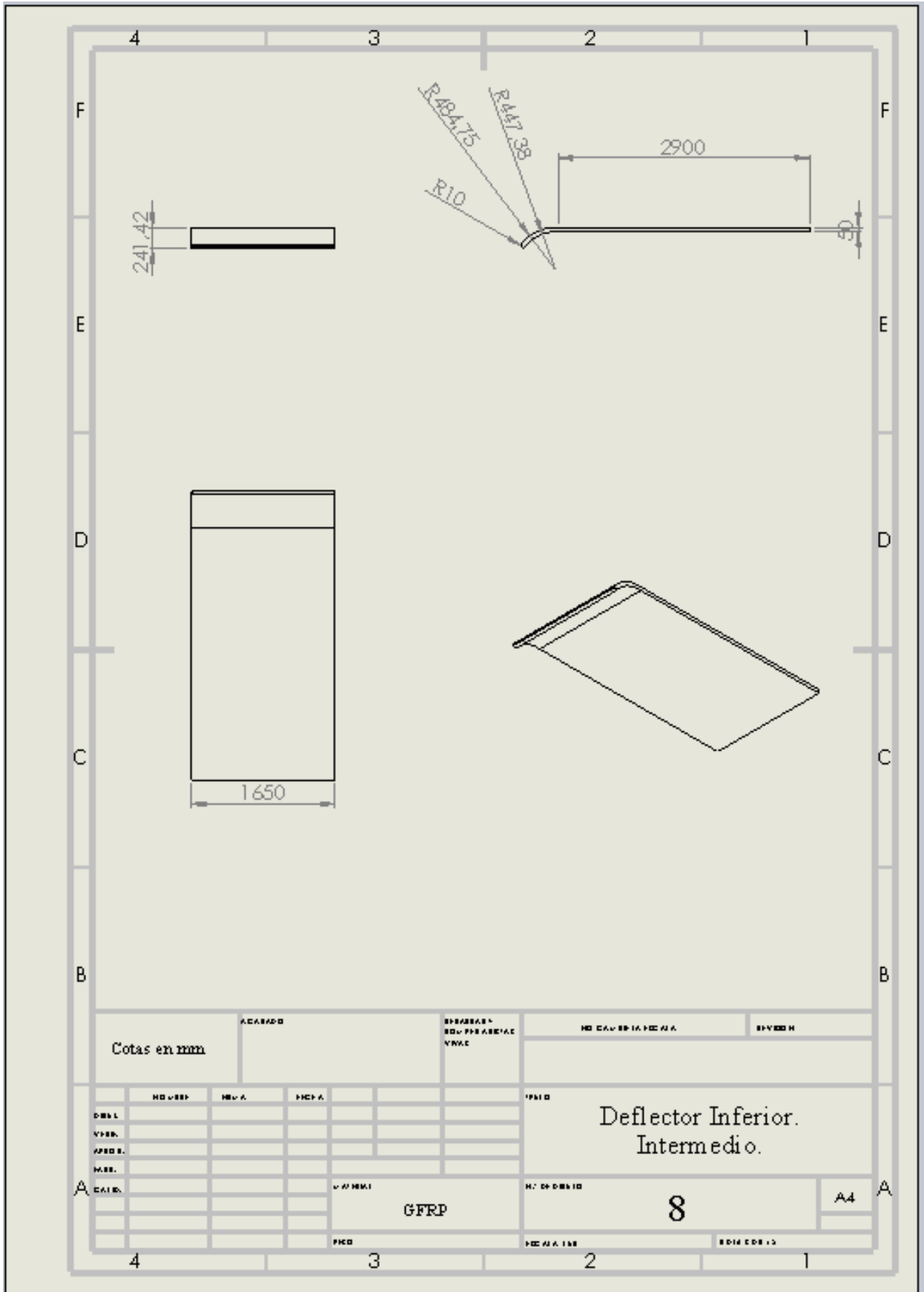


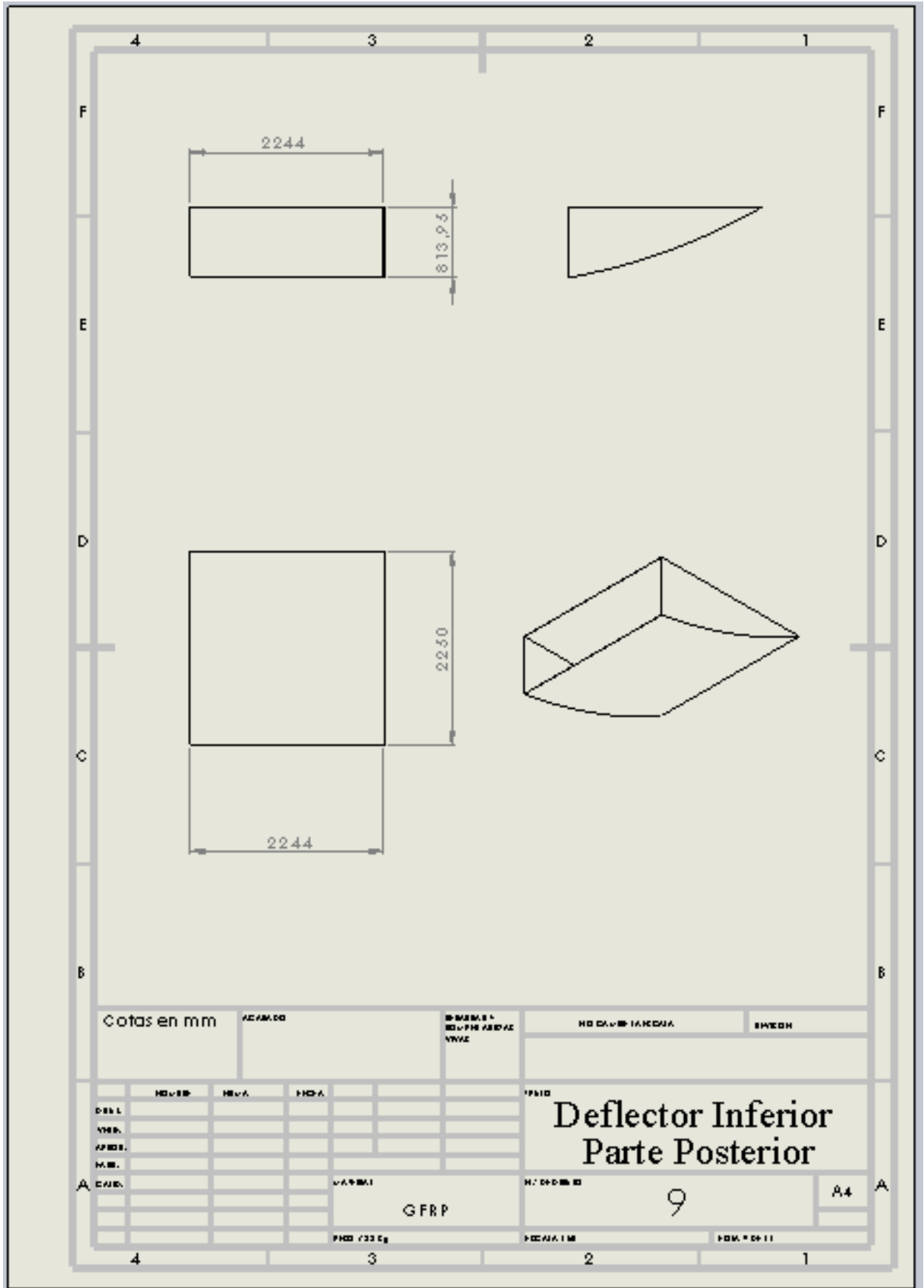


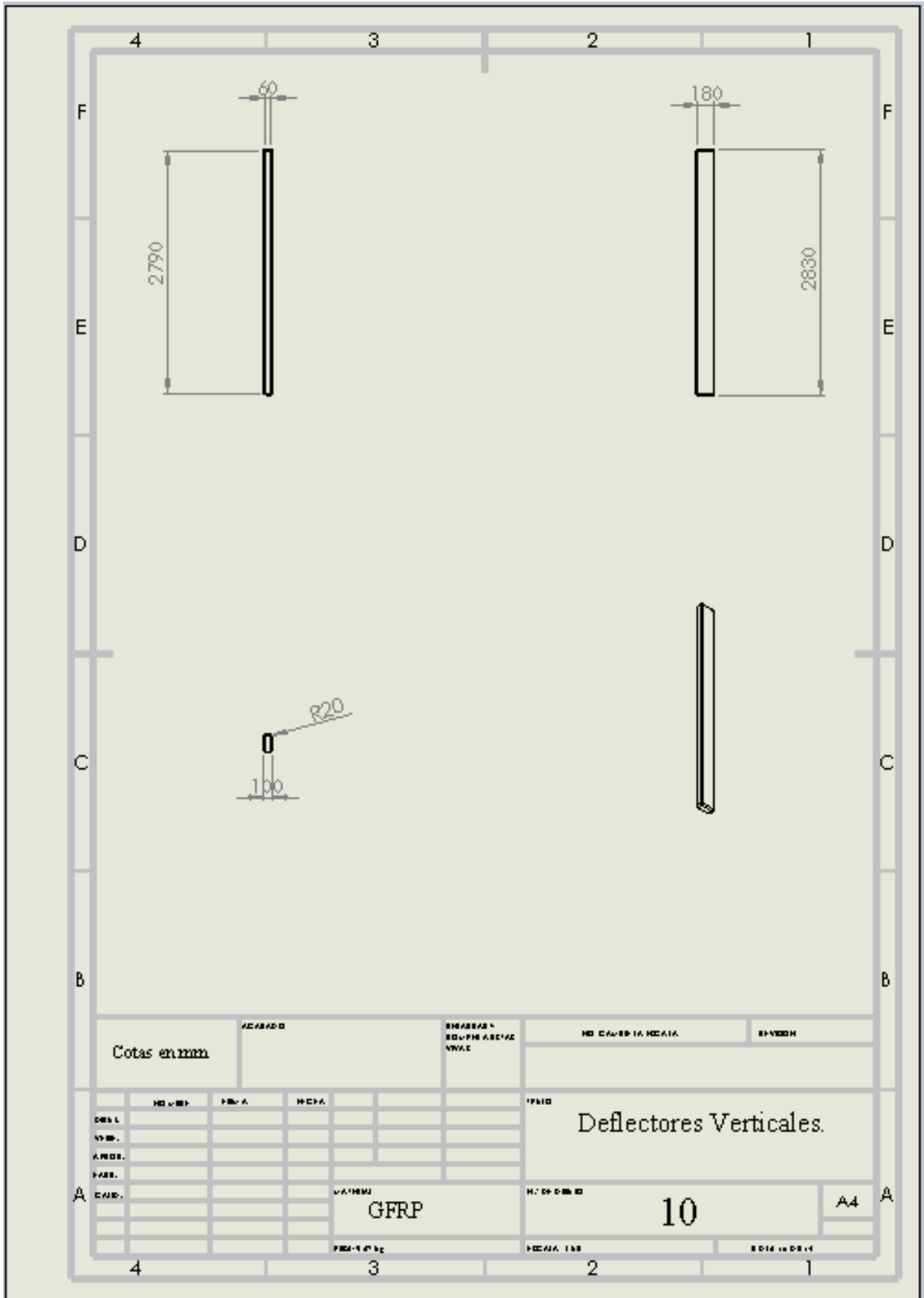


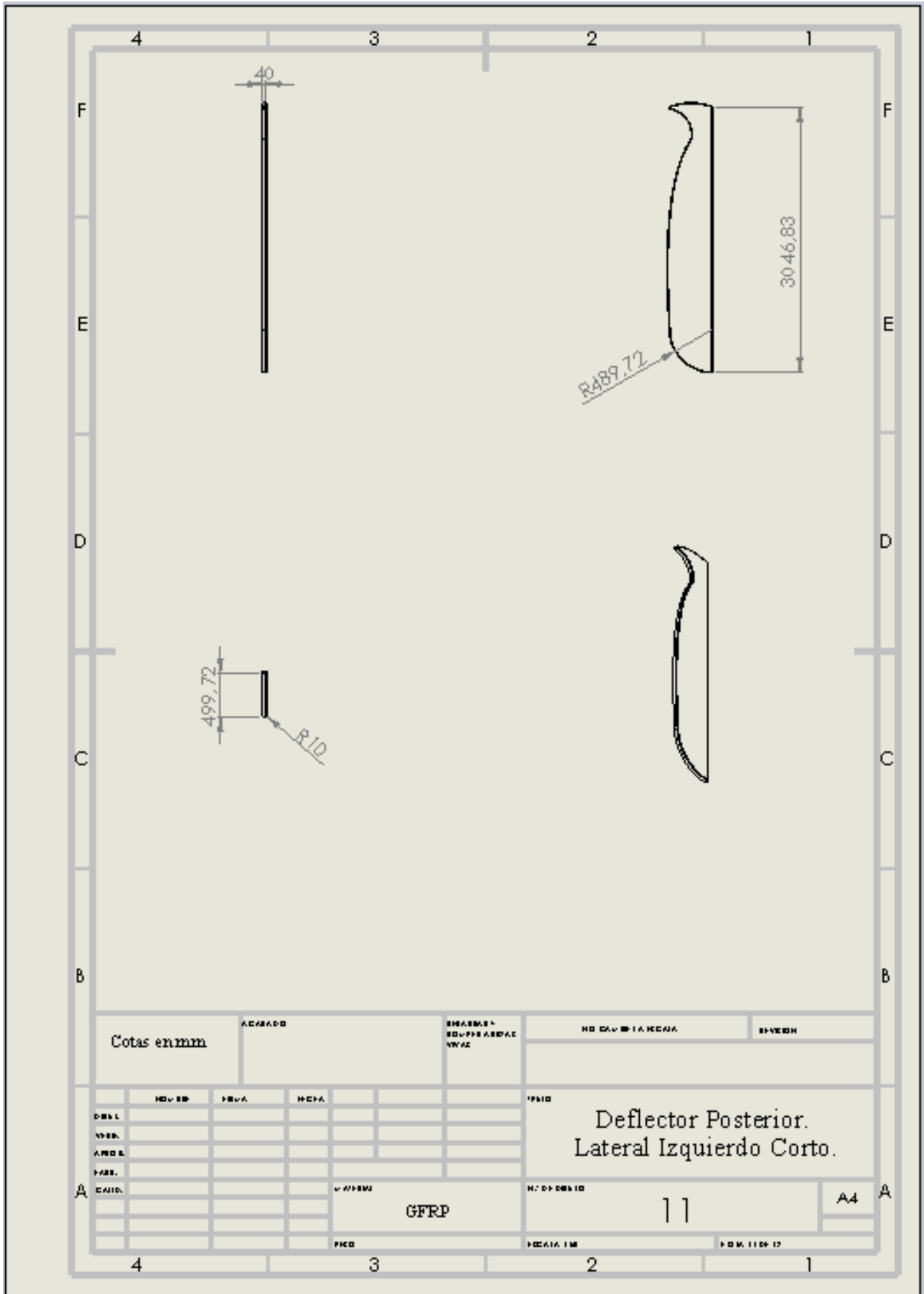


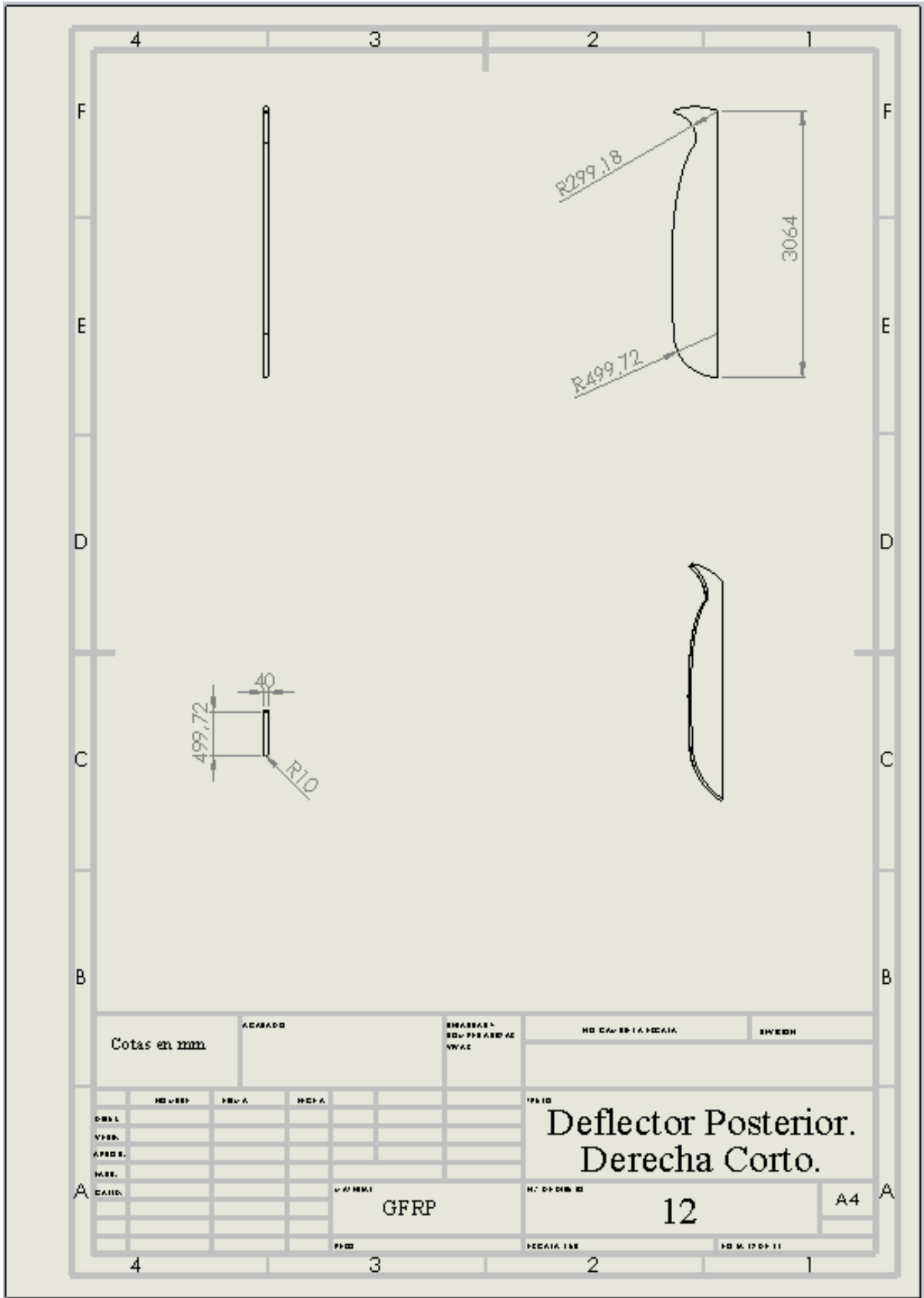


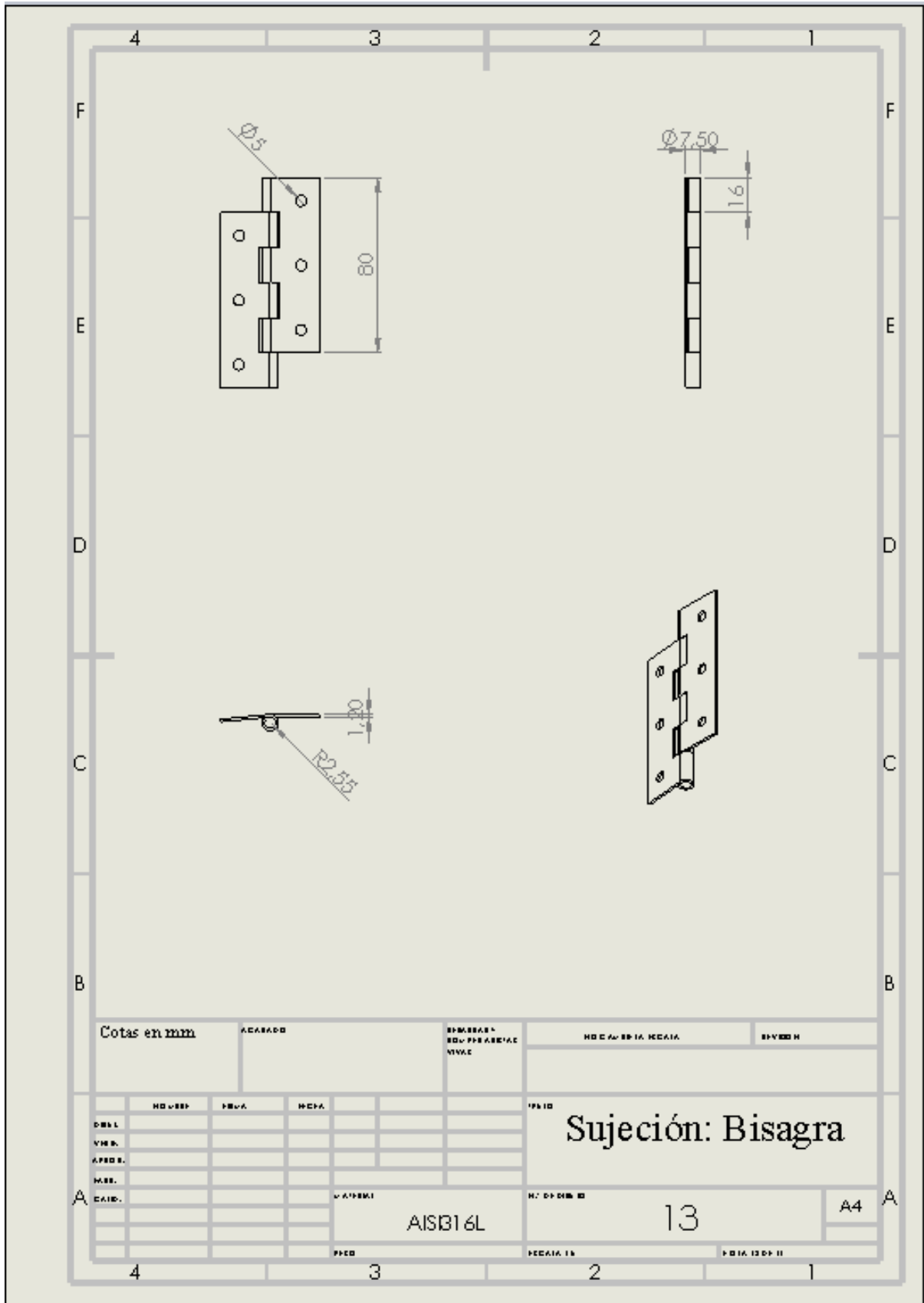


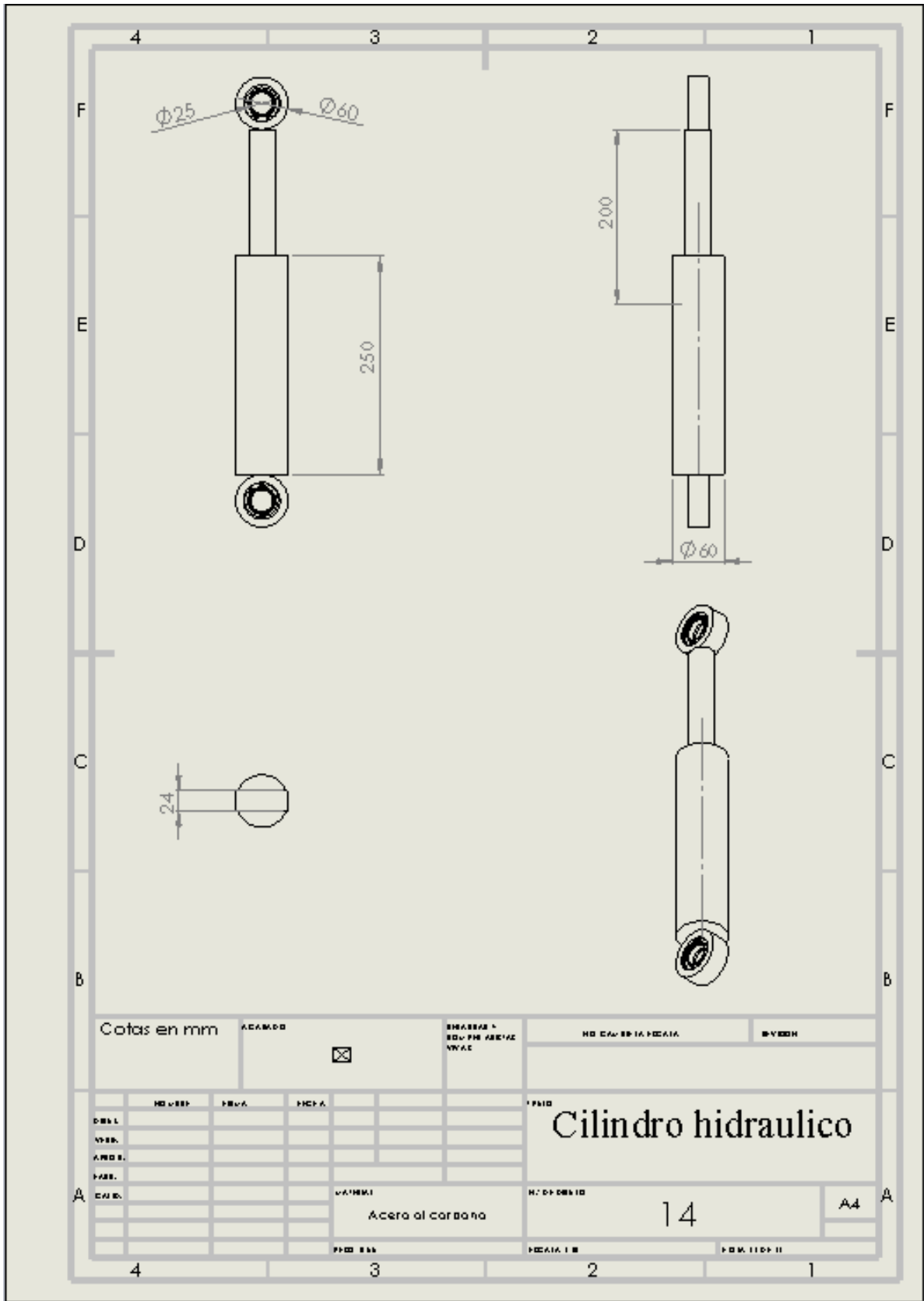
















## 15. PRESUPUESTO.

En este apartado se obtendrá el coste del material necesario para la fabricación de los deflectores, así como una aproximación del coste de fabricación de los mismos, mediante los dos procesos anteriormente escogidos, SMC y VARTM. Para realizar estos cálculos, se ha creado una hoja de Excel, donde se explica detalladamente la obtención de los costes, los cuales se mostraran en este apartado de manera resumida, exponiendo la descripción y desglose de los mismos.

En cuanto al coste del material, fibra de vidrio con resina de poliéster (GFRP), se ha obtenido mediante la suma de las áreas de las diferentes caras de un mismo deflector. Una vez obtenido el área del deflector, se ha multiplicado por el espesor deseado para obtener el volumen del deflector. Conociendo el volumen de cada deflector y la densidad del material, aproximación proporcionada por el CES 2016, se