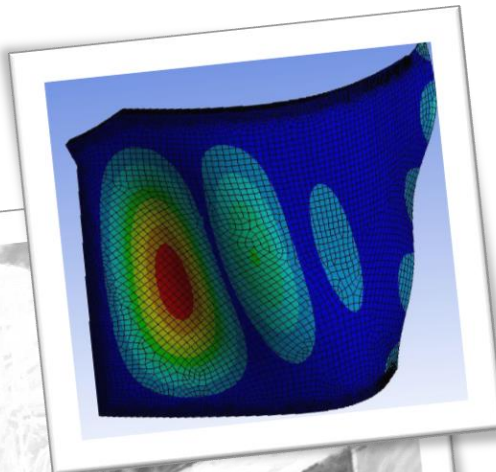




## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## ***DISEÑO Y ANÁLISIS DEL FUTURO TRANSPORTE PESADO EUROPEO***



**Alumno/Alumna:** Ansoleaga Ávila, Iñigo  
**Director/Directora:** Urizar Arana, Mónica  
**Departamento:** Ingeniería Mecánica  
**Curso académico:** 2017-2018

*Bilbao, 24, Septiembre, 2018*



## RESUMEN

ES

En este proyecto se analiza en profundidad el futuro próximo, en términos de ingeniería, del transporte pesado de larga distancia en Europa. Se diseña mediante un programa CAD un nuevo tipo de tractora europea y se desarrolla uno de los componentes que conforman su carrocería para realizar análisis mecánicos mediante métodos FEM. De este proceso se obtienen conclusiones útiles para futuros desarrollos.

EN

In this project the long distance-heavy duty transport's near future is analyzed in engineering terms. A new type of European lorry cab is designed using CAD software and one of it's bodywork components is developed and calculated using FEM methods. With all this, some useful conclusions are derived for future developos.

IT

In questo progetto si analizza il futuro prossimo del trasporto di lunga distanza in Europa in termini di ingegneria. Si disegna attraverso un software CAD un nuovo modello di camion di trazione. Si sviluppa anche uno dei componenti della sua carrozzeria per fare analisi meccanici con i metodi FEM. Di questo proceso si ottene conclusioni d'utilità per sviluppi nell futuro.

EUS

Proiektu honetan Europako distantzia luzeko eta pisu handiko garraioaren etorkizun hurbila aztertzen da, ingeniartzazko terminoetan. CAD programa baten bidez traktore europar mota berri bat diseinatzen da, eta honen karrozeriaren parte den konponente bat garatzen da FEM metodo bidezko analisi mekanikoak aurrera eramateko. Prozesu honetatik etorkizuneko garapenezako ondorio interesgarriak eskuratzen dira.



# ÍNDICE

## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ÍNDICE.....	2
Contenido .....	2
LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS.....	5
Ilustraciones .....	5
Tablas.....	8
1. MEMORIA.....	9
1.1. Introducción .....	9
1.2. Contexto.....	10
1.3. Objetivos y alcance del trabajo .....	17
1.3.1. Objetivos.....	17
1.3.2. Alcance .....	18
1.4. Análisis del estado del arte .....	19
1.4.1. Tractoras .....	19
1.4.2. Materiales .....	19
1.5. Análisis CANVAS .....	27
1.6. Análisis de riesgos .....	29
1.6.1. Diseño.....	29
1.6.2. Estéticos.....	29
1.6.3. Fabricación .....	30
1.6.4. Soluciones y Detectabilidad .....	31
1.7. Selección/Descripción de la solución propuesta. Diseño básico. ....	33
1.7.1. Cabina.....	33
1.7.2. Componente carrocería.....	36
1.7.3. Proceso de inyección .....	40



1.7.4.	El molde.....	45
2.	METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO .....	51
2.1.	Diseño CAD.....	51
2.1.1.	Desarrollo CAD cabina .....	51
2.1.2.	Desarrollo CAD componente carrocería .....	55
2.2.	Análisis FEM .....	59
2.2.1.	Método FEM .....	59
2.2.2.	Esquema del proyecto.....	60
2.2.3.	Preparación del modelo .....	61
2.2.4.	Condiciones de contorno generales .....	66
2.2.5.	Análisis estático estructural .....	68
2.2.6.	Análisis Modal.....	75
2.2.7.	Análisis de impacto .....	77
2.3.	Plan de proyecto y planificación.....	83
3.	ASPECTOS ECONÓMICOS .....	85
3.1.	Descripción del presupuesto y/o del presupuesto ejecutado.....	85
4.	CONCLUSIONES .....	87
4.1.	Estudio del estado del arte .....	87
4.2.	Diseño conceptual cabina .....	88
4.3.	Diseño y desarrollo de un componente de la zona frontal .....	90
4.4.	Análisis FEM componente.....	91
4.5.	Crítica.....	93
	BIBLIOGRAFÍA .....	94
	Libros .....	94
	Webs .....	94
	GLOSARIO .....	95
	ANEXO I: Imagenes desarrollo .....	96



Imágenes CAD cabina .....	96
Imágenes CAD Componente carrocería .....	102
ANEXO II: Análisis FEM .....	111
ANEXO III: Diagrama de Gantt.....	127
ANEXO IV: Ficha técnica.....	128



# LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES, GRÁFICAS Y ACRÓNIMOS

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diseño Americano. Fte: Mack.....	10
Ilustración 2. Diseño europeo. Fte: Scania.....	11
Ilustración 3. Densidad de población (Personas/km2). Fte: Wikipedia .....	12
Ilustración 4. Mejoras aerodinámicas en trailers europeos.....	13
Ilustración 5. Cabina Europea. Fte: Iveco .....	14
Ilustración 6. Cabina tipo americana. Fte: Boltcustom .....	15
Ilustración 7. Medidas propuestas por T&E. Fte: T&E.....	16
Ilustración 8. Tesla semitruck. Fte: motor.com .....	17
Ilustración 9. Carrocería acero. Fte: Hyundai.....	19
Ilustración 10. Steel vs Aluminium trunk. Fte : Weseloh Chevrolet.....	20
Ilustración 11. Cubierta textil trailer. Fte: Vinilosygraficos.....	21
Ilustración 12. Carrocería fibra de carbono. fte: gobikes .....	22
Ilustración 13. Calificación de los materiales plásticos. Fte: MAIER.....	23
Ilustración 14. Carrocería plástico. Fte: Scania.....	23
Ilustración 15. Comportamiento mecánico en función de la temperatura. Fte: Maier ...	24
Ilustración 16. Esquema análisis CANVAS. Fte: elaboración propia .....	27
Ilustración 17. Análisis CANVAS. Fte: elaboración propia. ....	28
Ilustración 18. Carrocería tela BMW. Fte: Autoworld.....	29
Ilustración 19. Medidas tractora estándar europea. Fte: Viarural.....	33
Ilustración 20. Medidas cabina estándar europea. Fte: Viarural .....	33
Ilustración 21. Cabina camión. Fte: elaboración propia.....	34
Ilustración 22. Medidas cabina camión. Fte: elaboración propia .....	35
Ilustración 23. Posible distribución de espacios. Fte: elaboración propia.....	35
Ilustración 24. Cabina americana. Fte: Truck driver worldwide.....	36
Ilustración 25. Superficie carrocería. Fte: elaboración propia.....	37
Ilustración 26. Superficie carrocería. Fte: elaboración propia.....	37
Ilustración 27. Fases del proceso de inyección. Fte: MAIER .....	42
Ilustración 28. Descripción grafica del proceso de inyección. Fte: MAIER.....	43



Ilustración 29. Esquema molde básico. Fte: MAIER .....	46
Ilustración 30. distintos tipos de puntos de inyección. Fte: MAIER.....	47
Ilustración 31. Elementos de centrado del molde. Fte: Maier .....	48
Ilustración 32. Entrada aire refrigeración. Fte: elaboración propia.....	54
Ilustración 33. Toma de aire. Fte: elaboración propia.....	54
Ilustración 34. Paso de rueda. Fte: elaboración propia.....	55
Ilustración 35. Nervios. Fte: Elaboración propia.....	56
Ilustración 36. Rediseño componente. Fte: elaboración propia. ....	57
Ilustración 37. Elementos unidimensionales. Fte:Femexpert.....	59
Ilustración 38. Elementos bidimensionales. Fte: Femexpert.....	60
Ilustración 39. Elementos tridimensionales. Fte: Femexpert .....	60
Ilustración 40. Esquema del proyecto FEM. Fte: elaboración propia .....	61
Ilustración 41. Mallado sólido. Fte: elaboración propia.....	62
Ilustración 42. Detalle mallado sólido. Fte: elaboración propia.....	63
Ilustración 43. Mallado de superficie. Fte: elaboración propia .....	64
Ilustración 44. Árbol de opciones mallado. Fte: elaboracion propia.....	66
Ilustración 45. Apoyo fijo-nervio superior. Fte: elaboración propia .....	67
Ilustración 46. Apoyo fijo-nervio inferior. Fte: elaboración propia .....	67
Ilustración 47. Apoyo fijo-nervio vertical. Fte: elaboración propia .....	68
Ilustración 48. Carga frontal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia.....	69
Ilustración 49. Carga frontal-Stress. Fte: elaboración propia.....	69
Ilustración 50. Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia .....	70
Ilustración 51.Carga lateral-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia.....	71
Ilustración 52. Carga lateral-Stress. Fte: elaboración propia.....	71
Ilustración 53. Carga lateral-Deformación. Fte: elaboración propia.....	72
Ilustración 54.Ensayo modal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia .....	73
Ilustración 55. Ensayo modal-Stress. Fte: elaboración propia .....	74
Ilustración 56. Ensayo modal-Deformación. Fte: elaboración propia.....	74
Ilustración 57. Deformación Modo 1. Fte:elaboración.....	75
Ilustración 58. Deformación Modo 2. Fte: elaboración propia .....	76
Ilustración 59. Deformación modo 3. Fte elaboracion propia.....	77
Ilustración 60. Carga frontal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia.....	80
Ilustración 61. Carga frontal-Stress. Fte: elaboración propia.....	81
Ilustración 62. Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia .....	81





Ilustración 63. Masa de impacto en función de la velocidad.....	82
Ilustración 64. Diagrama de Gantt. Fte: elaboración propia.....	83
Ilustración 65. Cábina tractora. Fte: elaboración propia. ....	89
Ilustración 66. Desarrollo CAD cabina imagen 1. Fte: elaboración propia .....	96
Ilustración 67. Desarrollo CAD cabina imagen 2. Fte: elaboración propia .....	97
Ilustración 68. Desarrollo CAD cabina imagen 3. Fte: elaboración propia. ....	98
Ilustración 69. Desarrollo CAD cabina imagen 4. Fte: elaboración propia. ....	99
Ilustración 70. Desarrollo CAD cabina imagen 5. Fte: elaboración propia. ....	100
Ilustración 71. Plano cabina camión. Fte elaboración propia.....	101
Ilustración 72. Desarrollo CAD componente imagen 1. Fte: elaboración propia. ....	102
Ilustración 73 Desarrollo CAD componente imagen 2. Fte: elaboración propia. ....	102
Ilustración 74 Desarrollo CAD componente imagen 3. Fte: elaboración propia. ....	103
Ilustración 75 Desarrollo CAD componente imagen 4. Fte: elaboración propia. ....	104
Ilustración 76 Desarrollo CAD componente imagen 5. Fte: elaboración propia. ....	105
Ilustración 77 Desarrollo CAD componente imagen 6. Fte: elaboración propia. ....	106
Ilustración 78 Desarrollo CAD componente imagen 7. Fte: elaboración propia. ....	107
Ilustración 79 Desarrollo CAD componente imagen 8. Fte: elaboración propia. ....	108
Ilustración 80 Desarrollo CAD componente imagen 9. Fte: elaboración propia. ....	109
Ilustración 81 Desarrollo CAD componente imagen 1. Fte: elaboración propia. ....	110
Ilustración 82. Error de mallado-Picots tensión. fte:elaboración propia. ....	111
Ilustración 83. Ensayo 1-Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia. ....	111
Ilustración 84.Ensayo 1-Carga frontal-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia	112
Ilustración 85. Ensayo 1-Carga frontal-Tensión. Fte: elaboración propia .....	113
Ilustración 86. Ensayo 1-Carga Lateral-Deformación. Fte: elaboración propia.....	114
Ilustración 87. Ensayo 1-Carga lateral-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia	115
Ilustración 88. Ensayo 1-Carga lateral-Tensión. Fte: elaboración propia .....	116
Ilustración 89. Ensayo 1-Presión-Deformación. Fte: elaboración propia .....	117
Ilustración 90. Ensayo Modal-Frec.1. Fte: elaboración propia .....	118
Ilustración 91. Ensayo Modal-Frec.2. Fte: elaboración propia .....	119
Ilustración 92. Ensayo Modal-Frec.3. Fte: elaboración propia .....	120
Ilustración 93. Ensayo Modal-Frec.4. Fte: elaboración propia .....	121
Ilustración 94. Ensayo Modal-Frec.5. Fte: elaboración propia .....	122
Ilustración 95. Ensayo Modal-Frec.6. Fte: elaboración propia .....	123
Ilustración 96. Impacto-Deformación. Fte: elaboración propia .....	124





Ilustración 97. Impacto-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia .....	125
Ilustración 98. Impacto-Tensión. Fte: elaboración propia.....	126
Ilustración 99. Diagrama de Gantt. Fte: elaboración propia.....	127
Ilustración 100. Propiedades Hyfax X M2 U16. Fte: Lyondellbasell .....	128

## TABLAS

Tabla 1. Principales polímeros cristalinos. FTE: Maier .....	25
Tabla 2. Análisis de riesgos. Fte: elaboración propia.....	32
Tabla 3. Propiedades del PP. Fte: elaboración propia .....	38
Tabla 4. Propiedades Hyfax X M2 U16. Fte: LyondellBasell.....	39
Tabla 5. Nodos y número de elementos. Fte: elaboración propia .....	65
Tabla 6. Resultados Análisis 1 – carga frontal. Fte:elaboración propia.....	68
Tabla 7. Resultados Análisis 1 – carga frontal. Fte:elaboración propia.....	70
Tabla 8. Resultados Análisis 1 – Carga lateral. Fte: elaboración propia.....	72
Tabla 9. Modos y frecuencias de vibración. Fte: elaboración propia.....	75
Tabla 10. Resultados impacto frontal. Fte: elaboración propia.....	79
Tabla 11. Masa de impacto en función de la velocidad.....	82
Tabla 12. Datos de entrada. Fte: elaboración propia .....	85
Tabla 13. Amortizaciones. Fte: elaboración propia.....	85
Tabla 14. Horas internas. Fte: elaboración propia.....	85
Tabla 15. Gastos. Fte: elaboración propia. ....	86
Tabla 16. Presupuesto. Fte: elaboración propia.....	86
Tabla 17. Componente carrocería. De izda a dcha: vista frontal y posterior. Fte:elaboración propia. ....	90



# 1. MEMORIA

## 1.1.Introducción

En este documento se expone el diseño de proceso y desarrollo de un componente del sector del transporte industrial, concretamente estamos hablando de piezas en componente plástico que forman parte la carrocería de la cabina en camiones de larga distancia articulados y más específicamente una de las defensas delanteras. Se estudian y exponen todas las fases necesarias para la obtención final de esta pieza.

Desde un punto de vista práctico el documento se divide en cuanto a contenido se refiere, en tres grandes bloques principales, no correspondientes con los nombres ni el orden de los títulos de cada apartado, que son:

**Aspectos previos y contextualización:** que abarca desde el contexto al Análisis de riesgos, en estos apartados se pretende ubicar al lector en un espacio temporal y tecnológico que justifica la ejecución y redacción de este proyecto. Se adjunta un análisis Canvas también.

**Desarrollo:** dividido a su vez en tres bloques principales:

- En primer lugar, se desarrolla un diagrama de Gantt que permita hacer un seguimiento objetivo del proyecto.
- En segundo lugar, este proyecto nace de la necesidad de adaptación a una futura nueva normativa de regulación que promueve un transporte más eficiente y seguro en el ámbito de los vehículos industriales, a pesar de que las especificaciones de esta nueva normativa no están claramente definidas se realiza un ejercicio de diseño conceptual a través de un software CAD (Computed Aided Design) que se anticipa a ella.
- Por último, se muestran los resultados de los ensayos mediante modelos CAE (Computed Aided Engineering) de elementos finitos (FEM), con los que se justifican ciertos elementos de diseño y se evalúa la estructura de la pieza.

**Conclusiones:** en este apartado se exponen los resultados más significativos, tanto positivos como de mejora de cara a futuros desarrollos, no se debe olvidar que esto es un ejercicio de diseño que abre el camino a futuros proyectos relacionados con esta tipología de componentes.



## 1.2.CONTEXTO

En la actualidad, en el mundo del transporte industrial por carretera de larga distancia, predominan los vehículos articulados en los que una cabeza tractora arrastra a un remolque o tráiler, a partir de ahora nos referiremos indistintamente como tractocamión o tractora a la cabeza tractora de uno de estos vehículos articulados y no a remolque.

Dentro de estos tractocamiones existen dos grandes tipos claramente diferenciados y que por lo general acaparan la totalidad del mercado en ciertos países desbancando al otro, de este modo existen aquellos conocidos como “americanos”, por su predominancia en el continente americano y países afines geográficamente, exceptuando algunos como Japón, y los llamados “europeos”, desarrolladas de manera mucho más exhaustiva dentro de mercado europeo. El diseño de un tipo u otro responden a exigencias distintas.

El primero de ellos tiene un diseño de cabina en el que el motor se encuentra delante del habitáculo del conductor, por ello se les conoce también como camiones “con nariz”, de esta manera la tractora es más larga, pero también más baja y por ende tiene una aerodinámica mejor, que se debería traducir, a en menores consumo y más autonomía, más tarde veremos que esto no siempre es así.



*Ilustración 1. Diseño Americano. Fte: Mack*

El segundo, el europeo, tiene un diseño vertical en donde el habitáculo está por encima del motor y el eje delantero, dando un aspecto “de ladrillo”, llamado *cabover*, y, de manera intuitiva, una aerodinámica desfavorecida que a su vez tiene un impacto negativo en consumos y autonomía. A pesar de que este diseño estuvo extendido tiempo

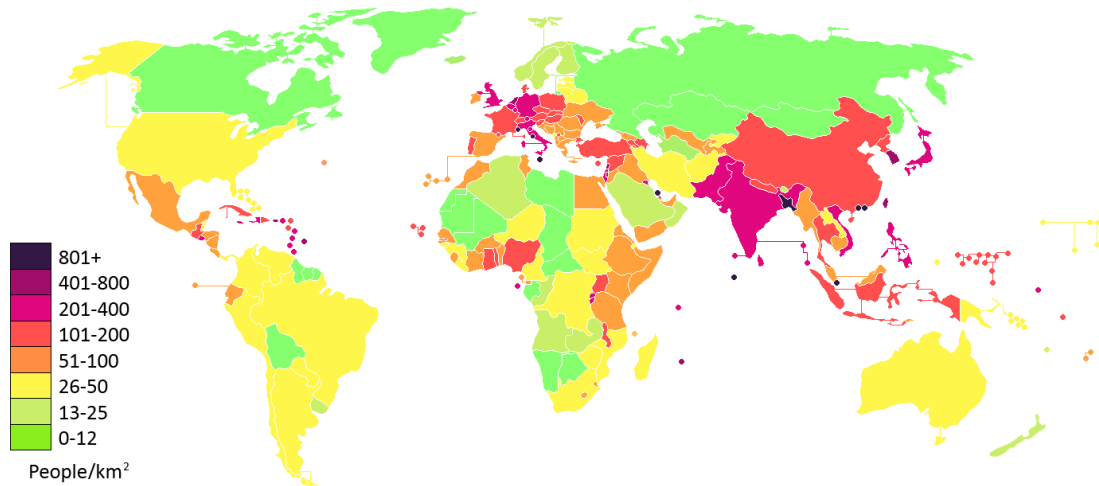


atrás también en el continente americano actualmente está en desuso en esa zona por los problemas anteriormente mencionados.



*Ilustración 2. Diseño europeo. Fte: Scania*

El diseño, de uno y otro, responde casi en exclusiva a un solo factor: el espacio. De esta manera en el viejo continente, muchas de las ciudades y núcleos urbanos están diseñados antes siquiera de la invención del motor a combustión y por tanto adecuadas a vehículos de tracción animal de menor tamaño, esto unido a la mayor densidad de población favorecen este esquema de cabina vertical que se adapta mejor a las carreteras y entornos más congestionados en los que el ahorro de espacio, tanto en parado como en maniobra es indispensable. Esto ha traído consigo un problema, la reducción del volumen del habitáculo del conductor y su correspondiente área de descanso.



*Ilustración 3. Densidad de población (Personas/km<sup>2</sup>). Fte: Wikipedia*

Por el contrario, los tractocamiones americanos necesitan de mayor espacio para maniobrar, la geografía y la menor antigüedad de muchas ciudades respecto de las europeas hacen que esto sea posible. Además, disponen de habitáculos mayores donde el conductor dispone de mayores comodidades.

Se ha dicho antes que los consumos deberían ser inferiores en los tractocamiones americanos pero el precio del combustible en América, tanto norte como sur, donde predominan este tipo de vehículos, es muy inferior al de los países europeos, por lo que no cobra tanta importancia frente a las mecánicas europeas siendo en estas los motores más eficientes para compensar este efecto, también las tractoras son más pequeñas y ligeras. Además, en muchos países como Australia la normativa de transporte permite el uso de trenes de carretera (más de 50 m) mayores que los europeos (máximo 25,25m), altura ilimitada o tonelajes mayores, por lo que finalmente los americanos tienen un consumo mayor por kilómetro. Obsérvese que, en este caso, el consumo de combustible por tonelada transportada puede no ser mayor.

En los últimos años los fabricantes de camiones “con nariz” se han centrado en reducir los consumos aproximándolos a los de los camiones europeos, recortar esta distancia no ha sido complicado debido al escaso esfuerzo realizado con anterioridad en esta materia debido al precio del combustible, y en la cual los europeos llevan años de desarrollos, por otro lado, la incorporación de la electrónica y las cajas de cambio automáticas han supuesto un gran avance. Además, se prevé un paquete de medidas a medio plazo que disminuyan los consumos incluso por debajo de los camiones europeos.



A los fabricantes de camiones europeos en cambio se les acaban las opciones que no sea la costosa electrificación de sus mecánicas a fin de dar un paso significativo en la reducción de los consumos, en los últimos años se ha trabajado, especialmente, en mejorar la aerodinámica dentro de los límites que esta disposición de tractora permite, esto es: deflectores, generadores de turbulencia, faldones laterales y de cola.



*Ilustración 4. Mejoras aerodinámicas en trailers europeos*

Por todo ello, la Unión Europea declara su intención de desarrollar un conjunto de medidas, legales y técnicas que enfrenten dos problemas: La primera, la reducción de consumos de los camiones europeos y la pérdida de competencia frente a los americanos y dos, el aumento del espacio habitable en el interior de la cabina para dar a los conductores unas condiciones de descanso optimas.





*Ilustración 5. Cabina Europea. Fte: Iveco*





*Ilustración 6. Cabina tipo americana. Fte: Boltcustom*

Este nuevo reto que se propone llevar acabo la UE se basa, a Junio de 2018, en una serie de propósitos y una declaración de intenciones en los que, si bien se habla de reducción de emisiones en %, no se presenta ningún tipo de dossier de normas técnico aplicado a estos vehículos que aquí tratamos, ni a ningún otro, a través del cual se llevarán a cabo estas medidas. El acuerdo de estas mismas tiene una fecha de puesta en marcha en el año 2022.

A pesar de no existir medios declarados para la aplicación de la nueva normativa 2022, la organización *Transport & Environment* (T&E de ahora en adelante), con sede en Bruselas, consejera de las comisiones de la UE en materia ambiental, como expertos en transporte y medioambiente, proponen ya una serie de requisitos técnicos aplicables a los vehículos de transporte articulados de larga distancia.

Entre las medidas propuestas por T&E destaca una, la prolongación o creación de un “morro” o capot delantero de reducidas dimensiones pero que permite:



- Mejora aerodinámica de la parte frontal de la tractora, al igual que las “narices” de su homólogo americano, manteniendo unas cotas reducidas que no resten maniobrabilidad, tan relevante en sus mercados objetivo.
- Instalación, en este espacio extra, de una estructura de absorción de impactos que sustituya a la actual verticalidad de los frontales de las tractoras, proporcionando mayor seguridad al resto de usuarios de la vía, al propio conductor, aunque este tenga una posición elevada, será respecto del eje longitudinal del camión más retrasada, y finalmente, a los peatones, figura cada vez más relevante en los entornos urbanos en lo que accidentes se refiere.
- Por último, el incremento de volumen de la cabina, pretende aumentar también la habitabilidad interior y mejorar las condiciones laborales de los transportistas.

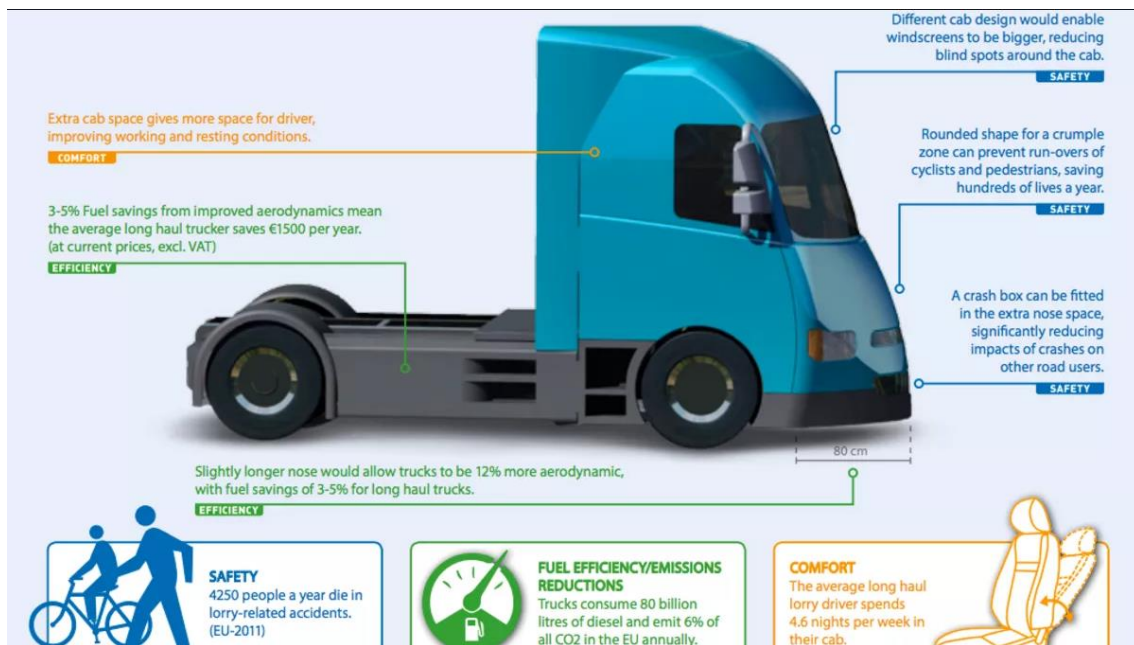


Ilustración 7. Medidas propuestas por T&E. Fte: T&E

Véase que este capot tiene una longitud de tan solo 80 cm, es decir, la longitud total del vehículo, tractora y tráiler, cuyo máximo actual es de 16.5m, apenas supera los 17m con estas medidas.

En este contexto se desarrolla una pequeña parte de ese “camión del futuro”. Mediante un ejercicio de diseño se simula la cabina y se analiza el proceso de desarrollo y producción de uno de los componentes que forman parte de su carrocería.



## 1.3.OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

### 1.3.1. OBJETIVOS

Con este proyecto se persiguen dos objetivos:

- Avanzar los pasos en el desarrollo de un componente competencia de la industria vasca de manera que esta sea capaz de responder y ofrecer a sus clientes, bajo los dos esquemas habituales:
  - Build To Print (BTP): en que los fabricantes en un futuro cercano, envíen todas las especificaciones del producto para ser fabricado siguiendo sus directrices.
  - Design and Spec Fabrication (DSF): el suministrador, Tier correspondiente, desarrolla el producto para su cliente en función, en muchas ocasiones, de la geometría y acabados deseados.
- Apoyar un diseño que permita a los mercados europeos seguir siendo competitivos a la vez que dar un impulso a la sostenibilidad que representa esa idea, aún sin especificar, que declara la UE, y que el sector del transporte comercial de larga distancia lleva adoleciendo mucho tiempo sin cambios significativos, permitiendo una evolución progresiva hacia modelos de transporte radicalmente diferentes a los actuales. Como ejemplo representativo cabe citar el camión eléctrico de la compañía Tesla, avanzado respecto al mercado (ilustración 8).



*Ilustración 8. Tesla semitruck. Fte: motor.com*



### 1.3.2. ALCANCE

El alcance de este proyecto comprende:

- Estética: se desarrolla la estética de la cabina de una tractora de estilo europeo adaptada a las directrices propuestas por T&E de cara a la normativa 2022. Esta parte, desarrollada habitualmente por el fabricante de vehículos sirve como base a los Tier para, a partir de la “piel” o cara estética del componente, desarrollarlo en su totalidad. No se precisa un diseño final puesto que la naturaleza conceptual de este proyecto no lo requiere.
- Geometría: una vez desarrollada esta estética, se desarrolla la geometría del producto a partir de ella para que sea viable su producción, se definen las zonas de anclaje y/o métodos de sujeción. El desarrollo total del producto viene de la mano de una empresa especializada subcontratada bajo un esquema DSF (a partir de la estética realizar la ingeniería de detalle) por lo que tampoco forma parte del alcance de este proyecto.
- Análisis de la geometría: se valida la geometría seleccionada mediante Análisis de Elementos Finitos (FEM). Al tratarse de un componente que no tiene una gran responsabilidad mecánica en el conjunto de la estructura, esta parte comprende:
  - Un análisis estático estructural que garantice que la pieza cumple su función estética fijada sobre la estructura de la tractora en condiciones de uso.
  - Un análisis modal para analizar la compatibilidad con la maquinaria a la que está asociada (la mecánica de la tractora).
  - Un análisis de impactos, para ver el comportamiento de la pieza. Se opta por realizar múltiples hipótesis simplificativas y utilizar un software con técnicas más simples que den un orden de magnitud de los efectos reales. Para evaluarlos con detalle se debe realizar un estudio más detallado y adecuado a las características geométricas del componente y su material, debe ser hecho con técnicas de cálculo más sofisticadas y software específico para este tipo de cargas. Este último estudio está fuera del alcance del proyecto actual.
- Inyección: se analiza el método de producción de la pieza, a priori de material plástico, que se realiza por los métodos convencionales de inyección.



## 1.4. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

### 1.4.1. TRACTORAS

Tal como se ha comentado en el apartado 1.2 (contexto) en la actualidad coexisten dos tipos de tractoras de vehículos comerciales: “americanas” y “europeas”, existiendo un número muy limitado de vehículos que opten por una solución intermedia entre ambas.

### 1.4.2. MATERIALES

En lo que respecta al componente que se analiza, actualmente en las carrocerías de los vehículos se encuentran una infinidad de materiales, de esta manera existen tres grandes grupos que pueden componer la carrocería de un vehículo:

#### 1.4.2.1. Metales

- Acero: destinado principalmente a funciones estructurales del vehículo forma parte principalmente del chasis aunque también de la carrocería, sus características mecánicas, elevada tensión de fluencia y tenacidad lo hacen adecuado para superficies exteriores sometidas a impactos o que requieran de una elevada resistencia. Como aspecto negativo cabe destacar su peso, aunque no se trata de un material pesado ( $8.7\text{kg/cm}^3$ ) respecto de sus propiedades si lo es para un vehículo de cara al consumo. Por ello en algunos casos se ha sustituido por el aluminio en la industria automotriz y también en el sector industrial pero generalmente se mantiene en zonas de responsabilidad, más exigentes. Es de extrema importancia, en la utilización del acero como elemento exterior sometido al medio ambiente, la utilización de pinturas o métodos anticorrosivos que lo protejan de agentes externos.



*Ilustración 9. Carrocería acero. Fte: Hyundai*





- Aluminio: existe la tendencia, cada vez más acentuada de implementar aluminio como parte de las carrocerías en sustitución del acero, a pesar de que las sus propiedades mecánicas son inferiores a las de este, pero comparando las tensiones de fluencia de ambos (acero 700MPa y aluminio 200MPa dependiendo del subtipo), su menor densidad ( $2.7\text{kg/cm}^3$ ) consigue unos ahorros finales de peso del 20-30% para un mismo componente. Si bien esta tendencia se aplica sobre todo en turismos no tanto en vehículos industriales pesados en los que queda relegada a aspectos estéticos o funcionales sin mucha responsabilidad mecánica.



Ilustración 10. Steel vs Aluminium trunk. Fte : Weseloh Chevrolet

- Magnesio: Tiene aplicaciones en componentes muy específicos o relegadas a turismos y/o vehículos de competición.

#### 1.4.2.2. Textiles

Se utilizan en el transporte comercial como recubrimientos exteriores de las cajas de los camiones y los tráileres. Su disposición a modo de cortina hace que en muchos casos la carga sea accesible y manipulable en todo su entorno. Por otro lado, su reducido peso y



bajo precio, en comparación con los otros materiales, da ligereza al conjunto a bajo coste. Sus características no lo hacen adecuado para soportar esfuerzos mecánicos severos y son estéticamente desfavorables por lo que su función se limita a cubrir la carga. Otras aplicaciones de mayor responsabilidad se encuentran en línea de investigación pero aún no tienen aplicación comercial.

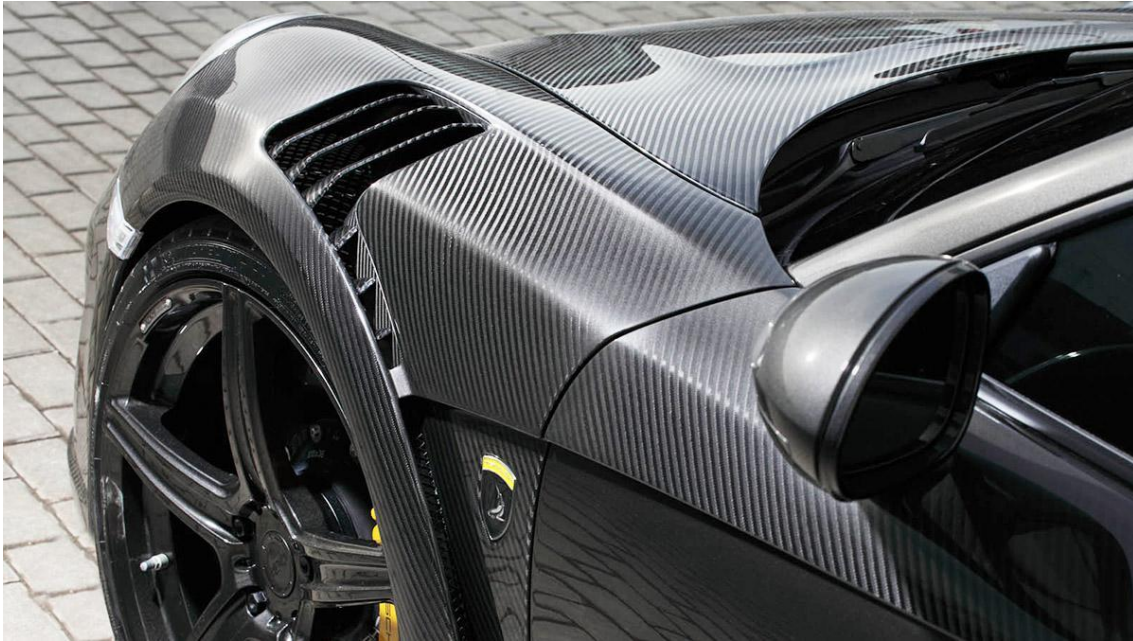


*Ilustración 11. Cubierta textil trailer. Fte: Vinilosygraficos*

#### 1.4.2.3. Composites

Existen multitud de ellos, por lo general su baja densidad y elevadas propiedades mecánicas los convierten en un gran aliado de cara a la reducción de peso y por ende del consumo, como por ejemplo la fibra de vidrio o de carbono, pero su elevado precio, en parte debido a su producción parcial o totalmente artesanal los aleja del ámbito de los vehículos industriales en el que el coste es uno de los aspectos más importante, sino el que más.





*Ilustración 12. Carrocería fibra de carbono. fe: gobikes*

#### 1.4.2.4. Plásticos

Cada vez su uso está más extendido en toda la industria, su baja temperatura de fusión respecto de muchos metales ( $173^{\circ}$  para el PP) permite un proceso de inyección del plástico líquido en un molde con la forma final de la pieza. Entre sus cualidades, en lo que atañe a su aplicación a este proyecto destaca su reducida densidad ( $0.9-1.3\text{kg/cm}^3$ ) que resulta en componentes ligeros con una resistencia mecánica alta para las funciones que desempeñan los componentes estéticos en automoción con una carga de rotura a tracción de 20-50 MPa.

Los plásticos se clasifican, como presenta la ilustración 13, en tres grandes grupos: termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los termoplásticos son sólidos a temperatura ambiente y fundidos viscosos en caliente. Los termoestables son sólidos que no se pueden fundir ni disolver a ninguna temperatura puesto que se encuentran reticulados. Los elastómeros tienen un comportamiento gomoso a temperatura ambiente, y pueden estar entrecruzados o no.

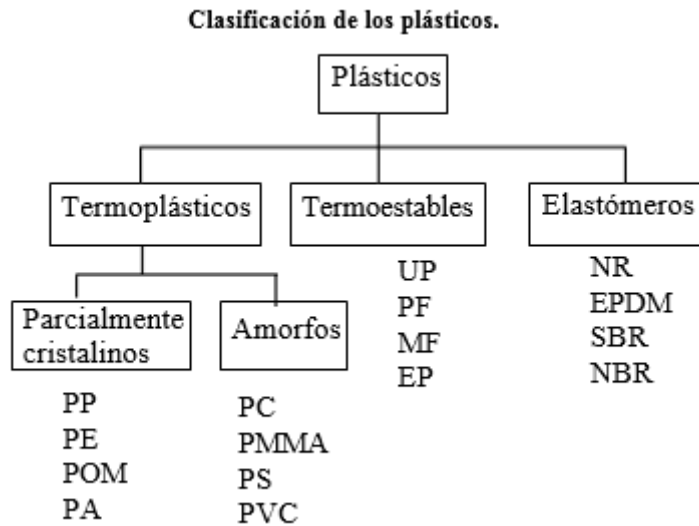


Ilustración 13. Calificación de los materiales plásticos. Fte: MAIER

#### 1.4.2.4.1. Los materiales termoplásticos

Tres componentes básicos: polímero + aditivos + cargas. De entre ellos es el polímero el que da al material sus características plásticas.

