

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOI**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**“Diseño de un gancho de liberación para botes de rescate rápido  
en material compuesto de matriz polimérica”**

**Autor:**

D. Carlos Noda Canale

**Dirigido por:**

Dr. Néstor Montañés Muñoz

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Julio 2019



# **RESUMEN**

## **“Diseño de un gancho de liberación para botes de rescate rápido en material compuesto de matriz polimérica”**

En este trabajo se iniciará un estudio con el fin de investigar si es viable desarrollar un gancho de liberación en material compuesto para elementos con unos importantes estados tensionales. El inicio se ve fomentado por análisis del mercado y en consecuencia comprender la falta de productos con las mismas características.

Diseño y fabricación de un gancho de liberación para botes de rescate rápido elaborado con materiales compuestos.

El proyecto se centra en el diseño y fabricación de un gancho de liberación para botes de rescate rápido. Este tipo de ganchos se hallan sometidos a elevados estados tensionales, así como a corrosión y oxidación por el medio en el que trabajan. Por otro lado, de un análisis del mercado efectuado previamente se puede concluir la escasez de productos de estas características que cumplan con los requisitos necesarios. Esto es lo que promueve el presente trabajo en el que se pretende diseñar un gancho para la aplicación definida, elaborado con materiales compuestos y laminados reforzados con fibras, que además de responder a los compromisos mecánicos solicitados, no se vea afectado seriamente por la corrosión y la oxidación. El presente proyecto contempla diversas disciplinas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica: prediseño y optimización de diseños mediante análisis y simulaciones, estudio de estados tensionales, fijaciones, análisis resistentes, dimensionamiento final, pre-estudio de fabricación y pre-análisis de costes.

Palabras clave: diseño; gancho; rescate; estados tensionales; corrosión; oxidación; materiales compuestos.



# **SUMMARY**

## **“DESIGN OF A RELEASE HOOK FOR FAST RESCUE BOATS IN COMPOSITE WITH POLYMERIC MATRIX”**

On the one hand the project focuses on the design and manufacture of a release hook for fast rescue boats. This type of hooks are subjected to high-tension states, as well as corrosion and oxidation by the medium in which they work. On the other hand, a market analysis carried out previously can conclude the shortage of products of these characteristics that meet the necessary requirements. This is what promotes the present work in which it is intended to design a hook for the defined application, made with composite materials and laminates reinforced with fibers, which in addition to responding to the mechanical commitments requested, is not seriously affected by corrosion and the oxidation. The present project contemplates diverse disciplines in the field of Mechanical Engineering: predesign and optimization of designs through analysis and simulations, study of tensional states, fixations, resistant analysis, final sizing, pre-study of manufacture and pre-analysis of costs.

Key words: design; hook; rescue; tension states; corrosion; oxidation; composite materials.





# Tabla de Contenidos

RESUMEN .....	3
SUMMARY .....	5
ABREVIATURAS.....	12
LISTADO DE FIGURAS .....	15
LISTADO DE TABLAS.....	22
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>25</b>
I.1. MATERIALES COMPUESTOS .....	27
I.1.1. ¿QUÉ SON LOS MATERIALES COMPUESTOS? .....	27
I.1.2. MATRICES.....	28
I.1.3. REFUERZO .....	30
I.1.4. HISTORIA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	35
I.2. GANCHOS BOTES DE RESCATE .....	38
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>46</b>
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	48
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES. ....	48
<b>III. DESARROLLO PROYECTO.....</b>	<b>50</b>
III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	52
III.1.1. PRIMER DISEÑO GANCHO: Estándar.....	55
III.1.2. SEGUNDO DISEÑO DE GANCHO MODO CUÑA.....	56
III.1.3. GEOMETRÍA DE REFERENCIA.....	58
III.2. NORMATIVA APLICABLE.....	61

III.2.1. ACOGIDA DEL GANCHO EN PROTOCOLO DE RESCATE MARÍTIMO .....	61
III.2.1.1. <i>Uso de bote de rescate</i> .....	61
III.2.2. RESOLUTION MSC.48(66) .....	62
III.2.3.MSC.1/Circ.1182/Rev.1 .....	63
III.2.4.MSC.1/Circ.1206 .....	64
III.2.5. ARTÍCULOS MED (Marine Equipment Directive) .....	64
III.2.5.1. <i>DIRECTIVE 2014/90/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 July 2014 on marine equipment and repealing Council Directive 96/98/EC</i> .....	65
III.2.5.2. <i>ENSAYO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA MED (MARINE EQUIPMENT DIRECTIVE)</i> .....	65
<b>III.3. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES....</b>	<b>70</b>
<b>III.4. SELECCIÓN DE MATERIALES. ....</b>	<b>74</b>
III.4.1. CES EDUPACK.....	74
III.4.2. SELECCIÓN DE MATRIZ.....	76
III.4.2.1. TERMOPLÁSTICO .....	77
III.4.2.2. TERMOESTABLE .....	79
III.4.2.3. ELASTÓMEROS .....	80
III.4.2.4. RESULTADOS MATRICES .....	81
III.4.3. SELECCIÓN DE FIBRA.....	88
III.4.3.1. FIBRAS METÁLICAS .....	88
III.4.3.2. FIBRAS CERÁMICAS.....	89
III.4.3. FIBRAS INORGÁNICAS .....	90
III.4.3.4. FIBRAS ORGÁNICAS .....	90
III.4.3.5. RESULTADOS FIBRAS.....	91
III.4.4. SELECCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO .....	92

III.4.3.6. SINERGIA O ADHESIÓN ENTRE FIBRA Y MATRIZ .....	95
III. 4.5. DISEÑO DE MATERIAL COMPUESTO. CÁLCULO DE LAMINADOS .....	95
<b>III.4.4.1. CÁLCULOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS Y RESISTENTES CON SOFTWARE WOLFRAM MATHEMATICA .....</b>	<b>95</b>
<b>III.4.4.2. DISEÑO DE LAMINADO, “eLamx”, CÁLCULO DE CONSTANTES INGENIERILES .....</b>	<b>100</b>
<b>III.4.4.3. LAMINADO CUASI ISOTRÓPICO DE FIBRA DE CARBONO CON EPOXI .....</b>	<b>101</b>
<b>II.4.4.4. LAMINADO CUASI-ISOTRÓPICO [0<sub>20</sub>/15<sub>10</sub>/30<sub>10</sub>/45<sub>10</sub>/60<sub>10</sub>/75<sub>10</sub>/90<sub>20</sub>/-75<sub>10</sub>/-60<sub>10</sub>/-45<sub>10</sub>/-30<sub>10</sub>/-15<sub>10</sub>]s .....</b>	<b>103</b>
<b>II.4.4.5 LAMINADO [0<sub>35</sub>/30<sub>35</sub>/90<sub>35</sub>/-30<sub>35</sub>]s .....</b>	<b>104</b>
III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO. ....	108
III.5.1. CONTACTOS EXTERNOS AL ENSAMBLAJE .....	108
III.5.2. CONTACTOS INTERNOS EN EL ENSAMBLAJE.....	112
III.6. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.....	115
III.6.1. Modelo FEM proyecto. ....	115
III.6.1.1. Aplicación de estados tensionales. ....	116
III.6.1.2. Aplicación de materiales.....	117
III.6.1.3. Mallado de modelo FEM .....	120
III.6.2. Análisis de estados tensionales, deformaciones y trazado de factor de seguridad.....	121
<b>III.6.2.1. ALUMINIO.....</b>	<b>122</b>
<b>III.6.2.2. ACERO INOXIDABLE.....</b>	<b>125</b>
<b>III.6.2.3. ACERO ALEADO.....</b>	<b>128</b>
<b>III.6.2.4. PLANO DE REFERENCIA SIMULACIÓN MATERIAL ORTOTRÓPICO .....</b>	<b>131</b>
<b>III.6.2.5. MATERIAL COMPUESTO CF 70 CUASI-ISOTRÓPICO.....</b>	<b>133</b>

<b>III.6.2.6. MATERIAL COMPUESTO ANISOTRÓPICO [0<sub>35</sub>/30<sub>35</sub>/90<sub>35</sub>/ 30<sub>35</sub>]s</b> .....	136
<b>III.6.2.7. CONCLUSIONES FRENTE A FACTOR DE SEGURIDAD</b> .....	138
<b>III.7. DISEÑO FINAL</b> .....	<b>141</b>
III.7.1. RENDERIZADOS DEL ENSAMBLAJE .....	142
<b>III.8. FABRICACIÓN</b> .....	<b>149</b>
III.8.1. RTM (Resine transfer moulding).....	149
III.8.2. FABRICACIÓN DE GANCHO MEDIANTE RTM.....	154
<b>III.9. ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>158</b>
<b>IV. APÉNDICES</b> .....	<b>161</b>
<b>IV.1. REFERENCIAS</b> .....	<b>163</b>
<b>IV.2. PLIEGO DE CONDICIONES</b> .....	<b>164</b>
IV.2.1. Pliego de condiciones técnicas particulares.....	164
IV.2.2. Prescripciones sobre los materiales en la fabricación.....	164
IV.2.3. CONDICIONES GENERALES DEL USO EN OBRA.....	164
<b>IV.3. NORMATIVA</b> .....	<b>166</b>
<b>IV.4. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>168</b>
<b>IV.5. PLANOS ACOTADOS</b> .....	<b>170</b>

# ABREVIATURAS

E	Módulo elástico
EP	Resina epoxi
UP	Resina de poliéster insaturado
PVC	Policloruro de vinilo
FEM	Método de los elementos finitos
$\alpha$	Coefficiente de expansión térmica lineal
Ex	Módulo elástico en dirección x
Ey	Módulo elástico en dirección y
IMO	International Maritime Organisation
LSA	Life Saving Appliances
MSC	Maritime Safety Committee
MED	Maritime Equipment Directive
cd	Candelas
SWL	Safe Working Load
Tg	Temperatura de transición vítrea
Tm	Temperatura de cristalización
Td	Temperatura de degradación
FDS	Factor de Seguridad
RTM	Resine Transfer





# LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Material bambú.....	27
Figura I.2. Esfuerzos de compresión y tracción .....	29
Figura I.3. Resina Epoxi.....	30
Figura I.4. Distintos tipos de fibras en función de su geometría .....	30
Figura I.5. Fibra de vidrio en fieltro.....	31
Figura I.6. Tejido de fibra de carbono.....	33
Figura I.7. Guantes de Kevlar .....	34
Figura I.8. Fibras naturales.....	35
Figura I.9. Madera, fases heterogéneas .....	35
Figura I.10. Hormigón reforzado, encofrado de un edificio.....	36
Figura I.11. Velas compuestas de Kevlar .....	37
Figura I.12. Bote salvavidas antiguo siendo suspendido por cuerdas.....	38
Figura I.13. Esquema de elementos de sujeción de un botes salvavidas.....	40
Figura I.14. Dispositivo de liberación bote salvavidas en la actualidad.....	41
Figura I.15.a) .....	42
Figura I.15.b) .....	42
Figura I.16.b) .....	43
Figura III.1 Modelo Henrisken HMKST Standard Manual Release hooks.....	52
Figura III.2. Funcionamiento gancho Henrisken .....	53
Figura III.3. Datos técnicos modelo Henrisken.....	54
Figura III.4. Primer diseño realizado en Solidworks.....	55
Figura III.5. Gancho Fassmer Duplex 50E2 con forma de cuña.....	56

Figura III.6. Diseño segundo de gancho con gancho en forma de cuña inspirada en modelo Fassmer Duplex 50E2 .....	57
Figura III.7. Conjunto ensamblaje, carcasa inspirada en modelo de marca Henrisken y “gancho” inspirado en Fassmer. ....	57
Figura III.8. Pieza gancho con forma estándar.....	58
Figura III.9. Fast Rescue Boat izado para prueba de funcionamiento .....	61
Figura III.10. Una persona en el agua alejada de un buque. Se plantea la pregunta de cómo abordar este caso.....	63
Figura III.11. Recorte página DNV-GL aprobación EU/MED.....	65
Figura III.12. Gancho PALFINGER CAR-35, con una SWL (3500kg) .....	66
Figura III.13. Certificación acreditativo MED del fabricante PALFINGER .....	68
Figura III.14. Información técnica del bote de rescate rápido Brude Explorer-720.....	71
Figura III.15. Bote Brude Explorer-720 .....	71
Figura III.16. Distribución de carga en pieza central de gancho objeto de estudio .....	72
Figura III.17. Interfaz de selección del software CES EDUPACK .....	76
Figura III.18. Diferentes enlaces entre cadenas .....	77
Figura III.19. Cadena polimérica tridimensional.....	78
Figura III.20. Red tridimensional de las cadenas de un polímero termoestable .....	80
Figura III.21. Software CESEDUPACK nivel 2 base de datos, selección de materiales poliméricos.....	81
Figura III.22. Durabilidad en CES EDUPACK de la matriz .....	82
Figura III.23. Propiedad mecánica en selección matriz CES EDUPACK .....	82
Figura III.24. Resultados de búsqueda de matriz polimérica CES EDUPACK. ....	83
Figura III.25. Gráfico distribución de polímeros para selección matrices .....	83
Figura III.26. Parte compleja de inyección de PEEK para la industria del Petróleo .....	84
Figura III.27. Sillas de PMMA. ....	84

Figura III.28. Casco de ciclismo fabricado en policarbonato.....	85
Figura III.29. Cremallera de POM.....	86
Figura III.30. Dos tubos de endurecedor y resina de la marca Araldite. Las resinas epoxi son excepcionalmente estables y protectoras, acepando bien el calor.....	86
Figura III.31. Envases de bebidas de PET. ....	87
Figura III.32 Fibras metálicas en hormigón.....	89
Figura III.33. Fibras cerámicas.....	89
Figura III.34 Fibra de vidrio.....	90
Figura III.35 Fibra Aramida .....	90
Figura III.36. Filtro de universo de materiales en proceso de selección de fibras CES EDUPACK.....	91
Figura III.37. Resultado de aplicación de etapas en la búsqueda de materiales compuestos en CES EDUPACK .....	91
Figura III.38. Gráfico con resultados de búsqueda de material compuesto para selección de fibra en CES EDUPACK.....	92
Figura III.39. Buque Benchi Express que navega en aguas Canarias fabricado en su totalidad con fibra de vidrio. ....	93
Figura III.40. Aviones como este Airbus .....	94
Figura III.41. Definición de variables en la hoja de cálculo Wolfram Mathematica .....	97
Figura III.42. Definición de ecuaciones de constantes elásticas Wolfram Mathematica	97
Figura III.43. Definición de ecuaciones constantes resistentes Wolfram Mathematica..	98
Figura III.44. Definición de datos para la resolución Wolfram Mathematica.....	98
Figura III.45. Resultados resolución de ecuaciones definidas Wolfram Mathematica...	99
Figura III.46. Resultados resolución de ecuaciones definidas Wolfram Mathematica.	100
Figura III.47. Propiedades laminado de fibra de carbono y resina epoxi, llamado New Micro Mechanic Material .....	102
Figura III.48. Propiedades laminado cuasi-isotrópico Fibra de carbono al 70% .....	103

Figura III.49. Propiedades micromecánicas laminado CF70% anisotrópico.....	105
Figura III.50. Base y taladros de gancho Henrisken.....	108
Figura III.51. Tornillos y arandelas acoplables a las bases del gancho.....	109
Figura III.52. Información técnica sobre anclaje de ganchos a bote. ....	110
Figura III.53. Representación y muestra del fabricante sobre cómo manejar un Master link y los distintos tipos que ofrece. ....	110
Figura III.54. Información técnica sobre dimensiones y cargas a las que se puede someter un Master link.....	111
Figura III.55. Diferentes tipos de elementos bote. ....	112
Figura III.56. Vista 3D del modelo.....	112
Figura III.57. Ensamblaje de pieza 2 con placas laterales.....	113
Figura III.58. Vista 3D del modelo.....	115
Figura III.59. Ejemplo de una malla.....	116
Figura III.60. Introducción de cargas modelo FEM.....	117
Figura III.61. Contacto bisagra fijo inferior.....	117
Figura III.62. Ejemplo definición de materiales en Solidworks.....	119
Figura III.63. Pieza central gancho objeto de análisis.....	120
Figura III.64. Extracción datos sobre mallado modelo FEM.....	121
Figura III.65. Mallado de cara del gancho placa lateral. ....	121
Figura III.66. Tensiones generadas modelo aluminio.....	122
Figura III.67. Desplazamientos aluminio.....	122
Figura III.68. Deformaciones unitarias aluminio.....	123
Figura III.69. Factor de seguridad de conjunto de aluminio. Valor mínimo 0,3.....	123
Figura III.70. Trazado factor de seguridad pieza a analizar, donde el valor mínimo es 0,428.....	124

Figura III.71. Tensiones Von Mises, pieza acero inoxidable .....	125
Figura III.74. Factor de seguridad 1, acero inoxidable .....	126
Figura III.73 Deformaciones unitarias acero inoxidable .....	126
Figura III.75. Factor de seguridad 2, pieza de acero inoxidable .....	127
Figura III.76. Tensiones acero aleado .....	128
Figura III.77 Desplazamientos acero aleado.....	128
Figura III.79. Factor de seguridad 2, acero aleado.....	129
Figura III.78. Deformaciones unitarias acero aleado.....	129
Figura III.80. Selección plano de referencia para cálculo de modelo ortotrópico .....	131
Figura III.80. Tensiones CF70 cuasi-isotrópico.....	133
Figura III.81. Desplazamientos CF70 cuasi-isotrópicos .....	134
Figura III.83. Factor de seguridad 2, CF70 cuasi-isotrópico .....	135
Figura III.82. Deformaciones unitarias CF70 cuasi-isotrópico .....	135
Figura III.84. Tensiones CF70 ortotrópico.....	136
Figura III.85. Desplazamientos CF70 ortotrópico .....	137
Figura III.86. Deformaciones CF70 ortotrópico.....	137
Figura III.87. Factor de seguridad 2, CF70 ortotrópico .....	138
Figura III.88. Vista pieza central gancho.....	141
Figura III. 89. Pieza central gancho medidas.....	142
Figura III.90. Renderizado Modelo nave industrial .....	143
Figura III.91. Renderizado modelo Drillship .....	144
Figura III.92. Renderizado modelo flotante.....	145
Figura III.93. Renderizado narco salvamento de fondo.....	146
Figura III.94. Diagrama Resine Trasfer Moulding .....	150