obtiene la masa que tendrán los deflectores. Esta masa se ha buscado reducirla al máximo, debido a que la masa de los deflectores será carga útil pierda el camión, y por tanto dinero en cada transporte, ya que según la normativa, este tipo de vehículos tienen una masa máxima autorizada y por tanto, a mayor masa del camión en vacío, menor capacidad de carga. Obtenidos los kilogramos que pesaran los deflectores, se multiplican por el coste del material, en euros por kilogramo, y se obtiene el precio que costara el material para su fabricación. Los datos anteriormente explicados, se muestran en la siguiente tabla:

**Densidad GFRP: 1800 Kg/m3. ; Precio GFRP: 3,02 €/Kg.**

<b>GFRP</b>	<b>Kg</b>	
TARA	19000	
MMA	40000	
Carga util		<b>Carga Perdida (Kg)</b>
Sin Defl.	21000	0
Con Defl. Basicos.	20937,97	62,03
Con Defl. Completos.	20656,08	343,92

*Tabla 19. TARA, MMA del vehículo y masa de los deflectores.*



<b>GFRP</b>		
	<b>Deflectores Básicos</b>	<b>Deflectores Completos</b>
<b>Masa Deflectores (Kg)</b>	62,03	343,92
<b>Coste Material (€)</b>	187,34	1038,63

*Tabla 20. Masa deflectores y coste del material.*

