

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**“Diseño, análisis y optimización de un capó aerodinámico ligero
de un coche con material compuesto”**

Autor:

D. Andreu Carbó Tur

Dirigido por:

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Dr. Néstor Montañés Muñoz

Septiembre 2017

RESUMEN

“Diseño, análisis y optimización de un capó aerodinámico ligero de un coche con material compuesto”

El proyecto se centra en el estudio y la fabricación con materiales compuestos del capó de un Seat Leon II. El propósito del proyecto es fabricar un capó más ligero y con mejores prestaciones que el original.

Para ello se diseñará el capó con el programa SolidWorks y se realizarán distintos tipos de cálculos con diversos materiales compuestos, para ver con cuál de ellos se obtienen mejores resultados, y así proceder a su fabricación.

SUMMARY

“Design, analysis and optimization of a light aerodynamic hood of a car with composite material”

The project focuses on composite study and fabrication of the hood of a Seat Leon II. The purpose of the project is to manufacture a lighter hood and better performance than the original.

For this purpose the hood will be designed with the SolidWorks program and different types of calculations will be carried out with different composite materials, to see which of them obtains better results, and to proceed to its manufacture.

RESUM

“Disseny, anàlisi y optimització d’un capó aerodinàmic lleuger de un cotxe amb material compost”

El projecte es centra en el estudi i l fabricació amb materials compostos del capó d'un Seat Leon II. El propòsit del projecte es fabricar un capó mes lleuger i amb millors prestacions que l'original.

Per a realitzar-lo es dissenyarà el capó amb el programa SolidWorks i es realitzaran distints tipus de càlculs amb diversos material composts, per a veure amb quin d'ells s'obtenen millors resultats, i així procedir a la seua fabricació.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	13
LISTADO DE FIGURAS	15
LISTADO DE TABLAS.....	17
I. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	19
II. INTRODUCCIÓN.....	23
II.1. MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL.....	25
II.1.1. Materiales compuestos en la fabricación en serie de vehículos	30
II.2. MATERIALES COMPUESTOS	42
II.2.1. La matriz	42
II.2.2. El refuerzo.....	43
II.2.3. Fibra de vidrio	44
II.2.3.1 Tipos de fibra de vidrio	44
II.2.3.2 Proceso de elaboración de la fibra de vidrio.....	45
II.2.3.3 Formas de la fibra de vidrio	46
II.2.4. Fibra de carbono.....	48
II.2.4.1 Formas de la fibra de carbono	51
II.2.4.1.1 Propiedades.....	51
II.2.4.1.2. Los materiales del precursor	52
II.2.4.1.3. La temperatura de tratamiento térmico final.....	53

II.3. TIPOS DE MOLDEO	54
II.3.1. Procesos de molde abierto	54
II.3.1.1. Moldeo por contacto manual (<i>Hand lay-up</i>)	54
II.3.1.2. Moldeo por vacío.....	55
II.3.1.3. Autoclave.....	56
II.3.1.4. Moldeo por infusión.....	57
II.3.1.5. Moldeo por proyección.....	58
II.3.1.6. Moldeo por bobinado (<i>Filamentwinding</i>)	58
II.3.1.7. Moldeado por centrifugación	59
II.3.2 Procesos de molde cerrado	60
II.3.2.1. Pultrusión.....	60
II.3.2.2. Moldeo de prensado en frío	60
II.3.2.3. Compresión en caliente.....	61
II.3.2.4. Moldeo por inyección (<i>Resin Transfer Moulding</i>)	62
II.3.2.5. Moldeo por inyección en vacío (<i>Vacuum Assisted Resine Transfer Moulding</i>).....	63

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.1. DISEÑO DEL CAPÓ EN SOLIDWORKS.....	67
--	-----------

III.2. ESTUDIO DE SIMULCIÓN DE FLUJOS (FLOW SIMULTION)	
---	--

.....	69
-------	-----------

III.3. CÁLCULOS	75
------------------------------	-----------

III.3.1 Constantes Fibra de Carbono.....	77
--	----

III.3.1.1 Constantes elásticas FC al 70%	77
--	----

III.3.1.2 Constantes resistentes FC al 70%	79
--	----

III.3.1.3 Constantes elásticas FC al 65%	81
--	----

III.3.1.4 Constantes resistentes FC al 65%	83
--	----

III.3.2 Constantes Fibra de Vidrio	85
--	----

III.3.2.1 Constantes elásticas FV al 55%	85
III.3.2.2 Constantes resistentes FV al 55%	87
III.3.2.3 Constantes elásticas FV al 50%	88
III.3.2.4 Constantes resistentes FV al 50%	91
III.4. ESTUDIO DE MATERIALES	93
III.4.1 Espesor de las capas	101
III.4.2 Número de capas.....	101
III.4.3 Ángulos de las capas.....	101
III.4.4. Resultados con diferentes ángulos.....	102
III.4.5. Resultados sobre el eje Z (viento en el eje de circulación)	103
III.4.5.1. Capas con el mismo tipo de material	104
III.4.5.2. Capas con distinto tipo de material	109
III.4.6. Resultados sobre el eje X (viento cruzado)	111
III.5. CONCLUSIONES	117
IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ.....	119
IV.1. PROCESO DE FABRICACIÓN	121
IV.1.1.Fabricación del molde.....	122
IV.1.2. Fabricación del capó con materiales compuestos.	134
IV.2. COMPARCIÓN DEL CAPÓ ORIGINAL CON EL DE MATERIALES COMPUESTOS	141
IV.3. ESTUDIO ECONÓMICO	142
IV.3.1 Coste fabricación del capó.....	142
V. APÉNDICES	145
V.1. REFERENCIAS	147
V.1.1 Referencias de internet.....	147

V.1.2 Referencias de libros	148
V.2. PLANOS ACOTADOS	149

ABREVIATURAS

E	Módulo de elasticidad
FC	Fibra de carbono
FV	Fibra de vidrio
G	Módulo de cortadura
RTM	Resine Transfer Moulding
S	Tensión de rotura a cortadura
V	Fracción en volumen de fibras
ν	Módulo de Poisson
VARTM	Vacum Assisted Resine Transfer Moulding
X	Tensión de rotura
ρ	Densidad

Subíndices

c	Compresión
fc	Fibra de carbono
fv	Fibra de vidrio
L	Longitudinal
LT	Longitudinal-Transversal (xy)

m	matriz
T	Transversal
TT	Transversal-Transversal (yz)
t	Tracción

LISTADO DE IMAGENES

ImagenII.1. Gráfico de emisiones de CO2 en España por sectores.	27
ImagenII.2.Incremento estimado del uso de materiales reforzados con fibra de carbono por sectores.....	29
ImagenII.3.BMW M6.....	31
ImagenII.4.Techo fibra de carbono BMW M6.	31
ImagenII.5. Chasis BMW serie 7.....	32
ImagenII.6. Detalle fibra de carbono en el chasis del BMW serie 7.....	33
ImagenII.7. Llantas fibra de carbono del Shelby Mustang GT350R.....	34
ImagenII.8. Comparación del muelle fabricado con GFRP con el muelle de acero convencional.	35
ImagenII.9.Muelles de GFRD en el Audi A6 Avant.	36
ImagenII.10. Ballestas de GFRP en una suspensión trasera.	37
ImagenII.11. BMW i3.	38
ImagenII.12. Habitáculo de fibra de carbono del BMW i3.	39
ImagenII.13. Forma molecular del grafeno.....	40
ImagenII.14. GTA Spano.	41
ImagenII.15. Proceso de elaboración de la fibra de vidrio.	45
ImagenII.16. Hilo cortado (fibra larga).....	46
ImagenII.17. Hilo cortado (fibra corta).....	46
ImagenII.18. Roving.....	47
ImagenII.19. Fibra molida	47
ImagenII.20. Mat de hilos cortados.....	47
ImagenII.21. Mat filamento continuo.	47

ImagenII.22. Tejido.....	48
ImagenII.23. Velo de superficie.....	48
ImagenII.24. Bombilla con filamento de carbono.	49
ImagenII.25. McLaren MP4/1.	50
ImagenII.26. Monocasco de fibra de carbono del MP4/1.....	50
ImagenII.27. Moldeo por contacto manual.....	55
ImagenII.28. Moldeo por vacío.....	55
ImagenII.29. Moldeo por Autoclave.....	56
ImagenII.30. Moldeo por infusión.	57
ImagenII.31. Moldeo por proyección.	58
ImagenII.32. Moldeo por bobinado.	59
ImagenII.33. Moldeo por pultrusión.	60
ImagenII.34. Moldeo por prensado en frío.....	61
ImagenII.35. Moldeo por compresión en caliente.....	62
ImagenII.36. Moldeo por RTM.	63
ImagenII.37. Moldeo por VARTM.....	63
ImagenIII.1. Presiones del aire sobre la superficie del capó.....	74
ImagenIII.1 Propiedades FC al 70%.....	98
Imagen III.2. Propiedades FC al 65%.....	98
ImagenIII.3. Propiedades FV al 55%.....	99
ImagenIII.4. Propiedades FV al 50%.....	99
Figura III.5. Posición de las capas.	101
Figura III.6. a) Capas a 0° b) Capas a 45° c) Capas a 90° d) Capas a -45°	102
Figura III.7. Capas a 0°/45°/-45°/90°	103

LISTADO DE TABLAS

Tabla II.1. Clasificación de los tipos de refuerzos de los materiales compuestos.	43
Tabla III.1. Propiedades de la fibra de carbono HM, Fibra de vidrio y resina epoxi. ...	76
Tabla IV.1. Proporción de los gramos necesarios para la mezcla del gelcoat con el octoato de cobalto y el catalizador.....	124
Tabla III.2. Precio de la fabricación del capó.....	144

I. OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVOS DEL PROYECTO

I. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es la fabricación de un capo que mejore las prestaciones que ofrece el original. Para lograrlo se siguen una serie de pasos que se detallan a continuación:

- 1) Diseño del capó en el programa SolidWorks.
- 2) Realización de un estudio de flujo, mediante el Flow Simulation del SolidWorks, para ver cómo afecta el aire sobre la superficie del capó.
- 3) Realización de todos los cálculos, mediante el método de Chamis, de la fibra de carbono, la fibra de vidrio y de la resina epoxi.
- 4) Estudio de simulación de cargas con los distintos tipos de fibras, en el propio SolidWorks, para así poder comparar los diferentes resultados obtenidos.
- 5) Fabricación del molde del capo con fibra de vidrio, utilizando el capó original del coche, y a partir de este molde la fabricación del nuevo capó combinando fibra de carbono con fibra de vidrio.

II. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

II.1. MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL

Los cambios en aspectos medioambientales, de seguridad, mecánicos, estéticos o de confort han sufrido una gran evolución en los últimos 40 años en el sector de la automoción. La idea de los vehículos de los 70 puramente mecánicos ha evolucionado a vehículos con gran conectividad, pocas emisiones y efectos estéticos innovadores, lo que supone una gran oportunidad para los nuevos materiales.

En España el uso de estos materiales compuestos se incrementó en poco más de una década de una manera considerable. A finales de los años 50 apenas había 1kg de materiales plásticos en el vehículo, y en el 1970 esta cifra subió a los 50kg. Hoy en día suponen aproximadamente el 30% del peso del vehículo.

El acero cada vez tendrá menos presencia en la industria del automóvil del futuro. Las exigencias en la reducción de emisiones y

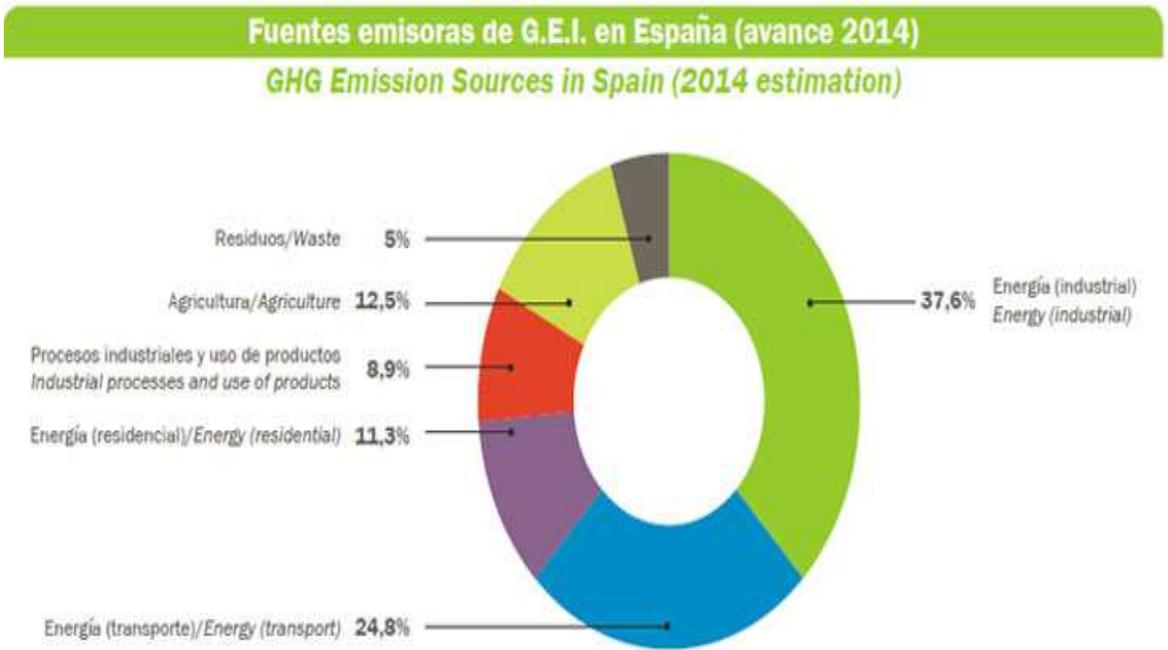
I. INTRODUCCIÓN

la seguridad están forzando a los fabricantes a incorporar, cada vez más, nuevos materiales en los automóviles.

La necesidad de una reducción de peso por la nueva normativa ambiental, mucho más exigente, y la concienciación social, ha llevado a los fabricantes de vehículos a la necesidad de aligerar el peso de estos, para mejorar el rendimiento de combustible y las emisiones contaminantes.

En España el 25% del total de las emisiones de CO₂ (principal gas de efecto invernadero) es producido por los automóviles como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.1. Gráfico de emisiones de CO₂ en España por sectores.

Entre los principales objetivos del sector automovilístico para reducir el impacto de la automoción en el medioambiente destaca:

- Cumplimiento regulación europea: fabricación de nuevos coches cuya emisión máxima sea de 130 g CO₂/km en el año 2015 y 95 g CO₂/km en el 2020.
- Relación con el consumo de fuel: el objetivo para el año 2015 es llegar a 5.6 litros/100 km de gasolina o 4.9 litros/100 km de diesel.

I. INTRODUCCIÓN

Hay algunos aspectos destacados a tener en cuenta en cuanto a una innovación en el sector de la automoción, que permitan satisfacer las necesidades de alcanzar elevados volúmenes de producción. Estos son:

- Reducción de peso.
- Reducción del coste de materia prima.
- Tiempos de ciclo cortos.
- Eficiencia del combustible.
- Reducción de emisiones.
- Cumplimiento de la normativa europea.

La reducción de peso de los vehículos contribuye al cumplimiento de estos objetivos, ya que esto permite reducir tanto el consumo de combustible, como las emisiones de gases de efecto invernadero. Un estudio de *The Material and Energy Impacts of Passenger Vehicle Weight Reduction*, determinó que una reducción del 10% en el peso del vehículo produce una mejora en el consumo del 7%.

La disminución en el peso puede desarrollarse mediante cambios en el diseño, mediante técnicas de montaje o con el uso de nuevos materiales compuestos (fibra de vidrio o de carbono). Los

I. INTRODUCCIÓN

composites suponen una gran mejora respecto a los metales utilizados actualmente, porque mantienen unas buenas propiedades mecánicas con una ligereza considerable.

Actualmente, en el sector de la automoción, el uso de los composites reforzados con fibra de carbono es relativamente bajo, pero se espera que tenga un crecimiento mucho mayor que en otros sectores. Se estima que la introducción de dichos composites reforzados con fibra experimente un crecimiento notable hasta el año 2020.



ImagenII.2. Incremento estimado del uso de materiales reforzados con fibra de carbono por sectores.

I. INTRODUCCIÓN

Este crecimiento, de los materiales compuestos reforzados con fibras, está siendo liderado por la industria automovilística que continúa centrando sus esfuerzos en la construcción de vehículos más ligeros, un uso eficiente del combustible y menores emisiones. Algunos ejemplos relevantes de aplicación de los composites en el sector de la automoción están llegando ya al mercado.

Hoy en día todavía hay pocos vehículos comerciales que utilizan estos materiales en su estructura, pero poco a poco se van implantando más. Primero empezaron con piezas concretas del vehículo (capo, techo...), con una evolución destinada a poder fabricar la carrocería entera con estos nuevos materiales.

II.1.1. Materiales compuestos en la fabricación en serie de vehículos

BMW fue uno de los primeros en incorporar este tipo de materiales a sus modelos. Empezó con una serie limitada en 2003 del BMW M3 CLS con el techo de fibra de carbono, pero fue en 2005 cuando comenzó la producción en serie de un modelo con este tipo de techo. Este vehículo era el BMW M6. Este diseño, aparte de reducir el peso del vehículo, contribuía a bajar el centro de gravedad

I. INTRODUCCIÓN

de este, con lo que le proporcionaba una mejor estabilidad en carretera.



ImagenII.3.BMW M6.



ImagenII.4.Techo fibra de carbono BMW M6.

I. INTRODUCCIÓN

Otro paso en la evolución del uso de estos materiales es la nueva generación de la serie 7 de BMW, que ha conseguido reducir 130 kg respecto al modelo anterior fabricando un chasis de acero, aluminio y fibra de carbono. Esta perfecta cohesión entre los materiales ha conseguido también una estructura mucho más rígida y resistente a fuerzas torsionales y de flexión.



ImagenII.5. Chasis BMW serie 7.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.6. Detalle fibra de carbono en el chasis del BMW serie 7.

Otra marca que ha innovado en la fabricación con fibra de carbono ha sido Ford, que en su nuevo modelo ShelbyMustang GT350R ha sustituido las llantas de aluminio por llantas de carbono.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.7. Llantas fibra de carbono del Shelby Mustang GT350R.

Estas llantas no solo han reducido entre 6 y 7 kg el peso, sino que han conseguido que las prestaciones mejoren; su agilidad, su capacidad para acelerar y frenar, al reducirse la inercia rotacional, y su capacidad para lidiar con terrenos con irregularidades. En tests realizados también mostraron tener mayor rigidez, ya que aguantaban impactos contra bordillos en los que las llantas de aluminio rompían.

I. INTRODUCCIÓN

Audi también se ha propuesto revolucionar el sector sustituyendo los muelles de acero de la suspensión, por muelles fabricados en polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP).



ImagenII.8. Comparación del muelle fabricado con GFRP con el muelle de acero convencional.

I. INTRODUCCIÓN

Empezó su uso en algunas unidades del Audi R8, pero se ha propuesto sacarlos de serie en el Audi A6 Ultra. Espera en el futuro poder sustituirlas en todos sus modelos, ya que fabrica aproximadamente 34 millones de unidades al año.

Audi A6 Avant ultra



ImagenII.9.Muelles de GFRD en el Audi A6 Avant.

I. INTRODUCCIÓN

Otras marcas que se han propuesto utilizar el GFRP para elementos de la suspensión son Volvo y Peugeot. Han diseñado unas ballestas con este tipo de material para implantar de serie en sus modelos.



ImagenII.10. Ballestas de GFRP en una suspensión trasera.

I. INTRODUCCIÓN

Pero con una visión del futuro donde los vehículos eléctricos coparan el mercado surgirá otro problema, el peso añadido de las baterías.

Los nuevos coches eléctricos ya no usan las baterías convencionales, con un peso de aproximado de 20 kg, sino baterías de iones de litio con un peso de 8 kg. Pero, aun así, la necesidad de montar un alto número de baterías hace que aumente considerablemente el peso final de vehículo.

Para compensar este peso, BMW ha sacado un modelo con la carrocería fabricada íntegramente en carbono, el BMW i3 eléctrico [Imagen II.11.].



ImagenII.11. BMW i3.

I. INTRODUCCIÓN

Este vehículo tiene la estructura del habitáculo de los pasajeros fabricado con plásticos reforzados con fibra de carbono (CFRP) como se puede ver en la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#) Esto supone una gran reducción de peso en el conjunto del vehículo, ya que reduce éste entre un 75-80% respecto al acero, o en un 30-40% respecto del aluminio. Con este tipo de fabricación han podido compensar el peso que suponen las baterías.

Este diseño no solo ha servido para la reducción del peso, sino que gracias a su alto módulo elástico proporciona una mayor seguridad de los pasajeros en caso de colisión.

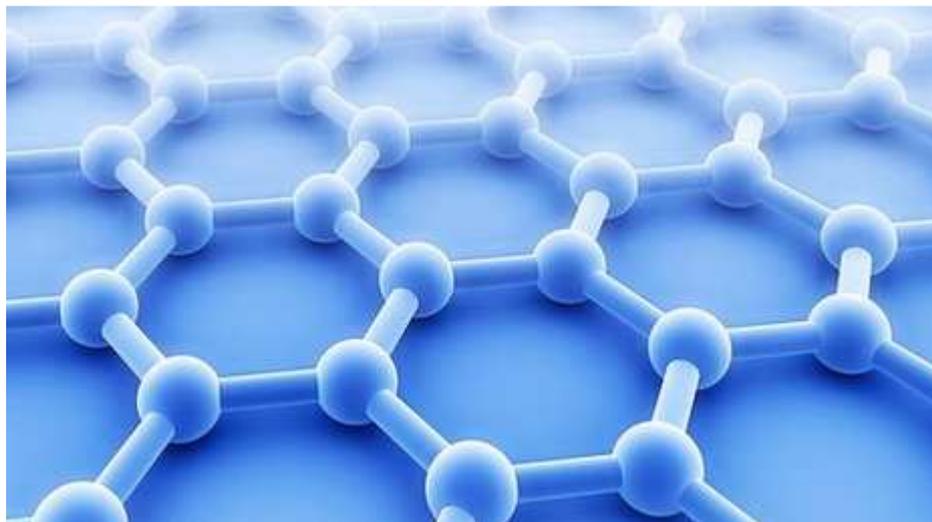


ImagenII.12. Habitáculo de fibra de carbono del BMW i3.

I. INTRODUCCIÓN

En el sector de la automoción el material compuesto por excelencia es la fibra de carbono por poseer unas características excelentes. Pero otro material derivado de éste mejorará con creces el futuro de los materiales compuestos. Se trata del grafeno.

El grafeno es un elemento que se obtiene a partir del carbono, agrupando las partículas de carbono en láminas de dos dimensiones y celdas hexagonales como se puede ver en la imagen II.13.



ImagenII.13. Forma molecular del grafeno.

I. INTRODUCCIÓN

Una empresa española, Spania GTA, ha empezado a introducir el grafeno en la construcción de su deportivo, el GTA Spano.