#### 1.4.2.4.2. Materiales amorfos. La temperatura de transición vítrea.

El 100% de las cadenas están desordenadas, como fideos en un plato de spaghetti.

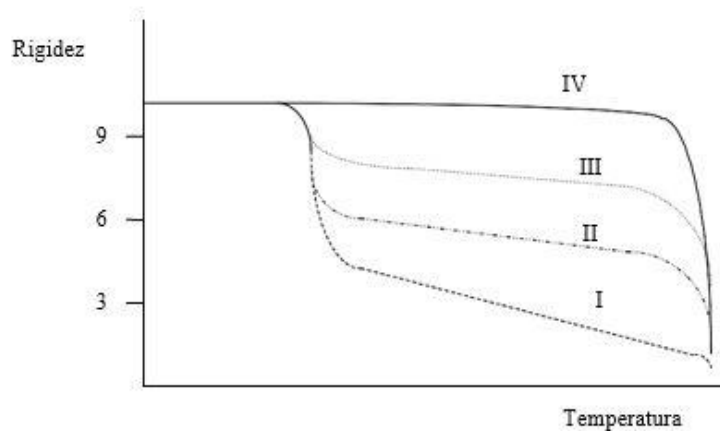


Ilustración 14. Carrocería plástico. Fte: Scania



#### 1.4.2.4.3. Metales cristalinos

Es más propio llamarlos semicristalinos ya que el grado de cristalinidad no alcanza el 100% y puede variar según sean las condiciones de procesado. En ellos las cadenas se reúnen formando una estructura ordenada. En la práctica de la inyección, un aumento de cristalinidad se consigue con: un enfriamiento más lento de la masa fundida (piezas de mayor espesor o alta temperatura del molde) o con los llamados formadores de núcleos o agentes nucleantes, con el aumento de la cristalinidad aumentan también la densidad, la resistencia mecánica y la rigidez, pero disminuyen la transparencia y la capacidad de deformación.



Curva IV. Polímero 100% cristalino.

Curvas III y II. Polímeros con grado de cristalinidad intermedios

Curva I. Polímero amorfo.

*Ilustración 15. Comportamiento mecánico en función de la temperatura. Fte: Maier*

Algunos de los más importantes son los mostrados en la tabla 1:



	<b>Tg (°C)</b>	<b>Tm (°C)</b>	<b>Grado de cristalinidad (%)</b>
<b>LDPE</b>	-100	120	40-55
<b>HDPE</b>	-100	130	60-80
<b>PP</b>	-10	175	60-70
<b>PA6</b>	50	225	50-60
<b>PA6.6</b>	55	265	50-60
<b>PBT</b>	45	225	30-40
<b>POM</b>	-75	180	< 75

Tabla 1. Principales polímeros cristalinos. FTE: Maier

Cuando un material ha cristalizado adecuadamente, no caben esperar fenómenos de postcristalización. Sin embargo, si un material se ha enfriado muy rápido, sin dejarle alcanzar su grado de cristalinidad natural, el material puede ir cristalizando lentamente a temperatura ambiente

#### 1.4.2.4.4. Principales diferencias entre ambos

##### AMORFOS.

- No existe un punto de fusión, sino un proceso de reblandecimiento.
- En la Tg no cambia la estructura del material. Las piezas contraen menos.
- El material es transparente.
- Son sensibles a disolventes.

##### CRISTALINOS.

- Presentan una temperatura de fusión.
- En la Tm cambia la estructura del material. Al fundir, aumenta el volumen que ocupa el material en un 5-15%. La contracción en las piezas es mayor (1-3%).
- La cristalización libera un “calor latente de fusión”. Se debe evacuar más calor. Esto, unido a la mayor contracción del material, supone una mayor tendencia a la deformación.
- No son transparentes.
- Son más resistentes a los disolventes.



#### 1.4.2.4.5. Viscosidad del material.

Los materiales semicristalinos tienen una temperatura de procesado de unos  $250^{\circ}\text{C} > T_g$ . Mientras que los materiales amorfos tienen una temperatura de procesado de unos  $150^{\circ}\text{C} > T_g$ . Como consecuencia de esto:

- Los materiales cristalinos darán fundidos de menor viscosidad.
- Aumentar la temperatura del fundido en un material amorfo reduce mucho más la viscosidad del fundido que en un material cristalino.

Por ejemplo, el PVC y el PC son especialmente viscosos. El LDPE, PP y poliamidas son los más fluidos. Por otro lado, el LDPE, PP y poliamidas son los más fluidos.

Los más utilizados en la industria automotriz son:

- Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):
- Poli Vinil Cloruro (PVC)
- Polipropileno (PP)
- Polimetilmetacrilato (PMMA)



## 1.5. ANÁLISIS CANVAS

Se desarrolla un análisis de negocio modelo CANVAS desde el punto de vista del fabricante de tractoras, este modelo tiene el esquema siguiente:



Ilustración 16. Esquema análisis CANVAS. Fte: elaboración propia.

Que desarrollado se muestra en la figura 17.





# Business Model Canvas

Diseñado para: **H-Truck**  
 Diseñado por: **Íñigo Ansoleaga Ávila**

Relaciones Clave	Actividades Clave	Propuesta de Valor	Relaciones con los clientes	Mercado Meta - Clientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Buena relación con los rovededores</li> <li>* Buena relación con los gobiernos y agentes europeos</li> <li>* Relaciones con clientes nacionales y locales</li> </ul>	<p><b>Recursos Clave</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Plantas de fabricación</li> <li>* Trabajadores</li> <li>* Intelectuales (Marcas, Patentes, derechos know how)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Experiencia</li> <li>* Mejor desempeño que los competidores</li> <li>* Mayor Efectividad que otros productos</li> <li>* Mejor diseño</li> <li>* Ventaja en precio</li> <li>* Ventaja en costes</li> </ul>	<p><b>Canales de Comunicación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Concesionarios</li> <li>* Gasolineras: Suministros</li> <li>* Grandes superficies: suministros</li> <li>* Transportistas: entrega y distribución</li> <li>* Compra-venta de vehículos usados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Transportistas de larga distancia</li> <li>* Empresas de Logística</li> <li>* Otras empresas</li> </ul>
<p><b>ESTRUCTURA DE COSTOS</b></p> <p><b>TU NEGOCIO ESTA BASADO EN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Diseño, desarrollo, fabricación y venta de vehículos industriales</li> <li>* Puntos de recarga</li> <li>* La cadena de suministro de los proveedores</li> </ul> <p><b>CARACTERÍSTICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Innovación (HD)</li> <li>* Anticiparse al mercado (errores)</li> <li>* Economías de escala</li> <li>* Aspectos productivos</li> <li>* Coste de instalaciones</li> </ul> <p><b>TIPOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Venta de vehículos</li> <li>* Venta de suministros para el vehículo</li> <li>* Reparación de vehículos</li> <li>* Alquiler de vehículos y servicios</li> <li>* Venta de recambios</li> </ul>				

**PUNTO DE EQUILIBRIO**

Ilustración 17. Análisis CANVAS. Fte: elaboración propia.





## 1.6. ANÁLISIS DE RIESGOS

A continuación se describen los principales riesgos de este proyecto según las áreas de desarrollo.

### 1.6.1. DISEÑO

La definición detallada o actualización de las normativas que regirán este futuro transporte puede dejar obsoleto o alejado del mercado el diseño escogido para este desarrollo conceptual. Dado que se trata precisamente de un “concept” y no un producto actual existe margen de maniobra a pesar de que esta situación no sea detectable hasta que no se defina principalmente, la longitud extra de la que se puede dotar a la tractora.

### 1.6.2. ESTÉTICOS

Cada vez más el aspecto visual se convierte en un argumento de ventas y una razón de compra de mayor relevancia en el mundo de la automoción.

Es cierto que en el transporte comercial factor precio suele estar por encima de la estética, pero esta crece cada vez más en importancia. Es por ello que cada vez los fabricantes de vehículos, comerciales y de uso privado, tienden a eliminar líneas de unión entre componentes y cualquier otro acabado de montaje que no sea visualmente favorecedor para el conjunto de la carrocería. Este concepto se ve claramente reflejado en un concept car de la compañía BMW que usa una carrocería de tela con escaso número de componentes y carente de uniones y soldaduras.



*Ilustración 18. Carrocería tela BMW. Fte: Autoworld*



Esto da lugar a piezas de geometrías cada vez más complejas y grandes.

En este proyecto se busca igualmente una limpieza de líneas sobre la carrocería, que persigue conseguir un acabado final estéticamente favorable puesto que la función del componente es principalmente esa.

A fin de eliminar las líneas de unión existen dos opciones:

- Reducir el número de componentes, de manera que la cantidad de acabados indeseados resultantes de la unión entre ellos disminuya igualmente.
- Aumentar el tamaño de las piezas. Produce el mismo efecto que la anterior medida, además de dar lugar a una mayor superficie “limpia”.

A pesar de que el uso de una o ambas opciones resulta favorable para mejorar el acabado del conjunto da lugar a diversos problemas:

- Sustitución de componentes defectuosos: cualquier daño ocasionado sobre una zona del componente hace que sea necesaria, obviamente, la sustitución de la totalidad del mismo. En cambio si en vez de una sola pieza fuesen varias solamente sería necesario la sustitución de aquella dañada. Se debe estimar si esto puede suponer un inconveniente desde el punto de vista estratégico de cara al cliente y desde el punto de vista interno.
- Gestión de recambios: Al tratarse de un componente de mayor tamaño el transporte y manipulación de este se dificulta en gran medida. Por otro lado, la reducción de componentes simplifica la gestión de estos recambios. Se debe realizar un estudio que mida el impacto de ambos aspectos para evaluar si realmente es negativo.

### 1.6.3. FABRICACIÓN

Los problemas asociados a su proceso productivo son:

#### 1.6.3.1. Inyección

El gran tamaño de los componentes requiere de inyectoras capaces de albergar moldes y útiles de fabricación de mayor tamaño y con una mayor fuerza de cierre y elevadas presiones de inyección y mantenimiento. Se debe garantizar que se disponen de los útiles adecuados para la fabricación de las piezas. Puede haber problemas de:

- Rechupes o contracción excesiva del material tras la inyección



- Falta de llenado del molde.
- Rebabas, en la zona de unión del núcleo y la parte móvil
- *Yetting*: marcas superficiales del plástico fluuyente.
- Marcas de puntos de inyección
- Marcas de expulsores
- Cinemática carros: partes móviles del molde en sentido transversal de la inyección

#### 1.6.3.2. Pintura:

En esta fase, necesaria para la protección del material, al tener las piezas de la carrocería una superficie y tamaño grandes o geometrías complejas puede haber problemas de:

- Espacio en las instalaciones actuales.
- Saturación de las instalaciones por geometría o espacio.
- Overspray: exceso de pintura en polvo en el aire.

#### 1.6.4. Soluciones y Detectabilidad

A continuación se muestra una tabla (tabla 2) resumen con los principales riesgos, su detectabilidad y soluciones, a priori, adecuadas (elevado grado de incerteza en el comportamiento de estos riesgos en el ciclo de vida de un producto desconocido).

RIESGO	DETECTABILIDAD	SOLUCIÓN
Diseño erróneo	Cuando se definan las normas de diseño. Según demanda del mercado	Evaluar la aceptabilidad de los <i>concepts</i>
Sustitución de componentes	Ergonomía en las fases de prueba	Evaluar el impacto ergonómico del diseño
Gestión de recambios	Extrapolable con piezas actuales	Evaluar el impacto económico del diseño
Rechupes	En la simulación mediante software	Garantizar la presión de mantenimiento suficiente por parte de la maquinaria
Falta de llenado del molde	En la simulación mediante software Pruebas previas	Inyección secuencial <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Se explica en el apartado 1.6.3 PROCESO DE INYECCIÓN



Rebabas	En la simulación mediante software. Pruebas previas	
Yetting	En la simulación mediante software	Evitar inyección en el plano de la pieza. (Por ejemplo perpendicular a él).
Marcas de inyección	En la simulación mediante software	Inyectar en sobrantes posteriormente retirados
Marcas expulsores	En la simulación mediante software	Reducir su número, estudiar su cinemática y tiempos de actuación
Cinemática carros	En la simulación-diseño del molde	Reducir su número y complejidad de su cinemática y forma
Espacio	Análisis de las instalaciones actuales	Si es necesario, evaluar la construcción de nuevas instalaciones
Saturación	Análisis de las instalaciones	Verificar la capacidad productiva de las instalaciones actuales o futuras
Overspray	Cálculo de tiempos por pieza	Aumentar el número de capas para reducir el tiempo emleado en cada una

Tabla 2. Análisis de riesgos. Fte: elaboración propia.



## 1.7. SELECCIÓN/DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. DISEÑO BÁSICO.

### 1.7.1. CABINA

Para una tractora basada en las directrices de T&E, las propuestas de la UE y bajo el propio criterio, se diseña, en resumen, una cabina que sigue, salvaguardando el esquema de diseño de fabricantes europeos, manteniendo unas cotas similares a las de las tractoras actuales, pero añadiendo una longitud de 800mm para la inclusión de un frontal más aerodinámico.

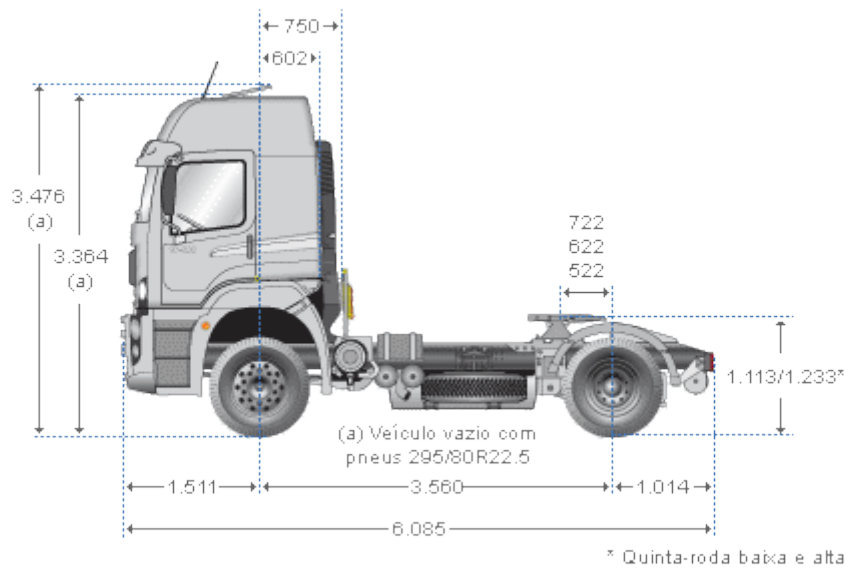


Ilustración 19. Medidas tractora estándar europea. Fte: Viarural

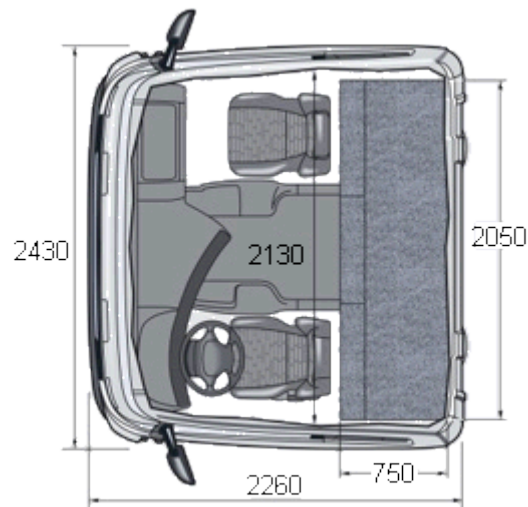
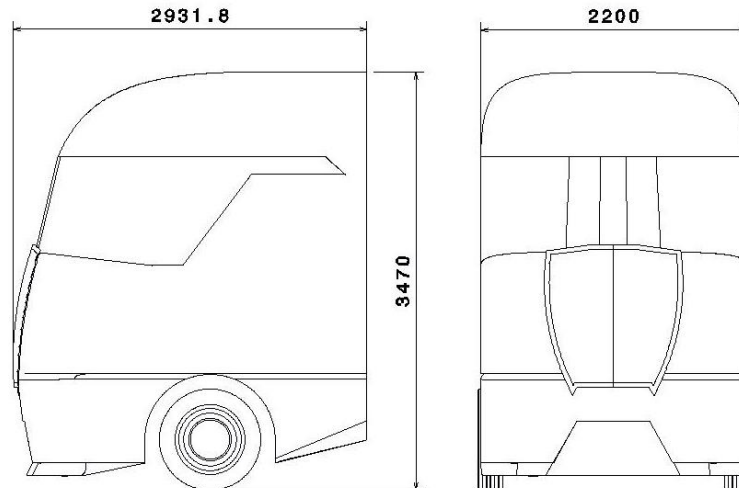


Ilustración 20. Medidas cabina estándar europea. Fte: Viarural

La solución propuesta es un cuerpo en blanco, Body In White o BIW, al que luego irán adheridos diferentes componentes estéticos y/o funcionales, deflectores, retrovisores, luces, etc. Este BIW tiene una apariencia como la mostrada en la imagen 21 y 22.

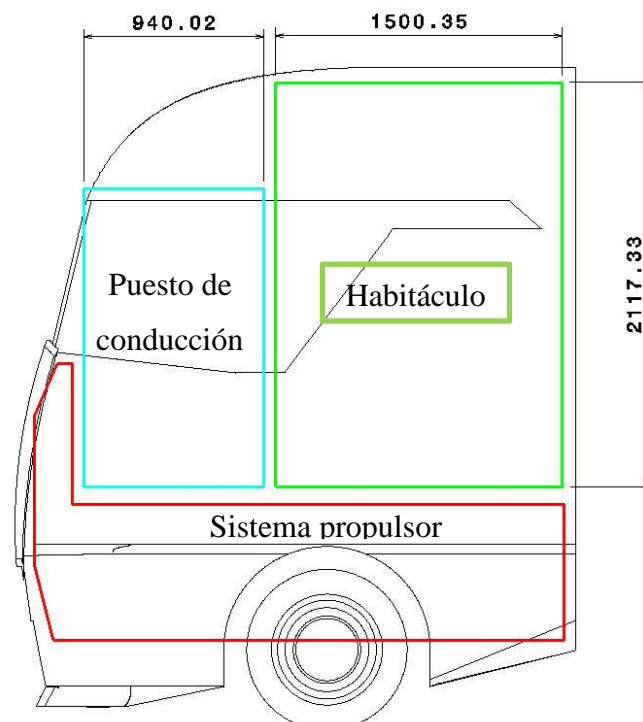


*Ilustración 21. Cabina camión. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 22. Medidas cabina camión. Fte: elaboración propia*

Donde la cabina crece desde los 2260mm hasta 2932mm de longitud con una ganancia de 672mm de espacio que, traducidos al interior, es una gran ganancia en habitabilidad interna. Mientras que el ancho permanece invariante, ya que no es un parámetro que, a priori, sea susceptible de modificación.



*Ilustración 23. Posible distribución de espacios. Fte: elaboración propia*





En este diseño de cabina se mantiene el esquema europeo *cabover* con el sistema propulsor ubicado bajo el habitáculo del conductor, el puesto de conducción se encuentra al frente y tiene mayor espacio frente a un impacto frontal, la forma aerodinámica del frontal supone una mayor inclinación de toda la cabina, por lo que este espacio puede verse reducido en su parte superior, habitualmente, en este tipo de vehículos, en ese lugar se encuentran las centralitas de radio, contabilidad de horas y espacio de almacenaje, no siendo volumen útil al conductor. La reducción de tamaño de todos esos componentes y el sistema propulsor compensan sobradamente esta reducción fruto de la forma del nuevo frontal.

El habitáculo, punto conflictivo de quejas entre los transportistas, fabricantes y la ley, crece hasta alcanzar una longitud de 1500mm, desde los escasos 800mm actuales que apenas dejan espacio para una cama, o literas, pequeña, disponiendo de espacio extra para incluir mejores y nuevas medidas de confort, siguiendo la línea de sus homónimos americanos que incluyen en muchos casos pequeños sofás o electrodomésticos de cocina, incluso aseos.



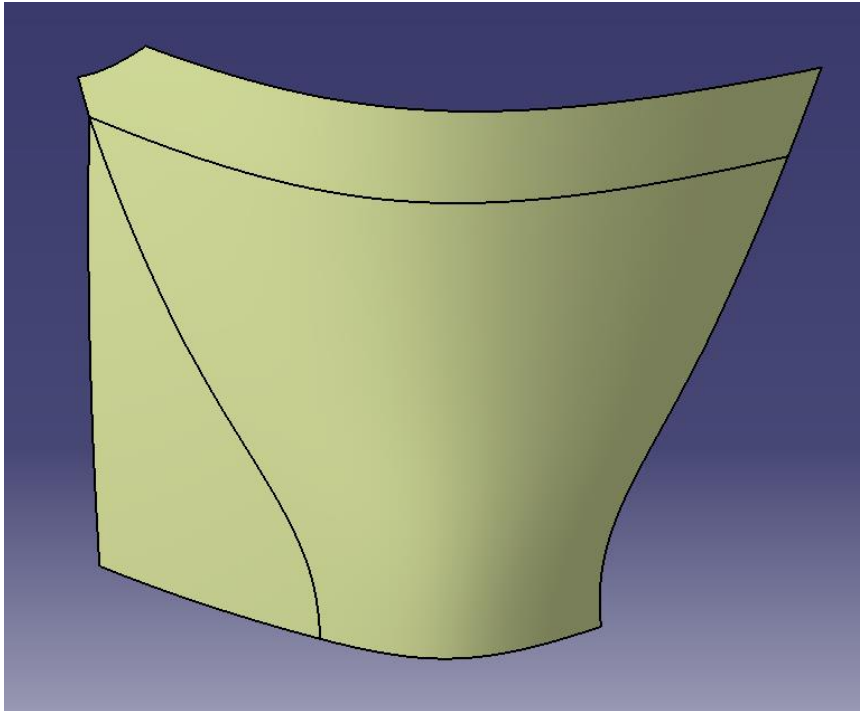
*Ilustración 24. Cabina americana. Fte: Truck driver worldwide*

### 1.7.2. COMPONENTE CARROCERÍA

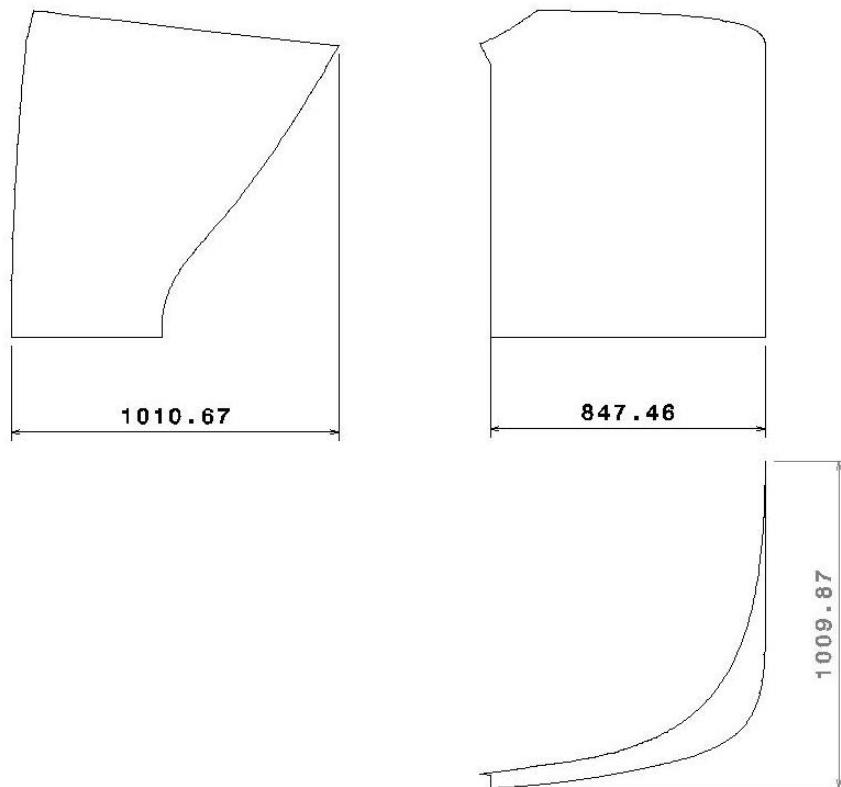
De esta nueva estética se extrae uno de los componentes de su carrocería para su desarrollo CAD, creación de nervios, fijaciones, definición de material, definición del proceso de inyección y análisis FEM (Finite Elements Method). El componente seleccionado es una de las cubiertas laterales por ser uno de los componentes más complejos y extensos de la carrocería desde el punto de vista geométrico.



La superficie de la que se parte es la mostrada en la ilustración 20:



*Ilustración 25. Superficie carrocería. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 26. Superficie carrocería. Fte: elaboración propia*



Sus características geométricas principales son:

- Dimensiones (mm): 848 x 1011 x 1010
- Superficie: 1.4m<sup>2</sup>
- Espesor: 4mm

#### 1.7.2.1. Elección del material

Se designa un material para este componente que es un Polipropileno (PP), habitualmente utilizados en los paragolpes de los vehículos por su elevada ductilidad y capacidad de absorber energía de deformación, mayor que la mayoría del resto de plásticos en automoción con excepción de cauchos y poliamidas.

Algunas de sus características son:

	PP	Notas
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Desde 0.85	
Módulo elástico de tracción (MPa)	0.7 a 1.4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	450 a 900	Una de las mas altas de todos los termoplásticos junto con el Polietileno (PE)
Carga de rotura en tracción (MPa)	25 a 40	
Módulo de flexión (GPa)	0.42 a 1.4	

*Tabla 3. Propiedades del PP. Fte: elaboración propia*

Habitualmente en la comercialización de este material se incorporan ciertos aditivos que mejoran sus propiedades, se expresan en un porcentaje de la masa total de la mezcla.

Algunos de ellos son:

- Fibras: de vidrio o de carbono.
- Minerales.
- Agentes hidrófugos: evitan la entrada de agua.
- Ignifugantes: retardan las consecuencias del fuego.



- Antioxidantes.
- Estabilizadores UV.
- Plastificantes: hacen que el material sea menos rígido.
- Estabilizantes: para el plástico a altas temperaturas.
- Lubricantes: mejoran la fluidez del plástico líquido.

En este caso se utiliza un Polipropileno (PP), T20, es decir con un 20% en masa de contenido mineral que mejora la resistencia a rotura, con un estabilizante UV puesto que el PP tiene baja resistencia a la radiación UV y el componente que se fabrica con él es de exterior y está sometido a la radiación solar. De esta manera la pintura no es el único agente protector y permite, en cuanto a la degradación del material se refiere, ser menos exigente en la fase de pintado o incluso si se desea prescindir de ella.

Este material es el Hyfax X M2 U16 fabricado por LyondellBasell. Sus características mecánicas principales son<sup>2</sup>:

	Hyfax X M2 U16
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.05
Módulo elástico de tracción (GPa)	2.75
Carga de rotura en tracción (MPa)	26
Módulo de flexión (GPa)	2.9

Tabla 4. Propiedades Hyfax X M2 U16. Fte: LyondellBasell

#### 1.7.2.2. Acabados

Como los procesos de inyección y pintado no son perfectos, se debe definir diferentes áreas de la pieza sobre las que exigir acabados superficiales que varían según esa área sea vista o no, de esta manera se designa una cara A, otra B y otra C.

- Cara A: Corresponde con la superficie frontal vista de la pieza. No se permite ningún defecto superficial que altere las especificaciones.
- Cara B: Corresponde con la superficie externa del nervio principal. Se permiten defectos leves no apreciables a simple vista. Estos defectos necesitan, por lo general, fuentes externas para ser detectados: luz incidente sobre la superficie, instrumentos de metrología, etc.

<sup>2</sup> La ficha completa se puede visualizar en el ANEXO IV



- Cara C: Corresponde con la superficie interior de la pieza, como no es visible salvo rotura o reparación solo debe cumplir los requisitos mínimos para cumplir su función y por tanto pueden tener defectos graves como, tolerancias superficiales, defectos en la pintura o en el brillo, falta de paralelismo respecto de la superficie frontal.

En ningún caso se acepta la existencia de defectos de inyección: rechupes, puntos de inyección, mecanizados, rebabas o yetting<sup>3</sup>.

### 1.7.3. PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección, como su nombre bien indica, consiste en inyectar plástico fundido en el interior de un molde con la forma final del componente.

#### 1.7.3.1. Componentes

Una inyectora industrial consta de diversas partes:

- Trolva de admisión: es la entrada del material plástico sólido, usualmente en forma de pequeñas bolas, a la inyectora, esta comunica directamente con la cámara de la inyectora.
- Cámara, su volumen es variable en función del avance del husillo, en ella el plástico se funde por la acción de resistencias eléctricas adheridas a sus paredes que conducen el calor hasta el interior de la cámara.
- Husillo: uno de los componentes más importantes, tiene dos movimientos. Una rotación en torno a su eje principal con el que va moviendo y comprimiendo el plástico hacia el extremo de la cámara, cercano a la boquilla de inyección, a través de las hélices que tiene en su contorno, la fluidez del plástico aumenta a causa del calor y la presión.

El segundo movimiento es de traslación también a lo largo de su eje principal, una vez que el plástico líquido tiene la fluidez y presión adecuadas el husillo lo empuja a través de la boquilla de inyección.

- Boquilla de inyección: es el punto de paso de la cámara caliente al molde, en este punto de paso pueden instalarse diversos sistemas de inyección que se explica más adelante.

---

<sup>3</sup> Silueta que deja el plástico en forma de “eses” al fluir a la salida del punto de inyección.



- Carros: estos están formados por guías que se mueven en dirección paralela al husillo permitiendo la apertura del molde para la extracción de la pieza. La fuerza máxima que pueden realizar para cerrar el molde durante el proceso de inyección marca la fuerza de cierre máxima característica de la inyectora. Cuanto mayor sea la pieza mayor es el tamaño del molde y por tanto una mayor fuerza de cierre es requerida para una misma inyectora puesto que la presión de inyección aumenta. Una fuerza de cierre insuficiente puede provocar, entre muchos otros defectos, la aparición de rebabas fruto de la separación entre las dos partes principales del molde.

### 1.7.3.2. Fases

Se puede hablar de una serie de etapas en el ciclo de inyección que van secuenciadas unas de otras o que en algunos casos se superponen temporalmente. Partiremos de una situación que vamos a llamar inicial en la cual el molde se encuentra abierto la unidad de inyección se encuentra retrasada y el cilindro contiene entre la boquilla y la punta del husillo material para algo más que una dosis. Comencemos el ciclo:

1. Cerrar el molde
2. Unidad de inyección adelante hasta contactar con el molde
3. Inyección. El husillo avanza linealmente
4. Mantenimiento. Una vez lleno el molde se sigue ejerciendo presión con el husillo para compensar el efecto de disminución de volumen y evitar que el material regrese al cilindro.
5. Plastificación y dosificación. El husillo gira y se desplaza hacia atrás, acumulando delante de él material (a la temperatura requerida para realizar la inyección) para una nueva dosis
6. Unidad de inyección atrás. Se pierde contacto entre el molde y la unidad de inyección.
7. Abrir el molde y expulsar pieza. Posibles pausas.



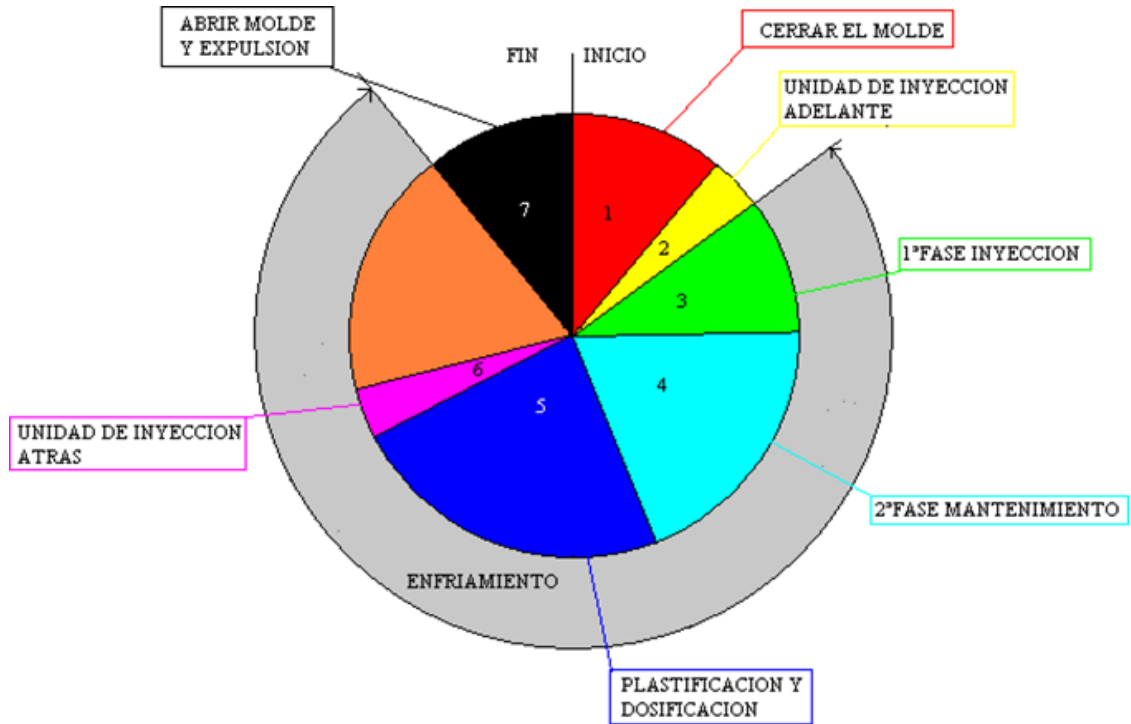


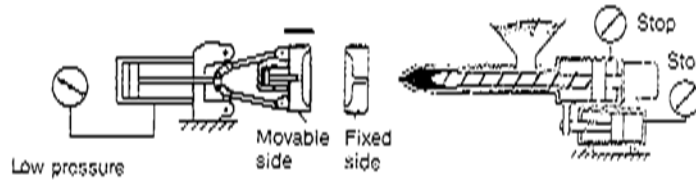
Ilustración 27. Fases del proceso de inyección. Fte: MAIER

El enfriamiento empieza en cuanto el material entra en el molde, aunque en los controles de las máquinas se considera tiempo de enfriamiento como el que media entre el final de la fase de mantenimiento y la apertura del molde. Entre el final de la etapa 6 y el comienzo de la 7, el molde permanece cerrado hasta que concluya el tiempo de enfriamiento.

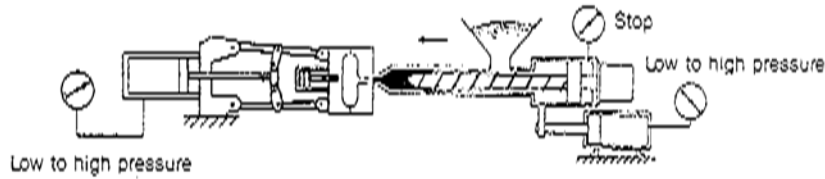


## Basic Actions of Injection Molding Machines

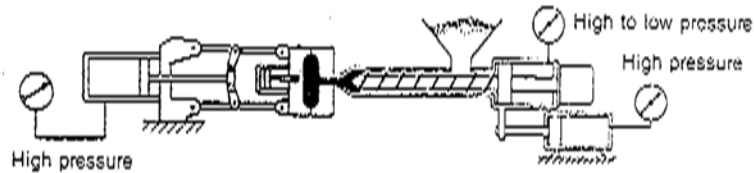
### (1) Mold Closing



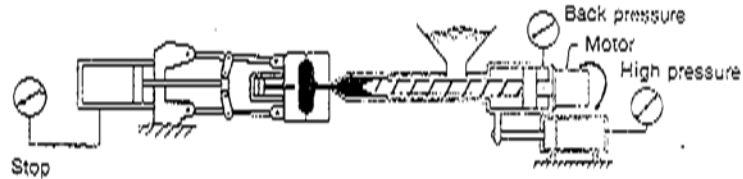
### (2) Mold Clamping/(3) Nozzle Advancing



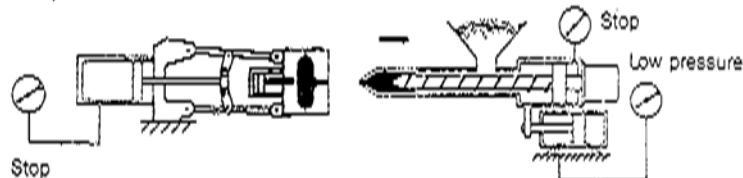
### (4) Injection and Holding



### (5) Plastication (Screw Rotation)



### (6) Retreat of Injection Unit



### (7) Mold Opening/Product Ejection

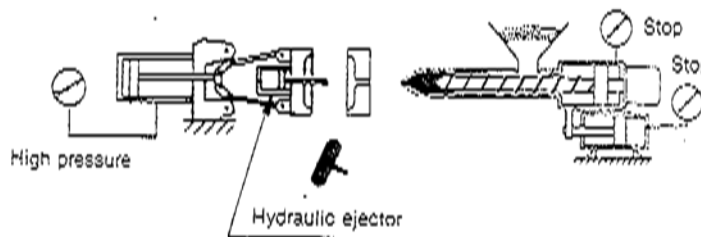


Ilustración 28. Descripción gráfica del proceso de inyección. Fte: MAIER

La transferencia del material del cilindro al molde se efectúa en dos etapas o fases, denominadas: **1ª fase o llenado** y **2ª fase o mantenimiento**.



