

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**“DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
DEPÓSITOS DE ALMACENAJE DE GAS NATURAL
COMPRESO CON MATERIALES COMPUESTOS PARA
COMBUSTIBLE EN VEHÍCULO TIPO TURISMO”**

Autor:

JORGE BARBERÁ IBORRA

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Dr. David García Sanoguera

Mayo 2018

RESUMEN

“DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE DEPÓSITOS DE ALMACENAJE DE GAS NATURAL COMPRIMIDO CON MATERIALES COMPUESTOS PARA COMBUSTIBLE EN VEHÍCULO TIPO TURISMO”

En el siguiente proyecto, se lleva a cabo un estudio técnico-económico sobre un sistema de depósitos para almacenar gas natural comprimido en un vehículo, con el objetivo de aumentar la autonomía inicial del mismo en un 50% y reducir el peso de los depósitos adicionales.

Se desarrolla una introducción sobre el gas natural, formas de almacenarlo, usos y evolución histórica. Este combustible cuenta con muchas reservas no explotadas, tiene un bajo precio debido a los impuestos y, en referencia a las emisiones, emite hasta un 20% menos de CO₂ que la gasolina. También se lleva a cabo una breve introducción a los materiales compuestos ya que se pretende fabricar dicho depósito utilizando este tipo de materiales. Además, merece la pena destacar que estos materiales están teniendo un uso creciente en la actualidad, y en un futuro incluso podrán sustituir a otros materiales que se utilizan tradicionalmente.

A continuación, se estudia qué tipo de depósitos existe en el mercado y qué coste tienen. Seguidamente se plantean unos objetivos a alcanzar en el proyecto.

Una vez determinados los objetivos, se determina el volumen de gas natural comprimido para aumentar la autonomía. A partir de la cantidad de ese combustible y la geometría del vehículo para albergar los depósitos, se diseña el depósito y se abordan tres posibles dimensiones aptas para albergar el combustible.

Después se preseleccionan tres materiales según normativa y se llevan a cabo diversos ensayos estáticos y de impacto mediante herramientas FEM con SolidWorks para definir el material que mejor cumpla con los requisitos mencionados anteriormente.

Finalmente, se lleva a cabo un pre estudio económico previo a la fabricación en el que se estima el coste de la pieza en función del tiempo de amortización y el n^o de piezas fabricadas al año.

SUMMARY

“DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF A SYSTEM OF NATURAL GAS STORAGE DEPOSITS COMPRESSED WITH COMPOUND MATERIALS FOR FUEL IN A TOURIST TYPE VEHICLE”

In the following work, a technical-economic study will be carried out on a deposit system to store compressed natural gas in a vehicle, with the aim of increasing the initial autonomy of the vehicle by 50% and reducing the weight of the additional deposits.

This work consists on a short introduction about natural gas, ways of storing it, uses and historical evolution. This fuel has many unexploited reserves, low price due to taxes and, with regard to its emissions, it is worthy to note that it emits up to 20% less CO₂ than gasoline. Additionally, a brief description of composite materials is given in this work since this work explores the potential use of composite materials to manufacture a CNG fuel tank. It is important to remark that the use of composite materials is currently increasing and, in a near future, composite materials will substitute other materials in engineering applications.

Then, a brief description about these tanks (shapes, geometry, pressures, cost, and so on), is given. Then, some objectives to achieve the main goal of the project are defined.

Once the objectives are described, the total volume of compressed natural gas needed to increase the autonomy by 50% is calculated. After this, three potential dimensions for the tank are evaluated and finally, one of these dimensions is selected.

Then three different materials are chosen according to regulations and various static and impact tests are carried out with finite element tools (FEM) with SolidWorks to select the material that best fits the requirements above mentioned.

Finally, an economic study is carried out to assess costs and market price according to the amortization time and the number of pieces manufactured per year.

RESUM

“DESENVOLUPAMENT I OPTIMITZACIÓ D'UN SISTEMA DE DIPÒSITS D'EMMAGATZEMATGE DE GAS NATURAL COMPRIMIT AMB MATERIALS COMPOSTOS PER A COMBUSTIBLE EN VEHICLE TIPUS TURISME”

En el següent treball es realitza un estudi tècnic-econòmic sobre un sistema de dipòsit per emmagatzemar gas natural comprimit en un vehicle, amb l'objectiu d'augmentar l'autonomia inicial del vehicle en un 50% i reduir el pes dels dipòsits addicionals.

El treball consta d'una introducció sobre el gas natural, les formes d'emmagatzemar-la, els usos i l'evolució històrica. Aquest combustible té moltes reserves sense explotar, un preu baix a causa d'impostos i, en referència a les emissions, emet un 20% menys de CO₂ que la gasolina. També es contempla una breu introducció als materials compostos ja que es pretén fabricar el dipòsit amb materials compostos. És important ressaltar que l'ús dels materials compostos està incrementant en els últims anys i, en un futur pròxim, aquests substituiran d'altres materials en enginyeria.

A continuació, s'estudia quin tipus de dipòsits existeixen al mercat i quin valor econòmic tenen. Després, es plantegen alguns objectius a seguir en el projecte.

Una vegada determinats els objectius, es calcula el volum de gas natural comprimit per a augmentar l'autonomia. A partir de la quantitat d'aquest combustible i la geometria del vehicle per albergar els tancs, es treballa sobre tres possibles dimensions per al dipòsit, de les quals una serà seleccionada.

A continuació, es pre-trien tres materials segons la normativa i es realitzen diverses proves estàtiques i d'impacte amb eines d'elements finits (FEM) amb SolidWorks per tal de seleccionar el material que millor s'adapte als requisits esmentats.

Finalment, es du a terme un estudi econòmic per poder llançar la peça al mercat en què es calcularà el cost i preu de la peça segons el temps d'amortització i el nombre de peces fabricades per any.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	13
LISTADO DE FIGURAS	17
LISTADO DE TABLAS.....	25
I. INTRODUCCIÓN	27
I.1. GAS NATURAL COMPRIMIDO.	29
I.1.1. Definición y evolución histórica.....	29
I.1.2. Formas de almacenamiento del gas natural comprimido	32
I.1.3. Usos del gas natural.....	35
I.1.3. GNC para depósitos de combustible.....	36
<i>I.1.3.1. Definición de depósito de combustible.....</i>	<i>36</i>
<i>I.1.3.2. Tipos de materiales para depósitos.</i>	<i>37</i>
<i>I.1.3.3. Tipos de vehículos que funcionan con gas natural.....</i>	<i>37</i>
<i>I.1.3.4. Zonas de repostaje de gas natural.</i>	<i>39</i>
I.2. MATERIALES COMPUESTOS.....	41
I.2.1. Definición y evolución histórica.....	41
I.2.2. Tipologías de materiales compuestos.	42
I.2.3. Matrices para materiales compuestos.	44
<i>I.2.3.1. Matrices cerámicas.....</i>	<i>44</i>
<i>I.2.3.2. Matrices orgánicas.</i>	<i>45</i>
<i>I.2.3.3. Matrices metálicas.</i>	<i>49</i>

I.2.4. Fibras.....	49
I.2.4.1. Fibras orgánicas.....	50
I.2.4.2. Fibras inorgánicas.....	51
I.2.5. Procesos de conformado de materiales compuestos.....	52
I.2.5.1. Moldeo por colocación manual.....	52
I.2.5.2. Bobinado de filamentos.....	53
I.2.5.3. Moldeo a vacío a presión de aire.....	54
I.2.5.4. Moldeo en autoclave.....	55
I.2.5.5. Compresión en caliente.....	56
I.2.5.6. RTM.....	58
I.2.5.7. Pultrusión.....	58
I.3. ESTUDIO DE MERCADO.....	61

II. OBJETIVOS.....67

II.1. OBJETIVO GENERAL.....	69
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	69

III. DESARROLLO PROYECTO.....73

III.1. CÁLCULOS.....	75
III.2. INTRODUCCIÓN.....	79
III.3. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	81
III.4. NORMATIVA APLICABLE.....	97
III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES..	101
III.5.1. Análisis estático.....	101
III.5.2. Análisis de impacto.....	102
III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	103

III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.	111
III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.....	113
III.8.1. Simulación estática.	113
III.8.1.1. Aplicación de materiales(Acero).	115
III.8.1.2. Aplicación de materiales(Aluminio).	128
III.8.1.2. Aplicación de materiales (Material compuesto).	131
III.8.2. Simulación de impacto.	139
III.9. DISEÑO FINAL.....	147
III.10. FABRICACIÓN.	151
III.10.1. Inyección-Soplado.	151
III.10.2. Bobinado de filamentos.	152
III.11. ESTUDIO ECONÓMICO.....	157
III.11.1. Coste del liner de HDPE.....	157
III.11.2. Coste del laminado de material compuesto.	159
IV. APÉNDICES.....	163
IV.2. ANEXOS.....	165
IV.2.1. Información del laminado.....	165
IV.2.2. Propiedades del material.	168
IV.2.3. Cargas y sujeciones.	169
IV.2.4. Fuerzas resultantes.....	169
IV.2.5. Cálculos del material.	170
IV.3. NORMATIVA.....	171
IV.4. PLANOS ACOTADOS.....	173

ABREVIATURAS

AISI	Norma que clasifica los aceros y aleaciones.
AMG	Versión de vehículo de altas prestaciones.
CH ₄	Metano.
C ₂ H ₆	Etano.
C ₃ H ₈	Propano.
C ₄ H ₁₀	Butano.
CO	Monóxido de carbono.
CO ₂	Dióxido de carbono.
E	Módulo de Young.
ECE	Comisión Económica para Europa.
E _{f11}	Módulo de Young longitudinal de la fibra.
E _{f22}	Módulo de Young transversal de la fibra.
E _m	Módulo de elasticidad de la matriz.
E _p	Energía potencial.
FS	Factor de Seguridad.
g	Gravedad.
G ₁₂	Módulo de cortadura longitudinal.
G ₂₃	Módulo de cortadura transversal.
GLE	Modelo de vehículo.
GLP	Gas licuado de petróleo.

G_m	Módulo de cortadura de la matriz.
GNC	Gas natural comprimido.
GNV	Gas natural vehicular.
h	Altura.
H_2	Hidrógeno.
HDPE	Polietileno de alta densidad.
H-Gas	Alto poder calorífico.
H_2O	Agua.
ISO	Organización internacional para la estandarización.
ITV	Inspección técnica de vehículos.
L_e	Límite elástico.
L-Gas	Bajo poder calorífico.
m	Masa.
MEC	Motor con encendido por compresión.
MEP	Motor con encendido provocado.
Mgn	Masa del gas natural.
n	Número de moles.
N_2	Nitrógeno.
P	Presión.
P_1	Tensión principal en la dirección 1.
P_2	Tensión principal en la dirección 2.

P_3	Tensión principal en la dirección 3.
PA	Poliamida.
PC	Policarbonato.
PEEK	Poliéter-éter cetona.
PEI	Poliéter imida.
POM	Polióxido de metileno.
PSU	Polisulfona.
PP	Polipropileno.
r	Densidad del material compuesto.
RTM	Resin transfer molding.
Rgn	Constante del gas natural.
Ri	Radio interno.
Ru	Constante.
S_{xy}	Tensión de rotura a cortadura del compuesto.
S_{mC}	Límite de rotura de compresión de la matriz.
S_{mS}	Límite de rotura de cortadura de la matriz.
S_{mT}	Límite de rotura de tracción de la matriz.
SO ₂	Dióxido de azufre.
T	Temperatura.
V	Volumen.
ν_{12}	coeficiente de Poisson longitudinal.

v_{23}	Coeficiente de Poisson transversal.
V_f	Volumen de fibras.
v_m	Coeficiente de Poisson de la matriz.
V_T	Volumen total.
VTP	Valor técnico ponderado.
X_c	Límite elástico a compresión.
X_{ft}	Límite elástico a tracción de la fibra.
X_{fc}	Límite elástico a compresión de la fibra.
X_t	Límite elástico a tracción.
Y_c	Límite elástico a compresión en la dirección 2.
Y_t	Límite elástico a tracción en la dirección 2.
Z	Factor de compresibilidad.
ρ	Densidad.
ρ_f	Densidad de la fibra.
ρ_m	Densidad de la matriz.

LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Ubicación depósitos de GNC en un turismo.	31
Figura I.2. Estudio comparativo de las reservas de gas natural a nivel mundial.	32
Figura I.3. Esquema de funcionamiento de un sistema de combustión con GNC.	35
Figura I.4. Zonas de repostaje de GNC en España.	39
Figura I.5. Paneles tipo sándwich.	42
Figura I.6. Laminado de fibra de carbono.....	43
Figura I.7. Compuesto reforzado con partículas.....	43
Figura I.8. Ejemplo de matriz cerámica.....	45
Figura I.9. Representación esquemática del proceso de entrecruzamiento para la formación de una resina termoestable.	46
Figura I.10. Clasificación de los materiales termoplásticos en función de su naturaleza biodegradable y su origen.....	47
Figura I.11. Ejemplo de matriz elastómera derivada del caucho natural.....	49
Figura I.12. Operarios realizando el proceso de conformado de moldeo manual.....	53
Figura I.13.Representación del proceso bobinado de filamentos.	54
Figura I.14. Representación del proceso moldeo a vacío a presión de aire.....	55
Figura I.15.Representación del proceso con autoclave.	56
Figura I.16.Representación del proceso moldeo por compresión en caliente de un preimpregnado.	57
Figura I.17.Representación del proceso moldeo por compresión en caliente de un compuesto.	57
Figura I.18. Representación del proceso moldeo por RTM.	58
Figura I.19. Representación del proceso pultrusión.....	59
Figura I.20. Tipos de depósitos según normativa UNE EN ISO11439.....	61

Figura I.21. Tipo de depósito 3 según normativa.	62
Figura I.22. Depósito tipo 1.....	63
Figura I.23. Depósito tipo 2 con refuerzo de fibra de vidrio.	64
Figura I.24. Depósito tipo 3 con refuerzo de fibra de carbono.....	65
Figura II.1. Diagrama, que muestra el proceso de ejecución del proyecto.....	70
Figura III.2. Dimensiones principales del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.....	80
Figura III.3. Dimensiones principales desde arriba del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.	80
Figura III.4. Condiciones de anclaje según normativa ECE R115.....	81
Figura III.5. Vista completa del maletero del vehículo.	82
Figura III.6. Ecuaciones para determinar el volumen total de un cilindro manualmente.	83
Figura III.7. Representación del croquis inicial.....	84
Figura III.8. Cilindro macizo.....	84
Figura III.9. Representación gráfica de la activación de la herramienta “Simulation” . .	85
Figura III.10. Representación gráfica de la selección del estudio de diseño.	86
Figura III.11. Representación de las variables, restricciones y objetivos a definir.	86
Figura III.12. Representación gráfica de la vista de sección.....	87
Figura III.13. Selección de las variables a optimizar.....	87
Figura III.14. Rango de valores y valor de paso de las variables a optimizar según la restricción de la geometría del doble fondo.	88
Figura III.15. Selección del volumen de la pieza para poder optimizarlo.....	88
Figura III.16. Dimensiones óptimas para almacenar el máximo volumen en esas dimensiones.	89
Figura III.17. Rango de valores y valor de paso de las variables a optimizar según la restricción de la geometría del doble fondo con un radio más limitado que el estudio anterior.....	89

Figura III.18. Restricciones de la longitud y radio del depósito para poder introducirlo en el doble fondo.	89
Figura III.19. Objetivo, para albergar los 150 L calculados.....	90
Figura III.20. Dimensiones óptimas según el segundo estudio de diseño.	90
Figura III.21. Rango de valores y valor de paso de las variables del diseño 3 a optimizar según las dimensiones del maletero.	90
Figura III.22. Objetivo, albergar el volumen de combustible total, en el diseño 3.....	91
Figura III.23. Dimensiones óptimas según el tercer estudio de diseño.	91
Figura III.24. Representación de la realización del espesor inicial.....	92
Figura III.25. Representación del croquis con los bordes cerrados para poder formar un sólido.	92
Figura III.26. Representación, de la operación de la “Revolución de saliente/base” para formar un sólido.	93
Figura III.27. Comprobación con la vista de sección para ver que se ha formado el sólido con espesor.	94
Figura III.28. Selección del plano para dibujar los anclajes.....	94
Figura III.29. Representación de los anclajes con sus acotaciones.....	95
Figura III.30. Selección de la cara a proyectar los anclajes.	96
Figura III.31. Croquis con los anclajes definidos.	96
Figura III.32. Gráfica, que muestra las emisiones desde la normativa EURO 1 hasta la EURO 6.	99
Figura III.33. Representación que muestra el valor técnico ponderado sobre los distintos materiales.	104
Figura III.34. Propiedades del Acero AISI 4340 normalizado.....	105
Figura III.35. Propiedades del Aluminio 2014-T6.....	105
Figura III.36. Aplicación del filtro del porcentaje de fibras para buscar el material compuesto a emplear.....	106

Figura III.37. Aplicación del filtro de un intervalo de densidad relativamente baja. ...	106
Figura III.38. Aplicación del filtro de un mínimo límite elástico alto para buscar un material que aguante las características de diseño.	106
Figura III.39. Representación de los cuatro posibles materiales compuestos que cubren las propiedades elegidas a través del software CesEdupack.	107
Figura III.40. Precio de la fibra de carbono de alta resistencia.	107
Figura III.41. Precio de la fibra de carbono de ultra alto módulo.	108
Figura III.42. Depósitos con sus correspondientes correas de fijación.	111
Figura III.43. Representación del asesor de estudios.	113
Figura III.44. Representación del estudio de un análisis estático.	114
Figura III.45. Elección del acero para realizar un análisis estático.	115
Figura III.46. Selección de las sujeciones en este estudio.	116
Figura III.47. Representación de la vista de sección para poder aplicar la presión interna.	116
Figura III.48. Representación de la presión interna.	117
Figura III.49. Ejecución de la malla.	118
Figura III.50. Representación de la malla finalizada.	118
Figura III.51. Representación del icono para ejecutar el estudio.	119
Figura III.52. Opciones del trazado de las tensiones.	119
Figura III.53. Representación de los valores de las tensiones en tipo flotante.	120
Figura III.54. Representación del tipo de sensor para realizar el nuevo estudio de diseño para optimizar el espesor.	121
Figura III.55. Representación de la tensión por criterio de Von Mises en el diseño de la opción 1.	122
Figura III.56. Representación del factor de seguridad en el ensayo de la primera opción con el acero.	122
Figura III.57. Representación del diseño final con las dimensiones de sus anclajes.	123

Figura III.58. Representación de la tensión del diseño final.....	124
Figura III.59. Representación de los desplazamientos.	124
Figura III.60. Representación de las deformaciones unitarias.	125
Figura III.61. Representación del factor de seguridad con el espesor inicial de 10 mm.	125
Figura III.62. Representación del estudio de diseño para calcular el espesor óptimo..	126
Figura III.63. Representación de la tensión con el espesor optimizado del diseño final con acero.	126
Figura III.64. Representación de los desplazamientos en el diseño final con acero con el espesor optimizado.	127
Figura III.65. Representación de las deformaciones unitarias en el diseño final con acero con el espesor optimizado.....	127
Figura III.66. Representación del factor de seguridad en el diseño final con acero con el espesor optimizado.	128
Figura III.67. Estudio de diseño con el aluminio para obtener un factor de seguridad de 1,5.....	128
Figura III.68. Representación de la tensión en el diseño final con aluminio.....	129
Figura III.69. Representación de los desplazamientos en el diseño final con aluminio.	129
Figura III.70. Representación de las deformaciones unitarias en el diseño final con aluminio.	130
Figura III.71. Representación del factor de seguridad en el diseño final con aluminio.	130
Figura III.72. Representación del croquis para luego, insertar una superficie.	131
Figura III.73. Representación del croquis final para el material compuesto.....	132
Figura III.74. Representación de la creación del laminado mediante definición de elementos SHELL.	133
Figura III.75. Representación de la equidistancia.	134

Figura III.76. Representación de la tensión principal 1 en el material compuesto.....	135
Figura III.77. Representación de la tensión principal 2 en el material compuesto.....	135
Figura III.78. Representación de la tensión principal 3 en el material compuesto.....	136
Figura III.79. Representación de las deformaciones unitarias en el material compuesto.	137
Figura III.80. Representación de los desplazamientos en el material compuesto.....	138
Figura III.81. Representación del factor de seguridad en el material compuesto.....	138
Figura III.82. Representación de la selección del ensayo de impacto.	140
Figura III.83. Representación de la malla realizada para el ensayo de impacto.....	141
Figura III.84. Representación de la configuración del análisis de impacto.....	142
Figura III.85. Representación de la tensión principal 1 en el ensayo de impacto en el material compuesto.....	143
Figura III.86. Representación de la tensión principal 2 en el ensayo de impacto en el material compuesto.....	143
Figura III.87. Representación de la tensión principal 3 en el ensayo de impacto en el material compuesto.....	144
Figura III.88. Representación de las deformaciones unitarias en el ensayo de impacto en el material compuesto.....	145
Figura III.89. Representación de los desplazamientos en el ensayo de impacto en el material compuesto.....	146
Figura III.90. Representación gráfica de la ubicación de los depósitos de combustible en el maletero.....	148
Figura III.91. Representación del proceso de inyección-soplado.	151
Figura III.92. Representación del proceso de bobinado de filamentos.....	153
Figura III.93. Representación del proceso de bobinado de filamentos con los nombres de todos los componentes.	154
Figura III.94. Masa del liner de HDPE.	157

Figura III.95. Herramienta para realizar un estudio económico.....	157
Figura III.96. Representación de los detalles del liner interior de HDPE del estudio económico.....	158
Figura III.97. Representación de la creación del material compuesto mediante CesEdupack.....	159
Figura III.98. Representación de los detalles del laminado de material compuesto del estudio económico.....	160

LISTADO DE TABLAS

Tabla I.1. Características principales de los gases empleados según la calidad del gas natural.....	30
Tabla I.2. Vehículos existentes en el mercado que funcionan con GNC.....	38
Tabla I.3. Tipos de matrices empleados en la fabricación de materiales compuestos. ..	45
Tabla I.4. Ventajas y desventajas de las matrices termoplásticas.	48
Tabla I.5. Tipos y características mecánicas de fibras orgánicas.....	50
Tabla I.6. Distintas fibras inorgánicas y su designación.	51
Tabla I.7. Distintos procesos de conformado de materiales poliméricos.	52
Tabla I.8. Características técnicas de un depósito tipo 3 con fibra de carbono.....	62
Tabla III.1. Dimensiones principales del maletero del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.	79
Tabla III.2. Propiedades de la matriz epoxi cycloaliphatic.....	108
Tabla III.3. Propiedades de la fibra de carbono de alta resistencia de 5 micras.	108
Tabla III.4. Propiedades del compuesto extraídas mediante el modelo micromecánico de Chamis.....	109
Tabla III.5. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo.	134
Tabla III.6. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo con valores.	136
Tabla III.7. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo en el ensayo de impacto...	145
Tabla III.8. Comparación de los tres materiales.....	147
Tabla III.9. Ventajas y desventajas del proceso Bobinado de filamentos.	155
Tabla III.10. Precio del primer material.	159
Tabla III.11. Precio del segundo material.	160
Tabla III.12. Precio total de la pieza.....	161
Tabla III.13. Precio total de la pieza fabricando solo dos al año.....	161

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I.1. GAS NATURAL COMPRIMIDO.

I.1.1. Definición y evolución histórica.

El gas natural tiene un gran auge en la actualidad, además, es una gran fuente de energía fósil. Es un combustible muy limpio en comparación con otros combustibles, y también emite unas cantidades bajas de CO₂.

El hidrógeno (H₂) y el gas natural comprimido (GNC) son combustibles alternativos que se utilizan para reducir emisiones de gases contaminantes, por ejemplo, el efecto invernadero. También para reducir emisiones de los gases nocivos y los costes de combustible.

Este combustible posee mucha eficiencia en cuanto a la energía que tiene debido a la composición química. Además, teniendo en cuenta la economía, se ahorra un 35% frente al gasoil y un 50% frente a la gasolina. Frente a la normativa Euro 4, este gas produce menos gases nocivos que el resto de combustibles fósiles, además no genera azufre. Teniendo en cuenta el consumo de combustible, un coche que tenga un tamaño normal, consume 3,5 kg en 100 km de este combustible comprimido, y este gas vale más o menos 0,890 euros el kilo, es decir, en 100 km el gasto en combustible será de aproximadamente 3,12 €, por tanto, ofrece un coste muy favorable.

En cuanto a la seguridad, el GNC se inflama a unos 600 °C y la gasolina a unos 315 °C, es decir, existe menos riesgo de que se prenda fuego el vehículo.

El GNC es un combustible que se considera como una posible alternativa frente a los que se explotan hoy en día. Es relativamente económico y se puede nombrar como GNC o GNV. Hoy en día existen yacimientos de GNC por todo el mundo. Es un combustible de origen orgánico. Principalmente está formado de metano (CH₄ 80-99%) que es un compuesto orgánico con un átomo de carbono y 4 de hidrógeno. Para poder utilizarlo en motores de combustión interna no es necesario refinarlo, ya que, cuando se extrae del medio ambiente está en condiciones de ser usado. Según el yacimiento del

I. Introducción

que se obtenga, se tendría que someter a una deshidratación, a diferencia de la gasolina o del gasóleo, que precisan de un depuramiento ya que se tienen que conseguir a partir del petróleo. Normalmente este gas se almacena a altas presiones, situadas entre 200 y 250 bar.

Se pueden encontrar dos tipos de gas natural según su poder específico, H-Gas y L-Gas. A continuación, se adjunta una tabla que muestra los dos tipos de gas y sus respectivos poderes caloríficos, así como la composición de cada uno de ellos.

Tabla I.1. Características principales de los gases empleados según la calidad del gas natural.

Calidad del gas	H-gas	L-gas
Poder calorífico (kWh/m ³)	10	8,9
Metano(CH ₄) [%vol]	97,8	86,8
Etano [C ₂ H ₆]		
Propano [C ₃ H ₈] [%vol]	1,3	6,7
Butano [C ₄ H ₁₀]		
Nitrógeno [N ₂] [%vol]	0,8	2,7
Dióxido de carbono [CO ₂] [%vol]	0,1	1,0

Este gas es uno de los combustibles menos contaminantes, por tanto, es una buena opción darle uso en el sector de la automoción. En España este tipo de combustible no es muy común ya que existen muy pocas zonas en las que se pueda repostar. Los vehículos que funcionan con GNC necesitan dos depósitos distintos para poder funcionar, es decir, gas y gasolina.

I. Introducción

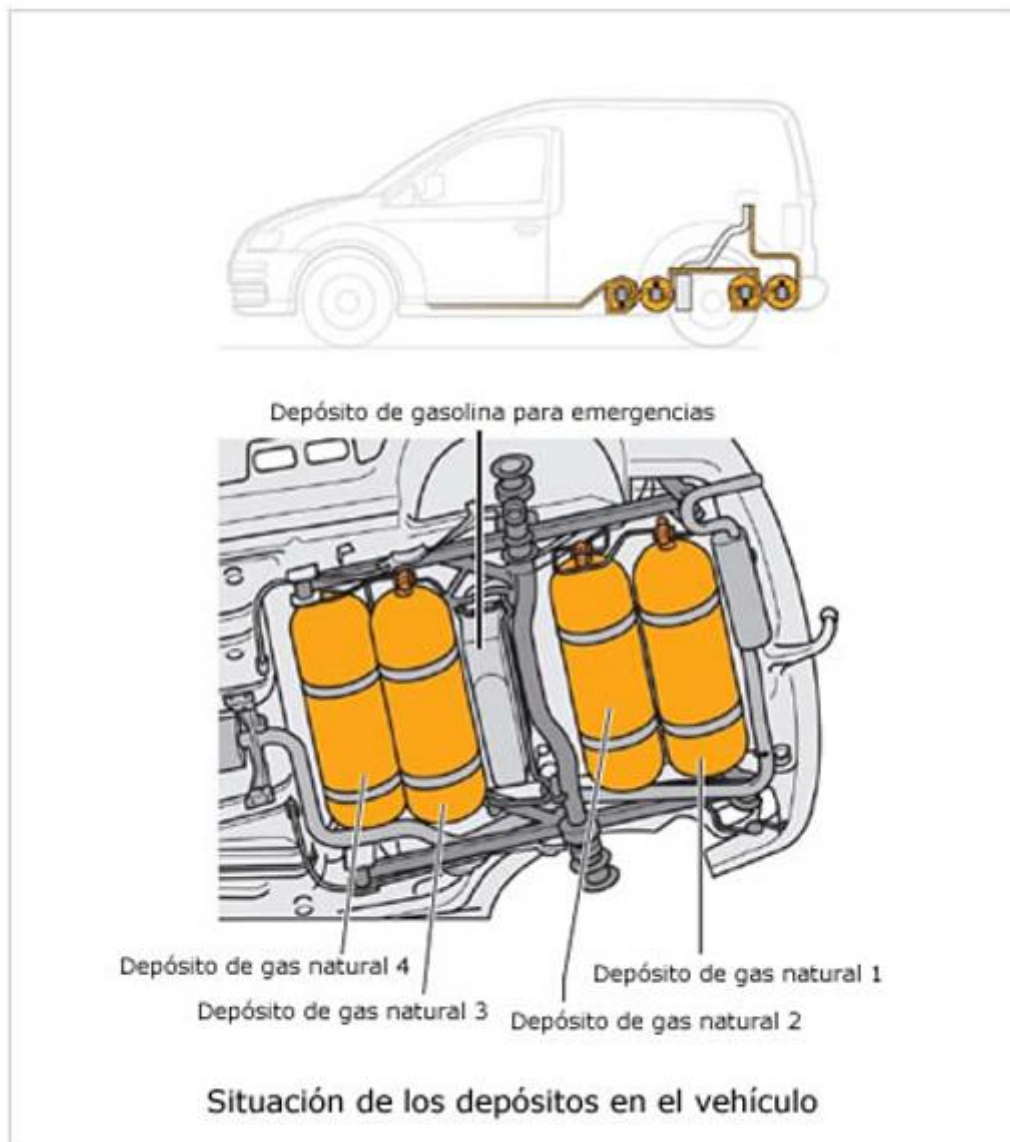


Figura I.1. Ubicación depósitos de GNC en un turismo. ¹

¹ www.aficionadosalamecanica.net/gas-natural-comprimido.htm.

I. Introducción

A continuación, se muestra una ilustración que expone los principales países en cuanto a reservas de gas natural.



Figura I.2. Estudio comparativo de las reservas de gas natural a nivel mundial.²

I.1.2. Formas de almacenamiento del gas natural comprimido.