ImagenII.14. GTA Spano.

Han conseguido un chasis monocasco de solo 80 Kg, combinando fibra de carbono, kevlar, titanio y grafeno.

También han empleado grafeno en la composición de sus baterías reduciendo el peso de estas hasta los 2 kg.

En el presente TFG se pretende rediseñar el capó de un vehículo fabricándolo con las fibras más utilizadas en el sector de la automoción, la fibra de carbono y la fibra de vidrio. La fibra de carbono aporta muchas ventajas respecto al acero, como la ligereza o la resistencia, mientras que la fibra de vidrio permitirá reducir costes.

II.2. MATERIALES COMPUESTOS

Actualmente el uso de materiales compuestos es cada vez mayor, puesto que ofrecen mejores propiedades para la demanda de los productos de hoy en día.

Los materiales compuestos o composites, surgen de la unión de dos o más materiales que al combinarse entre sí, proporcionan unas propiedades mejores a las que nos ofrecen por separado.

Estos materiales han de estar formados principalmente por dos componentes: la matriz y el refuerzo. A estos dos componentes también se les pueden añadir diferentes aditivos que mejoren alguna característica específica.

II.2.1. La matriz

Es la encargada de cohesionar las fibras y aportar las propiedades tanto físicas como químicas. Se clasifica en tres tipos:

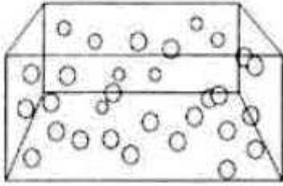
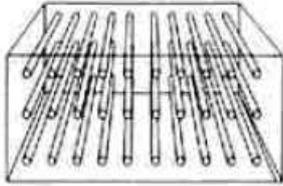
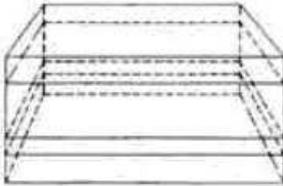
I. INTRODUCCIÓN

- Materiales compuestos de matriz metálica (MMC).
- Materiales compuestos matriz cerámica (CMC).
- Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC).

II.2.2. El refuerzo

Es el encargado de aportar la rigidez y la resistencia mecánica al compuesto. Los refuerzos se pueden clasificar según se muestra en la tabla 1:

Tabla II.1. Clasificación de los tipos de refuerzos de los materiales compuestos.

Refuerzo en partículas		Partículas grandes Consolidado por dispersión
Refuerzo con fibras		Continuas Discontinuas
Refuerzos estructurales		Laminares Paneles Sándwich

II.2.3. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio se obtiene de las materias primas necesarias para la fabricación del vidrio como son el sílice, la cal, la alúmina y la magnesita, combinadas en ocasiones de pequeñas cantidades de ciertos óxidos.

El vidrio en masa tiene una resistencia mecánica de entre 7 y 14 kg/mm², pero en forma de fibra de vidrio mejora su resistencia notablemente ya que aumenta hasta los 30 kg/mm².

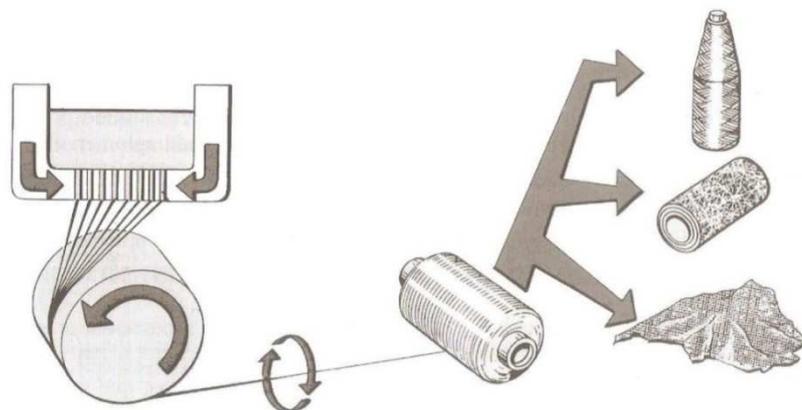
II.2.3.1 Tipos de fibra de vidrio

- Tipo E: es la más empleada en composites y presenta buenas propiedades dieléctricas.
- Tipo R: altas prestaciones mecánicas.
- Tipo D: buen poder dieléctrico.
- Tipo AE: resistencia a los alcalinos.
- Tipo C: resistente a agentes químicos y a la corrosión.

I. INTRODUCCIÓN

II.2.3.2 Proceso de elaboración de la fibra de vidrio

El proceso de fabricación de la fibra de vidrio [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.] se lleva a cabo fundiendo en un horno de fusión los componentes por la que está formada esta fibra. El horno, fabricado con materiales refractarios que aguanten más de 1600°C, dispone en la parte de abajo unas hileras (2mm de espesor) que son a su vez hornos de una aleación de platino-rodio que se calientan eléctricamente. Mediante aire comprimido, la fundición sale de estos orificios formando varillas de vidrio fundido que se juntan en un haz y se enrollan a alta velocidad en un tambor. A continuación, sufren un brusco estirado y torsión que reduce su diámetro hasta unas pocas micras, formando el hilo base de fibra de vidrio con el que después se elaboran las distintas formas con la que se puede adquirir.



ImagenII.15. Proceso de elaboración de la fibra de vidrio.

I. INTRODUCCIÓN

II.2.3.3 Formas de la fibra de vidrio

Con el hilo base de fibra de vidrio, se puede elaborar las distintas formas que podemos adquirir en el mercado, las cuales se muestran a continuación:



ImagenII.16. Hilo cortado (fibra larga) **ImagenII.17.** Hilo cortado (fibra corta)

I. INTRODUCCIÓN



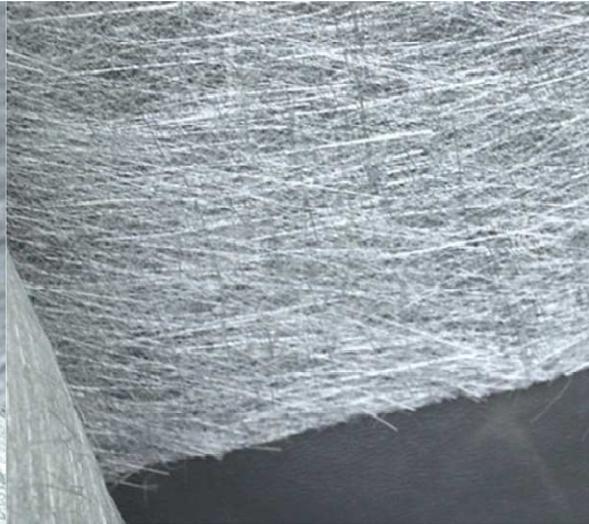
ImagenII.18. Roving



ImagenII.19. Fibra molida



ImagenII.20. Mat de hilos cortados



ImagenII.21. Mat filamento continuo.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.22. Tejido



ImagenII.23. Velo de superficie

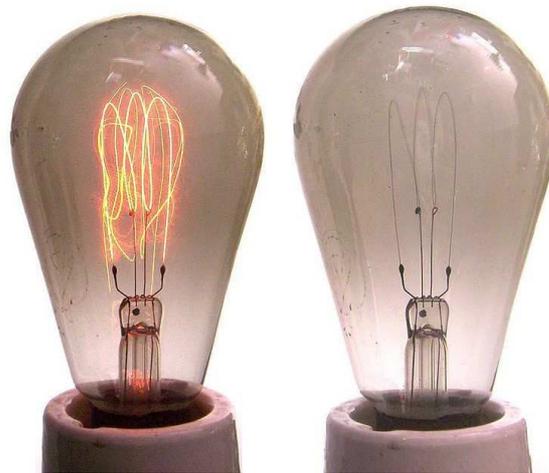
II.2.4. Fibra de carbono

La fibra de carbono (FC) está compuesta por átomos de carbono, enlazados en cristales microscópicos alineados, en forma de fibras de entre 5 y 10 μm de diámetro. Las fibras se entrelazan entre si y forman los hilos por los que están compuestas las telas de fibra de carbono, que se utilizan en la fabricación de piezas.

Los primeros filamentos de carbono fueron utilizados por Edison, en el siglo XIX, como filamentos para bombillas [Imagen II.24]. Pero estos filamentos poco tienen que ver con lo que está formada la fibra de carbono en la actualidad. Esto fue el inicio para

I. INTRODUCCIÓN

que empezara a evolucionar el estudio este material, ya que su resistencia y ligereza proporcionaba muchas posibilidades.



ImagenII.24. Bombilla con filamento de carbono.

Actualmente la fibra de carbono es uno de los materiales compuestos con mejores prestaciones.

Sus primeros usos, debido a su alto coste de fabricación, fueron en el sector de la aviación y posteriormente en la fabricación de vehículos de competición.

En la Formula 1 la primera marca en fabricar un vehículo con fibra de carbono fue McLaren. En el año 1981 salió a las pistas con el MP4/1, cuyo monocasco estaba fabricado íntegramente de fibra de carbono como apreciamos en la imagen II.26.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.25. McLaren MP4/1.



ImagenII.26. Monocasco de fibra de carbono del MP4/1.

I. INTRODUCCIÓN

Pronto se descubrió que esta fibra no solo aportaba mejoras aerodinámicas y ligereza al vehículo, sino que también proporcionaba mayor seguridad al piloto.

En el mismo año de la salida del MP4/1, en el Gran Premio de Monza, el piloto John Watson sufrió un aparatoso accidente del que salió ileso.

II.2.4.1 Formas de la fibra de carbono

La fibra de carbono puede clasificarse, de forma general, en tres campos distintos según:

- Sus propiedades.
- Los materiales del precursor.
- La temperatura de tratamiento térmicos.

II.2.4.1.1 Propiedades

Según sus propiedades la fibra de carbono se divide en los siguientes tipos:

I. INTRODUCCIÓN

- Ultra-alto módulo, tipo UHM (módulo $> 450\text{GPa}$)
- De alto módulo, tipo HM (módulo de entre $350 - 450\text{GPa}$)
- Intermedio - módulo, tipo IM (módulo de entre $200 - 350\text{GPa}$)
- Módulo bajo y de alta resistencia a la tracción, tipo HT (módulo $< 100\text{GPa}$, resistencia a la tracción $> 3.0\text{GPa}$)
- Súper alta resistencia, tipo SHT (resistencia a la tracción $> 4.5\text{GPa}$)

II.2.4.1.2. Los materiales del precursor

Según los materiales del precursor, las fibras de carbono se pueden clasificar en:

- Fibras de carbono basadas en PAN.
- Fibras de carbono a base de brea.
- Fibras de carbono basadas en brea de meso-fase (con una estructura similar a la del grafito).
- Fibras de carbono a base de brea isotrópica.
- Fibras de carbono a base de Rayón.
- Fibras de carbono cultivadas en fase gaseosa.

I. INTRODUCCIÓN

II.2.4.1.3. La temperatura de tratamiento térmico final

Según la temperatura de tratamiento térmico final se pueden clasificar en:

- Tipo I: Tratamiento de alta temperatura (HTT), donde la temperatura del tratamiento térmico final debe estar por encima de 2000 ° C y puede ser asociado con el tipo de fibra de alto módulo.
- Tipo II: Tratamiento de calor intermedio (IHT), donde la temperatura del tratamiento térmico final debe estar alrededor o por encima de 1500 ° C y puede ser asociado con el tipo de alta resistencia de la fibra.
- Tipo III: Tratamiento a baja temperatura, donde las temperaturas finales de tratamiento térmico no son superiores a 1000 ° C. Estos son de bajo módulo y materiales de baja resistencia.

II.3. TIPOS DE MOLDEO

Los procesos de fabricación con materiales compuestos utilizando moldes, pueden clasificarse dependiendo si se trata de moldes abiertos o moldes cerrados. A continuación, se detallarán los distintos tipos de moldeos que se pueden realizar en cada uno de ellos.

II.3.1. Procesos de molde abierto

II.3.1.1. Moldeo por contacto manual (Hand lay-up)

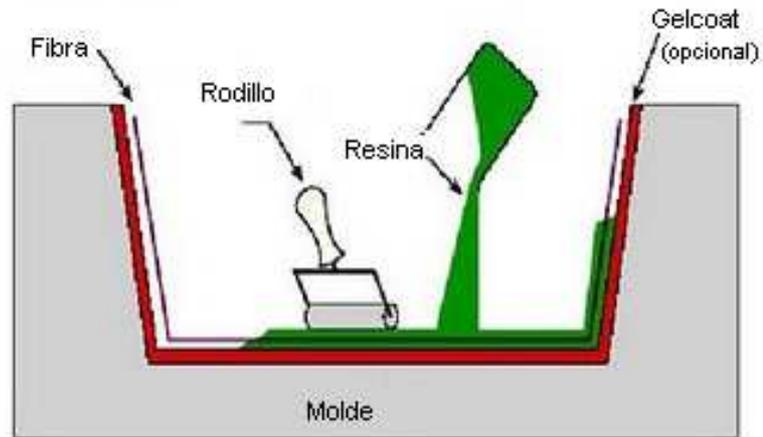
Este método consiste en la colocación de capas mezcladas con resina sobre el molde para que adquiera la forma de este, tal y como se puede apreciar en la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

Para este método se suelen utilizar fibras en forma de malla o tejido. Cada lamina que añadimos se ha de impregnar con la resina, bien con un rodillo o por vertido.

Esta resina ha de mezclarse previamente con una proporción de catalizador adecuada para que el curado sea eficiente.

Sobre el molde también se puede añadir un gelcoat que, aparte de facilitar el desmoldeo, deje un acabado más fino de la pieza.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.27. Moldeo por contacto manual.

II.3.1.2. Moldeo por vacío

Es igual que el proceso anterior pero, una vez colocadas todas las láminas de la pieza, cubrimos el conjunto con una bolsa de plástico y aplicamos una presión de vacío (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Esto permite que la pieza quede más compacta y uniforme y que no queden bolsas de aire en su interior.



ImagenII.28. Moldeo por vacío.

I. INTRODUCCIÓN

II.3.1.3. Autoclave

El proceso es como el del moldeo por vacío, pero en este caso la pieza se introduce dentro de un recipiente que aplica una alta presión y temperatura elevada para un mejor curado de la pieza.



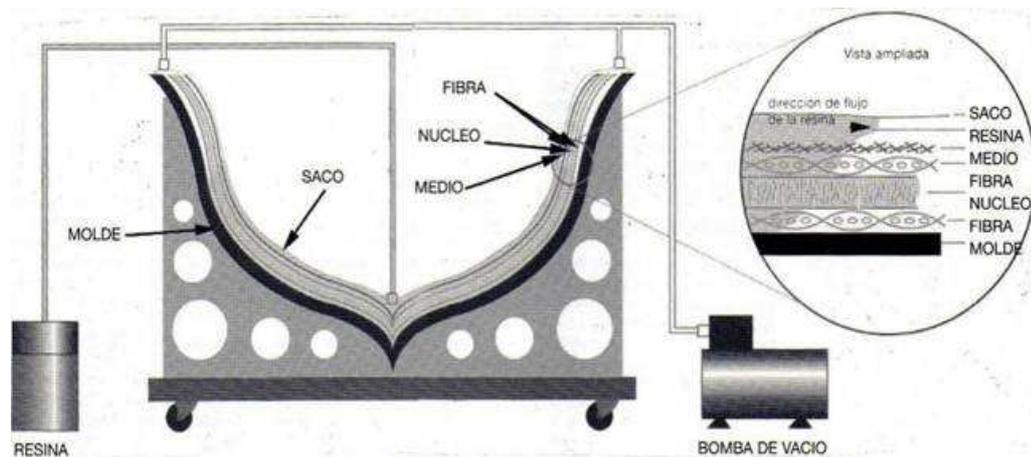
ImagenII.29. Moldeo por Autoclave.

I. INTRODUCCIÓN

II.3.1.4. Moldeo por infusión

El proceso es similar al de moldeo por vacío, pero en este caso la resina está en un recipiente y es succionada por el vacío.

El moldeo consiste en colocar sobre el molde las láminas deseadas, cubrirlo con el plástico de vacío y colocarle unos conductos que vayan al recipiente de resina. Al aplicar la presión de vacío estos conductos impregnarán de forma uniforme toda la pieza.

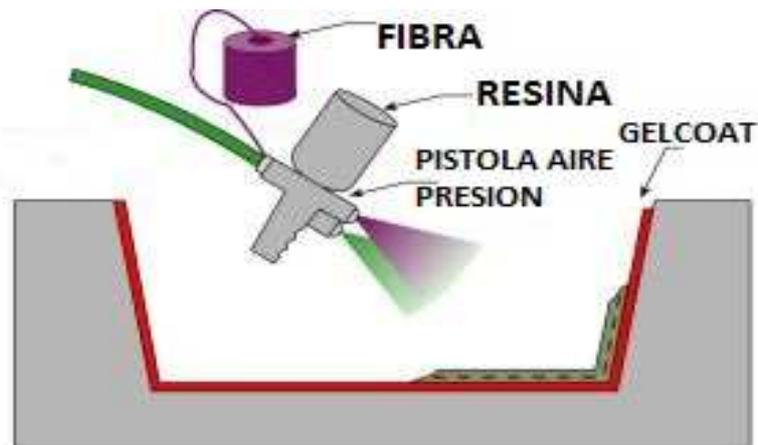


ImagenII.30. Moldeo por infusión.

I. INTRODUCCIÓN

II.3.1.5. Moldeo por proyección

Mediante una pistola a presión se proyectan a la vez hilos de fibra cortados con resina catalizada sobre el molde de la pieza.

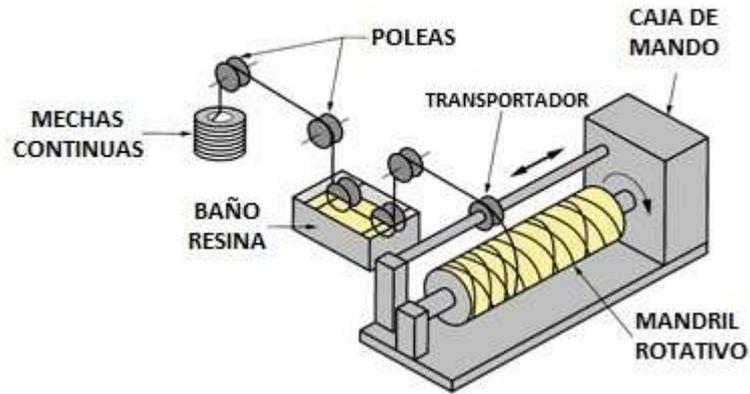


ImagenII.31. Moldeo por proyección.

II.3.1.6. Moldeo por bobinado (Filamentwinding)

Este método es utilizado para la fabricación de piezas cilíndricas. Consiste en enrollar un filamento de fibra, impregnado previamente con resina, sobre el molde. El proceso es controlado por una maquina con la que se puede configurar la velocidad, el patrón de enrollamiento de las fibras o la tensión con la que se enrolla.

I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.32. Moldeo por bobinado.

II.3.1.7. Moldeado por centrifugación

Es el mismo proceso que el moldeo anterior, pero en este caso el material es introducido en un molde que está girando, y mediante la fuerza centrífuga el material es empujado sobre las paredes.

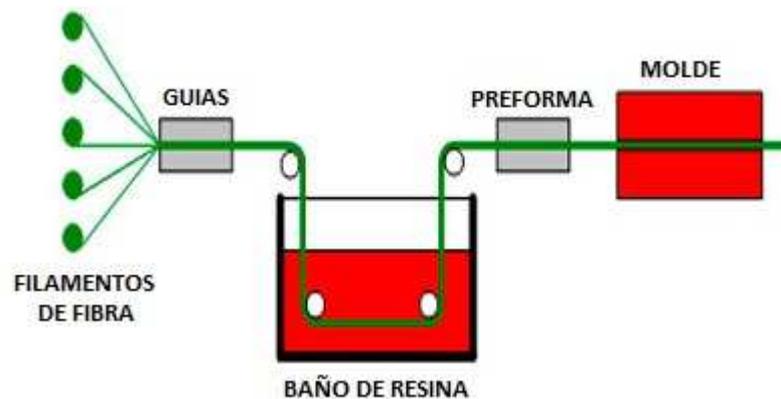
I. INTRODUCCIÓN

II.3.2 Procesos de molde cerrado

II.3.2.1. Pultrusión

Este método se utiliza para la fabricación de perfiles de forma continua.

Las fibras, suministradas de forma continua, pasan por una impregnación en resina y se introducen en el molde. Este molde al mismo tiempo aplica calor para su curado.

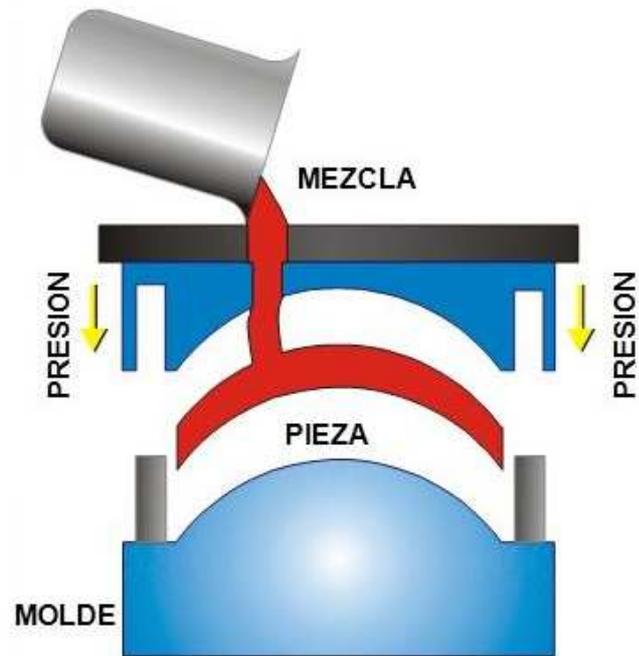


ImagenII.33. Moldeo por pultrusión.

II.3.2.2. Moldeo de prensado en frío

La mezcla de fibra y resina se introducen en un molde y este se cierra a presión. En este moldeo se trabaja a baja presión y baja temperatura.