**1ª fase:** En esta etapa se transfiere desde el cilindro al molde una cantidad de material suficiente para el llenado volumétrico del mismo (aproximadamente el 95% al 98% del volumen de la cavidad). A esta cantidad o volumen es a lo que se llama dosis. Esta transferencia de material se realiza controlando la velocidad de avance del husillo, programando para ello un perfil de velocidades de inyección. Durante esta fase se programa también la denominada presión de 1ª fase. Dicha presión no hay que confundirla con la presión real de inyección, que va creciendo desde cero hasta un valor máximo al final de la 1ª fase

**2ª fase:** En esta etapa se introduce el material necesario adicional a la dosis, para conseguir así piezas adecuadamente compactadas, con las dimensiones y peso requeridos. Durante esta fase lo que se controla es la presión que se ejerce sobre el husillo (que a su vez es la que se transmite al material) y el tiempo durante el cual se ejerce dicha presión. A esta presión se le denomina presión de mantenimiento o de 2ª fase y al tiempo durante el cual se ejerce se le llama tiempo de mantenimiento

Para la fabricación de este componente, al tratarse de una pieza de gran tamaño, se utiliza una inyectora de plástico hidráulica y no eléctrica. A pesar de que las segundas tienen mejores acabados solo son adecuadas para componentes de reducido tamaño o que precisen una alta cadencia de inyección, la diferencia entre una y otra radica en que las hidráulicas ejecutan sus movimientos, el del carro con molde y el avance del husillo, por medio de aceite a presión mientras que la segunda lo hace mediante motores eléctricos.

### 1.7.3.3. Parámetros

Puesto que la pieza tiene un área proyectada muy grande es necesario regular los parámetros de la inyectora para asegurar el llenado del molde, esto se consigue de varias maneras:

- Una alta velocidad de avance del husillo proporciona:
  - Mejor llenado de la zona más distante del punto de inyección
  - Mejor enfriamiento de la pieza
  - Tiempo de ciclo reducido
  - Mejor aspecto superficial



- Mejores características mecánicas de la pieza inyectada

Una alta fluidez del material plástico: a mayor o menor facilidad que presenta un material a fluir viene dada por su viscosidad. Un material muy viscoso tendrá menos fluidez que uno menos viscoso.

La viscosidad varía con la temperatura. En general si la temperatura aumenta el material se hace menos viscoso (por ejemplo, los aceites). Sin embargo, hay materiales cuya viscosidad se ve influenciada también por la velocidad a la que fluyen. A estos materiales se les denomina fluidos no Newtonianos y un claro ejemplo de ellos son los termoplásticos.

Para una misma temperatura, la viscosidad de un termoplástico dado disminuye si se incrementa su velocidad de flujo.

Para una misma velocidad de flujo, la viscosidad de un termoplástico dado disminuye si se incrementa su temperatura.

Inyección secuencial: permite la inyección del plástico en diferentes puntos del molde. Sobre todo indicado en piezas de gran tamaño o elevada superficie proyectada como es este caso se realiza abriendo los puntos de inyección de manera secuencial cuando el plástico fluido ha pasado por ellos, de este modo se evitan marcas de inyección.

Por otro lado, un solo punto de inyección puede que no sea capaz de llenar todo el molde al enfriarse y solidificarse el plástico antes de llenarlo, de igual manera ocurre en la segunda fase, de presión, para evitar rechupes.

#### 1.7.4. EL MOLDE

El molde de inyección es el utillaje que conforma el plástico. Sus cavidades reproducen el negativo de las piezas que se quieren obtener. El plástico fundido es introducido a presión en el molde por un orificio, distribuido por una serie de canales de alimentación y conducido finalmente a las cavidades, donde se solidifica y adquiere la forma deseada. Consta además de dispositivos de expulsión para permitir su desmoldeo y de canales de refrigeración para conseguir una temperatura de molde homogénea y uniforme en el tiempo, así como para poder reducir la duración del ciclo de moldeo.

### 1.7.4.1. Elementos básicos de un molde

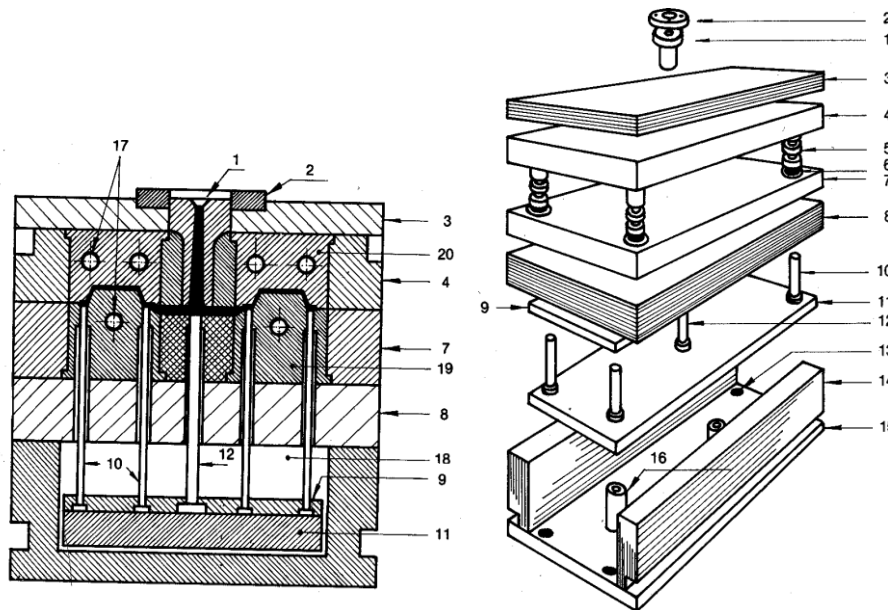


Ilustración 29. Esquema molde básico. Fte: MAIER

Existen varios tipos y configuraciones de moldes (una o varias cavidades, de dos placas, de tres placas, de varios pisos, con canales calientes, con carros...). Ahora bien, en todos ellos hay una serie de elementos comunes que vamos a describir a continuación. Además de estas existen otras partes del molde, tales como los canales de alimentación, entradas respiraderos, pozos fríos, mecanismos de extracción, etc. que se comentarán más adelante.

### 1.7.4.2. Superficie de unión

Comúnmente llamado plano de partición, partición del molde, partage.

En el moldeo por inyección la pieza reproduce fielmente la geometría y diseño del molde, así como cualquier defecto que pudiera existir en el mismo.

Evidentemente, la unión de las dos mitades de la matriz, por perfecta que sea, y aunque no permita la salida de la rebaba, dejará su huella en la pieza moldeada.

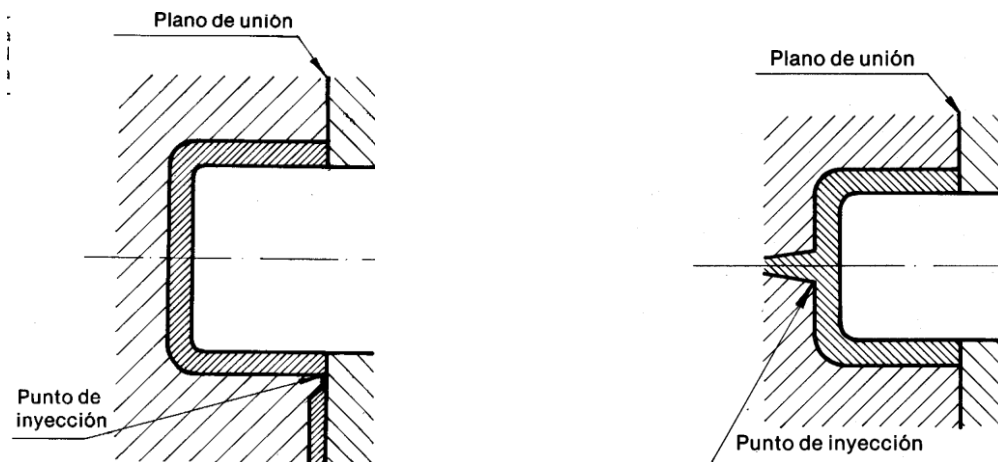
Por esta causa la superficie de partición deberá situarse de forma que las marcas que se produzcan sean lo menos visibles.

### 1.7.4.3. Puntos de unión y de soldadura

El punto de inyección es la abertura a través de la cual penetra el plástico fundido en la cavidad. La elección del punto de inyección es fundamental en el diseño del molde, ya que de su posición dependerá el recorrido y la distribución del material dentro del



molde.



*Ilustración 30. distintos tipos de puntos de inyección. Fte: MAIER*

El disponer los puntos de inyección en una zona u otra de la pieza da lugar a patrones de llenado diferentes. A menudo en piezas grandes se necesitan varios puntos de inyección para poder llenar una cavidad debido a la gran longitud que debe recorrer el plástico para poder llenarla completamente. Cuando el flujo de material se ve roto por un obstáculo se produce una ramificación del mismo. Estas ramificaciones cuando se vuelven a unir generan las denominadas líneas de soldadura. Las líneas de soldadura son puntos débiles de la pieza aparte de ser un defecto estético. Por tanto cuando son inevitables hay que procurar que sean de buena calidad, que no se noten, que se produzcan en zonas no vistas de la pieza o en puntos donde no comprometan la resistencia mecánica de la pieza.

#### 1.7.4.4. Ajuste de centrado

A la hora de colocar el molde en la máquina es muy importante que el eje del cono del bebedero esté alineado con el eje de la boquilla.

Para conseguirlo se dota al molde de un anillo de centrado.



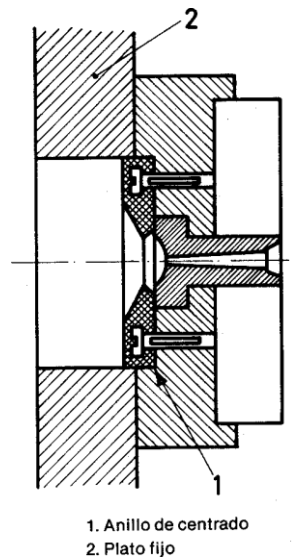


Ilustración 31. Elementos de centrado del molde. Fte: Maier

#### 1.7.4.5. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación o llenado tiene como misión recibir el material de moldeo fundido que procede del cilindro de plastificación de la máquina y conducirlo hasta la/s cavidad/es del molde.

Este sistema consta fundamentalmente de las siguientes partes:

- Bebedero
- Canales de alimentación y distribución
- Entradas

#### 1.7.4.6. Respiraderos

Antes de comenzar el proceso de inyección y una vez cerrado el molde, las cavidades del mismo están llenas de aire. Al inyectar el material, parte del aire puede quedar atrapado en alguna zona de la cavidad, impidiendo que el material rellene la totalidad de la misma y obteniendo piezas con zonas de poca solidez y mala apariencia.

Por regla general, el material, inyectado a altas presiones, comprime el aire ocluido en los puntos más alejados de la entrada de la cavidad y ocasiona señales de quemaduras sobre la superficie de la pieza moldeada.



Este inconveniente se manifiesta más ampliamente en cavidades profundas o de forma complicada, en moldes con insertos metálicos y en ciclos de producción muy rápidos.

Los respiraderos suelen ser unos pequeños surcos trazados en las superficies de unión de las placas del molde, o sobre las espigas extractoras, o bien pequeños orificios situados en aquellas zonas de la cavidad que lo requieran.

El escape de aire o gases desde el molde es fundamental. En ocasiones puede llegar a ser necesario el empleo de vacío.

#### 1.7.4.7. Refrigeración y atemperado del molde

La duración del ciclo de moldeo es siempre demasiado breve para que el calor del material pueda ser dispersado por simple conducción a través de la masa metálica del molde. El calor, al no poder ser dispersado con suficiente rapidez, se acumula en el molde, retardando el intercambio térmico entre éste y el material, e impidiendo, por consiguiente, el enfriamiento y endurecimiento de los objetos moldeados.

Por este motivo, es necesario refrigerar los moldes mediante circulación de agua a través de canales practicados cerca de la cavidad.

La disposición de los canales de refrigeración debe de hacerse de forma que la absorción del calor del molde sea uniforme y, generalmente, la colocación de otras partes del molde, tales como espigas de extracción, etc., deben estar supeditadas a ellos.

La entrada y la salida de los canales estarán provistos de los correspondientes racores, para ser unidos a las tuberías del sistema termostático o refrigerante.

El diámetro de los canales de refrigeración depende del peso de la pieza que se va a moldear.

Además, debe refrigerarse los núcleos internos de los moldes cuando tengan un diámetro superior a 16 milímetros y sean de gran longitud.

Cuando la temperatura de trabajo del molde es inferior a la temperatura ambiente se habla de refrigeración y de atemperado cuando es superior. Al referirnos a la temperatura del molde lo hacemos a la temperatura media del metal de la cavidad



que entra en contacto con el plástico. Esta temperatura fluctúa a lo largo del ciclo y no es homogénea en todos los puntos de la cavidad.

Un buen sistema de refrigeración está diseñado para que con unas condiciones de caudal y temperatura del agente refrigerante o atemperador el molde se mantenga a una temperatura óptima de trabajo al iniciarse cada nuevo ciclo y que esta sea lo más homogénea posible de unas zonas a otras de la cavidad, permitiendo la obtención de piezas de calidad en el menor ciclo posible

En moldes grandes, la mazarota debe llevar un circuito de refrigeración propio para que el ciclo no sea excesivamente largo.

El tiempo mínimo de refrigeración para un material dado es proporcional al cuadrado de su espesor.

Para que la refrigeración sea eficaz el régimen del fluido refrigerante debe ser turbulento y la diferencia de temperaturas de dicho fluido entre la salida y la entrada debe ser de 3-5°C (2°C en piezas de precisión).

Para poder expulsar la pieza sin que se deforme o rompa por la acción de las varillas de expulsión esta debe tener una temperatura suficientemente baja, aunque no sea uniforme en todo su espesor.



## 2. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

### 2.1. DISEÑO CAD

Como se explica al inicio, este proyecto consta de 3 bloques principales: diseño CAD de la estética de la cabina, diseño CAD de uno de los componentes de la anterior estética y análisis FEM (CAE) del mismo.

#### 2.1.1. DESARROLLO CAD CABINA

Para esta tarea se utiliza el programa CATIA V5 R21. Partiendo de unos bocetos artísticos de definen la estética exterior de la cabina de la tractora, se comienza el diseño partiendo del paragolpes, éste es uno de los elementos de mayor superficie y por tanto se estima conveniente un diseño de abajo a arriba, ya que los pasos de rueda y el entorno cercano a ellos son los más propensos a cambios de diseño a fin de definir una estética u otra en camiones europeos donde todos son, a excepción de las partes citadas y la rejilla delantera, prácticamente iguales.

Al desarrollar en primer lugar un solo componente falta visión de conjunto, por ello se decide comenzar de nuevo, esta vez con un diseño base de toda la cabina que toma en cuenta, las especificaciones geométricas de T&E adaptándolas a las medidas aproximadas, dado que es un ejercicio de libre diseño, de los camiones convencionales.

Como resulta habitual en la industria automotriz el desarrollo CAD se realiza principalmente a través de superficies y no de sólidos, para poder moldear mejor las superficies del objeto en desarrollo, también por razones de tamaño o “peso” del archivo resultante, el cual si no se dispone de un ordenador suficientemente potente puede dar problemas.

Al tratarse de una estética básica de primer nivel, no exige un desarrollo completo de todos los componentes ni la inclusión de ellos. Por ejemplo, no se consideran:

- Faros, intermitentes ni elementos de iluminación ni indicación luminosa.
- Deflectores de pequeño tamaño.
- Asideros o elementos de agarre.
- Tornillería y elementos de fijación.



- Juntas y aislamientos.
- Márgenes y tolerancias entre los distintos subcomponentes

#### 2.1.1.1. Alternativas de diseño

A la hora de definir el frontal que es el punto crítico de este ejercicio existen varias opciones:

- **Opción 1**: Dotar de una “nariz” a la cabina al estilo de los camiones americanos. Esto puede permitir incluso adoptar una suerte de esquema híbrido entre los dos tipos de tráiler, permitiendo rebajar la altura de la cabina, el centro de gravedad y la aerodinámica. Esta opción se descarta por varias razones:
  - Necesita nuevas mecánicas que permitan esta configuración dejando obsoletas el desarrollo de las actuales, supone un salto tecnológico para un horizonte muy cercano en términos de automoción (2022). El objetivo es ser más competitivos sin necesidad de revolucionar el sector.
  - No se aprovecha ese espacio para la habitabilidad interior de la cabina.
  - En términos estéticos es difícil agradar al cliente convencional, de nuevo supone una interrupción en la continuidad del desarrollo de los productos.
- **Opción 2**: Aprovechar esta longitud para el desarrollo de un frontal aerodinámicamente mucho más eficiente, conservando en la medida de lo posible los estándares actuales. Un buen ejemplo de esto es el diseño del camión eléctrico de tesla, mostrado en la ilustración 8, el cual, tiene un frontal tipo cuña con una resistencia al viento menor. Aunque se cumple el objetivo más importante, la eficiencia energética de la tractora, que es el que tiene impacto económico en forma de coste/km, los otros dos, habitabilidad y seguridad quedan en segundo plano.
- **Opción 3**: Ampliación de la cabina 800mm conservando el diseño actual: Una solución a los problemas de habitabilidad, confort y en general condiciones de trabajo de los transportistas. Este “alargamiento” de la cabina supone, manteniendo los puestos de conducción como hasta ahora, una ampliación hasta el doble del volumen actual del habitáculo dedicado al descanso del conductor.

A pesar de ello, el coste por kilómetro aumentaría, puesto que la aerodinámica de la tractora no mejora, pero sí su tamaño y por tanto su peso. Tampoco lo hace la seguridad que carece de nuevo espacio para “crecer”.



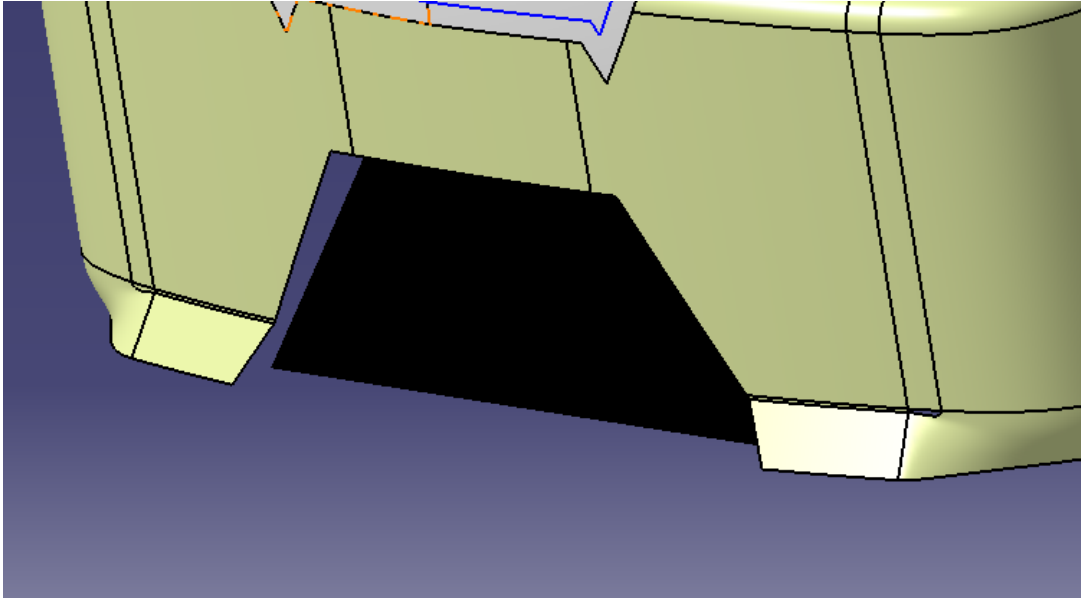
- **Opción 4:** Basándose en un diseño conservador, prolongar el frontal alcanzado un compromiso que satisfaga los tres objetivos a través de:
  - Un frontal más pronunciado.
  - Una ligera ampliación del volumen interno de la cabina.
  - Aprovechamiento del volumen ganado por el frontal para discretas mejoras mecánicas (reacondicionamiento de elementos auxiliares del motor, caja o sistema de frenado y transmisión) e inclusión y/o incremento de medidas de seguridad, resulta obvio que con un frontal más largo las vigas y otros elementos del chasis que absorben energía de deformación ante un impacto son de mayor longitud y por tanto absorben más a igualdad de características.

De esta forma se opta por la última opción nombrada. Para el diseño del frontal se parte de dos perfiles, planta y alzado de la cabina y se extruye uno en la dirección del otro dando lugar a una superficie, la frontal, más redondeada y con más caída, sobre todo en la zona superior, más afectada por la velocidad del viento, pero no de manera radical, esto permite, por ejemplo, no tener que realizar grandes inversiones en el desarrollo de nuevas y costosas lunas de complicada geometría, que de media, suelen ser cambiadas una vez al año.

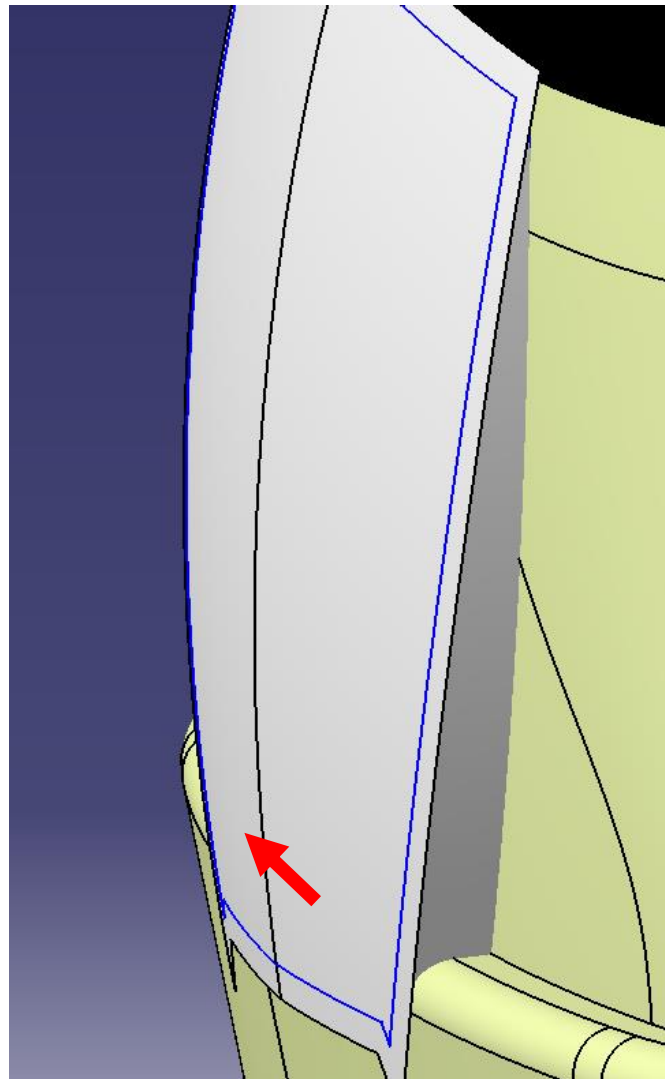
#### 2.1.1.2. Elementos exteriores

El paragolpes, similar a los actuales se diseña buscando la integración en el conjunto. Se reserva espacio en la zona inferior del paragolpes (ilustración 32) y tras la falsa “nariz” (imagen 34) para entradas de aire para refrigeración y alimentación del motor y sistemas neumáticos.





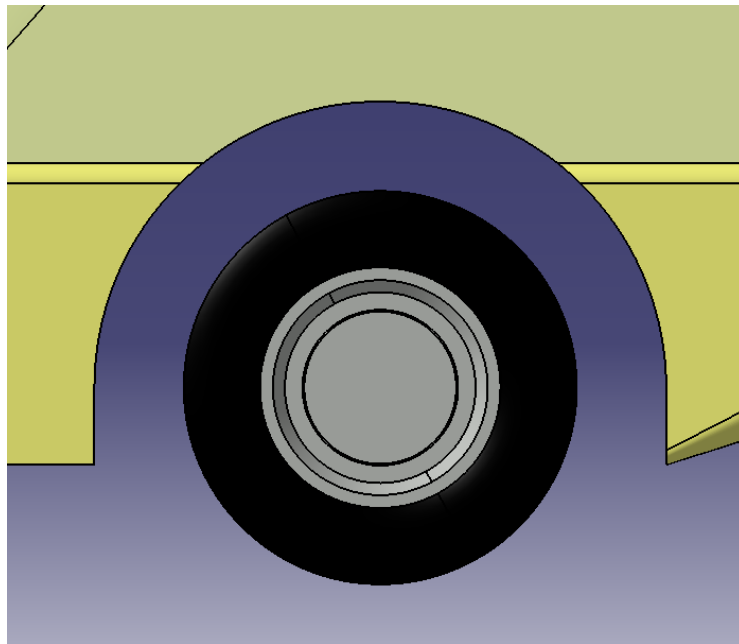
*Ilustración 32. Entrada aire refrigeración. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 33. Toma de aire. Fte: elaboración propia*



Los faldones laterales y paso de rueda se diseñan para una amplia gama de neumáticos, los expuestos en el diseño se montan sobre una llanta de 22.5" con un perfil de 195.25mm, que es el 55% de un neumático de 355mm de anchura, con un margen de 277 mm (27cm) para la amortiguación, por lo que admite un neumático 355/55R22.5 de 766.75mm de radio ( muy grande), aunque la tractora está enfocada a un uso de carretera, donde sus mejoras tienen relevancia, por lo que no está pensada para equipar neumáticos *offroad* más voluminosos, propios de vehículos destinados a obra civil, sino de perfil bajo.



*Ilustración 34. Paso de rueda. Fte: elaboración propia*

### 2.1.2. DESARROLLO CAD COMPONENTE CARROCERÍA

Para su desarrollo se parte de la estética de la cabina, se extrae de ella la superficie deseada. En este caso la superficie elegida es el frontal izquierdo (el derecho es igual pero simétrico) por ser una de las piezas que más relevancia tiene en cuanto a esfuerzos mecánicos se refiere junto con el paragolpes.

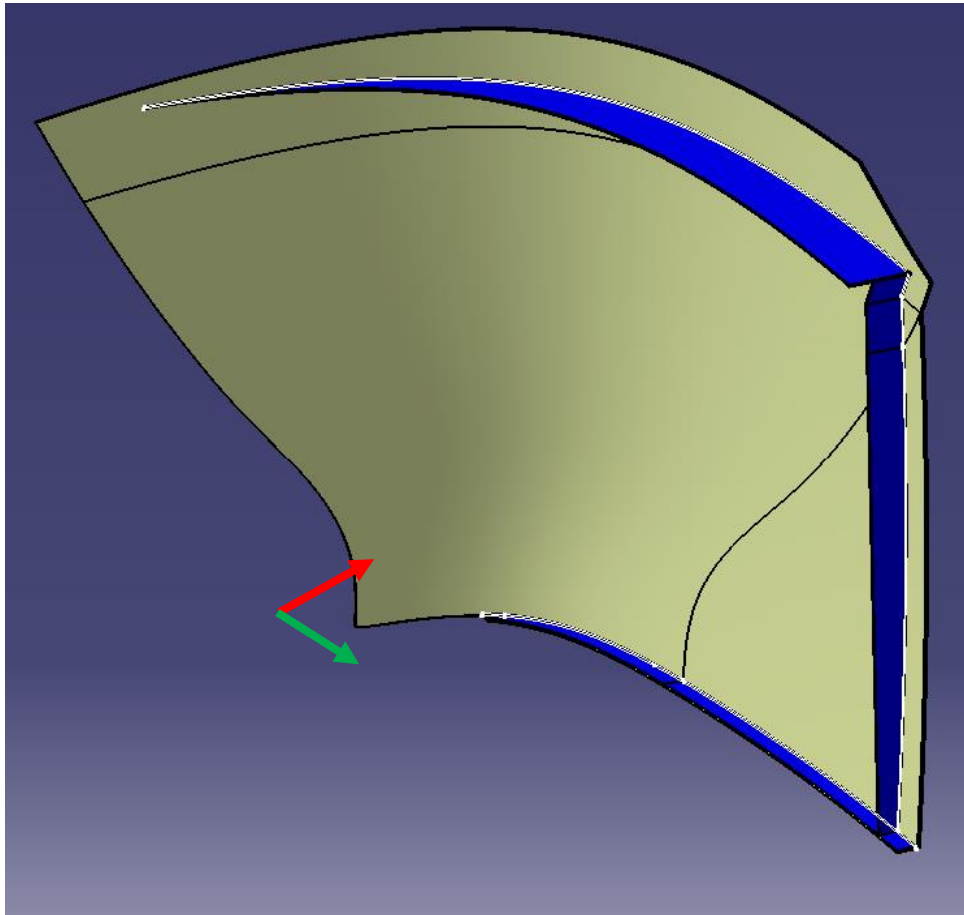
Para convertir esta superficie en una figura en forma de sólido con volumen se crea una superficie paralela a una distancia de 4mm (espesor deseado) desde la normal a la superficie anterior, esto determina el grosor del sólido final.

Para delimitar este grosor se crea una superficie que cerrará las dos superficies anteriores. De esta manera la superficie principal de la pieza ya crea un volumen al que

se le deben añadir los nervios, elementos de sujeción y radios de redondeo que se consideren oportunos.

#### 2.1.2.1. Diseño inicial

En este caso se opta por que los mismos nervios que dan rigidez a la pieza actúen a su vez como elementos de sujeción. Como se ve en la ilustración 35, los nervios (en azul) crean junto con la pieza perfiles en T que dan rigidez y donde a su vez pueden ir los agujeros para la tornillería.



*Ilustración 35. Nervios. Fte: Elaboración propia*

Se incluyen a priori y antes de los análisis FEM tres nervios:

- Horizontal superior: al ser la pieza más larga en la zona superior este tiene que ser de mayor tamaño, disminuyendo a medida que avanza a la izquierda, ya que, los mayores esfuerzos; aceleración, frenado, viento e impactos se realizan en dirección del eje Y mostrado en la figura 35 en rojo y por tanto no necesita de mayor rigidez en el eje X (verde).

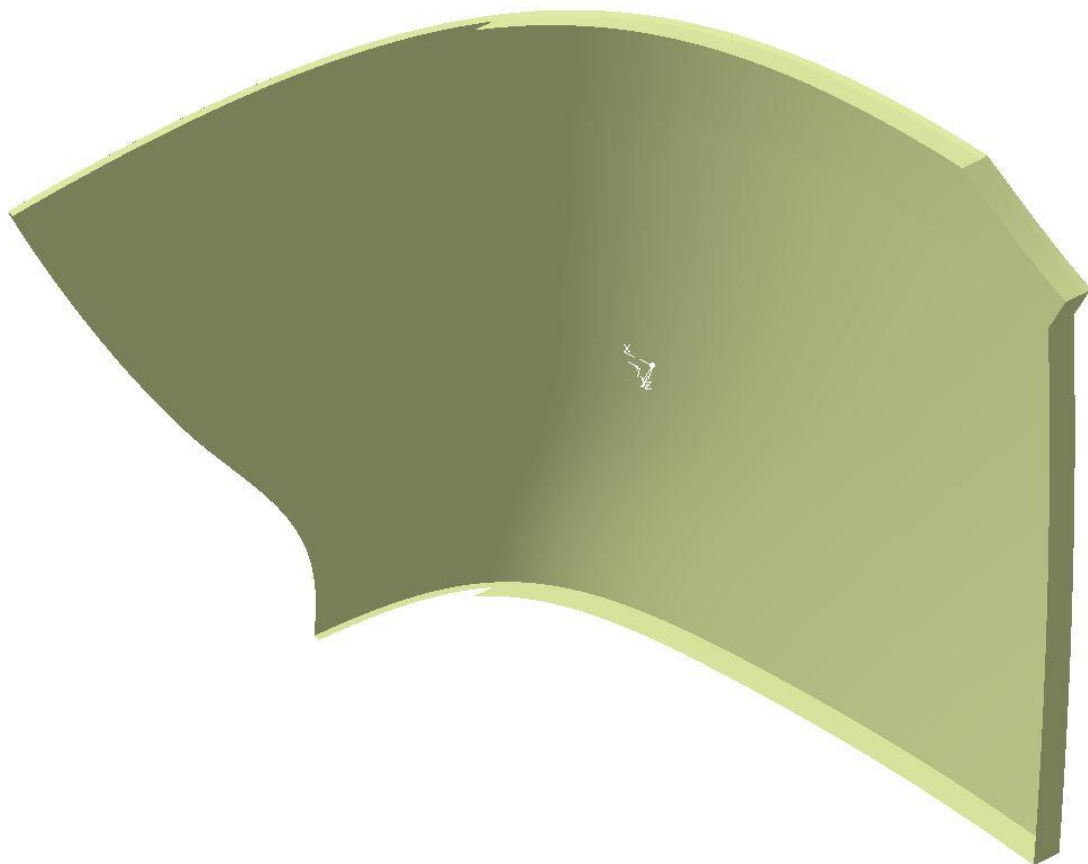


- Nervio vertical: como la pieza es muy esbelta necesita de rigidez suficiente para soportar las cargas de viento e impacto y por supuesto su propio peso.
- Nervio inferior: cumple la misma función que el superior, aunque de menor tamaño por ser la sección en el plano XY también menor. En este caso se encuentra en el contorno inferior de la pieza ya que esta parte nunca es visible por parte del usuario al quedar por debajo de su ángulo de visión.

Los refuerzos adicionales se diseñarán en función de los análisis realizados más adelante, así como las superficies de sujeción.

#### 2.1.2.2. Rediseño

Más adelante se descarta este diseño en favor de uno más sencillo en el que los nervios se encuentran en el contorno (ilustración 36) Esto se hace así teniendo en consideración diferentes aspectos del proceso de fabricación y del ciclo de vida del componente:



*Ilustración 36. Rediseño componente. Fte: elaboración propia.*



La primera consideración toma como argumento la inyección de plástico, esta debe realizarse imperativamente por la zona posterior de la pieza para evitar cualquier tipo de marca en la parte vista. A causa de esto la parte delantera debe estar sobre el carro móvil. Entonces los nervios estarán en la parte fija para posibilitar el posterior desmoldeo. Estando en esta posición la línea de unión entre ambas partes se crea en el contorno de la pieza, con los problemas de acabado correspondientes (aparición de rebabas y discontinuidad en la superficie proveniente del “gap” de 0.2mm recomendado para la unión de ambas partes del molde). Situando el nervio en el contorno de la pieza, la mayor parte de estos desperfectos recae sobre él.

La segunda está relacionada con la fase de pintura, en ella, al estar los nervios situados en el interior de la zona posterior dificulta la aplicación de pintura por parte de robots industriales y teniendo en consideración las actuales estaciones de pintura que se utilizan en esta industria en las que el robot tiene movimiento restringido en dirección de la flecha de la pieza, es decir de la zona anterior a la posterior.

Por último, como los tornillos de fijación de la pieza al chasis se encuentran en los nervios, este lugar puede ser de difícil acceso de cara a futuras reparaciones.



## 2.2. ANÁLISIS FEM

### 2.2.1. MÉTODO FEM

El método de elementos finitos representa una técnica en la cual se genera una aproximación numérica o matemática para caracterizar la masa y rigidez de una estructura, con el fin de analizar y evaluar cómo sería el comportamiento de la misma en la realidad. Este procedimiento o técnica, puede ser aplicado a todas las estructuras o procesos que puedan ser caracterizados matemáticamente.

De cara a efectuar los cálculos a través del método FEM se usa el programa Ansys versión 17.0. Para ello se crea, a partir del diseño CAD, un archivo en formato STP universal para importarlo al nuevo entorno.

Este tipo de programas FEM permiten al usuario ejecutar los cálculos simulando el componente susceptible de análisis como la unión de múltiples pequeños elementos, definidos en la fase de mallado, que lo conforman y que pueden ser de diversas tipologías, aquí se explican las principales:

- Elementos **BEAM** (unidimensionales)

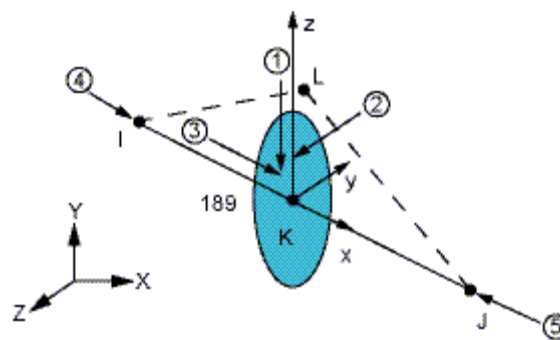


Ilustración 37. Elementos unidimensionales. Fte: Femexpert

Estos elementos están definidos únicamente en una dirección mediante 2 nodos I, J y dependiendo del caso pueden requerir un nodo de orientación K.

- Elementos **SHELL** (bidimensionales)



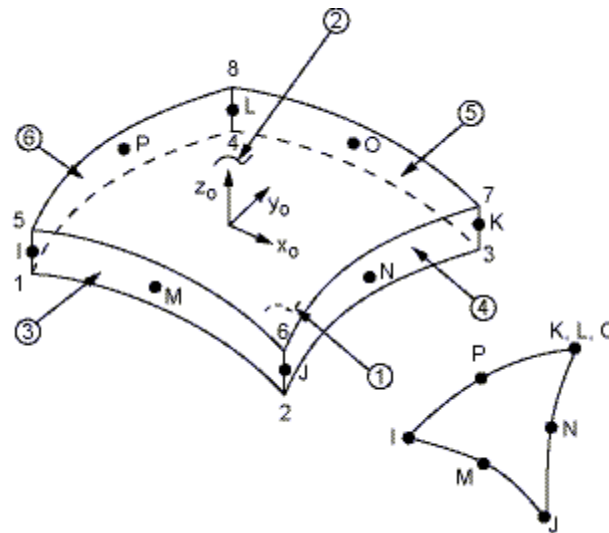


Ilustración 38. Elementos bidimensionales. Fte: Femexpert

Estos son elementos definidos en dos direcciones (elementos planos). Dependiendo de su definición matemática estos elementos pueden tener como mínimo 3 nodos y generalmente el número máximo es de 8.