Hay dos diferentes combustibles que se confunden comúnmente entre sí: el GLP y el GNC. La diferencia principal entre el GNC (gas natural comprimido) y el GLP (gas licuado de petróleo) es que el comprimido es mucho más económico que el licuado ya que el coste es muy bajo en referencia al kilómetro. La desventaja es que hay pocas estaciones de servicio en las que se pueda repostar. En general, un coche que funcione con ambos será mucho más económico que uno que funcione con el combustible usual; además, si se queda sin gas siempre queda la opción de utilizar la gasolina ya que normalmente estos tipos de vehículos son bifuel. Teniendo en cuenta los coches eléctricos, el coche que funcione con gas siempre tendrá una ventaja respecto al otro ya

² http://gerenciayenergia.blogspot.com.es/2011_07_01_archive.html.

I. Introducción

que podrá utilizar gasolina, y el eléctrico, a no ser que no tenga un enchufe cerca, tendrá que ser remolcado.

En cuanto a modificaciones posteriores de los vehículos, también cabe destacar que se pueden convertir coches de gasolina a gas natural comprimido, pero para hacer realidad esta idea es necesario sacrificar gran parte del maletero del vehículo ya que para que el coche funcione con este tipo de gas necesita un depósito de grandes dimensiones y donde se sitúa la rueda de repuesto no hay suficiente espacio, además, se requiere una gran inversión.

Con el uso de este gas, el motor no sufre una pérdida de potencia elevada. Además, mejora la durabilidad, ya que es una combustión homogénea y limpia, y genera menos suciedad en la mecánica del motor. Seguidamente se describen algunas de las principales ventajas y desventajas del GNC.

Ventajas del GNC

- Es una alternativa de combustible muy económica si se pretenden hacer bastantes kilómetros.
- Contamina menos que la gasolina y el gasóleo.
- En cuanto al proceso de combustión básicamente se produce H_2O .
- Se puede aplicar a motores de gasolina sin modificar grandes cosas.
- Es resistente contra el picado.
- No es necesario modificar el seguro del coche para esta aplicación.
- Es una fuente orgánica que se prevé que dure más años que el petróleo.
- Este combustible no se volatiliza al ser repostado.
- Es menos denso que el aire y tiende a subir hacia arriba.
- Se caracteriza por tener una combustión suave.

Desventajas del GNC

- Durante el funcionamiento con gas, la autonomía es reducida.
- Se incrementan las revisiones técnicas (ITV), por tanto, existe un mayor coste económico por dichas revisiones.

I. Introducción

- El coste de este vehículo es más elevado.
- No hay muchas zonas en las que repostar este tipo de combustible, por eso hace difícil el abastecimiento.
- En el caso que se fabricara un depósito para este tipo de combustible de acero, supondría un peso adicional al vehículo, por eso es recomendable construirlo con aluminio o con material compuesto.
- Para que un coche funcione con este gas es indispensable albergar en el interior del vehículo el/los depósitos de este combustible, por tanto, supondrá una ocupación extra en el interior del vehículo.
- Ya que este gas necesita ser almacenado a alta presión, necesita que en el tiempo de montaje y anclaje se disponga de una vigilancia y seguridad especial.
- Existe una disminución leve de la potencia del motor en relación a un motor de gasolina adecuado³.

Seguidamente, se explican algunos detalles de los vehículos que funcionan con este combustible. Un turismo que funciona con GNC no difiere mucho en cuanto a funcionamiento en relación a un GLP; además tiene que contar con su equipo de bujías ya que se tratará de un motor gasolina. El depósito de gas tendrá que ir situado normalmente donde se aloja la rueda de recambio ya que este tipo de gas necesita albergarse en depósitos de dimensiones mayores que los de gasolina convencional, es decir, perderemos la rueda de recambio. Por ello será necesario llevar encima del vehículo alguna alternativa para reparar las ruedas en caso de pinchazo. El gas natural se inyectará en el interior del depósito. A través de este depósito pasa un tubo hasta el regulador de presión y este será el encargado de poner este gas a la presión necesaria para inyectarlo en el motor. La presión de este tubo no variará, al contrario que la del depósito que sí que variará en función de la cantidad de gas que haya en el interior. Una vez la presión se haya reducido, este gas pasará al colector de admisión, el cual se mezclará con el aire y alimentará al motor.⁴

³ <http://www.aficionadosalamecanica.net/gas-natural-comprimido.htm>.

⁴ <http://www.aficionadosalamecanica.net/gas-natural-comprimido.htm>.

I. Introducción

La siguiente figura muestra un esquema de funcionamiento.

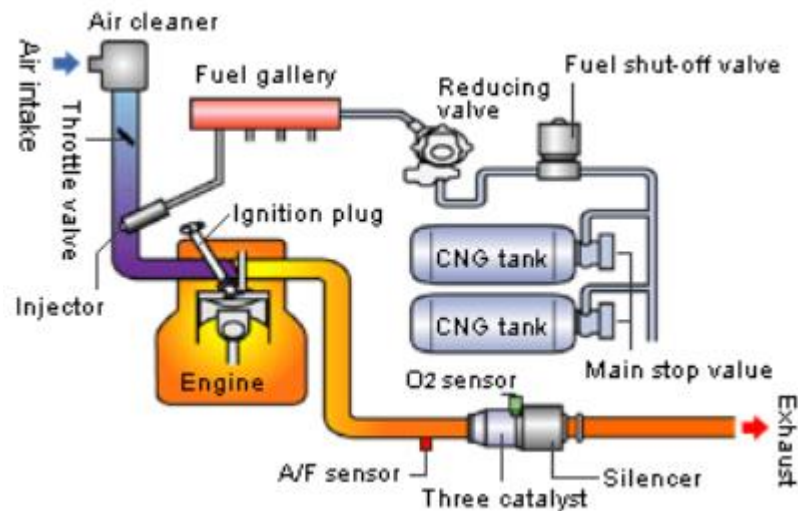


Figura I.3. Esquema de funcionamiento de un sistema de combustión con GNC.⁵

I.1.3. Usos del gas natural.

Durante el siglo XIX empezó a expandirse el gas natural en Estados Unidos para su uso en la iluminación. Más tarde, se empleó en la calefacción, en la industria del metal y en aguas sanitarias.

En cuanto a la automoción, este gas es una alternativa frente a la gasolina y diésel. Además, se puede utilizar en motores de combustión que estén adecuadamente adaptados para funcionar con gasolina o en motores que exclusivamente funcionen con este gas.

Los usos más comunes de este gas son los siguientes:

⁵ <https://nergiza.com/coches-a-gnc-todo-lo-que-tenes-que-saber/>.

I. Introducción

- Calefacción, a través de calderas.
- Centrales eléctricas.
- Como forma de combustible en automoción en forma de gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GLP).
- Industria.

I.1.3. GNC para depósitos de combustible.

I.1.3.1. Definición de depósito de combustible.

Un depósito de combustible es un recipiente en el cual se almacena combustible sin posibilidad de pérdidas del fluido o gas que está en el interior. Este fluido o gas es propulsado mediante una bomba o simplemente liberado por la presión que ejerce el gas en el interior. El tamaño de este depósito dependerá del fluido o gas que albergue. Entre las características que debe satisfacer un depósito de combustible, destacan las siguientes:

- Debe posibilitar que el fluido o gas que albergue no presente fugas.
- Cuando se inyecte no deben producirse chispas.
- Debe contener un indicador que muestre el nivel de combustible.
- Tiene que contar con el equipo necesario para que el gas o fluido pueda ser extraído al exterior, en caso de que se produjera una sobrepresión en el interior.

I. Introducción

I.1.3.2. Tipos de materiales para depósitos.

El depósito de metal es un tanque que está soldado con láminas de acero o de aluminio. Estos son los más comunes en la actualidad. Este tipo de depósitos impiden la salida de CO y SO₂.

Los depósitos de material plástico son los que actualmente se usan en la automoción. Están fabricados de polietileno de alta densidad (HDPE). Estos depósitos son seguros y pueden albergar más combustible que los de metal. Debido a su flexibilidad, la seguridad es mayor y la resistencia a la rotura también. Este tipo de material hace que se puedan resistir temperaturas elevadas, alrededor de los 110 °C. Estos tanques pueden ser fabricados con un tamaño superior al de los de metal.

Hoy en día se está innovando en la fabricación de depósitos de material compuesto, pero aún se está investigando y realizando mejoras en la fabricación de éstos. Con estos depósitos se consigue un peso menor que los otros y con unas características mecánicas iguales o superiores a los metálicos y de plástico.

I.1.3.3. Tipos de vehículos que funcionan con gas natural.

Actualmente, el combustible alternativo frente a los derivados del petróleo en el sector automovilístico es este gas. Es un combustible que está en pleno desarrollo. El turismo, es el vehículo más común en cuanto a la utilización de gas natural como combustible de impulsión. Existen diferentes tipos de vehículos según el tipo de combustible utilizado para la impulsión, entre los que destacan los vehículos bi-fuel, dual-fuel y monovalente.

Vehículo bi-fuel.

Los vehículos de tipo bi-fuel, utilizan gas natural y gasolina. Tienen un motor MEP, la relación de compresión la marca la gasolina y además tienen dos o varios

I. Introducción

depósitos para ambos combustibles. Se puede elegir el combustible durante el uso del vehículo. Tienen una autonomía elevada.

Vehículo monovalente.

Los monoivalentes emplean solo gas natural para funcionar. También utilizan motores MEP, tienen un elevado rendimiento y no contaminan mucho.

Vehículo cuasi monovalente.

También hay una variante al bi-fuel y monovalente, se llama cuasi monovalente. El depósito de gasolina alberga un 15% de la cantidad en masa del gas.

Vehículo tri-fuel.

Los tri-fuel, funcionan con gas natural, gasolina y además pueden emplear etanol.

Vehículo dual-fuel.

Por último, los dual-fuel, mezclan el gas natural con el gasóleo con motores MEC. El gasóleo se utiliza en el arranque del motor y el gas se utiliza como forma de combustible.

Tabla I.2. Vehículos existentes en el mercado que funcionan con GNC.

Fabricante	Modelo
VW	Caddy furgón 1.6 GNC de 102 CV (2 versiones disponibles)
VW	Caddy furgón 2.0 GNC de 109 CV (2 versiones disponibles)
Audi	A3 g-tron
Fiat	Panda 0.9 Twin Air GNC de 80 CV
Fiat	Punto Natural Power 1.4 de 70 CV
Fiat	500L 0.9 Twin Air GNC de 80 CV
Fiat	Fiorino Combi 1.4 GNC de 77 CV
Fiat	Dobló Panorama 1.4 Turbo GNC de 120 CV
Fiat	Fiorino Van 1.4 GNC de 77 CV
Seat	Mii 1.0 GNC de 68 CV (con 4 niveles de acabado)
Seat	León 1.4 GNC de 110 CV
Skoda	Octavia 1.4 GNC de 110 CV (con 4 niveles de acabado).
VW	Golf 1.4 GNC 110 CV (4 niveles de acabado)
VW	Caddy 1.6 GNC de 102 CV (6 versiones disponibles).
VW	Caddy 2.0 GNC de 109 CV (4 versiones disponibles).

I. Introducción

I.1.3.4. Zonas de repostaje de gas natural.

Este combustible no es muy común y por ello, no es habitual que esté disponible en las distintas zonas del territorio español. Esto representa una desventaja en cuanto a suministro. Actualmente, se dispone de 42 infraestructuras de repostaje en el territorio nacional, tal y como queda reflejado en la siguiente imagen.



Figura I.4. Zonas de repostaje de GNC en España.⁶

⁶https://www.gasnaturalfenosa.es/empresas/soluciones_y_eficiencia_energetica/soluciones_de_movilidad/vehiculos_con_gas_natural/encuentra_tu_estacion.

I.2. MATERIALES COMPUESTOS.

I.2.1. Definición y evolución histórica.

Actualmente ha surgido una necesidad de reducir el peso e incrementar la funcionalidad de los materiales en aplicaciones tecnológicas como, por ejemplo, en aeronáutica, automoción, ingeniería naval. Por eso se ha innovado en la creación de materiales plásticos reforzados que cumplan los requisitos necesarios para satisfacer las cada vez más exigentes restricciones de ingeniería.

Los materiales compuestos hacen referencia a aquellos que están formados por una combinación de distintos materiales que, unidos entre sí, ofrecen unas propiedades mejores que los materiales por separado.

Dichos materiales son propios de unas altas características mecánicas y bajo peso. Se puede decir que en muchas ocasiones son muy superiores a los materiales de origen metálico. Estos materiales son mucho más novedosos y aptos para las especificaciones técnicas que los convencionales. La dificultad está en seleccionar una buena matriz adecuada para unirla con la fibra ya que es una elección que condiciona las prestaciones finales del material obtenido.

La fibra en el material compuesto es la encargada de la resistencia mecánica. Por otra parte, la matriz es la que se encarga de aportar elasticidad, resistencia química y térmica, además de aportar bajo peso. Otra de las funciones más relevantes de la matriz es la de transmitir esfuerzos/cargas a la fibra mediante cortadura.

La mayoría de resinas termoestables que se utilizan con las fibras de vidrio son las de poliéster insaturado (UP) y, a veces las resinas epoxi (EP).

Las ventajas principales de estas resinas a grandes rasgos son: durante el proceso de reticulación/endurecimiento no emiten fracciones volátiles y pueden producirse con moldeados a temperatura ambiente y en bajas presiones. Además, presentan una ligereza elevada y ofrecen buenas propiedades adhesivas.

I. Introducción

I.2.2. Tipologías de materiales compuestos.

Existen muchas tipologías de materiales compuestos pero las más comunes son las siguientes:

- Paneles tipo sándwich.
- Estructuras de laminados.
- Compuestos con partículas.

Paneles tipo sándwich.

Se utilizan estructuras fuertes, rígidas y de bajo peso en la zona central o núcleo. Este producto se aplica a estructuras para soportar mucha carga o como aislamiento térmico. Se puede utilizar madera aserrada, derivados de la madera, espumas sintéticas y adhesivos para fabricar este producto. Ofrecen muy buenas propiedades estructurales, aislamiento térmico, aislamiento acústico, etc.

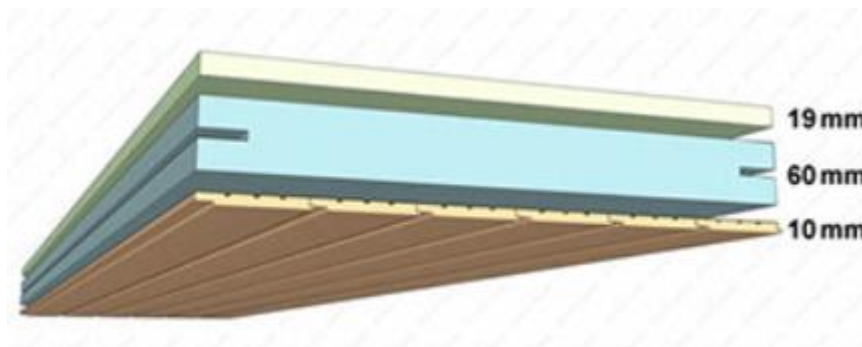


Figura I.5. Paneles tipo sándwich.⁷

⁷
sandwich.html.

<http://www.bricomarkt.com/madera/panel-sandwich-thermochip/precio-panel-sandwich.html>

I. Introducción

Laminados de matriz+fibra.

Se incorporan varias capas de láminas con un espesor determinado y las fibras orientadas en distintos ángulos con el objetivo de conseguir la isotropía

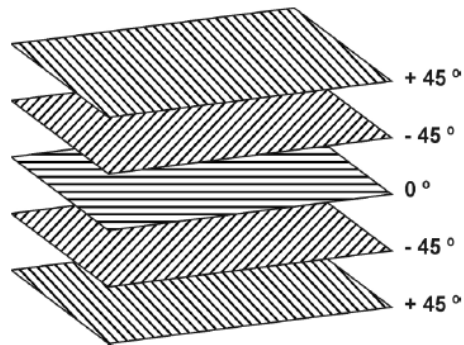


Figura I.6. Laminado de fibra de carbono.⁸

Compuestos con partículas.

En este producto se utilizan partículas pequeñas para hacer un refuerzo a la matriz.

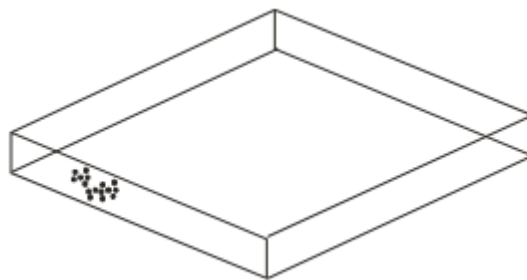


Figura I.7. Compuesto reforzado con partículas.⁹

⁸ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

⁹ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

I.2.3. Matrices para materiales compuestos.

Es el elemento que se encarga de alojar al refuerzo o fibras y se distingue claramente a nivel macroscópico. Las fibras se unen fuertemente a la matriz de tal forma que la matriz transmite a las fibras altos niveles de carga mediante esfuerzos de cortadura. Se pueden distinguir dos tipos de matrices, matrices orgánicas e inorgánicas.

Entre las funciones principales de las matrices, destacan las siguientes.

- La matriz es la encargada de unir las fibras y transferir las cargas.
- Es la encargada de aislar a las fibras para que en caso de que se haga una grieta, no se propague.
- Es la que hace un buen acabado superficial y produce una estructura.
- Confiere a las fibras una protección química y mecánica.
- Según se elija una matriz u otra, le proporcionará unas propiedades u otras al material compuesto.
- Transmite los esfuerzos a las fibras.
- Fija las fibras en el ordenamiento geométrico deseado.
- Protege a las fibras de los esfuerzos de compresión.

I.2.3.1. Matrices cerámicas.

Estas matrices son difíciles de procesar, se utilizan para aplicaciones que requieran soportar temperaturas elevadas; es decir, en aplicaciones de alto contenido tecnológico y también se utilizan en ámbitos biocompatibles.

Tienen densidades no muy altas y una resistencia baja a los impactos. Se utilizan para mejorar las propiedades de los materiales cerámicos. Las más comunes son las de nitruro de silicio, carburo de silicio, sílice y alúmina. Se emplean en el sector aeronáutico y, además en pequeños ámbitos en el sector de la automoción.

I. Introducción



Figura I.8. Ejemplo de matriz cerámica.

I.2.3.2. Matrices orgánicas.

Estas matrices tienen una resistencia mecánica entre 50 y 80 MPa. Entre estas matrices, es posible encontrar los siguientes grupos: termoestables, termoplásticos y elastómeros tal y como se resume en la siguiente tabla.

Tabla I.3. Tipos de matrices empleados en la fabricación de materiales compuestos.

Termoplásticas	Termoestables	Elastoméricas
Polipropileno (PP)	Poliéster insaturado (UP)	Poliuretanos
Poliamida (PA)	Resina epoxi (EP)	Siliconas
Policarbonato (PC)	Resinas viniléster (VE)	Cauchos
Polietileno (PE)	Fenólicas (PF)	

Matrices termoestables.

Los termoestables se obtienen a partir de procesos de reticulación. Estos materiales forman una red tridimensional ya que su funcionalidad es mayor que 2. Además, se obtienen de 3 formas diferentes, adición, condensación o procesos combinados.

I. Introducción

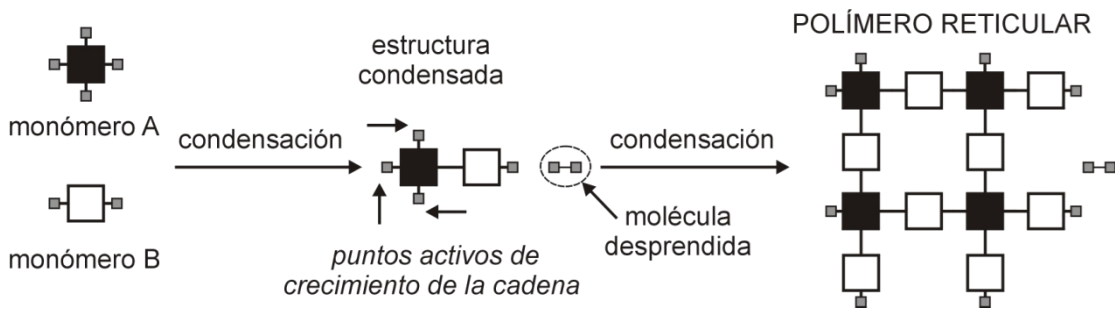


Figura I.9. Representación esquemática del proceso de entrecruzamiento para la formación de una resina termoestable.

Desde un punto de vista industrial, las resinas termoestables que mayor aplicación encuentran a nivel industrial son las siguientes:

- Epoxi (EP).
- Poliéster insaturado (UP).
- Resinas de vinil-éster (VE).
- Fenol-formaldehído (PF).
- Melamina-formaldehído (MF).
- Urea-formaldehído (UF).

Muchas de estas resinas encuentran importantes usos como adhesivos, recubrimientos, barnices, lacas, aglomerantes o "binders", etc. No obstante, su versatilidad se ha ampliado de forma notable con el desarrollo de materiales compuestos con refuerzo de fibra, donde el empleo de resinas epoxídicas (EP), vinil-éster (VE) y poliéster insaturado (UP) está ampliamente extendido por la versatilidad en cuanto a procesado que ofrecen (resinas de colada a temperatura ambiente) y el equilibrio de propiedades que aportan.

En general, las resinas de poliéster insaturado (UP) se emplean en aplicaciones corrientes ya que se trata de resinas con un buen equilibrio entre propiedades y coste.

I. Introducción

Por su parte, las resinas epoxídicas (EP) ofrecen mayor calidad y se emplean en aplicaciones donde se requiere mayor responsabilidad técnica; ahora bien, el coste de las resinas epoxi supera de forma importante el de las resinas de poliéster insaturado.

Las resinas de vinil-éster (VE) son resinas con procesos de entrecruzamiento similares a los de las resinas de poliéster insaturado, pero no se sintetizan de la misma manera ya que proceden de la reacción de resinas epoxídicas con diversos tipos de ácidos acrílicos.

Matrices termoplásticas.

En los compuestos con matrices termoplásticas, suelen emplearse plásticos técnicos y de elevadas prestaciones, tales como la poliamida 66 (PA66), el policarbonato (PC), polióxido de metileno (POM) como plásticos técnicos y la poliéter imida (PEI), la poliéter sulfona (PES) o la poliéter éter cetona (PEEK) entre las matrices de altas prestaciones.

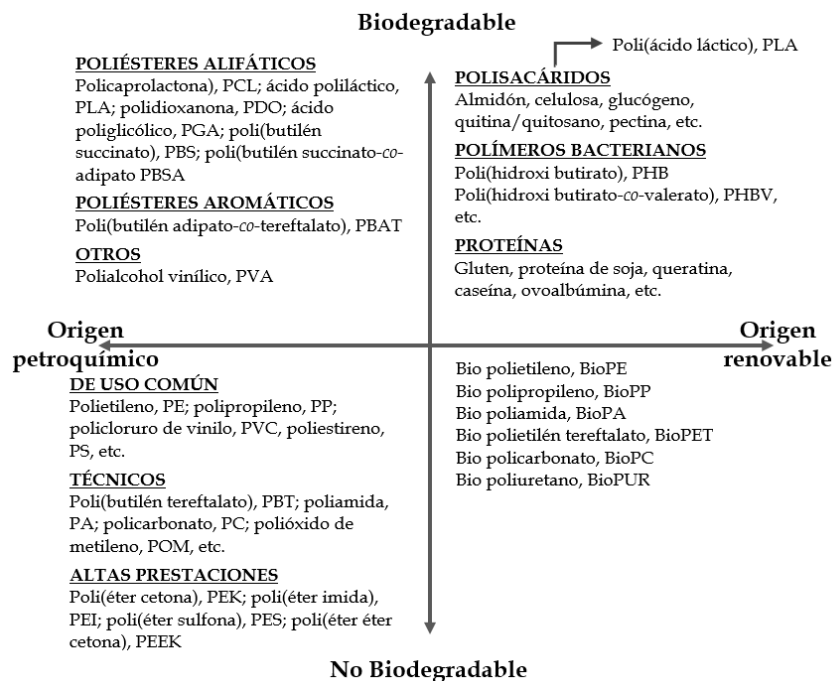


Figura I.10. Clasificación de los materiales termoplásticos en función de su naturaleza biodegradable y su origen.

I. Introducción

No obstante, dado el volumen que representan los termoplásticos en la industria, es habitual encontrar un amplio rango de matrices con refuerzos de fibra de vidrio, carbono, basalto, etc. Por otro lado, dada la fuerte sensibilidad de nuestra sociedad en temas medioambientales, cada vez son más los plásticos de origen renovable y/o potencialmente biodegradables los que se emplean en la fabricación de productos de ingeniería y como matrices para materiales compuestos.

A continuación, se muestra una tabla con las ventajas y desventajas que presentan las matrices termoplásticas en la industria de los materiales compuestos. Es interesante considerar que muchos grados comerciales de termoplásticos se suministran con diversos porcentajes de fibras cortas de refuerzo para ampliar las posibilidades de uso de este grupo de materiales, dada la versatilidad que ofrecen en cuanto a procesado.

Tabla I.4. Ventajas y desventajas de las matrices termoplásticas.¹⁰

Ventajas	Inconvenientes
Alta tenacidad	Bajo módulo
Reversibilidad del proceso	Estabilidad térmica limitada
Reciclado	Escasa interacción fibra-matriz
Posibilidad de soldadura y reparación	Alta viscosidad
Baja inflamabilidad	Dificultad de crear precursores para compuestos
Resistencia ambiental	Costos de inversión elevados
Economías de escala	
Bajo impacto medioambiental	

Matrices elastoméricas.

Estos materiales tienen un buen comportamiento frente a la elasticidad, también contra la fatiga y se pueden utilizar en un rango de temperaturas bastante elevado. Un

¹⁰ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

ejemplo de matriz elastómera es el caucho natural y un ejemplo de compuestos con matriz elastomérica son los neumáticos o las cintas transportadoras técnicas.



Figura I.11. Ejemplo de matriz elastómera derivada del caucho natural.¹¹

I.2.3.3. Matrices metálicas.

En este tipo de matrices se utilizan materiales metálicos y se usan fibras de elevadas prestaciones que tengan un uso con elevadas temperaturas sin verse alteradas sus características y propiedades. El principal problema de estos materiales es su fabricación.

I.2.4. Fibras.

Las fibras son las encargadas de soportar las cargas, exactamente soportan entre un 70-90% de la carga. También transmiten rigidez, resistencia y muchas propiedades al material compuesto. Además de atribuir conductividad eléctrica o aislamiento térmico/eléctrico. Todo esto dependerá del tipo de fibra elegido. Estos materiales son de

¹¹ <https://www.taringa.net/posts/info/3142980/El-Caucho-Natural-y-sintetico-Usos-y-propiedades.html>.

I. Introducción

difícil procesado. Las fibras pueden ser de origen orgánico o de origen inorgánico. Las propiedades transversales de las fibras unidireccionales no son muy buenas, debido a eso, según la pieza que se quiera obtener, se realizará un tipo de laminado u otro para poder asemejarse lo más posible a la isotropía.

I.2.4.1. Fibras orgánicas.

Estas fibras presentan un comportamiento mecánico elevado debido a:

- La orientación de las cadenas poliméricas.
- Cristalinidad.
- Peso molecular.
- La interacción que hay entre las cadenas poliméricas.

A continuación, se muestran las propiedades de algunas fibras orgánicas empleadas en el sector de los materiales compuestos.

Tabla I.5. Tipos y características mecánicas de fibras orgánicas.¹²

Fibra	Módulo (GPa)	Resistencia a tracción (GPa)	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a compresión (GPa)	Módulo a torsión (GPa)	Alargamiento a la rotura (%)
PBO	200-360	3,5-5,7	1,58	0,2	1,0	1,0-2,0
Kevlar 29	65	2,8	1,44	0,4	1,9	4,0
Kevlar 49	125	3,5	1,44	0,4	1,4	2,3
Kevlar 149	185	3,4	1,47	0,4	1,1	-
Nomex	10	0,5	1,38	-	-	22,0
Spectra 900	117	2,6	0,97	-	-	-
Spectra 1000	170	3,0	0,97	0,17	0,8	2,0
Vectran HS	65	2,8	1,41	-	0,6	3,3
Vectran M	53	1,1	1,40	-	-	2,0
PBI	55-100	3,0	1,40	-	-	30,0

¹² Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

I.2.4.2. Fibras inorgánicas.

Estas fibras presentan una buena rigidez, buena resistencia mecánica, comportamiento bueno frente a la corrosión y elevada temperatura, un punto de fusión elevado, son frágiles, no-inflamables y tienen buena estabilidad térmica.

Aquí se muestran algunas de las diferentes fibras inorgánicas que existen:

Tabla I.6. Distintas fibras inorgánicas y su designación.¹³

Fibra inorgánica	Designación
Vídrío	GF
Metálica	MTF
De boro	BF
De Carburo de Silicio	SiC
Cerámica	CER
Carbono	C

A continuación, se va a explicar los procesos de conformado de materiales compuestos de matriz polimérica para introducir los conceptos teóricos con el objetivo de elegir bien el proceso para fabricar un depósito.

¹³ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

I.2.5. Procesos de conformado de materiales compuestos.

Se distinguen dos tipos de procesos de conformado, según el tipo de molde, cerrado o abierto, se van a mostrar algunos de los procesos.

Tabla I.7. Distintos procesos de conformado de materiales poliméricos.¹⁴

Procesos molde abierto	Procesos molde cerrado
Moldeo por colocación manual	Compresión en caliente
Bobinado de filamentos	RTM (Resin transfer molding)
Moldeo a vacío a presión de aire	Pultrusión
Moldeo en autoclave	

I.2.5.1. Moldeo por colocación manual.

Este proceso es artesanal y se basa en formar distintas capas en un molde abierto. Se colocan las capas con las fibras que llevan una orientación especial en la cual se impregnará de resina para que se unan con cohesión. El uso más común de fibras suele ser la fibra de vidrio como tejido, y las resinas más frecuentes son las de poliéster. Los moldes más comunes pueden ser de madera o yeso. Con este método la inversión no es muy grande y es muy simple. También hay desventajas, solo se produce buen acabado en una de las dos caras, según el operario la pieza tendrá mejor o peor acabado, se

¹⁴ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

podrán formar burbujas, no se pueden realizar muchas piezas y es difícil orientar las fibras.

Aquí se muestra una imagen del proceso con los 2 operarios.



Figura I.12. Operarios realizando el proceso de conformado de moldeo manual.¹⁵

I.2.5.2. Bobinado de filamentos.

En este proceso, se bobina un mandril con refuerzos en pre-pegs o fibras impregnadas de resina, el mandril realiza movimientos de rotación, el carro tiene movimiento horizontal, es el encargado de orientar las fibras en la posición deseada, las fibras más utilizadas son las de carbono y las de vidrio. Mientras el mandril gira, las fibras se enrollan recubiertas de resina a través del carro. Cuando el mandril está recubierto con las fibras según el espesor óptimo, se extrae y se pone en un horno para proceder al curado de la resina, una vez la resina se ha curado, el mandril se extrae y se obtiene el producto final que es hueco.