Figura III.95. Esquema funcionamiento moldeo por transferencia de resinas. ....	151
Figura III.96. Moldeo por transferencia con dos conductos separados para resina y catalizador. ....	153
Figura III.97. Vista lateral de pieza gancho. ....	155
Figura III.98. Análisis calorimétrico a una muestra resina epoxi .....	156
Figura III.99. Costes de la fibra de carbono con resina epoxi.....	158



# LISTADO DE TABLAS

Tabla III.1. Comparativa posibles matrices .....	87
Tabla III.2. Comparativa diferentes materiales compuestos simplificados a comportamiento isotrópico para la elección de una fibra. ....	94
Tabla III.3. Propiedades mecánicas y micromecánicas del laminado cuasi-isotrópico de CF70% .....	104
Tabla III.4. Propiedades micromecánicas, elásticas y resistentes de segundo laminado CF70.....	105
Tabla III.5. Tabla comparativa de los dos laminados seleccionados CF70.....	106
Tabla III.6. Propiedades isotrópicas de materiales metálicos .....	118
Tabla III.7. Abreviaturas materiales metálicas .....	118
Tabla III.8. Comparativa de resultados frente a la simulación con una carga de 85808(N) .....	139
Tabla III.9. Resultados del material seleccionado al ensayo .....	141
Tabla III.10. Matriz de selección proceso de conformado .....	149
Tabla III.11. Precio material en proceso RTM.....	158
Tabla III.12. Estudio económico de proceso RTM .....	158
Tabla III.13. Costes totales de fabricación.....	159
Tabla III.14. Ganancias del proceso RTM.....	159





# **I. INTRODUCCIÓN**

## **INTRODUCCIÓN**



## **I. Introducción**

---

### **I.1. MATERIALES COMPUESTOS**

Para la ejecución del trabajo es necesario comprender qué son los materiales compuestos. La historia que existe detrás de ellos y por qué es el material compuesto una alternativa a los materiales convencionales.

#### **I.1.1. ¿QUÉ SON LOS MATERIALES COMPUESTOS?**

Los materiales compuestos son aquellos en los que se mezclan dos elementos no homogéneos que pueden separarse físicamente y su división es apreciable a escala macroscópica. Estos dos materiales al combinarse pueden formar uno nuevo con características físicas y químicas diferentes a los originales.

Los materiales compuestos así, pueden usarse para aplicaciones en las que los materiales que son combinados por separados no podrían ser usados.

El estudio en esta rama es innovador ya que se puede crear un material nuevo según qué materiales se combinen y las proporciones que se usen en el proceso.

Para que el material compuesto se forme necesario que posean sinergia entre los productos de la mezcla. La unión de las características originales de los materiales



Figura I.1. Material bambú

# I. Introducción

---

simples para formar el compuesto y la interacción entre ellos es lo que se denomina como sinergia.

Los materiales compuestos pueden ser producto del ser humano, debido a la fabricación de los mismos, o producto de la naturaleza, ya que en ella se encuentran muchos materiales donde se unifican varios componentes para dar lugar a uno final. Por ejemplo el bambú, los huesos, la madera o incluso el lino.

Los materiales creados pueden poseer excelentes características mecánicas. La diferenciación entre las características mecánicas que posea y su procesabilidad serán características determinantes a la hora de seleccionar un material compuesto. Debido a esto es posible encontrar materiales con buenas características mecánicas pero a la hora de ser conformados el proceso resulta ser demasiado caro para la aplicación en la que se va a usar.

Los materiales compuestos están formados por una matriz y el refuerzo. Según el origen de sus componentes es posible diferenciar diferentes tipos de materiales. Además cada elemento posee una función.

## I.1.2. MATRICES

La matriz es una fase homogénea que inunda el material de refuerzo. Puede provenir de diferentes tipos de materiales como pueden ser los metálicos, los cerámicos y los poliméricos. Además pueden ser termoplásticos, termoestables o elastómeros según el tipo de plástico o material polimérico que lo conforme.

La función de la matriz es:

- Determinar las propiedades del material, tanto física como química.
- Entre sus funciones se encuentra la de transferir las cargas o esfuerzos que sufre el material compuesto hacia el refuerzo, parte encargada de resistirlos.
- Otra función es la de defender el material frente agentes externos y brindar adhesión al conjunto.

Pueden ser sometidas a distintos tipos de cargas y reaccionar de distinta forma según la carga:

- Al encontrarse sometida a esfuerzos de tracción la matriz al ser homogénea e isotrópica soporta el esfuerzo en un material compuesto.
- Al verse sometida bajo la influencia de esfuerzos de tracción la matriz transmite el esfuerzo a las fibras o partículas del elemento de refuerzo del material

# I. Introducción

---

compuesto, por ello es vital que entre ambas fases (matriz y refuerzo) exista una buena sinergia.

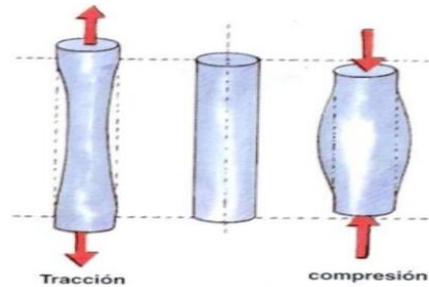


Figura I.2. Esfuerzos de compresión y tracción

Se puede ver de forma gráfica como se ejecuta un esfuerzo de tracción o compresión sobre una fibra. Depende del tipo de material puede llegar a resistir la transmisión de una fisura o además resistir la resistencia al impacto.

En las matrices es posible utilizar diferentes tipos de materiales para conformarla:

- Matrices poliméricas: Se emplean con mayoría en el mercado tal y como se ha comentado con anterioridad pueden ser termoestables, termoplásticas o elastómeras según el tipo de polímero usado. Se pueden encontrar en el mercado matrices tales como fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida...
- Matrices metálicas: Las matrices metálicas pueden cubrir varias necesidades en el mercado y son usadas para múltiples sectores tales como la automoción, la industria ferroviaria o la aeroespacial. Pueden ser de materiales como el aluminio, estar compuesta por níquel, o también por cobre. Se distinguen porque a menudo los procesos de fabricación necesarios para su conformado son muy costosos aunque sus propiedades puedan ser muy buenas.
- Matrices cerámicas: Estos compuestos se distinguen de los anteriores porque en general soportan muy bien las altas temperaturas, su peso en general suele estar intermedio entre las matrices poliméricas y las cerámicas. Siendo de normal mayor que el de las matrices poliméricas y menor que el de las matrices metálicas. Pueden estar formados por alúmina, carburo de silicio... Presentan una alta fragilidad.

Es posible observar en la figura una resina de origen polimérica, la resina epoxi, se puede apreciar a simple vista que es una resina homogénea que se añade en fase líquida al molde.

# I. Introducción

---



Figura I.3. Resina Epoxi

## I.1.3. REFUERZO

El refuerzo es una fase discontinua que se añade al material matricial para otorgarle propiedades mecánicas que la matriz no posee. Suele mejorar la resistencia a la tracción o la resistencia en general, además de poder mejorar la rigidez mecánica.

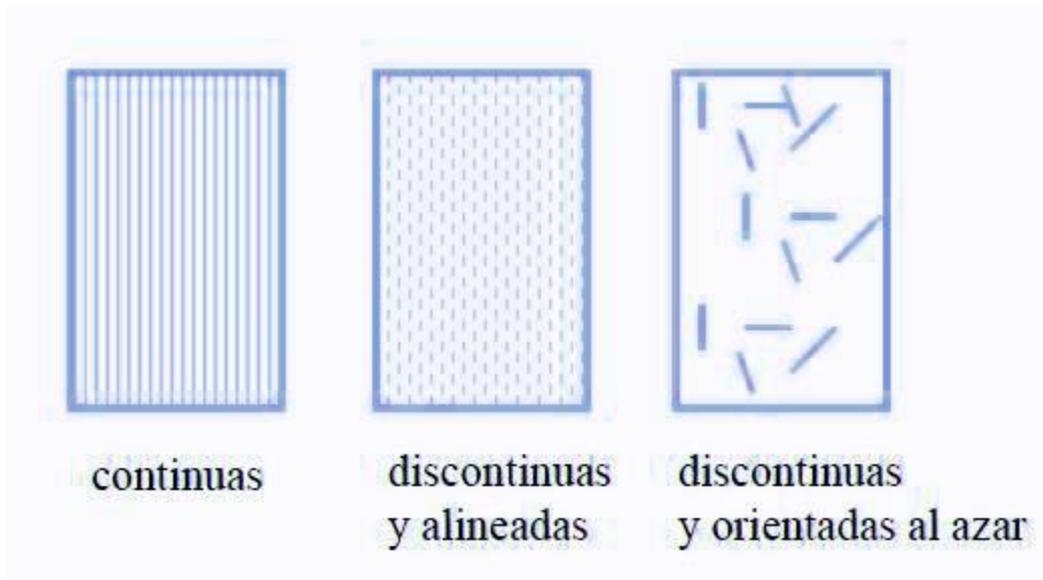


Figura I.4. Distintos tipos de fibras en función de su geometría

# I. Introducción

---

El refuerzo puede venir dado en diferentes formas. Una de ellas es en forma de partículas y otra es en forma de fibra. Cuando se usa la aplicación del refuerzo en forma de partículas dispersas homogéneamente en el material se le suelen atribuir características isotrópicas al material mientras que si se presenta el refuerzo en forma de fibra el material puede comportarse de diferentes maneras según reciba esta la carga.

La fibra suele otorgarle resistencia al compuesto, su peso puede variar según su origen. Si el material presenta un sometimiento a altas temperaturas, las fibras suelen elegirse para que resistan estas temperaturas.

Las fibras más comercializadas en el mercado son la fibra de vidrio, la fibra de carbono y las fibras de aramida. Destacan por disponer de una elevada resistencia a los esfuerzos de tracción.

- Fibra de vidrio: Poseen un precio en el mercado mucho menor que su competidoras (fibra de carbono y fibra aramida) es por ello que son las más popularizadas en el mercado. Sus propiedades son distintas a las otras fibras diferenciándose principalmente en tener una menor resistencia y módulo de



**Figura I.5. Fibra de vidrio en fieltro**

# I. Introducción

---

Young, tienen una mayor elongación a la hora de recibir un esfuerzo. Se asemejan a las otras fibras en la resistencia a la tracción y en su densidad. Se puede observar un tamiz de fibra de vidrio dispuesto en forma de fibras cortas. Esta disposición otorga un comportamiento cuasi-isotrópico.

- Fibra de carbono: Es un material formado por grafito, en la que los hilos o fibras son largos y de pequeño diámetro. Poseen una elevada resistencia a la tracción, un alto módulo de Young, mientras que disponen de una baja resistencia a la cizalladura y a la resistencia al impacto.

# I. Introducción

---



Figura I.6. Tejido de fibra de carbono

Es posible apreciar un tejido de fibra de carbono en el que las fibras están dispuestas de forma unidireccional.

- **Fibras orgánicas:** Los elementos químicos orgánicos componen este tipo de fibras. Las fibras de aramida pertenecen a esta rama y se llaman así debido a los grupos aromáticos y a las amidas que aparecen en su composición. Una de las fibras más popularizadas de este grupo es la fibra Kevlar. Este material dispone de una gran estabilidad, posee además una alta resistencia a la tracción. Se diferencian del resto por poseer una elevada resistencia al impacto. Mientras que poseen unas propiedades mecánicas bajas. Disponen de una gran resistencia a la corrosión y a la exposición a agentes químicos, exceptuando a los ácidos fuertes.

# I. Introducción

---



Figura I.7. Guantes de Kevlar

Debido a su elevada resistencia a las altas temperaturas y al impacto son aplicados estos materiales a usos protecciones como por ejemplo en unos guantes en equipos de protección individual.

- Fibras naturales: Cada vez es más frecuente en la implementación de normativas exigir que los materiales utilizados sean reutilizables. En ese contexto entran con rigor los materiales compuestos por productos naturales, en ellos las fibras pueden ser seleccionadas de distintos orígenes, muchos de ellos vegetales. Estos elementos reducen la huella medioambiental. Sus costes son mayores que los derivados del petróleo aunque se estima que su producción aumente en los próximos años.

# I. Introducción

---



Figura I.8. Fibras naturales

Se pueden observar fibras naturales para conformar bioplásticos.

## I.1.4. HISTORIA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

En la actualidad es posible crear según una necesidad un polímero o un material compuesto que cumpla con los requerimientos para su uso,. Pero a lo largo de la historia



Figura I.9. Madera, fases heterogéneas

# I. Introducción

---

se han empleado diversos materiales compuestos. El más empleado por el ser humano a lo largo de la historia es la madera. La madera se compone por una matriz celulósica y unas fibras orgánicas que otorga diferentes propiedades mecánicas según que tipo de madera sea. Suelen tener buena elasticidad.

En este elemento se puede apreciar las fases heterogéneas que la componen y como se compone de un conjunto de fibras.

Ya en la época de los egipcios eran empleados diversos materiales compuestos a la hora de fabricar elementos estructurales o casa. Entre ellos era común el uso de adobe, material conformado por paja como refuerzo y como matriz una mezcla de arcilla y agua.

Este elemento estructural ha sido sustituido en la actualidad por el hormigón. En este material la fibra y la matriz provienen del grupo de los materiales cerámicos. Este elemento posee la ventaja de ser resistente a las altas temperaturas y adaptarse bien a sus moldes debido a que se deposita en estado viscoso. Además puede resistir el fuego, por el contrario no dispone de una buena resistencia a la tracción y adquiere dilataciones y contracciones según la temperatura a la que se encuentre. Su composición requiere de grava y arena envueltos por una matriz de aglutinantes compuestos de silicatos y aluminatos.



Figura I.10. Hormigón reforzado, encofrado de un edificio

# I. Introducción

---

Debido a esto presenta una resistencia a la compresión superior a la resistencia a la tracción. Estas características pueden variar y superarse añadiendo refuerzos como barras de acero que resisten los esfuerzos a tracción. Cuando se lleva acabo se acaba constituyendo el encofrado que se compone de hormigón reforzado con barras de acero.

En el siglo XIX Edison utilizó por primera vez, debido a fibras vegetales sometidas a unos calentamientos ciertas condiciones, fibras de carbono como elemento constituyente de filamentos para unas bombillas.

Las fibras de aramida obtuvieron un gran desarrollo gracias a las aplicaciones para ropa de protección como chalecos antibalas en los años setenta. Además se utilizaron como refuerzo en cuerdas para barcos e incluso en velas para estos gracias a sus propiedades como elastómeros.



**Figura I.11. Velas compuestas de Kevlar**

Se puede observar un barco velero en el que la vela está compuesta por fibras de Kevlar.

A la hora de diseñar elementos de material compuesto para aplicaciones marítimas es necesario comprender brevemente, cuáles son los principales factores a los que está expuesto una pieza en este ámbito y repasar brevemente la evolución en este sector de los productos a diseñar.

## I. Introducción

---

### I.2. GANCHOS BOTES DE RESCATE

El uso de dispositivos de liberación para botes de rescate rápido se encuentra recogido en las normativas internacionales. Estos dispositivos se han usado para bajar e izar los botes desde el agua.

La información acerca de los primeros modelos es escasa. Pero el empleo de materiales en ello se ha visto predominado por los materiales metálicos, estando los materiales compuestos de matriz polimérica relegados a un uso de un 0% a nivel global.

El Landguard Fort Lifeboat diseñado en 1821 fue el primer bote que se emplea para salvar vidas.



Figura I.12. Bote salvavidas antiguo siendo suspendido por cuerdas

# **I. Introducción**

---

El uso de los botes salvavidas es obligatorio en gran parte de los navíos. Y por ello requiere de un dispositivo de liberación que permita rescatar el bote del agua e introducirlo en el barco. Este conjunto está comprendido por el gancho y el pescante con su cable.

Para comprender qué función tiene cada elemento es necesario realizar una breve explicación de cómo se rescata un bote del agua.

Un bote salvavidas es un elemento de salvamento marítimo usado en los buques o navíos para realizar funciones de rescate o maniobras del barco. Estos se encuentran unidos al barco mediante un dispositivo de izado llamado pescante (una grúa), el cual posee un cable enrollado en un tambor en el que el extremo del cable va sujeto al tambor. El otro extremo del cable puede ir unido al bote mediante una pasteca, mediante un gancho, o mediante un guardacabo unido a un grillete.