- Elementos **SOLID** (tridimensional)

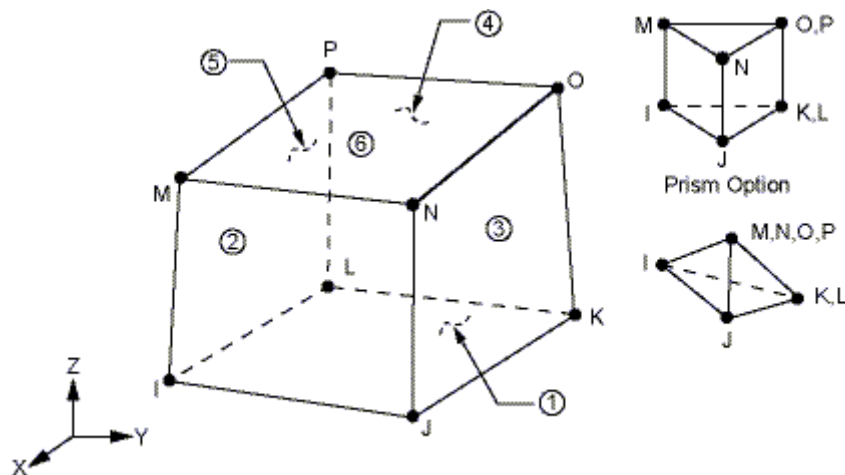


Ilustración 39. Elementos tridimensionales. Fte: Femexpert

Estos elementos están definidos en las tres direcciones del espacio. Dependiendo de su definición matemática pueden tener un mínimo de 6 nodos y generalmente los de orden superior pueden llegar a tener 20 nodos.

## 2.2.2. ESQUEMA DEL PROYECTO

Se realizan un total de tres análisis sobre el componente seleccionado tal y como muestra la ilustración 40:



- Análisis estático estructural: a su vez contiene 3 casos diferentes:
  - Aplicación de una fuerza de 1500N en dirección del eje X hacia la superficie. Simula un golpe frontal con el camión parado
  - Aplicación de una fuerza de 500N en dirección del eje Y hacia la superficie. Simula un golpe lateral con el camión parado.
  - Aplicación de una presión de 5000Pa contra la superficie. Simula la fuerza que ejerce el viento sobre los paneles de la carrocería.
- Análisis modal: muestra las frecuencias de resonancia para el sólido libre, que dan información de cara a evitar frecuencias de funcionamiento indeseadas de los sistemas mecánicos.
- Análisis de impacto: aquí se observa el comportamiento de la pieza bajo un impacto en su parte frontal y se analizan sus consecuencias. Esta simulación se realiza teniendo en cuenta la teoría elemental de choque y no técnicas más avanzadas o programas específicos.

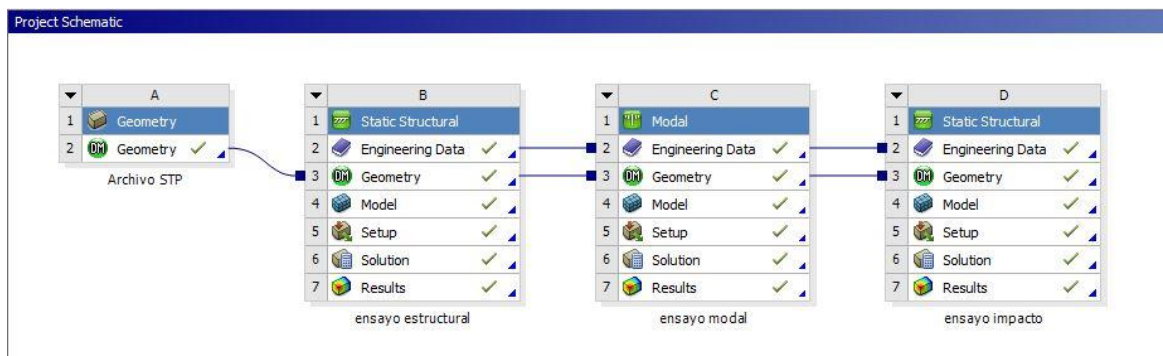


Ilustración 40. Esquema del proyecto FEM. Fte: elaboración propia

### 2.2.3. Preparación del modelo

Como el espesor del componente que evaluamos es tipo cáscara, tenemos dos opciones:

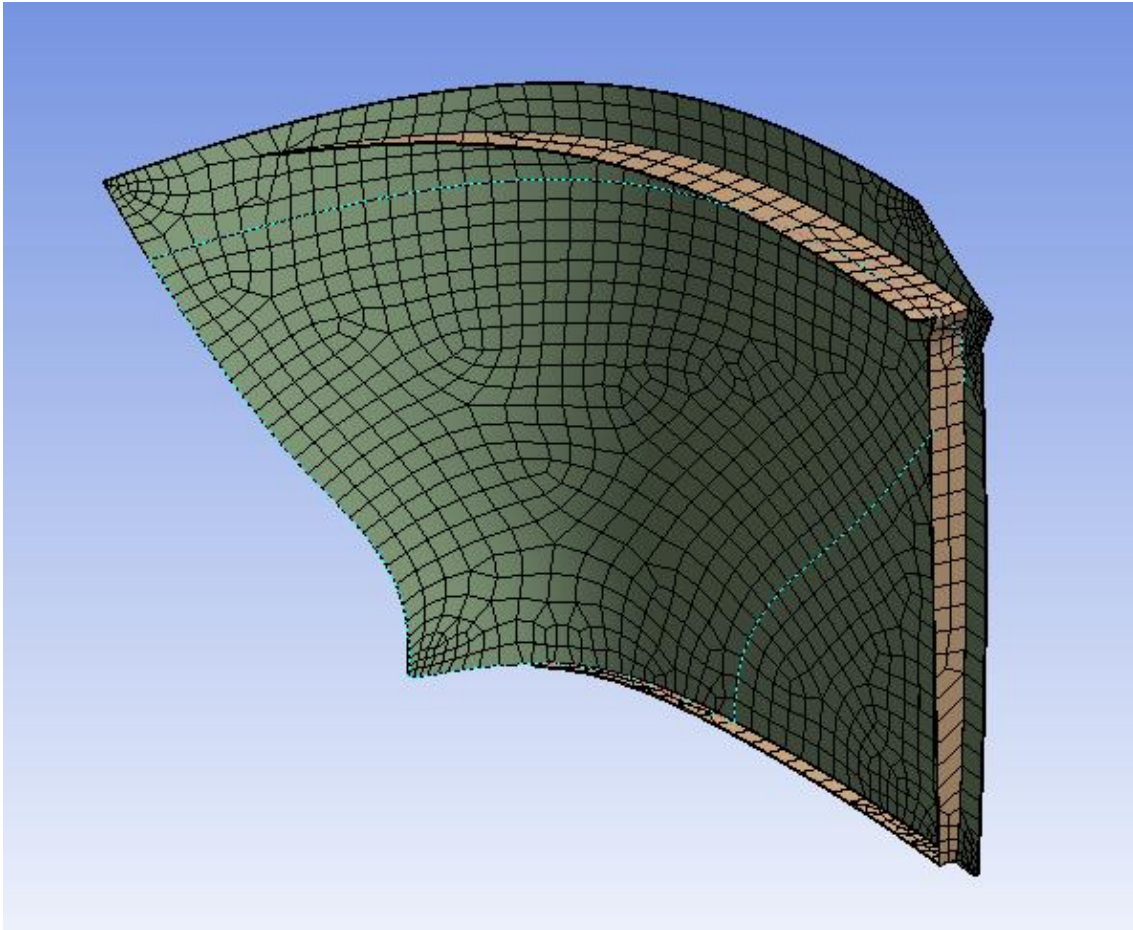
#### 2.2.3.1. Opción1: Mallado con elementos tipo sólido

Realizar la simulación mediante elementos tipo sólido, en el que se evalúa la pieza tal y como va a ser, un volumen. En contrapartida su pequeño espesor puede ocasionar diversos problemas:

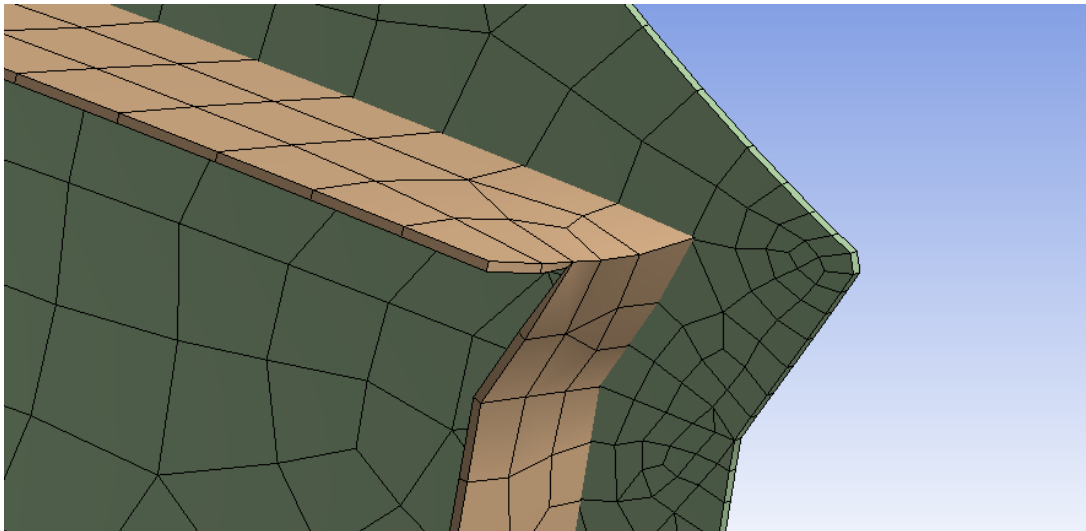
- Usar elementos 3D implica mayor número de ellos para cubrir la totalidad del volumen de la pieza y mayor número de nodos, por tanto la interacción entre ellos debido a las fuerzas simuladas pueden sobrepasar las capacidades de

procesado del equipo o bien requerir excesivo tiempo por parte de el para la obtención de resultados.

- Los tiempos de procesado pueden ser muy elevados si se utiliza un mallado de pequeño tamaño, por ejemplo 5mm. El uso de un mallado selectivo puede resolver en cierta medida este problema utilizando elementos de menor tamaño en las zonas más polémicas.



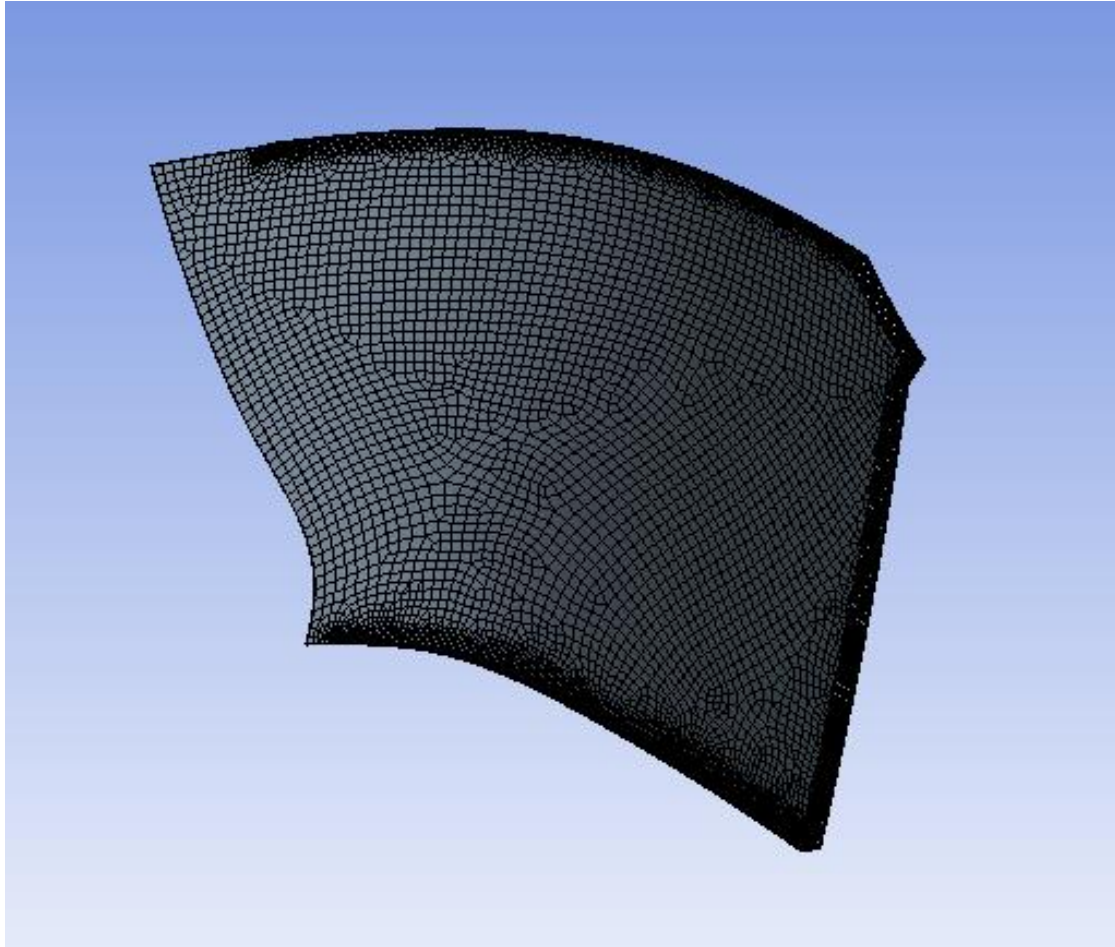
*Ilustración 41. Mallado sólido. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 42. Detalle mallado sólido. Fte: elaboración propia*

### 2.2.3.2. Opción 2: Mallado con elementos tipo cáscara

Mediante elementos tipo cáscara y asignándoles un espesor conseguimos un mallado suficientemente bueno y unas necesidades de procesado mucho más bajas con unos resultados suficientemente buenos.



*Ilustración 43. Mallado de superficie. Fte: elaboración propia*

Dadas las ventajas de la segunda opción se opta por implementarla en los cálculos.

Usando elementos tipo cáscara tenemos a su vez dos alternativas a tener en consideración en la preparación del modelo para la ejecución de las simulaciones:

- **Alternativa 1**: A partir del modelo sólido (del componente), se obtienen las superficies intermedias. Este es el método “más correcto” ya que da unos resultados más fidedignos, pero, aunque la extracción de las superficies es relativamente sencilla, estas, en muchas ocasiones no conforman una superficie unida y debe ser reparada y “cosida” por el usuario manualmente, lo que es un trabajo complejo.
- **Alternativa 2**: Como para el desarrollo del elemento con técnicas CAD se usan superficies, pueden ser utilizadas para conformar este modelo cáscara usando, no las intermedias, sino las exteriores, de los nervios, y la frontal principal del cuerpo principal.



Mediante la alternativa 2 el resultado es un elemento cáscara similar al obtenido en la alternativa 1 con una diferencia de 1,5mm entre ambas superficies (la diferencia entre la intermedia de la alternativa 1 y una de las exteriores de la alternativa 2). En un componente con una longitud de cerca de 1000mm en todas sus direcciones X, Y y Z, esta diferencia se considera que no es lo suficientemente relevante y por tanto se procede con esta alternativa. De este modo la preparación del modelo se simplifica a una superficie tipo cáscara obtenida directamente de las superficies utilizadas en la conformación del modelo CAD sólido.

### 2.2.3.3. Comparativa

Para evaluar los resultados de estas decisiones se comparan ambas en la tabla 5 e ilustración 44, las casillas en azul marcan la opción elegida.

**Caso 1:** Mallado sólido (imagen 36), requiere de un mallado sencillo y de gran tamaño. Aun así, el tiempo de procesado es superior al del caso 2.

**Caso 2:** Mallado con elementos tipo cáscara, permite un mallado mucho más fino, incluso reduciendo su tamaño en zonas más conflictivas obteniendo mejores resultados. El tiempo de procesado mejora respecto el caso 1.

En tabla 5 se muestran el número de nodos y elementos que se usan en cada caso.

	Caso 1: Sólido	Caso 2: Cáscara
Nodos	1463	1392
Elementos	14285	14006

Tabla 5. Nodos y número de elementos. Fte: elaboración propia

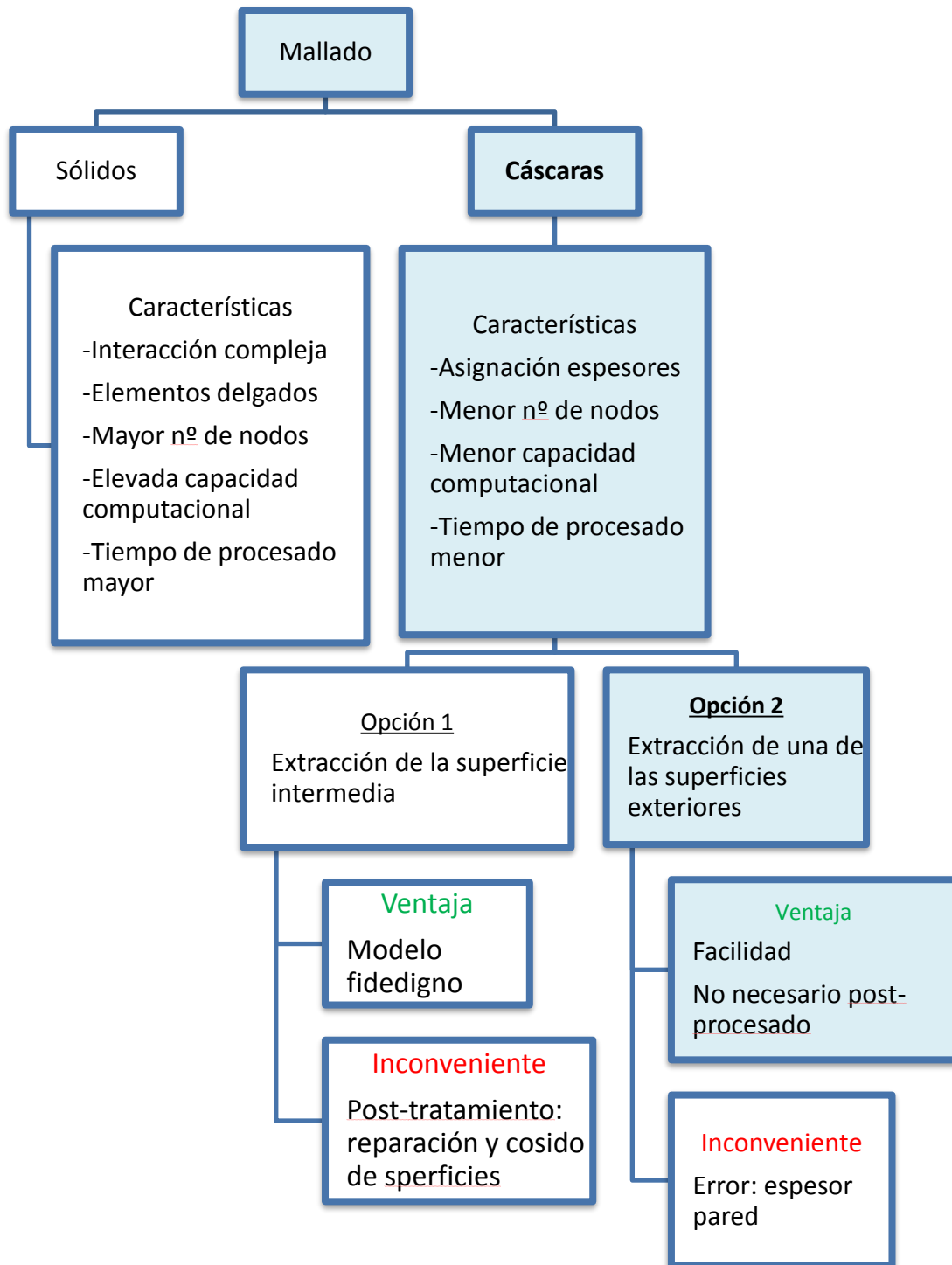
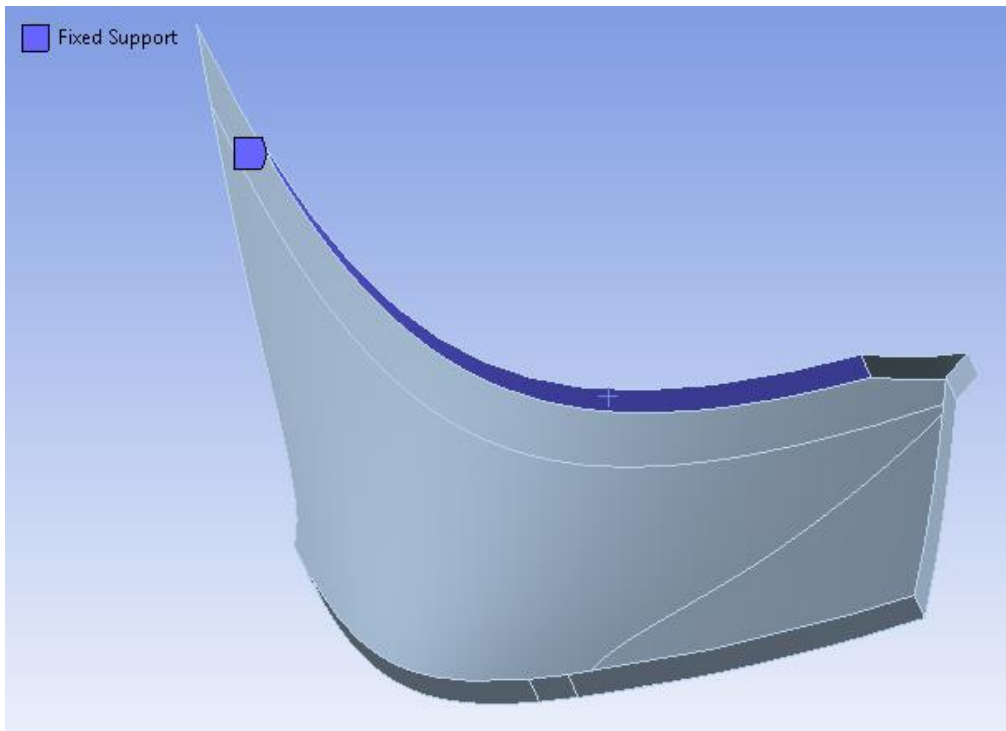


Ilustración 44. Árbol de opciones mallado. Fte: elaboración propia

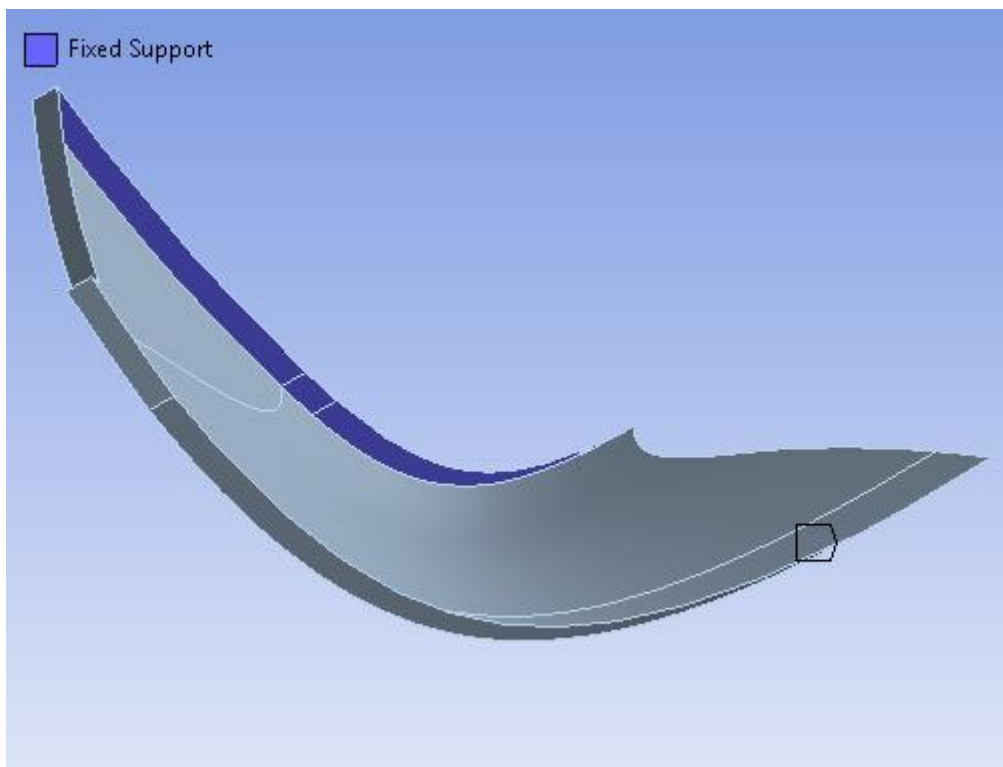
#### 2.2.4. CONDICIONES DE CONTORNO GENERALES

En todas las simulaciones los apoyos de la pieza se encuentran en aquellas partes de los nervios que van atornilladas al chasis y que pueden verse en la imagen 45, 46 y 47.





*Ilustración 45. Apoyo fijo-nervio superior. Fte: elaboración propia.*



*Ilustración 46. Apoyo fijo-nervio inferior. Fte: elaboración propia.*

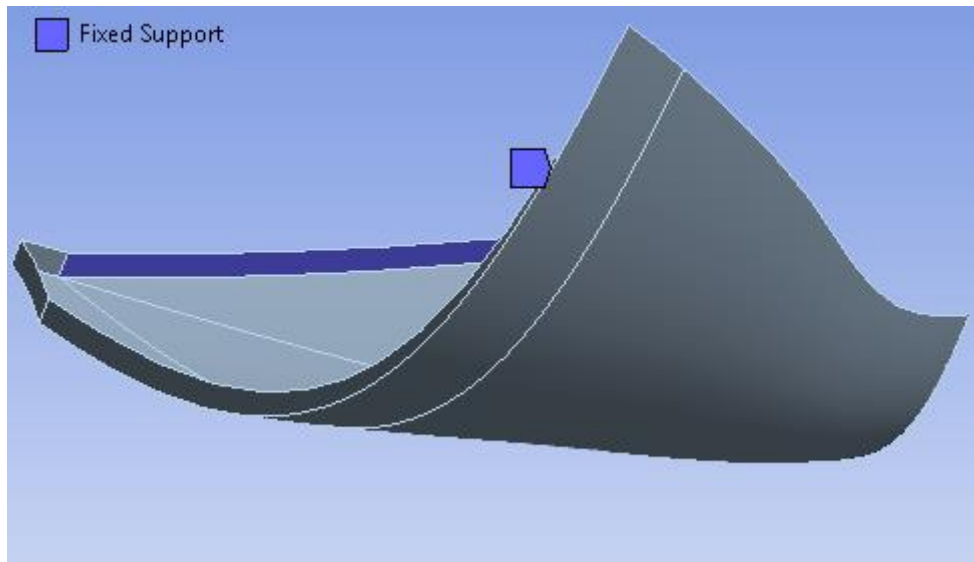


Ilustración 47. Apoyo fijo-nervio vertical. Fte: elaboración propia

### 2.2.5. ANÁLISIS ESTÁTICO ESTRUCTURAL

Se efectúan un total de 3 simulaciones, que simulan cargas frontales, laterales y el viento.

#### 2.2.5.1. Simulación 1: fuerza puntual aplicada en un punto de la superficie frontal.

Se aplican 1500N en dirección del eje Y contra la superficie de la pieza, los resultados se muestran en el ANEXO I, la tabla 06 muestra los más relevantes.

Equivalent elastic Strain	0.00363mm/mm
Equivalent Stress	10MPa
Total deformation	9mm

Tabla 6. Resultados Análisis 1 – carga frontal. Fte: elaboración propia

#### Equivalent elastic Strain

La deformación unitaria se da en el entorno de aplicación de la pieza, como es lógico, y en las aristas de los nervios, allí donde existen zonas de apoyo.

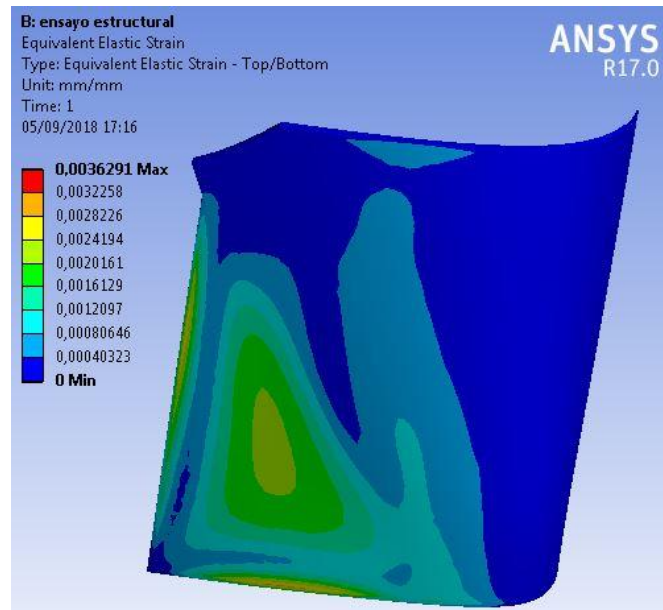


Ilustración 48. Carga frontal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia

### Equivalent Stress

Al igual que la deformación unitaria, puesto que son directamente proporcionales según el módulo elástico, las zonas con mayor concentración de tensión son las mismas.

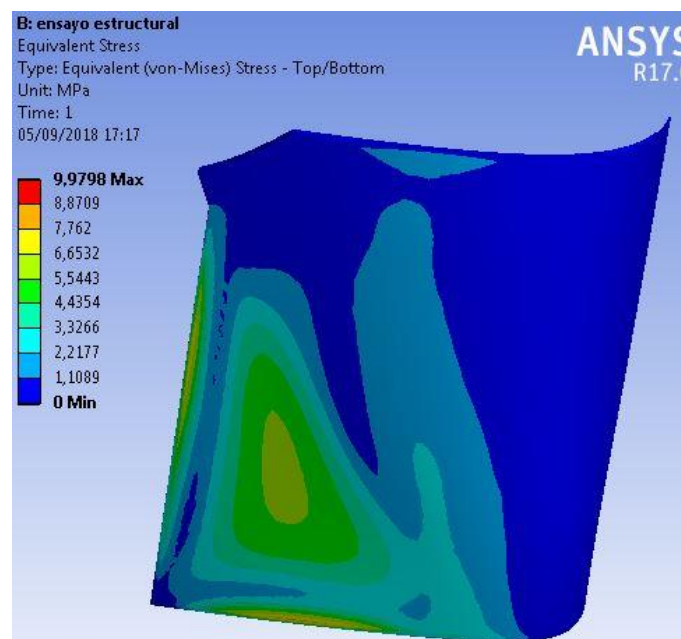


Ilustración 49. Carga frontal-Stress. Fte: elaboración propia

### Total deformation

Se alcanza casi 1cm de deformación en el eje Y en el punto de aplicación de la pieza. En función de estos desplazamientos se debe considerar la distancia adecuada entre la superficie exterior y los componentes mecánicos y/o estructurales de la tractora.

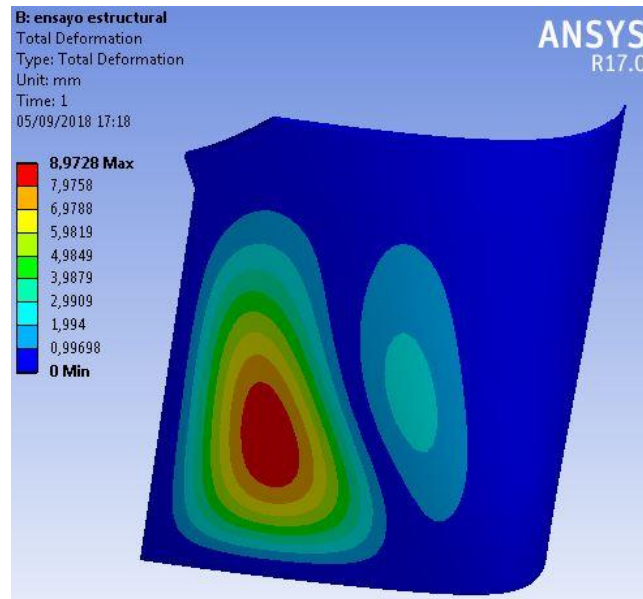


Ilustración 50. Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia

### 2.2.5.2. Simulación 2: fuerza puntal aplicada en el lateral de la superficie I

Se aplican 1500N en dirección del eje Y contra la superficie de la pieza, los resultados se muestran en el ANEXO I, la tabla 07 muestra los más relevantes.

Equivalent elastic Strain	0.02596mm/mm
Equivalent Stress	70.4MPa <sup>4</sup>
Total deformation	24mm

Tabla 7. Resultados Análisis I – carga frontal. Fte: elaboración propia

#### Equivalent elastic Strain

La deformación unitaria se da en la unión de la zona más estrecha de los nervios superiores e inferiores con la superficie frontal. Esto es resultado de un mallado mal definido en esa zona.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> No determinante – error de mallado

<sup>5</sup> Mas detalles en el Anexo II

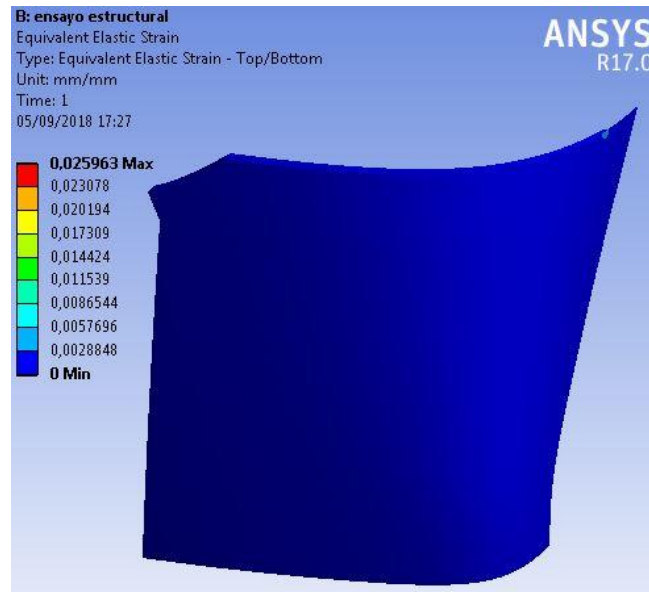


Ilustración 51. Carga lateral-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia

### Equivalent Stress

Al igual que la deformación unitaria, puesto que son directamente proporcionales según el módulo elástico, las zonas con mayor concentración de tensión son las mismas. No afecta a la zona frontal.

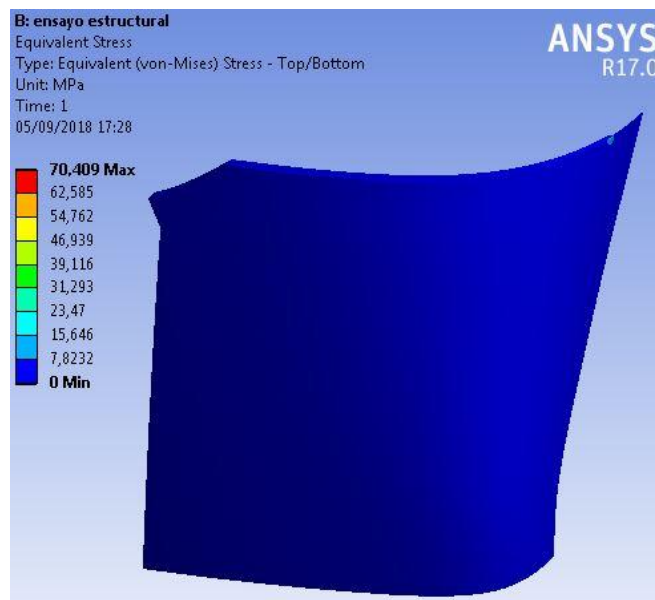


Ilustración 52. Carga lateral-Stress. Fte: elaboración propia

### Total deformation

La rigidez en el eje X de la pieza es su zona lateral es menor que en la frontal al no tener nervios ni ningún elemento que la aporte ante fuerzas ejercidas en el eje X. Tampoco tiene apoyos en esa zona por lo que la pieza se deforma hasta alcanzar los 24mm.

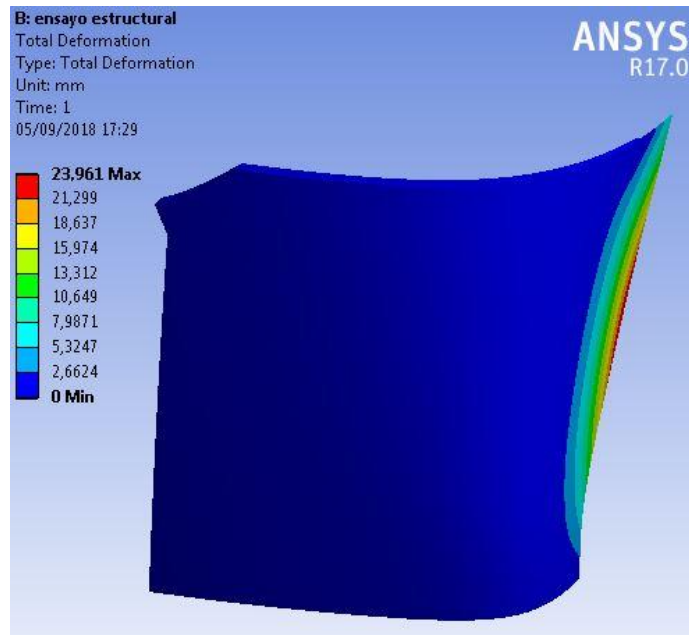


Ilustración 53. Carga lateral-Deformación. Fte: elaboración propia

### 2.2.5.3. Simulación 3: presión ejercida sobre la superficie frontal.

Se aplican 5000Pa sobre la superficie de la pieza, los resultados se muestran en el ANEXO I, la tabla 08 muestra los más relevantes.

Equivalent elastic Strain	0.02704mm/mm
Equivalent Stress	73MPa <sup>6</sup>
Total deformation	12mm

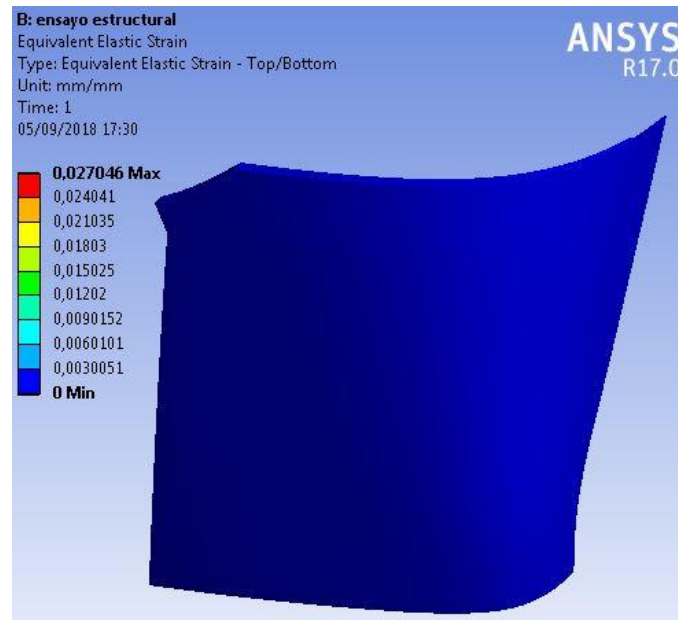
Tabla 8. Resultados Análisis I – Carga lateral. Fte: elaboración propia

<sup>6</sup> No determinante – error de mallado



### Equivalent elastic Strain

La deformación unitaria se da en la unión de la zona más estrecha de los nervios superiores e inferiores con la superficie frontal. Esto es resultado de un mallado mal definido en esa zona.<sup>7</sup>



*Ilustración 54. Ensayo modal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia*

### Equivalent Stress

Al igual que la deformación unitaria, puesto que son directamente proporcionales según el módulo elástico, las zonas con mayor concentración de tensión son las mismas.