¹⁵ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

Enrollado de filamentos

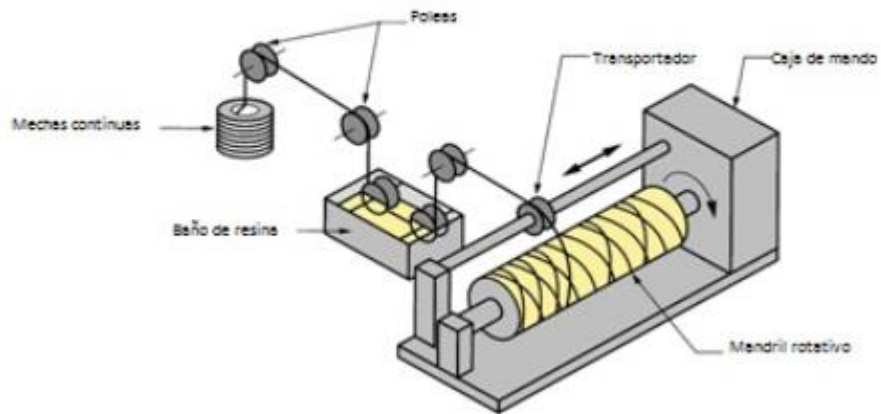


Figura I.13. Representación del proceso bobinado de filamentos.¹⁶

I.2.5.3. Moldeo a vacío a presión de aire.

En este proceso se trabaja de una forma parecida al moldeo por contacto manual, la diferencia es que se ejerce una presión determinada. Este proceso se utiliza para producir piezas que tengan una forma compleja. También se puede ejercer un vacío en el momento de la consolidación a través de una bolsa.

¹⁶ <https://plaen.blogspot.com.es/2013/02/enrollado-de-filamentos-filament-winding.html>

I. Introducción

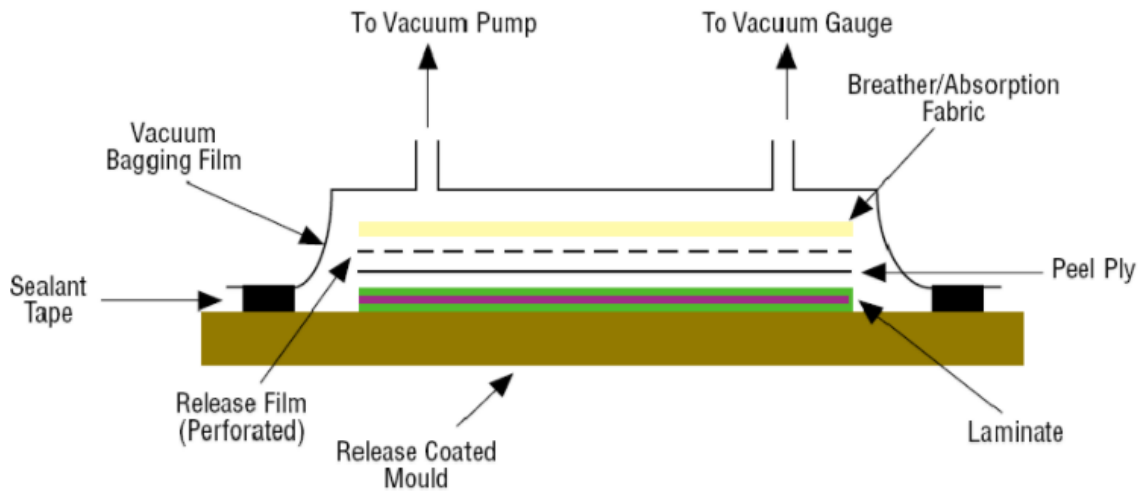


Figura I.14. Representación del proceso moldeo a vacío a presión de aire.¹⁷

I.2.5.4. Moldeo en autoclave.

Este proceso es parecido al de moldeo a vacío a presión de aire, la diferencia es que se realiza en el interior de autoclaves que tienen unas condiciones de servicio superiores.

A través del vacío se eliminan las burbujas para mejorar la adherencia entre la fibra y la matriz.

A través de la elevada temperatura se mejora el curado de la resina.

Además, con la presión se mejoran las propiedades del material final.

En este proceso se obtienen piezas con buenos acabados, un espesor constante, formas complejas y también se trabaja con “pre-pegs”.

¹⁷ <http://www.nexusprojectes.com/metodos.aspx?lang=es>.

I. Introducción



Figura I.15. Representación del proceso con autoclave.¹⁸

I.2.5.5. Compresión en caliente.

En este proceso, se sitúa un preimpregnado o un compuesto sobre un molde en el que se ejerce presión para consolidar el material compuesto.

En el preimpregnado, se obtienen compuestos en forma de lámina con espesores de entre 2-4 mm. Una prensa vertical ejerce presión sobre el material que es calentado entre 140-150°C. Las piezas finales son lisas por las dos caras.

¹⁸ <http://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/31060-Asti-disena-la-instalacion-automatizada-para-la-alimentacion-de-autoclaves.html>.

I. Introducción



Figura I.16. Representación del proceso moldeo por compresión en caliente de un preimpregnado.¹⁹

En el compuesto, se mezcla la resina en pasta y la fibra corta. El moldeo se produce entre un molde y su contramolde y se obtienen piezas de entre 2-20 mm.

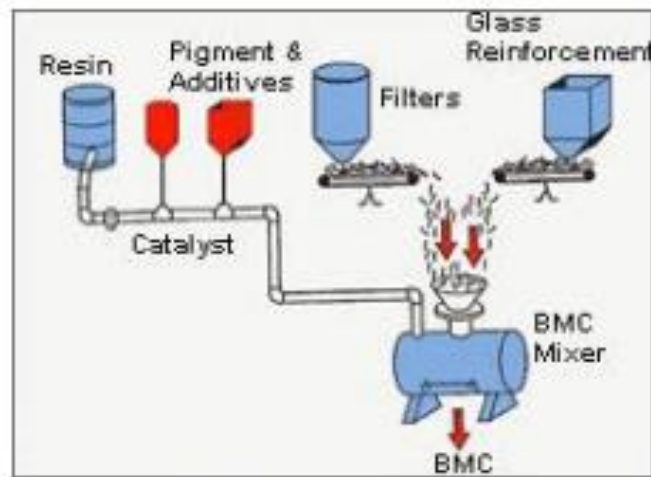


Figura I.17. Representación del proceso moldeo por compresión en caliente de un compuesto.²⁰

¹⁹ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

²⁰ Apuntes asignatura "Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica".

I. Introducción

I.2.5.6. RTM.

Este proceso se basa en inyectar resina en forma líquida en un molde cerrado en el cual anteriormente se ha situado la fibra en la orientación deseada. Cuando la resina se va inyectando en el interior del molde, ésta impregna las fibras y la compactación se provoca con el calentamiento del molde a una temperatura óptima además de aplicar vacío y presión si fuera necesario.

En este proceso normalmente se utilizan resinas termoestables de viscosidad baja. Se obtienen piezas con las dos caras en buen acabado, además se orientan las fibras en la forma deseada y se pueden incorporar inserciones metálicas.

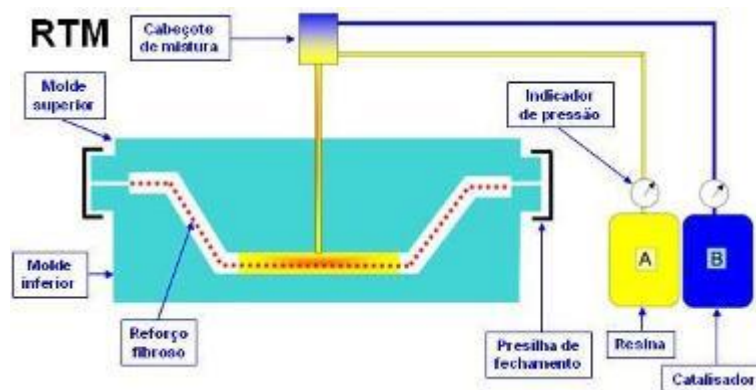


Figura I.18. Representación del proceso moldeo por RTM.²¹

I.2.5.7. Pultrusión.

En este proceso las fibras se estiran mojadas con resina por un molde en el cual se produce el curado de la misma. Este proceso se utiliza para producir perfiles macizos

²¹ http://www.ufrgs.br/lapol/projetos/procad_arquivos/projeto0303054.htm.

I. Introducción

o huecos y de sección no variable. La longitud en este proceso no es un inconveniente, se pueden fabricar piezas de forma continua y de secciones complejas.

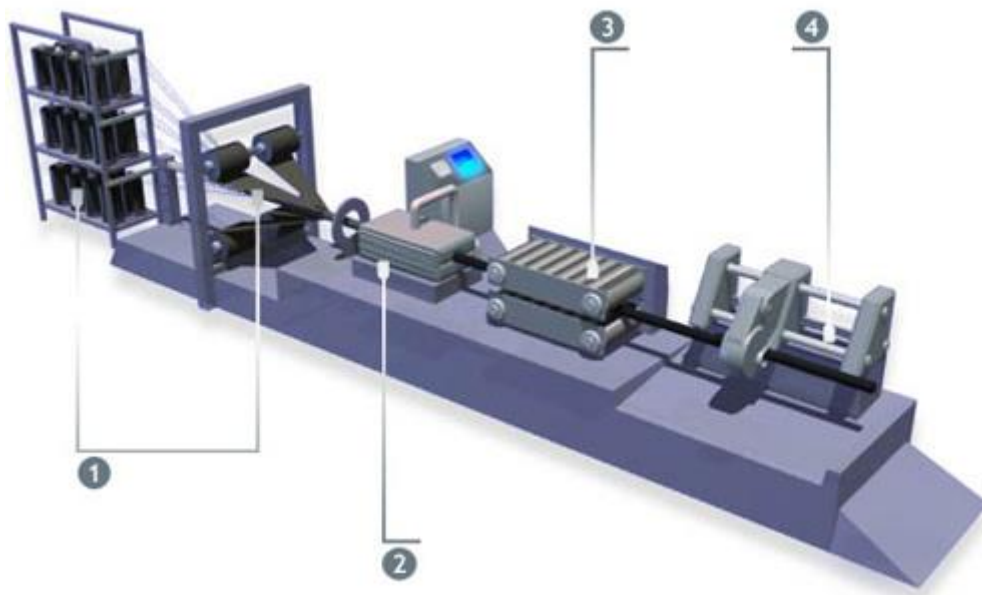


Figura I.19. Representación del proceso pultrusión.²²

²² <http://www.exelcomposites.com.au/Processes/Pultrusion.aspx>.

I.3. ESTUDIO DE MERCADO.

Se ha investigado sobre este tipo de piezas por toda la web para conocer los tipos de productos que hay en el mercado y las posibles empresas que los fabrican.

Después de investigar, se ha encontrado una empresa llamada “Alibaba” que se dedica a exportar productos como cilindros de presión de GNC, de GLP, etc. Está situada en China, y consta de entre 11 y 50 empleados. Los principales mercados que exporta son América del Sur, Asia y América del Norte.

Hay cuatro tipos de depósitos que se pueden fabricar para almacenar GNC.

3.19 diseño tipo 1:

Una botella completamente metálica.

3.20 diseño tipo 2:

Una botella anillada con una camisa interior metálica que soporta cargas y refuerzo de material compuesto, únicamente en la parte cilíndrica.

3.21 diseño tipo 3:

Una botella completamente recubierta con una camisa interior metálica que soporta cargas y refuerzo de material compuesto, tanto en la parte cilíndrica como en los extremos abombados.

3.22 diseño tipo 4:

Una botella completamente recubierta con una camisa interior que no soporta cargas y refuerzo de material compuesto, tanto en la parte cilíndrica como en los extremos abombados.

Figura I.20. Tipos de depósitos según normativa UNE EN ISO11439.²³

En esta empresa se pueden encontrar productos del tipo 1, 2 y 3 como se va a mostrar a continuación:

²³ UNE EN ISO 11439 “Botellas a alta presión para el almacenamiento a bordo de gas natural utilizado como combustible para vehículos automóviles”.

I. Introducción



Figura I.21. Tipo de depósito 3 según normativa.²⁴

Este producto tiene una malla interior de aluminio con un refuerzo de material compuesto, pesa unos 41 kg y almacena unos 80 L.

También se mostrarán las características técnicas de un depósito tipo 3 de esta empresa con fibra de carbono:

Tabla I.8. Características técnicas de un depósito tipo 3 con fibra de carbono.²⁵

Tipo	Volumen (L)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)	Presión (MPa)
CNG3-373-80-25	80	396	950	41	25
CNG3-373-100-25	100	396	1145	47	25
CNG3-373-135-25	135	396	1487	58	25
CNG3-373-150-25	150	396	1633	64	25

²⁴ <https://spanish.alibaba.com/f/deposito-faber-cng.html>.

²⁵ <https://spanish.alibaba.com/f/deposito-faber-cng.html>.

I. Introducción

Aquí se muestra un depósito tipo 1 de acero existente en el mercado:



Figura I.22. Depósito tipo 1.²⁶

Este tipo de depósitos suele tener un coste económico de entre **US\$ 400 - 2000 /unidad** según las dimensiones del mismo.

Seguidamente, se muestra un depósito tipo 2 de acero con refuerzo de fibra de vidrio y resina epoxi en la zona cilíndrica:

²⁶ <https://spanish.alibaba.com/f/deposito-faber-cng.html>.

I. Introducción



Figura I.23. Depósito tipo 2 con refuerzo de fibra de vidrio.²⁷

Aquí se va a mostrar un depósito tipo 3, el cual, comprando 50 unidades, el precio de la unidad oscila entre 600 y 1200 euros.

²⁷ <https://spanish.alibaba.com/f/deposito-faber-cng.html>.

I. Introducción



Figura I.24. Depósito tipo 3 con refuerzo de fibra de carbono.²⁸

²⁸ <https://spanish.alibaba.com/f/deposito-faber-cng.html>

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

En este trabajo se pretende realizar un estudio técnico-económico sobre la posibilidad de desarrollo de un sistema de depósitos fabricado con materiales compuestos reforzados con fibra para almacenaje de gas natural comprimido destinado al funcionamiento de un vehículo tipo turismo. Con ello, se pretende reducir el peso del depósito y aumentar la autonomía del vehículo. El trabajo se abordará desde un planteamiento multidisciplinar que contemple diseño, análisis resistente, costes, selección de materiales y fabricación. En este proyecto no se analizará el sistema de válvulas y los conductos hasta el equipo de depósitos, pero se tendrá en cuenta a la hora de montarlo en el espacio disponible del vehículo.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

1.- Pre-diseño y optimización de geometría y dimensiones del depósito a presión, bajo plataforma SolidWorks.

2.- Análisis de las condiciones de anclaje y estados tensionales, considerando los niveles de seguridad definidos por normativa.

3.- Realización de estudios estáticos y de impacto para el correcto dimensionamiento del depósito.

4.- Validación técnica de la solución propuesta. Se usarán gráficas para aceptar y confirmar la solución adoptada y se justificarán los datos correctamente.

5.- Estudio de fabricación y análisis de costes. Explicar detalladamente el proceso de fabricación empleado para fabricar este equipo y hacer un estudio económico que contemple los costes de este equipo.

II. Objetivos

Después de los objetivos se va a ejecutar un diagrama del proceso que va a seguir esta pieza desde el principio hasta ser fabricada de acuerdo con la normativa vigente. Primero se va a hacer un estudio de diseño de la pieza ya que existen varias posibilidades de diseñar un tanque de almacenamiento de combustible. Seguidamente se va a realizar un diseño de la pieza y a optimizar las dimensiones según el espacio útil del vehículo para albergar la pieza. A continuación, se va a estudiar el número de depósitos que vendrán determinados también por las dimensiones del vehículo. Se estudiarán tres materiales. Después se van a realizar los ensayos pertenecientes según la normativa que tiene que cumplir la pieza y se elegirá un diseño final con el material seleccionado. Después de esto, se elegirá el proceso de fabricación más adecuado para realizar la pieza, se estudiará un proceso económico y finalmente, si el producto es viable, se presentará el proyecto.

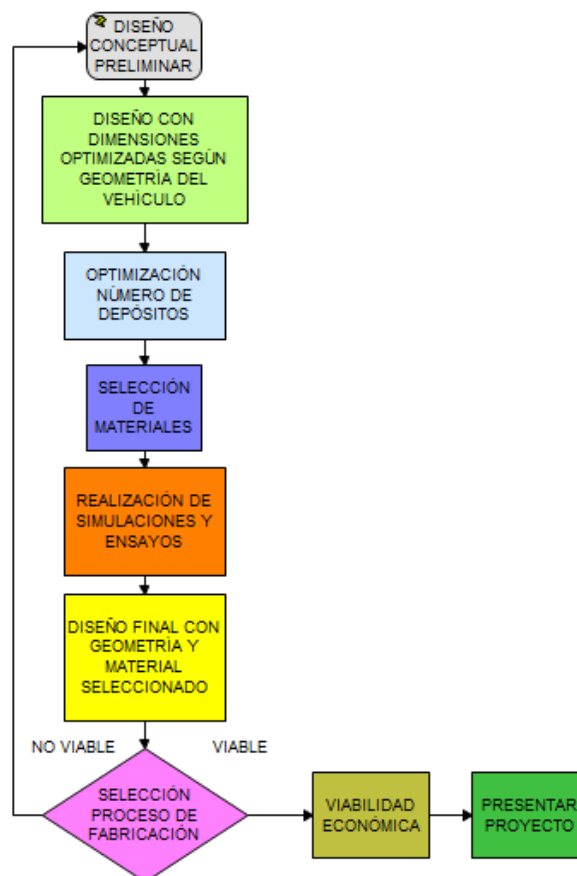


Figura II.1. Diagrama, que muestra el proceso de ejecución del proyecto.

III. DESARROLLO PROYECTO

DESARROLLO PROYECTO

III. Desarrollo proyecto

III.1. CÁLCULOS.

Antes de empezar a diseñar, se debe de calcular la cantidad en litros que debe/n albergar los depósitos de GNC para aumentar la autonomía en un 50%, esto junto con el espacio disponible del vehículo y el coste, van a determinar el número de depósitos a realizar.

Primero se va a calcular la autonomía inicial del vehículo.

$$\text{Autonomía vehículo} = \frac{\text{Capacidad combustible(L)}}{\text{Consumo mixto} \frac{\text{L}}{100\text{km}} \left(\frac{\text{L}}{\text{km}}\right)} = \frac{93}{11,9/100} = 781,51\text{km}$$

A partir de esto, se extrae la densidad de la gasolina (0,73 kg/L) y la entalpía de combustión (43 MJ/kg).

Después se calcula la energía que produce un litro de gasolina.

$$\frac{\text{Energía producida(kWh)}}{\text{Volumen gasolina(L)}} = H_c \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right) * \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}}\right) * \frac{1\text{kWh}}{3,6\text{MJ}}$$

$$43 * 0,73 * \frac{1}{3,6} = 8,72 \text{ kWh/L}$$

A continuación, se calcula la energía que suministra la gasolina para que el vehículo recorra 1km.

$$\frac{\text{Energía suministrada gasolina(kWh)}}{1 \text{ Kilómetro recorrido}} = \frac{\text{Energía producida(kWh)}}{\text{Volumen gasolina(L)}} * \frac{\text{Consumo mixto(L)}}{100\text{km}} =$$

$$\frac{8,72}{1} * \frac{11,9}{100} = \frac{1,03768(\text{kWh})}{\text{km}}$$

A partir de todo lo calculado anteriormente, el cociente entre la autonomía y la energía que suministra la gasolina para que el vehículo recorra 1 Km será la energía que tiene que almacenar el depósito/s.

$$\text{Energía almacenada(kWh)} = \frac{\text{Energía suministrada gasolina(kWh)}}{1 \text{ Kilómetro recorrido}} * \text{Autonomía vehículo (km)} =$$

III. Desarrollo proyecto

$$\frac{1,03768(kWh)}{km} * 781,51km = 810,95 kWh$$

Después se calcula la energía que produce el gas natural por unidad de masa, ya que así se extraen los kg de gas natural necesarios.

$$Energía GNC por Kg \left(\frac{kWh}{kg}\right) = \frac{46,225 \left(\frac{MJ}{kg}\right)}{3,6 \left(\frac{MJ}{kWh}\right)} = 12,84 \left(\frac{kWh}{kg}\right)$$

Por tanto, la masa del gas se dividirá entre 2 ya que la autonomía se quiere aumentar en un 50% según lo establecido en el proyecto:

$$Masa de GNC = \frac{Energía almacenada(kwh)}{Energía GNC por Kg \left(\frac{kWh}{kg}\right)} = \frac{810,95kWh}{12,84 \left(\frac{kWh}{kg}\right)} = \frac{63,13kg}{2} = 31,58kg$$

Ahora se tiene que calcular el volumen que ocupa este gas, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$P * V = n * Rgn * T$$

Para que esta fórmula sea más adecuada, se tiene que tener en cuenta el factor de compresibilidad, por ello, se quedaría así:

$$P * V = Z * n * Rgn * T$$

El factor de compresibilidad para el gas natural en las condiciones de ensayo, presión de 200 bar, temperatura de 15°C, es 0,73.

Para determinar la Rgn, se usa la siguiente fórmula.

$$Rgn = \frac{Ru}{Mgn} = \frac{8,3145 \left(\frac{J}{kg} * mol\right)}{0,01854 \left(\frac{kg}{mol}\right)} = 448,463 \left(\frac{J}{kg} * K\right)$$

Mgn es la masa del gas natural y Ru es la constante.

Sólo falta calcular la densidad del gas:

III. Desarrollo proyecto

$$\frac{P}{\rho} = Z * R_{gn} * T$$

$$\rho = \frac{P}{Z * R_{gn} * T} = \frac{200 * 10^5 (Pa)}{0,73 * 448,463 * 288} = 212,12 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Finalmente se calculará el volumen que ocupa dicho gas:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{31,58 \text{ kg}}{212,12 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 0,148878 \text{ m}^3 = 148,878 \text{ L}$$

Al hacer estos cálculos, se observa que el volumen de gas a albergar para conseguir la misma autonomía será el triple que el de la gasolina. En referencia a la masa, el gas natural tiene mayor poder calorífico por unidad de masa, pero como se tiene que almacenar en forma de gas, para otorgar la misma energía que la gasolina tiene que triplicar su volumen para ofrecer la misma autonomía, y como se quiere aumentar un 50%, equivaldrá a 1,5 veces la capacidad inicial de L de gasolina, es decir, si en gasolina con 93 litros se tiene una autonomía de 781 km, con gas se necesitarían más o menos 279 litros, y como se aumenta en un 50% son 149 litros de gas.

III. Desarrollo proyecto

III.2. INTRODUCCIÓN.

En este proyecto, antes de realizar el diseño de la pieza, se va a elegir el vehículo de partida para poder analizar las dimensiones necesarias sobre las que se puede introducir el sistema de depósitos. La pieza que se va a realizar, cumplirá toda la normativa vigente.

El vehículo que se ha escogido para introducirle el sistema de depósitos de gas natural comprimido es el Mercedes-Benz AMG GLE 63 4 MATIC Coupé (2015), es un coche de gasolina que puede adaptarse a la utilización de gas natural.

Tabla III.1. Dimensiones principales del maletero del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.²⁹

Maletero	Dimensiones	Unidades
Anchura máxima	134	cm
Anchura mínima	105	cm
Profundidad máxima	110	cm
Profundidad mínima	104	cm
Altura cortinilla/ bandeja máxima	47	cm
Altura cortinilla/ bandeja mínima	----	
Altura hasta el techo	----	
Altura hasta el borde de carga	96	cm
Altura escalón borde carga hasta piso de maletero	18	cm
Doble fondo. Anchura	84	cm
Doble fondo. Profundidad	55	cm
Doble fondo. Altura	23	cm

²⁹<https://www.km77.com/coches/mercedes/clase-gle/2015/coupe/amg/mediciones-propias>.

III. Desarrollo proyecto

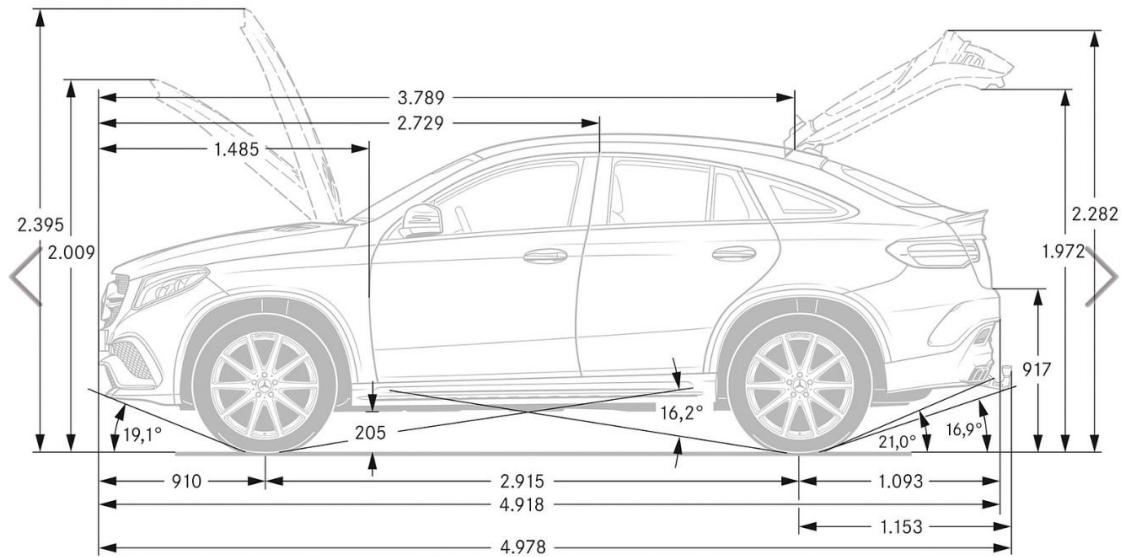


Figura III.2. Dimensiones principales del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.³⁰

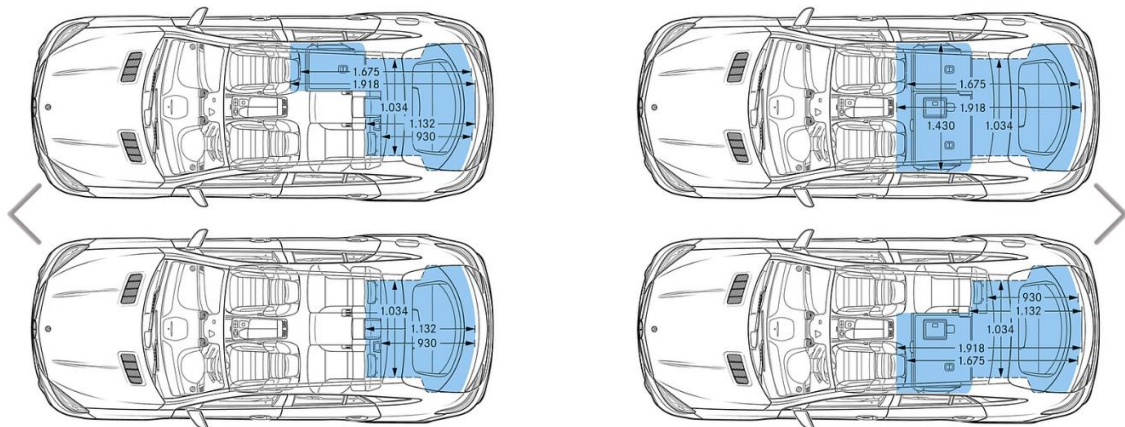


Figura III.3. Dimensiones principales desde arriba del Mercedes-Benz AMG GLE 63 4MATIC.³¹

³⁰ https://www.mercedes-benz.com.sg/content/singapore/mpc/mpc_singapore_website/enng/home_mpc/passengercars/home_new_cars/models/gle-class/gle_coupe/facts/technicaldata/dimensions.html.

³¹ https://www.mercedes-benz.com.sg/content/singapore/mpc/mpc_singapore_website/enng/home_mpc/passengercars/home_new_cars/models/gle-class/gle_coupe/facts/technicaldata/dimensions.html.

III. Desarrollo proyecto

III.3. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

A continuación, se va a proceder a realizar el diseño de los tanques de almacenamiento, para optimizar y desarrollarlos de la manera más óptima para una mayor autonomía, menor peso y para que ocupen el menor espacio posible útil del vehículo. Las dimensiones del depósito/s vendrán determinadas por las geometrías internas del vehículo, en este caso, del doble fondo del maletero y del maletero. Las condiciones de diseño que se establecen en este estudio es un factor de seguridad que no sea inferior a 1,5, para hacerlo/s más seguros, también que no exceda/n las dimensiones disponibles.

Las condiciones de anclaje de los depósitos hasta 85 litros constarán de dos correas de 30 mm de anchura que se situarán en la zona cilíndrica, estarán separadas 50 mm de las semiesferas, para depósitos de dimensiones más grandes, se utilizarán unas correas de 50 mm de anchura y estarán separadas a 200 mm.

Constarán de dos anclajes de geometría fija.

Además, también estarán fijados mediante 4 pernos y arandelas según la normativa.

Capacidad del recipiente (litros)	Dimensiones mínimas de las arandelas o plaquitas (mm)	Dimensiones mínimas de las correas (mm)	Diámetro mínimo de los pernos (mm)
Hasta 85	redondo: 30 × 1,5 redondo: 25 × 2,5	20 × 3 30 × 1,5	8
85-100	redondo: 30 × 1,5 redondo: 25 × 2,5	30 × 3 20 × 3 (*)	10 8 (*)
100-150	redondo: 50 × 2 redondo: 30 × 3	50 × 6 50 × 3 (**)	12 10 (**)
Más de 150	Deberá cumplir las disposiciones del Reglamento nº 67, serie 01 de modificaciones, en el caso de recipientes de GLP, o del Reglamento nº 110 en el caso de recipientes para GNC		

(*) En este caso el recipiente deberá ir fijado por al menos tres correas.
(**) En este caso el recipiente deberá ir fijado por al menos cuatro correas.

Figura III.4. Condiciones de anclaje según normativa ECE R115.

III. Desarrollo proyecto

La selección del número de depósitos vendrá determinada por el espacio donde albergarlos. Hay dos espacios útiles para albergar los depósitos:

El doble fondo del maletero, que carece de rueda de recambio ya que solo tiene un kit de reparar pinchazos hace posible la incorporación de albergar algún/os depósitos, sus dimensiones son 84*55*23 cm.

El maletero también sería una opción ya que tiene una capacidad de 650 litros y tiene bastante volumen utilizable, sus dimensiones son 134*110*47 cm.



Figura III.5. Vista completa del maletero del vehículo.³²

Por otra parte, si se pretendiera convertir el vehículo a monovalente, se dispondría de la zona de debajo de los asientos de los pasajeros ya que ahí iría albergado el depósito de gasolina inicial, el cual, sería sustituido por los nuevos tanques de GNC.