# I. Introducción

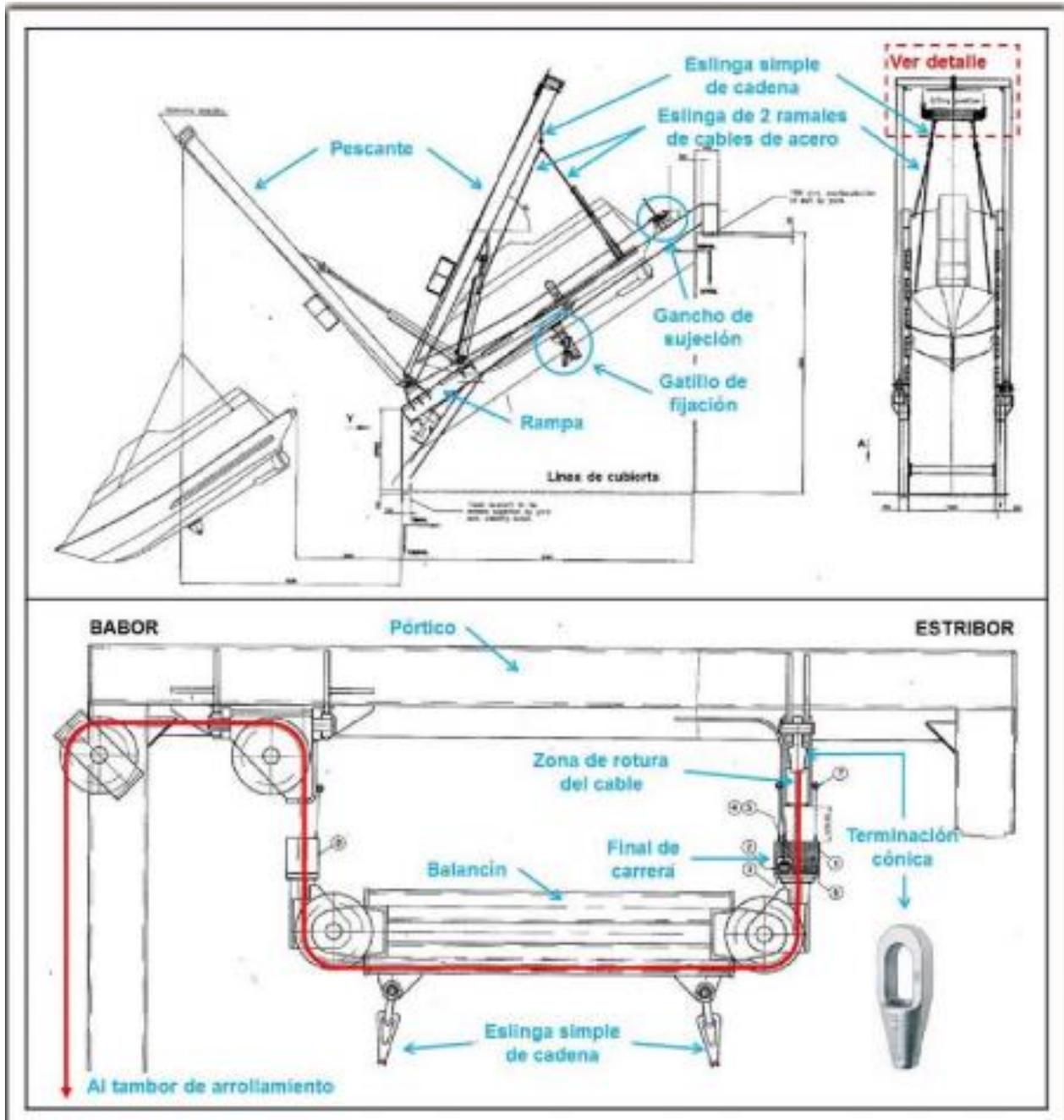


Figura I.13. Esquema de elementos de sujeción de un botes salvavidas.

Por el otro lado en el bote se puede encontrar según la configuración usada en el cable distintos dispositivos. Un gancho ensamblado al bote o un “masterlink” que se une al gancho en el caso de que éste estuviera en el cable.

## I. Introducción

---



Figura I.14. Dispositivo de liberación bote salvavidas en la actualidad

Se puede apreciar en la imagen un gancho ensamblado al bote unido al cable mediante dos grilletes unidos al guardacabo del cable.

A lo largo de la historia en la fabricación de los ganchos se han empleado varios materiales en la fabricación de estos elementos, todos de origen metálico, aceros aleados y aceros inoxidable.

Los primeros ganchos fueron usados con aleaciones de acero aleado, estos poseen una gran rigidez y resistencia por lo que soportan las cargas a la perfección, su desventaja venía en que debido a la exposición con el ambiente marino se veían afectados por la corrosión que otorga la exposición a este ambiente.

Debido a esto se empezó a implementar el uso de aceros inoxidable, estos aceros poseen una resistencia menor que los aceros aleados pero disponen de una resistencia a la corrosión mucho mayor lo que les acaba otorgando mayor esperanza de vida que los ganchos de acero aleados.

# I. Introducción

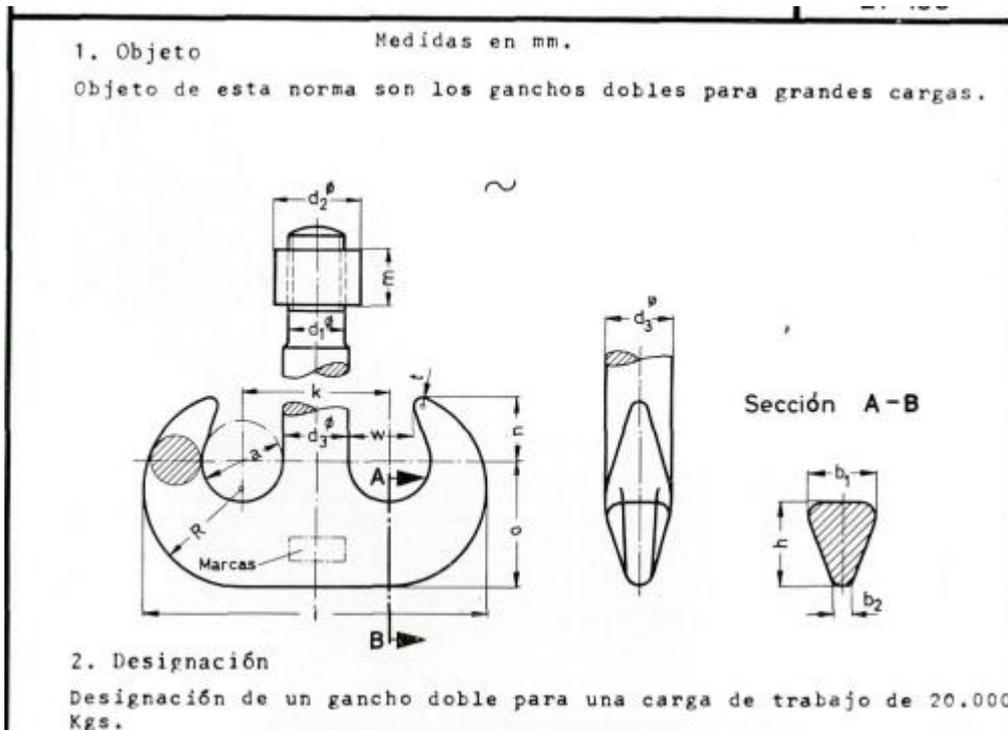


Figura I.15.a)

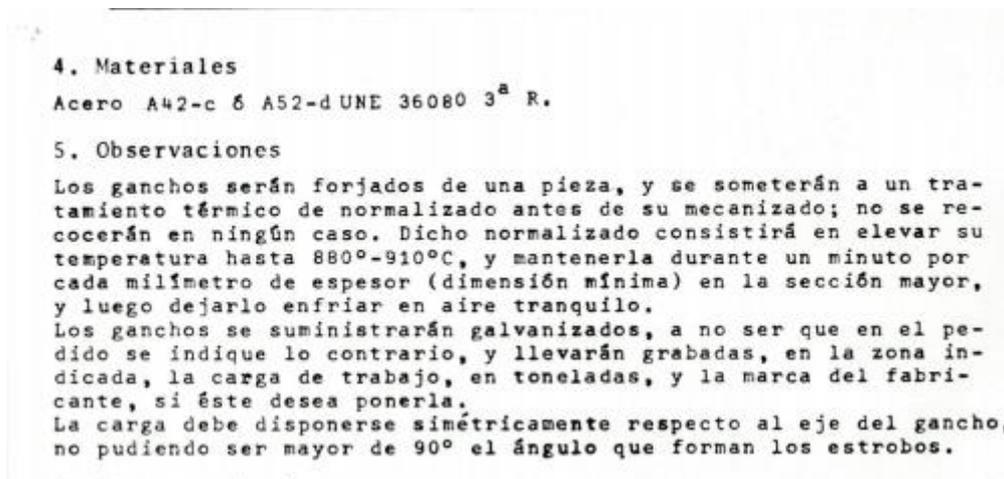


Figura I.15.b)

En la figura I.15.a) se puede observar un gancho doble expuesto en la "Revista técnica de la asociación de Ingenieros Navales" de septiembre de 1967, en ella se muestra un gancho doble diseñado para barcos. La carga para la que es usado este gancho es para 20000kg, por lo que se le puede atribuir a este una alta resistencia.

En la figura I.15.b) Se puede observar como el gancho citado anteriormente es realizado en acero aleado A42-c, dicho acero se explica que se realiza un tratamiento térmico antes

# I. Introducción

---

de su mecanizado y no se deberá bajo ningún caso recocer. Se explica además que está galvanizado.

El mercado evolucionó y tal y como se citó antes se sustituyeron este material (acero aleado) por aceros inoxidables para prevenir la corrosión.

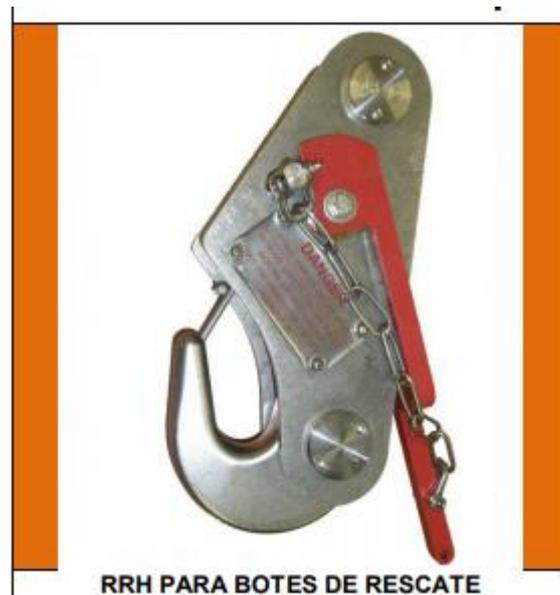


Figura I.16.a)

<b>Material:</b>	Resistente a la corrosión en ambiente marino. (Acero inoxidable - bronce)
------------------	---

Figura I.16.b)

En la *figura I.16.a)* se observa un gancho de la marca Harding para botes de rescate. En la *figura I.16.b)* se observa que el material del gancho es acero inoxidable-bronce. Esta evolución favorece la vida en el ambiente marino prescindiendo levemente de propiedades mecánicas.

El estudio de por qué nunca se ha empleado materiales compuestos para los ganchos en el sector marítimo, crea una duda en cuanto la viabilidad del desarrollo del proyecto. Si bien los materiales compuestos no disponen de mucho tiempo en el mercado su uso en la industria naval está popularizado en la fabricación de botes lanchas, incluso velas para barcos veleros.

Sin embargo el uso de estos materiales compuestos de matriz polimérica en ganchos o dispositivos de liberación de botes de rescate es nulo. Cabe pensar que esto se debe a que las tensiones que puede resistir un material compuesto de matriz polimérica no complace los esfuerzos arraigados a este uso, incluso que los estos materiales compuestos no soportan la corrosión en el ambiente marino, sin embargo este último punto queda desmentido ya que de hecho se usan estos materiales para aplicaciones

# **I. Introducción**

---

antes citadas. El primer punto por la contra requiere de un estudio empírico o analítico gracias a softwares de cálculos para poder demostrar que se pueden usar en estas aplicaciones.

# I. Introducción

---

## **II. OBJETIVOS**

# **OBJETIVOS**



## **II. Objetivos**

---

### **II.1. OBJETIVO GENERAL.**

El estudio persigue diseñar un ensamblaje en el cual la pieza central del gancho compuesta por materiales compuestos de matriz polimérica pueda soportar las tensiones generadas por un bote suspendido. Para ello se analizará un modelo FEM en el que se aplicarán varios materiales para comparar los resultados obtenidos mediante una simulación. Esta simulación estará definida por la aplicación de un estado tensional.

Todo ello será acompañado de un proceso de fabricación y concluido con un estudio de viabilidad económica.

### **II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.**

Será necesario estudiar cómo aplicar los materiales basándose en modelos micromecánicos, modelos elásticos y resistentes. El estudio de productos del mercado para establecer una comparativa. Examinar cómo fabricar un conjunto definido en materiales compuestos.

Se diseñará un conjunto que deba soportar las tensiones generadas por la acción de mantener suspendido un bote salvavidas. Por ello se hará un estudio de la normativa que lo rodea y de los ensayos que exige.

## **II. Objetivos**

---

### **III. DESARROLLO PROYECTO**

**DESARROLLO  
PROYECTO**



## III. Desarrollo proyecto

---

### III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

Debido a la complejidad geométrica del ensamblaje es inviable la posibilidad que se pueda definir un estudio por vaciado de caras que pueda calcular el espesor necesario, luego el método de cálculo empleado será el iterativo, observándose si el modelo soporta o no las cargas asociadas a él dependiendo del material empleado.

En la industria naval la aplicación de elementos de unión y liberación para botes salvavidas y otros dispositivos de salvamento marítimo posee una amplia gama de productos ofertados.

Los fabricantes que disponen de esta oferta también son múltiples. Pero para el análisis de nuestro prototipo utilizaremos el gancho de la marca "Henrisken", el modelo de referencia será uno de la categoría Off-load, correspondiente a nuestra normativa para botes de rescate rápidos.

El modelo Henrisken HMKST Standard Manual Release hooks, será una buena referencia para demostrar las capacidades de un material compuesto frente a cargas elevadas. Realizaremos el estudio con una carga de 3,5 ton.

HMKST  
Standard Manual Release  
hooks  
(3,5 / 5 / 8 / 15)

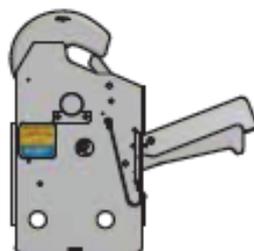


Figura III.1 Modelo Henrisken HMKST Standard Manual Release hooks.

### III. Desarrollo proyecto

---

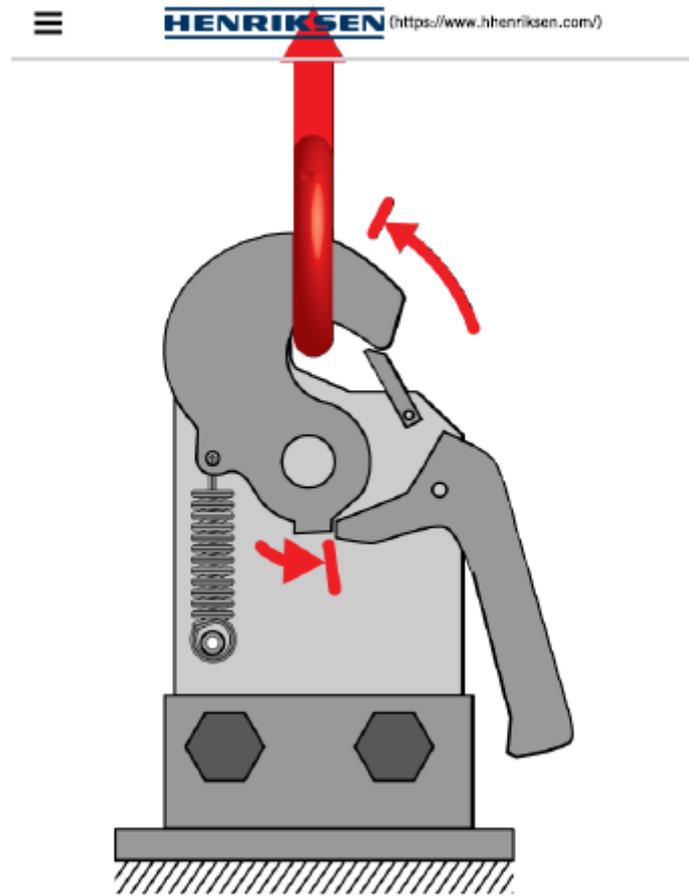
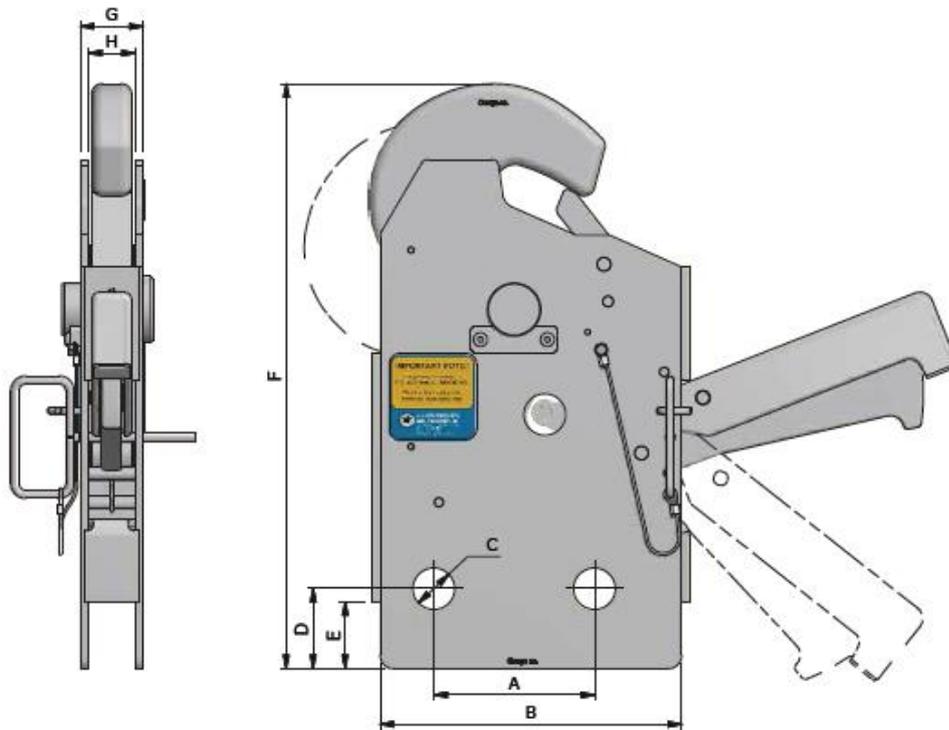


Figura III.2. Funcionamiento gancho Henrisken

En el nuestro partiremos de la base de este gancho para diseñar nuestro modelo.