---

<sup>7</sup> Más detalles en el ANEXO II



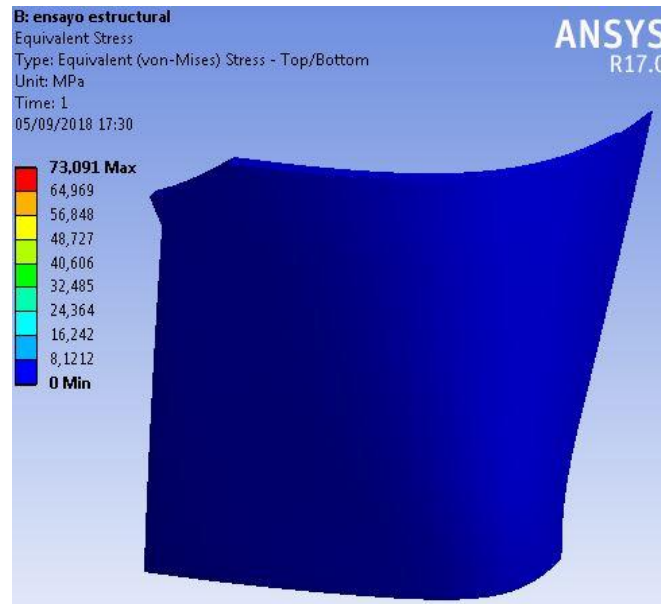


Ilustración 55. Ensayo modal-Stress. Fte: elaboración propia

Total deformation

Se alcanza casi 1cm de deformación en el eje Y en el punto de aplicación de la pieza. En función de estos desplazamientos se debe considerar la distancia adecuada entre la superficie exterior y los componentes mecánicos y/o estructurales de la tractora.

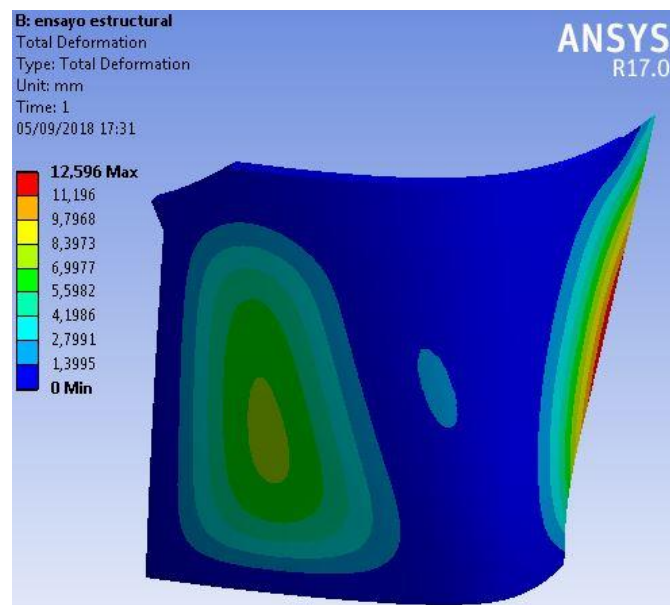


Ilustración 56. Ensayo modal-Deformación. Fte: elaboración propia



## 2.2.6. ANÁLISIS MODAL

Se analiza el sólido libre con los apoyos anteriormente citados y se extraen las frecuencias de resonancia y los modos de vibración que se exponen en la tabla 9, a continuación se muestran los 3 primeros (ilustraciones 57, 58 y 59 respectivamente).

Mode	Frequency [Hz]
1	11,829
2	18,756
3	32,03
4	44,724
5	51,407
6	59,255

Tabla 9. Modos y frecuencias de vibración. Fte: elaboración propia.

### 2.2.6.1. Modo 1

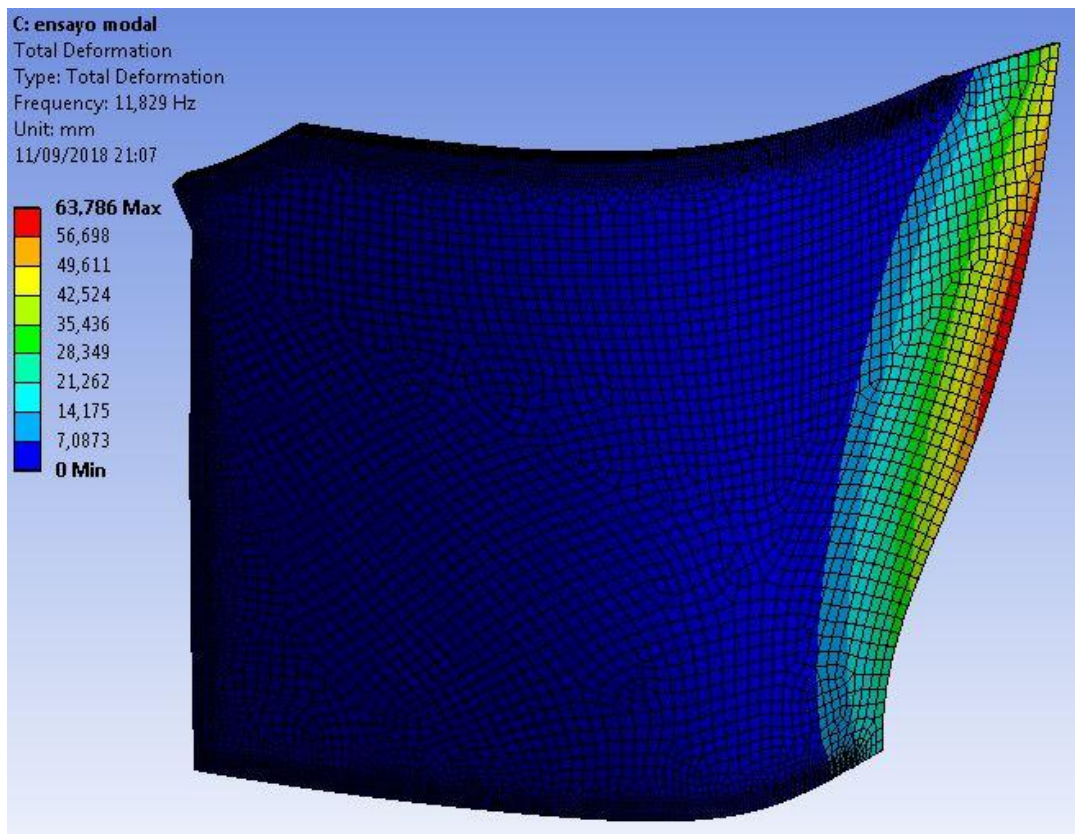
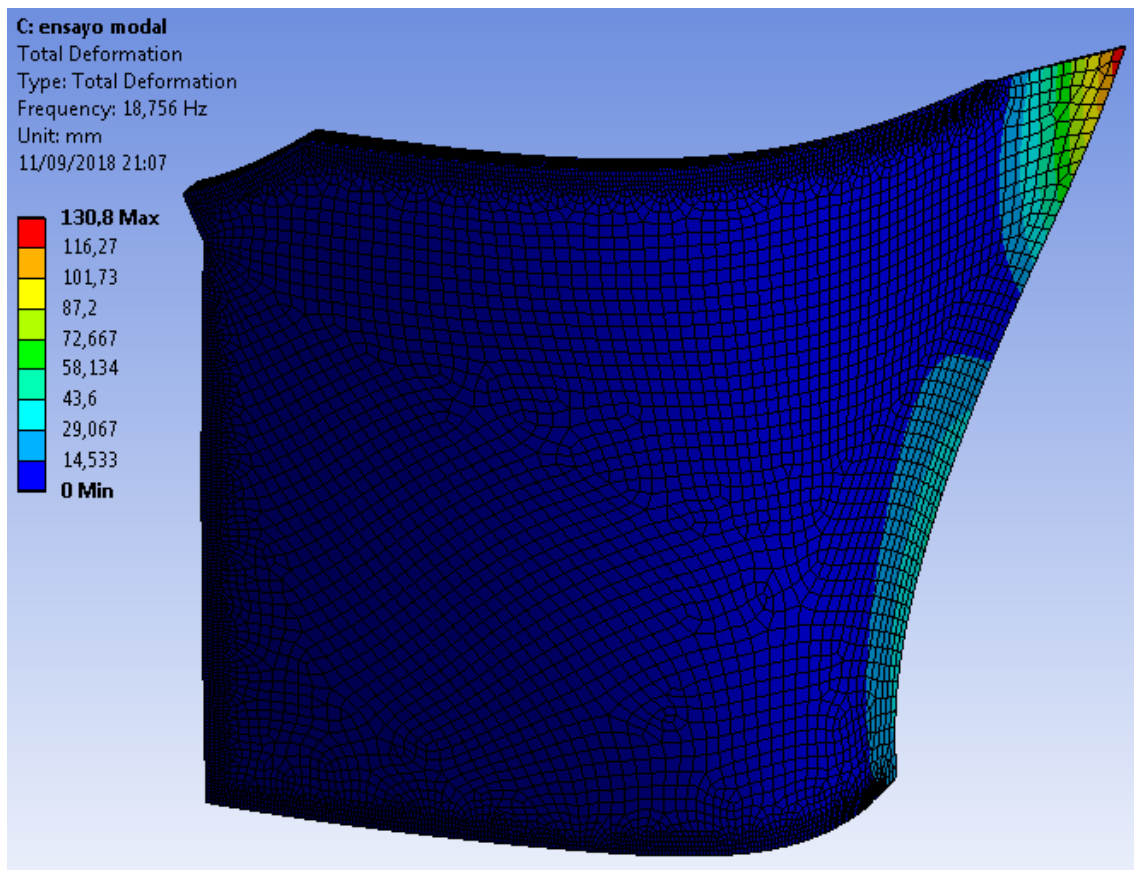


Ilustración 57. Deformación Modo 1. Fte: elaboración

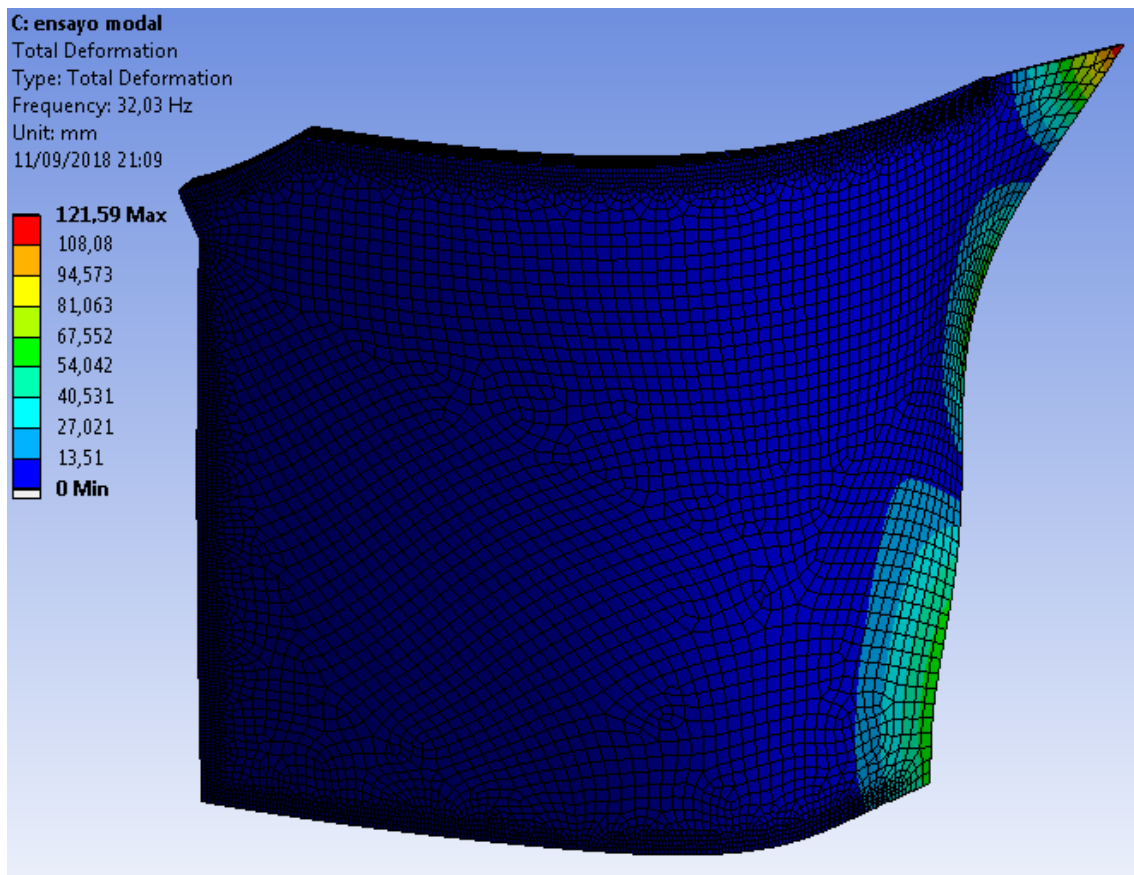
## 2.2.6.2. Modo 2



*Ilustración 58. Deformación Modo 2. Fte: elaboración propia*



### 2.2.6.3. Modo 3



*Ilustración 59. Deformación modo 3. Fte elaboracion propia*

### 2.2.6.4. Resultados

El número de nodos corresponde con el número de modo menos 1.

Estas frecuencias representan las frecuencias naturales del componente que, de coincidir con las de excitación, por ejemplo, a través de los apoyos del mismo, si se prolongan en el tiempo, hacen que se amplifique la deformación en el componente hasta provocar la ruptura y/o destrucción del mismo.

Se alcanzan grandes deformaciones, superiores a los 130mm desde la posición original.

Las fuentes generadoras de ondas vibratorias en estos vehículos son múltiples: motor, compresores, el relieve de la vía por donde circula, etc.

## 2.2.7. ANÁLISIS DE IMPACTO

Se analizan las consecuencias de un impacto siguiendo la teoría elemental de choque que a continuación se expone.



### 2.2.7.1. Teoría elemental de choque

Las cargas de choque son aquellas de aplicación repentina y que varían apreciablemente durante intervalos de tiempo muy cortos.

Un análisis detallado de estas cargas resulta demasiado complejo para un diseño conceptual como el aquí expuesto. La resolución rigurosa del análisis se realiza a través de técnicas complejas y programas de elementos finitos especiales para este tipo de simulaciones.

Sin embargo, introduciendo ciertas hipótesis simplificadoras, podemos desarrollar la simulación como si se tratase de un análisis estático en la que las cargas se aplican de forma cuasiestática, para obtener una solución aproximada:

Las hipótesis antes mencionadas son:

- Las relaciones tensión-deformación características del material se mantienen como consecuencia del choque durante la deformación.
- La energía cinética del cuerpo se transmite, durante el impacto, íntegramente a la pieza. Esto implica que no existe ningún fenómeno de disipación de la energía (rozamiento, efectos térmicos, etc) y que la carga, al no retener energía no rebota.
- La inercia de la pieza es despreciable comparada con la del objeto que efectúa el impacto.

Aplicamos el *Método de la carga estática equivalente* cuyo enunciado<sup>8</sup> dice lo siguiente:

*“La energía suministrada a la estructura por una carga de impacto es igual al trabajo que realizaría una cierta carga estática equivalente  $P_e$ , que, aplicada en el punto de choque, dará lugar a la misma deformación de la estructura”.*

El balance de energías es formulado como:

$$U_s = W_e \quad (1)$$

$U_s$ : Energía de la carga de impacto

---

<sup>8</sup> Alcaraz, Ansola, Canales, Tárrago: Elasticidad y resistencia de materiales, Vol II, pp. 287 – 298. Bilbao: UPV-EHU



$W_e$ : Trabajo realizado por la carga estática equivalente  $P_e$  al deformar la estructura

Para una estructura con comportamiento elástico lineal:

$$W_e = \frac{1}{2} P_e \delta \quad (2)$$

$\delta$ : desplazamiento del punto de aplicación de  $P_e$

Mientras que la energía del elemento de choque es:

$$U_S = \frac{1}{2} M V^2 \quad (3)$$

M: masa del elemento.

V: velocidad del elemento

Quedando finalmente la expresión (1) como:

$$\frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} P_e \delta \quad (4)$$

### 2.2.7.2. Simulación

El objetivo en la simulación, mediante una rápida iteración (gracias a todas las simplificaciones el modelo “pesa” muy poco y pueden ejecutarse rápidamente) obtener una carga estática que, aplicada del mismo modo que la hipótesis 1 del análisis estático estructural, dé una tensión máxima cercana a la de rotura del material (26MPa).

El programa nos da la deformación correspondiente a esta tensión en el punto de aplicación de la carga, con estos dos datos y mediante la ecuación 4 analizaremos las consecuencias de un impacto.

Los puntos de apoyo son comunes a los otros dos análisis posteriores.

Se aplican 5000N en dirección del eje Y contra la superficie de la pieza, los resultados se muestran en el ANEXO I, la tabla 10 muestra los más relevantes.

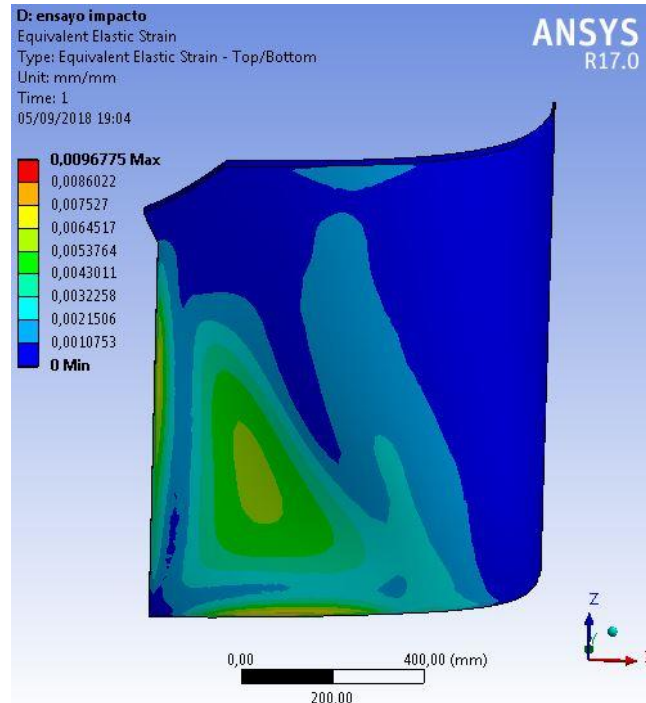
Equivalent elastic Strain	0.009678mm/mm
Equivalent Stress	26.613MPa
Direccional deformation	23.784mm

Tabla 10. Resultados impacto frontal. Fte: elaboración propia



## Equivalent elastic Strain

La deformación unitaria se da en el entorno de aplicación de la pieza, como es lógico, y en las aristas de los nervios, allí donde existen zonas de apoyo.



*Ilustración 60. Carga frontal-Equivalent Strain. Fte: Elaboración propia*

## Equivalent Stress

Al igual que la deformación unitaria, puesto que son directamente proporcionales según el módulo elástico, las zonas con mayor concentración de tensión son las mismas. En este caso se supera justo el límite de ruptura del material del material, por lo que es el caso más extremo al que se puede someter la pieza previo a su rotura.



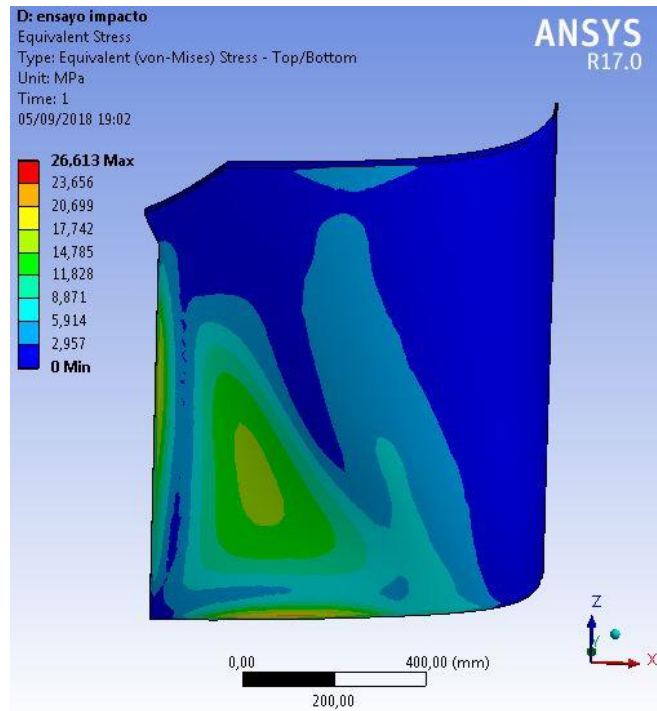


Ilustración 61. Carga frontal-Stress. Fte: elaboración propia

### Directional deformation

Se alcanzan casi 24mm en la dirección del eje Y, que es aquella deformación en dirección y sentido de aplicación de la carga estática equivalente.

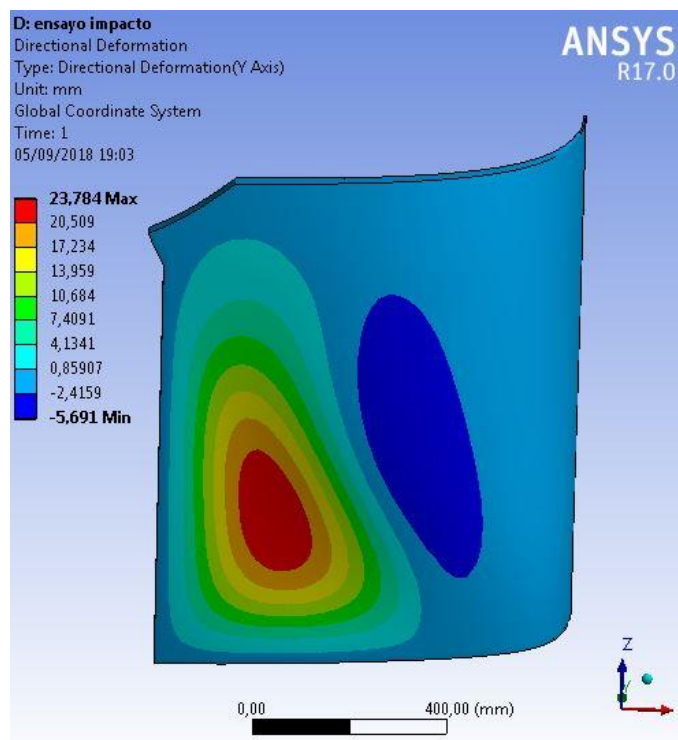


Ilustración 62. Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia



### 2.2.7.3. Resultados

Los datos resultantes de la simulación anterior son, por tanto:

$$Pe=5000N$$

$$\delta=23.784mm$$

Mediante la aplicación de la ecuación 4, a partir de estos valores y, en función de la velocidad y la masa del elemento de impacto obtenemos la gráfica y tabla siguiente (63 y 11 correspondientemente) que indica la masa máxima que puede tener el objeto de choque para una la velocidad relativa entre este y el camión para no dañar la pieza a rotura. Aplicando un coeficiente de seguridad de 1.8 dadas las simplificaciones efectuadas.

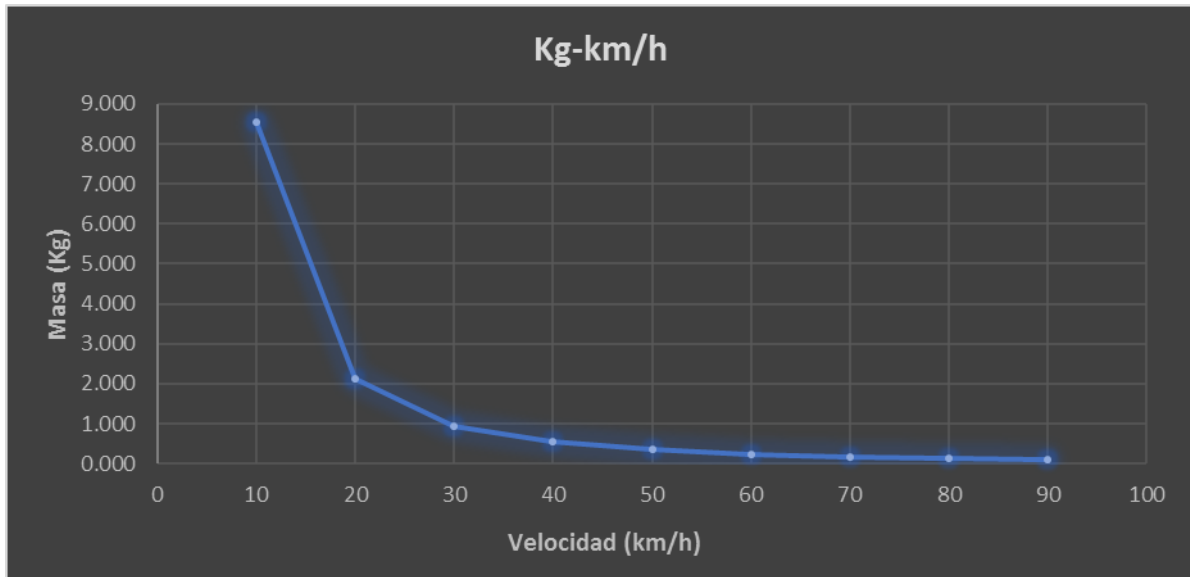


Ilustración 63. Masa de impacto en función de la velocidad

Pe (N)	$\delta(m)$	Coef.seguridad	V (km/h)	V (m/s)	M (g)	M (Kg)
5000	0.023784	1.8	10	2.778	8562	8.562
5000	0.023784	1.8	20	5.556	2141	2.141
5000	0.023784	1.8	30	8.333	951	0.951
5000	0.023784	1.8	40	11.111	535	0.535
5000	0.023784	1.8	50	13.889	342	0.342
5000	0.023784	1.8	60	16.667	238	0.238
5000	0.023784	1.8	70	19.444	175	0.175
5000	0.023784	1.8	80	22.222	134	0.134
5000	0.023784	1.8	90	25.000	106	0.106

Tabla 11. Masa de impacto en función de la velocidad



## 2.3. PLAN DE PROYECTO Y PLANIFICACIÓN

La planificación se lleva a cabo según un listado de procesos y sus subtarefas correspondientes que se reflejan en el diagrama de Gantt<sup>9</sup> en la ilustración 64.

### Diagrama de Gantt

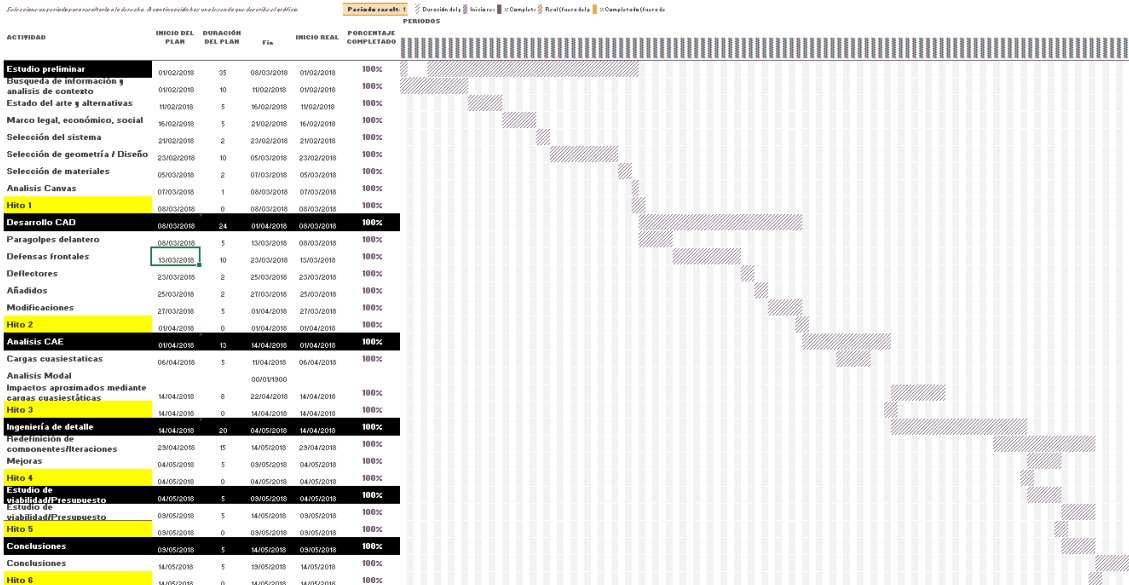


Ilustración 64. Diagrama de Gantt. Fte: elaboración propia.

Estas tareas, representan los grandes bloques de los que precisa el proyecto para alcanzar las conclusiones necesarias de cara a futuros desarrollos como se indicaba al inicio de esta redacción. Estas son:

- **Estudio preliminar:** se recoge la información necesaria relativa a la contextualización, límites y área de desarrollo del proyecto, sin entrar en materias técnicas, para su definición.
- **Desarrollo CAD:** como su nombre indica se realiza todo el desarrollo CAD, por una parte, de la tractora y por otro, más tarde, del componente sobre el que se ejecutan los análisis FEM.
- **Análisis CAE:** mediante el programa ANSYS se desarrollan todos los análisis con modelos tipo FEM. Dado que los cálculos que se necesitan son sólo aproximativos, la aplicación de múltiples simplificaciones lleva a un modelo de fácil análisis en términos de coste y tiempo.
- **Ingeniería de detalle:** se redefinen los componentes que en alguna de las fases, CAD, CAE, anteriores no han dado un resultado satisfactorio.

<sup>9</sup> Ampliado en el ANEXO III



- Estudio de viabilidad/presupuesto: Se realiza un presupuesto del coste del proyecto.
- Conclusiones: una vez finalizadas las fases anteriores se recogen todas las conclusiones derivadas del desarrollo del proyecto. Es la fase más crítica puesto que define en qué medida el paradigma expuesto al inicio, el cambio en el diseño de las tractoras, afecta o no al *know how* adquirido hasta ahora y si supone una disrupción tecnológica de pequeña, mediana o grande magnitud.



### 3. ASPECTOS ECONÓMICOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO Y/O DEL PRESUPUESTO EJECUTADO

El precio de este estudio, diseño y análisis conceptual tiene varias partidas divididas Amortizaciones, horas de mano de obra y gastos fijos.

Los datos de entrada son el precio unitario de cada uno de los elementos participantes en el proyecto (tabla 12).

DURACIÓN PROYECTO	600 horas	
RELEVOS	1	8 horas

HORAS INTERNAS	UNIDADES	Nº UNIDADES	COSTE UNITARIO
INGENIERO SUPERIOR	horas	18	25.00 €
INGENIERO JUNIOR	horas	600 horas	12.50 €

MATERIAL	Nº UNIDADES	COSTE UNITARIO ADQUISICIÓN	VIDA ÚTIL	COSTE MANTENIMIENTO NETO	TOTAL COSTE MANTENIMIENTO	COSTE TOTAL	COSTE HORARIO
ORDENADOR	1	900.00 €	5.00 años	10%	90.00 €	990	0.33904 €

SOFTWARE	Nº UNIDADES	COSTE UNITARIO ADQUISICIÓN	VIDA ÚTIL	COSTE TOTAL	COSTE TOTAL HORARIO
SOFTWARE ESTUDIANTE	2	5000.00 €	1.00 años	10000.00 €	3.42466 €
MICROSOFT OFFICE	1	60.00 €	1.00 años	60.00 €	0.02055 €
ANTIVIRUS	1	55.00 €	1.00 años	55.00 €	0.01884 €
TARIFA PLANA	9	20.00 €	0.08 años	180.00 €	0.06164 €

Tabla 12. Datos de entrada. Fte: elaboración propia

Las salidas que dan pie al presupuesto son as amortizaciones de los equipos, horas de mano de obra por parte de ingeniería y gastos fijos (tablas 13, 14 y 15 correspondientemente).

AMORTIZACIONES	NºHORAS	PRECIO	COSTE
ORDENADOR	600	0.33904 €	203.42466 €
SOFTWARE ESTUDIANTE	600	3.42466 €	2054.79452 €
MICROSOFT OFFICE ESTUDIANTES	600	0.02055 €	12.32877 €
ANTIVIRUS	600	0.01884 €	11.30137 €
TARIFA PLANA	600	0.06164 €	36.98630 €
<b>SUBTOTAL</b>			<b>2318.83562 €</b>

Tabla 13. Amortizaciones. Fte: elaboración propia.

HORAS INTERNAS	NºHORAS	PRECIO	COSTE
REUNIONES ING. SUPERIOR	18	25.00 €	450.00 €
INGENIERÍA	600 horas	12.50 €	7500.00 €
<b>SUBTOTAL</b>			<b>7950.00 €</b>

Tabla 14. Horas internas. Fte: elaboración propia.



GASTOS	NºUDS	PRECIO	COSTE
MATERIAL DE OFICINA	2	10	20.00 €
<b>SUBTOTAL</b>			<b>20.00 €</b>

Tabla 15. Gastos. Fte: elaboración propia.

PRESUPUESTO COMPLETO	CONCEPTO	COSTE
	HORAS INTERNAS	7950.00 €
	AMORTIZACIONES	2318.84 €
	GASTOS	20.00 €
	<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>10288.84 €</b>
	COSTES INDIRECTOS (2%)	205.78 €
	<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>10494.61 €</b>
	COSTES FINANCIEROS (0%)	0.00 €
	<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>10494.61 €</b>
	IMPREVISTOS (5%)	524.73 €
	<b>TOTAL</b>	<b>11019.34 €</b>

Tabla 16. Presupuesto. Fte: elaboración propia.



## 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este proyecto pueden dividirse, al igual que el desarrollo en cuatro áreas diferentes:

### 4.1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

La mejor aerodinámica de las tractoras de tipo americano (motor por delante de la cabina) junto con planes de desarrollo tecnológico hace prever que ganen ventaja competitiva frente a las de tipo europeo (motor debajo de la cabina) y las superen en términos de consumo y comodidad.

Estamos ante una disrupción tecnológica que puede ser mayor o menor en función de cómo traslade, el parlamento europeo, a priori en el año 2022, sus intenciones acerca del transporte pesado al plano técnico para evitar esa situación. Es decir que normativas deben seguir los fabricantes europeos en el diseño de sus tractoras y cómo condicionan la estética de las mismas.

Las primeas opiniones las plantea Transport & Enviroment, siendo la propuesta de mayor impacto la inclusión de 800mm de longitud extra para las cabinas de las tractoras.

De entre todos los materiales para componentes de carrocería con funciones estéticas los plásticos cumplen satisfactoriamente las exigencias con un buen equilibrio entre:

- Propiedades mecánicas
- Densidad
- Precio
- Factibilidad productiva

El polipropileno es especialmente adecuado a estas aplicaciones por su elevada ductilidad.





## 4.2. DISEÑO CONCEPTUAL CABINA

Los problemas que adolecen las cabinas europeas son:

- Superficie frontal con una forma que penaliza la aerodinámica
- Un muy reducido espacio en el habitáculo interior para el descanso del conductor.
- Mejora de la seguridad

Existen tres opciones plausibles a la hora de aprovechar los 800mm adicionales de cabina:

- Inclusión de una “nariz al estilo americano”.
- Dotar a la tractora de un frontal aerodinámicamente más eficiente.
- Aumentar el espacio del habitáculo.
- Término medio entre las opciones anteriores.

La última opción mejora los tres problemas, inicialmente citados, por igual y además supone una evolución de las tractoras actuales y no una nueva y diferente línea de desarrollo, por lo que se escoge esta.