Seguidamente a través del programa SolidWorks se va a construir un recipiente y se va a optimizar las dimensiones necesarias para albergar un volumen

³² <https://www.autocar.co.uk/car-review/mercedes-benz/gle-coupe/first-drives/2015-mercedes-benz-gle-350-d-coupe-review>.

III. Desarrollo proyecto

aproximadamente de 148,878 L, ese volumen de gas natural comprimido, es el calculado anteriormente para aumentar en un 50% la autonomía del vehículo. Se realizará un croquis con el interior del tanque ya que los bordes son los que definirán el volumen máximo del tanque. A partir de eso se dispondrán dos variables, R_i y L . Si se quisiera resolver esta ecuación se podría resolver numéricamente.

$$V_T = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{semiesfera}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot R_i^2 \cdot L$$

$$V_{\text{semiesfera}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_i^3$$

Figura III.6. Ecuaciones para determinar el volumen total de un cilindro manualmente.

A partir de estas ecuaciones, se igualaría la primera a 148,878 L que es el volumen total.

La herramienta SolidWorks nos permite resolver este problema de una forma más sencilla, utilizando la simulación.

Primero se realizará el croquis y se acotará correctamente con unas medidas más o menos coherentes según las dimensiones del doble fondo que predeterminarán las dimensiones de los depósitos, pero sirven de modelo para ser optimizadas.

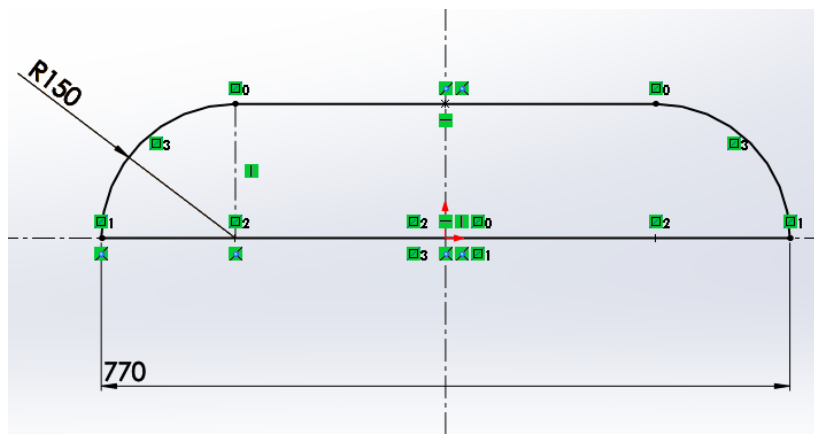


Figura III.7. Representación del croquis inicial.

III. Desarrollo proyecto

A partir del croquis realizado, que mostrará la zona interna del depósito, se cerrará y se ejecutará la operación “Revolución de saliente/base”. A partir de realizar esta operación se dispondrá un cilindro macizo.

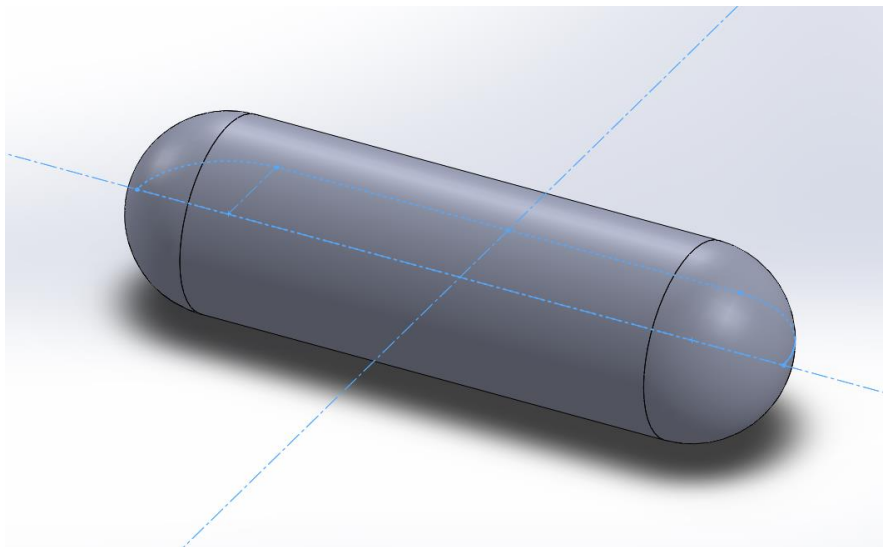


Figura III.8. Cilindro macizo.

Para poder desarrollar este sistema de optimización mediante la herramienta SolidWorks, se debe de realizar un estudio de diseño mediante el uso de la “simulación”. Hay que ver si esta pestaña está activada, de no ser así, se tendrá que ir al menú, seleccionar la ventana complementos y activar la simulación como se va a mostrar a continuación.

III. Desarrollo proyecto

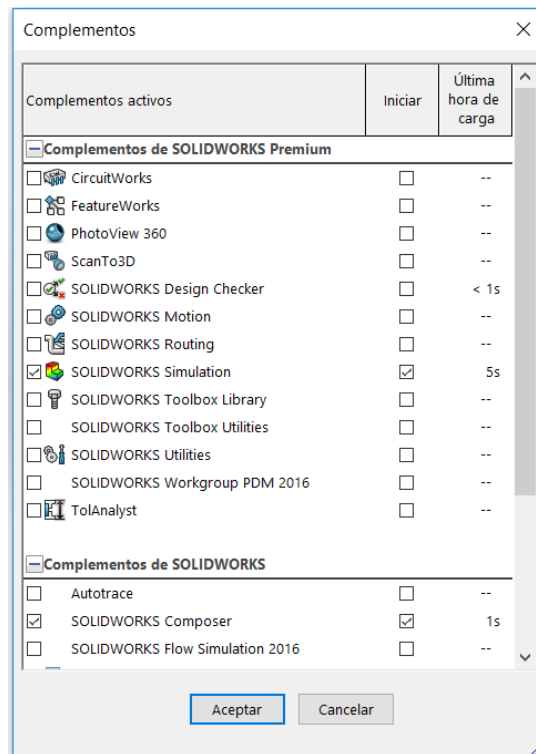


Figura III.9. Representación gráfica de la activación de la herramienta “Simulation”.

Para poder realizar este estudio, se accederá a la ventana simulación, se seleccionará nuevo estudio y se desplegarán todos los tipos de estudio posibles, seguidamente se marcará estudio de diseño para optimizar las dimensiones óptimas a partir del volumen deseado para almacenar.

III. Desarrollo proyecto

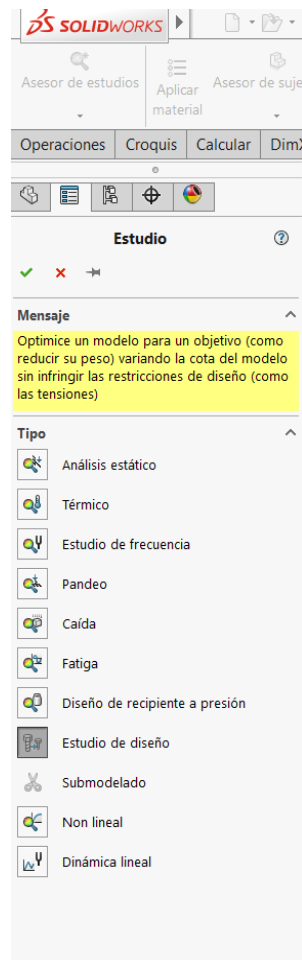


Figura III.10. Representación gráfica de la selección del estudio de diseño.

Después de seleccionar esta opción, una vez se acepta, aparecen bajo las variables, las restricciones y los objetivos. A partir de estas opciones se podrá desarrollar nuestro objetivo y encontrar las dimensiones óptimas.



Figura III.11. Representación de las variables, restricciones y objetivos a definir.

III. Desarrollo proyecto

Seguidamente, para poder agregar correctamente los elementos anteriores se podrá seleccionar la vista de sección.

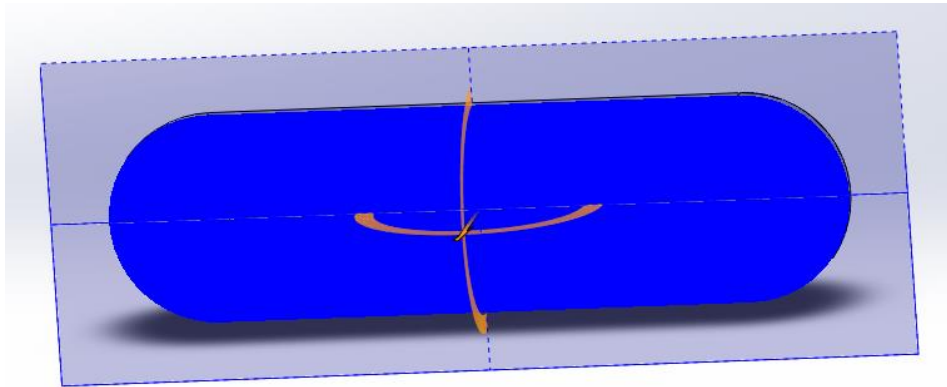


Figura III.12. Representación gráfica de la vista de sección.

Después se selecciona la ventana variables, luego se hace clic en agregar parámetro, en nombre se pone las variables a optimizar, R_i y L y se eligen en el modelo. Estas cotas son las provisionales y sobre las cuáles se van a optimizar.

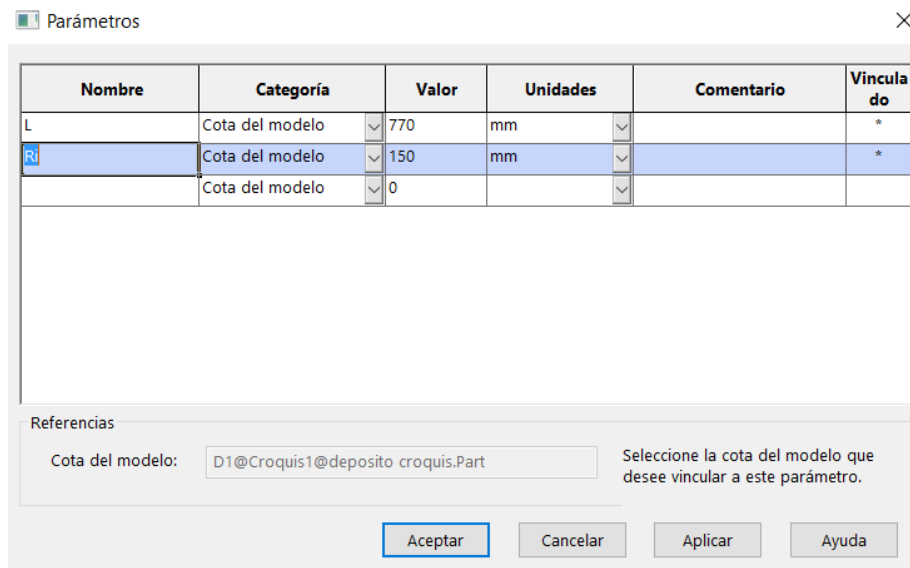


Figura III.13. Selección de las variables a optimizar.

Después de haber definido las variables, se van a definir los intervalos de paso de cada una de ellas que vendrán determinados según las dimensiones del doble fondo del maletero, éste es el que determinará las dimensiones de los depósitos ya que tiene

III. Desarrollo proyecto

una geometría más reducida que el maletero. Se han definido los siguientes intervalos ya que el objetivo es maximizar el volumen en este espacio.

Variables							
L	Intervalo con paso	Min:	500mm	Máx:	770mm	Paso:	10mm
Ri	Intervalo con paso	Min:	40mm	Máx:	110mm	Paso:	5mm
Haga clic aquí para agregar Variable							
Restricciones							
Haga clic aquí para agregar Restri							
Objetivos							
Volumen3	Maximizar	Haga clic aquí para agregar Objeto					

Figura III.14. Rango de valores y valor de paso de las variables a optimizar según la restricción de la geometría del doble fondo.

Para maximizar el volumen se tiene que seleccionar el menú de objetivos, agregar sensor, en el tipo de sensor se selecciona propiedades de masa, en propiedades se selecciona volumen y se selecciona todo el sólido.

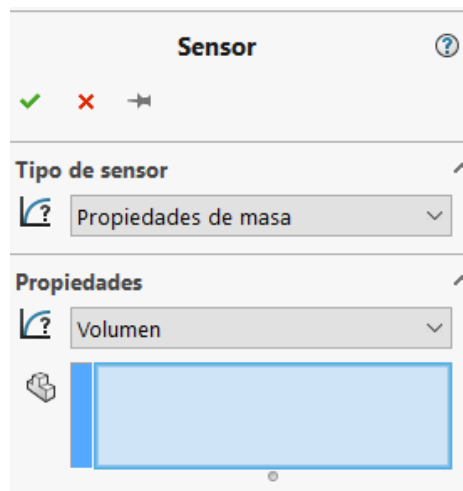


Figura III.15. Selección del volumen de la pieza para poder optimizarlo.

Luego se confirma y se ejecuta el análisis, arriba aparecerán el total de escenarios activos que serán las posibles soluciones que suministrará SolidWorks, sobre las cuáles el programa dará la más óptima. Estas son las dimensiones óptimas para almacenar el máximo volumen en esas dimensiones, dependiendo del material que se utilice el espesor del recipiente será mayor o menor.

III. Desarrollo proyecto

		Actual	Inicial	Óptimo (420)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
L		520mm	520mm	770mm	500mm	510mm	520mm
Ri		50mm	50mm	110mm	40mm	40mm	40mm
Volumen 3	Maximizar	3.82227e+006 mm³	3.82227e+006 mm³	2.64826e+007 mm³	2.37923e+006 mm³	2.4295e+006 mm³	2.47976e+006 mm³

Figura III.16. Dimensiones óptimas para almacenar el máximo volumen en esas dimensiones.

Según esta opción, para albergar los 148,878 L, harán falta 2 depósitos en el doble fondo de estas dimensiones y 4 depósitos en el maletero, ya que cada uno alberga 26,5 litros.

Al mismo tiempo, se realizó otra simulación en la que se pusieron estas restricciones para que no superaran los valores predeterminados del vehículo. Además, el objetivo que se estableció fue que albergara los 148,878 L de combustible en vez de maximizar el volumen como en el estudio de antes. Y se restringió que la longitud y el radio no sobrepasarán dichos valores para ser introducidos en el doble fondo y dejar un margen amplio de seguridad.

Variables					
L	Intervalo con naso	Min: 500mm	Máx: 770mm	Paso: 10mm	
Ri	Intervalo con naso	Min: 50mm	Máx: 85mm	Paso: 5mm	
Haga clic aquí para agregar Variable					

Figura III.17. Rango de valores y valor de paso de las variables a optimizar según la restricción de la geometría del doble fondo con un radio más limitado que el estudio anterior.

Restricciones			
Cota2	es menor que	Máx: 770mm	
Cota3	es menor que	Máx: 110mm	
Haga clic aquí para agregar Restri			

Figura III.18. Restricciones de la longitud y radio del depósito para poder introducirlo en el doble fondo.

Objetivos		
Volumen3	Es exactamente	1.5e+008 mm³
Haga clic aquí para agregar Objeto		

III. Desarrollo proyecto

Figura III.19. Objetivo, para albergar los 150 L calculados.

Según este otro estudio, las soluciones se muestran en la siguiente figura.

		Actual	Inicial	Óptimo (0)
Cota2	< 770mm	770mm	770mm	770mm
Cota3	< 110mm	85mm	85mm	85mm
Volumen 3	Es exactamente 0.15	1.61912e+007 mm ³	1.61912e+007 mm ³	1.61912e+007 mm ³

Figura III.20. Dimensiones óptimas según el segundo estudio de diseño.

En este caso, para poder albergar la totalidad de combustible, harían falta 3 depósitos en el doble fondo y 7 depósitos en el maletero con estas dimensiones, esta opción implicaría mucho coste ya que se trata de 10 depósitos, cada uno alberga 16,2 litros.

Además, también se realizó un tercer estudio. En este caso se incrementaron los intervalos de valores de las variables para encajar los depósitos en el maletero, en el caso de que por alguna circunstancia, no se pudieran introducir en el doble fondo.

Variables						
L	Intervalo con paso	Min: 500mm	Máx: 1200mm	Paso: 10mm		
Ri	Intervalo con paso	Min: 50mm	Máx: 150mm	Paso: 5mm		
Haga clic aquí para agregar Variable						

Figura III.21. Rango de valores y valor de paso de las variables del diseño 3 a optimizar según las dimensiones del maletero.

III. Desarrollo proyecto

Y el objetivo fue albergar el volumen total.

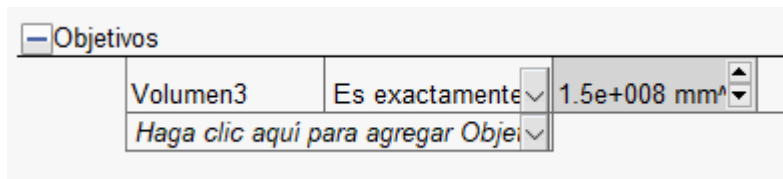


Figura III.22. Objetivo, albergar el volumen de combustible total, en el diseño 3.

Con ello, las dimensiones óptimas fueron las siguientes.

Óptimo (1491)	
1200mm	!
150mm	!
7.77544e+007 mm ³	!

Figura III.23. Dimensiones óptimas según el tercer estudio de diseño.

En este último estudio, sólo sería necesario instalar dos depósitos de estas dimensiones en el maletero ya que almacenarían el total del combustible, cada uno alberga 77 litros.

III. Desarrollo proyecto

Una vez realizados los 3 estudios, ya se tienen las dimensiones internas óptimas del depósito, se elegirán las dimensiones una vez realizados los ensayos estáticos con el material que cumpla con el espesor y encaje con las dimensiones restringidas, seguidamente se procederá a definir el espesor inicial y a diseñar los anclajes.

Para definir el espesor inicial, se elige la opción 1 ya que con ello disponemos de un menor tamaño de depósitos, y a lo mejor, se podrían ubicar en el doble fondo, reduciendo el espacio que ocupan en el vehículo.

Primero se procede a eliminar la revolución del diseño, después se vuelve al croquis y se elimina la línea que cierra el sólido, se ejecuta la operación “equidistanciar entidades” y se pone un espesor inicial de 10 mm que será un valor provisional que será optimizado posteriormente, y se ubica hacia la parte exterior para que no le quite volumen a la pieza.

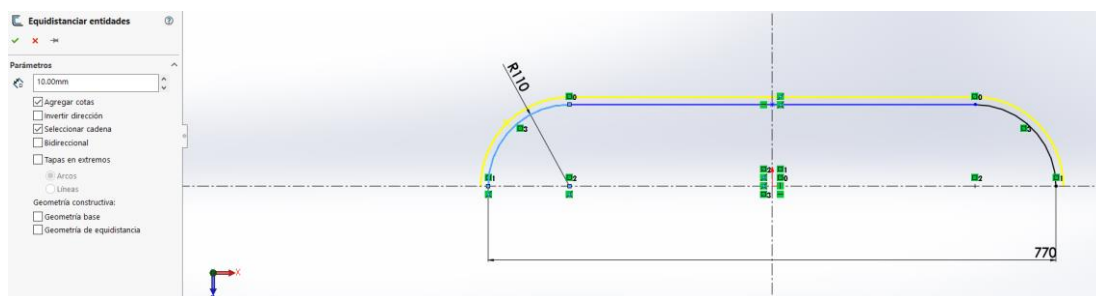


Figura III.24. Representación de la realización del espesor inicial.

Luego se cierran los bordes del depósito.

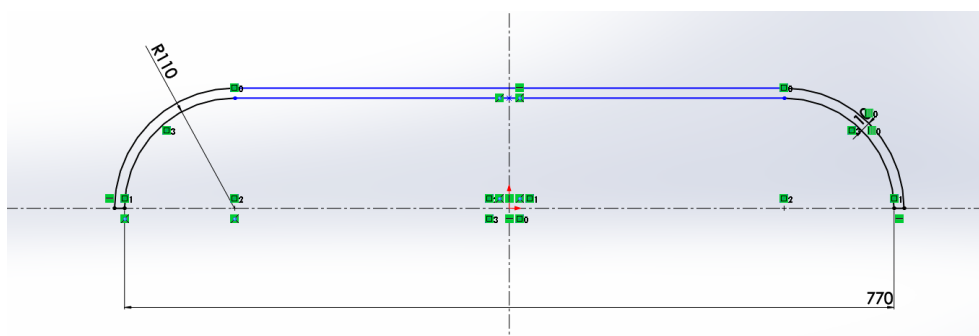


Figura III.25. Representación del croquis con los bordes cerrados para poder formar un sólido.

III. Desarrollo proyecto

Con ello se cierra el croquis, se realiza la revolución de saliente/base y se selecciona el plano sobre el que se quiere croquizar la sección transversal de la operación.

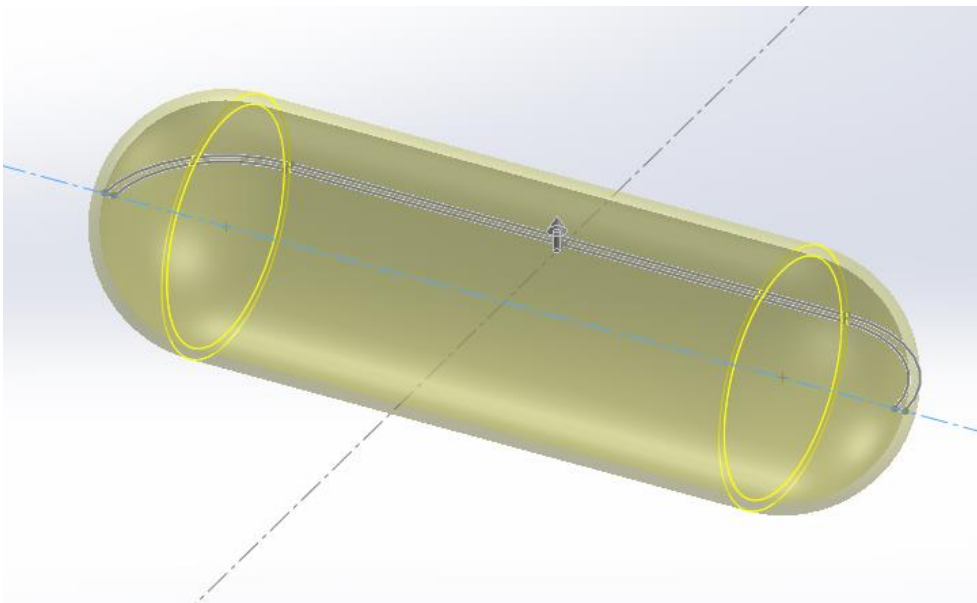


Figura III.26. Representación, de la operación de la “Revolución de saliente/base” para formar un sólido.

Finalmente se acepta la operación y se obtiene el depósito con espesor inicial de 10 mm.

III. Desarrollo proyecto

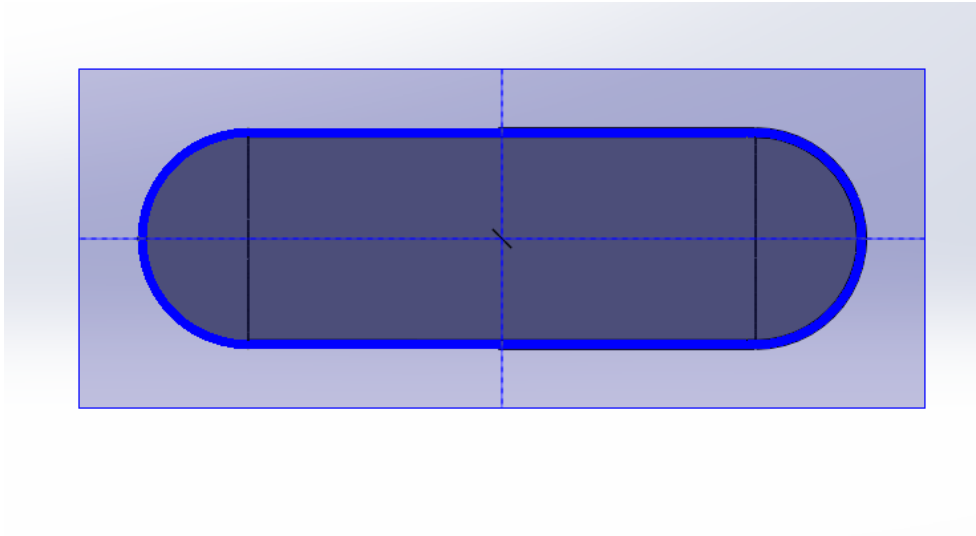


Figura III.27. Comprobación con la vista de sección para ver que se ha formado el sólido con espesor.

Una vez establecido el espesor se procede a realizar los anclajes. Se crea un croquis nuevo y se selecciona un plano.

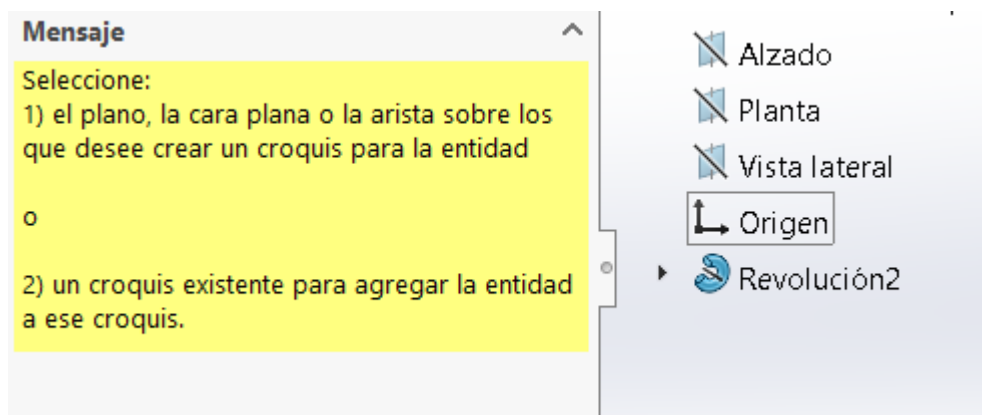


Figura III.28. Selección del plano para dibujar los anclajes.

III. Desarrollo proyecto

Cuando se haya hecho esta operación, se dibujarán los anclajes con las condiciones establecidas según la normativa, es decir, constarán de dos correas de 30mm de anchura y estarán separadas de las semiesferas 50 mm.

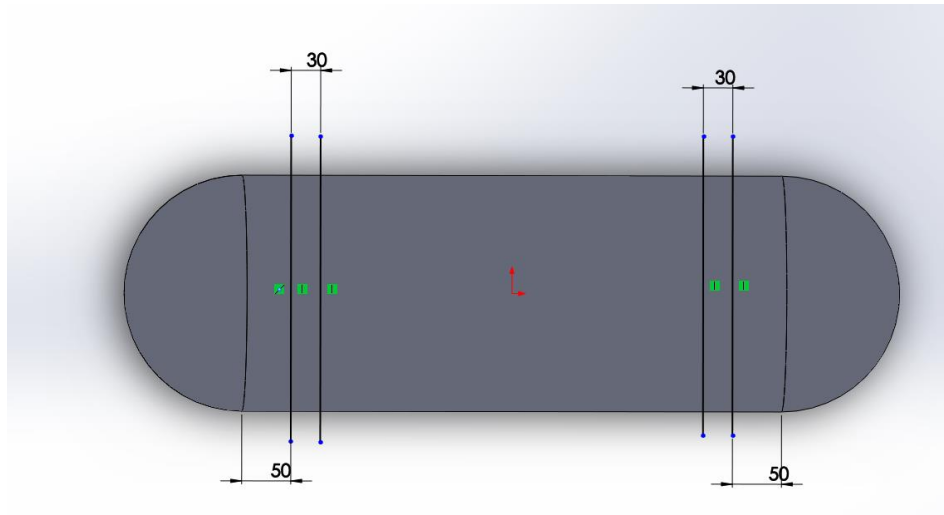


Figura III.29. Representación de los anclajes con sus acotaciones.

Cuando estén ya definidos, se procede al menú principal, se selecciona “Insertar”, “Curva” y finalmente “Línea de partición”. Después de seleccionar esta opción, se selecciona en tipo de partición “proyección” para que se proyecten los anclajes en el croquis. La parte de color rosa indica el croquis que se pretende proyectar y la parte de color azul indica la parte del depósito exactamente sobre la cual se pretende proyectar.

III. Desarrollo proyecto

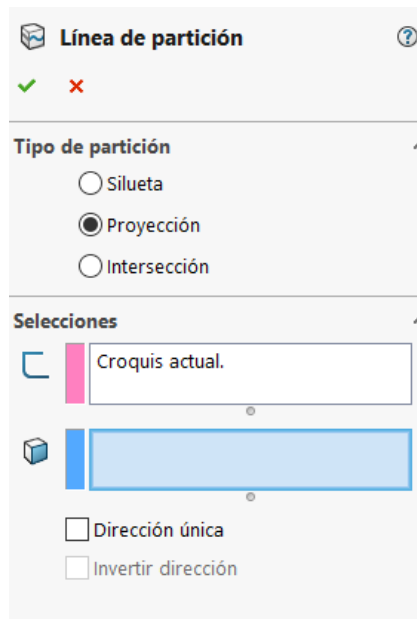


Figura III.30. Selección de la cara a proyectar los anclajes.

Para finalizar, se acepta esta operación y ya se dispone de los anclajes para posteriormente realizar los ensayos apropiados.



Figura III.31. Croquis con los anclajes definidos.

III. Desarrollo proyecto

III.4. NORMATIVA APLICABLE.

Este punto reflejará la normativa de obligado cumplimiento que dicho producto debe cumplir, ya que así el producto podrá ser utilizado legalmente y cumplirá todas las expectativas.

En cuanto a la seguridad, que es muy importante a tener en cuenta, cabe destacar que los vehículos que funcionan con GNC se pueden considerar bastante seguros, ya que los depósitos, son creados con elevada resistencia. En el caso de que se produjera un accidente, este gas, se volatilizaría rápidamente, es decir, sería difícil que se incendiara. Además, este gas es menos inflamable que la gasolina.

En referencia al sistema de almacenamiento, el reglamento ECE R110 se encarga de establecer lo que tienen que cumplir los tanques de GNC y su propia instalación. Este reglamento establece que los tanques tienen que ser inspeccionados periódicamente. Las sujeciones y tuberías deben de estar correctamente fijadas. El sistema de combustible, es decir, las tuberías, tienen que estar fabricados de acero inoxidable y en caso de sufrir un golpe, tienen que tener un buen comportamiento dúctil. Las válvulas, como son los elementos más inermes, deben de estar correctamente aisladas y protegidas.