Se puede observar *Figura III.1* tanto como en la *Figura III.2* el conjunto y el funcionamiento del sistema del gancho de liberación de un Henrisken HMKST. Además podemos ver como el gancho una vez se encuentra bajo la acción de la carga bloquea su mecanismo y evita la apertura del gancho accidentalmente mientras tenga carga.

Este sistema es aplicado en la mayoría de ganchos OFF LOAD, en los cuales la apertura del propio gancho es imposible bajo la acción de una carga. Con este sistema se añade una medida más de seguridad para maniobras en las que se ven comprometidas vidas de personas que se encuentran a bordo del bote de rescate.



PARTNR	HOOK	WLL	A	B	C	D	E	F	G	H	WEIGHT
HH000026	HMKST 3,5	3,5T	100	180	25	49	40	352	40	30	9,9 kg

Figura III.3. Datos técnicos modelo Henrisken

Se observa en la tabla que las dimensiones no están completamente definidas, ya que el objeto no está del todo acotado. Sin embargo este modelo sirve de referencia, de él se pueden sacar el alto, largo y ancho del conjunto (180 x 352 x 40).

Además, el peso corresponde a 9,9 kg. Todos estos datos son extraídos de la *Figura III.3*.

Con estos datos se puede realizar una comparativa futura de las características físicas para comprender si mejora o no en cuanto a características físicas.

La realización de los diseños se apoyará en el software Solidworks, programa del que partirán tanto los diseños como las simulaciones del trabajo.

Estos primeros diseños fueron creados en modelaje de SolidWorks y bajo una carga leve analizada en aceros aleados e inoxidables se comprobó que debieron ser reestructurados para soportar las tensiones generadas en el proceso.

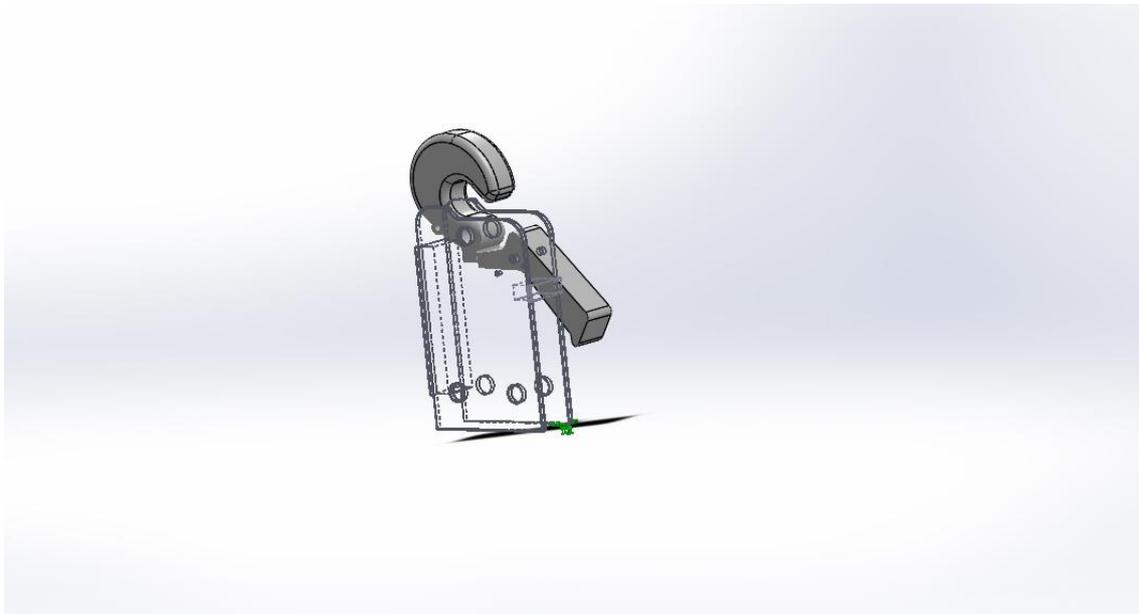
### III. Desarrollo proyecto

---

A continuación se muestran los primeros modelos diseñados en el software para comprender la evolución en el diseño del ensamblaje.

#### III.1.1. PRIMER DISEÑO GANCHO: Estándar

El diseño del primer modelo de Gancho estándar se ve impulsado por el plano de funcionamiento del modelo Henrisken *Figura III.3* en el cual no se definen concretamente las dimensiones. Más adelante se comprenderá que en los puntos donde se concentran las tensiones funciona bien un redondeo en la arista para repartir las tensiones a través de la pieza.



**Figura III.4. Primer diseño realizado en Solidworks**

En este modelo se han respetado las dimensiones del modelo de Henrisken para obtener una comparativa más certera. En la *Figura III.4* observamos una primer esbozo de obtenido a partir de las cotas delimitantes de la *Figura III.3* en la cual el fabricante añade ciertas cotas útiles para el acoplamiento del gancho en el bote y el acoplamiento del gancho con el master link.

Sin embargo al no disponer de una vista de sección del gancho y no corresponderse con la geometría original, la primera parte de diseño del estudio se centrará en obtener una geometría que cumpla con el ensayo propuesto.

Este “Primer diseño de gancho” no logró obtener una resistencia a los esfuerzos suficiente. Con ninguno de los materiales empleados en el estudio

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.1.2. SEGUNDO DISEÑO DE GANCHO MODO CUÑA

En el segundo intento se toma como referencia la base del modelo antes representado y se emula la pieza ovalada central del gancho visto en otro modelo de otro fabricante del sector naval, en este caso se corresponde al modelo "Duplex 50E2" de la marca Fassmer.

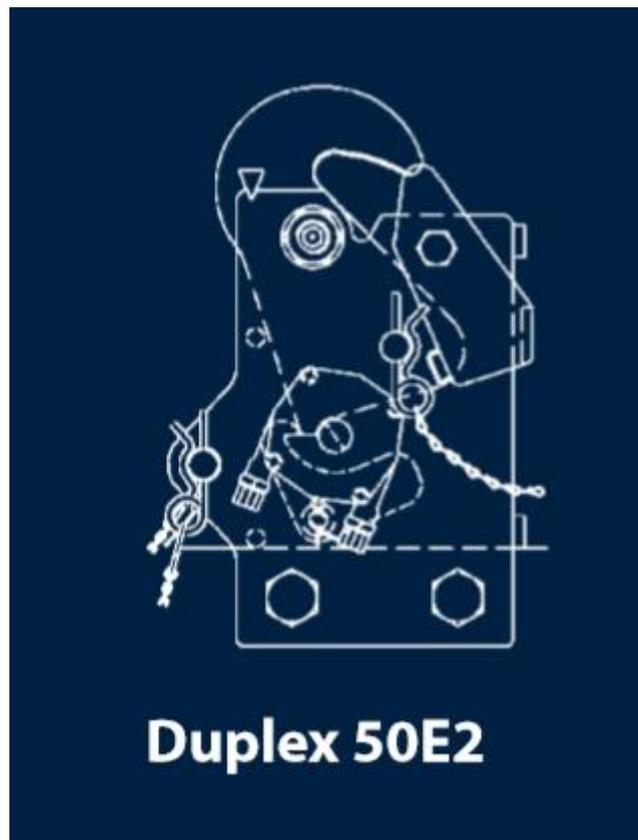


Figura III.5. Gancho Fassmer Duplex 50E2 con forma de cuña

Para ello, se prueba la forma de cuña en la pieza central del gancho. Con ello se espera mejorar la resistencia de las tensiones gracias a distribuir las por una mayor superficie. La geometría de la pieza central del gancho es cambiada por lo tanto teniendo como referencia la geometría del gancho Fassmer Duplex 50E2, *Figura III.5.*

### III. Desarrollo proyecto

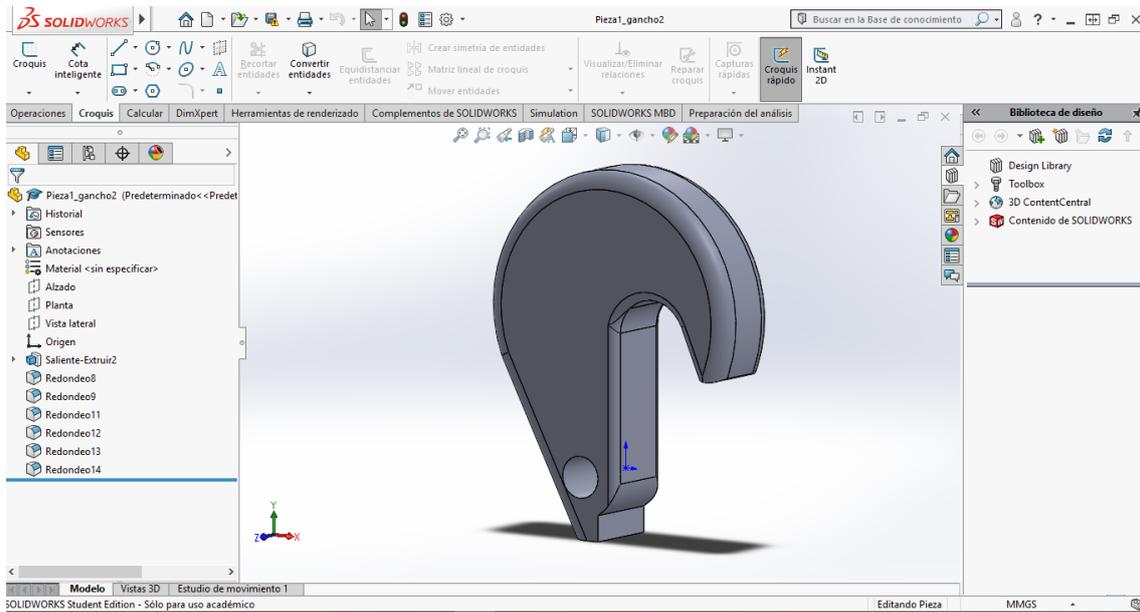


Figura III.6. Diseño segundo de gancho con gancho en forma de cuña inspirada en modelo Fassmer Duplex 50E2

Que junto al resto del ensamblaje da lugar a un conjunto híbrido entre el resto del ensamblaje inicial y esta posible pieza.

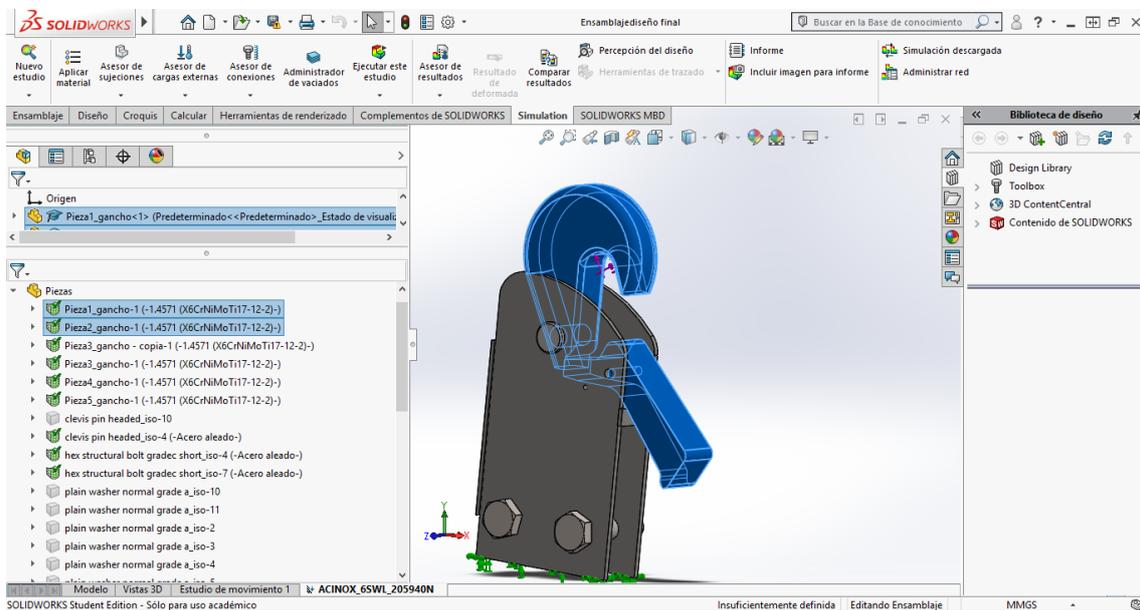


Figura III.7. Conjunto ensamblaje, carcasa inspirada en modelo de marca Henrisken y "gancho" inspirado en Fassmer.

En este modelo se añaden materiales tales como acero aleado y acero inoxidable para simular con el Solidworks y determinar que ninguno de los materiales puede soportar

### III. Desarrollo proyecto

las tensiones generadas en el modelo. Debido a esto se conoce que es el modelo el que requiere un cambio de geometría.

A continuación, se retorna al diseño primero del gancho y se opta por mejorar su diseño a base de redondeos para poder soportar las fuerzas. Por ello se seguirá evolucionando las geometrías del conjunto pero basados en la geometría de referencia del gancho inicial “Estándar”. Gracias a este estudio se comprende que en este ensamblaje el gancho con forma de “Cuña” *Figura III.6* no adquiere buena resistencia en conjunto con el resto del ensamblaje *Figura III.7*.

#### III.1.3. GEOMETRÍA DE REFERENCIA

Se retorna así a diseñar el conjunto con la pieza de gancho con la geometría “Estándar” del gancho. Una vez se incorpore la geometría al modelo se analizarán distintos materiales dentro del modelo y la simulación del software Solidworks para comprender qué materiales resisten los esfuerzos aplicados.

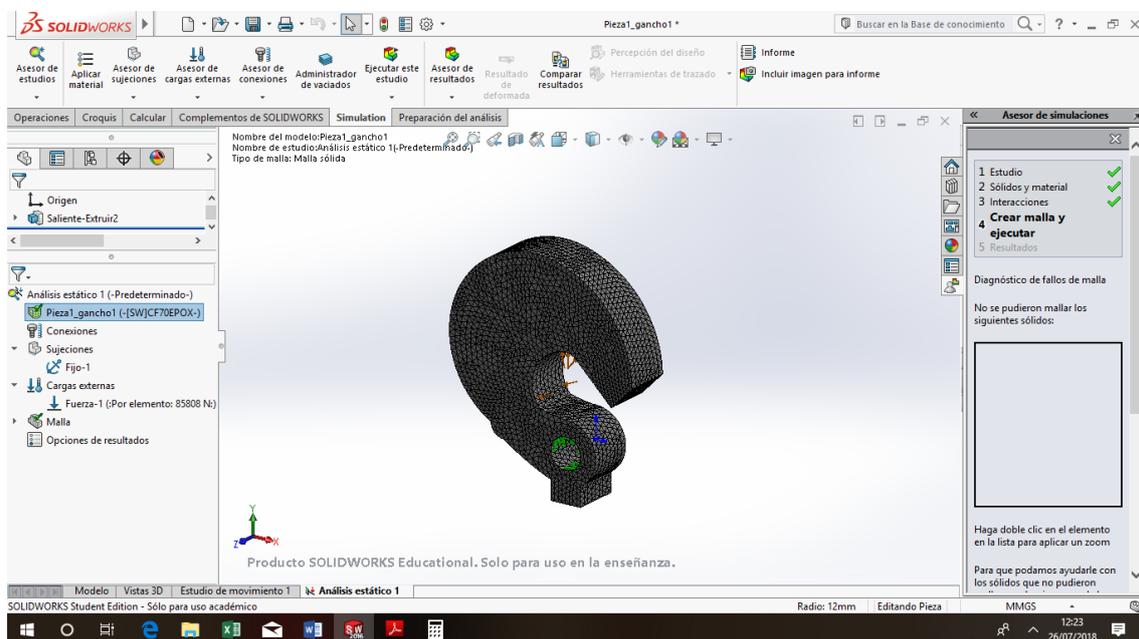


Figura III.8. Pieza gancho con forma estándar.

El estudio a realizar se ejecutará retocando la geometría del gancho “forma estándar” *Figura III.8* a base de redondeos y pequeños cambios en las cotas, así como cambio de los materiales que lo componen para poder pasar el ensayo.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

En los siguientes capítulos se estudiará qué cargas son aplicadas al modelo y cómo se diseñará un material para que soporte las tensiones generadas en el modelo durante la simulación.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.2. NORMATIVA APLICABLE.**

El diseño de un gancho de liberación para botes de rescate rápido está regido por la normativa dictada por la IMO (International Maritime Organisation), sociedad que clasifica los parámetros que deben cumplir las piezas, buques, también rige la operativa y los protocolos de comando obligatorios en estos.

Estas normas vienen recogidas en el LSA (Life Saving Appliances) documento que recoge todas las normas descritas por la IMO.