En la Tabla 15 se observa la TARA y la MMA para el vehículo, así como la masa en kilogramos de los deflectores, obtenida por el método anteriormente mencionado. Por tanto, la carga útil perdida en el vehículo se obtendrá mediante la resta a la masa máxima autorizada el peso del vehículo en vacío (TARA) más el peso de los deflectores. El conjunto de deflectores básico tiene una masa de 62,03 Kg y el conjunto completo 343,92 Kg, peso que se pierde de carga útil del vehículo, quedando 20937,97 Kg con el conjunto básico y 20656,08 Kg con el completo. Posteriormente se analizara si esta pérdida de carga útil, y por tanto de dinero, se compensa con el ahorro de combustible obtenido por la adicción de los deflectores y el coste de estos.

En la Tabla 16 se observa el coste del material, una vez conocida la masa, se ha multiplicado por el coste por kilogramo, siendo el coste total del conjunto de deflectores básicos de 187,34 € y el conjunto de deflectores completos de 1.038,63 €. Cabe destacar que el conjunto con deflectores básicos está formado por 3 deflectores, montados en la cabeza tractora, mientras el conjunto de deflectores completos consta de 12 deflectores, en cabina y remolque.

En cuanto a los procesos de fabricación, se analizara el coste de transformar o fabricar el material para conseguir la forma deseada, así como la unión de las diferentes chapas para crear un sólido en 3D, ya que los dos métodos anteriormente mencionados, SMC y VARTM, producen chapas, las cuales pueden tener forma compleja, pero no permiten crear sólidos en 3D. Para ello, se comenzara explicando los diferentes factores que influyen en el proceso de fabricación, para después explicar el procedimiento seguido y los resultados obtenidos.



Las variables utilizadas para calcular el coste de fabricación, por los distintos métodos de fabricación son los siguientes:

- Coste Maquinaria. En este apartado se ha tenido en cuenta el valor de la principal maquinaria e instrumentos necesarios para el conformado del material compuesto, dándole la forma final de los deflectores. Se ha obtenido un coste aproximado, mediante la visualización de varias máquinas para realizar estos procesos que se ofertan en internet. En caso del SMC, se ha obtenido el coste de la maquina necesaria para el conformado, de gran tamaño y alta producción. En cambio, para el VARTM, el coste de maquinaria es mucho menor, ya que la principal maquina es la bomba de vacío necesaria para que se impregne la resina con la fibra, creando vacío en el interior de la bolsa de plástico que anteriormente se ha posicionado.
- Tiempo de preparación del material y máquina. Esta variable contempla el tiempo de preparación del molde, colocación del desmoldeante y programación de la máquina, así como del material, el cual viene en láminas de grandes dimensiones que deben ser cortadas y preparadas para su colocación en la maquina o para preparar la bolsa de vacío. En este apartado se contempla el tiempo que se puede necesitar durante el montaje, tubos, gel coat, desmoldeante, telas filtrantes, bolsa de vacío y colocación de la bomba.
- Tiempo de moldeado y curado. Es el tiempo necesario para el conformado del material compuesto, termo compresión o impregnación de las fibras, dependiendo del método, así como el necesario para su curado. Este tiempo depende del espesor de la pieza y el número de capas de fibra que contenga.
- Tiempo fabricación de chapa. Es el tiempo que se tarda en conformar la chapa de GFRP, dándole la forma deseada, que aproximadamente será la mitad del deflector.
- Tiempo fabricación deflector. El tiempo de fabricación de dos chapas, más un 10% que se ha considerado el tiempo de unión de las mismas.