Teniendo en cuenta las fugas de combustible, cabe destacar que este gas dispone de un elemento que posibilita su detección. Es necesario que donde se sitúe este vehículo, haya un sistema de ventilación adecuado, aunque sea difícil que se acumule ya que es volátil, siempre se tiene que asegurar un sistema de evacuación.

La seguridad a la hora de repostar este gas es muy importante, existen varias normas que lo regulan, el REAL DECRETO 919/2006 es una de ellas.

A continuación, se van a nombrar unas normas que regulan el sistema de almacenamiento y la calidad y composición del gas natural.

ISO TC58/SC3, regula los tanques de gas en los vehículos.

ISO TC193, regula la composición de este gas.

III. Desarrollo proyecto

ISO/DIS 11439, regula los tanques a elevada presión para almacenar gas a alta presión como forma de combustible en vehículos.

ISO/TR 15403, regula la calidad de este gas para ser usado como combustible.

ISO 15500, esta norma regula los elementos del sistema de alimentación de este gas.

ISO/DIS 15501, regula los distintos ensayos para el sistema de alimentación nombrado anteriormente y la seguridad de éstos.

ISO 14469, regula las conexiones para el sistema de llenado de los tanques de almacenamiento.

ISO/DIS 19078, regula las inspecciones necesarias para los tanques de gas natural comprimido en un vehículo.

El reglamento ECE R110 nombrado anteriormente, también se encarga de homologar el sistema de instalación de todos los componentes específicos del vehículo para ser usados con gas natural comprimido. Este reglamento indica los materiales por los cuáles se pueden fabricar los depósitos. Además, establece todos los ensayos necesarios que deben de cumplir los tanques para ser homologados, también las condiciones de trabajo de éstos. Así como todas las inspecciones técnicas y la vida que tienen éstos.

El reglamento ECE R115, se encarga de marcar las pautas para homologar un sistema de transformación en un vehículo de motor para utilizar gas natural comprimido o licuado en su avance, es decir, la homologación de la conversión de un vehículo a gas natural comprimido o licuado. También se encarga de marcar la adecuada fijación de los tanques de combustible.

Las emisiones también son un factor importante, la normativa nombrada anteriormente (ECE R115) también regula las emisiones de los vehículos. Cuando se homologue el vehículo, tiene que cumplir con la normativa EURO que esté en vigor en

III. Desarrollo proyecto

ese momento, es decir, un vehículo homologado actualmente tendría que cumplir la normativa EURO6.

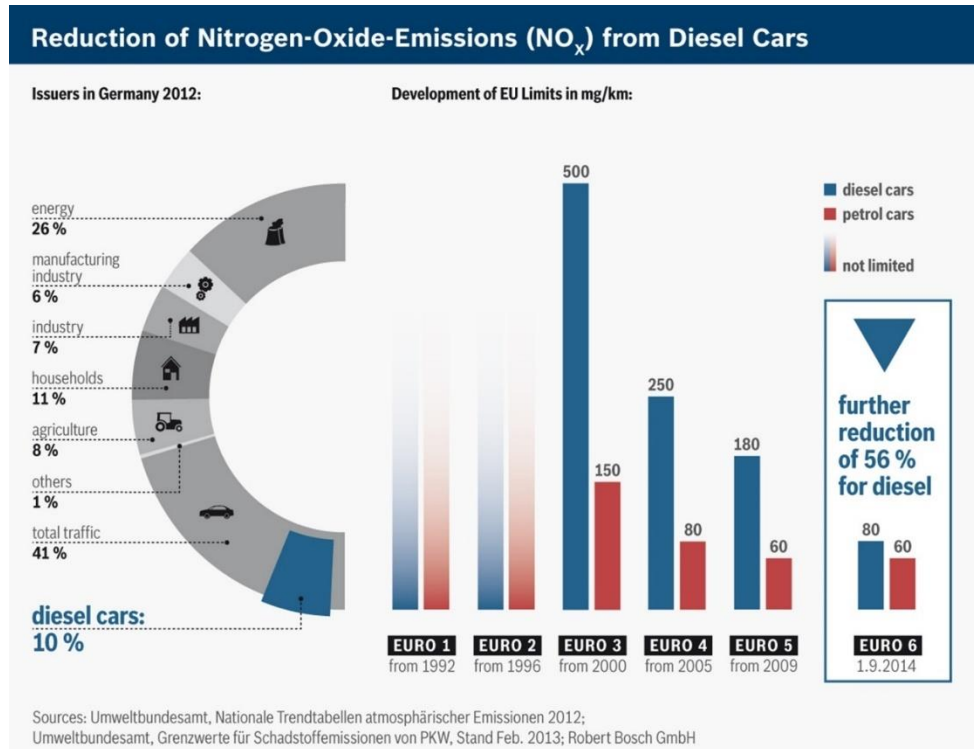


Figura III.32. Gráfica, que muestra las emisiones desde la normativa EURO 1 hasta la EURO 6.

III. Desarrollo proyecto

III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Después de realizar el diseño del tanque, a través de la herramienta SolidWorks, quedan sus partes bien definidas y preparado para poder ejecutar su fabricación. Aún no se han estudiado los comportamientos estáticos ni térmicos de la pieza, después de ello se determinará si la pieza es adecuada y se pueda fabricar, o, por el contrario, se tendrá que rediseñar la pieza y volverla a someter a estos comportamientos hasta que cumpla con los resultados óptimos.

Se van a ejecutar varias simulaciones con el objetivo de acercarse a saber el comportamiento real de la pieza en relación a la temperatura y a la presión interna que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente. Se van a realizar 2 pruebas, un análisis estático y un análisis térmico.

III.5.1. Análisis estático.

En esta simulación, se va a someter a la pieza a un análisis estático producido por la presión que ejerce el gas.

Las condiciones iniciales serán 200 bar de presión de trabajo. Para poder diseñar una pieza segura, se va a considerar un FS en relación a la presión de ensayo, por ello, se va a considerar un factor de seguridad de al menos 1,5, según el material seleccionado, se extraerá el límite elástico y se dividirá entre el factor de seguridad y eso restringirá que la pieza no supere esa máxima tensión con el objetivo de realizar una pieza fiable. Previamente se realizará un análisis estático con el espesor inicial establecido, y en el caso de que el factor de seguridad no cumpla, se realizará un estudio de diseño restringiendo la tensión máxima de la pieza aplicándole el FS y, por último, se realizará un análisis estático final para comprobar que la pieza tenga el FS correcto y no supere las tensiones máximas permitidas.

III. Desarrollo proyecto

III.5.2. Análisis de impacto.

En este ensayo se analizará la capacidad que tiene la pieza de resistir un impacto. La normativa ECE R110 especifica que los tanques de combustible no deben de sufrir ningún daño tras sufrir un impacto. Se va a realizar un ensayo de impacto en el cuál, se interpondrá una barrera rígida detrás de la pieza y se dejará caer la pieza verticalmente desde una altura óptima a partir de la cuál la energía potencial sea de 488J.

$$E_p = m * g * h$$

$$29,87 * 9,81 * h = 488$$

$$h = 1,67m$$

Esto quiere decir que se debe dejar caer la pieza a 1,67 m para que tenga esta energía potencial.

III. Desarrollo proyecto

III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este punto, se va a realizar un estudio de los posibles materiales con los que se podría fabricar la pieza, persiguiendo el objetivo de diseñarla con el material que cumpla los objetivos y necesidades principales para que sea lo más competitivo posible.

La normativa ECE R110 establece los materiales óptimos para realizar esta pieza, además, marca los tipos de diseño que se pueden ejecutar, que se han nombrado y mostrado anteriormente.

Para poder elegir el material correcto, se van a seleccionar unas características que debe cumplir la pieza para ser óptima y adecuada, una buena resistencia y rigidez, que funcione correctamente a elevadas temperaturas y, además, que cumpla una buena modelación y que sea compatible con el medio ambiente.

- Bajo coste.
- Resistencia mecánica.
- Baja densidad.
- Facilidad de montaje.
- Compatible con el medio ambiente.
- Resistencia térmica.

Una vez determinadas las propiedades y características de los materiales, seguidamente se van a elegir las posibles familias. Según la normativa los materiales más empleados para este tipo de pieza son los metálicos y los materiales compuestos.

A continuación, una vez determinadas las familias de los materiales y las características, se va a realizar un proceso para seleccionar el posible material más óptimo para que la pieza cumpla con los requisitos seleccionados y que sea segura. El proceso se llama VALOR TÉCNICO PONDERADO.

III. Desarrollo proyecto

En referencia a las características nombradas anteriormente, se les va a otorgar a cada propiedad un valor de criterio del 1 al 10 según la importancia que tengan. A cada familia de materiales se les va a asignar un valor que vendrá influenciado por la relevancia que tenga cada material con respecto a esa cualidad y el intervalo será de 1-5.

			Metal	Material compuesto	
Propiedades:	Valor del criterio(1-10)	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Bajo coste	6	4	24	3	18
Resistencia mecánica	10	5	50	5	50
Baja densidad	10	2	20	4	40
Facilidad de montaje	8	4	32	3	24
Compatible con el medio ambiente	5	3	15	3	15
Resistencia térmica	7	4	28	4	28
		Total	169	Total	175
		Ponderación VTP	0,73	Ponderación VTP	0,76

Figura III.33. Representación que muestra el valor técnico ponderado sobre los distintos materiales.

A través de los resultados de la tabla, se han establecido unos pesos y ponderaciones en relación a la fabricación de la pieza. Tras el estudio, el material más óptimo para la fabricación de esta pieza es el material compuesto, aun así, se van a estudiar dos materiales más, según la normativa se pueden emplear los siguientes para poder comparar entre ellos. El primero de ellos será el ACERO AISI 4340 NORMALIZADO, el segundo será el ALUMINIO 2014-T6 y por último se analizará un laminado de material compuesto.

Las propiedades del acero son las siguientes. Este material presenta un límite elástico de 710 N/mm², es decir, permitirá que no haya deformaciones plásticas permanentes.

III. Desarrollo proyecto

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.32	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	1110	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	710	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.23e-005	/K
Conductividad térmica	44.5	W/(m·K)

Figura III.34. Propiedades del Acero AISI 4340 normalizado.

En referencia al aluminio, destacan las siguientes características.

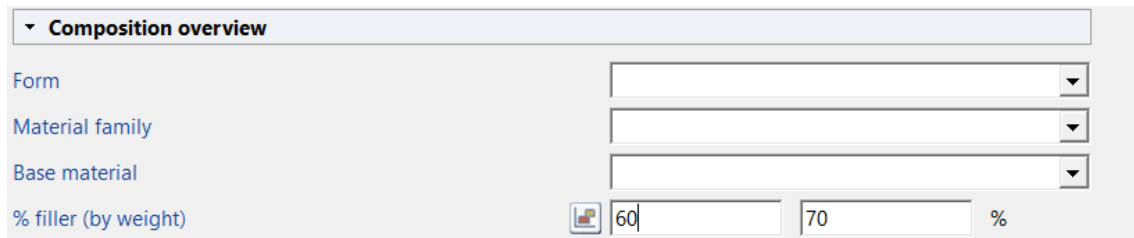
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	72400	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	28000	N/mm ²
Densidad de masa	2800	kg/m ³
Límite de tracción	470	N/mm ²
Límite de compresión	470	N/mm ²
Límite elástico	415	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	2.3e-005	/K
Conductividad térmica	155	W/(m·K)

Figura III.35. Propiedades del Aluminio 2014-T6.

En relación a la elección del material compuesto, se pretenderá seleccionar el material que mayor módulo de Young posea, ésta característica indica la rigidez del material, por tanto, será decisivo en la deformación de la pieza y aportará más seguridad.

III. Desarrollo proyecto

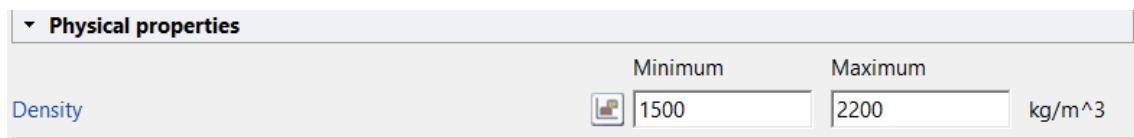
A través de realizar un estudio de los materiales compuestos, los rangos de porcentaje para obtener mejores propiedades son una concentración de fibras entorno al 60-70%. Se introducirá esta proporción en el Ces Edupack.



Composition overview	
Form	<input type="text"/>
Material family	<input type="text"/>
Base material	<input type="text"/>
% filler (by weight)	<input type="text" value="60"/> <input type="text" value="70"/> %

Figura III.36. Aplicación del filtro del porcentaje de fibras para buscar el material compuesto a emplear.

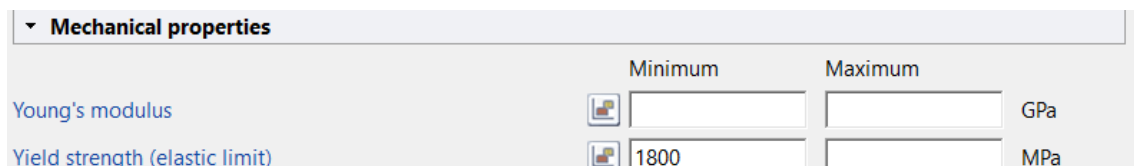
En segundo lugar, se introducirá un valor bajo de densidad, ya que se pretende reducir el peso de la pieza.



Physical properties	
	Minimum Maximum
Density	<input type="text" value="1500"/> <input type="text" value="2200"/> kg/m ³

Figura III.37. Aplicación del filtro de un intervalo de densidad relativamente baja.

En tercer lugar, se establecerá un límite elástico alto mínimo con el objetivo de que la pieza no sufra deformaciones elásticas permanentes.



Mechanical properties	
	Minimum Maximum
Young's modulus	<input type="text"/> <input type="text"/> GPa
Yield strength (elastic limit)	<input type="text" value="1800"/> <input type="text"/> MPa

Figura III.38. Aplicación del filtro de un mínimo límite elástico alto para buscar un material que aguante las características de diseño.

III. Desarrollo proyecto

A través de esta búsqueda, el programa nos muestra las soluciones a los materiales posibles.

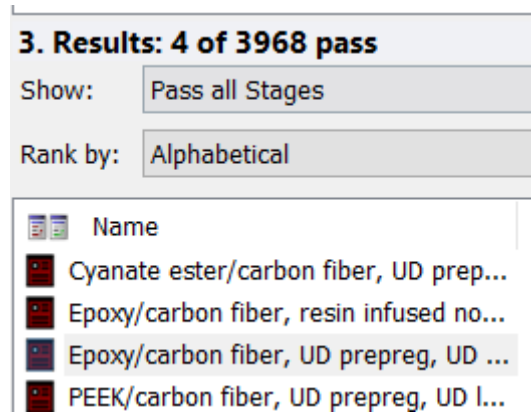


Figura III.39. Representación de los cuatro posibles materiales compuestos que cubren las propiedades elegidas a través del software CesEduPack.

A fin de haber estudiado los posibles materiales compuestos, y teniendo en cuenta el precio entre ellos y las características deseadas, cabe destacar que se ha seleccionado el compuesto: "Epoxi/Carbon fiber". Sin embargo, no se utilizará este compuesto como tal, es decir, se recogerán las propiedades de cada material por su parte ya que las propiedades que nos muestra el programa no albergan todas las que se necesitan para la ejecución de esta pieza, se va a utilizar un cálculo para las propiedades del material compuesto determinado, el método de Chamis.

Hay dos posibles fibras para utilizar con este compuesto según las conveniencias del proyecto, la de alta resistencia de 5 micras y la de ultra alto módulo de 10 micras. Se va a elegir la de alta resistencia ya que el precio es mucho menor y también es un factor decisivo.

Alta resistencia

Price

Price	(i)	* 22,5	- 30,1	EUR/kg
Price per unit volume	(i)	* 4,05e4	- 5,53e4	EUR/m ³

Figura III.40. Precio de la fibra de carbono de alta resistencia.

III. Desarrollo proyecto

Ultra alto módulo

Price

Price	ⓘ	* 120	- 132	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 2,46e5	- 2,85e5	EUR/m ³

Figura III.41. Precio de la fibra de carbono de ultra alto módulo.

Las características del material compuesto por separado son las siguientes:

Tabla III.2. Propiedades de la matriz epoxi cycloaliphatic.

Datos matriz epoxi	
ρ_m	1,21 g/cm ³
E_m	3080 MPa
ν_m	0,4
G_m	1100 MPa
S_{mT}	66,2 MPa
S_{mC}	138 MPa
S_{mS}	66,2 MPa
V_f	0,7

Tabla III.3. Propiedades de la fibra de carbono de alta resistencia de 5 micras.

Datos fibra alta resistencia	
ρ_f	1,84 g/cm ³
E_{f11}	245000 MPa
E_{f22}	24500 MPa
ν_{12}	0,2
ν_{23}	0,25
G_{12}	110000 MPa
G_{23}	11000 MPa
X_{ft}	4000 MPa
X_{fc}	5000 MPa

III. Desarrollo proyecto

Y las propiedades del compuesto son:

Tabla III.4. Propiedades del compuesto extraídas mediante el modelo micromecánico de Chamis.

Modelo de Chamis	
E1	172424 MPa
E2	11470 MPa
E3	11470 MPa
v12	0,26
v13	0,26
v23	0,29
G12	6406 MPa
G13	6406 MPa
G23	4453 MPa
Xt	2800 MPa
Yt	58,3 MPa
Xc	3500 MPa
Yc	121,5 MPa
Sxy	57,2 MPa
r	1,651 g/cm ³
Le	1960(70%) MPa

III. Desarrollo proyecto

III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

Se ha realizado un estudio sobre las condiciones de contorno que le afectan a los depósitos y se ha investigado sobre las posibles fijaciones y puntos de anclaje de los recipientes a diseñar. Según el reglamento ECE R115 el recipiente se tendrá que fijar con 2 correas por depósito, cuatro pernos y las arandelas necesarias. En depósitos de hasta 85 litros, este es el caso, las dimensiones mínimas de las arandelas serán, 30*1,5 mm o 25*2,5 mm, las dimensiones mínimas de las correas serán, 20*3 mm o 30*1,5 mm, y el diámetro mínimo de los pernos será de 8 mm. En el caso de que las correas tengan que soportar el peso del depósito, se necesitarán 3 por lo menos, pero este no es el caso. La función principal de las correas es que el depósito no se gire, ni se desprenda, ni se deslice. Entre las correas y el depósito, se pondrá un material que proteja, como por ejemplo cuero.



Figura III.42. Depósitos con sus correspondientes correas de fijación.

III. Desarrollo proyecto

III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

Una vez se obtiene el diseño de las geometrías óptimas que debe tener el depósito y los 3 materiales que se van a utilizar en la fabricación para poder compararlos entre ellos, se analizará la simulación estática y de impacto para saber y conocer cómo se comporta la pieza en una situación real.

III.8.1. Simulación estática.

En esta simulación, se analizará cómo se comporta la pieza en unas condiciones parecidas a la realidad. Se va a realizar una simulación de elementos finitos a través de la herramienta SolidWorks. Se le aplicará una fuerza de presión de 200 bar y se recreará un entorno similar al real para posteriormente analizar los resultados obtenidos.

Esta simulación permitirá analizar las deformaciones unitarias, desplazamientos, factor de seguridad y tensiones sufridas por la pieza, por tanto, a través de los resultados se podrá decidir el material más apto para su fabricación.

Se explicarán todos los pasos para introducir todos los datos para hacer la simulación. Se van a realizar 3 simulaciones con 3 materiales diferentes, Acero AISI 4340 normalizado, Aluminio 2014-T6 y material compuesto.

Una vez ya se han diseñado los anclajes se accede a la pestaña “Simulación” y se genera un “Nuevo Estudio”. En el caso de no conocer cómo funciona este estudio se accederá a un “Asesor de Estudio” que guiará de forma ordenada cómo funciona esta herramienta.

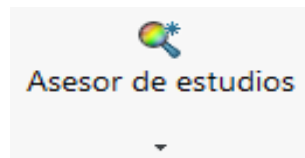


Figura III.43. Representación del asesor de estudios.

III. Desarrollo proyecto

Después de seleccionar un nuevo estudio, aparecerán distintas acciones que hacen referencia a los tipos de simulaciones que se pueden desarrollar en SolidWorks.

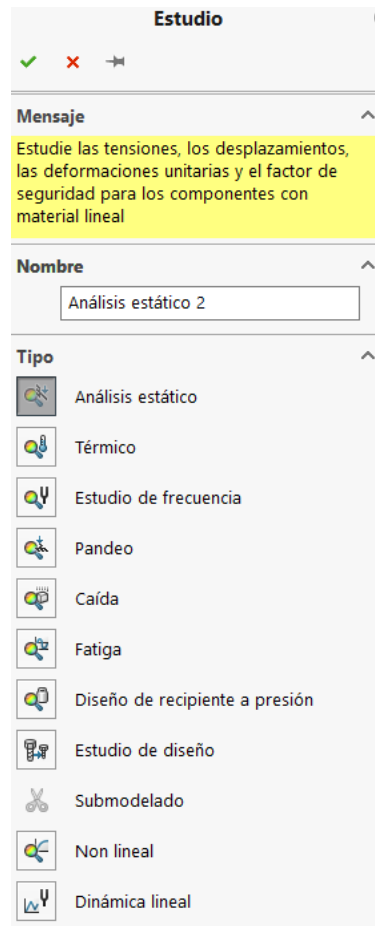
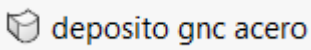


Figura III.44. Representación del estudio de un análisis estático.

Se va a efectuar un análisis de presión para ver cómo actúa el tanque frente a estas condiciones.

III. Desarrollo proyecto

III.8.1.1. Aplicación de materiales(Acero).

En primer lugar, se va a elegir el acero y el diseño nº1 ya que es el diseño que implica menos nº de depósitos y el material más favorable en relación al espesor final de la pieza, ya que tiene unas características que posibilitan una dimensión menor de esta cota. Se hace clic en el botón derecho del ratón en la siguiente expresión , luego se selecciona “Aplicar/Editar material”, y se abrirán los distintos materiales que alberga SolidWorks. En esta simulación, se va a elegir el Acero AISI 4340 Normalizado. Se trata de un material isotrópico, por tanto, se mantiene seleccionada en “tipo de modelo” la propiedad “Isotrópico elástico lineal”. En la parte inferior se muestran las características principales de este material, en específico cabe destacar su límite elástico, 710 MPa.

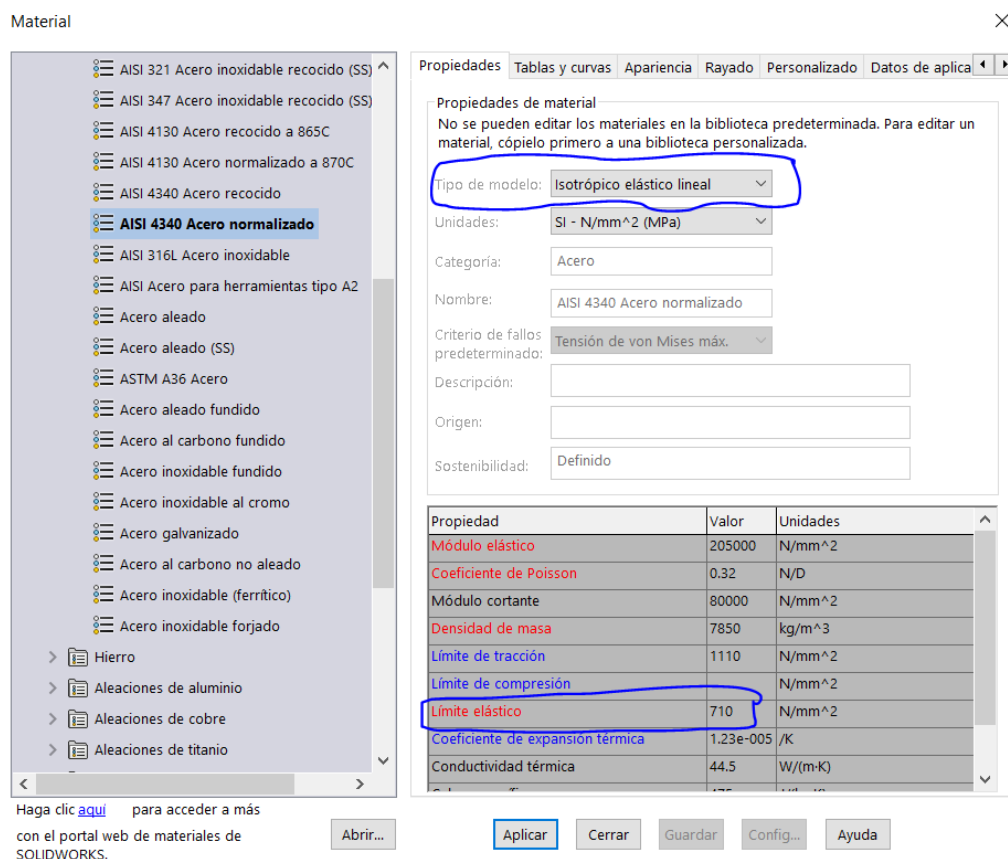


Figura III.45. Elección del acero para realizar un análisis estático.

III. Desarrollo proyecto

Después de haber seleccionado el material, se definirán los anclajes. Se seleccionará “Sujeciones”, posteriormente se hará clic en “Geometría fija”. Después de seleccionar esta opción, en el modelo se insertarán los dos anclajes.

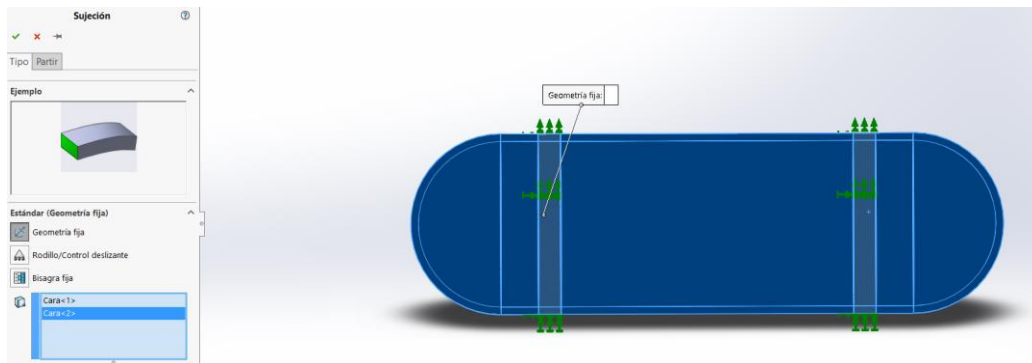


Figura III.46. Selección de las sujeciones en este estudio.

Luego se realizará una vista de sección para poder aplicar correctamente la presión interna.

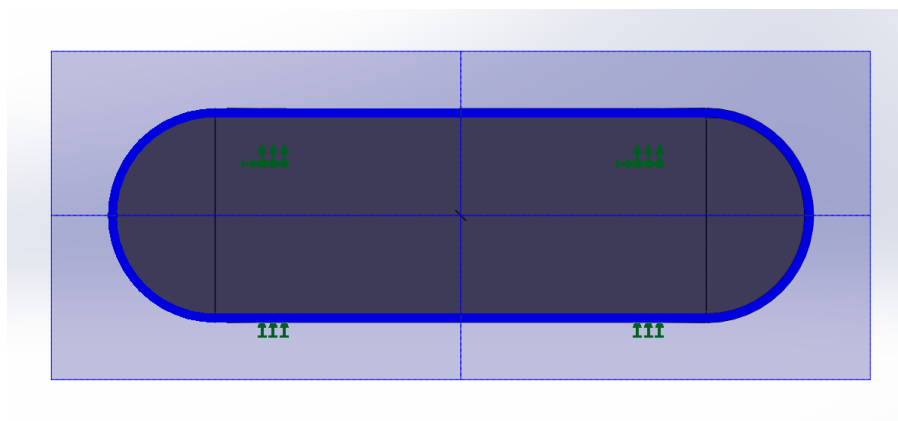


Figura III.47. Representación de la vista de sección para poder aplicar la presión interna.

III. Desarrollo proyecto

Después en “Cargas externas” se selecciona “presión”. Posteriormente se seleccionan todas las caras internas sobre las que actúa la presión, se mantiene pulsado la pestaña “Normal a la cara seleccionada” para que esta presión sea perpendicular a estas caras. Luego se ponen las unidades en N/mm² (MPa) y se pone 20 MPa.

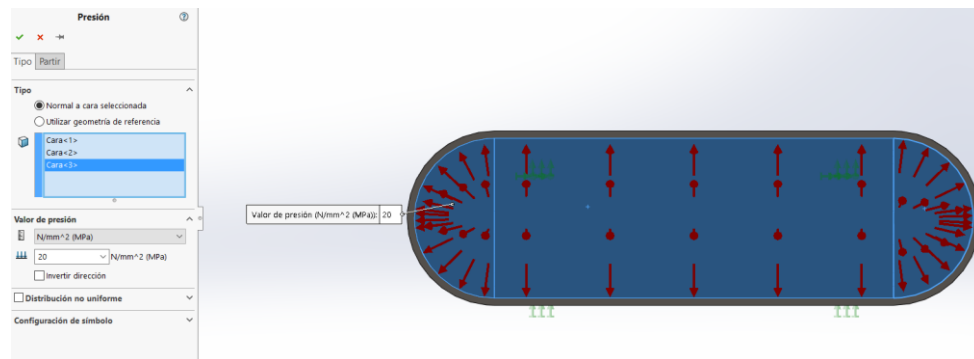


Figura III.48. Representación de la presión interna.

A continuación, se malla la pieza, ya que este programa utiliza el método de resolución de elementos finitos, es decir, resuelve el problema descomponiéndolo por partes, por eso al hacer la malla se puede resolver. Para realizar la malla se hace clic en el botón derecho en “Malla” y se pulsa ejecutar malla y se crea la malla, en este caso se va a hacer fina ya que así se descompone en fracciones más pequeñas.

III. Desarrollo proyecto

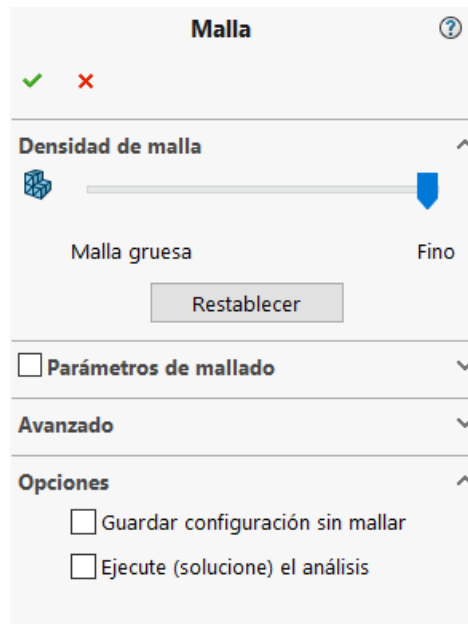


Figura III.49. Ejecución de la malla.