A su vez el LSA se compone de las MSC (Maritime Safety Committee) que son los informes o actualizaciones de la normativa que realiza el organismo IMO al reunirse a discutir algún apartado en particular.

#### **III.2.1. ACOGIDA DEL GANCHO EN PROTOCOLO DE RESCATE MARÍTIMO**

##### **III.2.1.1. Uso de bote de rescate**

El organismo IMO recoge también el protocolo a seguir en caso de una emergencia por necesidad de rescate marítimo. Acoge en la normativa los dispositivos de rescate y que requerimientos deben pasar además de cómo deben usarse en caso de una emergencia.



**Figura III.9. Fast Rescue Boat izado para prueba de funcionamiento**

### **III. Desarrollo proyecto**

---

En la imagen podemos observar un bote de rescate utilizado en estos protocolos para múltiples operaciones.

Las embarcaciones de rescate están comprendidas dentro de) RESOLUTION MSC.48 (66) de la IMO. Se puede observar que dentro de esta normativa se encuentran los botes estudiados *Figura III.9 Fast Rescue Boat*.

#### **III.2.2. RESOLUTION MSC.48(66)**

Esta norma define dentro del capítulo 5 de las características que debe cumplir un bote rescate.

- Todos los botes deben poseer una carcasa rígida.
- Deben estar aprobados por una Administración que siga una serie de ítems.
- Todos los botes deben ser lo suficientemente duros para aguantar la maniobra de lanzados al mar, llenos del número máximo de personas a la que fue diseñado y de equipamiento.
- Si no es autoaderizable debe poseer líneas o dispositivos que permitan darle la vuelta al bote en caso de viraje completo.
- Los botes deben tener defensas que protejan la embarcación en las maniobras de izado y descenso del bote al agua.
- Deben poseer lámparas controladas que duren al menos 12h con una intensidad lumínica no menor de 4.3cd.
- Deben estar marcados y señalizados.
- Pueden ser rígidos o inflados o una combinación de ambas
- Deben ser capaces de maniobrar a una velocidad de 6 nudos durante al menos 4 horas.
- Pueden estar provistos de motores internos o externos

En caso de varios casos de emergencia la necesidad de usar el bote es crucial y viene recogida por el MSC, IMO.

Un ejemplo entre todos estos posibles usos es el Man Overboard, protocolo que comprende cuando una persona cae al agua.

Cuando una persona cae al agua, dependiendo de la distancia a la que se aleje del buque y de la marea haya se pueden utilizar varios dispositivos de salvamento.

Esta persona según protocolo necesita ser rescatada, es por ello que pueden usarse varios dispositivos, entre ellos como se ha comentado con anterioridad el bote de rescate. Se intenta por medio de uso de estos elementos o dispositivos devolver la persona dentro del barco procurando que no sufra daño.

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.10. Una persona en el agua alejada de un buque. Se plantea la pregunta de cómo abordar este caso

Si la persona posee un dispositivo de salvamento, ya sea, un traje de inmersión como podemos observar en la *Figura III.10* o un aro salvavidas, puede que su rescate (extracción del sujeto del ambiente marino) deba hacerse a bordo de un bote de rescate.

#### III.2.3.MSC.1/Circ.1182/Rev.1

En la circular MSC.1/Circ.1182/Rev.1, se define en el apartado 8 el uso de una embarcación de rescate para traer personas al lado del barco, cuando es arriesgado o simplemente imposible traer a los supervivientes al barco.

Se plantea la posibilidad de usar embarcaciones o líneas.

En caso de que una embarcación fuera a usarse, se define que debe cumplir tres propósitos para no poner en riesgo la seguridad del rescatador:

1. Hará la aproximación del objeto a ser rescatado más fácil
2. La recuperación inicial, dentro de la embarcación de rescate será más fácil debido al movimiento bajo de las embarcaciones al nivel del mar.
3. Completar el rescate volviendo al barco y siendo izado por el sistema de recuperación propio de la embarcación de rescate debe ser fácil.

## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.2.4.MSC.1/Circ.1206**

En la resolución MSC.1/Circ. 1206 se añaden principales errores a la hora de usar los dispositivos de salvamento marítimo, así como los dispositivos de rescate dentro de estos.

Se recogen así los principales fallos a la hora de usar los botes salvavidas. Se mencionará los relacionados con el uso de los ganchos de liberación de los botes salvavidas o botes de rescate.

- Fallo en los mecanismos on-load (mecanismos de liberación con carga).
- Mala práctica en el uso de los mecanismos on-load.
- Inadecuado mantenimiento de los botes salvavidas, davits (grúas portantes de estos botes salvavidas, botes de rescate y balsas salvavidas) y equipos de lanzado.
- Comunicación de fallos
- Falta de familiarización con el equipamiento por parte de la tripulación.
- Prácticas inseguras con los botes salvavidas y de rescate a la hora de simulacros e inspecciones.
- Fallos en el diseño de los mecanismos on-load.

Debido a esta serie de fallos el Comité hará especial hincapié en el diseño de los fabricantes, en las compañías de los barcos, en la tripulación y en las sociedades clasificadoras, a fin que no se produzcan daños humanos en la utilización de estos mecanismos.

### **III.2.5. ARTÍCULOS MED (Marine Equipment Directive)**

Dentro de esta normativa los artículos que poseen el certificado de calidad europea (CE) deben pasar por unos estándares. Una vez sean cumplimentados obtendrán la cualificación MED y con ella la aceptación de la IMO.

Para acceder a esta calificación es necesario la inspección y supervisión de una sociedad clasificadora. La cual trabajando a la par con la IMO se asegura que las exigencias del comité internacional y europeo han sido pasadas.

## III. Desarrollo proyecto

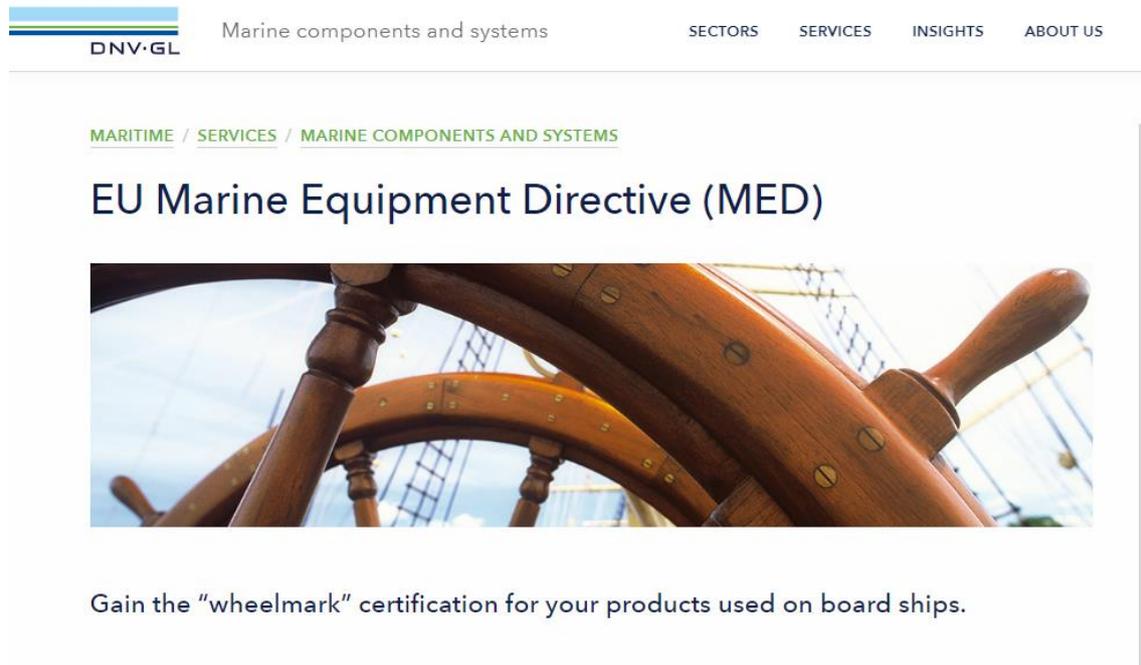


Figura III.11. Recorte página DNV-GL aprobación EU/MED

Se observa como la sociedad clasificadora, *Figura III.11* encargada de supervisar el cumplimiento de las normas de la IMO y CE o también llamado MED (Marine Equipment Directive) en el ámbito naval, oferta la posibilidad de conseguir la marca del timón “wheelmark” que acreditaría el producto como MED.

### **III.2.5.1. DIRECTIVE 2014/90/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 July 2014 on marine equipment and repealing Council Directive 96/98/EC**

En esta normativa se explica que la Comisión de la que está constituida es asistida por la Agencia Europea de Seguridad Marítima, de acuerdo con la Regulación (EC) No 1406/2002 del Parlamento Europeo y el consejo del 27 de junio de 2002, en la aplicación de los actos jurídicos legales de la Unión y en la realización de las tareas confiadas a la Comisión.

Por lo que se acredita al organismo DNV-GL a evaluar si los componentes cumplen con la normativa correspondiente según los estándares de calidad de la Unión Europea entre otros.

### **III.2.5.2. ENSAYO DE ACUERDO CON LA NORMATIVA EUROPEA MED (MARINE EQUIPMENT DIRECTIVE)**

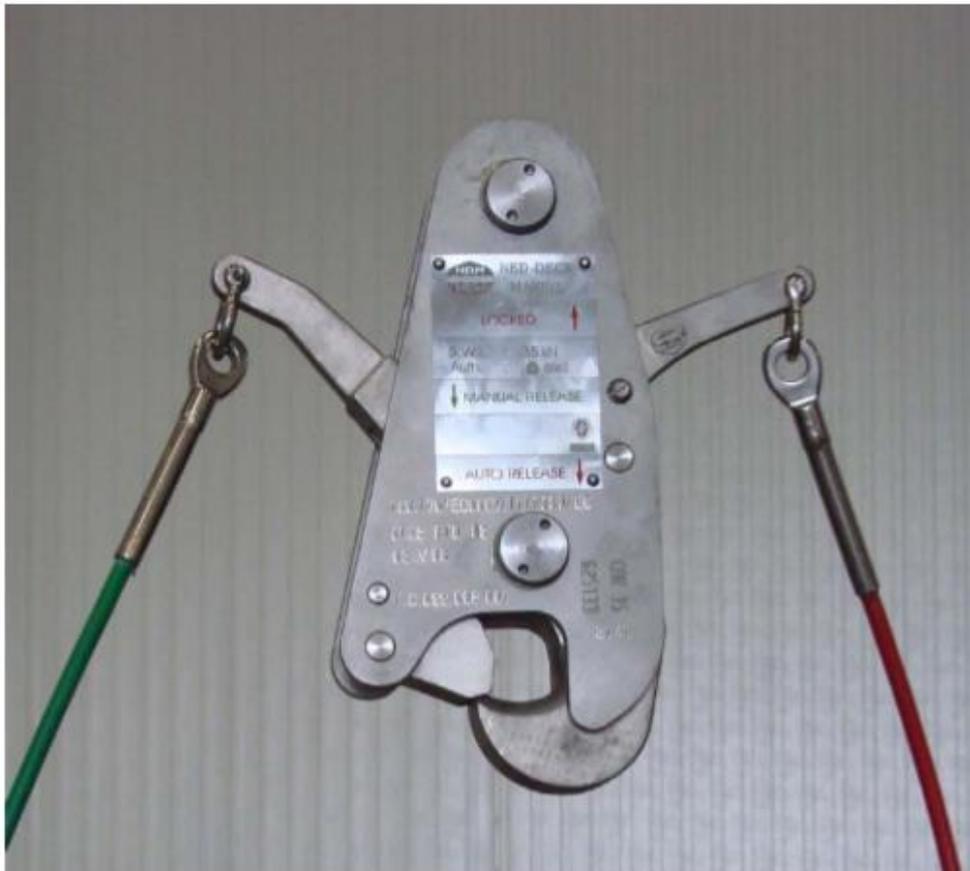
### III. Desarrollo proyecto

---

Accediendo a la comparativa de nuestro producto con otros del sector podemos encontrar el sello de calidad de MED (Marine Equipment Directive) en el que se aprueba con un certificado de conformidad la manufactura de un gancho Off-load para botes de rescate (tal y como el del objeto de estudio) dado por la sociedad clasificadora Bureau Veritas, Marine & Offshore división.

Dentro de esta acreditación el fabricante de botes y ganchos PALFINGER Ned-Deck B.V. modelo OFF-LOAD es el CAR-35, *Figura III.12* acredita que su producto con la correspondiente carga SWL (Safe Working Load) o carga segura de trabajo ha sido probado según acreditación internacional europea a un ensayo de  $2,5 \times SWL$ . Siendo su  $SWL = 3600\text{kg}$ , por lo que su ensayo fue realizado a  $9000\text{kg}$ . Esp por ello que recibe la certificación europea.

#### CAR 35 Release Hook.



Supplied by Ned-deck marine

Figura III.12. Gancho PALFINGER CAR-35, con una SWL (3500kg)

### **III. Desarrollo proyecto**

---

Este gancho por lo tanto, *Figura III.12.*, es diseñado para cumplimentar la normativa europea en el ámbito marítimo MED.

### III. Desarrollo proyecto

  
BUREAU VERITAS  
Notified Body N° 0062

Marine & Offshore  
Division

Certificate number: 4428RTD14-2

Marine Equipment Directive  
MED 96/98/EC

www.veristar.com

---

**CERTIFICATE OF CONFORMITY**  
as per Module F of European Union Council Directive 96/98/EC of 20 December 1996 on Marine equipment as amended

This certificate is issued under the French Maritime Authority to:

**Palfinger Ned-Deck B.V.**  
BARNEVELD - NETHERLANDS

to attest that appropriate examinations and tests have been carried out, in the presence of BUREAU VERITAS, to check that the product detailed below complies with the relevant requirements of the Council Directive 96/98/EC of 20 December 1996 amended by Commission Directive 2013/52/EU, and the type as described in the EC type-examination certificate mentioned below:

**A.1/1.26a - RELEASE MECHANISM FOR LIFEBOATS AND RESCUE BOATS  
(LAUNCHED BY A FALL OR FALLS)**

**Description** : OFF-LOAD RELEASE MECHANISM FOR RESCUE BOAT  
**Design review** : Type approval ref(s) : 32568/A1 EC  
**Quantity** : 50 pcs

**Type** : Release Mechanism for RB launched by single fall, type CAR 35  
**Batch serial number** : 10893 till 10942  
**Static testload** : 2.5 x SWL (9000 kg)  
**Max SWL** : 3600 kg  
**Remark as per type approval** : The release mechanism is intended for single fall system only  
**To be only used with rings:** : Minimum hole: 50 mm / Maximum material diameter: 100 mm

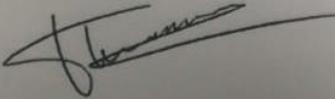
**List of attached documents:** :

This certificate authorizes Palfinger Ned-Deck B.V. to affix the "mark of conformity" (wheelmark) to the product detailed herein.

**Mark(s) and identification affixed:**  0062/14 4428 RTD 12 BV 14

**Last survey** : 10 Dec 2014  
**Surveyor** : Gert-Jan Twaalfhoven

**Issuance date** : 15 Jan 2015  
**Local office** : BV ROTTERDAM





BUREAU VERITAS is designated by the French Maritime Authority as a "notified body" under the terms of the French Regulations Division 140 Chapter 140-2. This certificate is issued within the scope of the General Conditions of BUREAU VERITAS Marine & Offshore Division. Any Person not a party to the contract pursuant to which this document is delivered may not assert a claim against BUREAU VERITAS for any liability arising out of errors or omissions which may be contained in said document, or for errors of judgement, fault or negligence committed by personnel of the Society or of its Agents in establishment or issuance of this document, and in connection with any activities for which it may provide.

The Electronic Version is available at: <http://www.veristarpm.com/veristamb/jsp/certificate.jsp?id=7gncfckyw1>  
BV Mod. AdE 1527f February 2010

This certificate consists of 1 page(s)

Figura III.13. Certificación acreditativo MED del fabricante PALFINGER

### III. Desarrollo proyecto

---

.Certificado acreditativo del fabricante PALFINGER Ned-Deck B.V., *Figura III.13* aprobado por la sociedad clasificadora Bureau Veritas y con la certificación europea de producto MED (Maritime Equipment Directive). Realizado con un ensayo de 2,5xSWL (9000kg).

Debido a esto se analizará mediante la aplicación de estados tensionales en los softwares de simulación Solidworks, la aplicación de una carga 2,5 veces superior a la carga de trabajo según y cómo fue definido en las acreditaciones europeas, *Figura III.13* con el fin de diseñar un gancho que cumpla con la normativa europea en la cual se ha de probar el gancho antes de uso con un ensayo de 2,5 veces la carga a la que será sometida el gancho en condiciones de trabajo.

Por ello es necesario comprender que el factor de seguridad a analizar deberá ser tan solo superior a 1 debido a que en el trazado de este ensayo sobredimensionado se sobrecarga el gancho con “N” veces la carga de funcionamiento.

Luego es el propio ensayo el que determina si el sobredimensionamiento cumple con la normativa debido a que los fabricantes requieren de una prueba en la que se verifique que su dispositivo puede soportar las cargas a las que sería expuesto.

En los siguientes apartados se definirán estas cargas para aplicarse en un modelo FEM.

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.3. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Se ha definido la comparativa de modelos de ganchos del sector y por el cual se guiará el estudio. Además se ha definido el análisis a realizar por el certificado del fabricante de la normativa europea. Por lo tanto se procede a calcular el esfuerzo resultante en el gancho.