Se desarrolla una cabina conceptual según la opción escogida que se basa en:

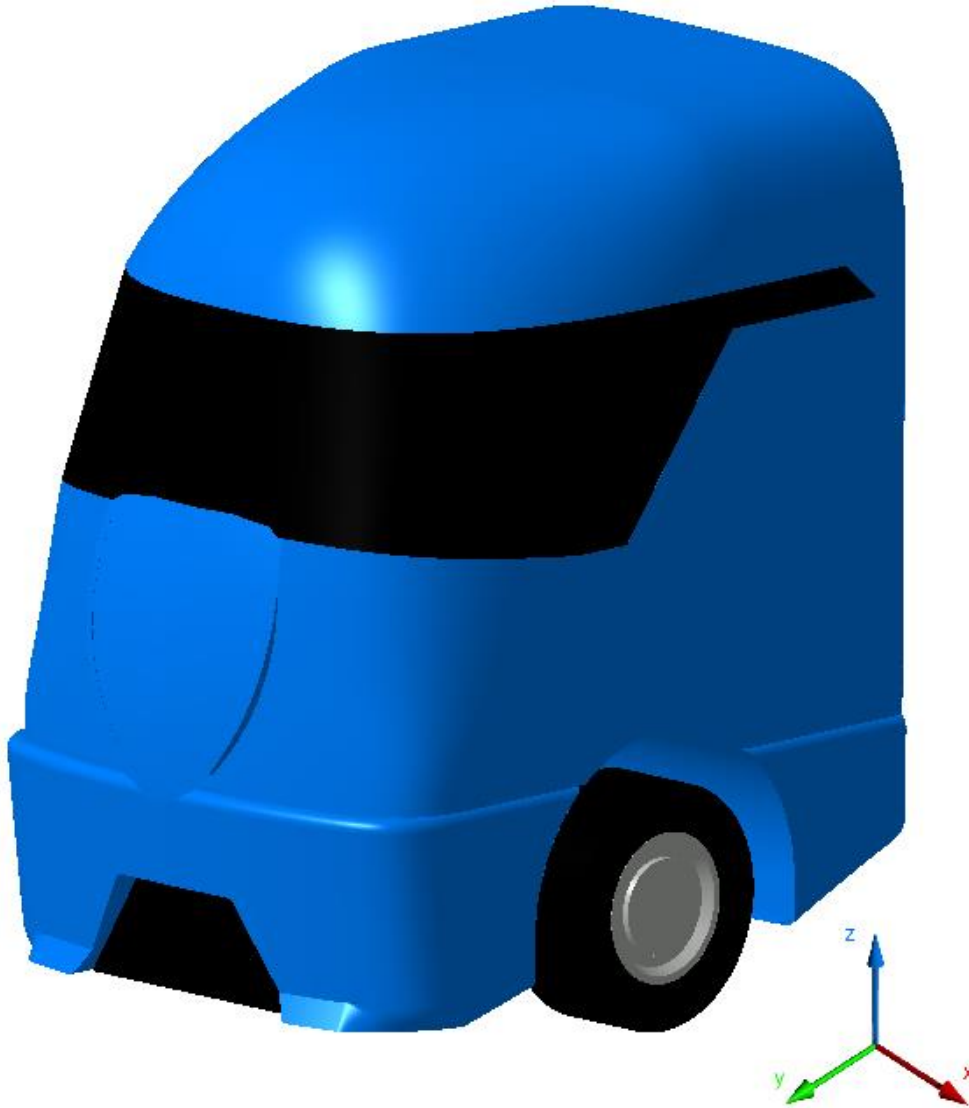
- Un frontal más aerodinámico, basándose en las medidas de las cabinas actuales e incorporando 800mm adicionales. Se comienza por el cuerpo principal de la cabina al que luego se le incluye paragolpes, parabrisas y ruedas según las medidas habituales en este tipo de vehículos. Se diseñan, unas tomas de aire de refrigeración de pequeño tamaño, para mejorar la aerodinámica teniendo en cuenta el “downsizing” (reducción de cilindrada) de los motores actuales y su hibridación.
- La parte lateral de la “nariz” es la toma de aire del motor y equipos asociados, como el compresor de los frenos, el diseño de esta nariz puede adquirir la forma que se desee o incluso eliminarse<sup>10</sup>.
- Longitud extra en la zona frontal para elementos de seguridad tales como estructuras de absorción de energía en caso de impacto.

---

<sup>10</sup> Más imágenes en el ANEXO I.



- Aumento de la zona de descanso del conductor dentro del habitáculo que crece hasta los 1500mm (1.5m) doblando su tamaño actual.
- Amplia visibilidad a través de un parabrisas de 13m<sup>2</sup> de superficie que se dividen en 2 partes, la cabina del piloto y el área de descanso donde aporta luminosidad.



*Ilustración 65. Cábina tractora. Fte: elaboración propia.*



### 4.3. DISEÑO Y DESARROLLO DE UN COMPONENTE DE LA ZONA FRONTAL

Utilizando un programa CAD se diseña uno de los componentes de plástico pertenecientes a la carrocería a partir de la estética conceptual de la cabina. Como es una superficie se le da espesor y se añaden nervios para mejorar su rigidez en el eje en que es susceptible de producirse la flexión del mismo, siendo el eje longitudinal del camión el Y.

En un inicio se diseñan tres nervios, dos horizontales y uno vertical en el interior del contorno de la pieza que se sustituyen por posibles problemas de:

- Mantenimiento: difícil acceso a las uniones con el chasis ubicadas en los nervios
- Inyección: problemas en la división entre núcleo (fijo) y parte móvil del molde, problemas en la ubicación de los puntos de inyección, problemas relacionados con el uso de cinemáticas complejas o exceso de carros.
- Pintura: dificultad para aplicar la pintura en la zona posterior.

Por ello se opta por un diseño más sencillo en que los nervios se encuentran el contorno de la pieza. Se mantienen los tres nervios:

- Los horizontales dan rigidez en el eje Z frente a impactos laterales
- El vertical da rigidez en el eje X frente a impactos frontales.

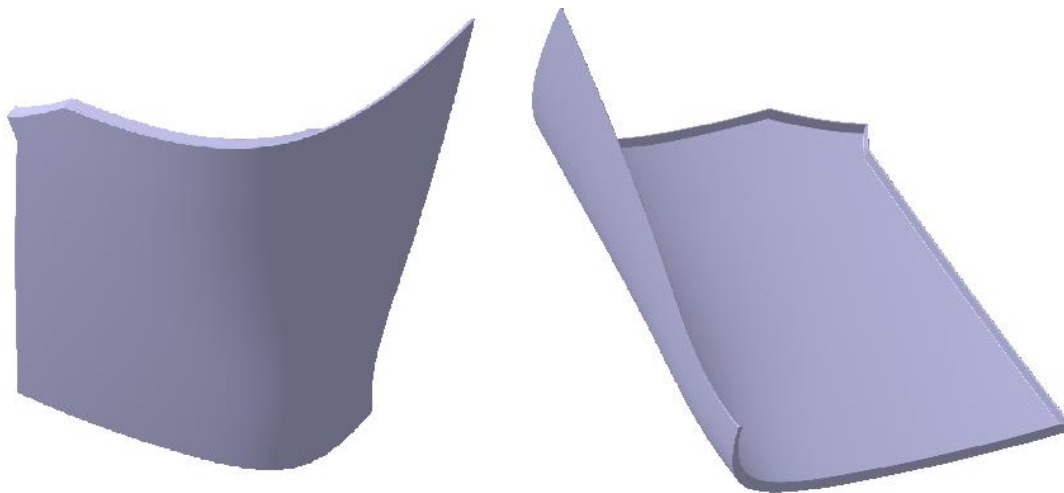


Tabla 17. Componente carrocería. De izda a deha: vista frontal y posterior. Fte: elaboración propia.



#### 4.4. ANÁLISIS FEM COMPONENTE

El material del componente es un Polipropileno Hyfax X M2 U16 fabricado por LyondellBasell, cuenta con refuerzo mineral que incrementa su resistencia y protección contra la radiación ultravioleta que reduce la degradación del material en ambiente externo.

##### Estático estructural

- Carga frontal: en esta orientación la pieza soporta bien las cargas aplicadas, el nervio vertical da la rigidez necesaria para evitar una excesiva flexión del componente. No requiere de mayores refuerzos ni puntos de apoyo.
- Carga lateral: la aplicación de cargas en el eje X produce grandes deformaciones y tensiones críticas en los extremos de los nervios horizontales. Se debe incluir un cuarto apoyo en el extremo lateral izquierdo de la pieza
- Presión: el componente soporta bien las cargas de viento, no se crean tensiones que hagan peligrar la integridad de la estructura, pero sí deformaciones, sobre todo laterales (eje X)

##### Ensayo modal

Se deben controlar las frecuencias de vibración de la maquinaria asociada a la tractora y/o las producidas por el tren de rodaje en condiciones de trabajo o evitar la transmisión al componente de frecuencias cercanas a las naturales.

Para ello se deben usar elementos de amortiguación maquinaria-chasis, chasis-cabina, cabina-pieza o bien una combinación de ambas. Esto se hace en la actualidad aislando la cabina de la parte motriz de la tractora.

De nuevo, debe incluirse un anclaje o punto de apoyo al chasis en el lateral ya que las deformaciones experimentadas son muy grandes.

##### Ensayo de impacto

Utilizando simplificaciones, según la teoría elemental de choque y basándose en el método de la carga estática equivalente obtenemos la masa que puede impactar a una velocidad determinada sin producir daños estructurales en la pieza, aplicando un coeficiente de seguridad elevado a tenor de las simplificaciones efectuadas, a máxima



velocidad, 90km/h, un impacto con una masa de menos de 106gr no daña la pieza, un gorrión común pesa 30gr, por lo que es un dato satisfactorio.

A pesar de ello se deben realizar análisis con técnicas más sofisticadas para validar la geometría.



#### 4.5. CRÍTICA

Las futuras normativas europeas relacionadas con medioambiente propondrán una serie de reformas que afectarán al diseño de las tractoras de los camiones articulados por parte de los fabricantes bajo su jurisdicción. Esto da lugar a nuevas ideas de diseño como la aquí mostrada que mejoran la seguridad, confort y consumos de los camiones actuales para mantener una ventaja competitiva frente a los americanos. Estos nuevos diseños, si se realizan adecuadamente, pueden ser una evolución de los actuales, sin presentar grandes saltos tecnológicos, y contener elementos como componentes de carrocería que actualmente se fabrican de forma similar.



## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

Hernandez, Pinto, Agirrebeitia, Petuya: Dinámica de máquinas, pp. 181-195. Bilbao: UPV-EHU

Hernandez, Pinto, Agirrebeitia, Petuya: Dinámica de máquinas, pp. 267-274. Bilbao: UPV-EHU

Alcaraz, Ansola, Canales, Tárrago: Elasticidad y resistencia de materiales, Vol II, pp. 287 – 298. Bilbao: UPV-EHU

Maier S.Coop: Plásticos. Gernika: MAIER

Maier S.Coop: Inyección. Gernika: MAIER

### WEBS

“Teoría FEM”, disponible en <http://femexpert.com/tutorials/fem-theory>

“Longer cabs delayed until 2022”, disponible en <https://www.commercialmotor.com/news/longer-cabs-delayed-until-2022>

“EU truck safety and efficiency law faces delay until 2019”, disponible en <https://www.euractiv.com/section/transport/news/eu-truck-safety-and-efficiency-law-faces-delay-until-2019/>

“Reducing CO2 emissions from heavy-duty vehicles”, disponible en [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy\\_en#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en#tab-0-0)





## GLOSARIO

- CAD: Computed Aided Design
- CAE: Computed Aided Engineering
- FEM: Finite Elements Method
- BTP: Build To Print
- DSF: Design and Spec Fabrication
- T&E: Transport & Environment
- EU: European Union
- UE: Unión Europea
- BIW: Body In White
- Tg: Temperatura de transición vítrea
- Tm: Temperatura de cristalización
- PP: Polipropileno
- PA: Poliamida
- PE: Poliestireno
- PC: Policarbonato
- PS: Poliestireno
- PMMA: Polimetilmetacrilato
- POM: Polioxido de metileno
- PVC: Poli Vinil Cloruro
- LDPE: Polietileno de baja densidad

## ANEXO I: Imágenes desarrollo

### IMAGENES CAD CABINA

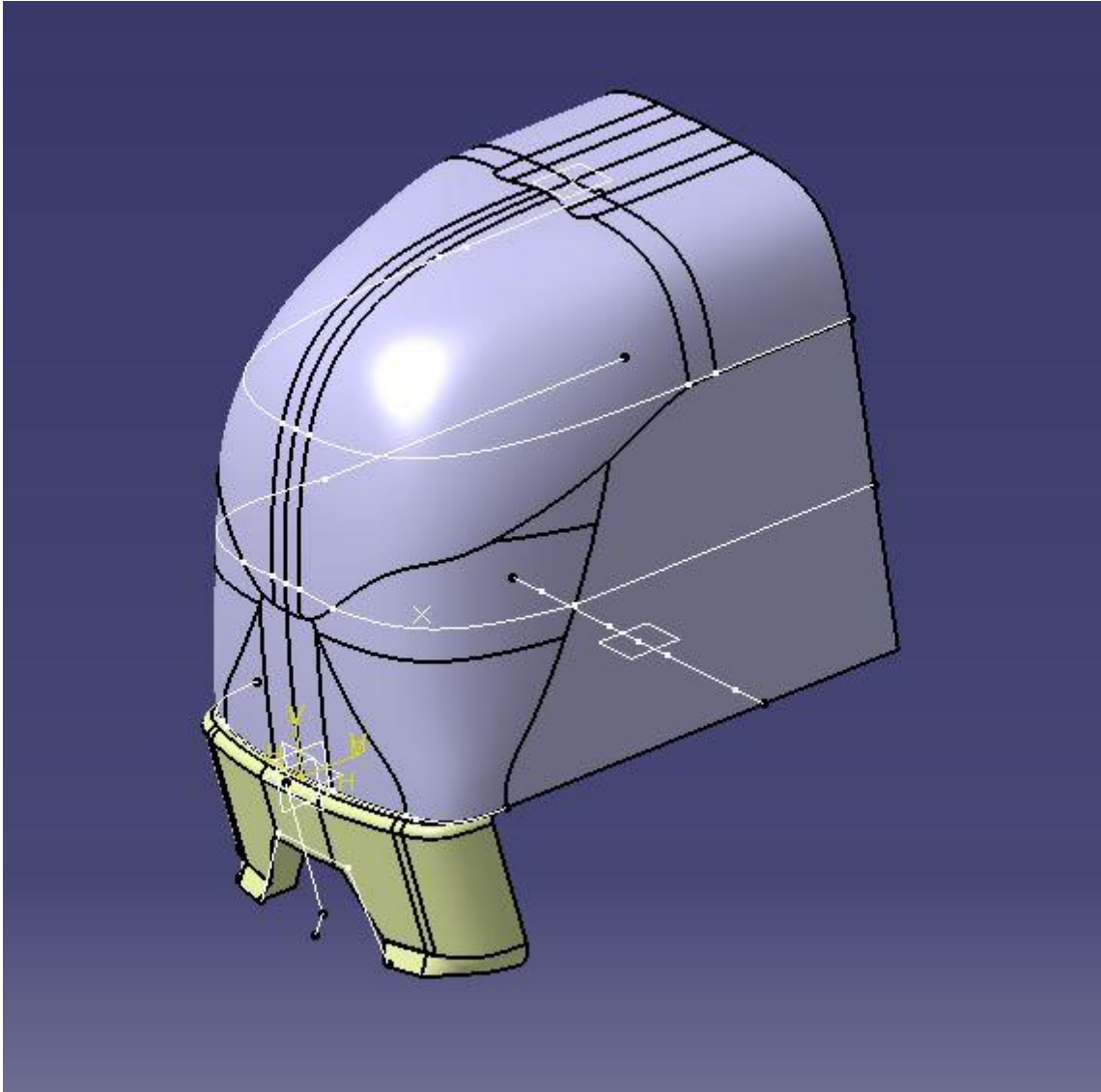
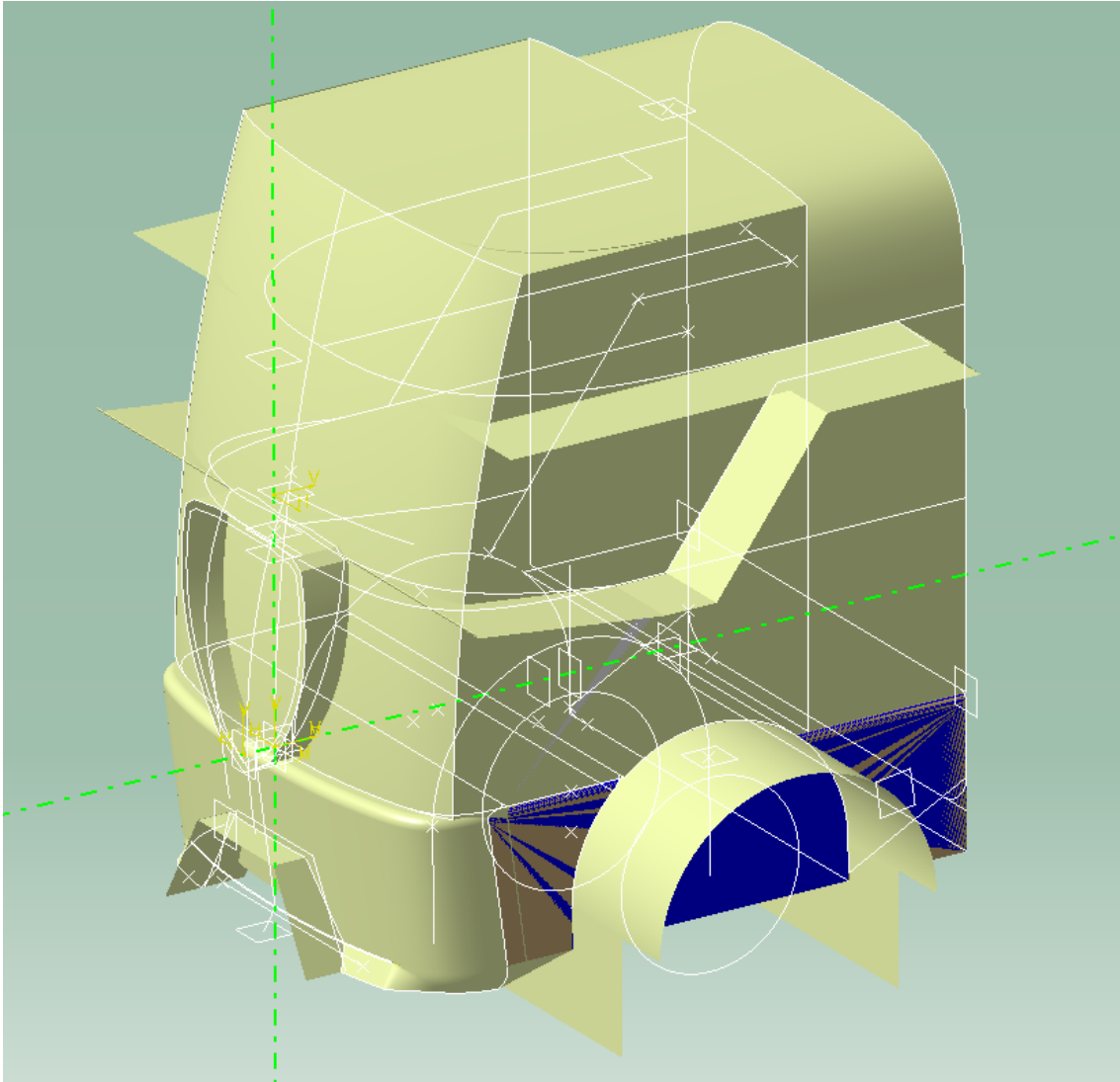


Ilustración 66. Desarrollo CAD cabina imagen 1. Fte: elaboración propia



*Ilustración 67. Desarrollo CAD cabina imagen 2. Fte: elaboración propia*

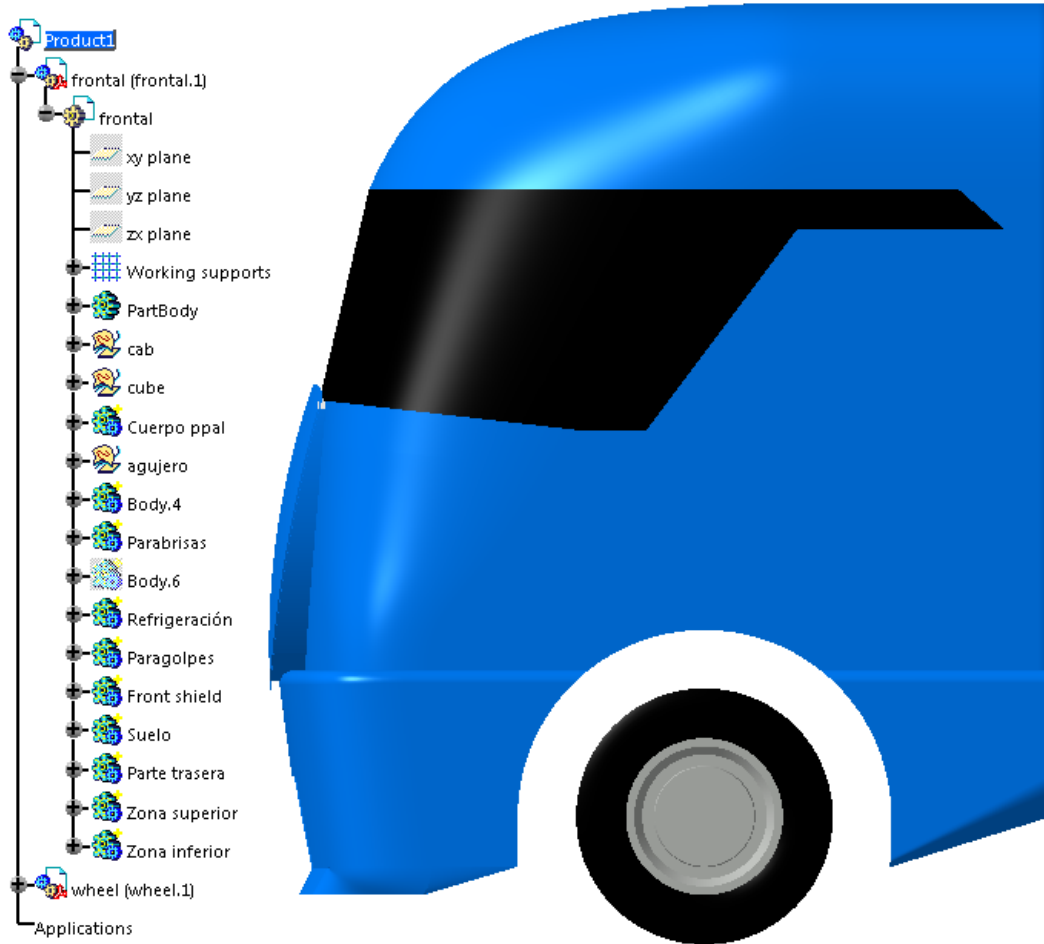
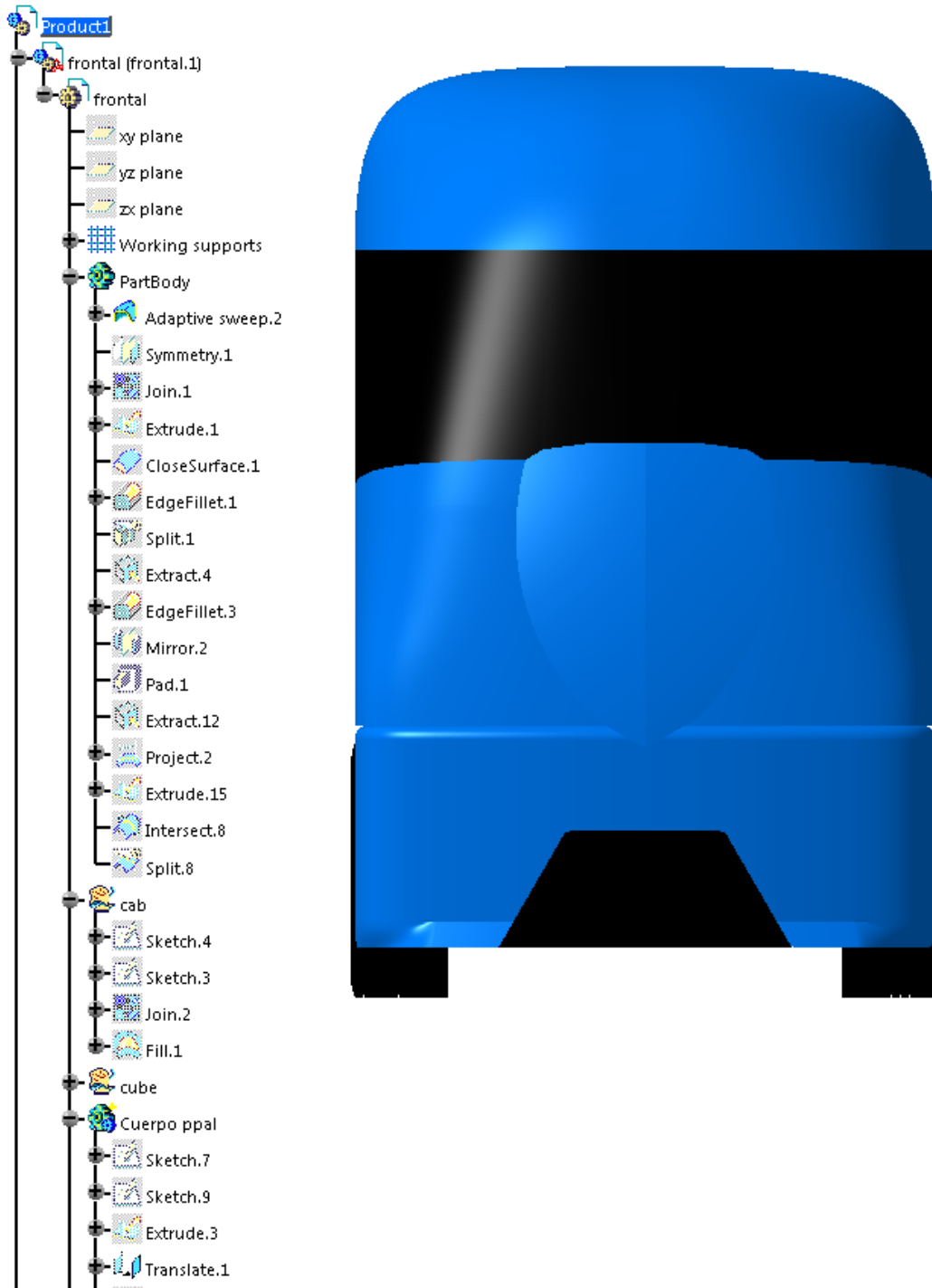


Ilustración 68. Desarrollo CAD cabina imagen 3. Fte: elaboración propia.



*Ilustración 69. Desarrollo CAD cabina imagen 4. Fte: elaboración propia.*

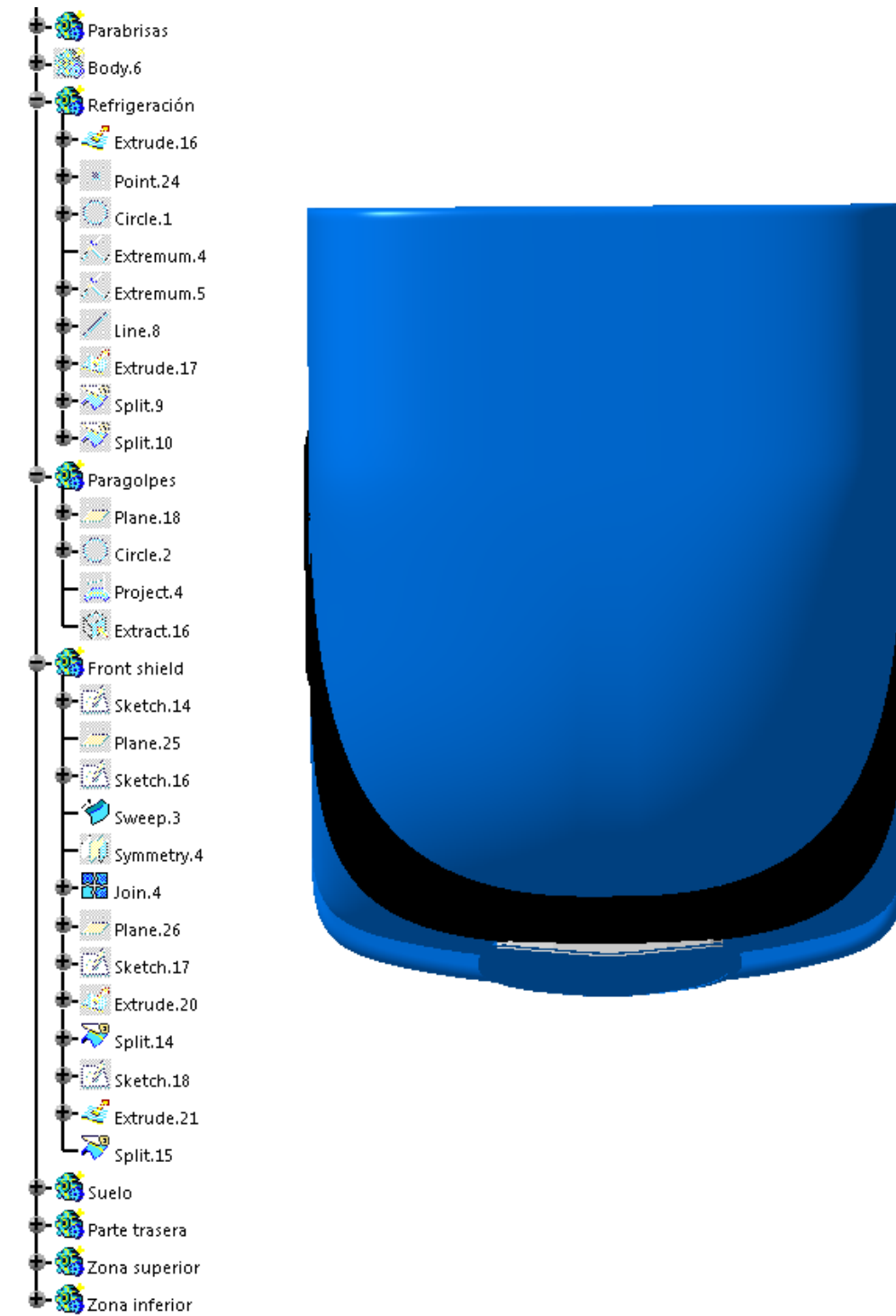


Ilustración 70. Desarrollo CAD cabina imagen 5. Fte: elaboración propia.







## IMÁGENES CAD COMPONENTE CARROCERÍA

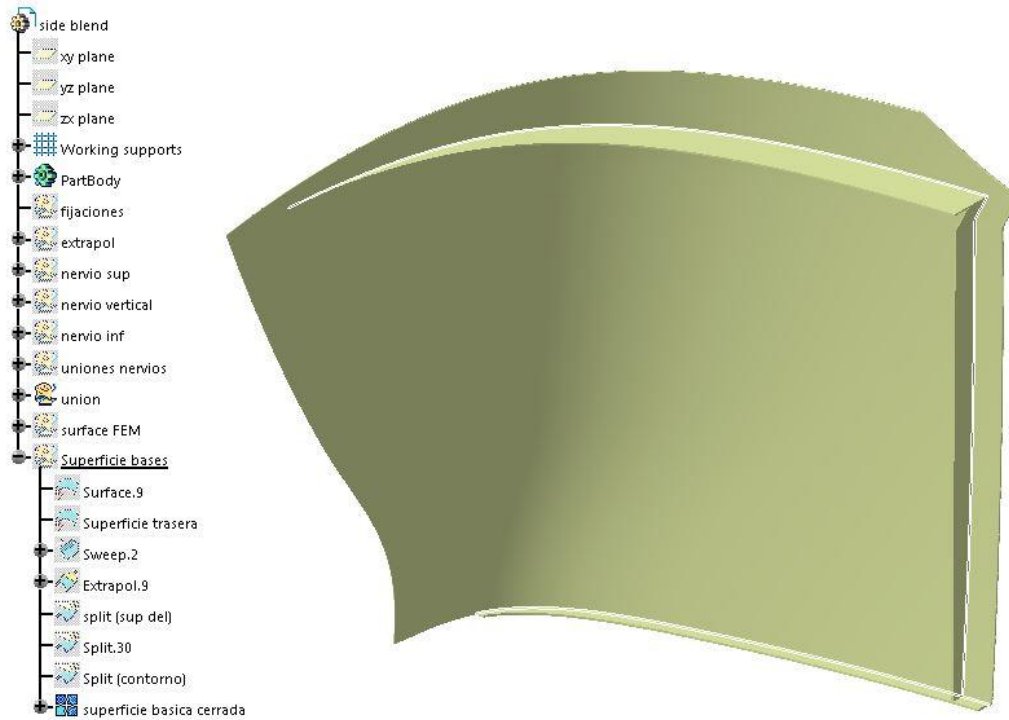


Ilustración 72. Desarrollo CAD componente imagen 1. Fte: elaboración propia.

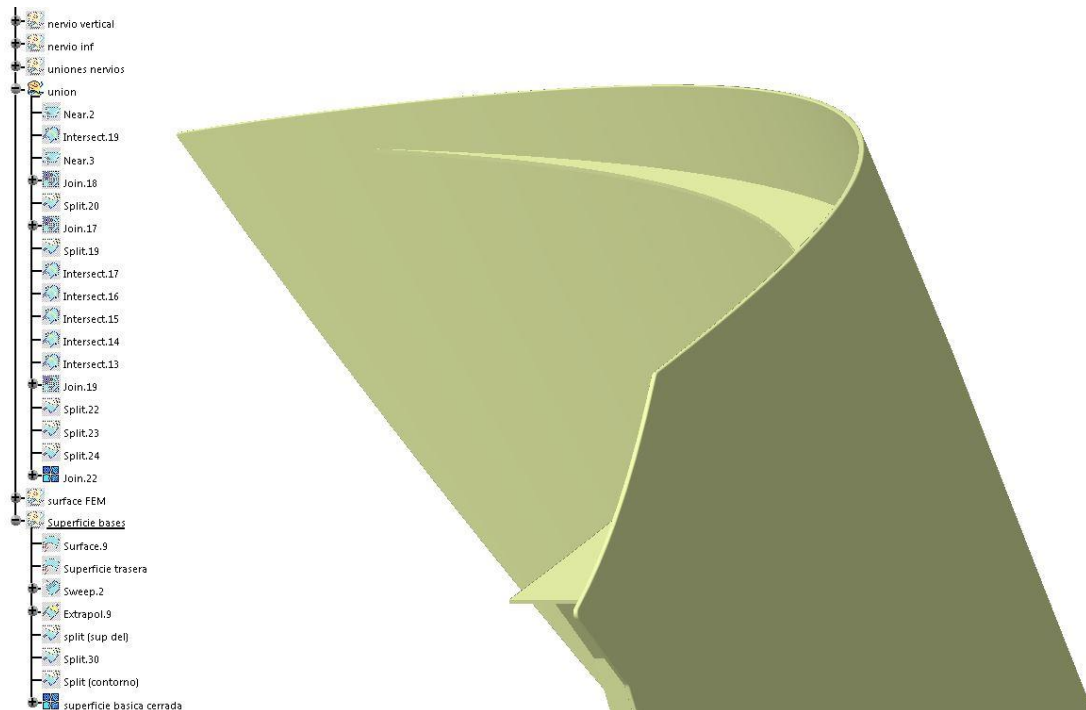


Ilustración 73 Desarrollo CAD componente imagen 2. Fte: elaboración propia.

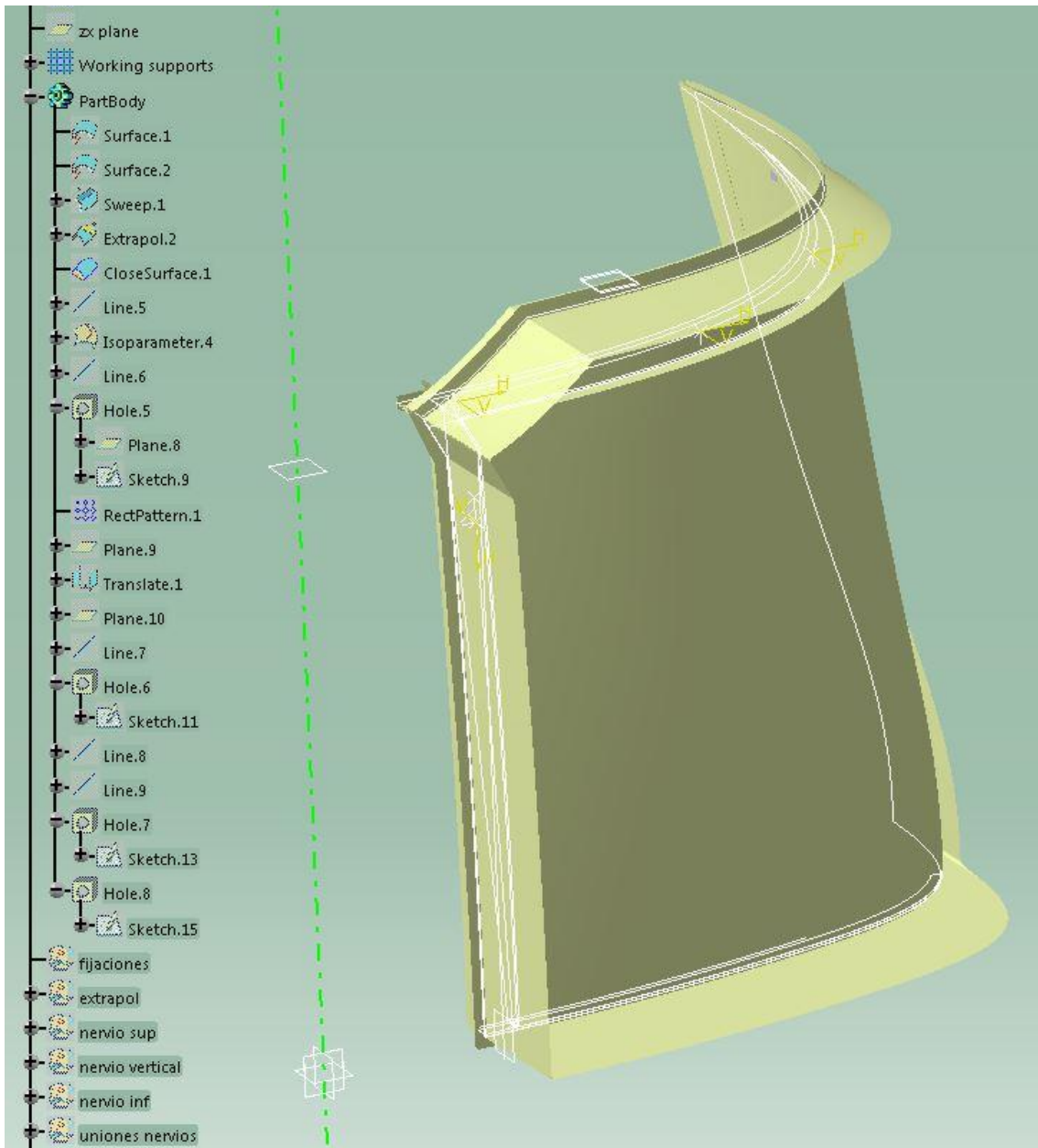


Ilustración 74 Desarrollo CAD componente imagen 3. Fte: elaboración propia.