Aquí se puede apreciar la malla, ya se puede lanzar la simulación.

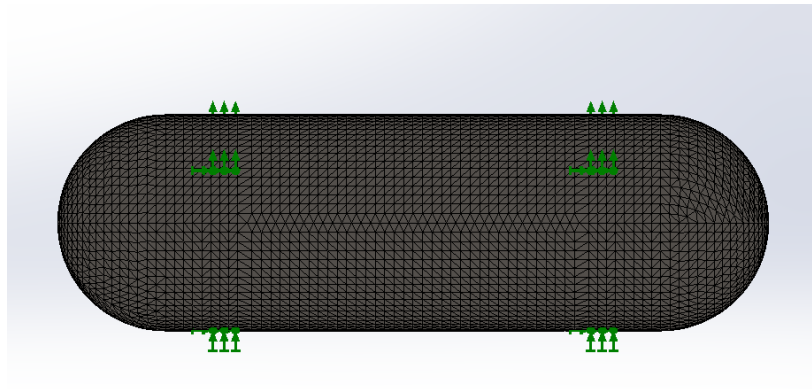


Figura III.50. Representación de la malla finalizada.

Para finalizar se ejecuta la simulación.

III. Desarrollo proyecto

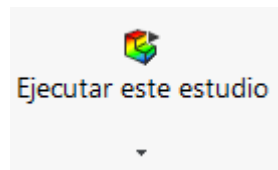


Figura III.51. Representación del icono para ejecutar el estudio.

Finalmente, SolidWorks muestra los resultados de las “tensiones”, “desplazamientos” y “deformaciones unitarias”. Seguidamente pulsando el botón derecho en las tensiones se pueden configurar, en este caso se va a utilizar como unidad el MPa.

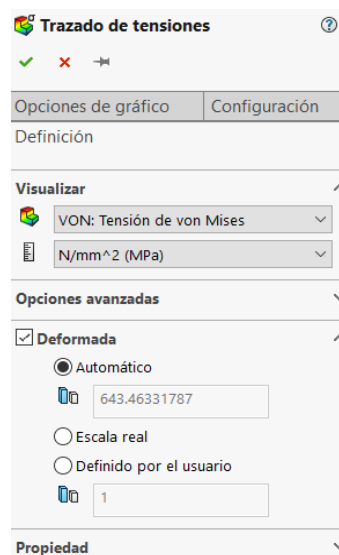


Figura III.52. Opciones del trazado de las tensiones.

También se impondrán los valores en tipo flotante.

III. Desarrollo proyecto

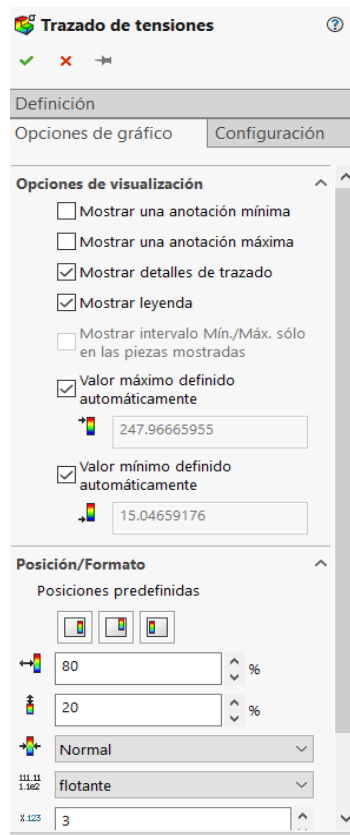


Figura III.53. Representación de los valores de las tensiones en tipo flotante.

El factor de seguridad también se guardará en los resultados, para ello, se hará clic en el botón derecho en resultados y se seleccionará definir trazado de factor de seguridad. Se puede concluir que el factor de seguridad mínimo es de 2,9, por tanto, se va a ejecutar un estudio de diseño para imponer el espesor óptimo. El espesor inicial eran 10 mm, es decir, se tendrá que reducir para ser óptimo y ajustado a el factor de seguridad de 1,5.

Se crea un nuevo “Estudio de diseño” y se optimiza el espesor, para ello se divide el limite elástico del material entre el factor de seguridad para obtener la tensión máxima de trabajo ($710/1,5=473,33$ MPa).

En las variables se añade el espesor, en objetivo se selecciona “Tipo de sensor” y luego “Datos de simulación”, las unidades en MPa.

III. Desarrollo proyecto

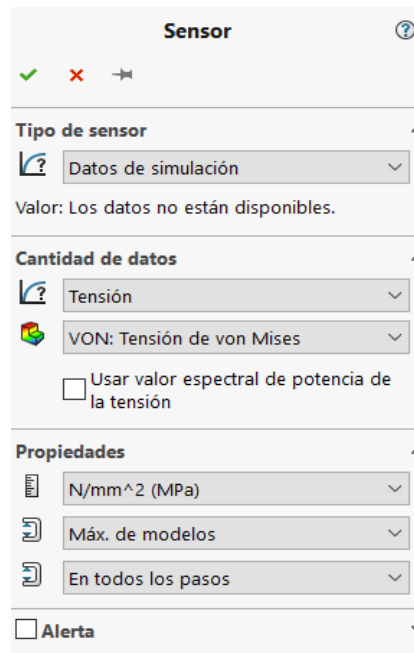


Figura III.54. Representación del tipo de sensor para realizar el nuevo estudio de diseño para optimizar el espesor.

Para ejecutar este estudio, se selecciona exactamente la tensión máxima a la que se puede trabajar según el factor de seguridad (473,33 MPa). Después de realizar el estudio de diseño el espesor óptimo es de 5 mm.

Después se vuelve a realizar un “Análisis estático” y se observa la máxima tensión. (461,15 MPa). No se supera el límite elástico.

III. Desarrollo proyecto

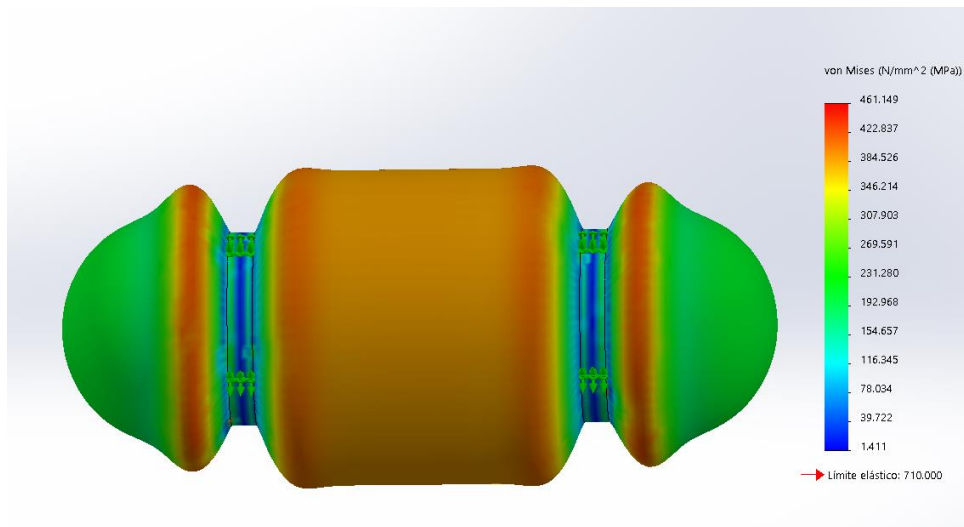


Figura III.55. Representación de la tensión por criterio de Von Mises en el diseño de la opción 1.

Se puede observar que el factor de seguridad cumple con las expectativas.

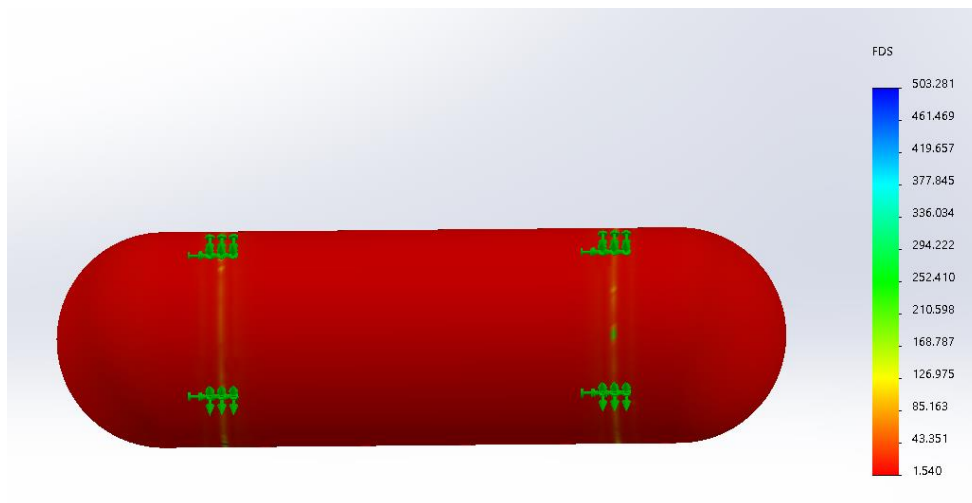


Figura III.56. Representación del factor de seguridad en el ensayo de la primera opción con el acero.

III. Desarrollo proyecto

Se puede llegar a la conclusión de que, con este material, siendo el más favorable, el espesor de las paredes serían de 5mm, es decir, el espesor final de la pieza sería $(220+(2*5)) = 230\text{mm}$, y el doble fondo tiene una altura de 230 mm, por tanto, no se podrían ubicar los depósitos en este espacio ya que estarían en contacto con el doble fondo, dando lugar a rechazar este diseño. Esto nos hace llegar a la conclusión de que la segunda opción tampoco sería viable ya que harían falta 10 depósitos y el coste económico aumentaría mucho, por tanto, se tiene que recurrir a la tercera opción de fabricar 2 depósitos en el maletero de $1200*300\text{ mm}$.

Aquí se muestra el diseño final (opción 3) que se va a elegir para ejecutar las simulaciones con sus correspondientes fijaciones y cotas de éstas.

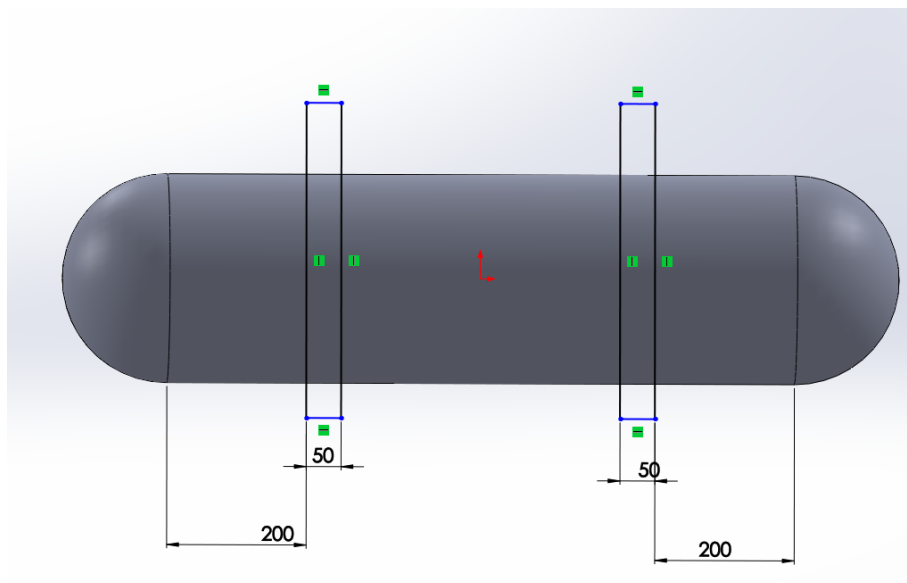


Figura III.57. Representación del diseño final con las dimensiones de sus anclajes.

A partir de este diseño, se realiza todos los pasos nombrados anteriormente con el acero.

III. Desarrollo proyecto

Al ejecutar el estudio se aprecia una tensión máxima de 370,18 MPa y una mínima de 1,55 MPa.

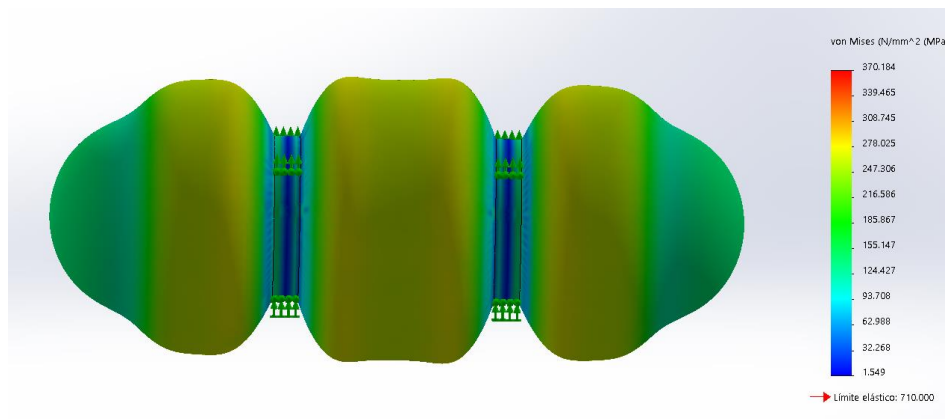


Figura III.58. Representación de la tensión del diseño final.

Aparece un desplazamiento máximo de 0,225mm. Como se puede observar, son muy pequeñas debido a que aún no se ha establecido el factor de seguridad correcto.

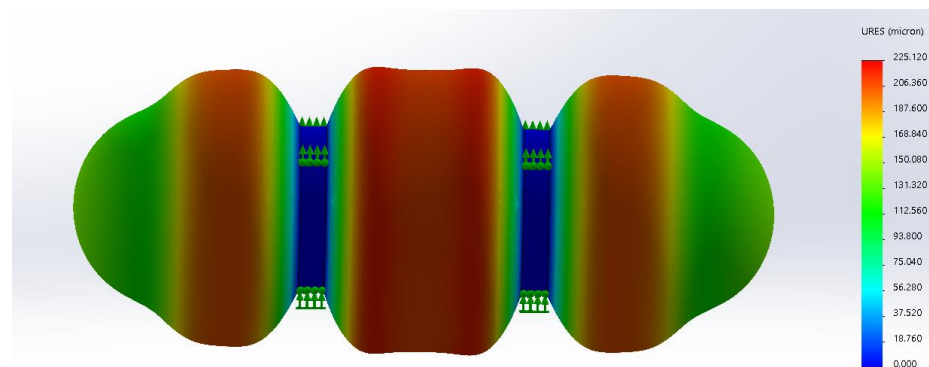


Figura III.59. Representación de los desplazamientos.

También se observa una deformación unitaria de 0,001, como se puede concluir, son muy bajas, por tanto, no existe riesgo a que el material se rompa por ninguna parte,

III. Desarrollo proyecto

además, no existe la posibilidad de que se provoquen deformaciones plásticas permanentes.

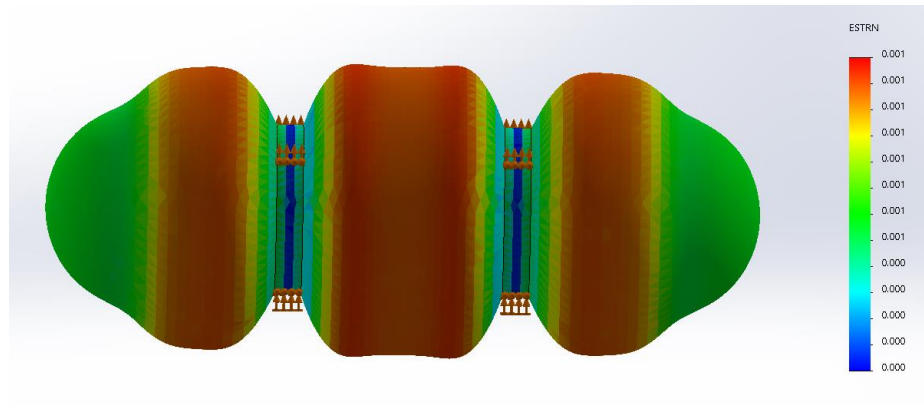


Figura III.60. Representación de las deformaciones unitarias.

Por último, se puede observar un factor de seguridad de 1,9 con el espesor inicial de 10 mm, esto quiere decir que se tiene que disminuir el espesor para reducir el factor de seguridad hasta 1,5.

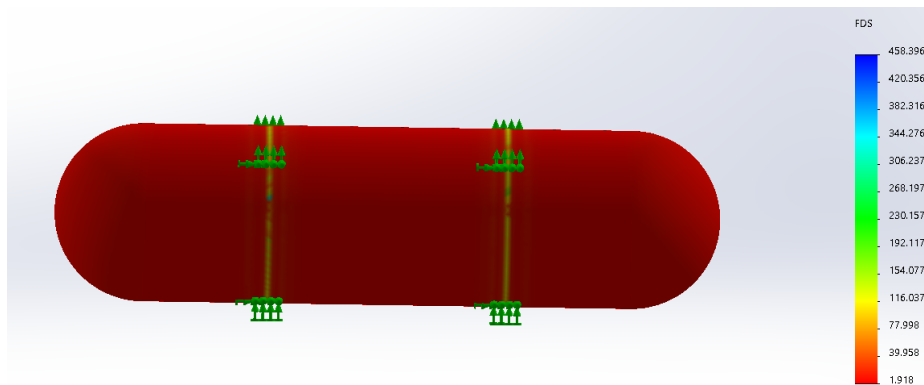


Figura III.61. Representación del factor de seguridad con el espesor inicial de 10 mm.

A continuación, se va a realizar un estudio de diseño para determinar el espesor óptimo con el objetivo de cumplir con el FS. El espesor óptimo mostrado por la simulación es de 8,1mm.

III. Desarrollo proyecto


		Actual	Inicial	Óptimo (0)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
espesor		8.1mm	8.1mm	8.1mm	8mm	8.1mm	8.2mm
Tensión1	Es exactamente 4.7333e+008	470.76 N/mm ²	470.76 N/mm ²	470.76 N/mm ²	477.39 N/mm ²	470.76 N/mm ²	462.44 N/mm ²

Figura III.62. Representación del estudio de diseño para calcular el espesor óptimo.

A partir de este espesor, se va a volver a realizar un análisis estático para comprobar el factor de seguridad y que cumpla la pieza con la tensión máxima.

Aquí se puede apreciar la tensión máxima.

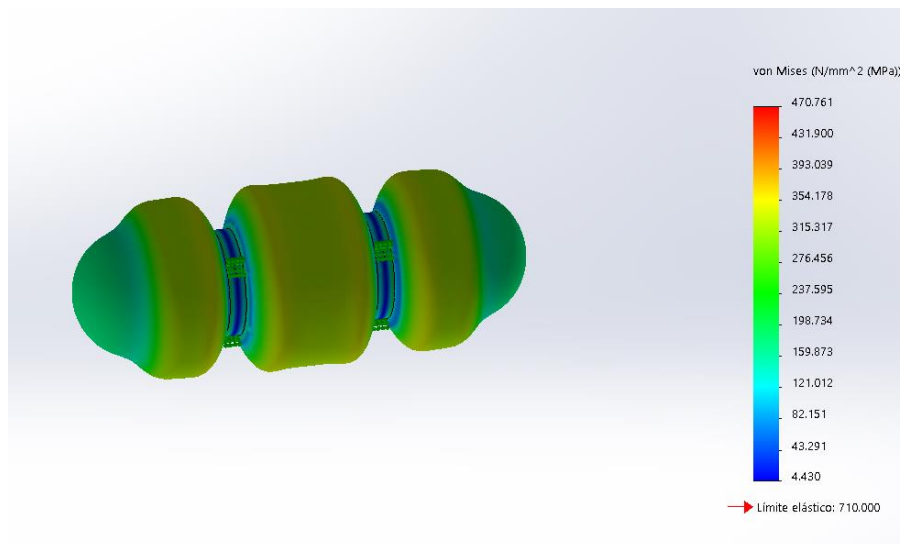


Figura III.63. Representación de la tensión con el espesor optimizado del diseño final con acero.

Luego se mostrarán los desplazamientos. Se observa un máximo de 0,273 mm y un mínimo de 0 mm. En la zona de los picos máxima se debe a que la presión ejerce la fuerza normal a la superficie y la zona de los picos mínima no existe desplazamiento alguno ya que se ha fijado la pieza con una geometría fija evitando la movilidad de la pieza.

III. Desarrollo proyecto

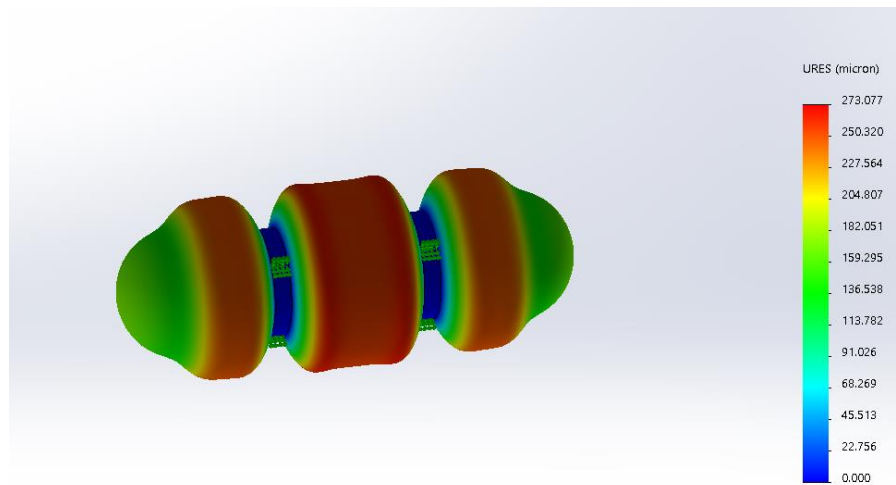


Figura III.64. Representación de los desplazamientos en el diseño final con acero con el espesor optimizado.

En tercer lugar, se van a mostrar las deformaciones unitarias. En este caso tampoco existe riesgo de que la pieza tenga una rotura por ningún lado.

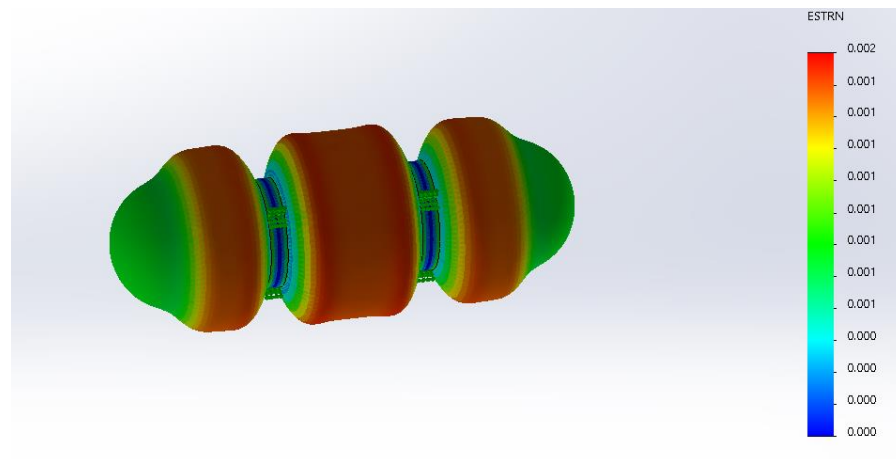


Figura III.65. Representación de las deformaciones unitarias en el diseño final con acero con el espesor optimizado.

Por último, se puede observar que con este espesor la pieza cumple con el FS. Se cumple el factor de seguridad mínimo según normativa debido al estudio de diseño realizado anteriormente.

III. Desarrollo proyecto

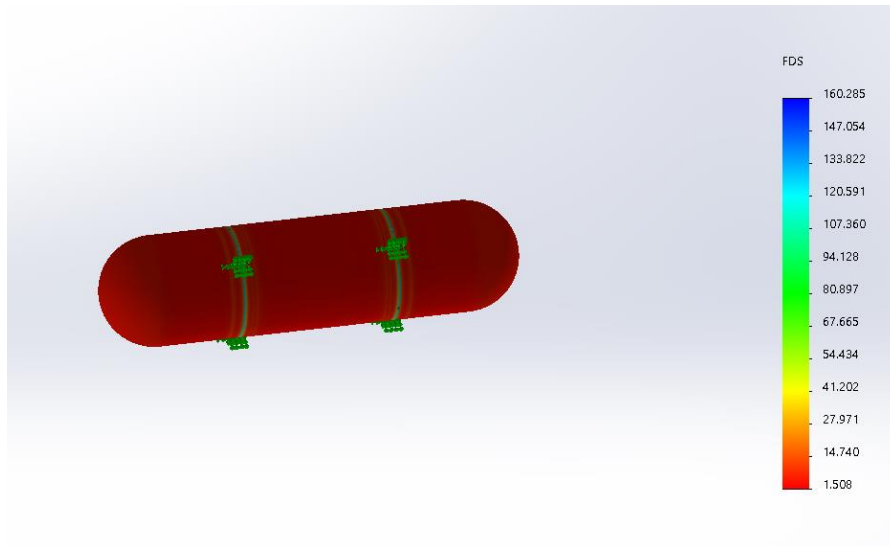


Figura III.66. Representación del factor de seguridad en el diseño final con acero con el espesor optimizado.

III.8.1.2. Aplicación de materiales(Aluminio).

En este caso se va a realizar los mismos pasos que con el acero, pero con la diferencia de que se va a elegir el Aluminio 2014-T6.

Al ejecutar este estudio, se observa que el FS es 1,13, con ello se concluye que el espesor inicial de 10 mm con el aluminio es muy bajo. Se va a ejecutar un estudio de diseño para que el programa nos muestre el espesor óptimo. La tensión máxima debe de ser 276,67 MPa.

El estudio de diseño muestra que el espesor óptimo para el aluminio es de 13,4 mm.

		Actual	Inicial	Óptimo (0)	Escenario 1	Escenario 2
espesor		13.4mm	13.4mm	13.4mm	13.3mm	13.4mm
Tensión1	Es exactamente 2.7667e+008	276.21 N/mm²	276.21 N/mm²	276.21 N/mm²	277.98 N/mm²	276.21 N/mm²

Figura III.67. Estudio de diseño con el aluminio para obtener un factor de seguridad de 1,5.

III. Desarrollo proyecto

Después se va a realizar un análisis estático para comprobar que cumpla con la tensión máxima y el FS.

Aquí se muestra como la tensión máxima es igual o menor a la Tensión de trabajo con el FS impuesto.

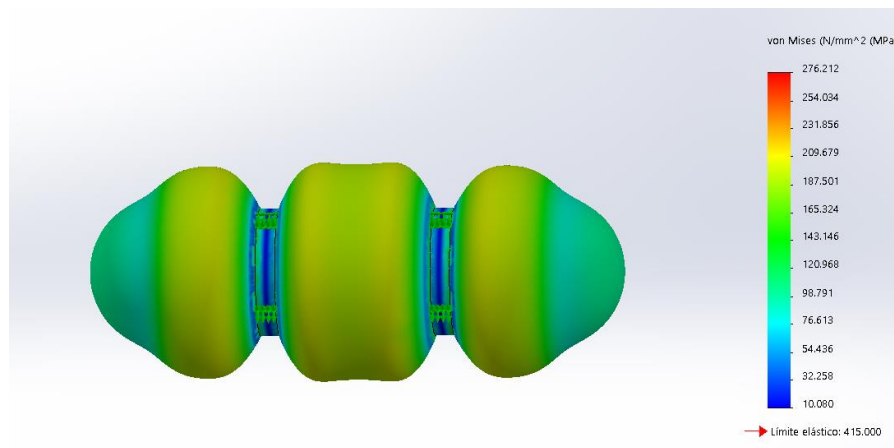


Figura III.68. Representación de la tensión en el diseño final con aluminio.

A partir del gráfico de los desplazamientos, se aprecia como son mayores en el aluminio que con el acero debido a las propiedades del material.

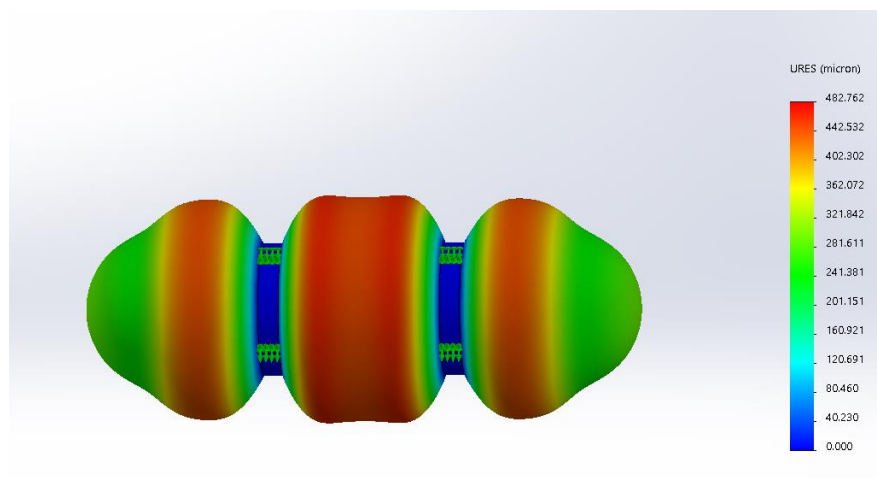


Figura III.69. Representación de los desplazamientos en el diseño final con aluminio.

III. Desarrollo proyecto

En referencia a las deformaciones unitarias, tiene una máxima de 0,003 y una mínima de 0, cabe destacar que también serán mayores que el acero, aún así, se consideran admisibles según la de deformación máxima permitida.

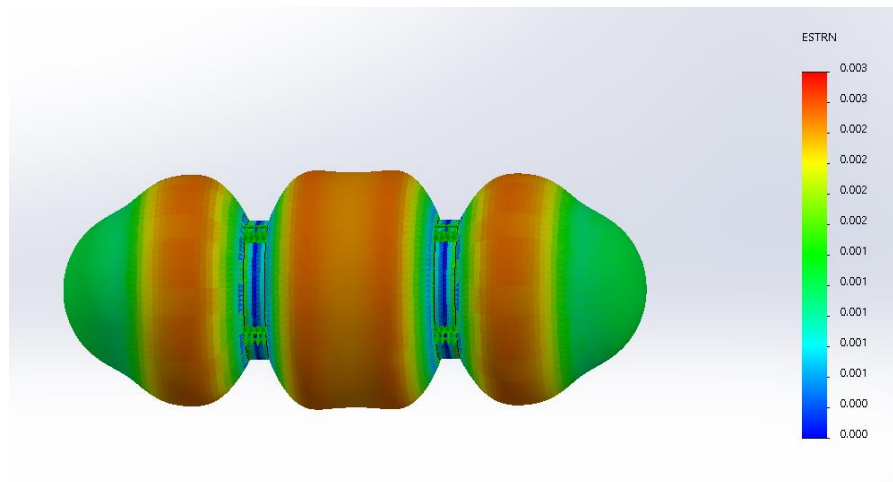


Figura III.70. Representación de las deformaciones unitarias en el diseño final con aluminio.