I. INTRODUCCIÓN

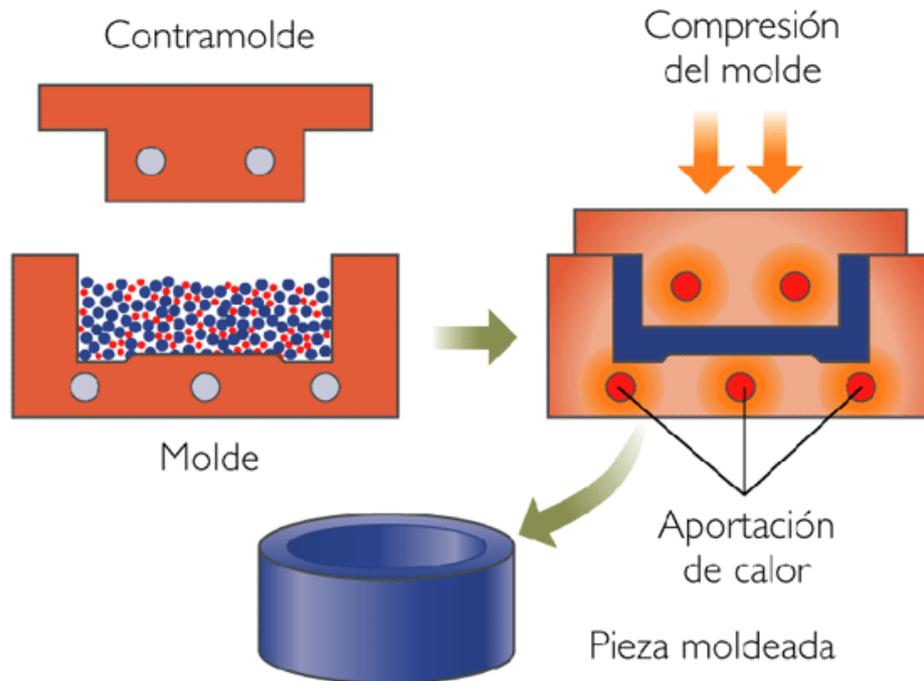


ImagenII.34. Moldeo por prensado en frío.

II.3.2.3. Compresión en caliente

Este moldeo utiliza el mismo proceso que el anterior, pero aplicando más presión y calor a todas las partes del molde, para un curado más rápido.

I. INTRODUCCIÓN

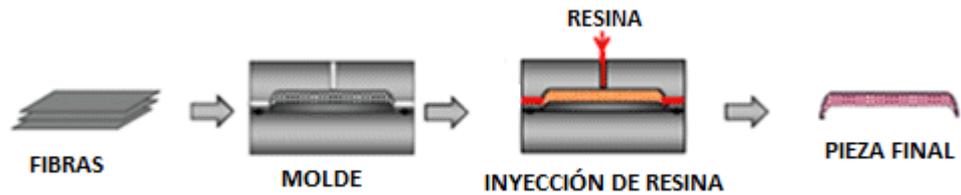


ImagenII.35. Moldeo por compresión en caliente.

II.3.2.4. Moldeo por inyección (Resin Transfer Moulding)

En el molde, formado por dos partes que se cierran dejando el hueco de la pieza, se colocan las fibras con las que se va a realizar. Una vez colocadas estas fibras se cierra el molde y la resina es inyectada a presión en este. Este moldeo es ideal para la fabricación de piezas con formas complejas.

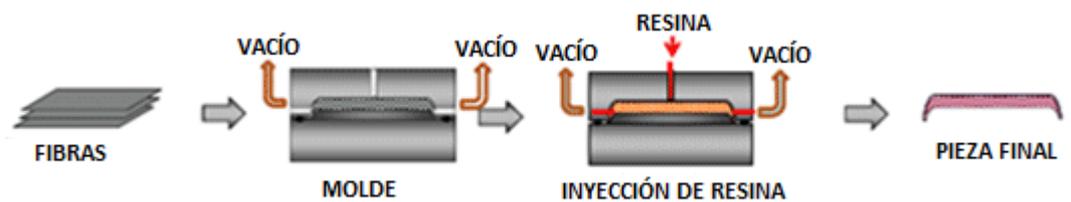
I. INTRODUCCIÓN



ImagenII.36. Moldeo por RTM.

II.3.2.5. Moldeo por inyección en vacío (VacuumAssisted Resine Transfer Moulding)

Tiene el mismo funcionamiento que el moldeo por RTM, pero en este la resina no es inyectada a presión, sino que es succionada mediante una presión de vacío.



ImagenII.37. Moldeo por VARTM.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

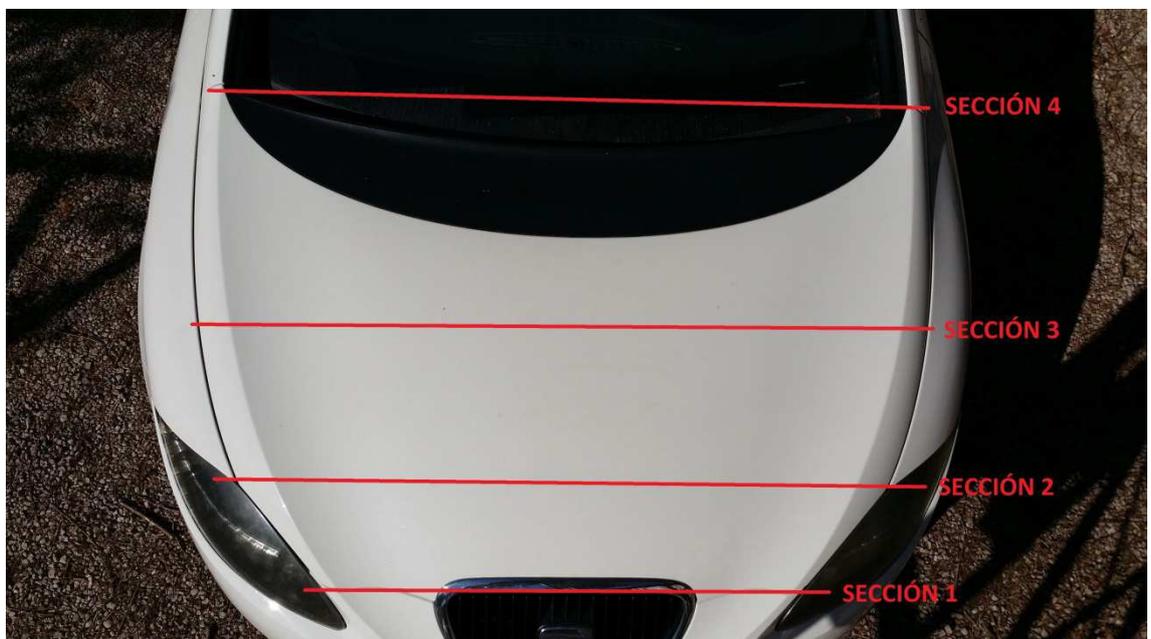
DISEÑO DEL CAPÓ

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.1. DISEÑO DEL CAPÓ EN SOLIDWORKS

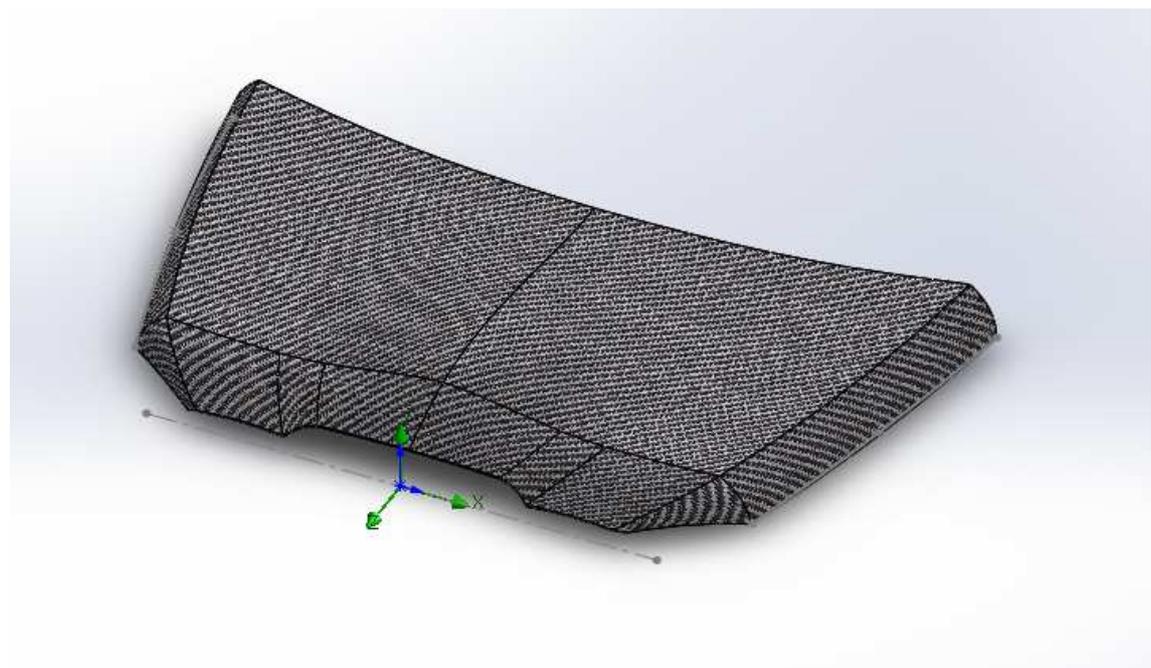
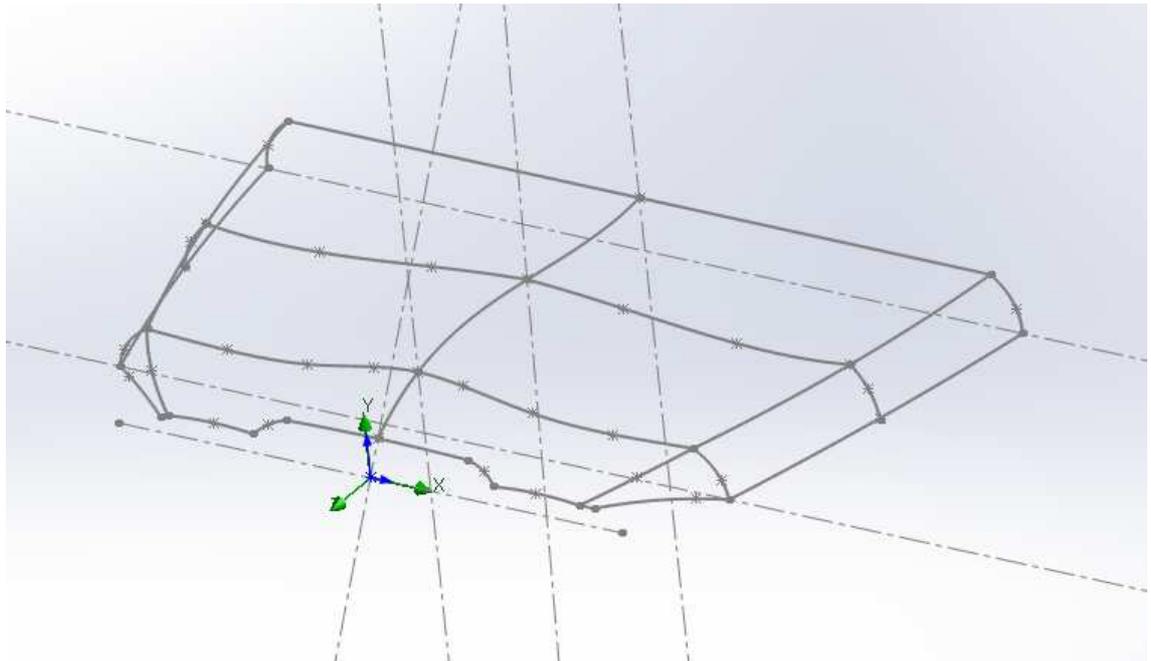
Para el dibujar el capó en el SolidWorksse utilizará la función de "*superficie limitante*". Para ello tendremos que hacer el croquis de diferentes secciones del capó, tomando como referencia los perfiles en dos direcciones.

Las secciones con las que trabajaremos el diseño son las siguientes:



III. DISEÑO DEL CAPÓ

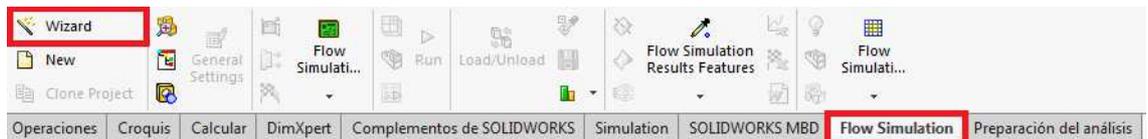
Se dibujan los croquis de los distintos perfiles para cada sección y se unen usando la función de "*superficie limitante*"



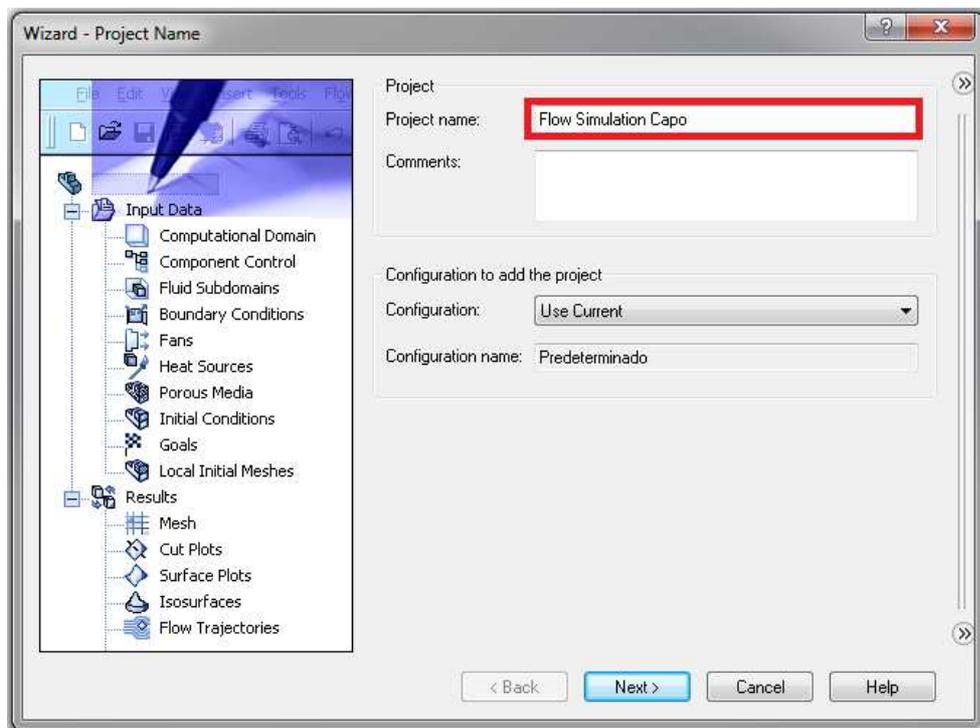
III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.2. ESTUDIO DE SIMULCIÓN DE FLUJOS (FLOW SIMULTION)

Cuando la pieza esté terminada y tenga un volumen se procede a crear el estudio de flujo.

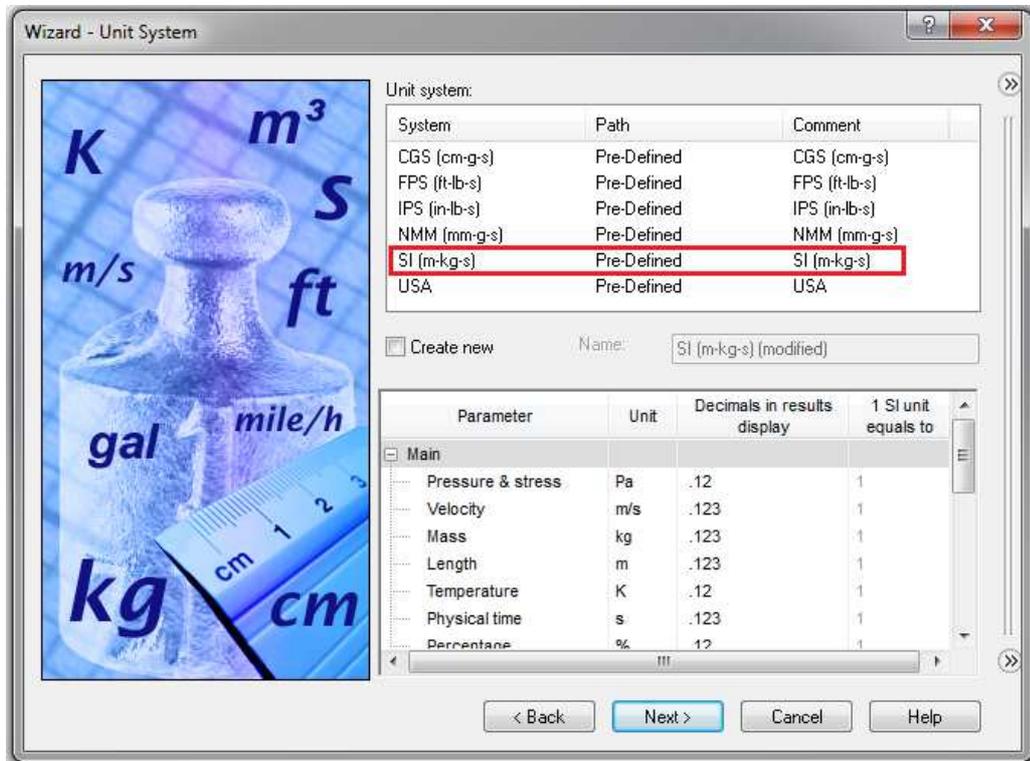


En la primera pantalla se nombra el título del estudio.



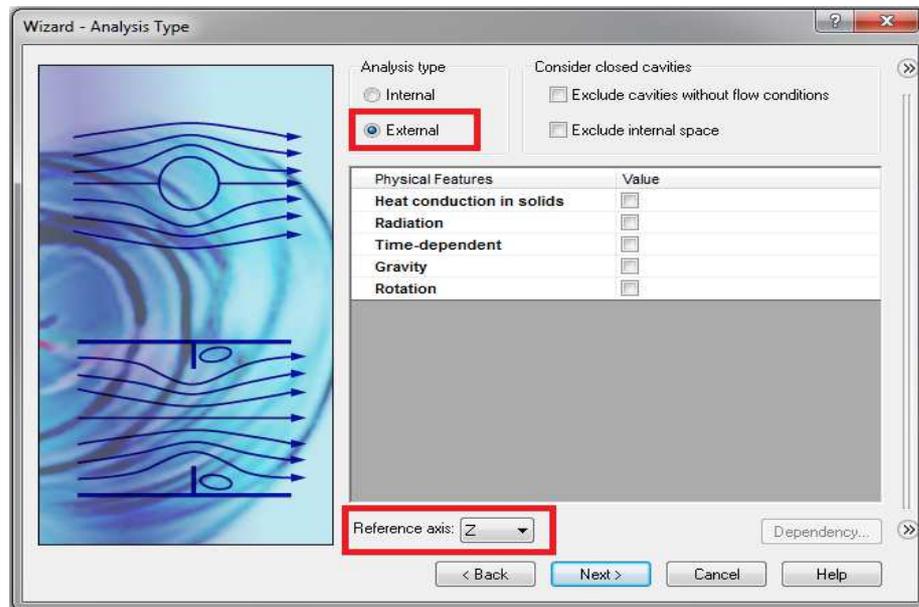
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Después se indica el sistema de unidades a utilizar.

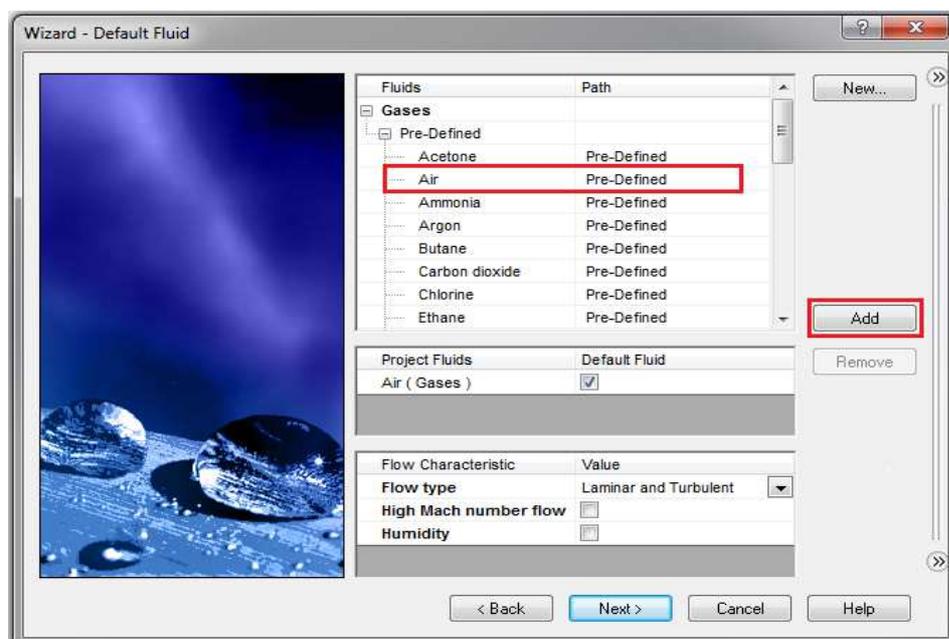


En la siguiente ha de indicarse que análisis va a ser sobre la superficie externa y la dirección del flujo. En nuestro caso, el flujo de aire ira en la dirección del eje Z.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

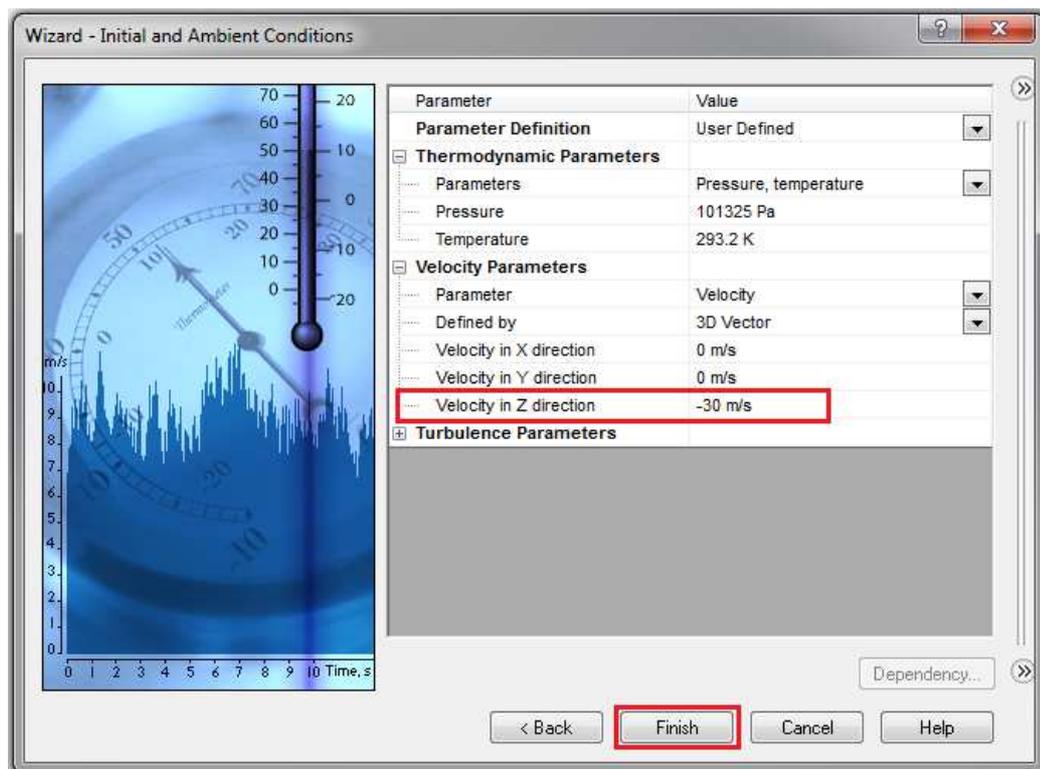


Al tratarse del capó de un vehículo, el fluido de estudio que afectará a este será el aire.