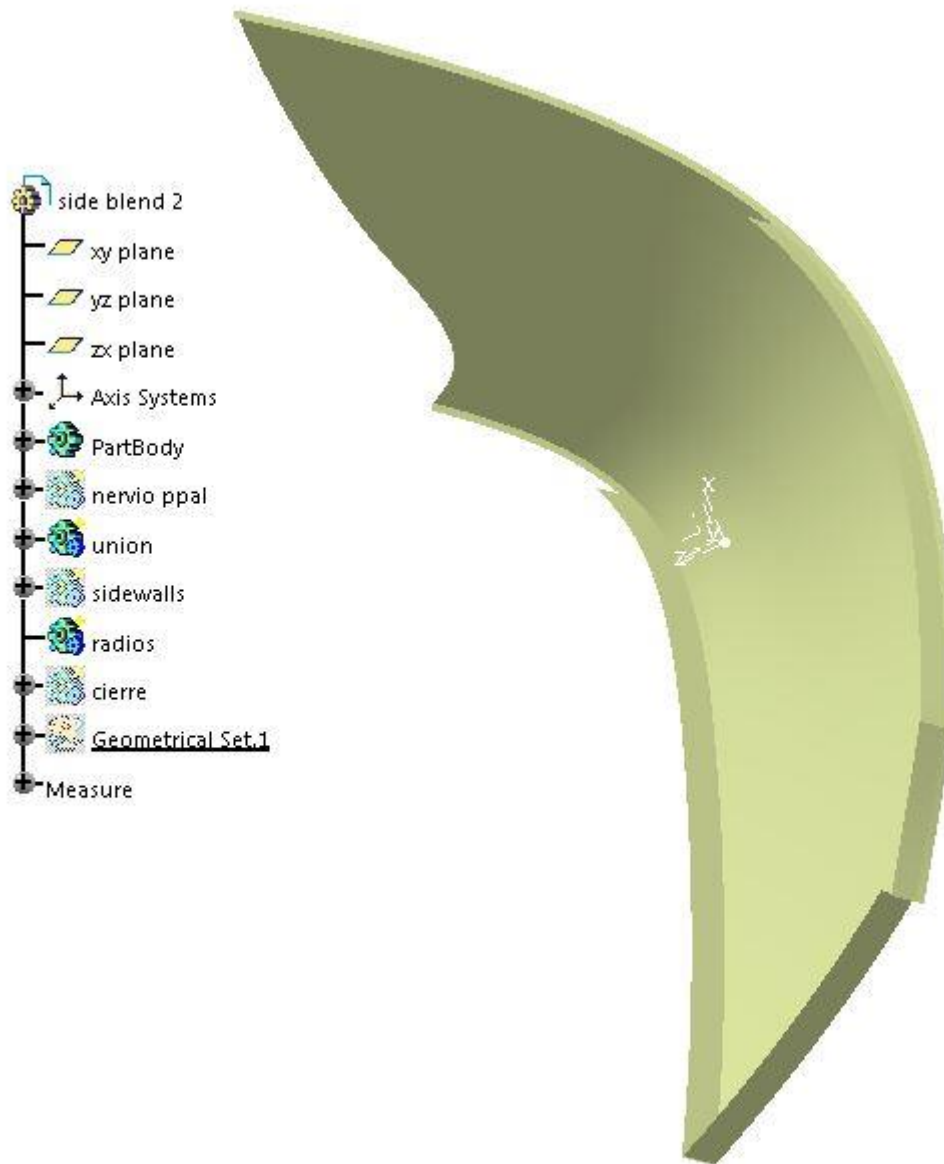
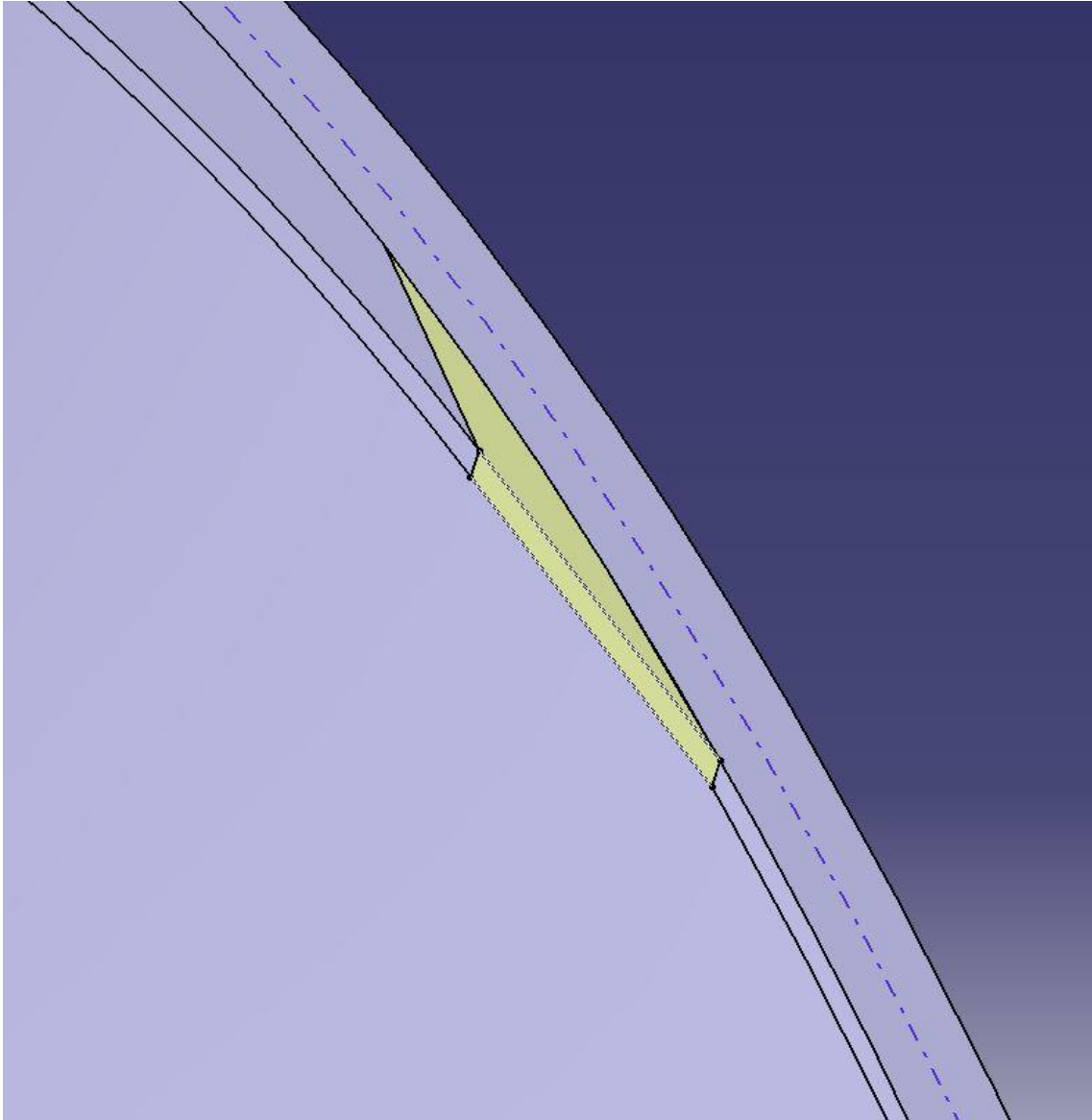


Ilustración 75 Desarrollo CAD componente imagen 4. Fte: elaboración propia.



*Ilustración 76 Desarrollo CAD componente imagen 5. Fte: elaboración propia.*

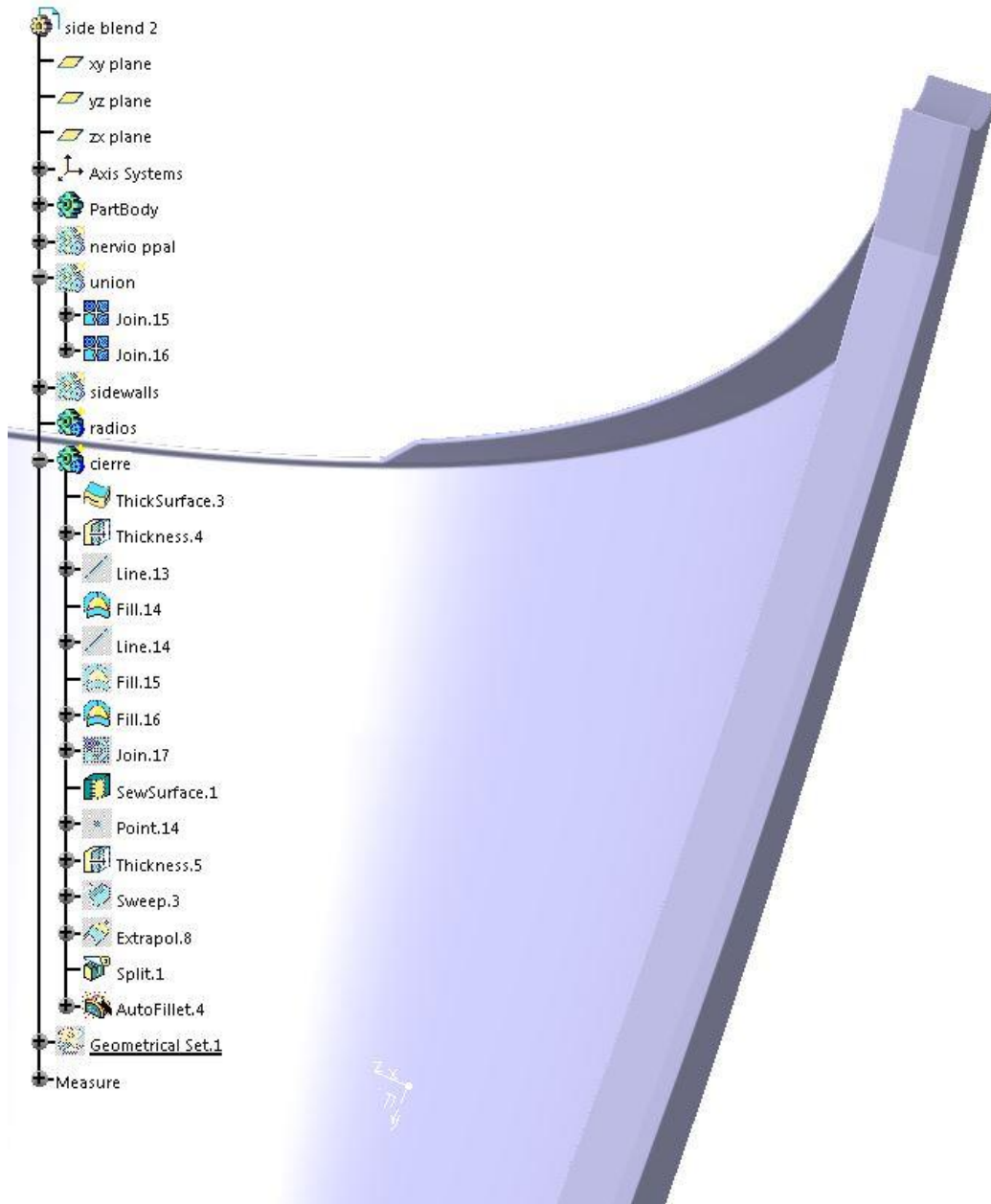
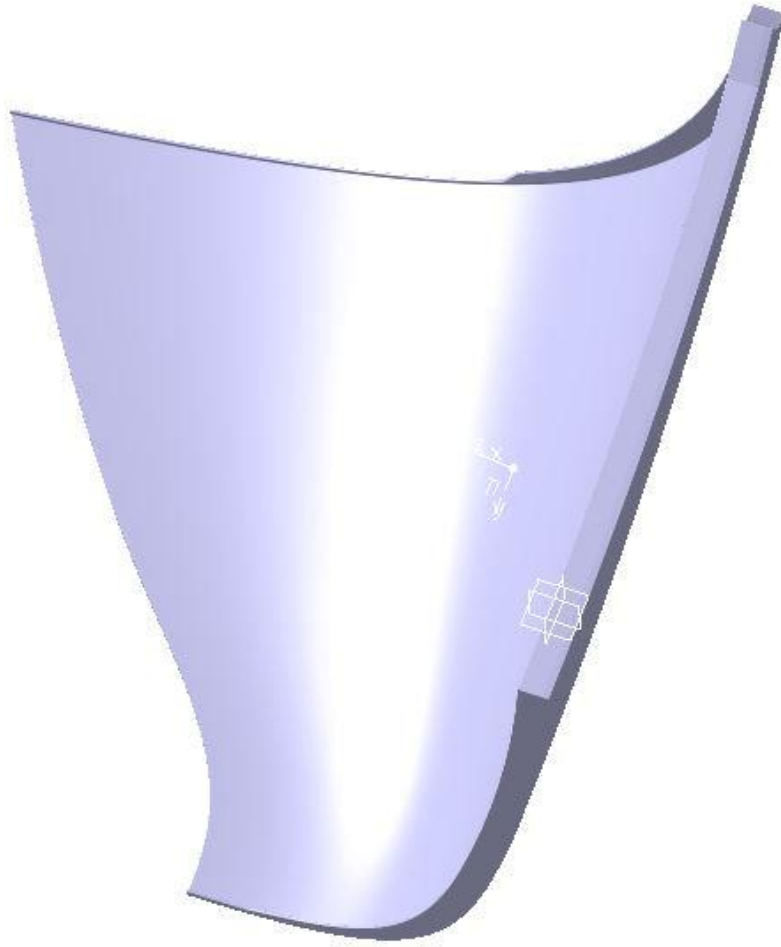
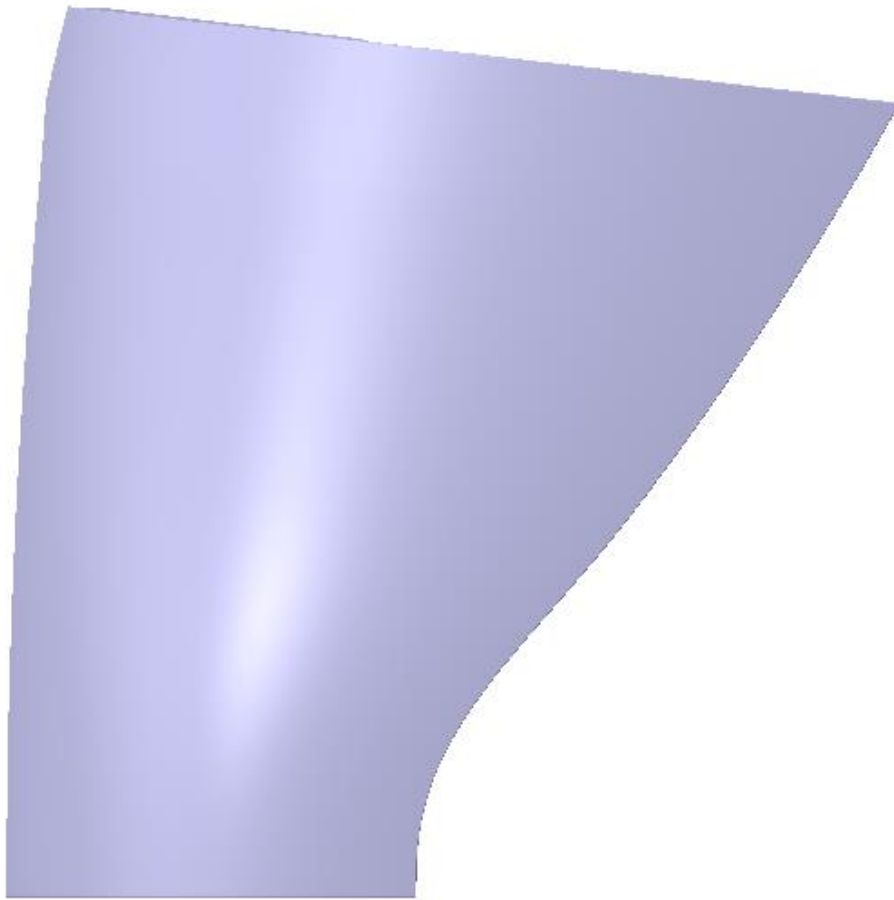


Ilustración 77 Desarrollo CAD componente imagen 6. Fte: elaboración propia.



*Ilustración 78 Desarrollo CAD componente imagen 7. Fte: elaboración propia.*

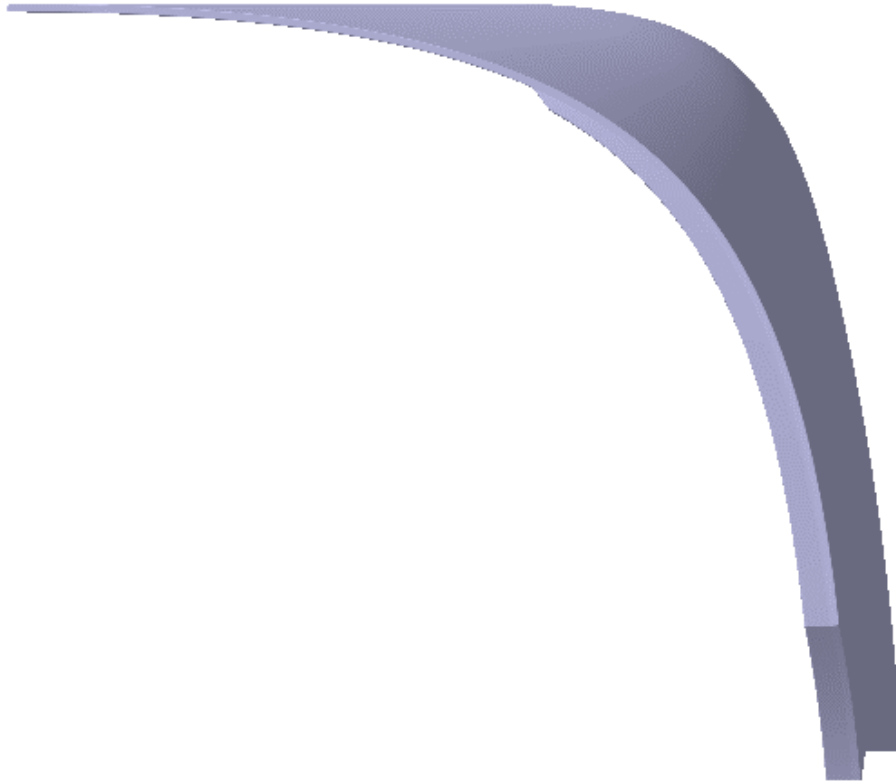


*Ilustración 79 Desarrollo CAD componente imagen 8. Fte: elaboración propia.*





*Ilustración 80 Desarrollo CAD componente imagen 9. Fte: elaboración propia.*



*Ilustración 81 Desarrollo CAD componente imagen 1. Fte: elaboración propia.*



## ANEXO II: Análisis FEM

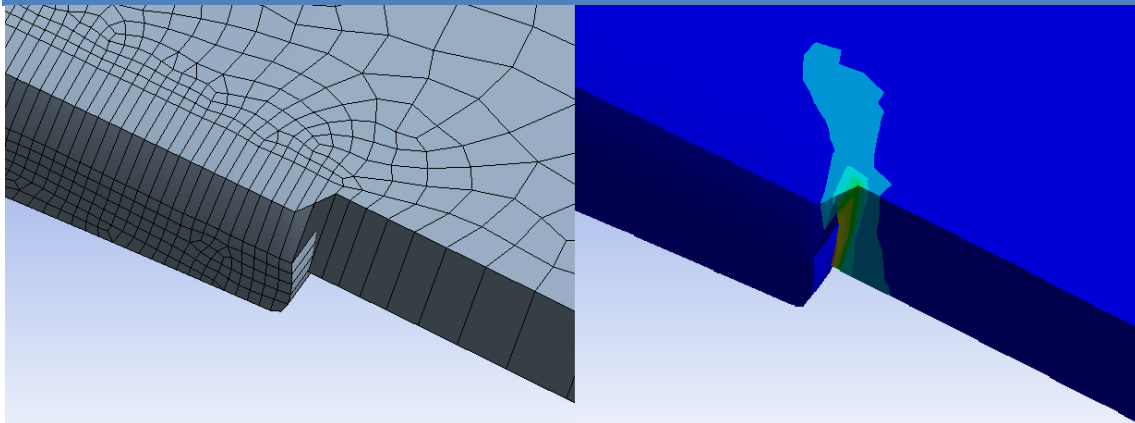


Ilustración 82. Error de mallado-Picots tensión. fte:elaboración propia.

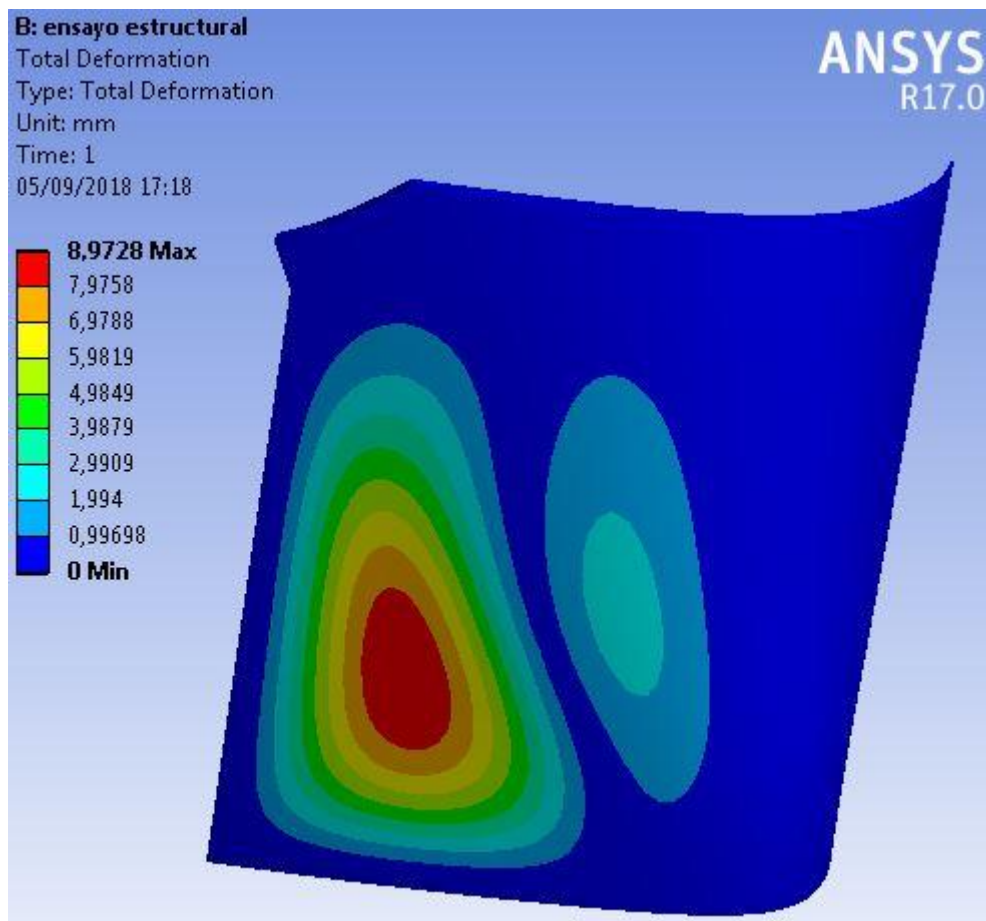
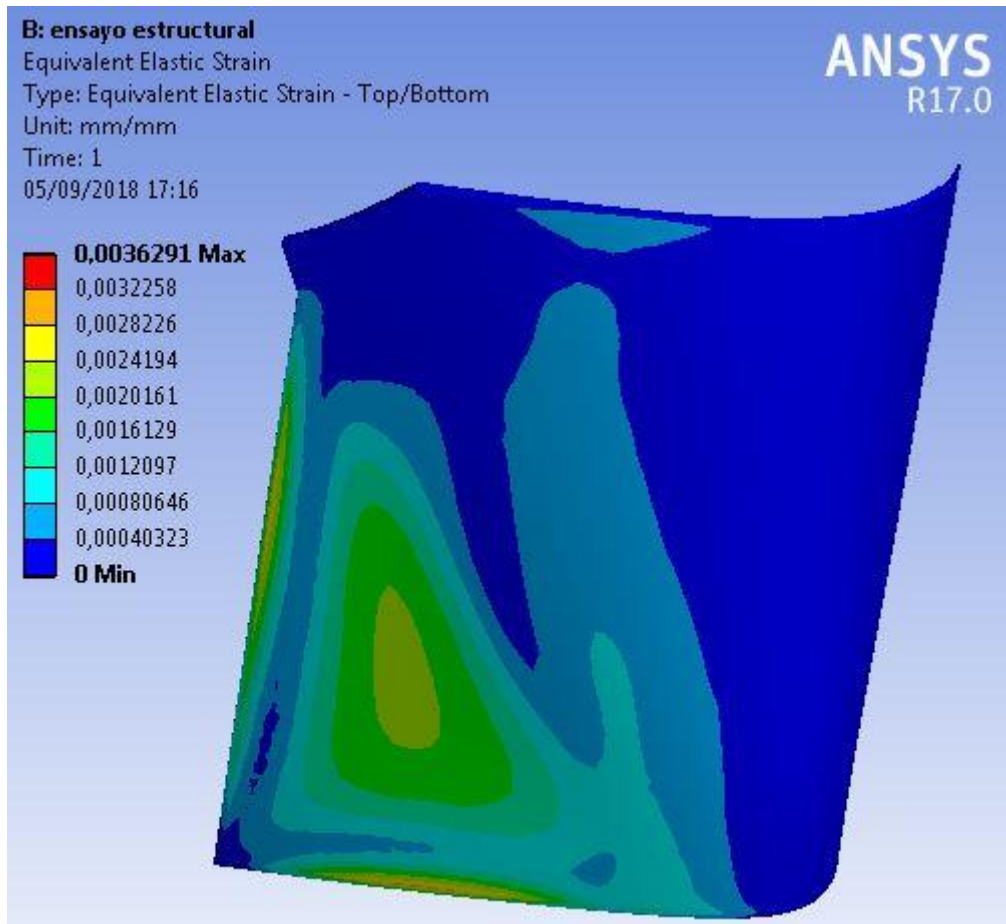
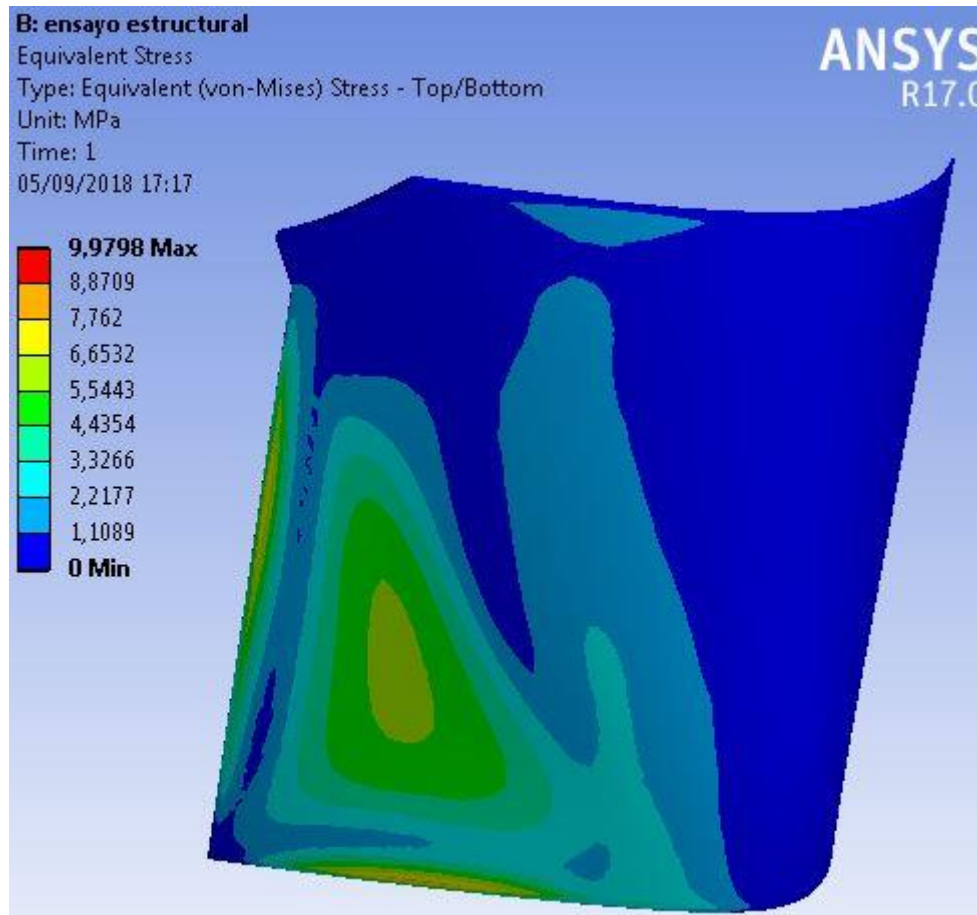


Ilustración 83. Ensayo 1-Carga frontal-Deformación. Fte: elaboración propia.



*Ilustración 84. Ensayo 1-Carga frontal-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 85. Ensayo 1-Carga frontal-Tensión. Fte: elaboración propia*

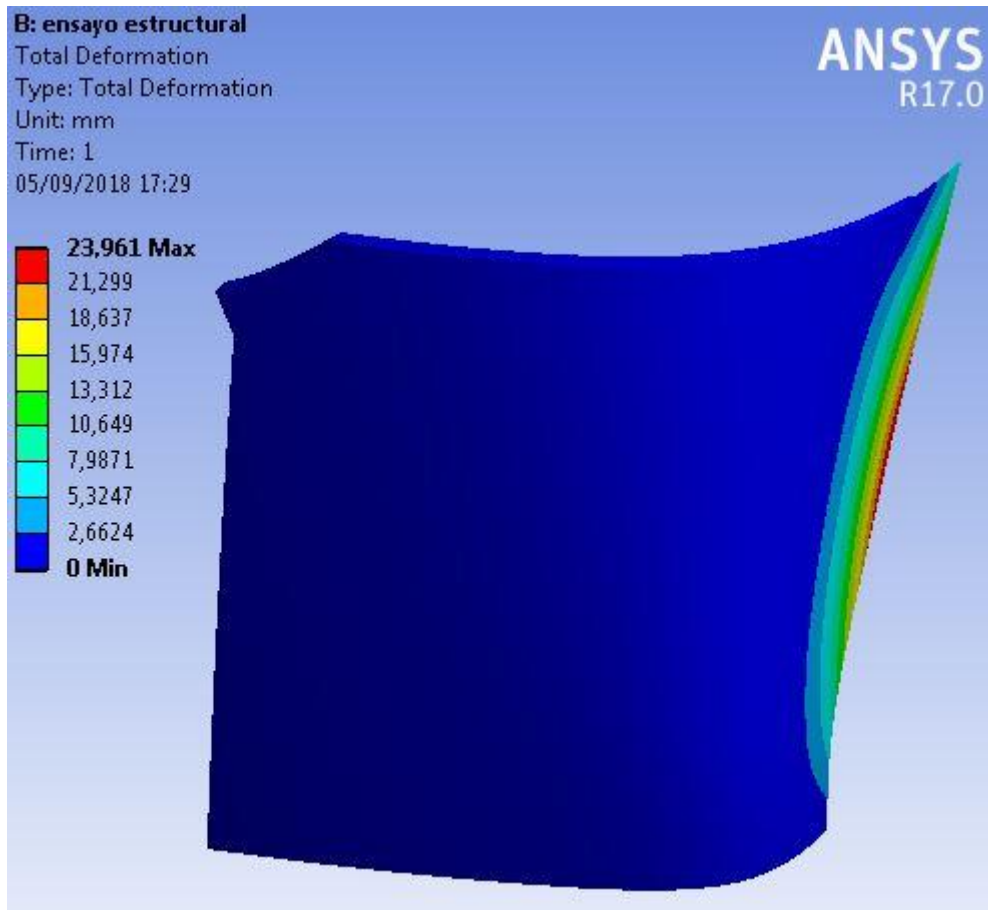
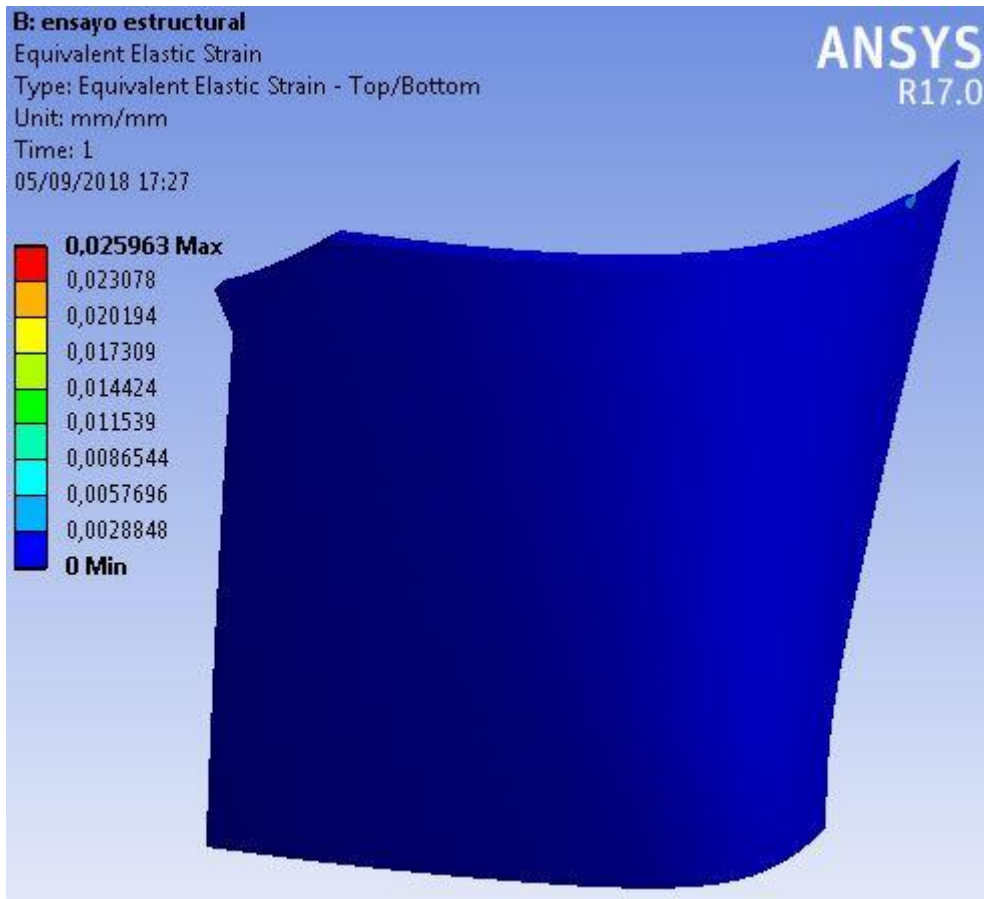
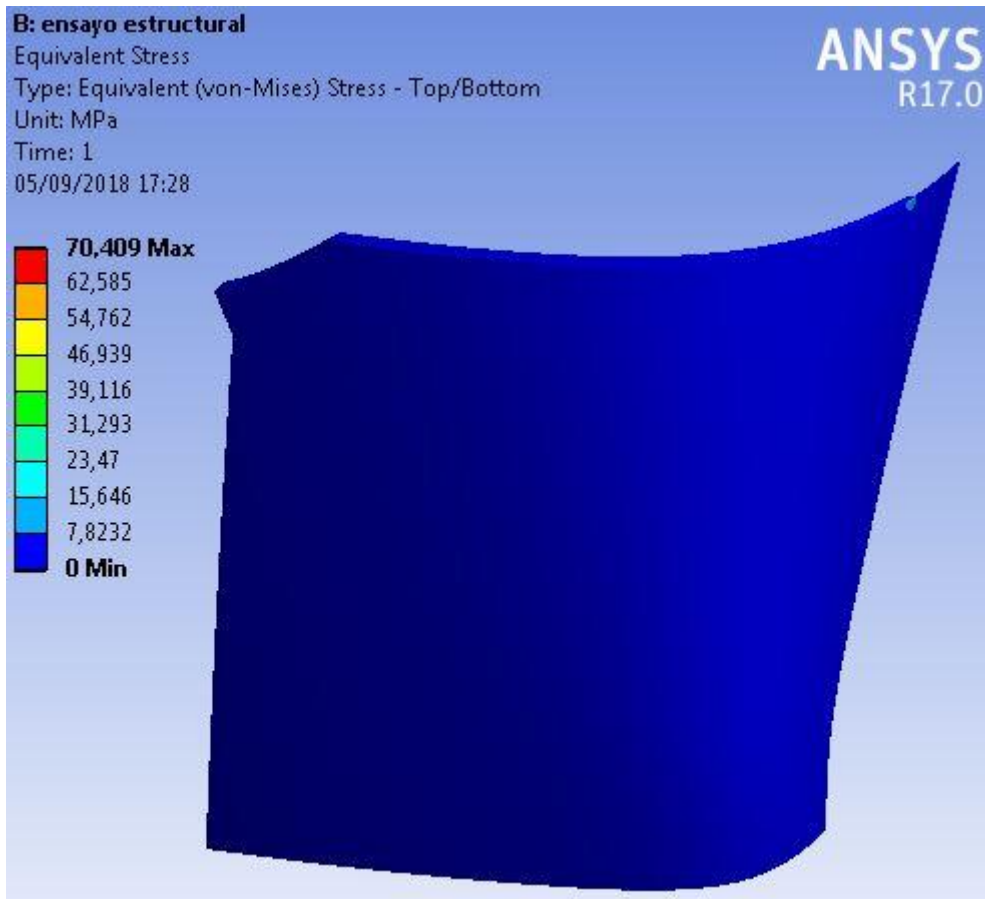


Ilustración 86. Ensayo 1-Carga Lateral-Deformación. Fte: elaboración propia

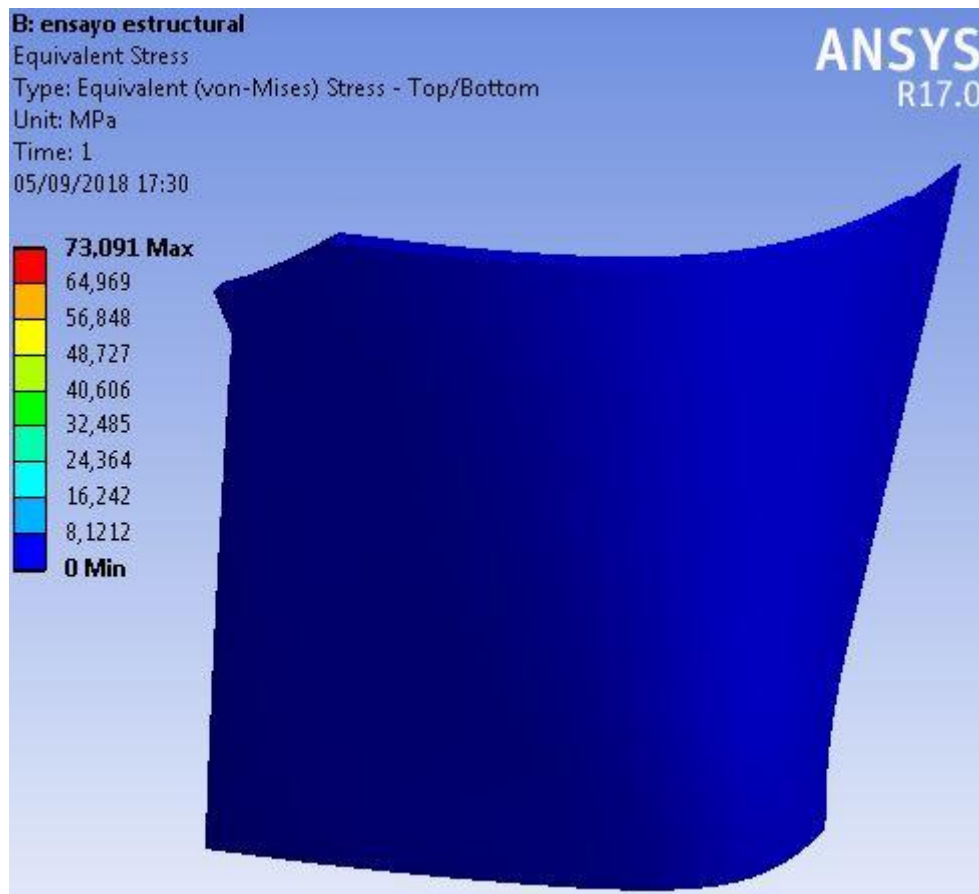


*Ilustración 87. Ensayo 1-Carga lateral-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia*