El gancho posee una SWL de 3500kg, SWL ha sido definido con anterioridad como la carga de seguridad máxima a la que es sometido el gancho sometido a estudio. Por ello el peso del bote llena de personas no debe sobrepasar esta carga.

La IMO señala que el peso de una persona está estipulado como 82,5kg, recientemente aumentado ante el anterior peso existente 75kg. Se señala así que un bote de rescate rápido debe tener capacidad para como mínimo 5 personas por lo que el cálculo de la masa que debe soportar el gancho en cuanto a las personas que lo abordan es:

$$P_{\text{personas}} = 82,5\text{kg} * 6 = 495\text{kg}$$

La masa del bote por lo tanto debe ser inferior a SWL menos el peso de las personas que se introducen en él.

$$P_{\text{máximobote}} = 3500\text{kg} - 495\text{kg} = 3105\text{kg}$$

Definiéndose este peso como el peso máximo que debe aguantar el bote se puede acceder a una gran ofertas de botes de rescate rápido que estén por debajo de este paso. Un ejemplo de esto es el bote de rescate rápido, Survitec Brude Explorer-720 Fast Rescue Boat, *Figura III.15*.

### III. Desarrollo proyecto

#### BRUDE EXPLORER 720 TECHNICAL INFORMATION



Dimensions - Overall		Operational Performance	
Length, overall	7.20m	Speed, approx.	with 3 persons, 33 knots Bollardpull: 450 kg
Beam	2.40m	Range, approx.	with 3 person 100 nautical miles or 4 hrs
Depth of hull, midship	0.50m		
Height, keel to lifting point	1.60m		
Boat Data		Materials	
Capacity	6 persons (max. 15 persons)	Hull and deck	Seawater resistant aluminium
Weight, with equipment	1,890 kg	Console	GRP
Weight, empty boat	1,830 kg	Deck fittings	Stainless steel/seawater resistant aluminium
Davit load, with 6 persons	2,340 kg	Fender	Polyethylene foam, reinforced PVC cover
Davit load, with 15 persons	3,015 kg	Fuel tank	Aluminium
Lifting arrangement	HMK Off-load release hook	Painter release hook	Stainless steel
Standard propulsion	Steyr SE-Marine engine 170kW with Almarin 245 waterjet	Self-righting frame	Seawater resistant aluminium
Optional propulsion	STEYR SE-Marine engine 215 kW (292Hp) with Almarin	Waterjet protection frame	Seawater resistant aluminium
		Lifting frame	Stainless steel

Figura III.14. Información técnica del bote de rescate rápido Brude Explorer-720

En la información técnica del bote de rescate Brude, *Figura III.14*, se define que el peso del bote con el equipamiento es de 1890kg y con 6 personas de 2340 kg, incluso con 15 personas 3015kg



Figura III.15. Bote Brude Explorer-720

### III. Desarrollo proyecto

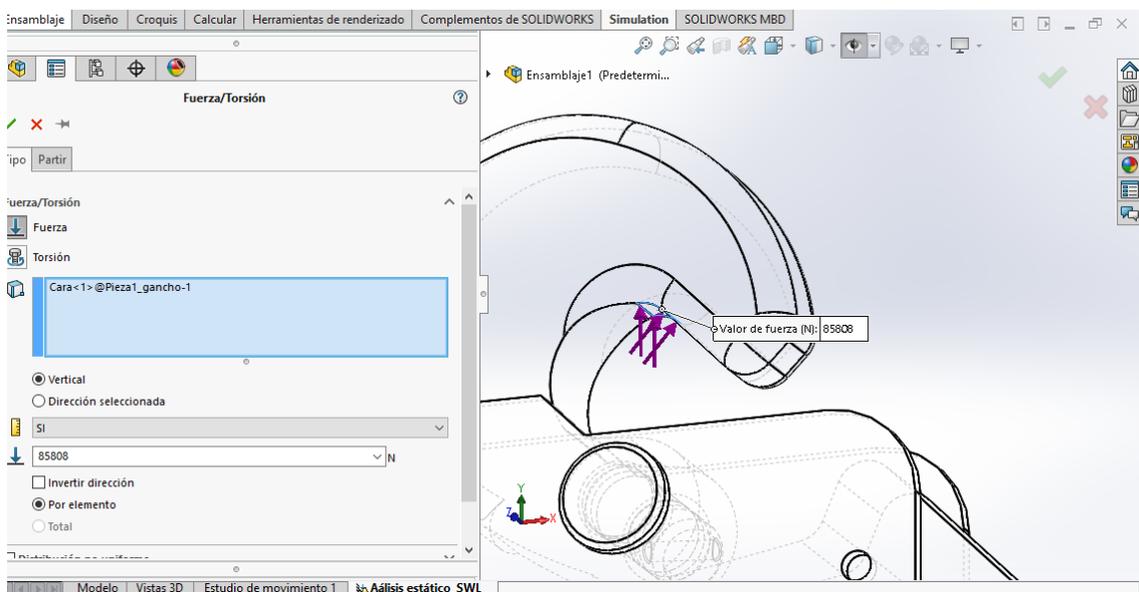
La normativa antes explicada refiere que el gancho debe soportar su SWL por 2,5 veces. Sin importar que tipo de embarcación posea, siempre y cuando sea inferior el peso de la embarcación completamente cargada al SWL.

El SWL del gancho en objeto de estudio es de 3500kg

Por lo que deber resistir una carga:

$$C_{\text{carga ensayo}} = 3500\text{kg} * 2,5 = 85808\text{N}$$

Corresponde a la carga que debe resistir el gancho en su conjunto, cuando se le aplica una carga sobredimensionada de 2,5 veces la carga máxima de trabajo según la normativa europea MED (Marine Europe Directive).



**Figura III.16. Distribución de carga en pieza central de gancho objeto de estudio**

La carga se distribuye en una cara, *Figura III.16*, ya que es la que hará contacto con la anilla o también llamada Masterlink de la embarcación. Pieza que conecta el gancho de la embarcación con el cable. Es por lo tanto en ese lugar donde debe aplicarse la carga total aplicable en la simulación FEM.

En los próximos capítulos se analizarán como soportan los materiales las cargas mediante el modelo FEM, para ello se diseñarán materiales compuestos con el ancho requerido en la pieza del gancho.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## **III.4. SELECCIÓN DE MATERIALES.**

El estudio se ha realizado con un cálculo de material de manera iterativa. Mientras que en otras disposiciones geométricas es posible ejecutar un estudio en modelo Solidworks que calcule las dimensiones o espesor (magnitud dimensional seleccionada por el usuario a calcular), por la complejidad y los continuos redondeos, además de el ensamblaje total es inviable calcular el espesor mediante este método. Teniendo que prescindir de él y adoptando una solución con otra estructura de resolución, en la cual se calcule primero la matriz y la fibra que puedan disponer de mejores condiciones para el modelo. Segundo, utilizar el software “eLamx” para diseñar el material compuesto a utilizar. Una vez se disponga de esto, se introducirá el material en la geometría ya diseñada en “Solidworks” para comprobar si el material resiste el esfuerzo. Si no cumpliera se retornaría a la fase de cálculo de laminados o material compuesto en el software eLamx para comprobar de nuevo que el material funcione en la simulación.

En esta sección se basará el estudio en los materiales compuestos de matriz polimérica, no obstante para un correcto análisis de sus aplicaciones se compararán con otros materiales usualmente usados en estas piezas, los cuales son el acero inoxidable y el aluminio.

Para realizar este estudio se apoyará en varios softwares especializados en materiales a fin de dar respuestas a las dudas que plantea el proyecto.

### **III.4.1. SOFTWARES**

Los softwares usados en la investigación abarcan cada uno varios objetos de estudio.

A continuación se pasa a definir el objeto de estudio de cada software:

#### **III.4.1. CES EDUPACK**

### III. Desarrollo proyecto

---

El CES EDUPACK es un software utilizado para seleccionar materiales según sus aplicaciones. En él se pueden seleccionar varios paquetes de materiales, estos serán objeto de análisis y según el criterio o parámetro utilizado el software seleccionará el material que pase el requerimiento o los requerimientos seleccionados.

Los requerimientos que pueden seleccionarse son:

- Resumen de composición. Donde se puede seleccionar la proporción de fibra que tiene el material, la base del material y los posibles aditivos.
- Detalles de composición (metálico, cerámico y cristales), donde se pueden definir específicamente los elementos metálicos, cerámicos y cristales que pueda contener el material.
- Detalles de composición (polímeros y materiales naturales), donde se pueden definir los elementos naturales o poliméricos que pueda contener el material (por ejemplo, carbon, aramidas, madera, ...)
- Precio, donde se puede definir en rango el precio que debe tener el material.
- Propiedades físicas, así como la densidad, densidad relativa, porosidad, volumen o anisotropía.
- Propiedades mecánicas, en esta rama se pueden definir propiedades interesantes en el estudio, son así el módulo de Young, con o sin temperatura, límite elástico, elongación, ... características que definen el material frente a un comportamiento específico o una carga. Son estos datos uno de los objetos que serán comparados para definir el resultado del estudio.
- Propiedades a la fractura e impacto.
- Propiedades térmicas, es interesante el estudio de este campo ya que el componente debe resistir el impacto a las temperaturas altas, este factor será fundamental para la elección del componente a utilizar.
- Propiedades eléctricas, propiedades de los materiales frente al comportamiento eléctrico, conductividad, resistividad frente a la temperatura, potencial galvánico, resistencia eléctrica, ...
- Propiedades magnéticas, inducción remanente, temperatura de curado, tipo de magnetismo, ...
- Propiedades acústicas, ópticas y estética, en este apartado se definirán la transparencia, la velocidad acústica, coeficiente de pérdida mecánica o índice de refracción.
- Materiales con riesgo críticos.
- Herramientas metálicas.
- Absorción y permeabilidad.
- Propiedades de procesabilidad.

### III. Desarrollo proyecto

- Condiciones de durabilidad, en este apartado es importante definir tya que el objeto está expuesto al ambiente marino que resista la corrosión frente a ambientes marinos y al agua.
- Resistencia a la corrosión de los metales.
- Energía primaria de producción, agua y CO2.
- Energía de precoesado, huella CO2 y agua.+
- Reciclaje y fin de vida del material.
- Parte de costo estimado.

De estos elementos se utilizará como comparación los costos estimados del material, propiedades físicas, propiedades mecánicas y durabilidad.

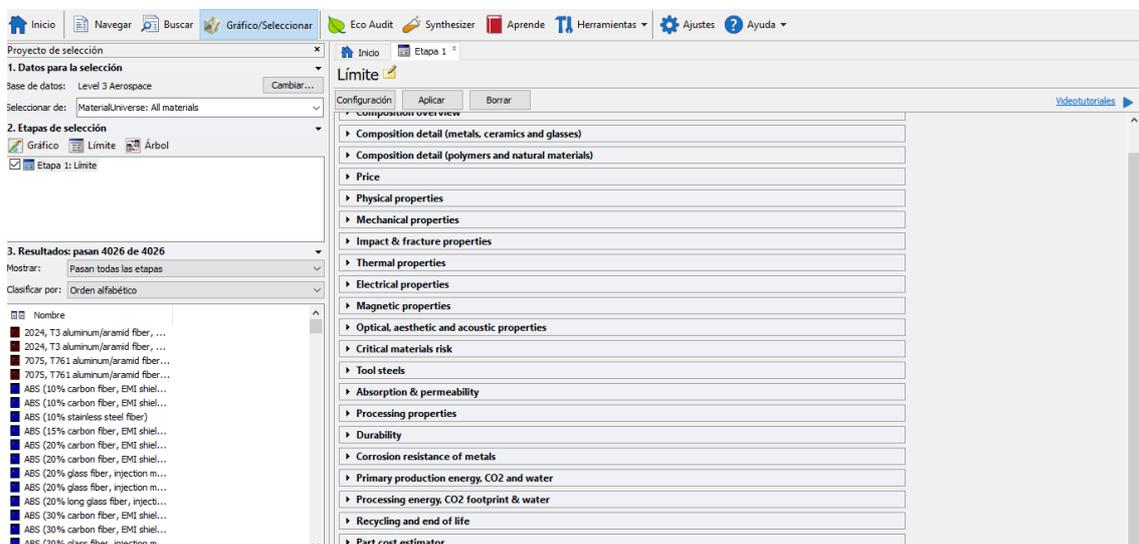


Figura III.17. Interfaz de selección del software CES EDUPACK

Todos estos parámetros son seleccionables en la interfaz de CES EDUPACK, *Figura III.17*

#### III.4.2. SELECCIÓN DE MATRIZ

Para la selección de la matriz es necesario que se disponga de información frente a varias características y comportamientos a tratar.

Las matrices a tratar en nuestro material compuesto de matriz polimérica pueden tener tres tipos de comportamiento.

1. TERMOPLÁSTICO
2. TERMOESTABLE

### III. Desarrollo proyecto

---

#### 3. ELASTÓMERO

El comportamiento otorgado al polímero que conformará la matriz es crucial para su correspondiente elección.

Estos tres tipos deben su comportamiento a la forma en la que sus cadenas poliméricas (compuestas por monómeros) interaccionan entre sí.

- Un enlace SIMPLE (1 par de electrones compartido).
- Un enlace DOBLE (2 pares de e-)
- Un enlace TRIPLE (3 pares de e-).

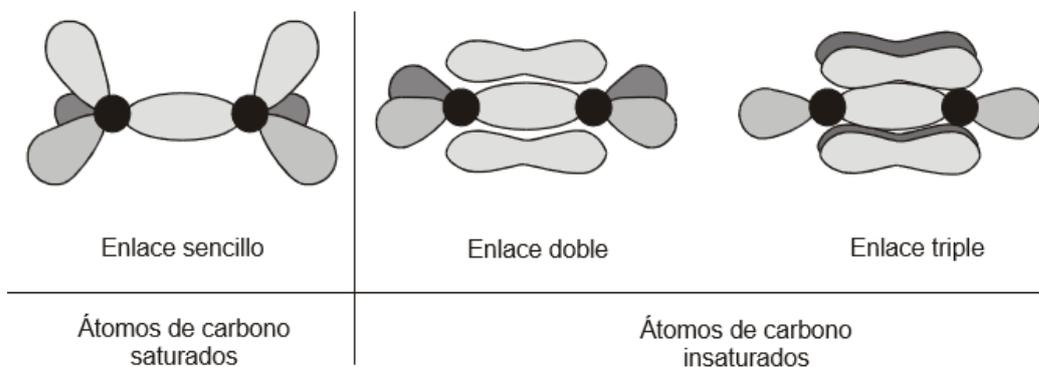


Figura III.18. Diferentes enlaces entre cadenas

Es posible comprender que estos enlaces, *Figura III.18*, definen la resistencia a la temperatura del material por la fuerza que debe romperse para romper cada uno de ellos, esta energía si viene suministrada mediante temperatura aumenta cuanto mayor sea la temperatura.

#### III.4.2.1. TERMOPLÁSTICO

Los termoplásticos son polímeros que cambian su comportamiento en función de la temperatura.

Un termoplástico altera su estructura interna según transiciones térmicas. Estas transiciones son tres principales:

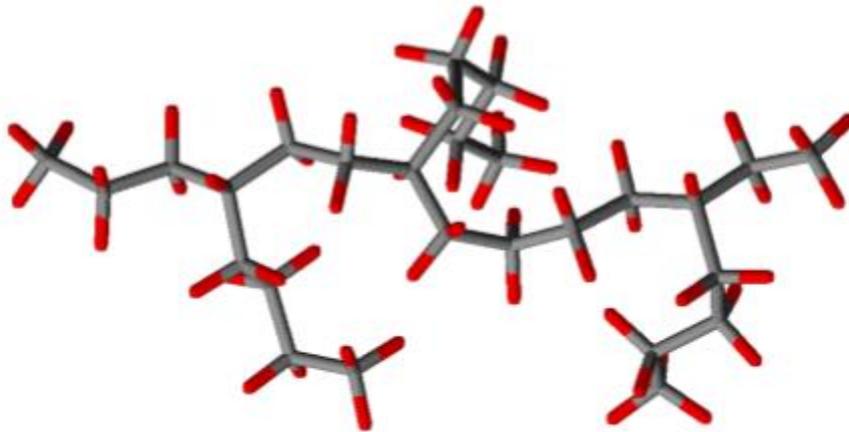
- Transición vítrea ( $T_g$ )
- Fusión/ cristalización ( $T_m$ )
- Degradación ( $T_d$ )

En la primera transición, la **transición vítrea** el material altera su comportamiento cuando se encuentra por encima o por debajo de una temperatura en específico. Esto se debe ya que las cadenas lineales que componen un termoplástico se encuentran unidas

### III. Desarrollo proyecto

---

por enlaces débiles que al romperse con acción de la temperatura generan un movimiento entre cadenas que a nivel macroscópico se traduce en una fluencia del material. Esta transición se puede encontrar a una temperatura alta o baja y puede dar lugar a una movilidad baja o alta respectivamente, según el valor  $T_g$  (temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ ). La estructura de la cadena, *Figura III.19*, también define el movimiento de estas siendo las estructuras más sencillas las que presentan una  $T_g$  baja, movilidad alta y estructuras con cadenas más complejas vienen dadas con una  $T_g$  alta, movilidad baja. Este movimiento luego, se traduce en topes mecánicos regidos por la simplicidad de la cadena.



**Figura III.19. Cadena polimérica tridimensional.**

La transición vítrea viene influenciada así por varios factores:

- Estructura de la cadena polimérica.
- Influencia e grupos voluminosos y polares. Estos grupos ejercen ese bloqueo microscópico en el cual retiene el movimiento de las cadenas.
- Simetría de las cadenas.
- Polaridad en los grupos sustituyentes. A mayor energía de atracción entre las cadenas mayor energía será necesaria para romper estos enlaces y generar movimiento entre las cadenas. Esta energía para romper enlaces viene dada por la temperatura.
- Tamaño de grupos sustituyentes.