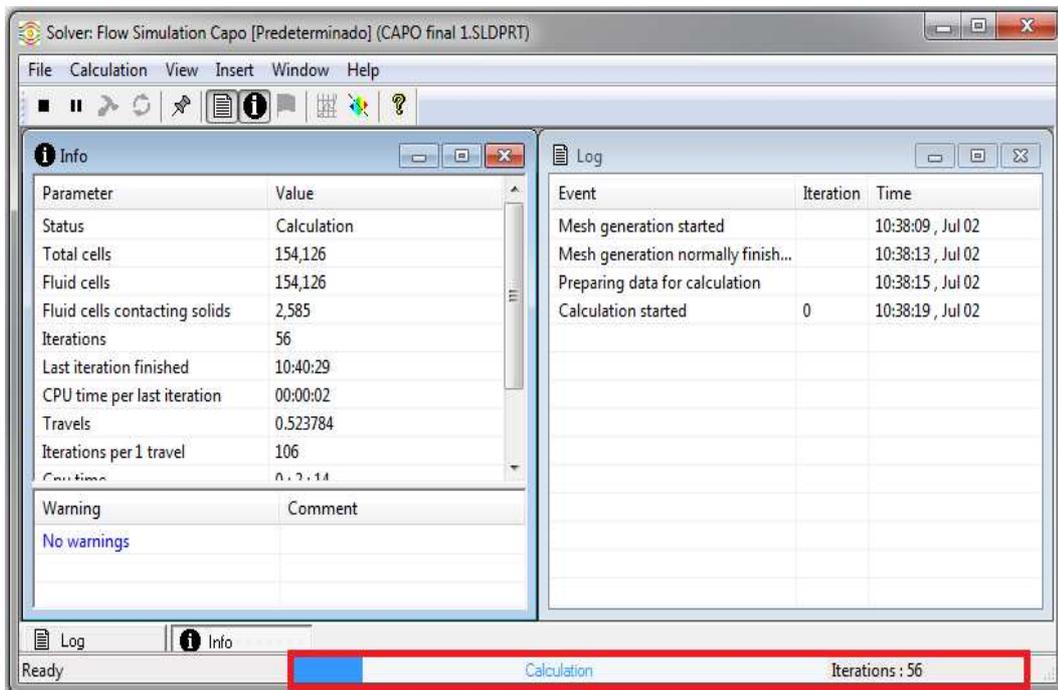
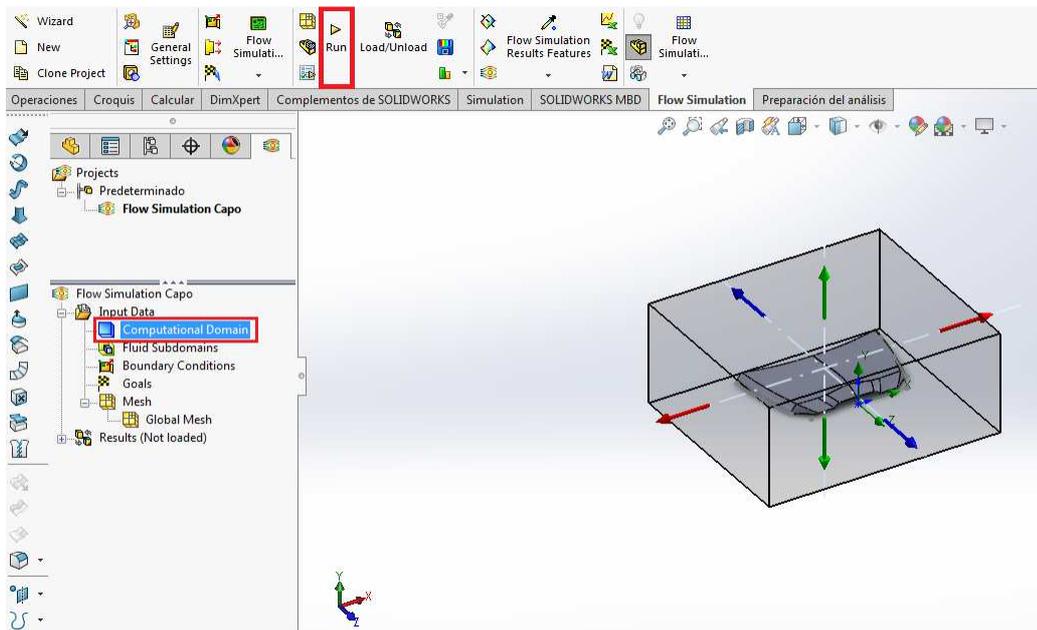
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Introducimos la velocidad, en m/s, que interfiere sobre el capó. En nuestro caso es negativa porque la dirección del dibujo es contraria a la dirección del eje Z.



Una vez finalizada la introducción de datos, el botón "Run" inicia el cálculo de la simulación. También se puede variar el tamaño del entorno del capó mediante el "ComputationalDomain".

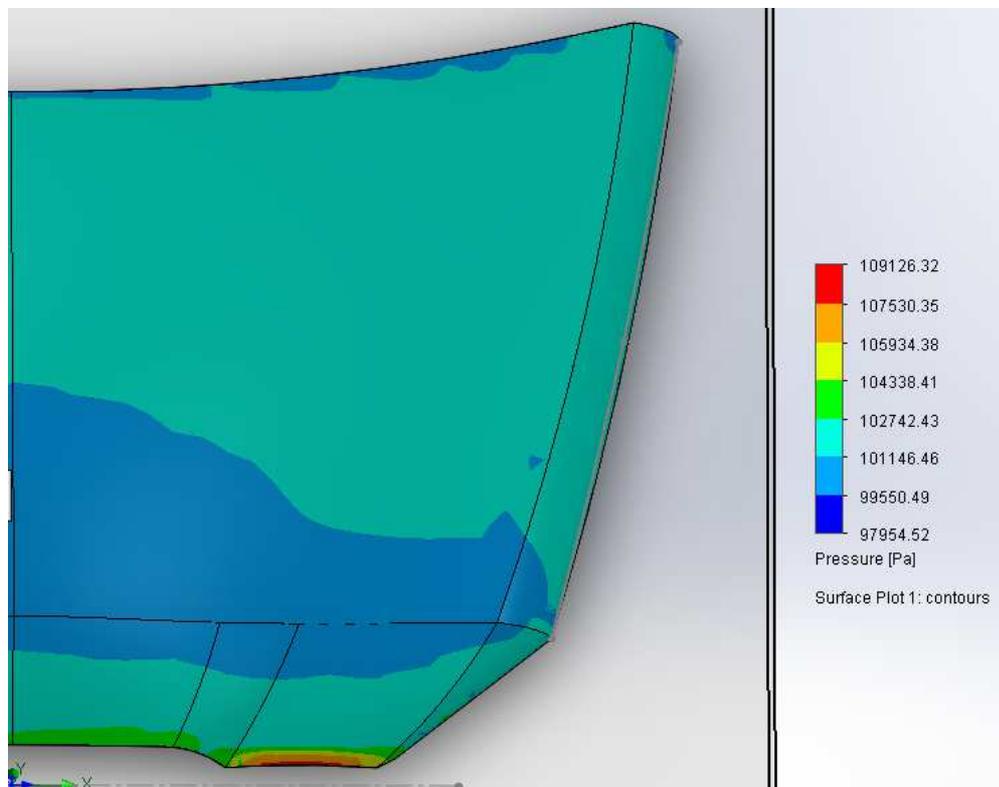
III. DISEÑO DEL CAPO



III. DISEÑO DEL CAPÓ

Cuando los cálculos estén realizados, el programa habrá obtenido distintos resultados tales como líneas de flujo, presiones, etc.

Para realizar el estudio con los materiales es necesario ejecutar los resultados de las presiones que ejercerá el aire sobre la superficie del capó.



ImagenIII.1. Presiones del aire sobre la superficie del capó.

III.3. CÁLCULOS

En el presente trabajo se pretende fabricar un capó combinando las fibras de carbono y vidrio con resina epoxi. Para ello se necesitan obtener los cálculos de las propiedades cuando se combinan las fibras con la resina.

Los valores necesarios para los cálculos de elasticidad y resistencia de las fibras de carbono y de vidrio, así como los de la resina epoxi, se han obtenido del artículo de C.C. Chamis, "*Simplified Composite Micromechanics Equations for Strength, Fracture Toughness, Impact Resistance and Environmental Effects*"

Para la realización de los cálculos se ha utilizado en el caso de la fibra de carbono, una proporción de resina del 70% y del 65%, y en el de la fibra de vidrio una proporción del 55% y del 50%.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

Tabla III.1. Propiedades de la fibra de carbono HM, Fibra de vidrio y resina epoxi.

FIBRA DE CARBONO HM	FIBRA DE VIDRIO	RESINA EPOXI
$E_{Lfc} = 379212 \text{ MPa}$	$E_{Lfv} = 73084 \text{ MPa}$	$E_m = 3500 \text{ MPa}$
$E_{Tfc} = 62053 \text{ MPa}$	$E_{Tfv} = 73084 \text{ MPa}$	$V_m = 0,35$
$V_{LTfc} = 0,20$	$V_{LTfv} = 0,22$	$G_m = 1296,2963 \text{ MPa}$
$v_{TTfc} = 0,25$	$v_{TTfv} = 0,22$	$G_{TTf} = 48263 \text{ MPa}$
$G_{LTfc} = 75842 \text{ MPa}$	$G_{LTfv} = 30130 \text{ MPa}$	$X_{tm} = 55 \text{ MPa}$
$G_{TTfc} = 48263 \text{ MPa}$	$G_{TTfv} = 30130 \text{ MPa}$	$X_{cm} = 103 \text{ MPa}$
$X_{tfc} = 2500 \text{ MPa}$	$X_{tfv} = 2757 \text{ MPa}$	$S_m = 55 \text{ MPa}$
$X_{cfc} = 1500 \text{ MPa}$	$X_{cfv} = - \text{MPa}$	$\rho_f = 1,2 \text{ g/cm}^3$
$\rho_{fc} = 1,8 \text{ g/cm}^3$	$\rho_{fv} = 2,49 \text{ g/cm}^3$	
$V_f = 70\%$	$V_f = 70\%$	

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.3.1 Constantes Fibra de Carbono

III.3.1.1 Constantes elásticas FC al 70%

$$E_x = E_{Lf} * V_f + E_m * (1 - V_f)$$

$$E_x = 379212 * 0,7 + 3500 * (1 - 0,7) = \mathbf{266498,4 \text{ MPa}}$$

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)}$$

$$E_y = \frac{3500}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{3500}{62053}\right)} = \mathbf{16624,674 \text{ MPa}}$$

$$E_z = E_y$$

$$E_z = \mathbf{16624,674 \text{ MPa}}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$G_{xy} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)}$$

$$G_{xy} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842}\right)} = \mathbf{7297,3131 \text{ MPa}}$$

$$G_{xz} = G_{xy}$$

$$G_{xz} = \mathbf{7297,3131 \text{ MPa}}$$

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)}$$

$$G_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = \mathbf{6976,3926 \text{ MPa}}$$

$$v_{xy} = v_{LTf} * V_f + v_m * (1 - V_f)$$

$$v_{xy} = 0,20 * 0,7 + 0,35 * (1 - 0,7) = \mathbf{0,2450}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$v_{xz} = v_{xy}$$

$$v_{xz} = 0,2450$$

$$v_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{Tf}}\right)}$$

$$v_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = 0,1915$$

III.3.1.2 Constantes resistentes FC al 70%

$$X_t = V_f * X_{tf}$$

$$X_t = 0,7 * 2500 = 1750 \text{ MPa}$$

$$Y_t = X_{tm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right]$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$Y_t = 55 * \left[1 - (\sqrt{0,7} - 0,7) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = \mathbf{47,9 \text{ MPa}}$$

$$X_c = V_f * X_{cf}$$

$$X_c = 0,7 * 1500 = \mathbf{1050 \text{ MPa}}$$

$$Y_c = X_{cm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}} \right) \right]$$

$$Y_c = 103 * \left[1 - (\sqrt{0,7} - 0,7) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = \mathbf{89,7 \text{ MPa}}$$

$$S_{xy} = S_m * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}} \right) \right]$$

$$S_{xy} = 55 * \left[1 - (\sqrt{0,7} - 0,7) * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842} \right) \right] = \mathbf{47,6 \text{ MPa}}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.3.1.3 Constantes elásticas FC al 65%

$$E_x = E_{Lf} * V_f + E_m * (1 - V_f)$$

$$E_x = 379212 * 0,65 + 3500 * (1 - 0,65) = \mathbf{247712,8 \text{ MPa}}$$

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)}$$

$$E_y = \frac{3500}{1 - \sqrt{0,65} * \left(1 - \frac{3500}{62053}\right)} = \mathbf{14629,1654 \text{ MPa}}$$

$$E_z = E_y$$

$$E_z = \mathbf{146229,1654 \text{ MPa}}$$

$$G_{xy} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$G_{xy} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,65} * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842}\right)} = \mathbf{6245,5771 \text{ MPa}}$$

$$G_{xz} = G_{xy}$$

$$G_{xz} = \mathbf{6245,5771 \text{ MPa}}$$

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)}$$

$$G_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = \mathbf{6017,2883 \text{ MPa}}$$

$$v_{xy} = v_{LTf} * V_f + v_m * (1 - V_f)$$

$$v_{xy} = 0,20 * 0,7 + 0,35 * (1 - 0,7) = \mathbf{0,2525}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$v_{xz} = v_{xy}$$

$$v_{xz} = 0,2525$$

$$v_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{Tf}}\right)}$$

$$v_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,7} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = 0,2156$$

III.3.1.4 Constantes resistentes FC al 65%

$$X_t = V_f * X_{tf}$$

$$X_t = 0,65 * 2500 = 1625 \text{ MPa}$$

$$Y_t = X_{tm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right]$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$Y_t = 55 * \left[1 - \left(\sqrt{0,65} - 0,65 \right) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = \mathbf{46,9 \text{ MPa}}$$

$$X_c = V_f * X_{cf}$$

$$X_c = 0,65 * 1500 = \mathbf{975 \text{ MPa}}$$

$$Y_c = X_{cm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}} \right) \right]$$

$$Y_c = 103 * \left[1 - \left(\sqrt{0,65} - 0,65 \right) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = \mathbf{87,8 \text{ MPa}}$$

$$S_{xy} = S_m * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}} \right) \right]$$

$$S_{xy} = 55 * \left[1 - \left(\sqrt{0,65} - 0,65 \right) * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842} \right) \right] = \mathbf{46,6 \text{ MPa}}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.3.2 Constantes Fibra de Vidrio

III.3.2.1 Constantes elásticas FV al 55%

$$E_x = E_{Lf} * V_f + E_m * (1 - V_f)$$

$$E_x = 73084 * 0,55 + 3500 * (1 - 0,55) = 41771,2 \text{ MPa}$$

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)}$$

$$E_y = \frac{3500}{1 - \sqrt{0,55} * \left(1 - \frac{3500}{62053}\right)} = 11908,9584 \text{ MPa}$$

$$E_z = E_y$$

$$E_z = 11908,9584 \text{ MPa}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$G_{xy} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)}$$

$$G_{xy} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,55} * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842}\right)} = \mathbf{4465,5649MPa}$$

$$G_{xz} = G_{xy}$$

$$G_{xz} = \mathbf{4465,5649MPa}$$

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)}$$

$$G_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,55} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = \mathbf{4465,5649MPa}$$

$$v_{xy} = v_{LTf} * V_f + v_m * (1 - V_f)$$

$$v_{xy} = 0,20 * 0,55 + 0,35 * (1 - 0,55) = \mathbf{0,2785}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$v_{xz} = v_{xy}$$

$$v_{xz} = 0,2785$$

$$v_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{Tf}}\right)}$$

$$v_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,55} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = 0,3334$$

III.3.2.2 Constantes resistentes FV al 55%

$$X_t = V_f * X_{tf}$$

$$X_t = 0,55 * 2500 = 1516,35\text{MPa}$$

$$Y_t = X_{tm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right]$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$Y_t = 55 * \left[1 - \left(\sqrt{0,55} - 0,55 \right) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = 45 \text{MPa}$$

$$Y_c = X_{cm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}} \right) \right]$$

$$Y_c = 103 * \left[1 - \left(\sqrt{0,55} - 0,55 \right) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = 84,2 \text{ MPa}$$

$$S_{xy} = S_m * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f \right) * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}} \right) \right]$$

$$S_{xy} = 55 * \left[1 - \left(\sqrt{0,55} - 0,55 \right) * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842} \right) \right] = 44,9 \text{ MPa}$$

III.3.2.3 Constantes elásticas FV al 50%

$$E_x = E_{Lf} * V_f + E_m * (1 - V_f)$$

$$E_x = 73084 * 0,5 + 3500 * (1 - 0,5) = 38292 \text{ MPa}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)}$$

$$E_y = \frac{3500}{1 - \sqrt{0,5} * \left(1 - \frac{3500}{62053}\right)} = \mathbf{10711,3357MPa}$$

$$E_z = E_y$$

$$E_z = \mathbf{10711,3357MPa}$$

$$G_{xy} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)}$$

$$G_{xy} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,5} * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842}\right)} = \mathbf{4009,3864MPa}$$

$$G_{xz} = G_{xy}$$

$$G_{xz} = \mathbf{4009,3864MPa}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)}$$

$$G_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,5} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = \mathbf{4008,3864MPa}$$

$$v_{xy} = v_{LTf} * V_f + v_m * (1 - V_f)$$

$$v_{xy} = 0,20 * 0,5 + 0,35 * (1 - 0,5) = \mathbf{0,2850}$$

$$v_{xz} = v_{xy}$$

$$v_{xz} = \mathbf{0,2850}$$

$$v_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} * \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)}$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$v_{yz} = \frac{1296,2963}{1 - \sqrt{0,5} * \left(1 - \frac{1296,2963}{48263}\right)} = \mathbf{0,3358}$$

III.3.2.4 Constantes resistentes FV al 50%

$$X_t = V_f * X_{tf}$$

$$X_t = 0,5 * 2500 = \mathbf{1378,5 \text{ MPa}}$$

$$Y_t = X_{tm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right]$$

$$Y_t = 55 * \left[1 - \left(\sqrt{0,5} - 0,5\right) * \left(1 - \frac{3500}{62053}\right)\right] = \mathbf{44,2 \text{ MPa}}$$

$$Y_c = X_{cm} * \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) * \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right]$$

III. DISEÑO DEL CAPÓ

$$Y_c = 103 * \left[1 - (\sqrt{0,5} - 0,5) * \left(1 - \frac{3500}{62053} \right) \right] = \mathbf{82,7 \text{ MPa}}$$

$$S_{xy} = S_m * \left[1 - (\sqrt{V_f} - V_f) * \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}} \right) \right]$$

$$S_{xy} = 55 * \left[1 - (\sqrt{0,5} - 0,5) * \left(1 - \frac{1296,2963}{75842} \right) \right] = \mathbf{44,1 \text{ MPa}}$$

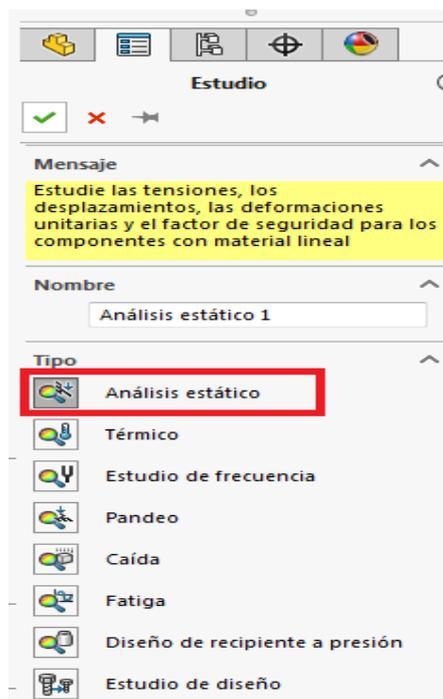
III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.4. ESTUDIO DE MATERIALES

Una vez realizada la simulación con el FlowSimulation se realizará un estudio con los distintos materiales. Para ello se crea un nuevo estudio en la pestaña "Simulation"

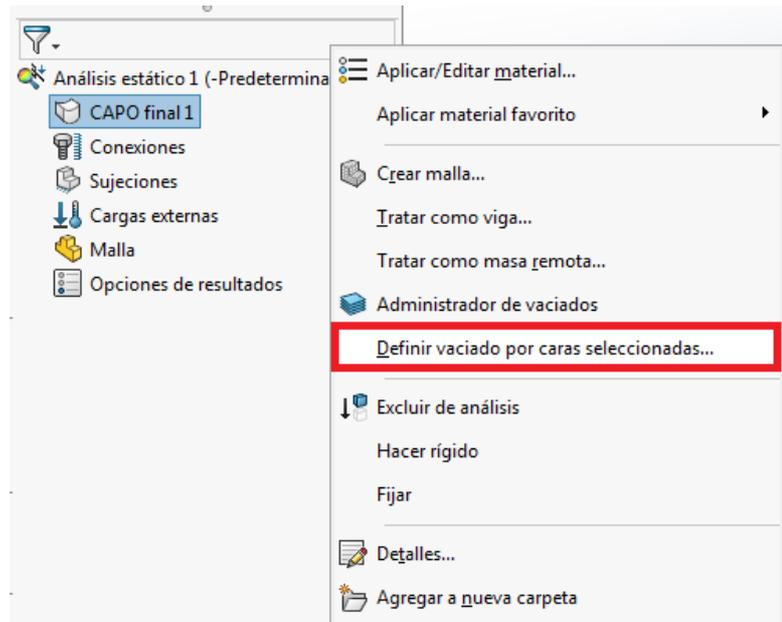


A continuación, se define el tipo de estudio a realizar, en nuestro caso "Análisis estático".

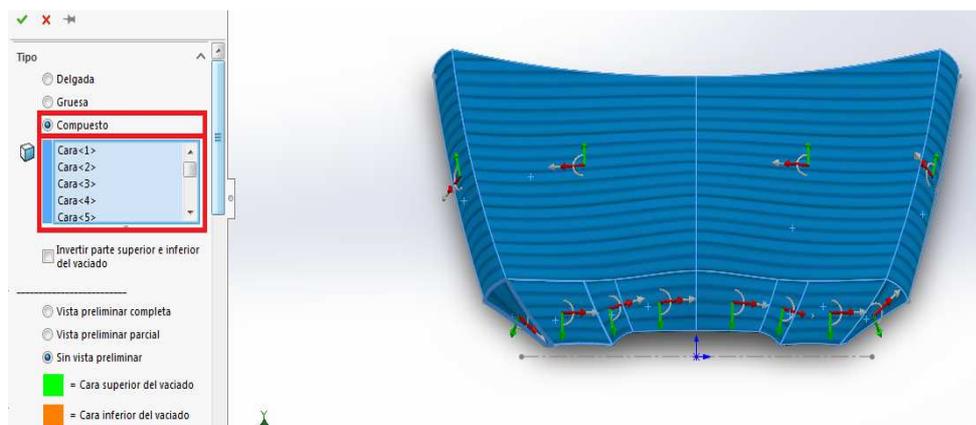


III. DISEÑO DEL CAPO

Para definir como serán las características del capo hemos de definir un vaciado por caras.