- Tiempo fabricación conjunto básico/completo. Es el tiempo de fabricación de todos los deflectores, en caso del básico se ha multiplicado por tres, y en el completo por diez. Se han aproximado las mediciones, ya que se ha supuesto que el tiempo de fabricación de cada deflector es el mismo.
- Coste operario. Es el sueldo medio de un operario de una máquina de conformado de plásticos, obtenido mediante la información proporcionada por una web especializada en cálculo de sueldos.
- Coste amortización maquinaria. El coste que se le debe añadir a cada conjunto de deflectores para amortizar el coste de la maquinaria en un periodo de cinco años.
- Costes indirectos. Cualquier coste no relacionado directamente con el producto y que por tanto, no revierte sobre el beneficio. Ejemplos son: transporte, oficina, limpieza...
- Medios auxiliares. Utillaje, herramientas o materiales necesarios para la producción del producto, pero que se utilizan en menor medida o en ocasiones excepcionales.

Una vez definidas las variables utilizadas para el cálculo de costes, se procederá a mostrar los resultados de las aproximaciones obtenidas:



	Procesos de Fabricación.			
	SMC		VARTM	
Coste Maquinaria (€)	200000		2065	
Tiempo preparación material y maquina (min)	5		30	
Tiempo moldeado y curado (min)	4,5		15	
Tiempo chapa fabricada (min)	9,5		45	
Tiempo deflector fabricado (min)	20,9		99	
Tiempo Fabricación Deflectores completos (min)	209		990	
Tiempo fabricación deflectores basicos. (min)	62,7		297	
Coste Operario (€/h)	9,67		9,67	
Coste Operario (€/min)	0,16		0,16	
Coste amortización maquinaria (€)	15,91	4,77	0,2334	0,7779
Costes indirectos.	2%		2%	
Medios auxiliares.	6%		10%	
Coste Operario por conjunto fabricado (€)	10,11	33,68383333	47,8665	159,555
Coste Fabricación (€/conjunto)	26,01	38,46	48,0999	160,3329
Coste Total, Fabricación + Material (€)	213,35 €	1.077,09 €	235,44 €	1.198,97 €
Coste Final, MA y CI incluidos (€)	<b>230,67 €</b>	<b>1.164,55 €</b>	<b>264,16 €</b>	<b>1.345,24 €</b>
Coste Fabricación (sin contar amortización)	213,48 €	1.159,39 €	263,90 €	1.344,37 €

**Tabla 21. Obtención costes material y fabricación.**

El coste de maquinaria se ha obtenido de varios ejemplos de las maquinas necesarias, tanto para el SMC como la bomba de vacío para el método VARTM, que se encuentran actualmente en venta en el mercado.



*Figura 112. Bomba de vacío para VARTM.*



*Figura 113. Máquina SMC.*

Lógicamente, para realizar el proceso VARTM, aparte del coste del material, la maquinaria más cara es la bomba de vacío, valorada en unos 65 €, mientras que para el SMC, proceso mucho más automatizado y que requiere de mayores presiones, por lo que la maquina es de mayor tamaño y tiene un coste aproximado de 50.000€.

El sueldo del operario, se ha obtenido de la página [www.tusalario.es](http://www.tusalario.es) en donde se tiene una base de datos sobre los diferentes puestos de trabajo y salarios aproximados. Para un operario de máquinas para fabricar productos de material plástico, su salario aproximado es de 1548 €/mes.

Los medios auxiliares en el método VARTM se han aumentado un 4% respecto al SMC, debido a que se necesitan más utensilios para la realización del proceso, como tubos para la correcta repartición de la resina, telas filtrantes, bolsa de vacío, entre otros, pero en general, mucho más que en el método SMC.

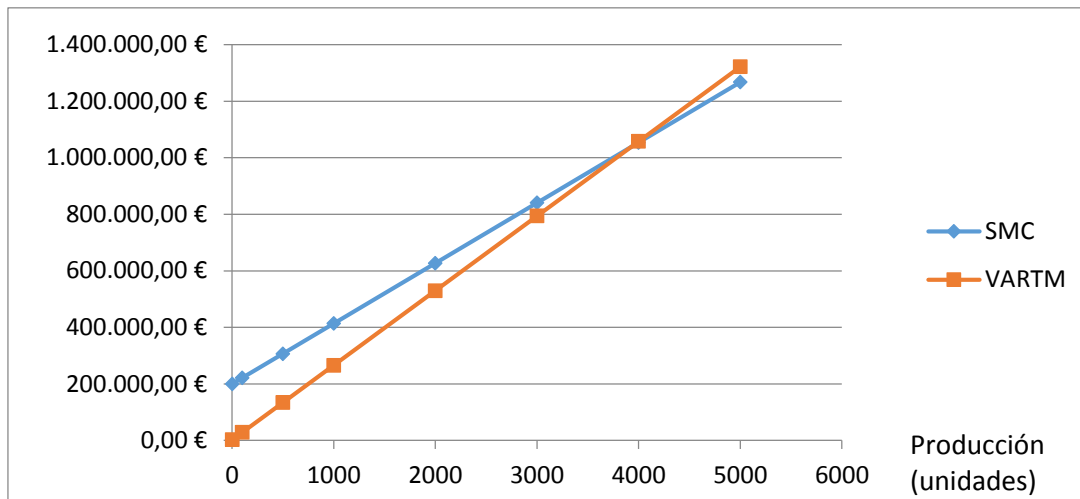
Analizando los resultados obtenidos en la Tabla 17, se observa que la fabricación por método SMC es algo más económica que el método VARTM. Esto es debido a que el



tiempo de fabricación por chapa y conjunto por SMC es muy inferior al del VARTM, necesitando 9,5 minutos con respecto a los 45 min del método VARTM, lo que se traduce en un tiempo de trabajo del operario por chapa muy superior y por tanto un mayor coste del operario, siendo 40,42 € de coste del operario por conjunto completo mientras que el método VARTM requiere de 191,45€. La ventaja del método VARTM es el bajo coste en maquinaria, lo que repercute en un menor coste añadido por pieza, siendo de 1,2 € por SMC y 3 céntimos por VARTM.