Y finalmente, se mostrará el factor de seguridad mínimo con el aluminio que cumple con la normativa vigente impuesta.

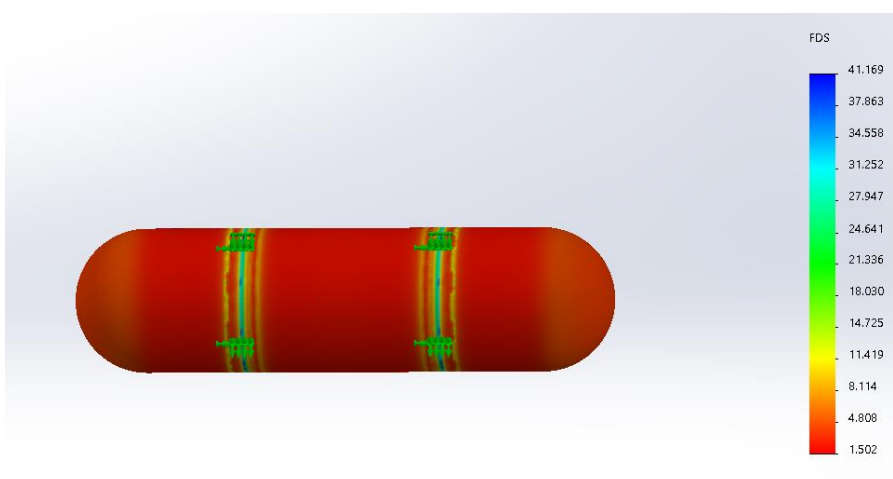


Figura III.71. Representación del factor de seguridad en el diseño final con aluminio.

III. Desarrollo proyecto

III.8.1.2. Aplicación de materiales (Material compuesto).

A la hora de realizar el análisis estático con el material compuesto, se puede realizar de dos formas, aplicar vaciados o trabajar con superficies en vez de sólidos. Se va a realizar el ensayo a partir de una superficie de revolución. A partir del croquis final de los ensayos anteriores de los otros dos materiales, se procede a eliminar el espesor y las líneas del sólido.

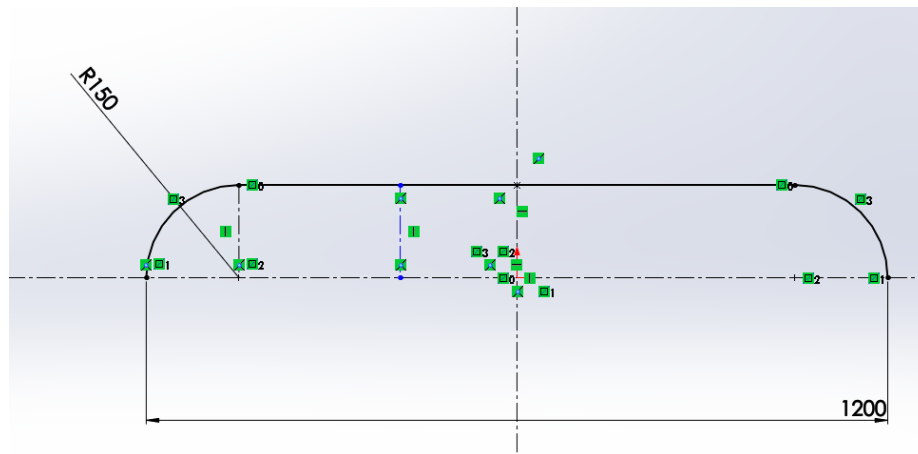


Figura III.72. Representación del croquis para luego, insertar una superficie.

Después se procede a realizar una superficie de revolución, no se utiliza la de “Revolución de saliente/base” ya que esta produce un sólido. Para realizar esta operación, se selecciona “Insertar”, “Superficie” y finalmente, “Revolución”. El resultado de esta operación es equivalente a la de vaciado por caras. Sólo queda definir los anclajes como se ha explicado anteriormente.

III. Desarrollo proyecto

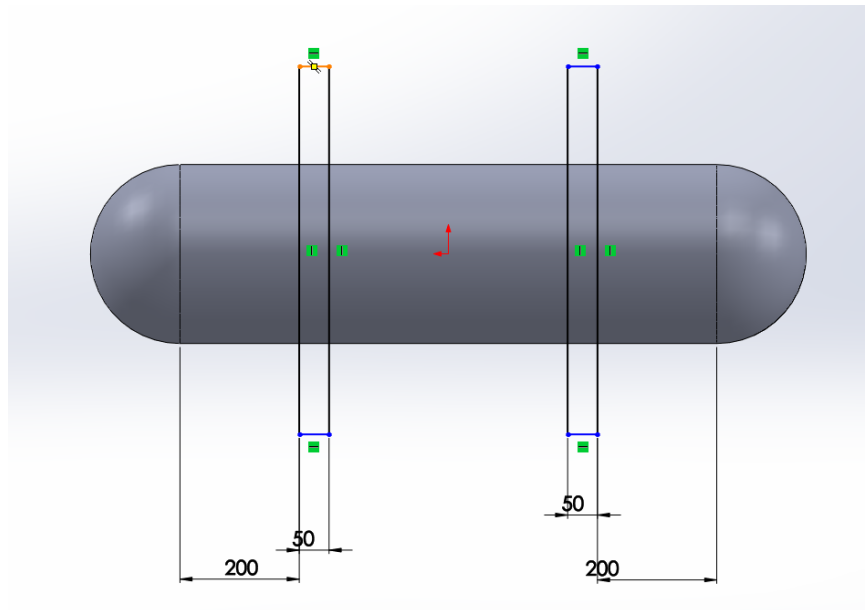



Figura III.73. Representación del croquis final para el material compuesto.

Ahora ya se puede empezar con la simulación estática. Primero se crea un análisis estático, después se hace clic en el botón derecho de este icono  y se selecciona “Editar definición”, con ello se accede al menú de las características del laminado de material compuesto.

Seguidamente se selecciona el n°total de capas (48), también que todas las capas tengan el mismo material, se selecciona un laminado simétrico y a cada capa se le selecciona un espesor de 0,55mm y la orientación de las fibras siguen un patrón de {0/45/-45/90}s que es el ensayo que mayor factor de seguridad daba en relación con el espesor y que cumplía con la teoría de fallo, es decir, así la pieza se comportará perfectamente en todas las direcciones ya que es un laminado cuasi-isotrópico. Para establecer este laminado, se han hecho muchos ensayos y, finalmente, este ha resultado ser el que mejor cubre las características previstas.

En relación al material, la base de datos del SolidWorks no presenta este material, entonces se tiene que crear este material personalizado.

III. Desarrollo proyecto

Para crear el material, se va a “Materiales personalizados”, se pulsa el botón derecho y se selecciona “Nueva Categoría”, después se copiará cualquier material de la base de datos y se pega en la nueva categoría, se pulsará el botón derecho y se cambiará el nombre (CFHR70_EP30) y en el tipo de modelo se selecciona Ortotrópico lineal ya que se trata de un material compuesto. A través del modelo micromecánico de Chamis, se calculan las constantes y se ubican en el compuesto, una vez estén todas las constantes aplicadas, se guardará este material y se aplicará a todas las capas.

A continuación, ya se puede continuar con el análisis estático y seguir los pasos que se ha seguido con los anteriores materiales.

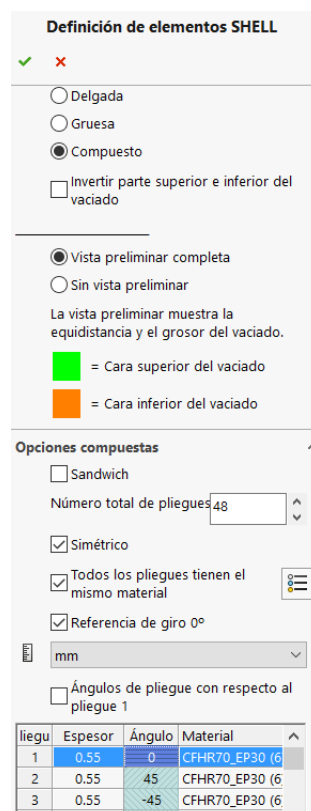


Figura III.74. Representación de la creación del laminado mediante definición de elementos SHELL.

III. Desarrollo proyecto

En equidistancia, se marca la siguiente casilla para que el espesor se realice hacia la zona exterior y no se disminuya el volumen de la pieza.



Figura III.75. Representación de la equidistancia.

Ya que se trata de un material frágil, se va a utilizar el método de las tensiones principales para estudiar el comportamiento de la pieza. Se va a emplear el criterio de la teoría del esfuerzo normal máximo, la cual, se establece en la siguiente tabla.

Tabla III.5. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo.

Tensiones principales	Criterio tomado
P1	Tracción $P1 \leq X_t$ Compresión $ P1 \leq X_c$
P2	Tracción $P2 \leq Y_t$ Compresión $ P2 \leq Y_c$
P3	$P3 \leq S_{xy}$

X_t y X_c hacen referencia a las tensiones de rotura a compresión y tracción de la P1, Y_t y Y_c hacen referencia a las de compresión y tracción de la P2 y S_{xy} se refiere a la tensión de rotura de cortadura de la P3.

III. Desarrollo proyecto

Se van a mostrar las tensiones principales.

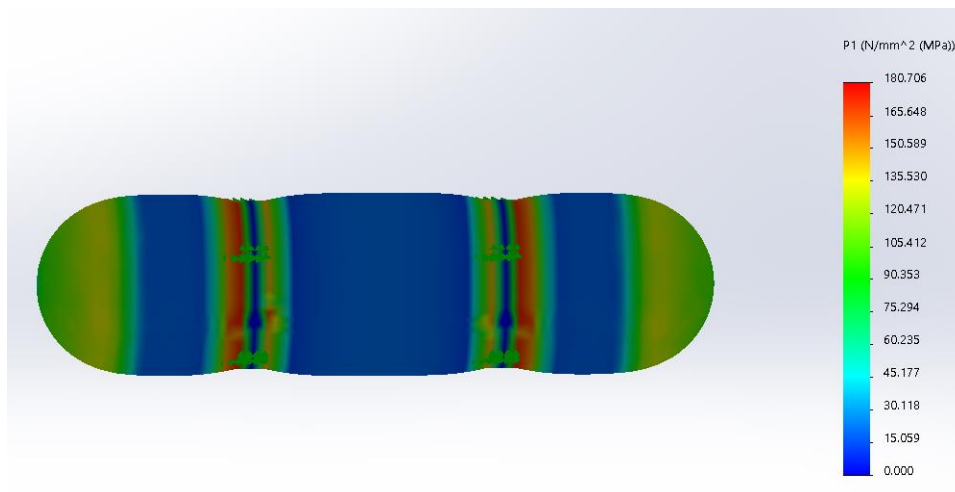


Figura III.76. Representación de la tensión principal 1 en el material compuesto.

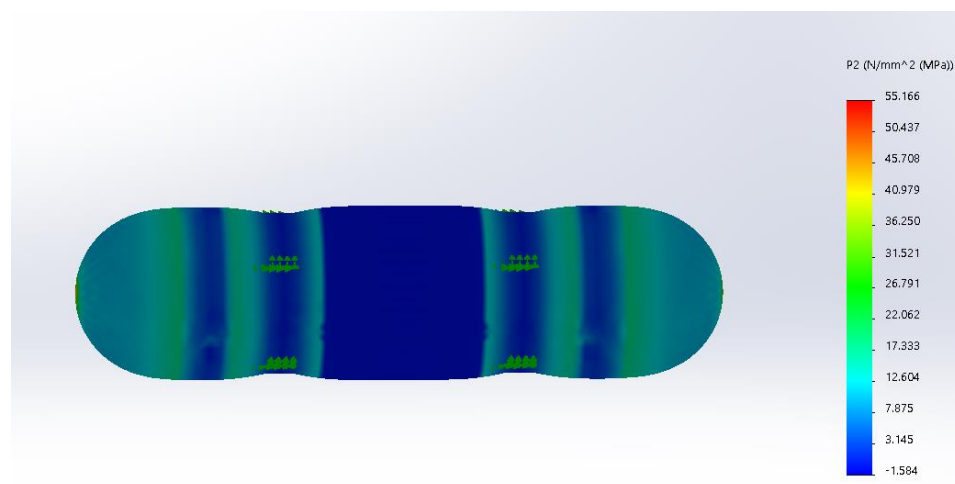


Figura III.77. Representación de la tensión principal 2 en el material compuesto.

III. Desarrollo proyecto

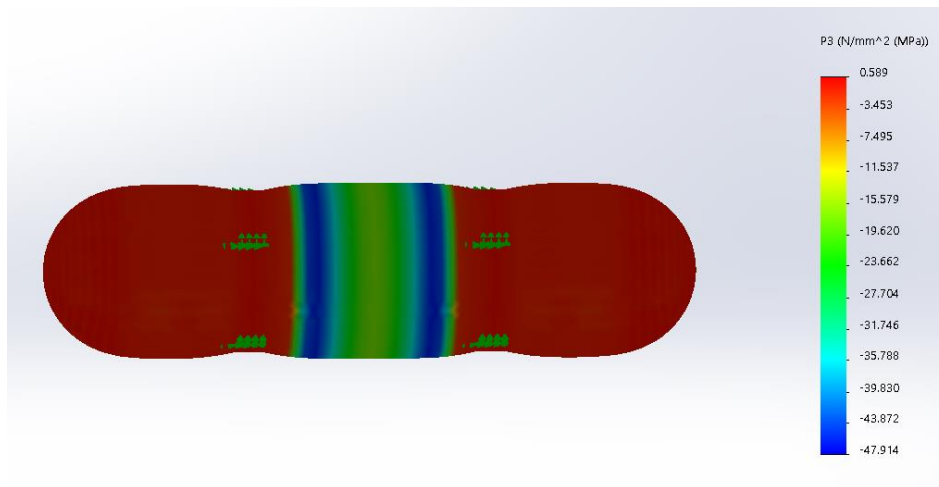


Figura III.78. Representación de la tensión principal 3 en el material compuesto.

Se van a estudiar las tensiones principales con una tabla según la teoría de fallo correspondiente.

Tabla III.6. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo con valores.

Tensiones principales	Tipo de esfuerzo	Valores	Unidades
P1	Tracción	$180,71 \leq 1960 (70\%X_t)$	MPa
	Compresión	$0 \leq 3500$	MPa
P2	Tracción	$55,17 \leq 58,3$	MPa
	Compresión	$1,58 \leq 121,5$	MPa
P3		$47,91 \leq 57,2$	MPa

III. Desarrollo proyecto

Se observa en la tabla que cumplen todos los valores, con ello, se va a mostrar los desplazamientos, deformaciones unitarias y el factor de seguridad.

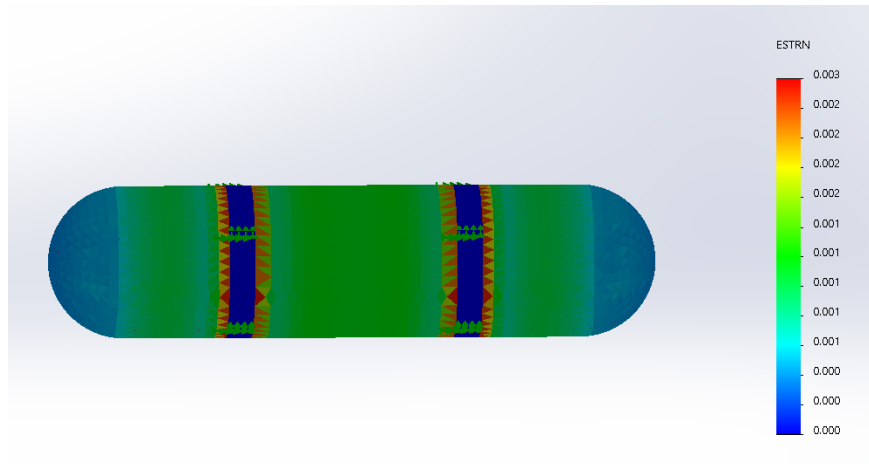


Figura III.79. Representación de las deformaciones unitarias en el material compuesto.

En referencia a las deformaciones unitarias, cabe destacar que en la zona de los anclajes de geometría fija se observa que es nula, y en las otras partes de la pieza tienen valores mínimos, es decir, la pieza no sufre riesgo de que el material rompa o tenga una deformación plástica permanente.

III. Desarrollo proyecto

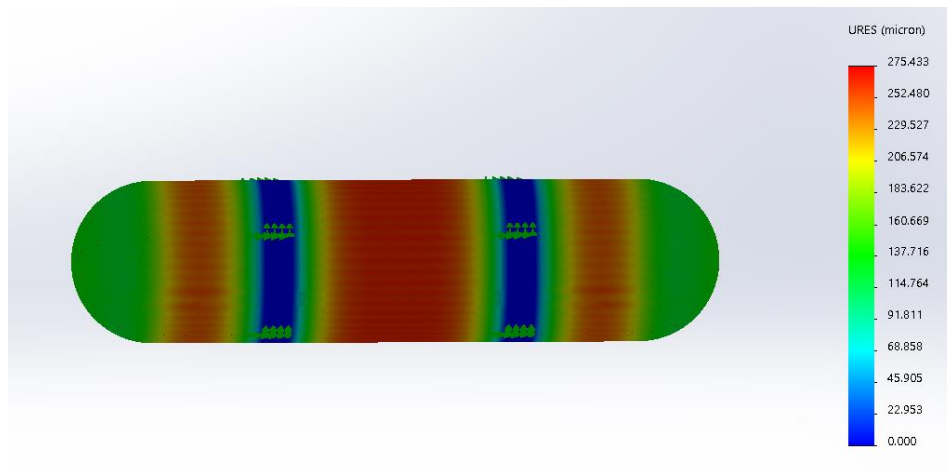


Figura III.80. Representación de los desplazamientos en el material compuesto.

Los desplazamientos que muestra la simulación son pequeños, se observa que donde no están los anclajes la pieza se deforma más, pero se ha demostrado que la pieza cumple con los requisitos.

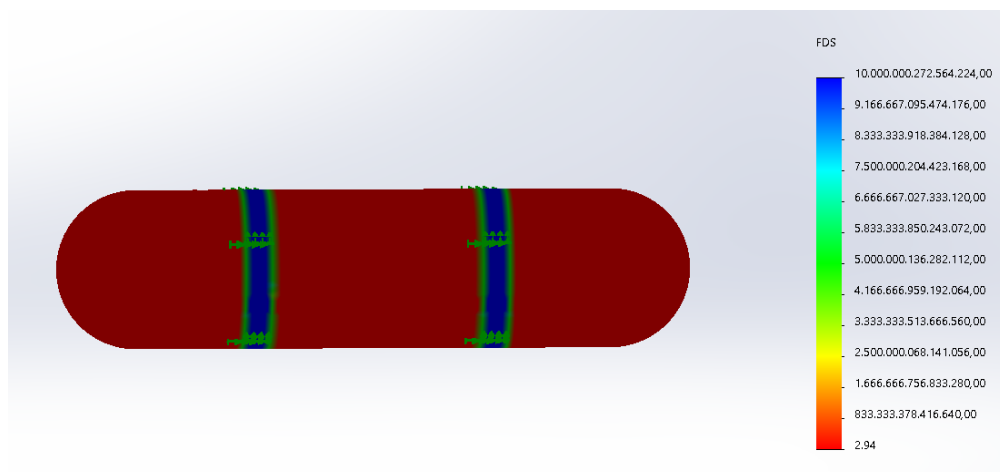


Figura III.81. Representación del factor de seguridad en el material compuesto.

Por último, cabe destacar el factor de seguridad mínimo de 2,94, ofreciendo una muy buena seguridad a la pieza en relación a los otros materiales, hará la pieza más fiable y segura, este coeficiente tan alto es debido a que se ha establecido un laminado de forma cuasi-isotrópica que mejora las propiedades en todas las direcciones.

III. Desarrollo proyecto

III.8.2. Simulación de impacto.

En esta simulación, se va a analizar cómo se comporta la pieza frente a un impacto. Este software presenta problemas para analizar materiales compuestos, por ello, se va a crear un nuevo sólido y se va a aplicar la fibra de carbono con resina epoxi a todo ese espesor. Después de realizar este ensayo, se va a comprobar que el material cumpla con la teoría del esfuerzo normal máximo ya que se trata de un material frágil.

En referencia a los parámetros iniciales, estos vendrán determinados por la normativa vigente ISO 11439.

La normativa dice que se tiene que dejar caer el depósito verticalmente desde un extremo con una altura determinada para que la energía potencial sea 488J, pero la altura del extremo que esté más bajo no tiene que ser mayor que 1,8m, es decir, se despeja la h a partir de la energía potencial y se concluye que la altura tiene que ser 1,67 m como se ha nombrado anteriormente en el estudio y definición de estados tensionales.

Primero se hace clic en “simulation” y después se selecciona “caída”.

III. Desarrollo proyecto

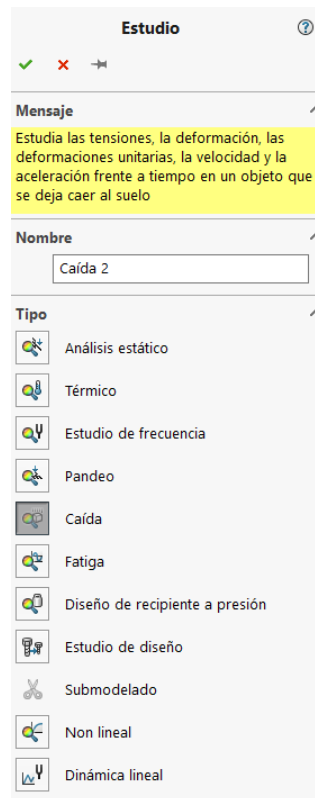



Figura III.82. Representación de la selección del ensayo de impacto.

Después se selecciona el material creado anteriormente, se hace clic en el botón derecho de este icono  y se selecciona aplicar/editar material. Después se crea la malla.

III. Desarrollo proyecto

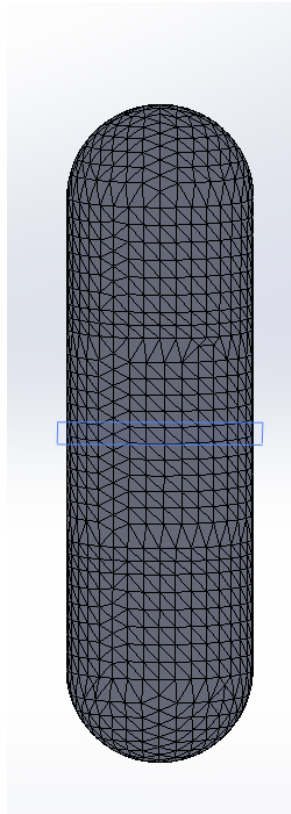


Figura III.83. Representación de la malla realizada para el ensayo de impacto.

Finalmente, se hace clic en el botón derecho de configuración y se establecen las condiciones del ensayo. Se selecciona altura de caída, desde el punto más bajo, se pone la altura calculada anteriormente(1,67m), se selecciona el plano para la dirección de la gravedad y se acepta esta configuración, se va a dejar caer el depósito verticalmente.

III. Desarrollo proyecto

Configuración de análisis de caída ?

✓ ✕

Especificar ^

Altura de caída
 Velocidad al impacto

Altura ^

Desde centro de gravedad
 Desde punto más bajo

1.67 m

Gravedad ^

Plano3

9.81 m/sec²

Suelo ^

Orientación de destino

Normal dir. gravedad
 Paralelo a plano de referencia

0

Rigidez del suelo

Suelo rígido
 Suelo flexible

Amortiguamiento de contactos ^

0

Configuración de símbolo v

Figura III.84. Representación de la configuración del análisis de impacto.

Luego, se ejecuta el análisis.

Las tensiones generadas en las tres direcciones se van a analizar para que cumplan la teoría de fallo.

III. Desarrollo proyecto

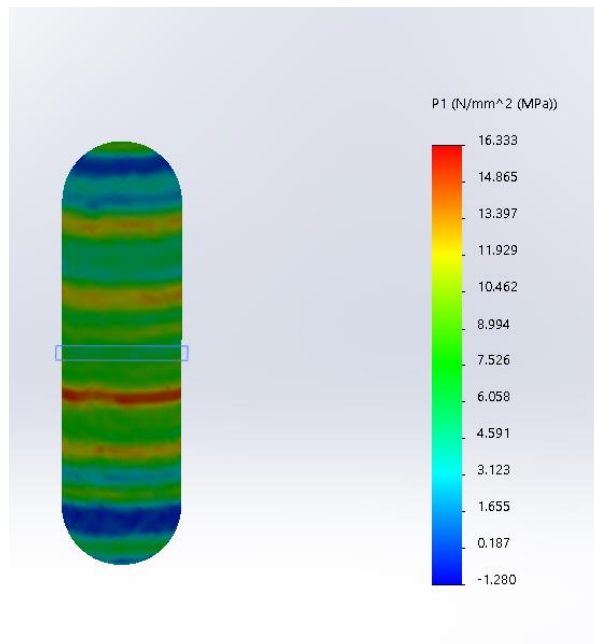


Figura III.85. Representación de la tensión principal 1 en el ensayo de impacto en el material compuesto.

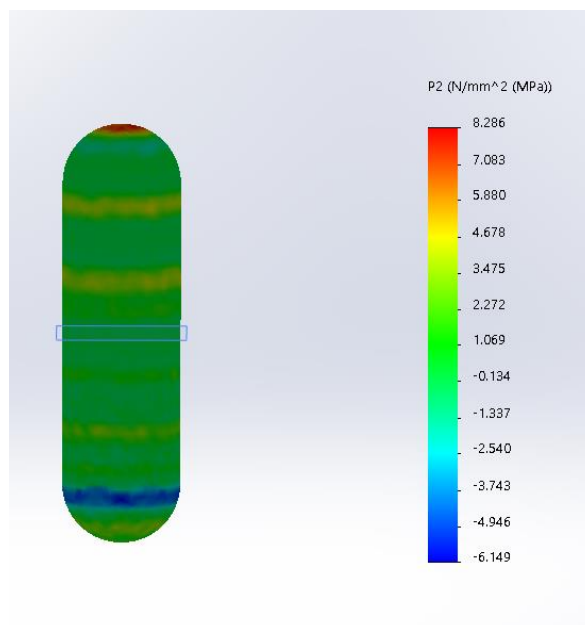


Figura III.86. Representación de la tensión principal 2 en el ensayo de impacto en el material compuesto.

III. Desarrollo proyecto

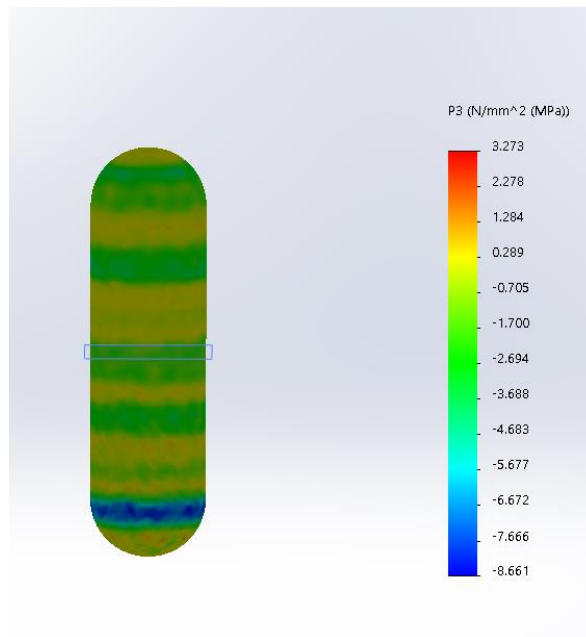


Figura III.87. Representación de la tensión principal 3 en el ensayo de impacto en el material compuesto.

A partir de las tres tensiones, se puede concluir que la pieza cumpliría perfectamente con el ensayo estipulado según el método de análisis de las tensiones. Las tensiones a compresión están en valor absoluto.

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.7. Criterio de fallo del esfuerzo normal máximo en el ensayo de impacto.

Tensiones principales	Tipo de esfuerzo	Valores	Unidades
P1	Tracción	$16,33 \leq 1960$	MPa
	Compresión	$1,28 \leq 3500$	MPa
P2	Tracción	$8,3 \leq 58,3$	MPa
	Compresión	$6,15 \leq 121,5$	MPa
P3		$8,66 \leq 57,2$	MPa

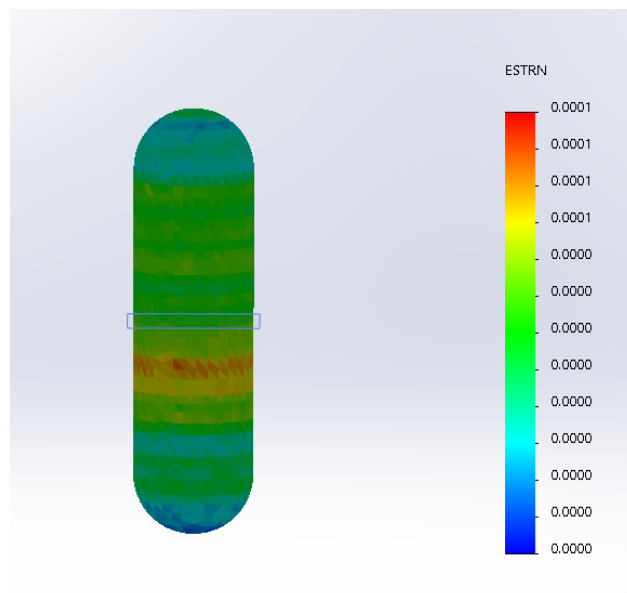


Figura III.88. Representación de las deformaciones unitarias en el ensayo de impacto en el material compuesto.

III. Desarrollo proyecto

Las deformaciones unitarias son muy pequeñas, es decir, la pieza aguantaría con un gran margen de seguridad elevadísimo. La deformación máxima se trata de 0,0001, con lo cual, no le exige a la pieza ningún riesgo de entrar en la plasticidad.

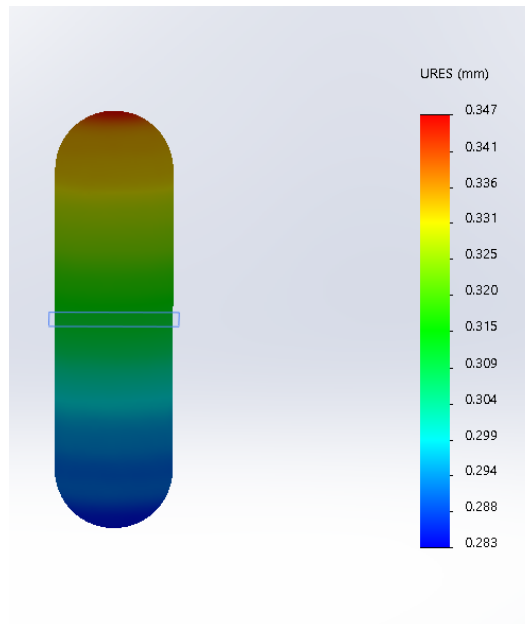


Figura III.89. Representación de los desplazamientos en el ensayo de impacto en el material compuesto.