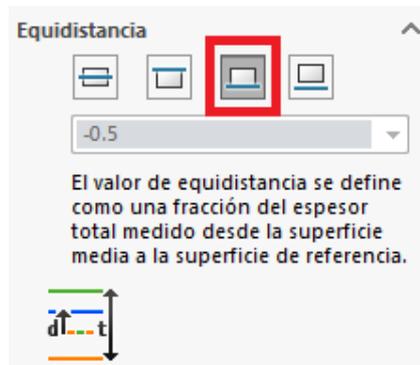


Primero se indica que es de tipo "compuesto" y se marcan todas las caras por las que está compuesta la superficie del capo.

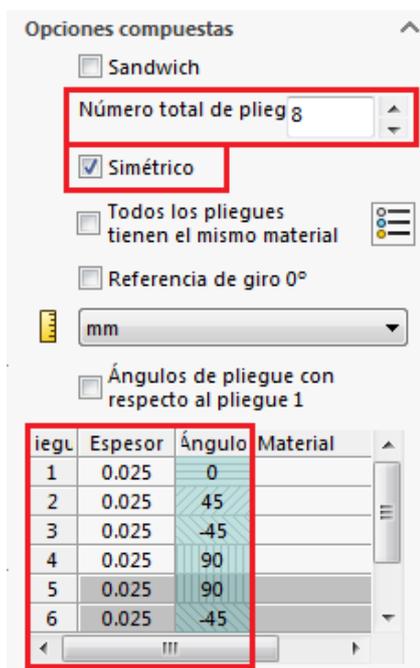


III. DISEÑO DEL CAPÓ

Después se indica la posición en que han de ir colocadas las capas respecto a la superficie de referencia.

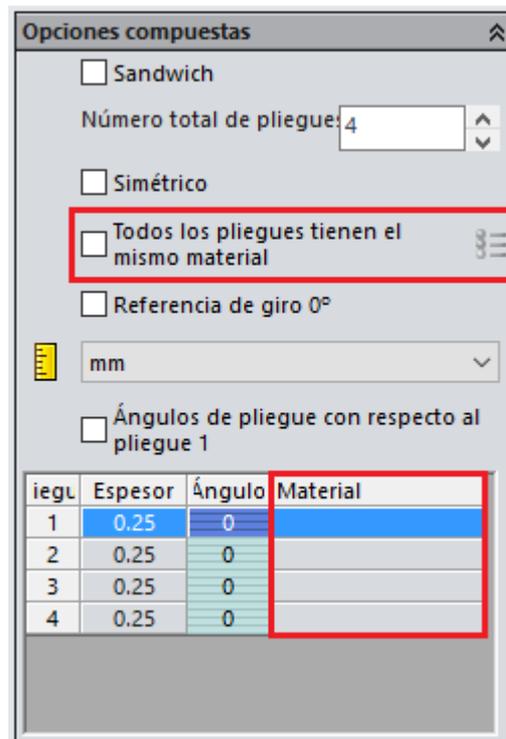


Por último, han de introducirse los diferentes valores que podemos variar para obtener diferentes resultados. Estos valores son el "Número total de pliegues", el "Espesor" y "Ángulo" de cada una de las capas y "Simétrico" para que las capas sean simétricas entre ellas.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

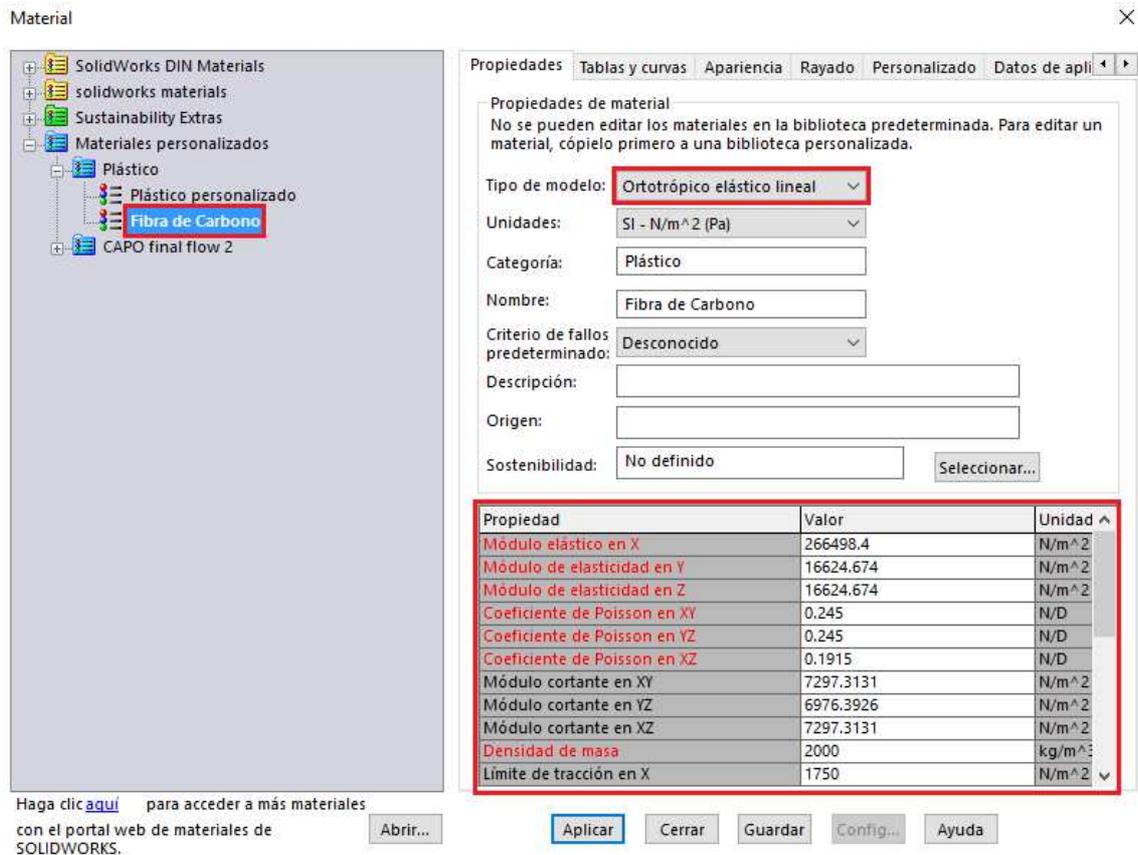
Si los pliegues son del mismo material, se selecciona la opción "*Todos los pliegues tienen el mismo material*" y si cada pliegue es de un material distinto, se introduce cada uno en la casilla "*Material*"



Para crear un material hay que copiar una ya existente en "*Materiales personalizados*" y cambiarle sus propiedades.

Para las fibras de estudio elegidas se marca como tipo de modelo "*Ortotrópico elástico lineal*" y se introducen los valores de las propiedades obtenidos en los cálculos del método de Chamis.

III. DISEÑO DEL CAPÓ



Se crearán cuatro tipos de materiales, uno para cada una de las fibras calculadas mediante el método de Chamis, y se introducirán las propiedades obtenidas de los cálculos.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico en X	266498,4	N/m ²
Módulo de elasticidad en Y	16624,674	N/m ²
Módulo de elasticidad en Z	16624,674	N/m ²
Coefficiente de Poisson en XY	0,245	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0,1915	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0,245	N/D
Módulo cortante en XY	7297,3131	N/m ²
Módulo cortante en YZ	6976,3926	N/m ²
Módulo cortante en XZ	7297,3131	N/m ²
Densidad de masa	2000	kg/m ³
Límite de tracción en X	1750	N/m ²
Límite de tracción en Y	47,9	N/m ²
Límite de compresión en X	1050	N/m ²
Límite de compresión en Y	89,7	N/m ²
Límite cortante en XY	47,6	N/m ²
Límite elástico	1575	N/m ²

ImagenIII.1 Propiedades FC al 70%

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico en X	247712,8	N/m ²
Módulo de elasticidad en Y	14629,1654	N/m ²
Módulo de elasticidad en Z	14629,1654	N/m ²
Coefficiente de Poisson en XY	0,2525	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0,2156	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0,2525	N/D
Módulo cortante en XY	6245,5771	N/m ²
Módulo cortante en YZ	6017,2883	N/m ²
Módulo cortante en XZ	6245,5771	N/m ²
Densidad de masa	2000	kg/m ³
Límite de tracción en X	1625	N/m ²
Límite de tracción en Y	46,9	N/m ²
Límite de compresión en X	975	N/m ²
Límite de compresión en Y	87,8	N/m ²
Límite cortante en XY	46,6	N/m ²
Límite elástico	1462,5	N/m ²

ImagenIII.2. Propiedades FC al 65%

III. DISEÑO DEL CAPÓ

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico en X	41771.2	N/m ²
Módulo de elasticidad en Y	11908.9584	N/m ²
Módulo de elasticidad en Z	11908.9584	N/m ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.2785	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0.3334	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0.2785	N/D
Módulo cortante en XY	4465.5649	N/m ²
Módulo cortante en YZ	4465.5694	N/m ²
Módulo cortante en XZ	4465.5694	N/m ²
Densidad de masa	2000	kg/m ³
Límite de tracción en X	1516.35	N/m ²
Límite de tracción en Y	45	N/m ²
Límite de compresión en X		N/m ²
Límite de compresión en Y	84.2	N/m ²
Límite cortante en XY	44.9	N/m ²
Límite elástico	1364.715	N/m ²

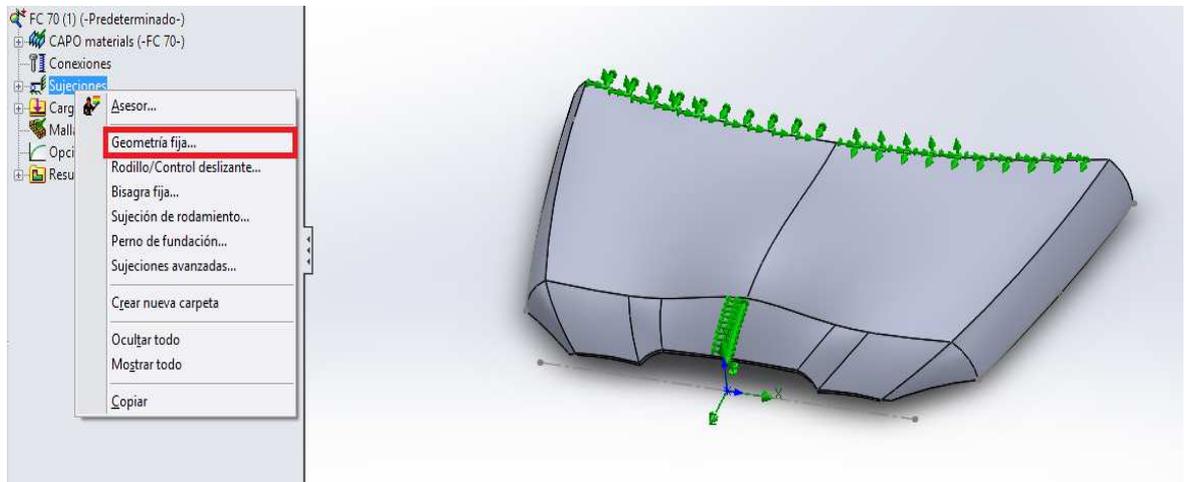
ImagenIII.3. Propiedades FV al 55%

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico en X	38292	N/m ²
Módulo de elasticidad en Y	10711.3357	N/m ²
Módulo de elasticidad en Z	10711.3357	N/m ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.285	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0.3358	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0.285	N/D
Módulo cortante en XY	4009.3864	N/m ²
Módulo cortante en YZ	4009.3864	N/m ²
Módulo cortante en XZ	4009.3864	N/m ²
Densidad de masa	2000	kg/m ³
Límite de tracción en X	1378.5	N/m ²
Límite de tracción en Y	44.2	N/m ²
Límite de compresión en X		N/m ²
Límite de compresión en Y	82.7	N/m ²
Límite cortante en XY	44.1	N/m ²
Límite elástico	1240.65	N/m ²

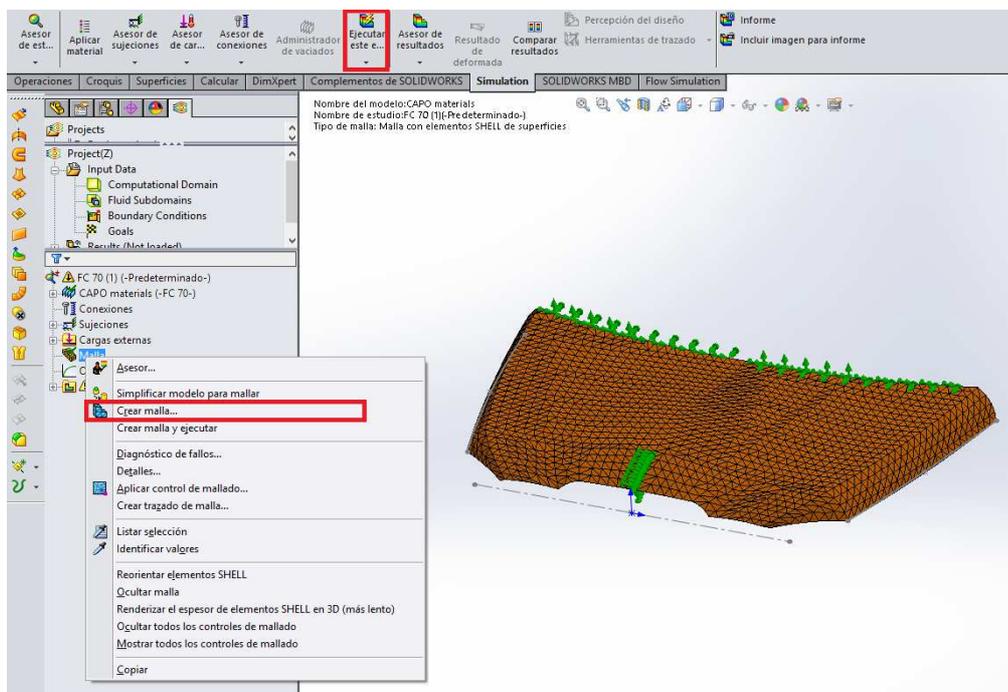
ImagenIII.4. Propiedades FV al 50%

III. DISEÑO DEL CAPÓ

El capó llevara unas sujeciones de geometría fija en los mismos puntos en los que va sujetado al vehículo.



Por último, se crea una mallado del capó y se ejecuta el estudio.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.4.1 Espesor de las capas

El espesor de cada capa, teniendo en cuenta la proporción de resina utilizada, será de 0,25mm.

III.4.2 Número de capas

Como el espesor de la chapa de acero del capo tiene aproximadamente 3,5mm, utilizaremos las combinaciones de 12 capas (3mm) y 16 capas (4mm) para ver los distintos resultados.

III.4.3 Ángulos de las capas

Para la aplicación de las capas se utilizarán las posiciones con los ángulos 0° , 90° , 45° , -45° , combinándose entre ellas para ver en cuales se obtienen mejores resultados.

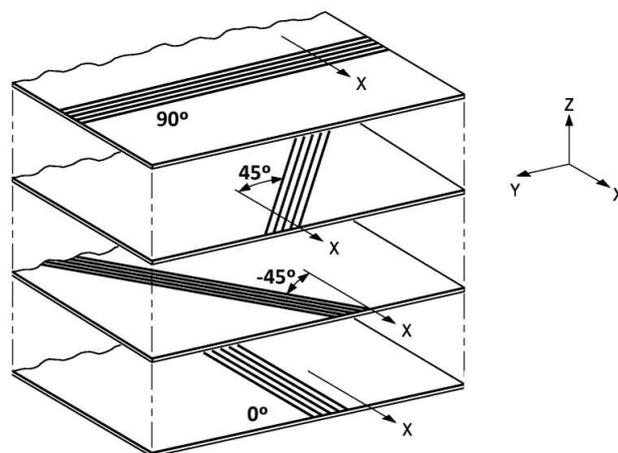


Figura III.5. Posición de las capas.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

III.4.4. Resultados con diferentes ángulos

En la siguiente imagen puede apreciarse como se deforma el capó dependiendo del ángulo en que han sido aplicadas las capas.

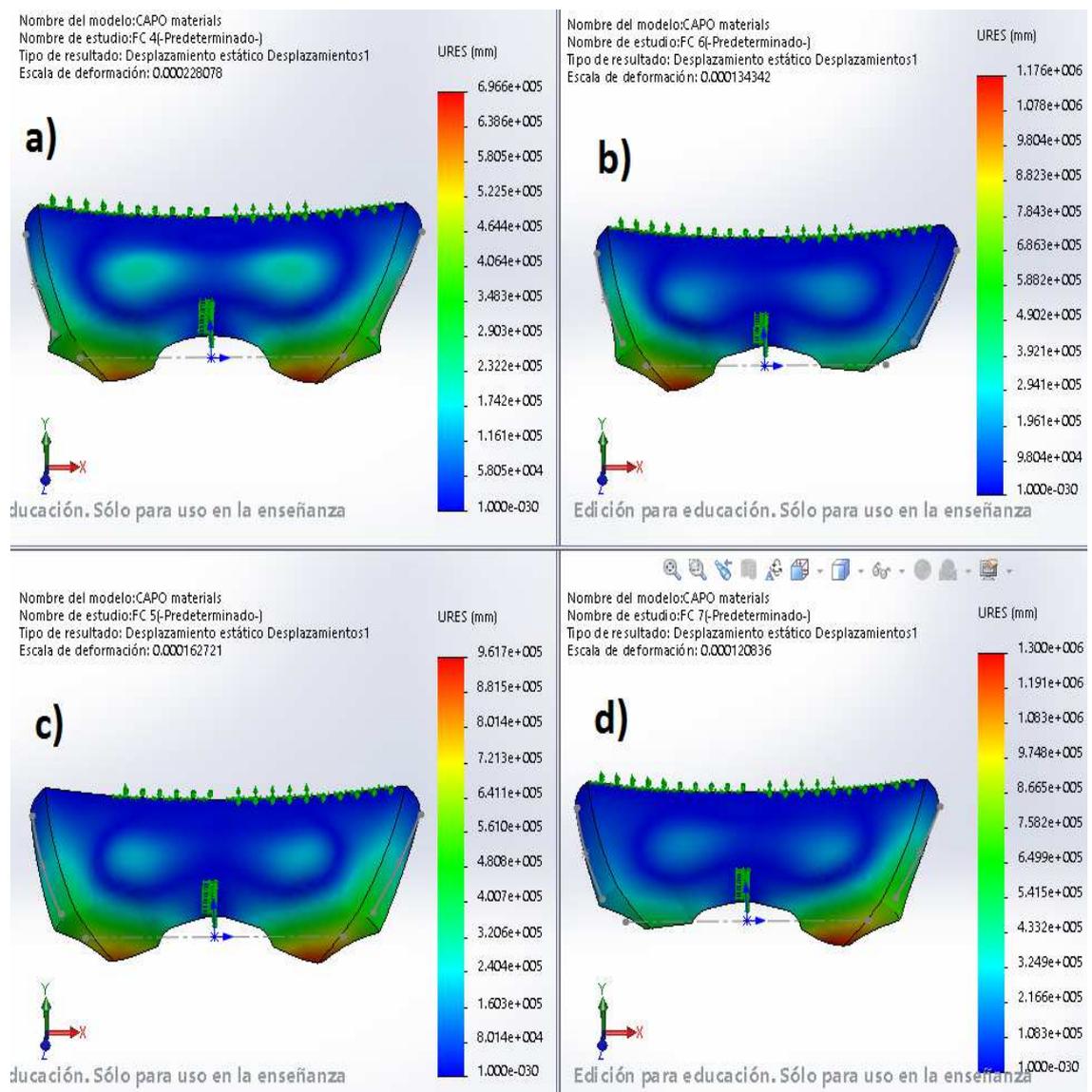


Figura III.6. a) Capas a 0° b) Capas a 45° c) Capas a 90° d) Capas a -45°

III. DISEÑO DEL CAPÓ

Para un mejor comportamiento del capó frente a las cargas se utilizara la combinación de capas 0° , 45° , -45° , 90°