En resumen, el ahorro de tiempo en la fabricación de deflectores por el método SMC compensa el alto coste de la maquinaria, ya que el operario trabaja durante menos tiempo y por tanto requiere de menos dinero. El coste final, como se puede observar es algo menor por el método SMC que por el VARTM, y este margen aumentara conforme aumente la producción o número de lotes demandados, debido a que el coste de amortización de la maquinaria disminuiría y por tanto el coste total también. En contraposición, la resistencia del material es algo menor, aunque suficiente para la función que debe cumplir. Por tanto, ya que el coste de fabricación de un conjunto de deflectores es menor por el método SMC y disminuiría aún más si se aumentara la producción, se elige este método para la fabricación de deflectores, con un coste 218,64€ para el conjunto de deflectores básicos, formado por tres deflectores, y 1167,96 € para el conjunto de deflectores completo, formado por doce deflectores.

Este cálculo se ha obtenido añadiendo el coste de amortización de la maquinaria, por lo que se ha aplicado un coste a cada conjunto de deflectores con el fin de amortizar la maquinaria en un periodo de cinco años, aunque supone que se tiene el dinero para realizar la inversión inicial. Por otro lado, se ha realizado un nuevo análisis sin contar este coste adicional, obteniendo un gráfico donde se puede observar la producción necesaria para que el método SMC sea más viable que el VARTM y viceversa, debido a que si la producción es demasiado baja la inversión inicial que requiere el método SMC no compensa el beneficio obtenido por su venta.



*Figura 114. Comparación costes métodos de fabricación con respecto a la producción.*

Se observa como el método SMC, explicado anteriormente, tiene una inversión inicial mayor que el método VARTM, debido al coste de la maquinaria y de los moldes necesarios para la fabricación, los cuales se han valorado en unos 15.000€ cada uno más 50.000€ de la máquina, unos 200.000€ en total, mientras que el método VARTM tiene unos costes iniciales de 2.065€. Como se observa en la Tabla 17, el coste de fabricación por conjunto de deflectores es mayor en el método VARTM, por lo que una vez amortizada la maquinaria y moldes del método SMC, este va a salir más rentable, debido al menor tiempo de fabricación.

En el gráfico se observa que el punto de equilibrio se encuentra en las 4000 unidades, si la producción es menor a 4000 unidades, el método VARTM, aun requiriendo de un mayor tiempo, tiene un coste menor al SMC, mientras que si la producción es mayor, la maquinaria se amortiza y por tanto el coste por pieza y el tiempo de fabricación es menor, siendo este método más viable.

Suponiendo que se tiene el dinero para realizar la inversión inicial y una alta demanda, se prefiere el método SMC, por la alta capacidad de producción, menor tiempo de fabricación y menor dependencia del operario. En contraposición, el material tiene una menor resistencia debido a que no se pueden utilizar fibras continuas para la producción por este método, así como la imposibilidad de orientar dichas fibras, aunque la resistencia, como se observa en el apartado de cálculo resistente, es suficiente para la función a desarrollar.





## 16. CONCLUSIONES.

Tras la realización del proyecto se ha llegado a la conclusión de que la adición de los deflectores, para una misma área frontal, mejora el coeficiente de penetración del vehículo, reduciendo la resistencia aerodinámica sobre el mismo, y por tanto reduciendo el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

En contraposición, cada deflector es un sólido, conformado por un material por lo que tiene un peso, y debido a que la masa máxima autorizada se mantiene constante indiferentemente del número de deflectores instalados, a mayor número de deflectores, mayor peso y por tanto menor capacidad de carga en el vehículo, lo que supone un menor beneficio por viaje. El Modelo 2, con deflectores solo en la cabina es un modelo intermedio entre no llevar deflectores (Modelo 1) y llevar también en el remolque (Modelo 3).

Por tanto, el cliente debe elegir si prefiere una menor resistencia aerodinámica, lo que se traduce en un menor consumo, emisiones contaminantes y menores esfuerzos por parte del motor o una mayor carga útil.

En cuanto al material, el material compuesto formado por resina de poliéster con fibra de vidrio es resistente y rígido, teniendo una densidad menor a la de su mayor competidor en esta aplicación, el aluminio, y por tanto reduciendo el peso de los deflectores con respecto a este, creyendo que es el material idóneo para la aplicación.

Los procesos de fabricación propuestos, SMC y VARTM, dependen de la producción demandada, siendo más viable el SMC para altas producciones, teniendo una velocidad de fabricación por pieza muy superior al VARTM aunque el material tiene una resistencia algo inferior, por la incapacidad de colocar láminas de fibras siendo estas troceadas, y requiere de una inversión inicial alta, debido a los moldes de acero y el coste de la maquinaria. En contraposición, el VARTM tiene una mayor resistencia y menor coste inicial, aunque requiere de mayor tiempo de fabricación por pieza.

A continuación se comentan los problemas encontrados durante la realización del proyecto.

La falta de equipamiento, especialmente de un túnel de viento ha causado que los resultados se obtengan mediante un software, siendo preciso pero no al mismo nivel que



un modelo a escala analizado en un túnel de viento, lo cual era la intención inicial de este proyecto.

Los problemas surgidos con diferentes software, concretamente Ansys 16.0, el cual tiene una versión de estudiantes que no era suficiente para analizar el modelo, por contener este demasiados nodos, así como la complejidad de obtener una versión completa, la cual después de conseguirse, ha dado problemas, impidiendo el correcto mallado del modelo, fallando ciertos módulos y cerrando el programa, por lo que finalmente no se ha podido analizar con este software y hacer una comparación entre distintos software para una mayor aproximación de los resultados a la realidad. Otro problema relacionado con el software se ha encontrado en la dificultad para unir sujeciones y deflectores para el análisis resistente, así como la realización del análisis.

La obtención de las propiedades de los diferentes materiales expuestos, las cuales se han aproximado mediante la información proporcionada por el programa CES Edupack 2016, debido fundamentalmente a la complejidad de los materiales compuestos, los cuales dependen de la cantidad de resina y fibra, el tipo de fibra, la orientación de las fibras así como la cantidad de capas, lo que varía sus propiedades mecánicas. Por último, se han aproximado los costes de fabricación de algunas variables, debido a la complejidad de obtención de estos, así como la dificultad para encontrar este tipo de información.