Los desplazamientos tampoco son muy elevados. Se observan un pico máximo de 0,347 mm y un mínimo de 0,283 mm.

III. Desarrollo proyecto

III.9. DISEÑO FINAL.

Después de haber simulado los distintos materiales y sabiendo todas las tensiones generadas sobre la pieza y sus respectivos factores de seguridad, se va a comparar el peso con ambos materiales, desplazamientos, deformaciones unitarias y factores de seguridad, espesor y estados tensionales.

Tabla III.8. Comparación de los tres materiales.

	Espesor (mm) según ISO11439	Peso en (kg)	Estados tensionales Von Mises/Esfuerzo normal máximo	Desplazamientos (mm)	Deformaciones unitarias	Factor de seguridad
Acero AISI 4340 normalizado	8,1	74,36	470,76	0,273	0,002	1,5
Aluminio 2014-T6	13,4	44,83	276,21	0,482	0,003	1,5
Laminado de fibra de carbono	26,4	29,87	P1: 180 P2: 55,2 P3: 0,6	0,275	0,003	2,94

En relación a los materiales, cabe destacar, que el laminado de material compuesto es el diseño que menos peso requiere debido a la baja densidad del material, además tiene un alto factor de seguridad, el mayor de los tres materiales, ya que el compuesto tiene muy buenas características resistentes y además se ha orientado como un laminado cuasi-isotrópico, es decir, a {0/45/-45/90}S grados la orientación de las fibras, también, se ha ajustado para que cumpla con las tensiones permisibles según la teoría de fallo. Las deformaciones unitarias tampoco son excesivas en los tres materiales ya que aguantan bien y no superan el límite elástico y los desplazamientos son similares en el acero y el material compuesto. En relación al espesor cabe destacar que el acero es el que menos espesor requiere. Las tensiones, en los materiales dúctiles se analizan con

III. Desarrollo proyecto

la teoría de fallo de Von mises, y en los frágiles se analiza con la teoría del Esfuerzo Normal máximo, los materiales no presentan unas tensiones elevadas.

El objetivo de este proyecto es que se reduzca el peso de los depósitos adicionales de GNC con el aumento de la autonomía inicial.

En conclusión, el diseño final sería la geometría de la opción 3 con las dimensiones 1200*300 mm ya que las dos opciones anteriores ya se habían descartado por las razones nombradas anteriormente y el material seleccionado sería el material compuesto “fibra de carbono con resina epoxi” ya que con ello se cumple el objetivo final del proyecto reduciendo el peso de la pieza notablemente. Además, la pieza satisface toda la normativa vigente y todos los criterios de tensiones, deformaciones unitarias, desplazamientos y factor de seguridad.

Aquí se va a mostrar una ilustración para que se vea la ubicación de los depósitos.

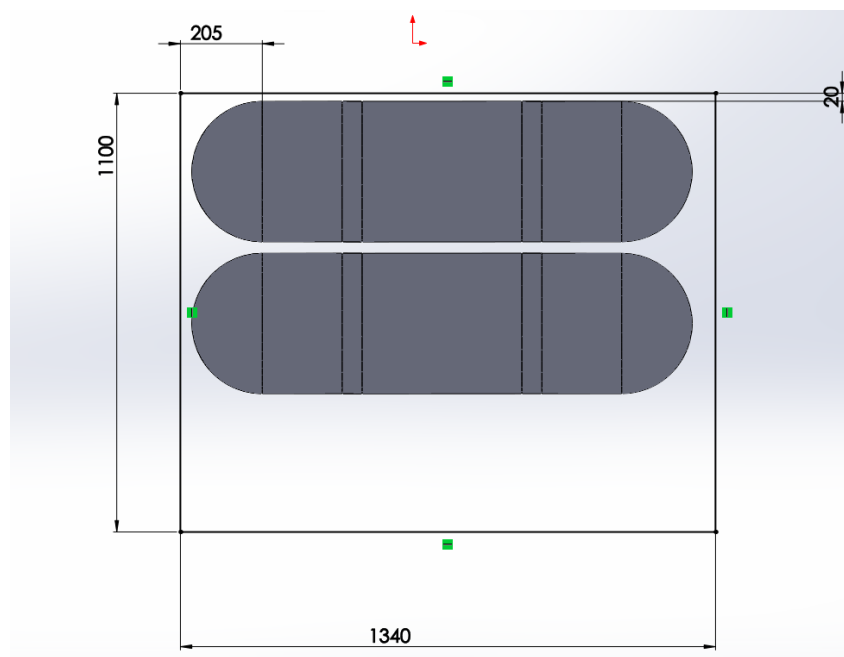


Figura III.90. Representación gráfica de la ubicación de los depósitos de combustible en el maletero.

III. Desarrollo proyecto

Se dispondrán de esta forma los depósitos y se dejará un margen de seguridad de 55 mm a la zona izquierda para poder conectar las válvulas correspondientes.

III. Desarrollo proyecto

III.10. FABRICACIÓN.

Después de haber elegido correctamente el material más apto que cumpla con las expectativas de diseño, se va a determinar el proceso de fabricación por el cual se va a conformar la pieza. Primero se explicará el proceso del liner que será la Inyección-soplado y después se explicará el bobinado de filamentos para el compuesto.

III.10.1. Inyección-Soplado.

Este método se basa en obtener una preforma del polímero que se quiera fabricar, el cuál es calentado e inyectado a un molde hembra que tendrá la geometría final de la pieza, después se expulsa aire y se expande el polímero hasta que rellena todo el molde y se obtiene la forma final de la pieza, finalmente sólo quedará extraer la pieza. Según el espesor final de la pieza, la preforma se tendrá que definir con unas geometrías adecuadas.

Este proceso es especialmente utilizado para las piezas huecas.

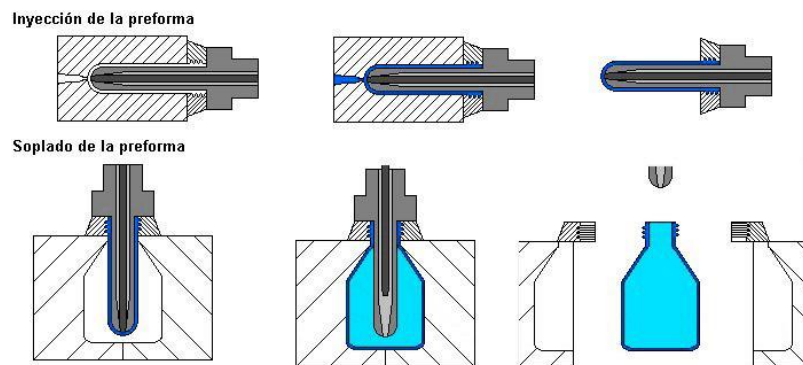


Figura III.91. Representación del proceso de inyección-soplado.³³

³³ <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/03/inyeccion-soplado.html>

III. Desarrollo proyecto

III.10.2. Bobinado de filamentos.

Al tratarse de un material compuesto, se descartan muchos tipos de procesos ya que para conformar un material compuesto se tiene que impregnar a una fibra, una resina en estado líquido, que endurecerá la pieza de tal manera que se formará el material compuesto.

Según la pieza y su geometría, el proceso más apto para fabricarla sería el bobinado de filamentos, se ha hecho un estudio para corroborarlo con el programa CesEdupack.

Este proceso se basa en la fabricación de un material compuesto, usualmente se utiliza para estructuras de forma cilíndrica. Este método se caracteriza por enrollar cintas tensadas o filamentos que estarán mojadas con resina termoestable a un mandril rotatorio de forma cilíndrica. Este mandril girará continuamente, al mismo tiempo un carro se moverá en posición horizontal que se encargará de establecer las fibras en la orientación prevista. Usualmente se utilizan fibras de vidrio y de carbono. Cuando se haya bobinado todo el mandril, se introducirá en un horno para que se cure la resina.

Este proceso puede ser automatizado, ya que se puede controlar la tensión de las fibras. Para obtener un producto final rígido, los filamentos tienen que aplicarse con bastante tensión y para obtener un producto flexible con baja tensión. También se puede controlar la orientación de las fibras y el ángulo con el que son establecidas determinará las propiedades finales del producto. Si las fibras se impregnan con ángulos elevados, se obtendrá una pieza con buenas propiedades frente a compresión y si se impregnan con ángulos bajos se obtendrá una pieza con buen comportamiento frente a tracción.

También cabe destacar que en este proceso existen tres modelos:

Bobinado helicoidal: Es el método más usual, el movimiento de traslación longitudinal que realiza el cabezal que impregna la resina se produce al mismo tiempo que el de rotación del mandril.

Bobinado circunferencial: Este método es muy parecido al anterior con la diferencia de que las fibras se enrollan a 90°.

III. Desarrollo proyecto

Bobinado plano: El mandril genera los dos movimientos, es decir, el cabezal que impregna las fibras permanece fijo.

Las velocidades por las que se trabajan en este proceso son de entre 90-100 m/min para las fibras de vidrio y de 15-30 m/min para las de aramida y carbono. Este proceso se utiliza para recipientes a presión, tuberías, piezas huecas....

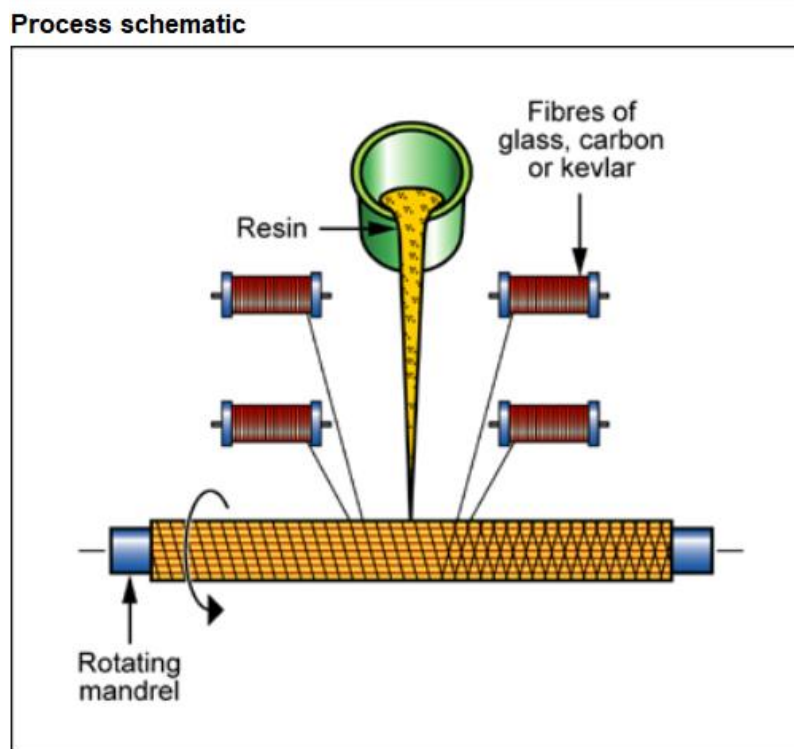


Figura III.92. Representación del proceso de bobinado de filamentos.³⁴

El carro también se encarga de mantener tensadas las fibras en todo momento, además, guía los filamentos y los establece de forma uniforme.

³⁴ Extraída del CesEdupack.

III. Desarrollo proyecto

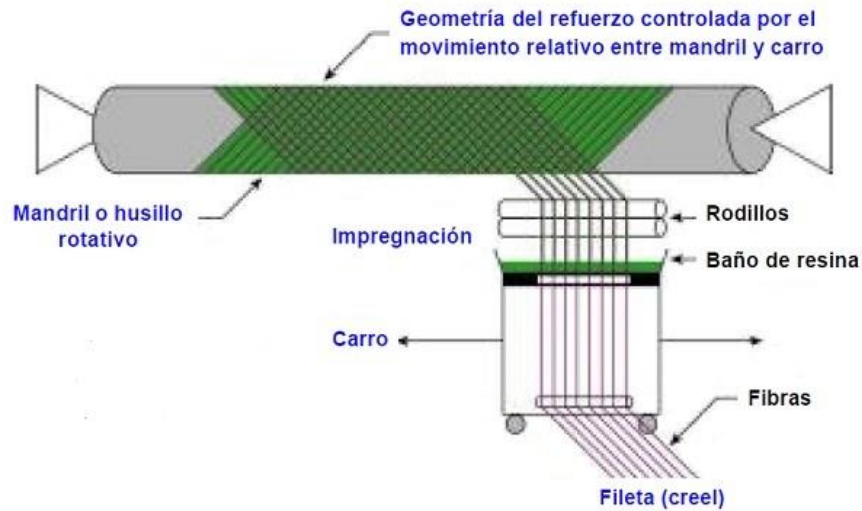


Figura III.93. Representación del proceso de bobinado de filamentos con los nombres de todos los componentes.³⁵

En referencia a los materiales, las piezas que requieren elevadas propiedades físicas y resistencia se fabrican con resinas epoxi, y las resinas de poliéster que son bastante más económicas se usan para otras piezas. La utilización de fibras continuas posibilita una pieza con un volumen alto de fibras, entre un 60 y 80%.

El liner de material polimérico (HDPE) de 2 mm, mejorará las propiedades químicas y servirá para poder enrollar las fibras de forma uniforme para que no haya imperfecciones en el enrollado y se utilizará como mandril durante el bobinado de filamentos.

³⁵ <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/10/filament-winding-bobinado-de-filamento.html>.

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.9. Ventajas y desventajas del proceso Bobinado de filamentos.

Ventajas	Desventajas
Es posible automatizarlo	Las piezas se limitan a tener formas circulares
Se puede controlar la capacidad de resina	A mayor tamaño de la pieza mayor tamaño del mandril, es decir, más coste
Se obtienen piezas con buenas propiedades mecánicas	

III. Desarrollo proyecto

III.11. ESTUDIO ECONÓMICO.

Finalmente, se va a analizar económicamente el coste de fabricación de esta pieza con una herramienta del programa CesEduPack llamada "part cost stimator". Primero se extraerá el precio del liner interior de HDPE y después el del laminado de material compuesto.

III.11.1. Coste del liner de HDPE.

El proceso del liner sería la inyección-soplado. La masa de la malla interior se ha extraído de dimensionar en SolidWorks un depósito con un espesor de 2 mm con HDPE. Y se ha calculado mediante la herramienta "calcular".

Masa = 2171.35 gramos

Figura III.94. Masa del liner de HDPE.

Seguidamente se abre el programa CesEduPack y se inicia el estudio económico del primer material.

Choose a model

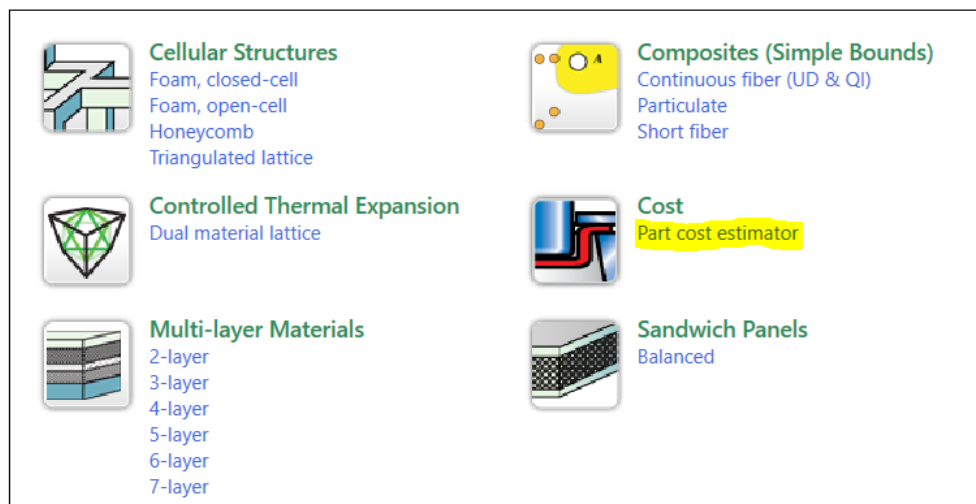


Figura III.95. Herramienta para realizar un estudio económico.

III. Desarrollo proyecto

Component details	
Material	<input type="text" value="PE-HD (general purpose, molding & extrusion)"/> <input type="button" value="Browse..."/>
Value of scrap material	<input type="text" value="5"/> % of virgin price
Part mass	<input type="text" value="2,17"/> kg
Part length	<input type="text" value="1,2"/> m
Batch size	<input type="text" value="1,5e+03"/> Number of values: <input type="text" value="3"/>
Primary shaping process	
Primary Process	<input type="text" value="Injection blow molding"/> <input type="button" value="Browse..."/>
Availability	<input type="text" value="Custom form"/>
Part complexity	<input type="text" value="Simple"/>
Load factor	<input type="text" value="60"/> %
Overhead rate	<input type="text" value="126"/> EUR/hr
Capital write-off time	<input type="text" value="2"/> years

Figura III.96. Representación de los detalles del liner interior de HDPE del estudio económico.

Primero se introduce el material a estudiar.

Después se introduce la cantidad de residuos de material que se puede revender al proveedor del producto.

En tercer lugar, se introduce la masa y longitud de la pieza.

En cuarto lugar, se pone el número de piezas que se quiere fabricar en cada lote.

Una vez estén introducidas las propiedades del material, se seleccionará el proceso de fabricación del primer material. También se selecciona simple en la complejidad de la pieza, ya que se trata de un cilindro y no tiene una forma compleja.

En Overhead rate se ha introducido un valor de 126 €/h ya que, en el territorio nacional, está estipulado una tasa de mano de obra y gastos energéticos definidos.

Para finalizar, se ha estipulado que se amortice el producto en 2 años.

En el caso de que se quisiera fabricar, para ser amortizado en un período de 2 años, el precio de una unidad en función del lote sería el siguiente.

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.10. Precio del primer material.

Precio proceso	7,8€
Precio material	3,24€
Precio total	11,04€

III.11.2. Coste del laminado de material compuesto.

En el caso del laminado, se cambiará la masa de material, que son 29,87 kg ya que tiene mucho más espesor que la camisa interior de polietileno, antes de realizar el coste del material compuesto, se creará el compuesto para que tenga el valor exacto de ese material.

Continuous fiber (UD & QI)

Unidirectional = aligned fiber lay-up [0°]
Quasi-isotropic = multi-axial lay-up [0°/+45°/-45°/90°]s

Assumptions:

- Uniform reinforcement distribution
- Perfect interfacial bonding
- Material is fully dense

Fiber orientation: Unidirectional

Source Records

Matrix: Epoxy resin (cycloaliphatic) [Browse...]

Fiber: Carbon fibers, high strength (5 micron, f) [Browse...]

Model Variables

Enter values or range of values. For example, 1; 3; 8 or 1-8.

Fiber volume fraction: 70 % Number of values: 6

Record Naming

Matrix: EP

Fiber: CF

Figura III.97. Representación de la creación del material compuesto mediante CesEduPack.

III. Desarrollo proyecto

Después de haber creado el material, se realizará el estudio del segundo material, que será el compuesto, para saber con exactitud el coste de éste.

En referencia al proceso de fabricación se introducirá filament winding que es el usado para este tipo de depósitos.

The screenshot shows a software interface with two main sections: 'Component details' and 'Primary shaping process'.
Component details:
- Material: EP / CF (Unidirectional Composite) - 70%vf (with a 'Browse...' button)
- Value of scrap material: 5 % of virgin price
- Part mass: 29,9 kg
- Part length: 1,2 m
- Batch size: 1,5e+03, Number of values: 3
Primary shaping process:
- Primary Process: Filament winding (with a 'Browse...' button)
- Availability: Custom form (dropdown menu)
- Part complexity: Simple (dropdown menu)
- Load factor: 60 %
- Overhead rate: 126 EUR/hr
- Capital write-off time: 2 years

Figura III.98. Representación de los detalles del laminado de material compuesto del estudio económico.

Como resultado de este estudio el programa extrae el precio del material y del proceso de fabricación para producir 1500 piezas al año y ser amortizadas en 2 años.

Tabla III.11. Precio del segundo material.

Precio proceso	55,3€
Precio material	759€
Precio total	814,3€

Finalmente, si se suman los dos precios, la fabricación de los dos materiales, se obtendrá el valor total de la pieza, produciendo 1500 al año y amortizarla en 2 años.

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.12. Precio total de la pieza.

Precio HDPE	11,04€
Precio laminado CFEP	814,3€
Precio total	825,34€

Tabla III.13. Precio total de la pieza fabricando solo dos al año.

Precio HDPE	11,04€
Precio laminado CFEP	1160€
Precio total	1171,04€

Como conclusiones, la pieza tendrá un valor de económico de 825,34 euros si se produce un lote de 1500 piezas al año y amortizando la inversión inicial en 2 años, en el caso de que se produjeran solo dos piezas tendría un coste de 1171,04 euros, aun así, estaría en el rango de precios que existe en el mercado en relación a los depósitos tipo 3. No existen casi depósitos de este tipo, cabe destacar que el uso de materiales compuestos aligera mucho el peso, con ello, se reduce el consumo y, por tanto, se emiten menos emisiones contaminantes. También cabe destacar, que al utilizar el gas natural como forma de combustible, se está contribuyendo a la reducción de la contaminación y se está luchando para reducir el efecto invernadero y siendo respetuoso con el medio ambiente.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV. Apéndices

IV.2. ANEXOS

IV.2.1. Información del laminado.

IV. Apéndices

Número total de pliegues: 48
Simétrico: Sí

Pliegue	Espesor(mm)	Ángulo(deg)	Área(m ²)	Volumen(m ³)	Densidad(kg/m ³)	Masa(kg)	Peso(N)
1	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
2	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
3	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
4	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
5	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
6	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
7	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
8	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
9	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
10	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
11	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
12	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
13	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
14	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
15	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
16	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
17	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
18	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
19	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
20	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
21	0.55	0	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
22	0.55	45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
23	0.55	-45	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595
24	0.55	90	1.13097	0.000622035	1000	0.622035	6.09595

Línea de partición1



IV. Apéndices

25	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
26	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
27	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
28	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
29	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
30	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
31	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
32	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
33	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
34	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
35	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
36	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
37	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
38	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
39	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
40	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
41	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
42	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
43	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
44	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
45	0.55	90	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
46	0.55	-45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
47	0.55	45	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5
48	0.55	0	1.13097	0.00062 2035	1000	0.622 035	6.0959 5

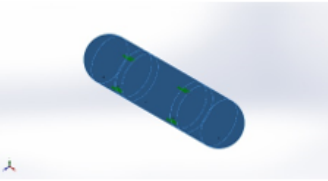
Nombre de documento: C:\Users\jorge\Desktop\diseño final compuesto\Pieza2
final.SLDPRT

Fecha de modificación: Apr 15 13:28:37 2018

IV. Apéndices

IV.2.2. Propiedades del material.

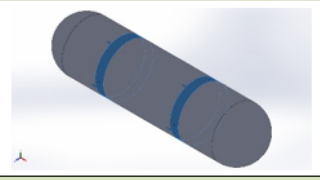
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: CFHR70_EP30 (6) Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1.96e+009 N/m ² Límite de tracción en x: 1.96e+009 N/m ² Límite de tracción en y: 5.83e+007 N/m ² Límite de compresión en x: 3.5e+009 N/m ² Límite de compresión en y: 1.215e+008 N/m ² Módulo de elasticidad en x: 1.72424e+011 N/m ² Módulo de elasticidad en y: 1.14703e+010 N/m ² Módulo de elasticidad en z: 1.14703e+010 N/m ² Coefficiente de Poisson en xy: 0.26 Coefficiente de Poisson en yz: 0.26 Coefficiente de Poisson en xz: 0.2878 Densidad: 1651 kg/m ³ Módulo cortante en xy: 6.4063e+009 N/m ² Módulo cortante en yz: 6.4063e+009 N/m ² Módulo cortante en xz: 4.45333e+009 N/m ² Coef. de dilatación térmica en x: 1e-006 / Kelvin Límite cortante: 5.72e+007 N/m ²	Conjuntos de superficies 1 (Línea de partición1)(Pieza2 final)
	Datos de curva: N/A	

IV. Apéndices

IV.2.3. Cargas y sujeciones.

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00390625	2.16357	0.126953	2.1673
Momento de reacción(N.m)	-152.791	-17.9529	-8.76407	154.092

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Presión-1		Entidades: 7 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 20 Unidades: N/mm ² (MPa) Ángulo de fase: 0 Unidades: deg		

IV.2.4. Fuerzas resultantes.

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00390625	2.16357	0.126953	2.1673

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-152.791	-17.9529	-8.76407	154.092

IV. Apéndices

IV.2.5. Cálculos del material.

A continuación, se van a adjuntar las fórmulas que se han utilizado para calcular el material compuesto, mediante el modelo micromecánico de Chamis.

CONSTANTES ELÁSTICAS

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

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

$$E_z = E_y$$

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

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

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

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

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

$$v_{yz} \rightarrow \text{En material trasversalmente isotrópico se cumple: } G_{yz} = \frac{E_y}{2 \cdot (1 + v_{yz})}$$

CONSTANTES RESISTENTES

$$X_t = V_f \cdot X_{tf}$$

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

$$X_c = V_f \cdot X_{cf}$$

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

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

IV. Apéndices

IV.3. NORMATIVA.

ECE R110: Homologación de componentes específicos de vehículos que utilizan GNC y GLP en su sistema de propulsión y para vehículos en relación con la instalación de componentes de un tipo homologado para el uso de GNC y GLP.

REAL DECRETO 919/2006: Reglamento de distribución y utilización de combustibles gaseosos.

ISO TC58/SC3: Regulación de depósitos de gas en vehículos.

ISO TC193: Regulación de la composición del gas natural.

ISO/DIS 11439: Regulación de las botellas a alta presión para el almacenamiento de gas natural en automóviles.

ISO/TR 15403: Regulación de la calidad del gas natural para usarlo como combustible.

ISO 15500: Regulación de todos los sistemas de alimentación del gas natural.

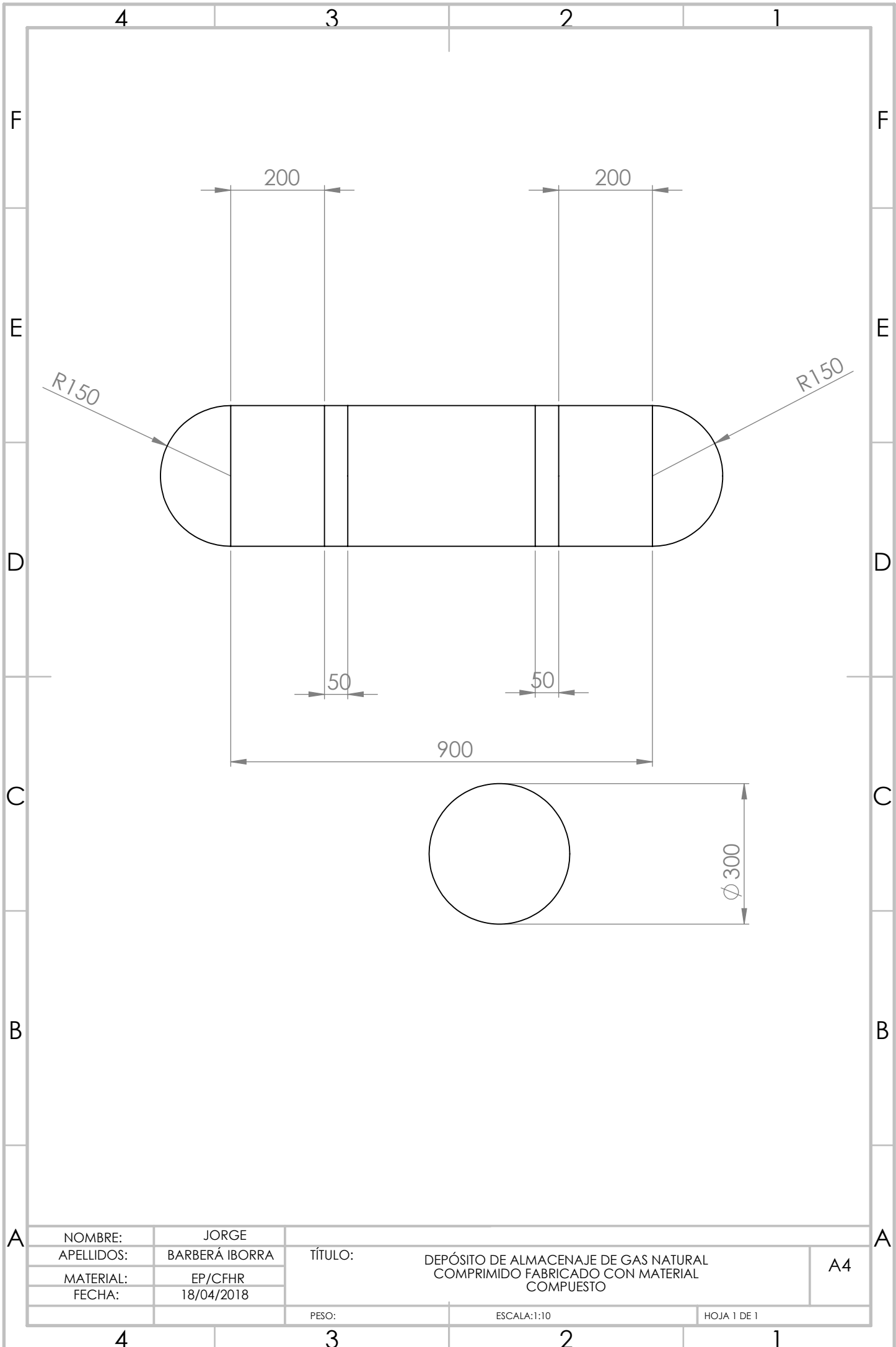
ISO/DIS 15501: Regulación de los distintos ensayos para el sistema de alimentación de gas y la seguridad de éstos.

ISO 14469: Regulación de las conexiones para el sistema de llenado de los tanques de almacenamiento.

ISO/DIS 19078: Regulación las inspecciones necesarias para los tanques de gas natural comprimido en un vehículo.

ECE R115: Homologación de sistemas de adaptación para GNC y GLP con el objetivo de ser instalados en vehículos de motor para utilizarlo como forma de propulsión.

IV.4. PLANOS ACOTADOS.



NOMBRE:	JORGE	TÍTULO:	DEPÓSITO DE ALMACENAJE DE GAS NATURAL COMPRIMIDO FABRICADO CON MATERIAL COMPUESTO	A4
APELLIDOS:	BARBERÁ IBORRA			
MATERIAL:	EP/CFHR	PESO:	ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1
FECHA:	18/04/2018			