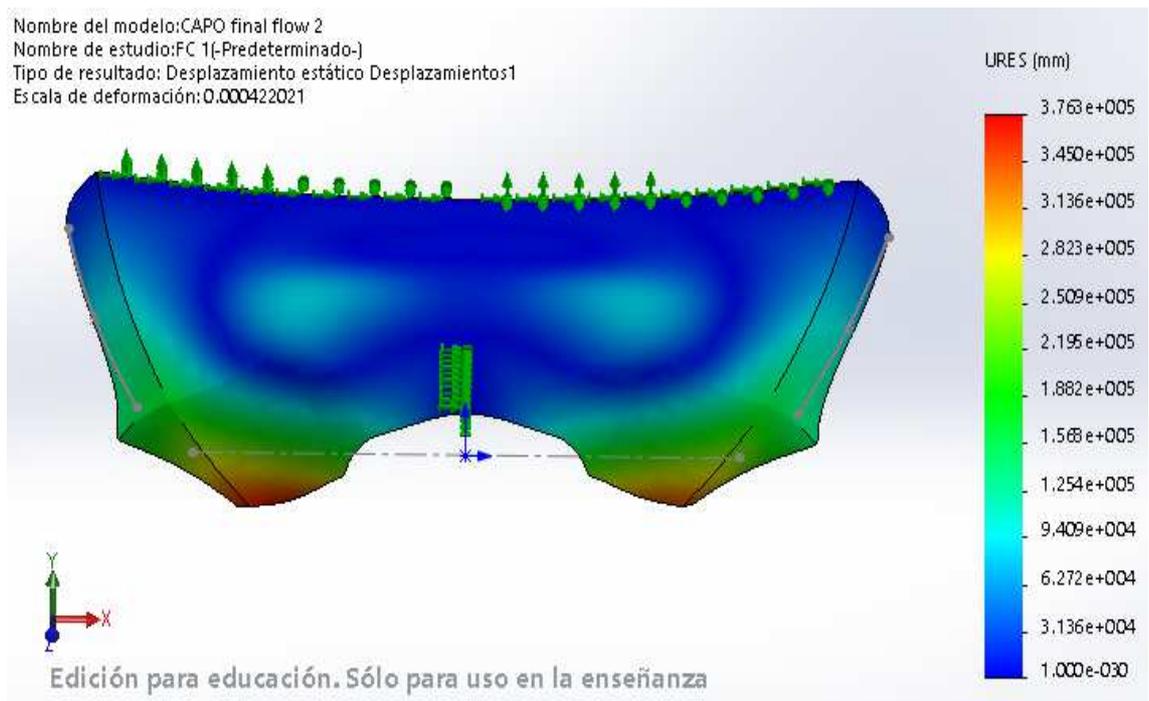


Figura III.7. Capas a $0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ$

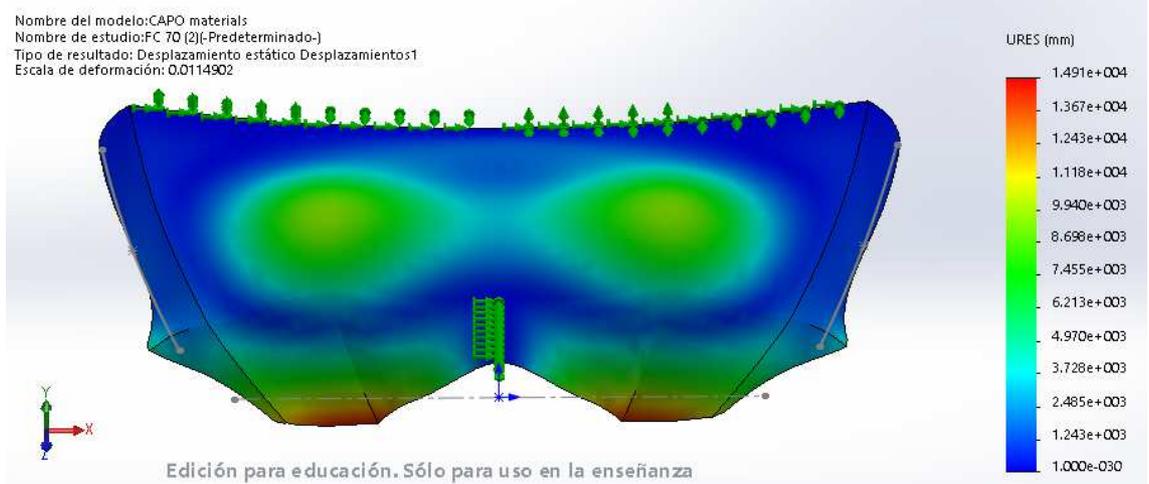
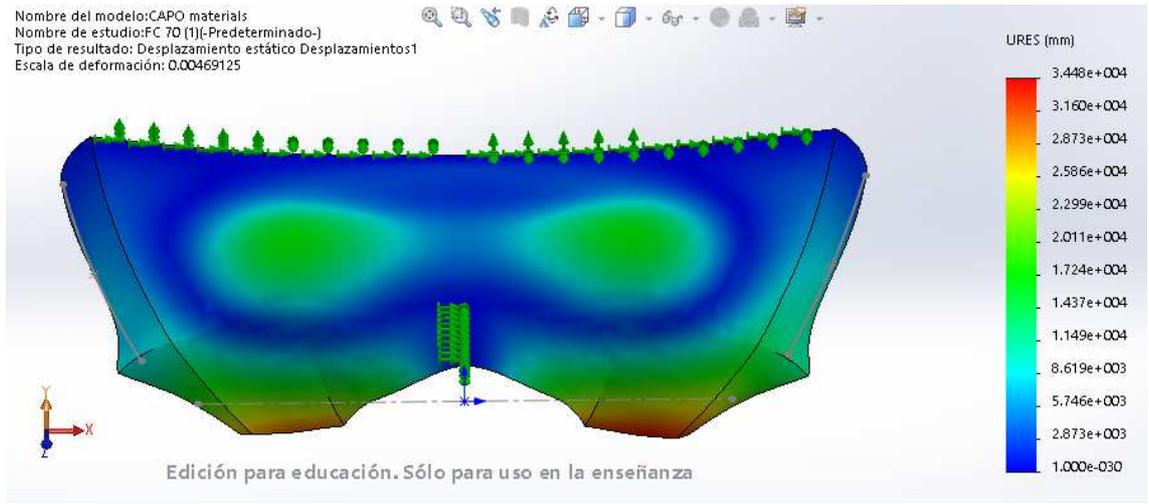
III.4.5. Resultados sobre el eje Z (viento en el eje de circulación)

En el siguiente apartado se podrán observar distintos resultados, obtenidos dependiendo del número de capas y del material elegido para ellas, y así poder elegir la mejor opción para su fabricación.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

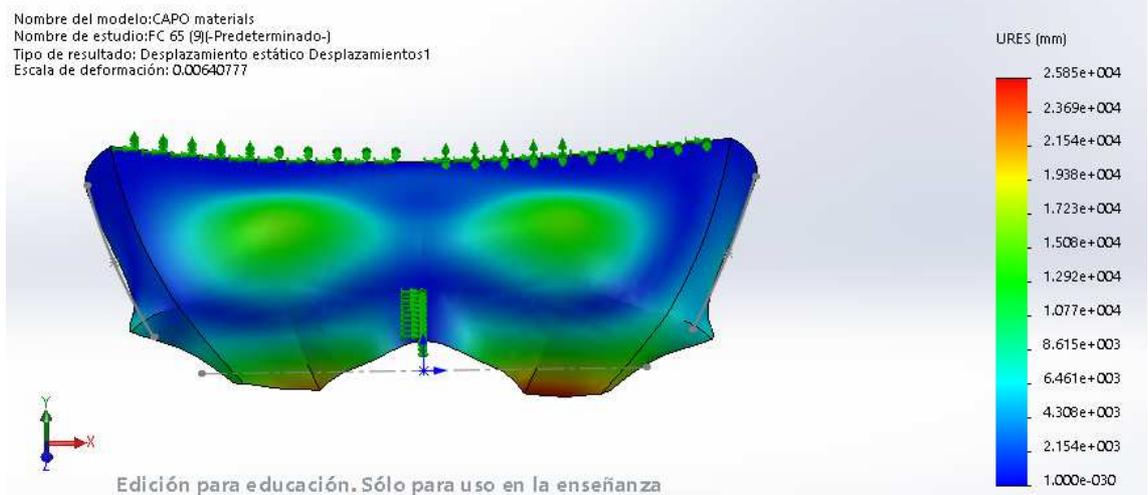
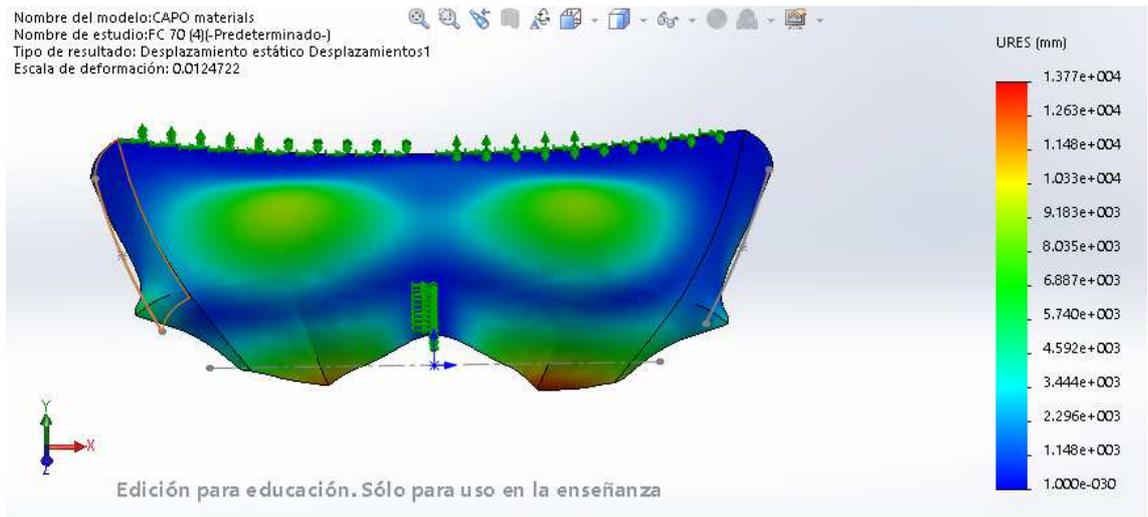
III.4.5.1. Capas con el mismo tipo de material

Fibra de carbono al 70% con 12 capas y 16 capas



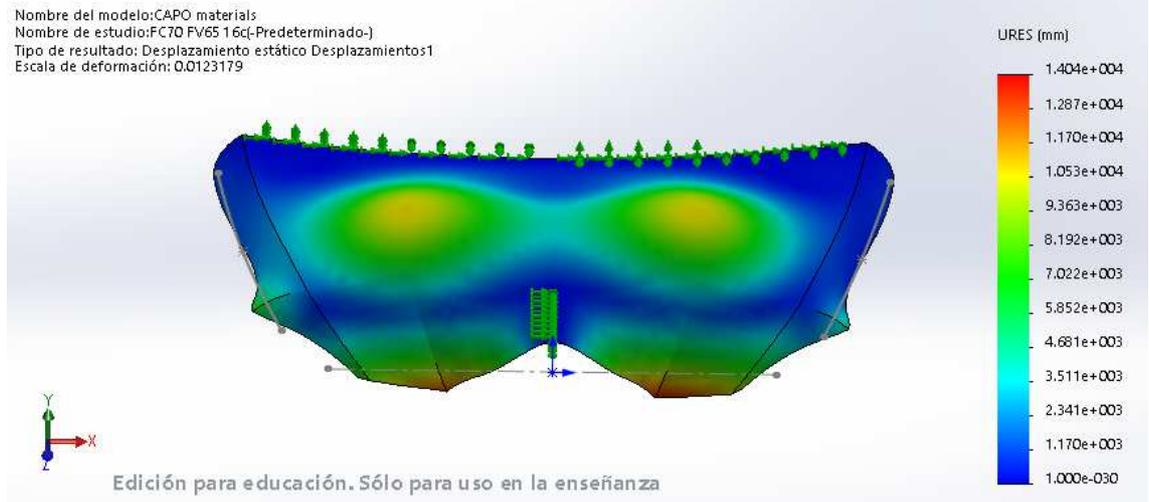
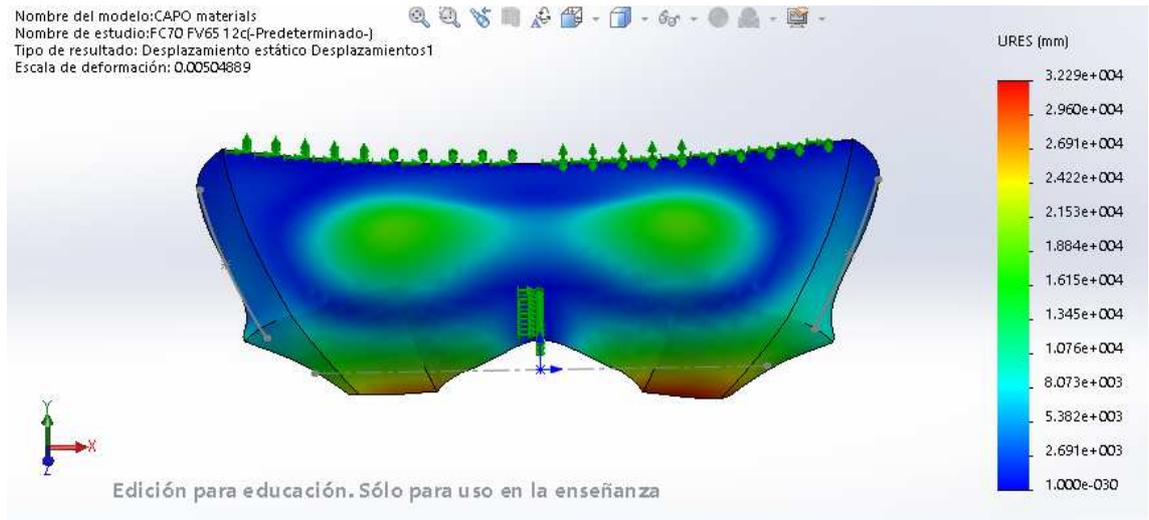
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 65% con 16 capas y 12 capas



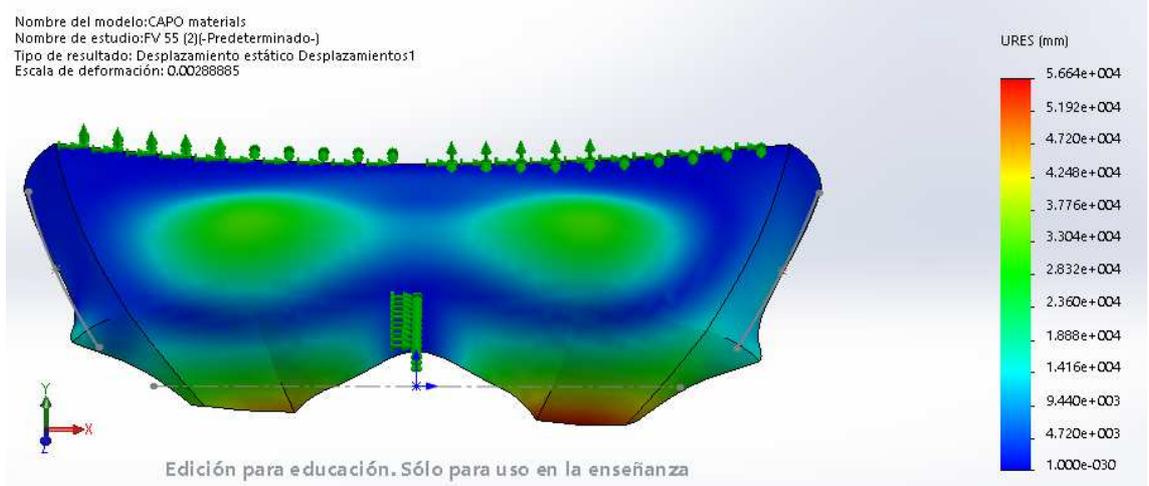
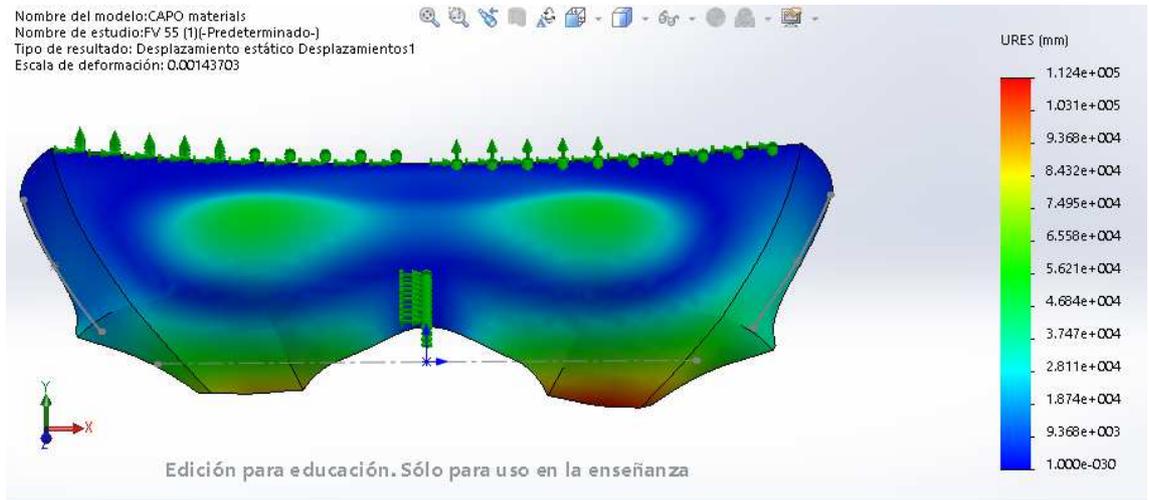
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 70% con 12 capas y Fibra de vidrio al 55% con 16 capas



III. DISEÑO DEL CAPÓ

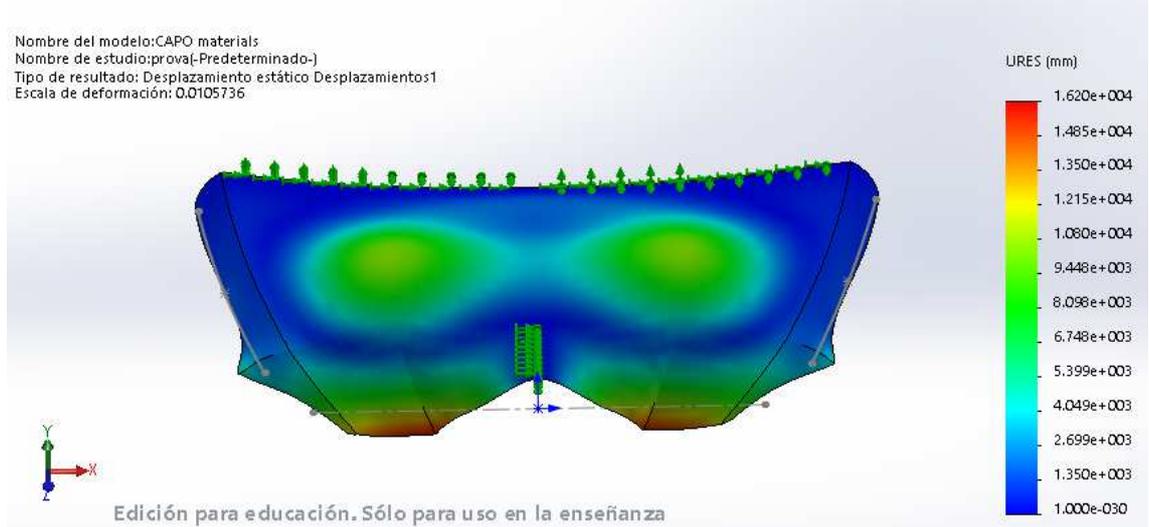
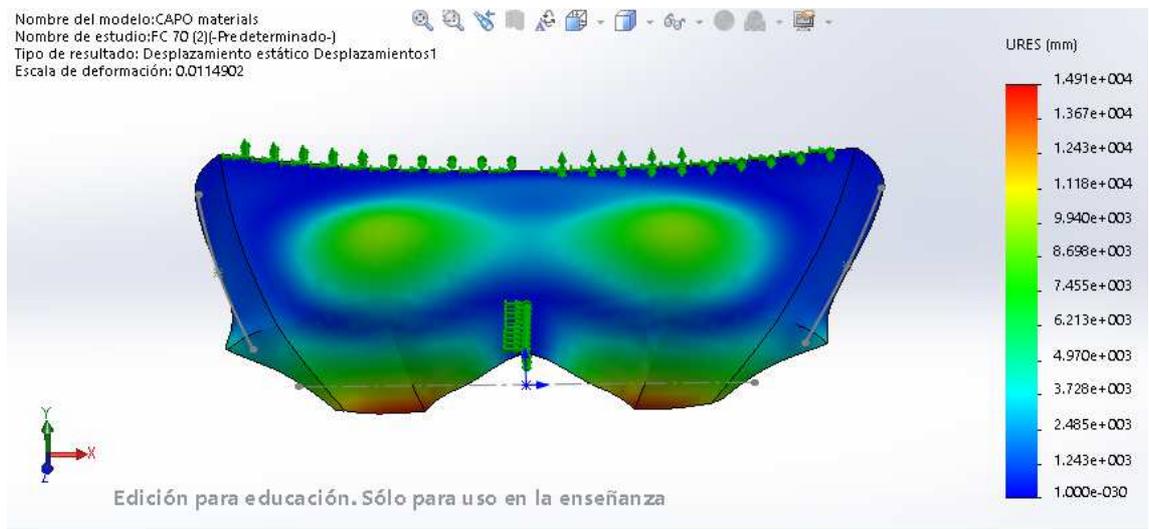
Fibra de vidrio al 55% con 12 capas y 16 capas.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 70% y al 65%, ambas de 16 capas.

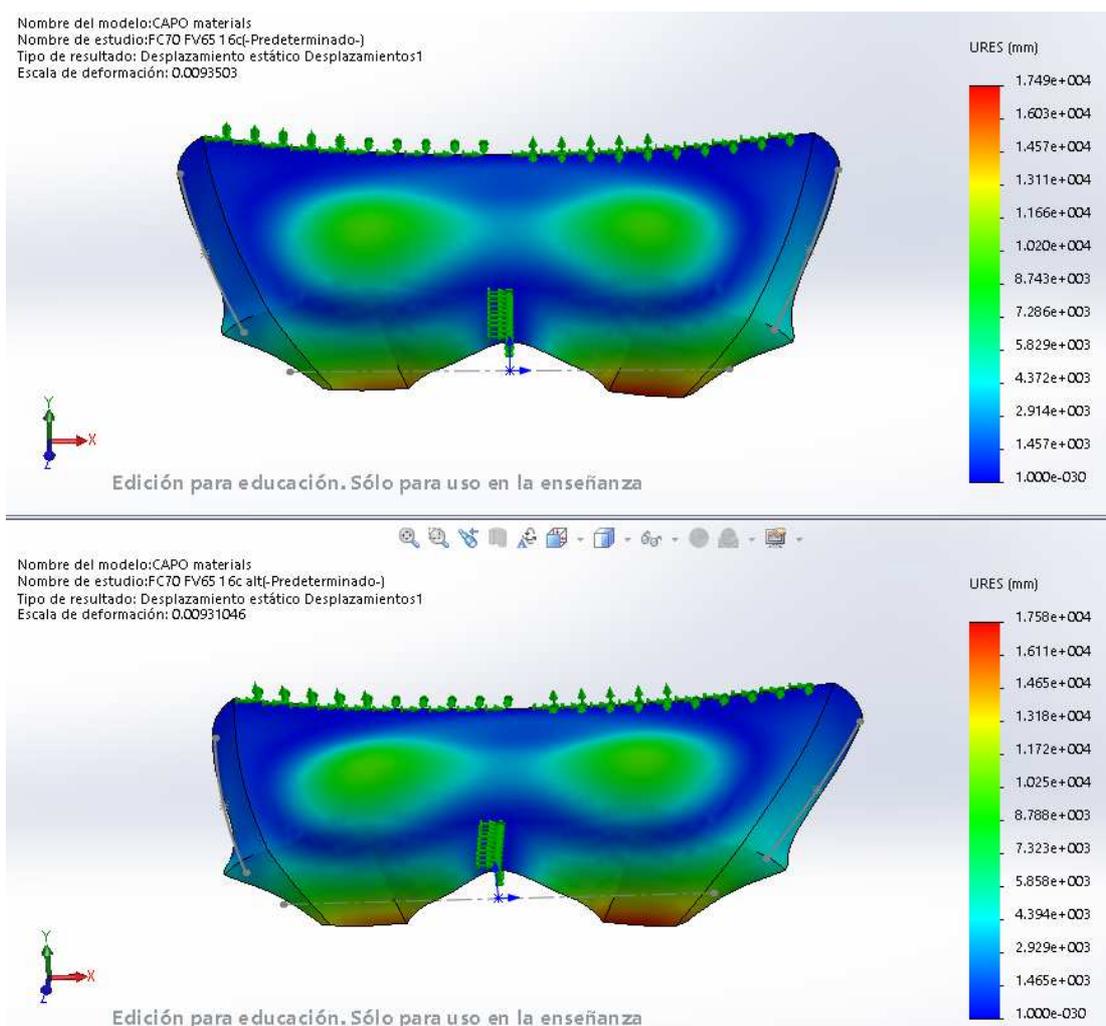
Como se observa el uso de mayor porcentaje de resina disminuye las deformaciones ligeramente respecto a un uso menor.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