Por lo que respecta a las líneas de futuro, para complementar el proyecto, se deberían realizar los mismos análisis con otro software para comparar resultados y tener mayor exactitud en los cálculos, así como realizar un modelo a escala y someterlo a los esfuerzos indicados para comprobar su resistencia empíricamente.

Para finalizar, comentar que ha sido un proyecto que ha supuesto un gran tiempo de trabajo, habiendo dado solo una asignatura relacionada con la aerodinámica. Ha sido interesante, divertido y ha ayudado a mejorar en varios aspectos, como el aprendizaje teórico de la aerodinámica, manejo del software así como en la búsqueda de información.



## 17. BIBLIOGRAFÍA.

1. 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-y-evolucion/>
2. Luis Miguel Ortego. (2013). La aerodinámica y la eficiencia: un vistazo a la historia. Acceso: 12/03/2016, de Tecmovia | Mercedes Benz. Sitio web: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2013/03/31/aerodinamica-y-eficiencia/>
3. David G. Artés. (2012). Enemigos de la eficiencia: la resistencia a la rodadura. Acceso: 22/03/2016, de U.S. Department of Energy | Erasmus Intensive Programme | M.I.T. ei | Sitio web: Enemigos de la eficiencia: la resistencia a la rodadura
4. Steve Gribble. (2012). The computational cyclist. Acceso: 15/05/2016, de Gribble.com Sitio web: [https://www.gribble.org/cycling/power\\_v\\_speed.html](https://www.gribble.org/cycling/power_v_speed.html)
5. The Engineering ToolBox. Rolling friction and rolling resistance. Acceso: 22/03/2016, de The Engineering ToolBox. Sitio web: [http://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d\\_1303.html](http://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html)
6. ISO. (2005). Passenger car, truck, bus and motorcycle tyres -- Methods of measuring rolling resistance. Acceso: 29/03/2016, de ISO 18164:2005. Sitio web: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=33328](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=33328)
7. Dave Lippert and Jeff Spektor. (2012). Calculating proper rolling resistance: A safer move for material handling. Acceso: 31/03/2016, de Plant Engineering Sitio web: <http://www.plantengineering.com/single-article/calculating-proper-rolling-resistance-a-safer-move-for-material-handling/82fa156f91ea516c6b08be3bc595db65.html>
8. Departamento de Ingeniería Mecánica. (2014). PRESTACIONES EN VEHÍCULOS. Acceso: 03/04/2016, de Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica Sitio web: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/prestaciones.pdf>
9. Carlos Rodríguez. (2014). ESTUDIO DE LA AERODINÁMICA DE UN VEHÍCULO. Acceso: 06/04/2016, de NORPLAN ENGINEERING S.L. Sitio web: [http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog\\_entrada.php?entrada\\_id=89](http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)



10. REVISTA TLT (TRANSPORTE Y LOGÍSTICA TERRESTRE). Nuevo Actros de Mercedes-Benz. "El futuro comienza hoy". Acceso: 06/04/2016, de Logística y Transporte. Sitio web: <http://www.logisticaytransporte.es/noticias.php/Nuevo-Actros-salon-Frankfort/19972>
11. Mercedes-Benz. (2012). Mercedes-Benz ACTROS 2012, El Futuro, Hoy. Acceso: 09/04/2016, de MAGAZINE TRANSPORTE LATINO. Sitio web: <http://www.transportelatino.net/2012/07/19/mercedes-benz-actros-2012-el-futuro-hoy/>
12. Miguel Ángel Muñoz. PRINCIPIOS AERODINAMICOS. Acceso: 09/04/2016, de SafeCreative. Sitio web: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV12.html>
13. PART. (2016). Aerodynamics. Acceso: 12/04/2016, de Platform for Aerodynamic Road Transport. Sitio web: <http://www.part20.eu/en/background/aerodynamics/>
14. Héctor H. M. Cenjor. (2015). La Gestión de Flotas, parte 1 “La Aerodinámica”. Acceso: 12/04/2016, de EMS, Sostenibilidad y Eficiencia en Transporte. Sitio web: <https://emsgestionsostenibledeflotasymovilidad.wordpress.com/2015/07/31/la-gestion-de-flotas-parte-1-la-aerodinamica/>
15. Industrial de Transformados S.A. SMC. Acceso: 12/04/2016, de ITSA passionforplastics. Sitio web: [http://www.itsa.es/pdf/ITSA-Hoja\\_tecnica\\_SMC.pdf](http://www.itsa.es/pdf/ITSA-Hoja_tecnica_SMC.pdf)
16. GRUPO GAZECHIM COMPOSITES. (2013). COMPOSITE: RESINA POLIÉSTER Y FIBRA DE VIDRIO. Acceso: 18/04/2016, de GRUPO GAZECHIM COMPOSITES. Sitio web: <http://www.gazechim.es/blog/132-propiedades-resina-poliester-y-fibra-de-vidrio.html>
17. Salvador Ortolá. (2009). Manual del Aluminio y sus Aleaciones. Acceso: 23/04/2016, de Blog Ingeniería de Materiales. Sitio web: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
18. Ing. Gastón Bonet -Ing. Cristian Bottero-Ing. Marco Fontana. (2016). Estructuras de Materiales Compuestos. Acceso: 25/04/2016, de Departamento de aeronáutica-Facultad de Ingeniería. Sitio web: <http://docplayer.es/10678573-Estructuras-de-materiales-compuestos.html>
19. Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo. (2014). Estratificados y “composites”. Acceso: 28/04/2016, de Universidad de Oviedo.



Sitio web:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema7.ProcesamientoMaterialesCompuestos.pdf>

20. WageIndicator. (2016). TuSalario.es. Acceso: 01/05/2016, de WageIndicatorFoundation. Sitio web: <http://www.tusalario.es/main>
21. S.Kalpakjian · S.R.Schmid. (2008). Manufactura, ingeniería y Tecnología. PEARSON EDUCACIÓN, México, S.A: Pearson.
22. Cadena de Suministro. (2014). España apuesta por la prolongación aerodinámica de 75 cm en el transporte por carretera. Acceso: 19/05/16, de Cadena de Suministro Sitio web: <http://www.cadenadesuministro.es/noticias/espana-apuesta-por-la-prolongacion-aerodinamica-de-75-cm-en-el-transporte-por-carretera/>