Esta transición es reversible por lo que alterna los dos estados en función de la temperatura.

### III. Desarrollo proyecto

---

La siguiente transición térmica que sufre un material termoplástico se denomina **fusión cristalización**, esta viene dada como una temperatura con sus unidades correspondientes. Cuando el material polimérico termoplástico se encuentra por debajo de esta temperatura su estado es sólido mientras que cuando la temperatura del material es superior a la temperatura de fusión ( $T_m$ ,  $T_c$ ) el estado del material se vuelve líquido.

Esto se debe a que se relaciona con la ordenación de las moléculas que conforman el material también llamadas cadenas. El estado del material se denomina fase cristalina. La fase cristalina aumenta junto con el estado de ordenación de las cadenas.

La fase cristalina disminuye junto con el estado de ordenación de las cadenas.

Esto se traduce en que las estructuras simples dispondrán de una alta cristalinidad (> 60%) con una temperatura de fusión en torno a [110-120]°C. Por lo que podrán ordenarse formando entre sí estructuras compactas con gran facilidad.

Si las estructuras son complejas el porcentaje de cristalización caerá y será bajo por ejemplo en la molécula de propileo la cristalinidad es (<35%), siendo baja y las moléculas tiene dificultad para ordenarse y formar estructuras compactas.

Esta transición se puede revertir, es decir que si el material se torna a líquido por un exceso de temperatura, en el momento en que su temperatura sea menor que la fusión será sólido de nuevo.

Esto genera así otra propiedad del material definida como **tacticidad** que define la forma en la que se ordenan los grupos en las moléculas poliméricas. Pudiendo haber:

- Polímeros isotácticos: Donde se encuentran al mismo lado todos los grupos sustituyentes de la cadena.
- Polímeros sindiotácticos: Donde en el plano en el que se representa la cadena polimérica se encuentran alternados los grupos sustituyentes.
- Polímeros atácticos: En los que es imposible definir el orden que disponen los grupos sustituyentes en la cadena polimérica.

La siguiente transición térmica que existe en un material termoplástico viene dada por reacciones de combustión u oxidación en la cadena polimérica al aumentar la temperatura. Se denomina degradación ( $T_d$ ).

Al contrario que las dos anteriores transiciones esta transición es irreversible por lo que en el momento que el material comienza a oxidarse o combustionarse ya no existe retroceso para su cadena polimérica y no retorna a su composición inicial.

#### III.4.2.2. TERMOESTABLE

Estos materiales también son definidos como polímeros reticulares, *Figura III.20*, al contrario que los termoplásticos nos sufren transiciones térmicas debido a que su

### III. Desarrollo proyecto

---

composición microscópica comprende las cadenas de forma tridimensional evitando así que estas se deslicen las unas de las otras.

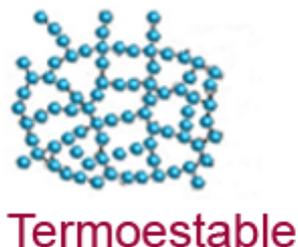


Figura III.20. Red tridimensional de las cadenas de un polímero termoestable

Para conseguir la polimerización de un termoestable es habitual que se consiga mediante varios pasos en el proceso. En el primer paso se suele dar la formación de cadenas lineales las cuales todavía no finalizan la operación. Por ello se da una polimerización parcial. Una vez se disponen las cadenas lineales se añaden mediante otros procesos, calor o presión el entrecruzamiento de estas cadenas lineales formando así finalmente el termoestable. Para realizar la segunda etapa suele ser necesario o un catalizador que acelere la reacción o el incremento de presión o temperatura, o ambas combinadas.

La importancia de estos materiales frente a los termoplásticos y elastómeros es que resisten los cambios de temperatura, sin cambiar su configuración química en la presencia de calor, esto es vital para la aplicación náutica que suele estar expuesta a agentes como el sol y la temperatura. Además no cambia mucho su geometría en presencia de cargas, gracias a estos se diferencia del grupo de los elastómeros. Soportando así tensiones sin modificar su geometría lo cual es crucial para la propia aplicación del gancho.

La mayoría de estos plásticos son resinas las cuales ofrecen la posibilidad de ser combinadas con otro material de refuerzo para conformar un material compuesto. Las principales resinas que se comercializan son las resinas epoxi, las resinas poliéster, uretano-acrílicas...

#### III.4.2.3. ELASTÓMEROS

Estos polímeros sin embargo están constituidos por cadenas simples con la necesidad de un proceso de vulcanización para crear una red tridimensional, que da como producto un polímero con características mecánicas pobres.

Una vez definidas los distintos tipos de matrices que pueden tener un material compuesto polimérico. Se procede a la elección de una de las tres, de las cuales la más interesante para el estudio es la termoestable ya que debido a la exposición a la intemperie y la variedad de climatologías que puede sufrir un barco, es necesario que

### III. Desarrollo proyecto

---

cuando la temperatura aumente el comportamiento microscópico del material no cambie.

Mediante la aplicación de esfuerzos externos este tipo de material puede dar como resultado una gran elongación respecto al resto sin ocasionar deformaciones permanentes. Esto se debe a que existen enlaces covalentes que unen las cadenas lineales formando una configuración tridimensional. El movimiento entre cadenas a la hora de recibir la tensión es lo que otorga el estiramiento al material. Entre estos materiales cabe destacar la presencia del caucho natural, caucho estireno-butadieno y distintos tipos de caucho, así como materiales elastómeros de poliuretano.

#### III.4.2.4. RESULTADOS MATRICES

Gracias al software CES EDUPACK es posible definir las condiciones que debe cumplir esta matriz para corresponderse con nuestro estudio.

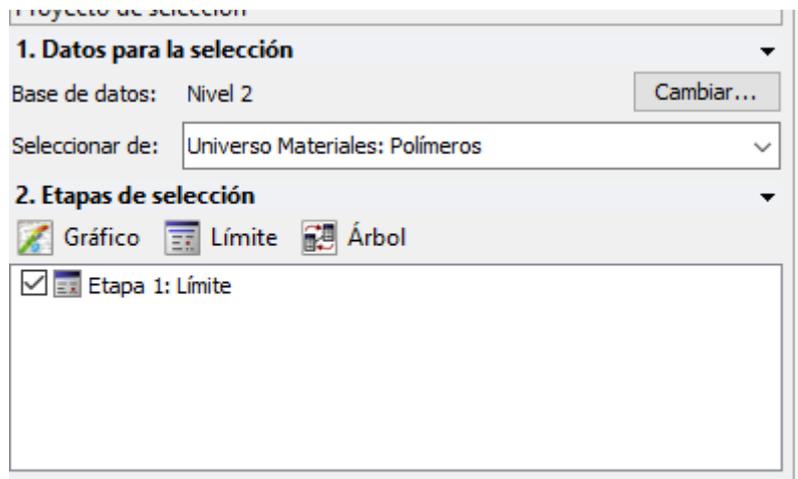


Figura III.21. Software CESEDUPACK nivel 2 base de datos, selección de materiales poliméricos

En el software para se define la matriz que se busca seleccionando las propiedades que debe tener, dentro de eso se elige el conjunto de materiales al que debe pertenecer, este es el nivel 2 donde se encuentra los polímeros.

Tal y como se mencionaba con anterioridad al estar expuesto a un ambiente marino la matriz del polímero que es la que protege frente elementos externos. Por ello debe además de ser termoestable, debe resistir el contacto y la corrosión frente al agua y al agua salada.

### III. Desarrollo proyecto

Durabilidad: Agua y disoluciones acuosas	
Agua dulce	Excelente
Agua salada	Excelente
Suelos ácidos (turba)	
Suelos alcalinos (arcilla)	
Vino	

Figura III.22. Durabilidad en CES EDUPACK de la matriz

En las propiedades mecánicas simplemente se define que su límite elástico debe ser mayor que 50 MPa.

Propiedades mecánicas			
	Mínimo	Máximo	
Módulo de Young	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Módulo de cortante	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Módulo en volumen	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Coefficiente de Poisson	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Límite elástico	50	<input type="text"/>	MPa
Resistencia a tracción	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Resistencia a compresión	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Elongación	<input type="text"/>	<input type="text"/>	% strain
Dureza-Vickers	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HV
Resistencia a fatiga para $10^7$ ciclos	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Tenacidad a fractura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa.m <sup>0.5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Figura III.23. Propiedad mecánica en selección matriz CES EDUPACK

Una vez se aplican estos criterios se obtienen un conjunto de materiales que podrían conformar la matriz del material a utilizar

### III. Desarrollo proyecto

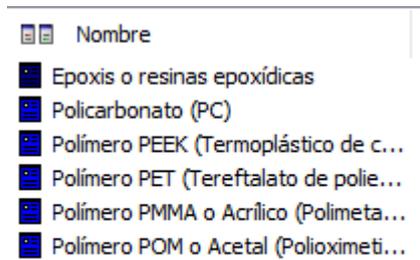


Figura III.24. Resultados de búsqueda de matriz polimérica CES EDUPACK.

Gracias a la ventana de gráfico que ofrece el software se puede visualizar el resultado de la búsqueda constituyendo un gráfico en el que en el eje Y se encuentre el precio (EUR/kg) euros por kilogramo del material en una disposición del eje lineal.

Y en el “eje X” se encuentra representada como propiedad mecánica de referencia el módulo de Young dado en GPa.

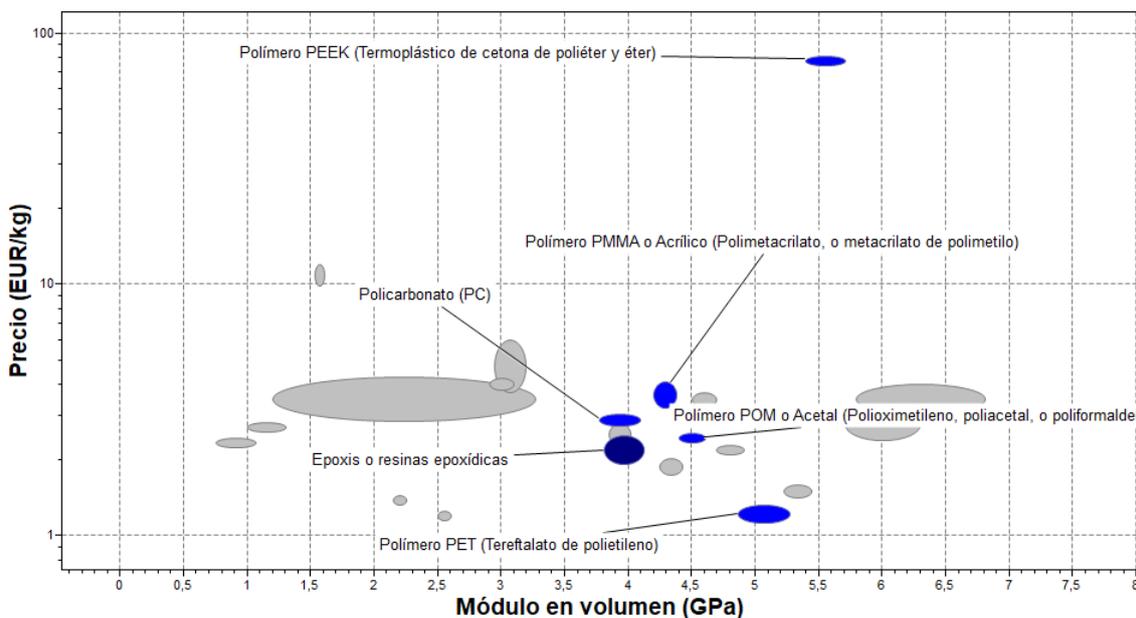


Figura III.25. Gráfico distribución de polímeros para selección matrices

#### PEEK

Es un poliéster-éter-cetona (PEEK) en un termoplástico de alto rendimiento, lo que significa que (entre los termoplásticos) tiene una rigidez, resistencia y capacidad de soportar el calor excepcional. Esto tiene un precio: el PEEK es 50 veces más caro que el PP, y de 10 a 20 veces más que el resto de los polímeros similares. Esto limita su

### III. Desarrollo proyecto

---

aplicación a situaciones específicas donde los requerimientos técnicos sean factor dominante.



Figura III.26. Parte compleja de inyección de PEEK para la industria del Petróleo

#### PMMA

El acrílico, o PMMA, es un termoplástico que más se parece al vidrio en cuanto a su transparencia y resistencia a la intemperie. Este material tiene una larga historia: fue descubierto en 1872 y empezó a comercializarse en 1933. Su primera aplicación a gran escala fue la de cristales de cabina en los aviones caza de la Segunda Guerra Mundial.



Figura III.27. Sillas de PMMA.

En este gráfico se puede observar que el polímero que mayor módulo de Young posee es el PEEK, aunque también posee el mayor precio.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### PC

El PC es uno de los termoplásticos “ingenieriles”, es decir, aquellos que tienen mejores propiedades mecánicas que los polímeros más básicos y baratos. Esta familia incluye los plásticos poliamida (PA), polioximetileno (POM) y poletetrafluoroetileno (PTFE). El anillo de benceno y el grupo OCOO-carbonato se complementan en el PC puro para darle sus características únicas de transparencia óptica, elevada dureza y rigidez incluso a temperaturas relativamente altas. Estas propiedades hacen del PC una buena opción para aplicaciones tales como discos compactos (CD), cascos de seguridad y estuches de herramientas eléctricas.



Figura III.28. Casco de ciclismo fabricado en policarbonato.

#### POM

Es similar al nylon, pero más rígido, y tiene una mejor resistencia a la fatiga y al agua. Rara vez se utiliza sin modificaciones: normalmente se refuerza con fibra de vidrio, se le añaden retardadores de llama, o se combina con PTFE o PU. El POM se utiliza cuando se requiere buena maleabilidad a la par que resistencia a la fatiga y rigidez. Esto justifica su uso a pesar de su alto precio en relación con los polímeros de uso en masa, como el polietileno, que polimerizan a partir de materias primas más baratas con menor consumo de energía.

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.29. Cremallera de POM

#### RESINAS EPOXI

Las resinas epoxi son polímeros termoestables con excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y adhesivas. Además, presentan buena resistencia a altas temperaturas y a los compuestos químicos. Sus usos más comunes son como adhesivos (Araldite), como revestimientos y como matriz de materiales compuestos (CFRP, GFRP). Cuando se utilizan como adhesivos generalmente es para uniones de elevada resistencia entre materiales disimilares.



Figura III.30. Dos tubos de endurecedor y resina de la marca Araldite. Las resinas epoxi son excepcionalmente estables y protectoras, aceptando bien el calor

#### PET

Los poliésteres saturados son termoplásticos y tienen buenas propiedades mecánicas a temperaturas de hasta 175°C. El PET es transparente e impermeable al agua y al CO<sub>2</sub>,

### III. Desarrollo proyecto

---

pero no al oxígeno. Es duro y fuerte y fácil de formar, unir y esterilizar (lo que facilita su reutilización). +



Figura III.31. Envases de bebidas de PET.

Tabla III.1. Comparativa posibles matrices

MATERIAL	MODULO DE YOUNG (Gpa)	PRECIO (EUR/kg)	ESTRUCTURA
PEEK, termoplástico	5,5	80,0	Termoplástico
PMMA, acrílico	4,3	4,0	Termoplástico
PC, policarbonato	3,8	3,0	Termoplástico
POM, acetal	4,5	2,5	Termoplástico
Epoxi, resinas epoxi	3,9	2,2	Termoestable
PET tereftalato de polietileno	5,1	1,2	Termoplástico

En esta *Tabla III.1* se observan los valores sacados de la gráfica anterior, también comprende la estructura del material. Comparando estos datos y sabiendo que el material debe ser termoestable por la exposición a las temperaturas del ambiente marina se puede elegir una matriz como objeto de estudio. La matriz seleccionada es la termoestable, ya que en comparación con las otras es la única que mantendría su propiedades sin importar los aumentos de temperatura que produzca la exposición al entorno.

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.4.3. SELECCIÓN DE FIBRA

La selección de la fibra en un material compuesto corresponde a la selección de la mayoría de las propiedades mecánicas que poseerá el material debido a que la fibra recibe la mayoría de esfuerzos y es la encargada de soportar estas tensiones. Es posible encontrarse con tres tipos diferentes de fibras, según se dispongan en el espacio estas fibras el material obtendrá una resistencia variable según los ejes espaciales:

- Fibra de refuerzo cortada, esta disposición se puede dar en modo de fieltro, en el cual las fibras se disponen sin un orden aparente dando lugar a un comportamiento cuasi isotrópico en el plano
- Fibra continuas, estas fibras poseen la capacidad de direccionarse pudiendo así definir que el material resista en unos grados determinados seleccionados.
- Partículas, las partículas al igual que las fibras de refuerzo cortadas no poseen de continuidad por lo que no disponen capacidad de soportar tensiones en ángulos determinados sino que generan un comportamiento cuasi isotrópico.

La capacidad de direccionar las capas compone un material compuesto de laminados en el que, si la distribución de los laminados se realiza mediante una serie de parámetros puedo originar un material compuesto que rozaría el comportamiento isotrópico. Este comportamiento se define como cuasi-isotrópico.

- Laminados de matriz y fibra. Esta selección será la que elegiremos para nuestro caso debido a que un refuerzo en una serie de ángulos a base de disponer un conjunto de capas en el mismo ángulo pueda resistir tensiones que superen los límites elásticos o tensiones de rotura del material.
- Paneles tipo "Sándwich". Esta combinación utiliza estructuras para darle rigidez al material así como aumentar su volumen en el espacio, es posible la combinación de laminados de matriz fibra con paneles tipo "Sándwich".
- Compuestos particulados. El refuerzo que se le añade a la matriz puede generar un material con una dispersión casi homogénea en el espacio pudiendo originar un material que funciones casi igual en los tres ejes espaciales originando así un material cuasi isotrópico.