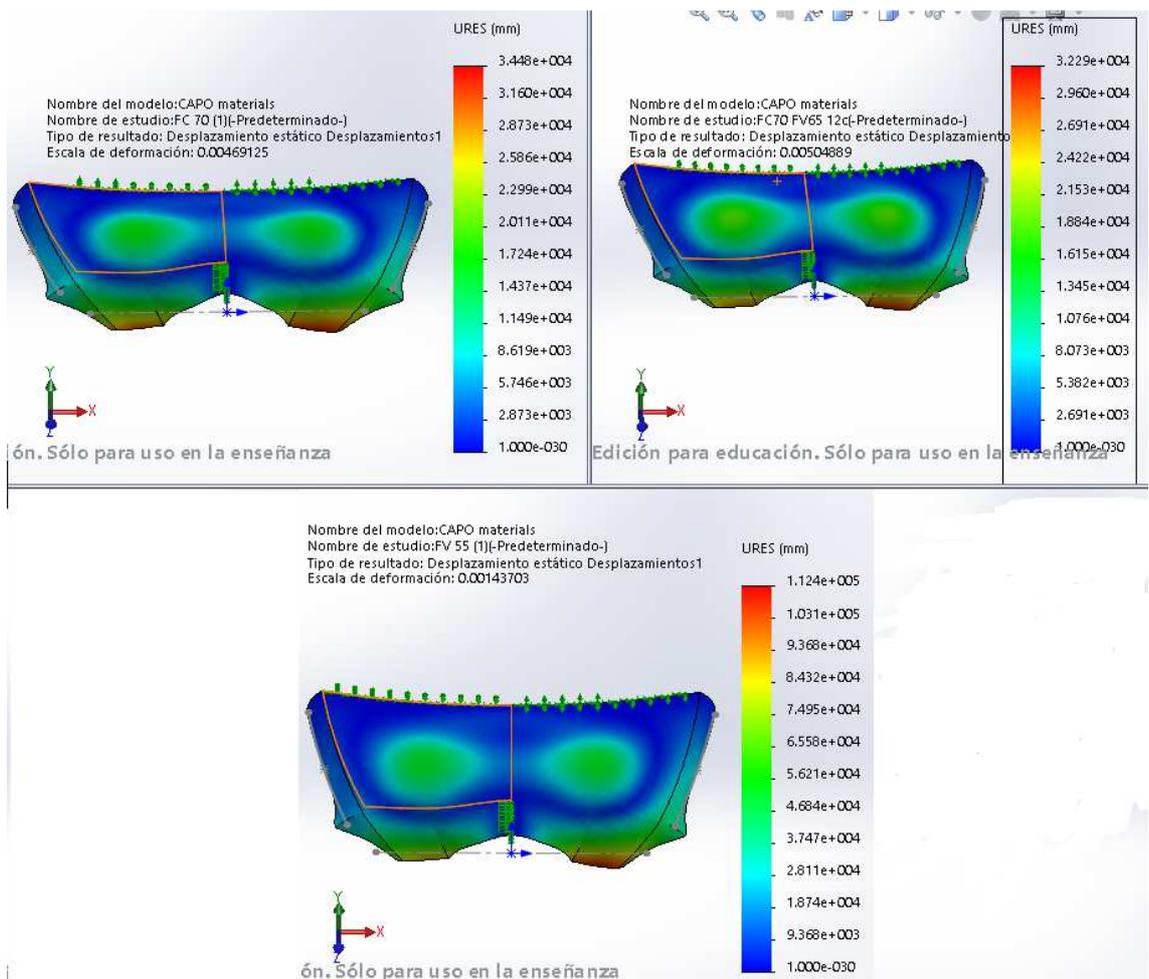
III.4.5.2. Capas con distinto tipo de material

En la siguiente comparativa pueden verse dos capós compuestos por fibra de vidrio y fibra de carbono, pero con la diferencia de que el primero tiene las capas del mismo material juntas y el segundo alterna capas de carbono con capas de vidrio. Como se observa en los resultados apenas no influye la colocación de las capas unas respecto de otras.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

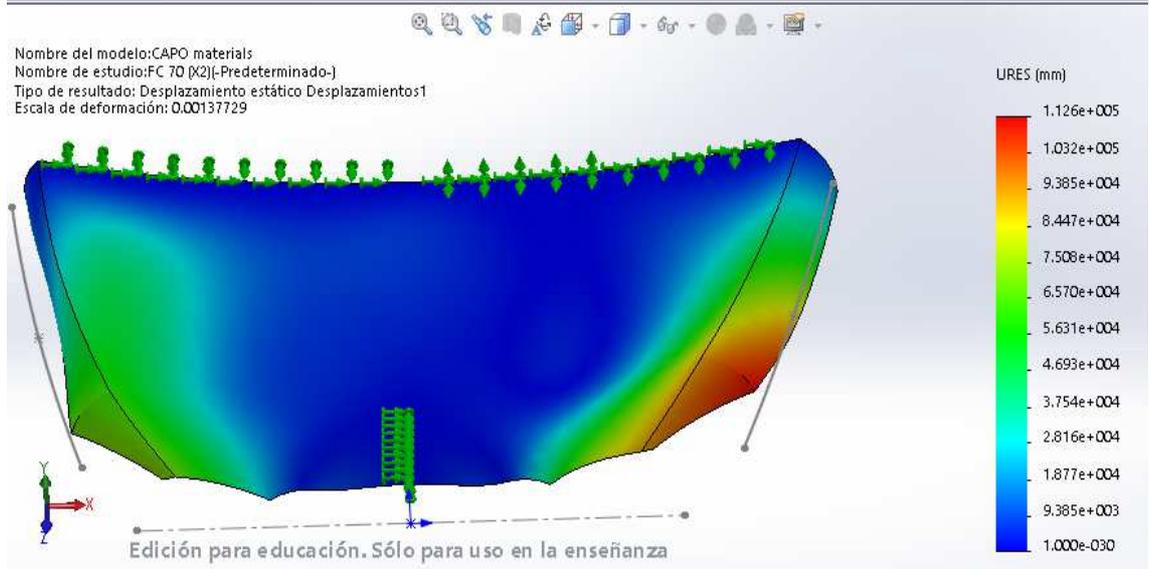
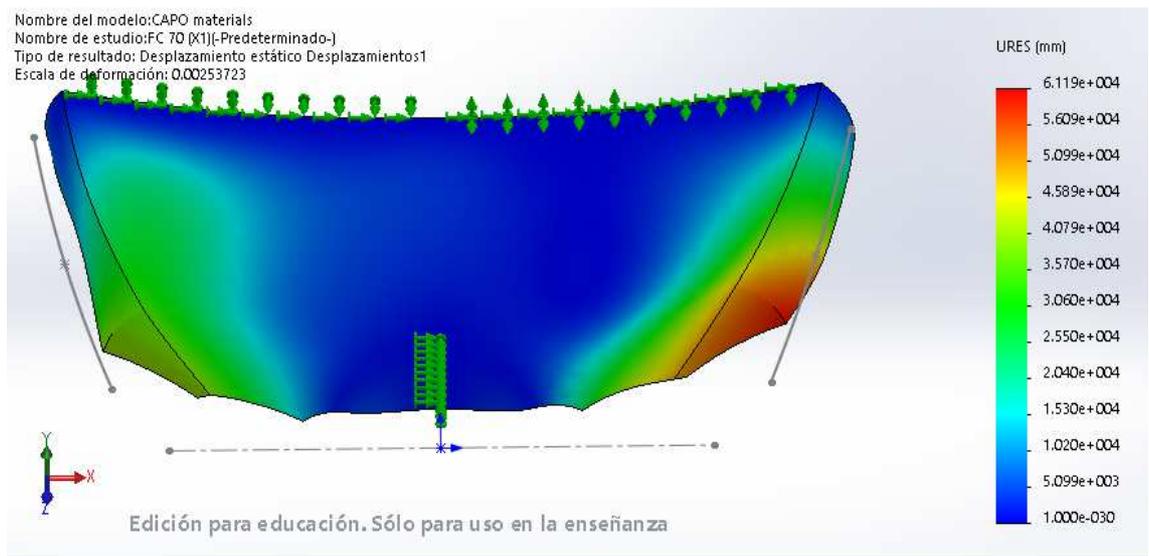
En esta comparativa pueden verse tres capós formados todos por 12 capas. El primero compuesto solo por fibra de carbono, el segundo combinando ambas fibras y el tercero compuesto solo por fibra de vidrio. Como se observa el que más deformaciones sufre es el de fibra de vidrio, mientras que los otros dos obtienen resultados bastante iguales, siendo ligeramente mejor el que combina ambas fibras.



III. DISEÑO DEL CAPÓ

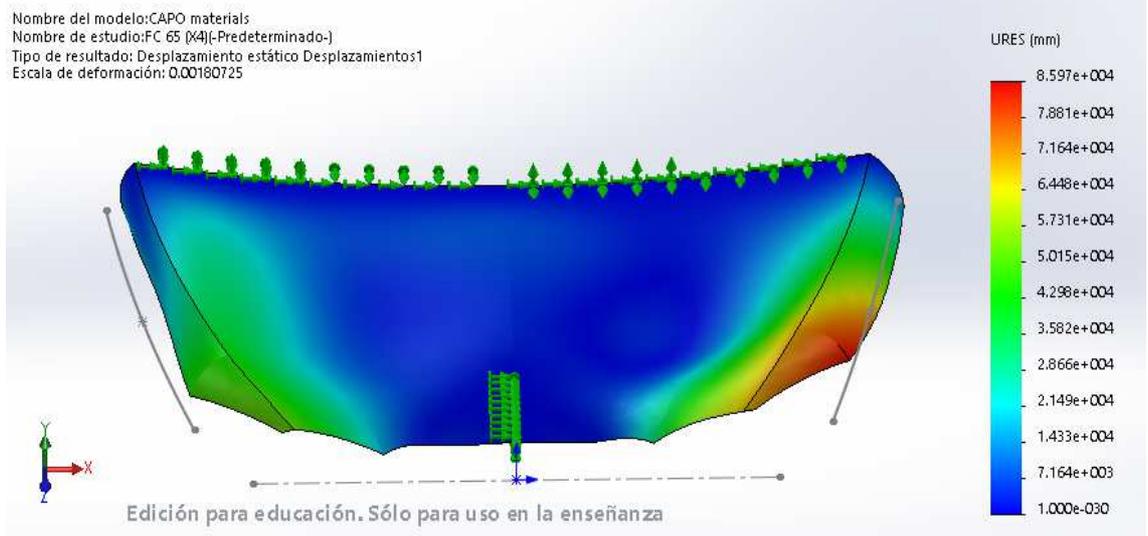
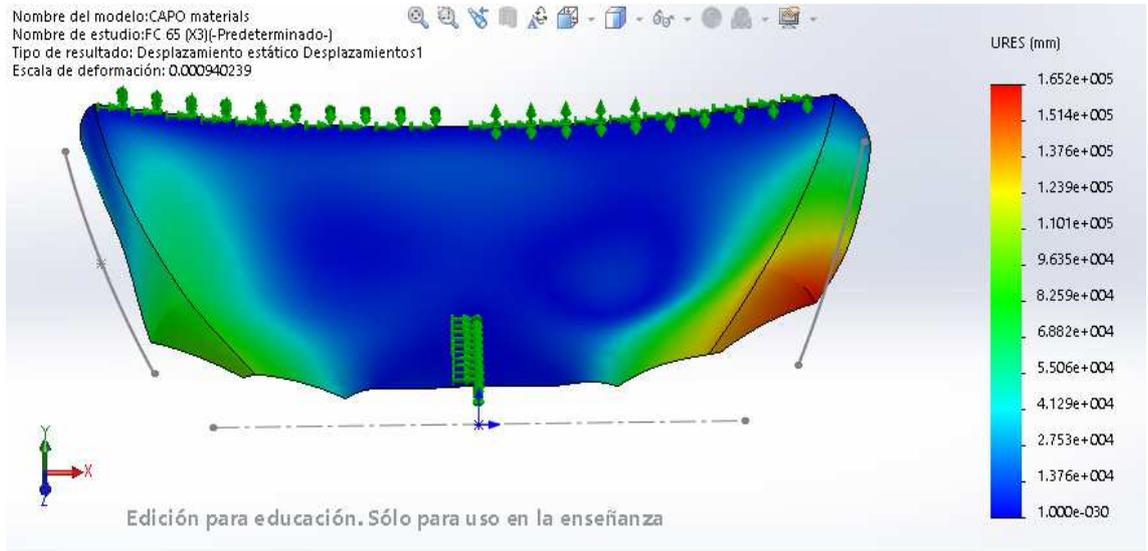
III.4.6. Resultados sobre el eje X (viento cruzado)

Fibra de carbono al 70% con 12 y 16 capas



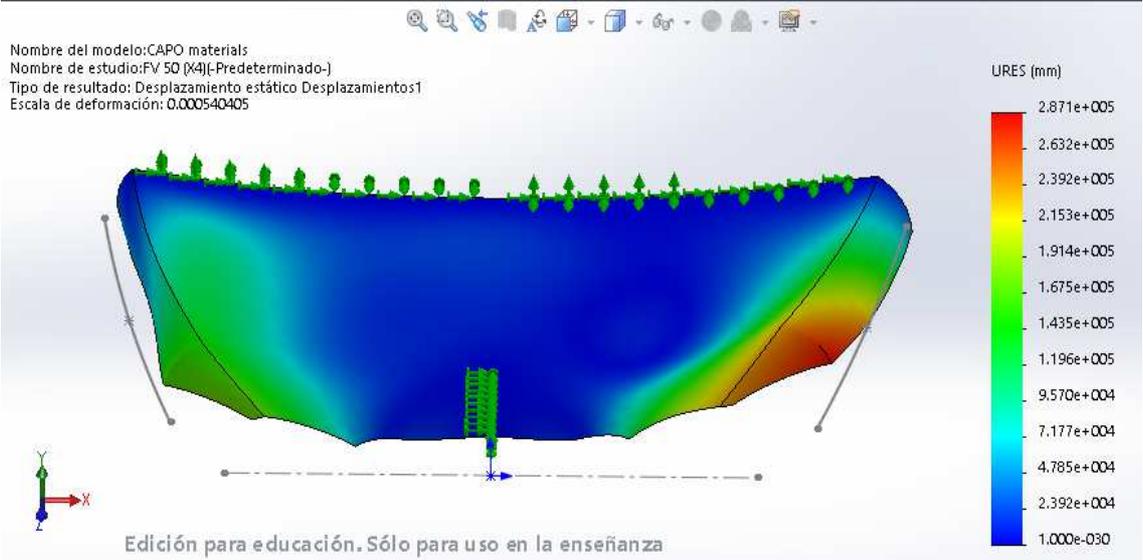
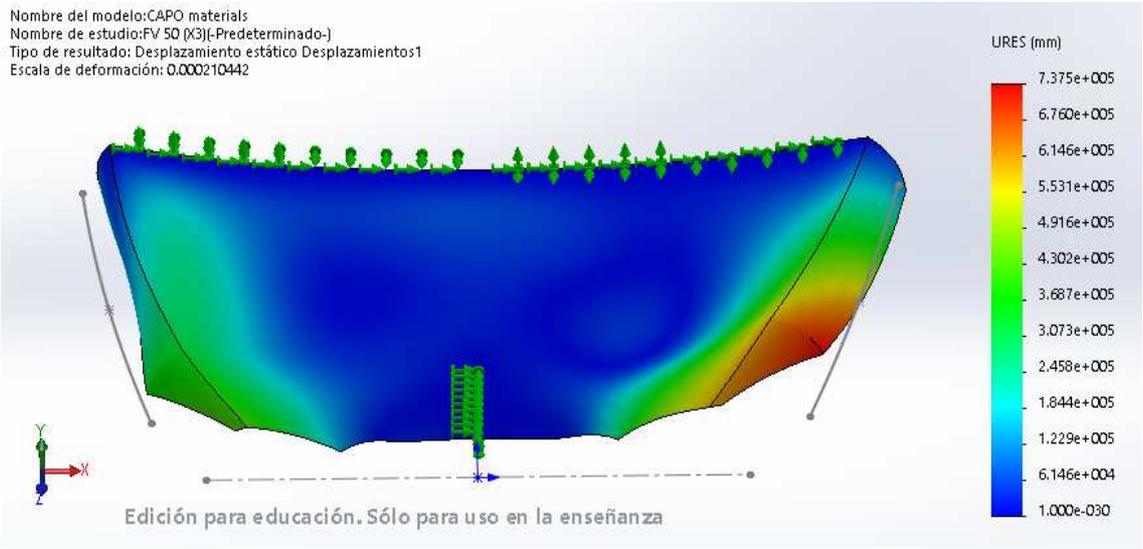
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 65% con 12 y 16 capas



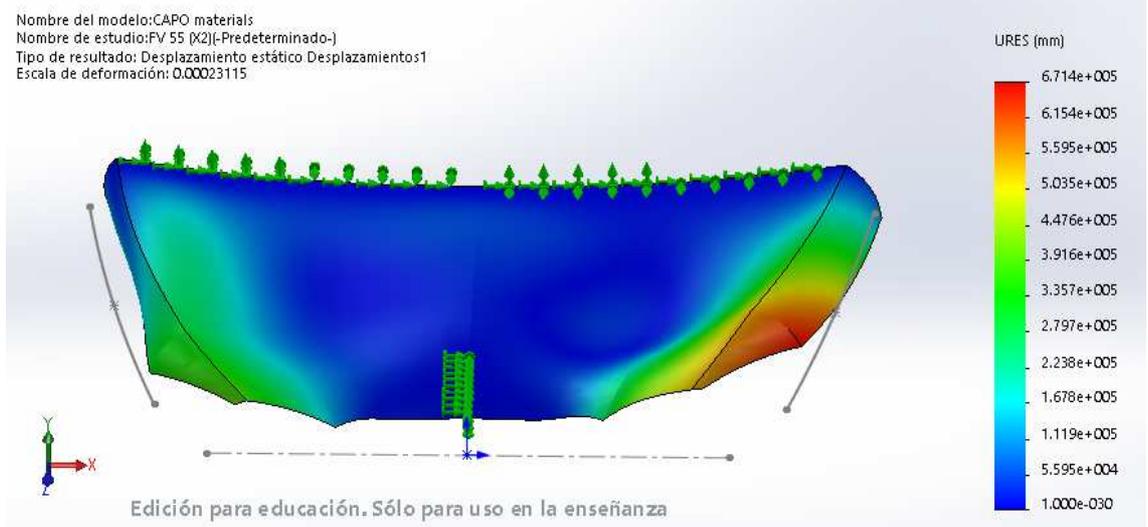
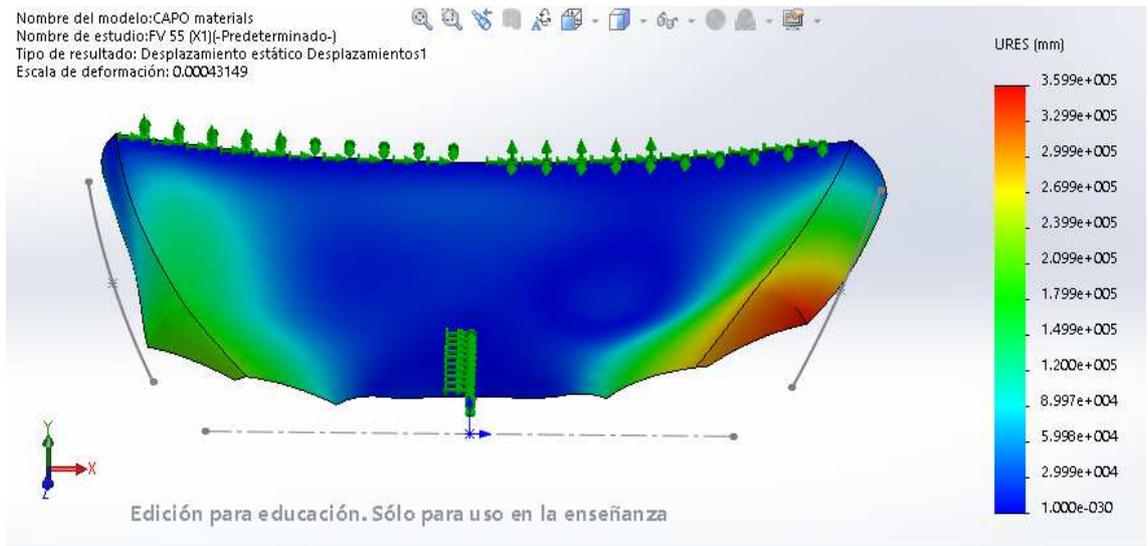
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de vidrio al 50% con 12 y 16 capas