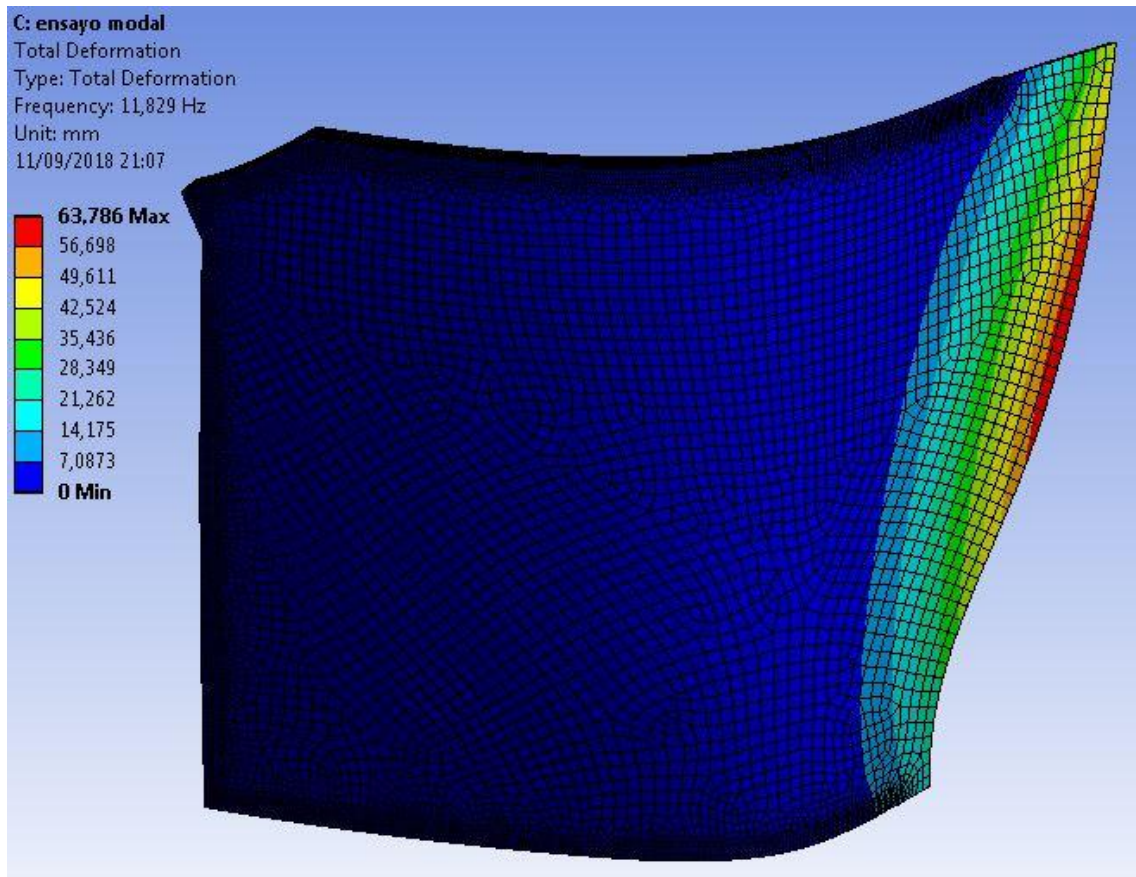




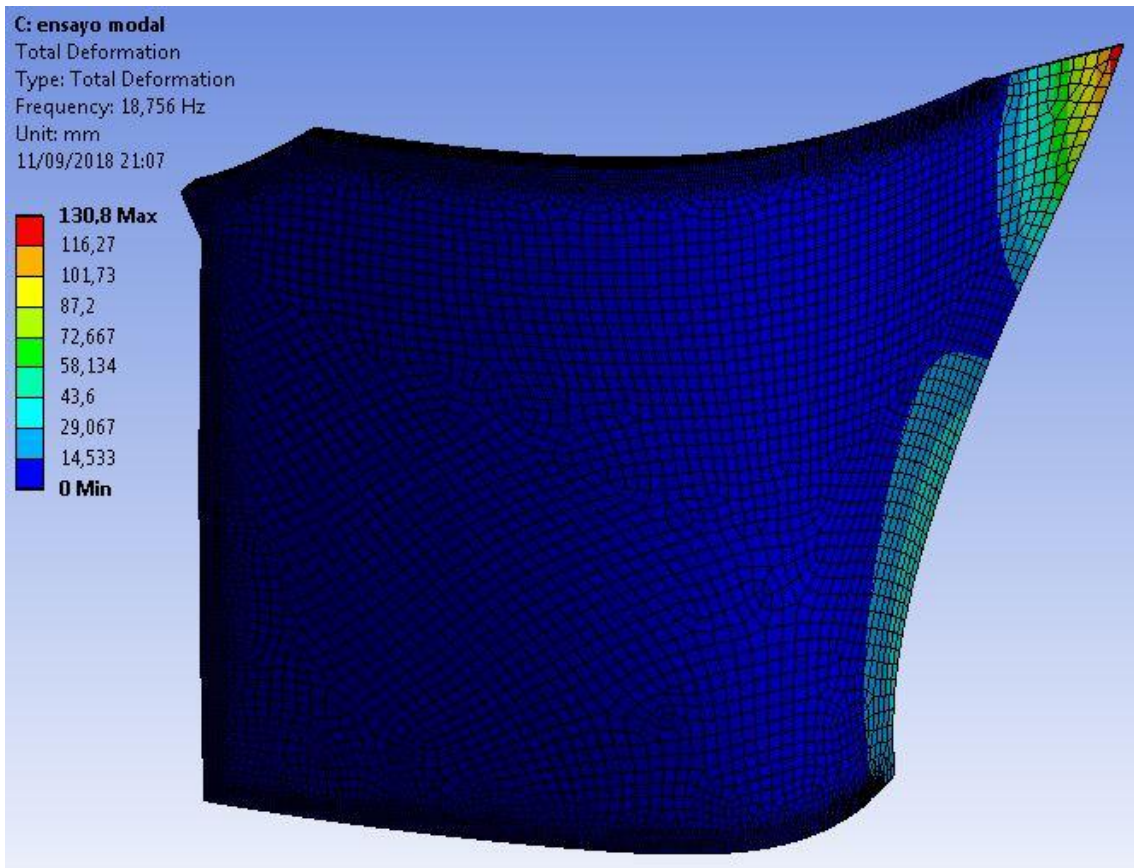
*Ilustración 88. Ensayo 1-Carga lateral-Tensión. Fte: elaboración propia*



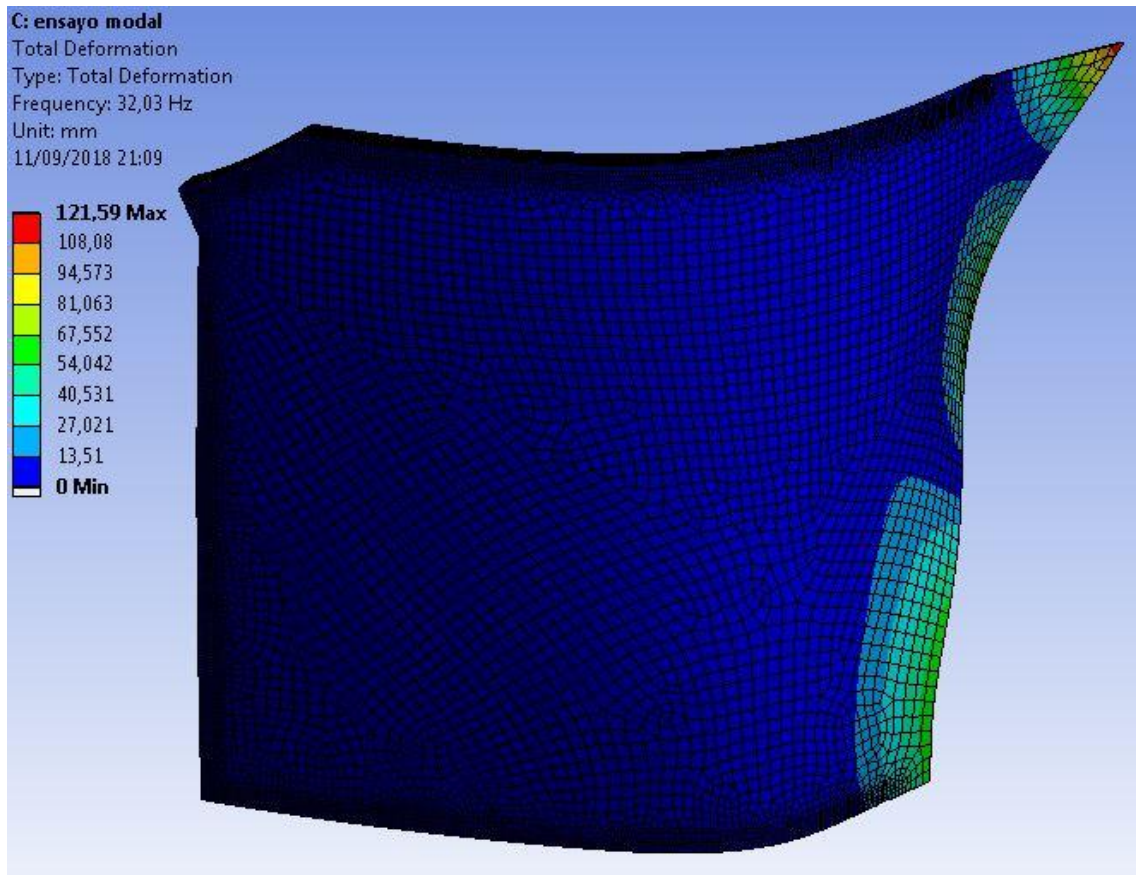
*Ilustración 89. Ensayo 1-Presión-Deformación. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 90. Ensayo Modal-Frec.1. Fte: elaboración propia*

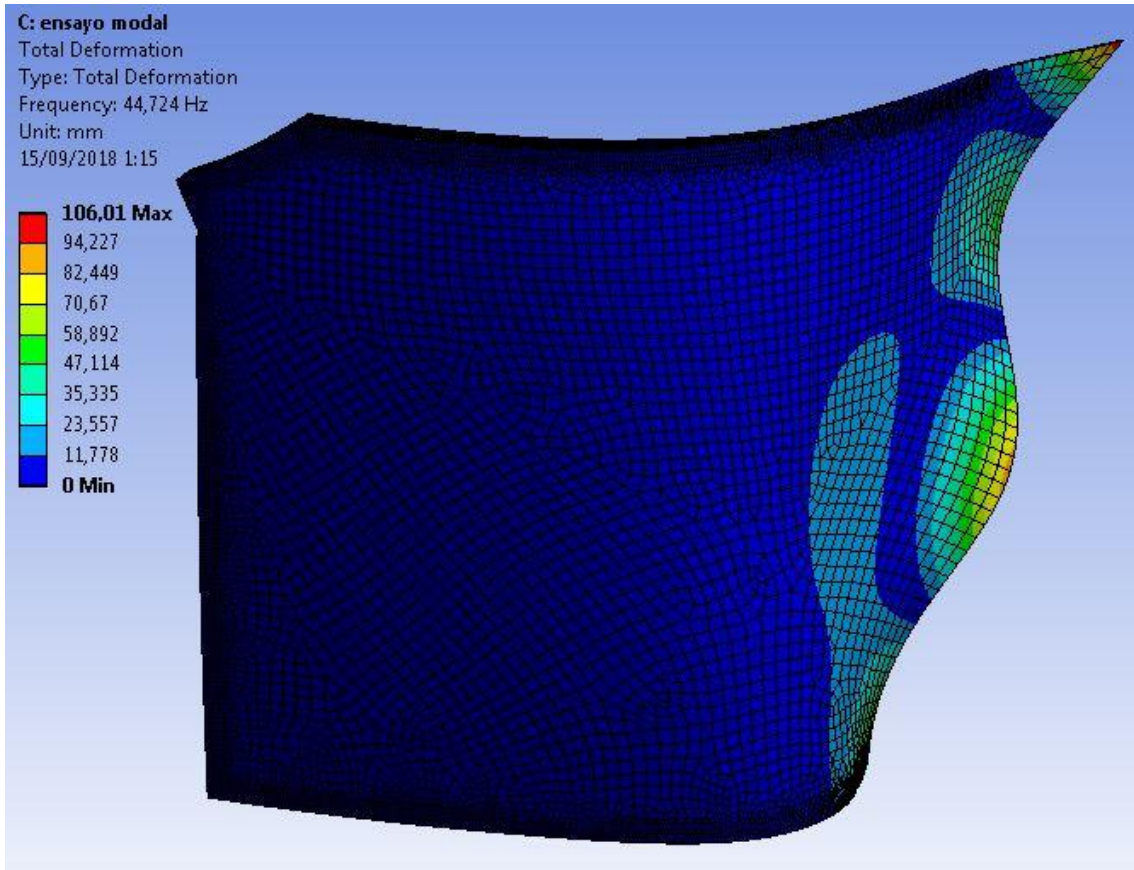


*Ilustración 91. Ensayo Modal-Frec.2. Fte: elaboración propia*

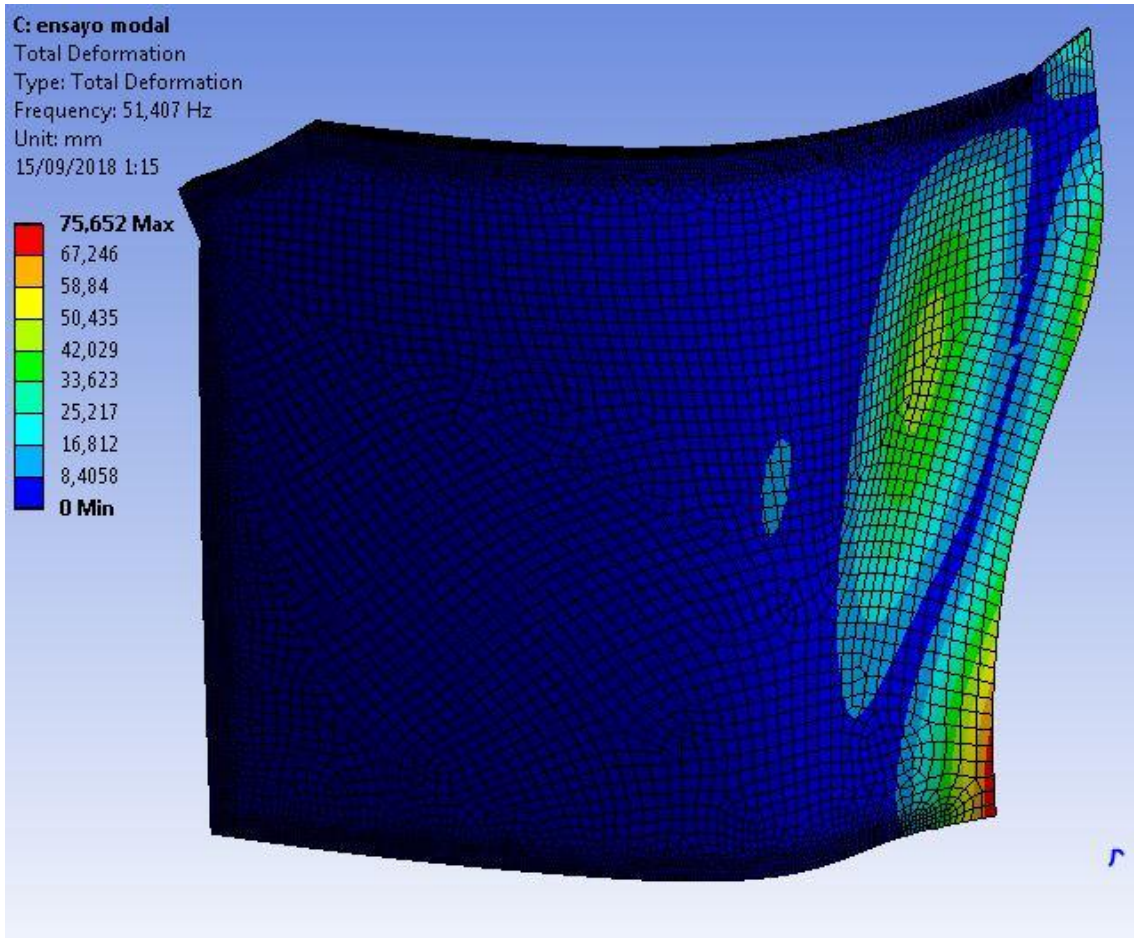


*Ilustración 92. Ensayo Modal-Frec.3. Fte: elaboración propia*

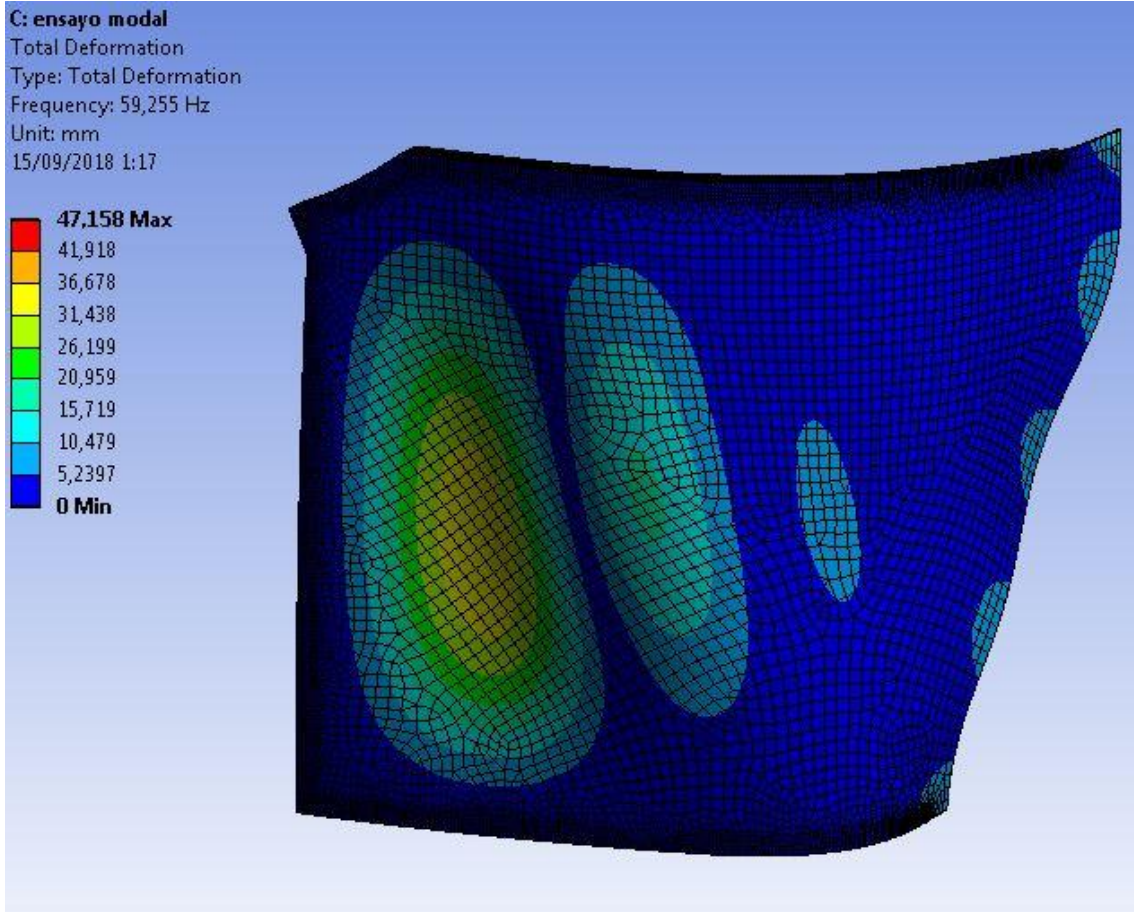




*Ilustración 93. Ensayo Modal-Frec.4. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 94. Ensayo Modal-Frec.5. Fte: elaboración propia*



*Ilustración 95. Ensayo Modal-Frec.6. Fte: elaboración propia*



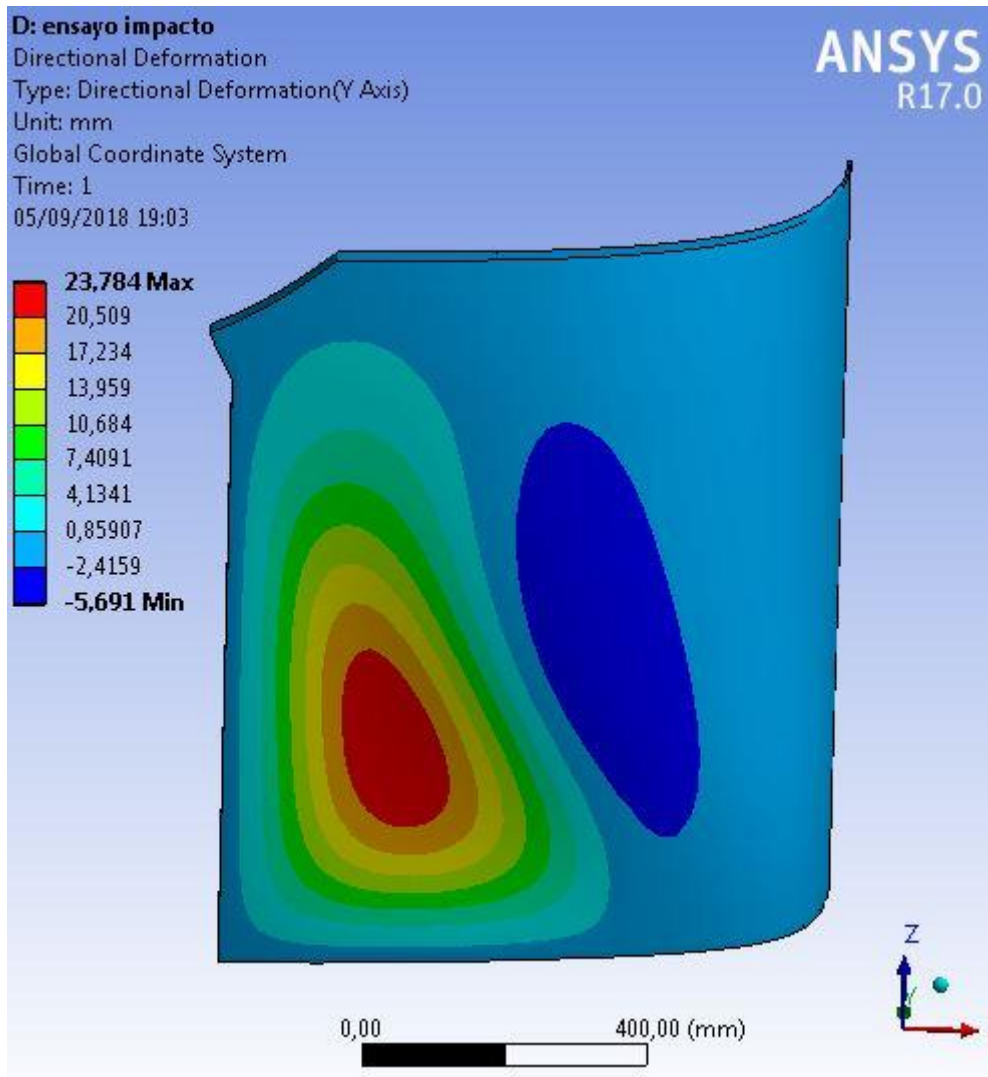
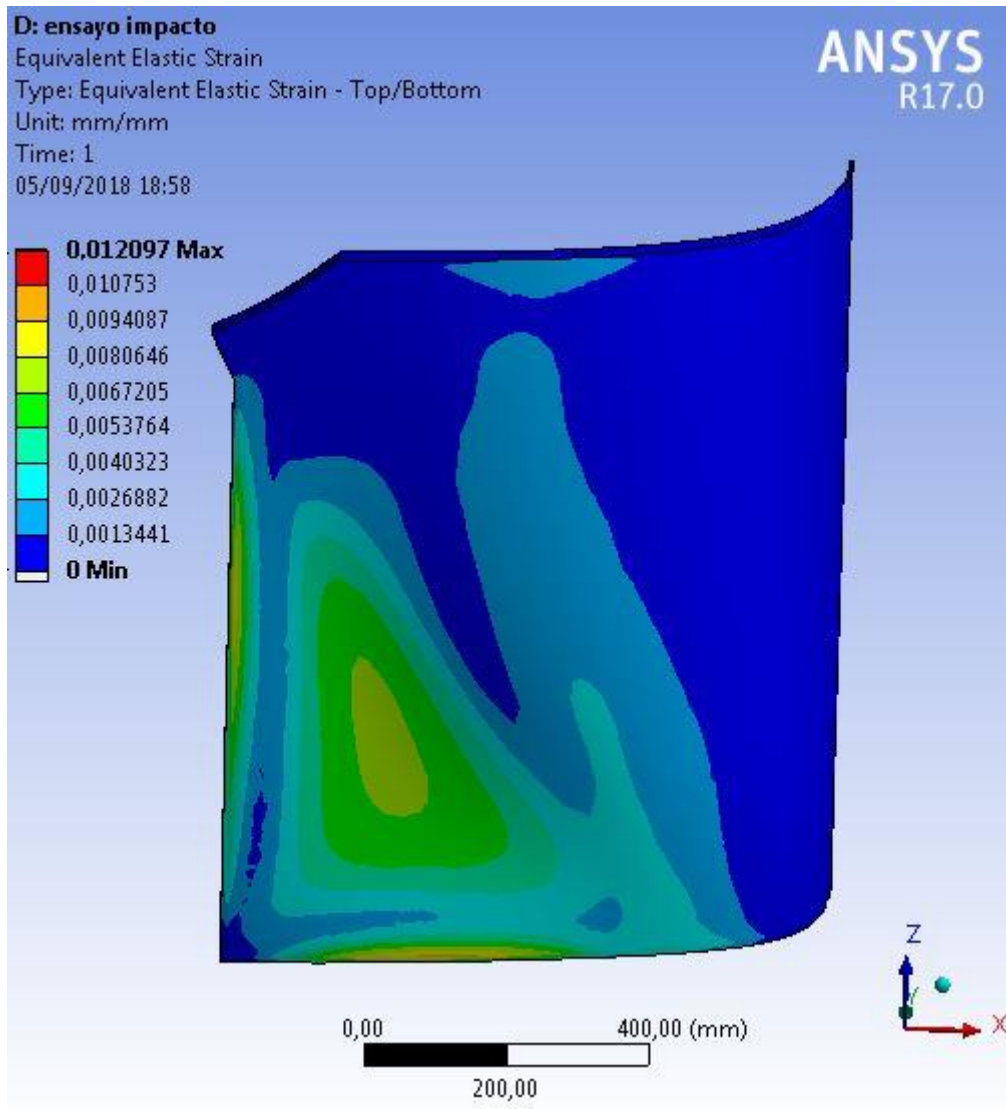


Ilustración 96. Impacto-Deformación. Fte: elaboración propia



*Ilustración 97. Impacto-Deformación unitaria. Fte: elaboración propia*

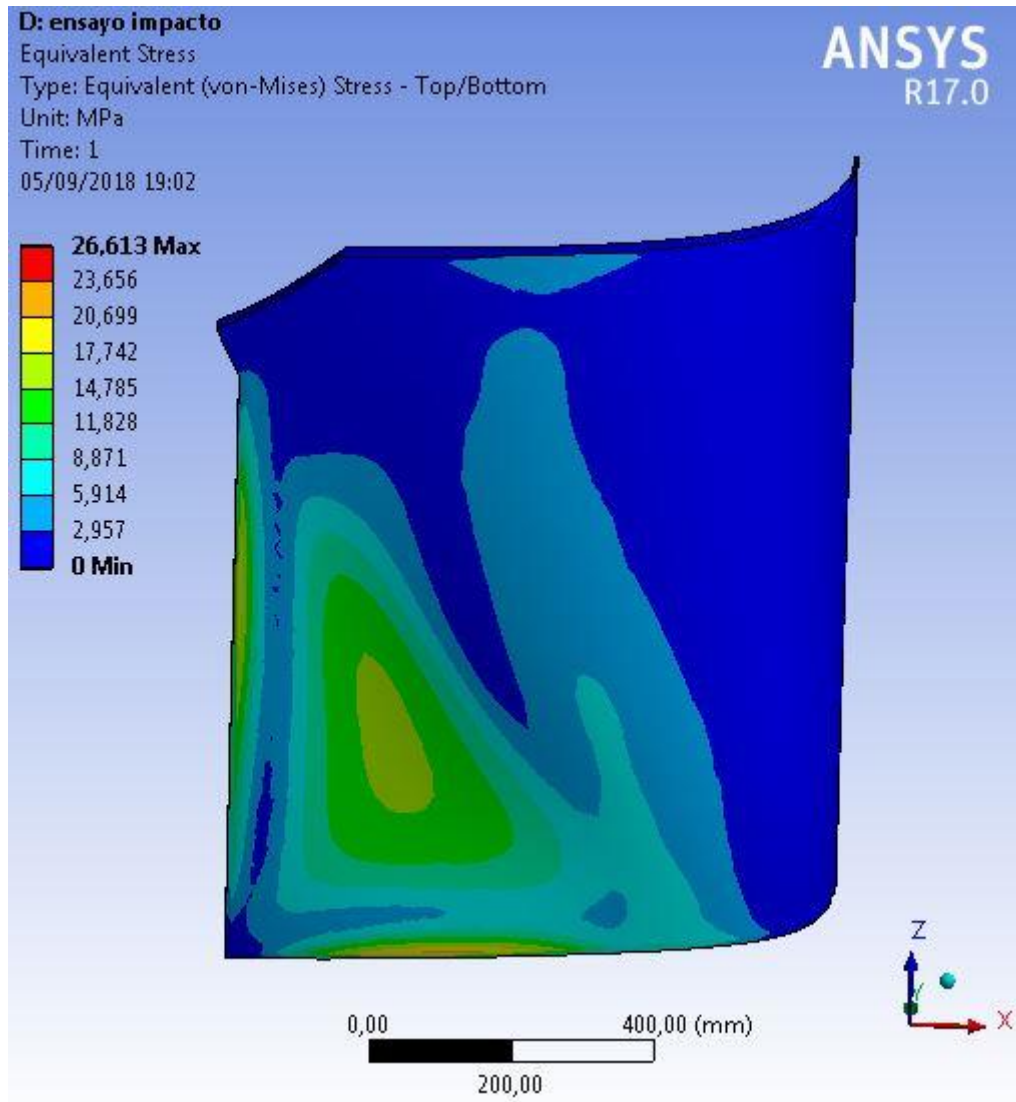


Ilustración 98. Impacto-Tensión. Fte: elaboración propia



# ANEXO III: Diagrama de Gantt

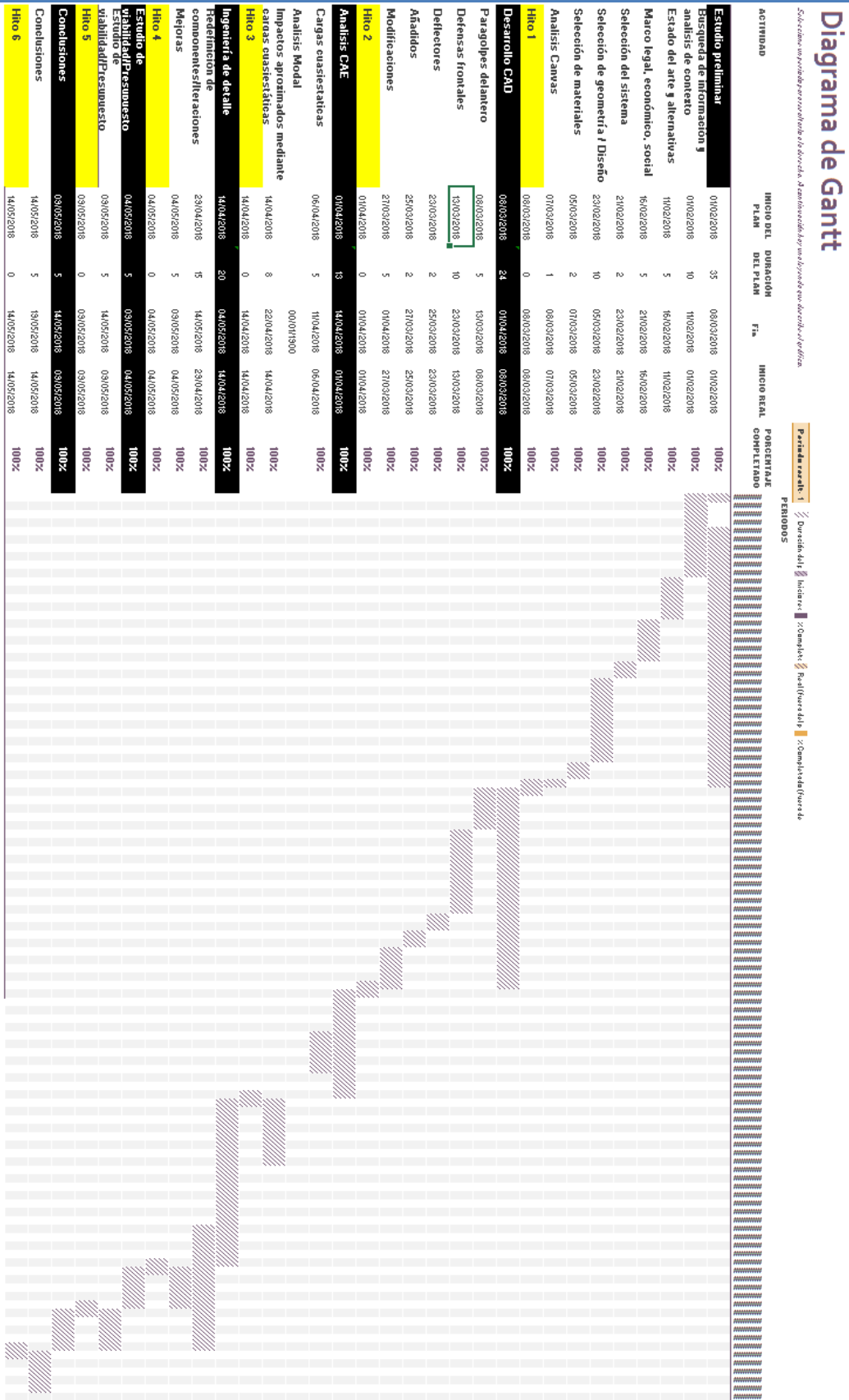


Ilustración 99. Diagrama de Gantt. Fte: elaboración propia



## ANEXO IV: Ficha técnica

Basell - Hifax X M2 U16 - Compounded Polyolefin

Página 1 de 2



### Hifax X M2 U16

#### Compounded Polyolefin

##### Product Description

Hifax X M2 U16 is a 20% mineral filled, polypropylene grade for injection molding. The grade features very high stiffness and good scratch resistance. The grade has good UV resistance designed for outdoor applications. Typical customer applications are cowl vent grills. The grade is available in coloured, pellet form.

##### Product Characteristics

<b>Status</b>	Commercial: Active
<b>Test Method used</b>	ISO
<b>Availability</b>	Europe, Asia-Pacific, Africa-Middle East, Latin America
<b>Features</b>	Homopolymer
<b>Typical Customer Applications</b>	Exterior Applications

Typical Properties	Method	Value Unit
<b>Physical</b>		
Density	ISO 1183	1.05 g/cm <sup>3</sup>
Melt flow rate (MFR) (230°C/2.16Kg)	ISO 1133	12 g/10 min
Melt volume flow rate (230°C/2.16Kg)	ISO 1133	14.0 cm <sup>3</sup> /10min
<b>Mechanical</b>		
Tensile Modulus (Secant)	ISO 527-1, -2	2750 MPa
Tensile Stress at Break (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	26.0 MPa
Tensile Stress at Yield (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	32.0 MPa
Tensile Strain at Break (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	17 %
Tensile Strain at Yield (50 mm/min)	ISO 527-1, -2	4.0 %
Flexural modulus (Secant)	ISO 178	2900 MPa
<b>Impact</b>		
Charpy unnotched impact strength (23 °C, Type 1, Edgewise)	ISO 179	34.0 kJ/m <sup>2</sup>
Charpy notched impact strength (23 °C, Type 1, Edgewise, Notch A, Complete Break)	ISO 179	3.00 kJ/m <sup>2</sup>
<b>Hardness</b>		
Ball indentation hardness (H 358/30)	ISO 2039-1	71.0 MPa
<b>Thermal</b>		
Heat deflection temperature B (0.45 MPa) Unannealed	ISO 75B-1, -2	120 °C
Heat deflection temperature A (1.80 MPa) Unannealed	ISO 75A-1, -2	66.0 °C

##### Notes

Typical properties; not to be construed as specifications.

Copyright 2009 Basell Service Company B.V. All rights reserved.

For the contact details of the LyondellBasell company selling this product in your country, please visit

<http://www.basell.com/portal/binary/com.vignette.vps.basell.productgrade.ProductGr...> 06/05/2009

Ilustración 100. Propiedades Hifax X M2 U16. Fte: Lyondellbasell