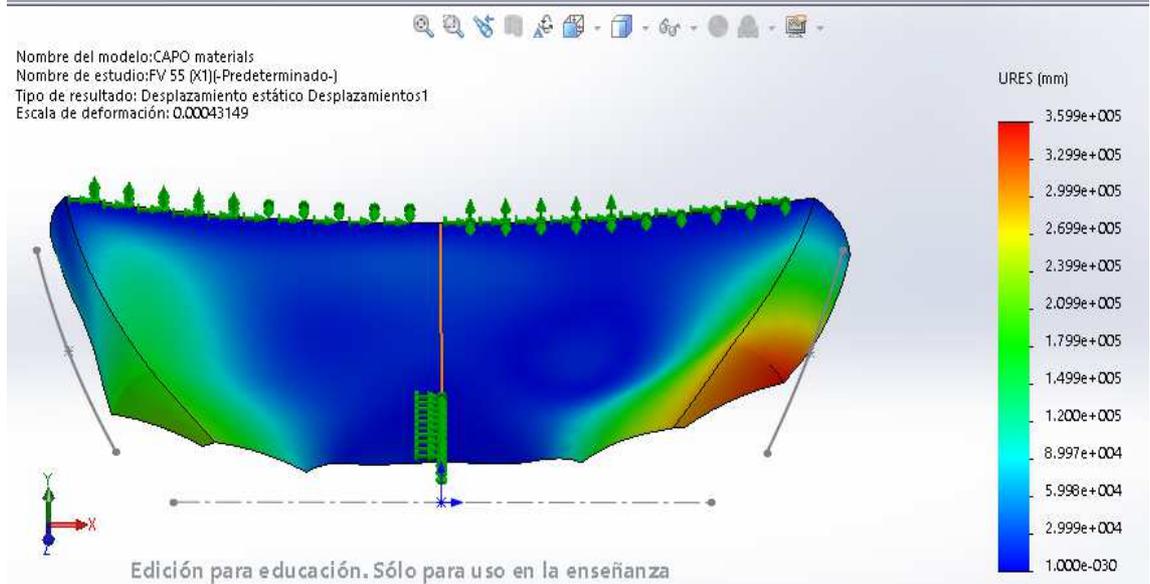
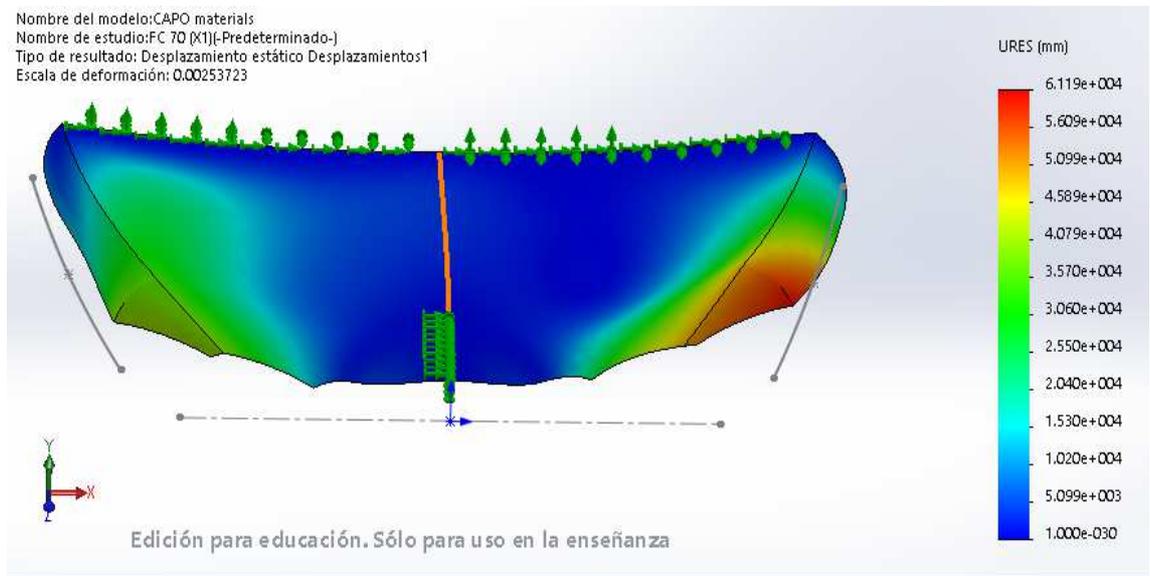
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de vidrio al 55% con 12 y 16 capas



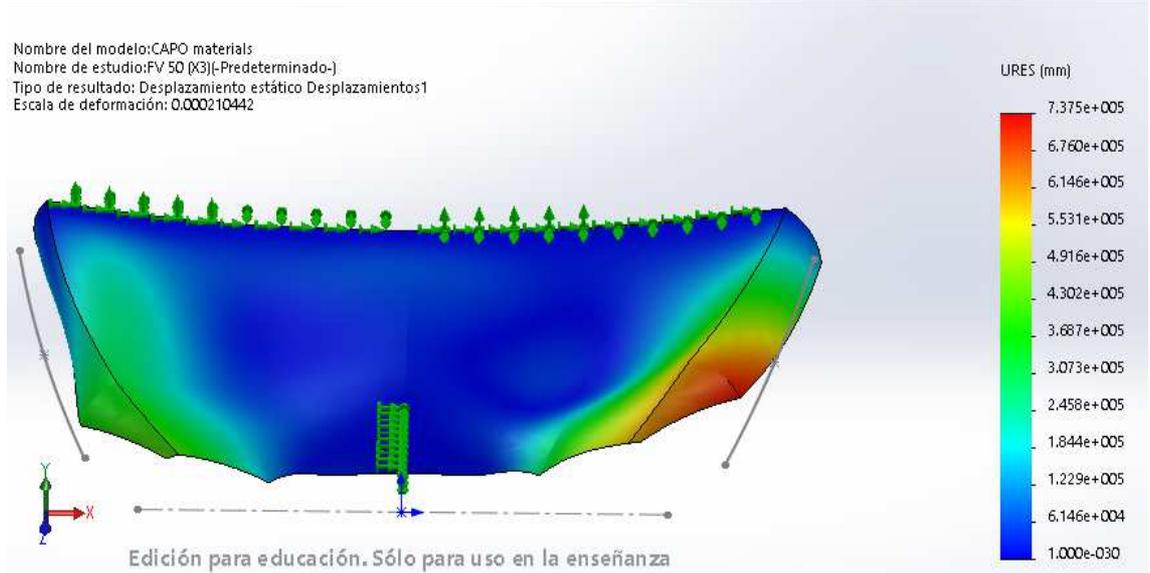
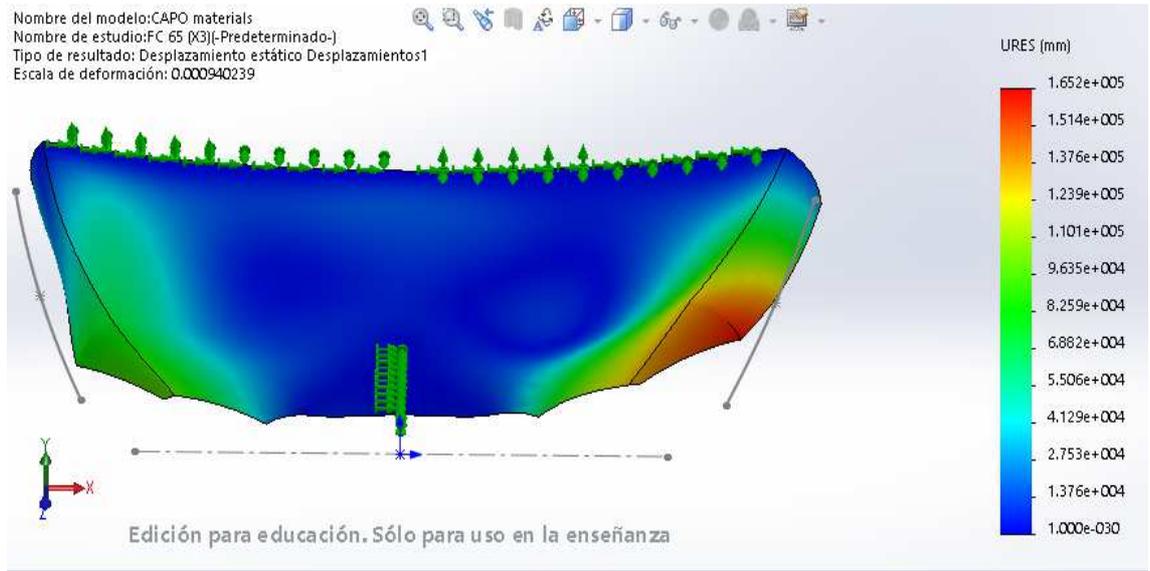
III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 70% y Fibra de vidrio al 55% (16 capas)



III. DISEÑO DEL CAPÓ

Fibra de carbono al 65% y Fibra de vidrio al 50% (12 capas)



III.5. CONCLUSIONES

Como se aprecia en los cálculos obtenidos, las deformaciones producidas por la fibra de carbono son mucho menores que las producidas por la fibra de vidrio. También se puede apreciar que, utilizando el mismo material, con 16 capas la deformación es menor que utilizando 12 capas. Pero si comparamos un capó de fibra de carbono con 12 capas y un capó de fibra de vidrio con 16 capas, el de carbono tiene menos deformaciones. Como conclusión se puede observar que da mejores resultados el uso de fibra de carbono que el aumento del número de capas.

Comparando resultados del uso solo de fibra de carbono con los resultados del uso combinado de ambas fibras, se observa que las deformaciones son muy parecidas, incluso siendo mejor en algunos casos que se combinan.

Con las conclusiones obtenidas del estudio y sabiendo que el precio de la fibra de carbono es bastante más elevado que el de la fibra de vidrio, la elección será fabricar un capó de 12 capas que combine ambas fibras colocando primero las capas de carbono y después las de vidrio.

III. DISEÑO DEL CAPÓ

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

FABRICACIÓN

DEL CAPÓ

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

IV.1. PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación, se detallará el proceso de fabricación del molde y del capo con material compuesto, formado por fibra de vidrio y fibra de carbono. Primero se fabricará el molde con fibra de vidrio utilizando el capo original como base, y sobre dicho molde, utilizando el mismo método que se ha explicado anteriormente en el moldeo por contacto manual (Imagen II.27), fabricaremos el capo final con el material compuesto elegido.

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

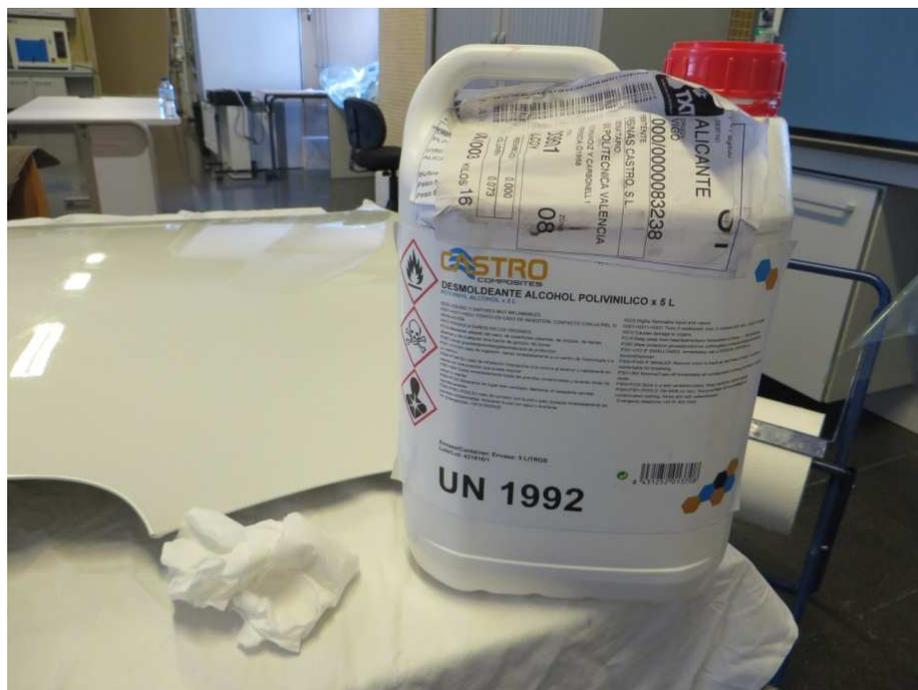
IV.1.1.Fabricación del molde

El primer paso es la limpieza de toda la superficie de la pieza. Para ello se pasa un papel mojado con metanol por toda la superficie del capó.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Una vez la pieza este limpia se unta toda la superficie con un desmoldeante, que facilitara la separación del molde y el capó.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

A continuación, se prepara el gelcoat con el que se cubrirá todo el capó. Para ello se pesa en una báscula una cantidad de 500gr aproximadamente de gelcoat. A este gelcoat se le ha de añadir una pequeña cantidad de octoato de cobalto al 6% y catalizador 205.



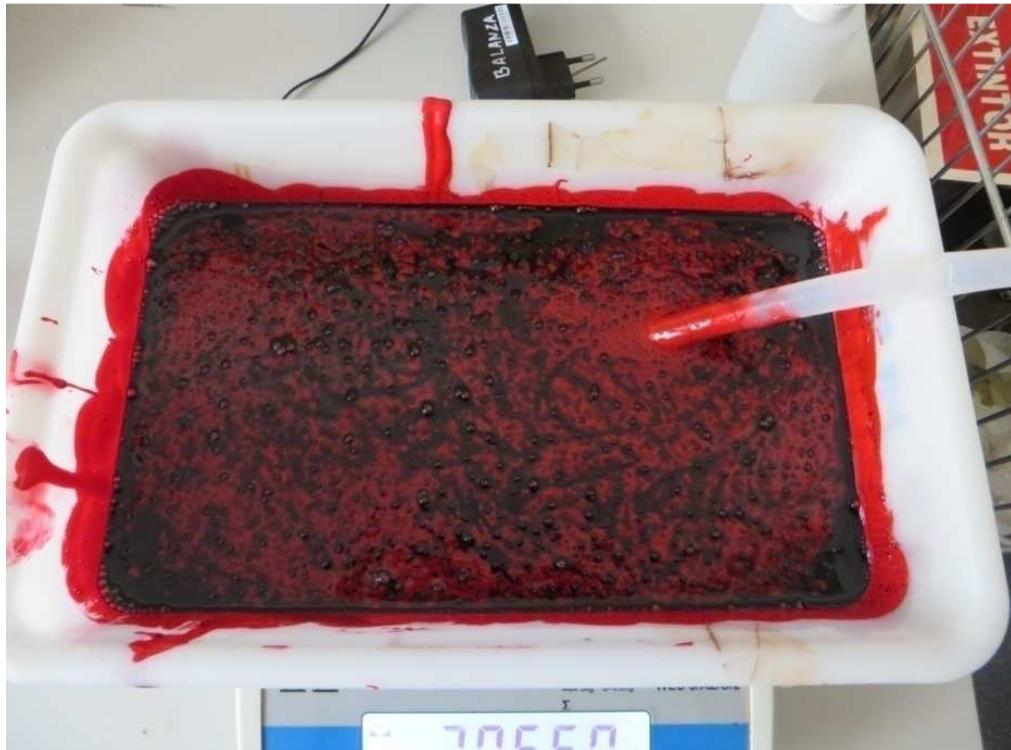
Para la mezcla se ha de usar la siguiente proporción:

Tabla IV.1. Proporción de los gramos necesarios para la mezcla del gelcoat con el octoato de cobalto y el catalizador.

1000 grs	Gelcoat RESICHIM GMV
4-6 grs	Octoato de cobalto al 6% (según T ^a ambiente)
15 grs	Catalizador 205

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Primero se añade el catalizador al gelcoat y se mezcla bien. Después se añade la cantidad correspondiente de octoato de cobalto y se vuelve a mezclar.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Una vez la mezcla esté preparada se pinta todo el capó con un rodillo. El gelcoat debe cubrir bien toda la superficie, evitando que se queden zonas con poco material que después den problemas al desmoldear.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Cuando esta toda la superficie cubierta lo dejamos secar unas 2 horas aproximadamente.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Antes de proceder a poner la fibra de vidrio se debe tapar los agujeros del capó con plastilina. Esto evitará que la resina entre en ellos y al desmoldear se puedan producir problemas.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Ahora si se procede a la fabricación del molde con la fibra de vidrio. Se fabricará un molde fino que nos permita desmoldear con facilidad utilizando una capa de velo de superficie y otra de mat de fibra de vidrio.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Primero ha de prepararse la resina con la que impregnaremos la fibra de vidrio. Esta resina epoxi está compuesta por Estireno y Anhídrido ftálico.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Para la fabricación del molde, primero se coloca un velo de superficie ya que al ser más fino se adapta mejor con las diferentes formas del capó, y a continuación se impregna todo con la resina preparada anteriormente. Acto seguido ha de realizarse el mismo proceso con el mat de fibra de vidrio. Una vez ha terminado dicho proceso se ha de dejar endurecer 24 horas aproximadamente.



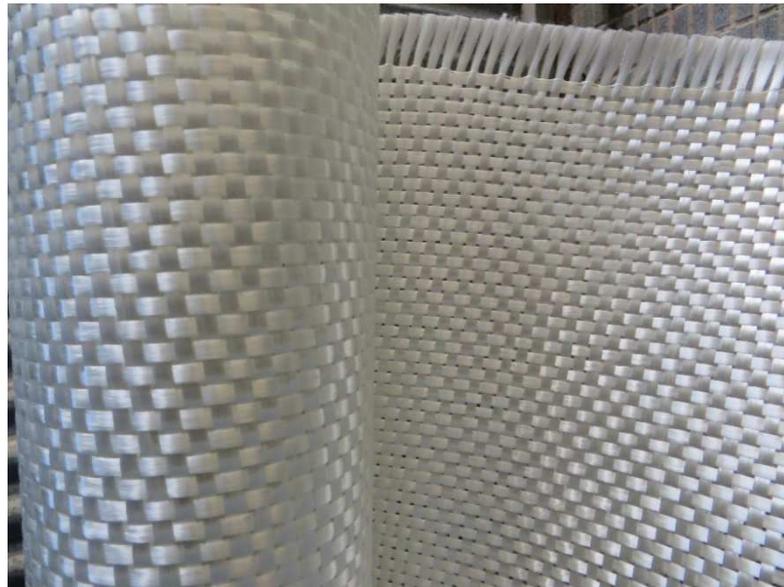
IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Pasado el tiempo de endurecimiento se procede al desmoldeado.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Como la fabricación del molde ha sido realizada solo con dos capas, para facilitar su desmoldeo, se añaden tiras de refuerzos con tejido de fibra de vidrio. Esto le dará mayor rigidez y evitará que se deforme.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

IV.1.2. Fabricación del capó con materiales compuestos.

Antes de colocar las capas que formaran el capó, ha de limpiarse la superficie del molde con Metanol y aplicar una capa de desmoldeante.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

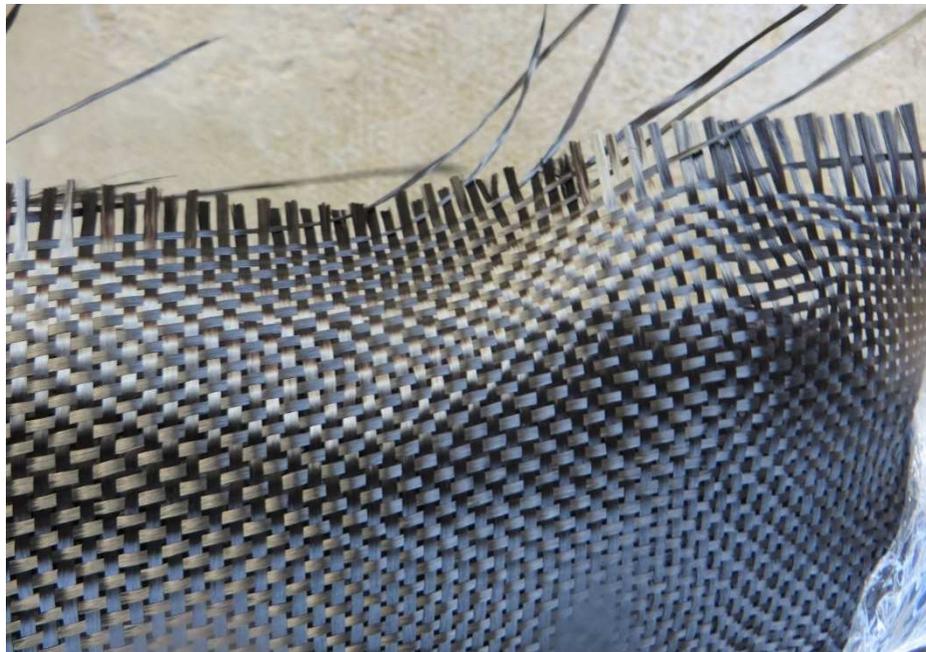
Después se le añadirá una capa de gelcoat incoloro. Esto le proporcionará un acabado superficial liso y permitirá que se aprecien las fibras aplicadas.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

El capo estará formado por distintas capas de fibra de carbono y de fibra de vidrio impregnadas con resina epoxi.

Primero se aplicarán las capas de fibra de carbono y se impregnarán con la misma resina utilizada en la fabricación del molde.



Primero se aplicarán las dos capas de fibra de carbono y se impregnarán con la misma resina utilizada en la fabricación del molde.

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Una vez endurecida la resina, para darle mayor espesor, y que se aproxime a los 3,5 mm del capo original, se añade las capas de fibra de vidrio y se impregna con resina.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Finalmente, cuando este todo endurecido se cortan las fibras sobrantes para que se quede con la forma original del capó.



IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

IV.2. COMPARCIÓN DEL CAPÓ ORIGINAL CON EL DE MATERIALES COMPUESTOS

El capó fabricado con materiales compuestos ha conseguido rebajar su peso en 12,3 Kg, pasando de los 16 Kg del capo de acero a los 3,7 Kg del capo de material compuesto. Esto supone una reducción de peso de casi un 77%.



IV.3. ESTUDIO ECONÓMICO

IV.3.1 Coste fabricación del capó

Como se ha dicho anteriormente, el capó está formado por distintas capas de tejido de fibra de carbono y de tejido de fibra de vidrio, impregnados con resina y una capa superficial de gelcoat incoloro.

Cada capa para cubrir el capó está formada aproximadamente por una longitud de 180 cm.

Precio del tejido de fibra de vidrio: 6,97 €



Referencia **WTV0800-5** 7 unidades en stock

800 g/m2 Tejido de Fibra de Vidrio
Tafetán

19,36 € con IVA
16,00 € sin IVA

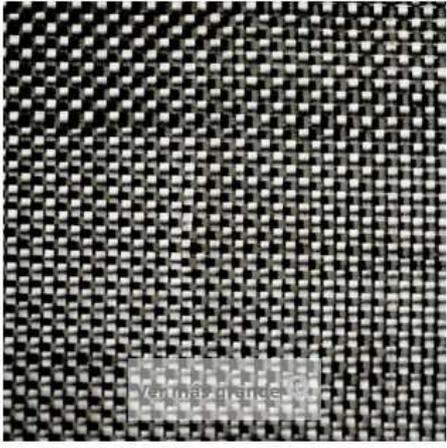
Suministro
5 m2

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

Ver más grande

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Precio del tejido de fibra de carbono: 84,95 €



Referencia **WFC160T-5** 6 unidades en stock

Tejido de carbono tafetán 3K de 160 g/m2

117,98 € con IVA
97,50 € sin IVA

Suministro
5 m2

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

De los botes del gelcoat incoloro y de la resina se utilizó aproximadamente el 50% de ellos.

Precio del gelcoat incoloro: 8,45 €



Referencia **WGC0006B-1** 10 unidades en stock

Crystic 65PA Gelcoat de Poliéster Isoftálico Incoloro Brocha

16,90 € con IVA
13,96 € sin IVA

Suministro
1 kg

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

IV. FABRICACIÓN DEL CAPÓ

Precio de la resina: 17,88 €



Referencia **WRP1155-5** 10 unidades en stock

Crystic U1155PAECC Resina de Poliéster de Bajo Contenido en Estireno

35,75 € con IVA
29,55 € sin IVA

Suministro
5 kg

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

Mostrar todas las imágenes

Tabla III.2. Precio de la fabricación del capó.

Material	Precio (€)
Tejido fibra de vidrio	6,97
Tejido fibra de carbono	84,95
Gelcoat incoloro	8,45
Resina	17,88
TOTAL	118,25

V. APÉNDICES

APÉNDICES

V.1. REFERENCIAS

V.1.1 Referencias de internet

<http://www.fibradecarbono.es>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es>

<http://ingemecanica.com>

<http://www.diariomotor.com>

<https://www.actualidadmotor.com/>

<http://www.quartus.com>

<https://www.castrocomposites.com/>

V. Apéndices

V.1.2 Referencias de libros

C. C. Chamis, Lewis Research Center "Simplified Composite Micromechanics Equations for Strength, Fracture Toughness, Impact Resistance and Environmental Effects"

AUTOMOCIÓN "Elementos amovibles y fijos no estructurales"

V. Apéndices

V.2. PLANOS ACOTADOS