Las fibras se dividen en cuatro campos generales:

#### III.4.3.1. FIBRAS METÁLICAS

En la que el refuerzo se realiza con un material metálico, *Figura III.32*, estos pudieran ser aluminio o aceros. En la construcción la mayoría de fibras metálicas se utilizan para el refuerzo del hormigón. Esta matriz junto a la fibra metálica compone el encofrado en los edificios. Estas fibras actúan como una armadura en las tres dimensiones.

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.32 Fibras metálicas en hormigón

#### III.4.3.2. FIBRAS CERÁMICAS

Al igual que las metálicas se pueden usar materiales cerámicos para reforzar materiales compuestos. Se pueden usar compuestos tales como alúmina o carburo de silicio. Estas fibras son conformadas llevándolas a altas temperaturas para fundirse y aplicándose un proceso de soplado que forma así, las fibras cerámicas. Otorgan un aislamiento térmico muy bueno y pueden suministrarse en colchas, *Figura III.33*, fáciles de aplicar.



Figura III.33. Fibras cerámicas

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.4.3. FIBRAS INORGÁNICAS

Compuestos inorgánicos pueden usarse como refuerzo en materiales compuestos. Compuestos como la fibra de vidrio o fibra de carbono comprenden esta rama. Las fibras de vidrio, *Figura III.34* son las más usadas en el mercado y poseen una alta resistencia a causa de la unión entre los radicales libres del oxígeno y las moléculas de silicio a través de un enlace covalente.

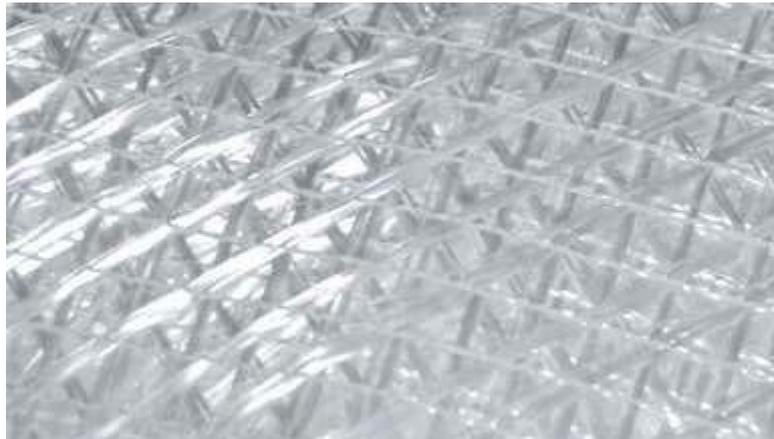


Figura III.34 Fibra de vidrio

### III.4.3.4. FIBRAS ORGÁNICAS

Elementos orgánicos pueden usarse como refuerzo en materiales compuestos. Las aramidas o el polietileno son varias de las distintas posibilidades que ofrecen los compuestos orgánicos. Estos materiales pueden ser fabricados mediante procesos de extrusión o de hilado. Las aramidas, *Figura III.35*, poseen un anillo aromático que otorga gran rigidez al compuesto.



Figura III.35 Fibra Aramida

## III. Desarrollo proyecto

### III.4.3.5. RESULTADOS FIBRAS

En el estudio se tendrán como objeto de análisis los compuestos orgánicos e inorgánicos a fin de proporcionar una variabilidad a la oferta popular de materiales metálicos y cerámicos.

Se introducen parámetros para seleccionar fibras en el software CES EDPUCAK.

Los parámetros a introducir comprenden:

La rama de materiales compuestos, espumas, materiales naturales, es decir, espumas materiales orgánicos e inorgánicos, *Figura III.36*.

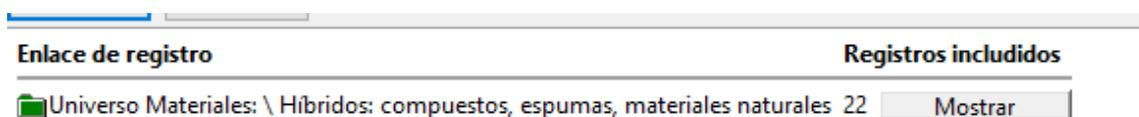


Figura III.36. Filtro de universo de materiales en proceso de selección de fibras CES EDUPACK

La segunda etapa introducida, *Figura III.37*, limita que el módulo de Young del material compuesto resultante deba ser no menor a 20 GPa. Además se define en la durabilidad que sea resistente excelente al ambiente marino.

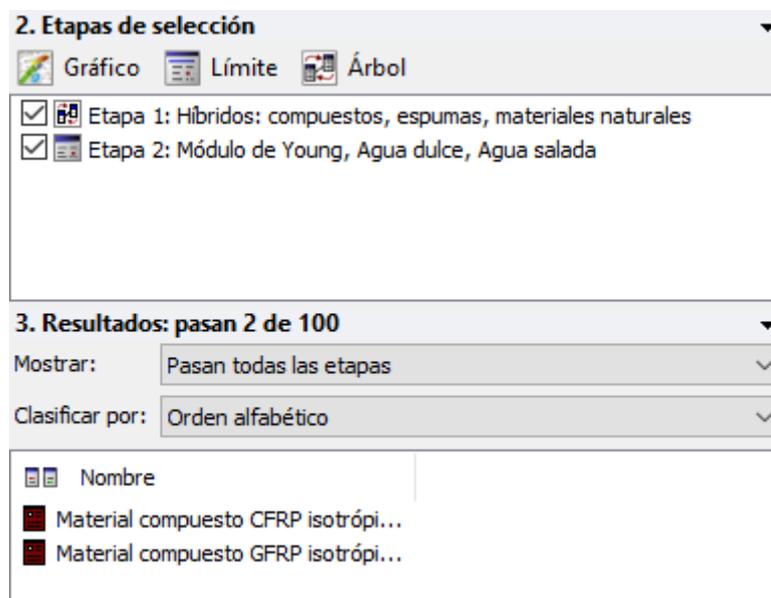


Figura III.37. Resultado de aplicación de etapas en la búsqueda de materiales compuestos en CES EDUPACK

### III. Desarrollo proyecto

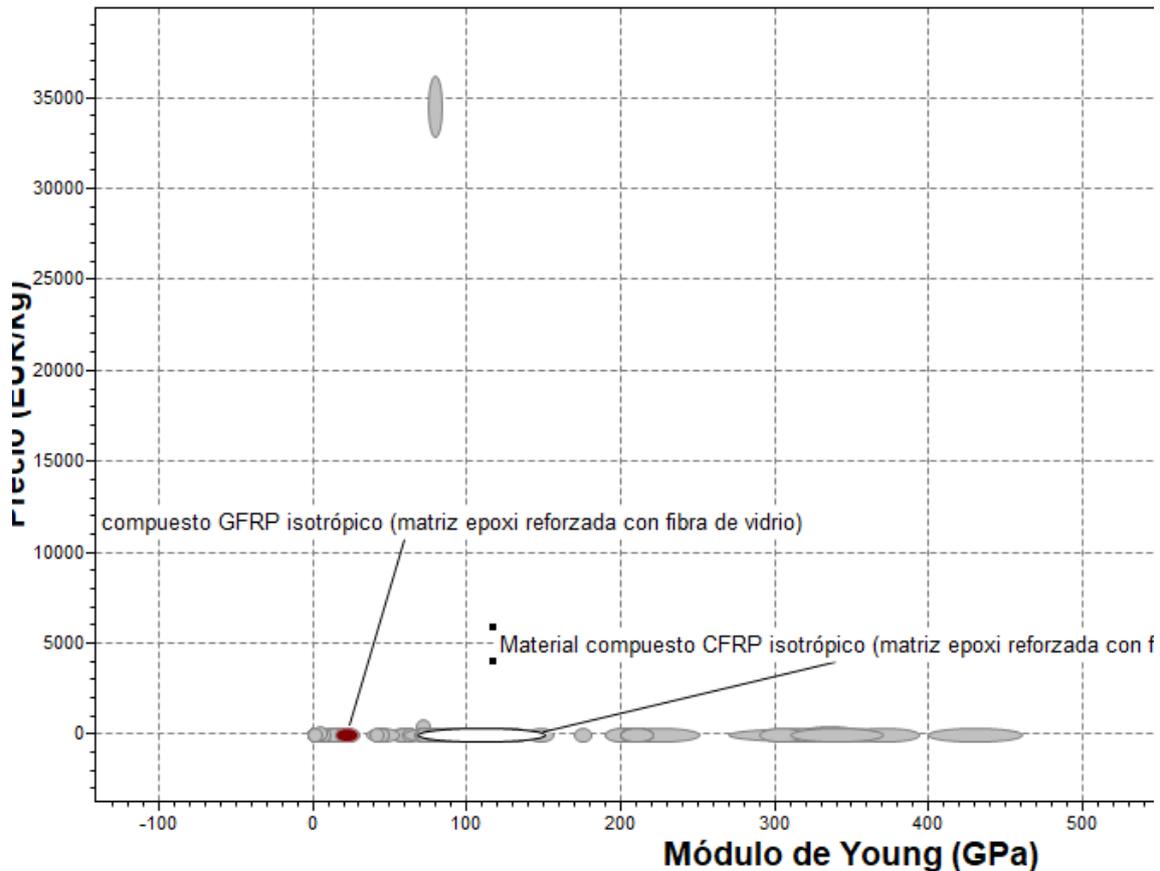


Figura III.38. Gráfico con resultados de búsqueda de material compuesto para selección de fibra en CES EDUPACK

En el gráfico, *Figura III.38*, se expone a modo de comparación mecánica el Módulo de Young (GPa) y a modo de comparación general, el precio (EUR/kg) de los materiales resultantes.

La selección del material no tendrá en cuenta que el material es isotrópico, es decir, la decisión se realizará gracias a CES EDUPACK pero la toma de datos para el cálculo de la resistencia del material final se realizará con otra fuente más fiable.

Por ello, el software CES EDUPACK ofrece unos resultados predeterminados para el análisis de materiales compuestos. Estos materiales predeterminados servirán como referencia a la hora de estudiar precios del material en (€/kg) y varios parámetros. Para decantarnos por una elección de material compuesto

#### III.4.4. SELECCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO

**Material compuesto GFRP isotrópico (matriz epoxi reforzado con fibra de vidrio)**

### III. Desarrollo proyecto

---

Los materiales compuestos con fibra de vidrio y poliéster (GFRPs) son los más baratos y, con mucha diferencia, los más utilizados. El GFRP de alto rendimiento utiliza fibras continuas. Los materiales compuestos con fibras de vidrio cortas son más baratos y se utilizan más comúnmente. Los productos de GFRP van desde pequeñas placas de circuitos electrónicos a cascos de barcos grandes, carrocería y paneles anteriores de automóviles, electrodomésticos, muebles y accesorios.



Figura III.39. Buque Benchi Express que navega en aguas Canarias fabricado en su totalidad con fibra de vidrio.

Se puede observar como la aplicación de GFRP puede abarcar incluso la fabricación de navíos, *Figura III.39*.

#### **Material compuesto CFRP isotrópico (matriz epoxi reforzado con fibra de carbono).**

Los materiales compuestos reforzados con fibra de carbono (CFRPs) ofrecen mayor rigidez y resistencia que cualquier otra alternativa, pero son considerablemente más caros que el GFRP. Las fibras continuas en una matriz de poliéster o epoxi ofrecen el mayor rendimiento. Las fibras son las que soportan las cargas mecánicas mientras que el material de la matriz transmite las cargas a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, además protege las fibras de los daños causados por la manipulación del material o efectos del medio ambiente.

### III. Desarrollo proyecto



Figura III.40. Aviones como este Airbus

La aplicación de estas fibras abarca incluso la fabricación de aviones en aeronáutica donde existe modelo como el Airbus, *Figura III.40*, donde se incorporan como elemento estructural la fibra de carbono utilizándose en más de un 50% del avión.

Tabla III.2. Comparativa diferentes materiales compuestos simplificados a comportamiento isotrópico para la elección de una fibra.

MATERIAL	CFRP isotrópico	GFRP isotrópico
Módulo de Young (Gpa)	109,5	21,5
Módulo cortante (Gpa)	44,0	8,5
Límite elástico (MPa)	800,0	151,0
Resistencia tracción (Mpa)	800,0	189,5
Coefficiente de Poisson	0,306	0,315
Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	1550,0	1860,0
PRECIO (EUR/kg)	30,5	23,3

Esta comparativa, *Tabla III.2*, indica que la fibra de carbono supera en propiedades mecánicas a la fibra de vidrio, además su densidad es menor. No obstante el precio es casi un 30% superior al de la fibra de vidrio. Teniendo en cuenta que la aplicación para un elemento de liberación de botes de rescate está sometido a unos esfuerzos altos, la selección se realiza prestándole especial interés al comportamiento mecánico sobre el precio.

## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.4.3.6. SINERGIA O ADHESIÓN ENTRE FIBRA Y MATRIZ**

La cohesión entre ambas fases, matriz y fibra se debe a los agentes de adhesión.

La adhesión entre ambos genera una sinergia funcionamiento conjunto de la fibra junto con la matriz. La adhesión se puede originar por interferencia mecánica o química. Este funcionamiento es vital para transmitir los esfuerzos desde la matriz a la fibra y para evitar el deslizamiento entre matriz y fibra.

Esta adhesión entre fibra y matriz puede tener origen físico, en el cual la presencia de valles en la cara microscópica de la fibra origina que la resina rellene estos huecos y al curarse evita el movimiento de la fibra dentro de la matriz funcionando como tope mecánico microscópico.

También puede deberse a un origen químico en el cual la unión de matriz y fibra origina enlaces entre ambas fases creando una resistencia debida a la fuerza de interacción entre las moléculas. Para que se origine desplazamiento en esta forma de adhesión o entre cara sería necesaria una energía suficiente capaz de romper los enlaces que unen ambas fases.

## **III. 4.5. DISEÑO DE MATERIAL COMPUESTO. CÁLCULO DE LAMINADOS**

El estudio a realizar divide el cálculo en dos segmentos principales. Las componentes de funcionamiento mecánico del material, respecto a la matriz y fibra. Y las propiedades ingenieriles microscópicas del material teniendo en cuenta la distribución en el espacio de los laminados.

### **III.4.4.1. CÁLCULOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS Y RESISTENTES CON SOFTWARE WOLFRAM MATHEMATICA**

El primero comprende las propiedades físicas. Estas pueden ser calculadas con modelos matemáticos conociendo las características físicas y mecánicas de la fibra y la matriz.

Por ello no dependen de cómo se distribuyan los laminados. Estas características son:

#### **CONSTANTES ELÁSTICAS**

- Módulo de tracción longitudinal X,  $E_x$
- Módulo de tracción transversal Y,  $E_y$
- Módulo de tracción transversal Z,  $E_z$

### III. Desarrollo proyecto

---

- Módulo de cortadura XY,  $G_{xy}$
- Módulo de cortadura YZ,  $G_{yz}$
- Módulo de cortadura XZ,  $G_{xz}$
- Módulo Poisson (xy) longitudinal-transversal,  $\nu_{xy}$
- Módulo Poisson (yz) longitudinal-transversal,  $\nu_{yz}$
- Módulo Poisson (xz) longitudinal-transversal,  $\nu_{xz}$
- Módulo de cortadura matriz isotrópica,  $G_m$

#### CONSTANTES RESISTENTES

- Tensión de rotura a tracción en X,  $X_t$
- Tensión de rotura a tracción en Y,  $Y_t$
- Tensión de rotura a compresión en X,  $X_c$
- Tensión de rotura a compresión en Y,  $Y_c$
- Tensión de rotura a cortadura en XY,  $S_{xy}$

Disponiendo ciertos datos que puedan resolver estas ecuaciones es posible realizar un análisis de una lámina de material compuesto en direcciones globales (x,y).

Para ello es necesario disponer de los datos del material compuesto en direcciones locales (1,2) sean así:

- Volumen de fibra,  $V_f$
- Módulo de Poisson fibra (longitudinal-transversal),  $\nu_{fxy}$
- Módulo de Poisson fibra (transversal-transversal),  $\nu_{fyz}$
- Módulo de Elasticidad longitudinal fibra,  $E_{f1}$ , Mpa
- Módulo de Elasticidad longitudinal fibra,  $E_{f2}$ , Mpa
- Módulo de cortadura fibra (longitudinal-transversal),  $G_{fxy}$ , Mpa
- Módulo de cortadura fibra (transversal-transversal),  $G_{fyz}$ , Mpa
- Tensión de rotura tracción fibra,  $X_{tf}$ , Mpa
- Tensión de rotura compresión fibra,  $X_{cf}$ , Mpa
- Densidad fibra,  $d_f$ , g/cm<sup>3</sup>
- Densidad matriz,  $d_m$ , g/cm<sup>3</sup>
- Módulo de Elasticidad matriz,  $E_m$ , Mpa
- Módulo de Poisson matriz,  $\nu_m$
- Tensión de rotura tracción matriz,  $X_{tm}$ , Mpa
- Tensión de rotura compresión matriz,  $X_{cm}$ , Mpa
- Tensión de rotura cortadura matriz,  $S_m$ , Mpa

Se realizará el cálculo de estas propiedades partiendo de la selección inicial de Fibra de Carbono como la fibra del material y de la resina epoxi como la matriz del material compuesto.

## III. Desarrollo proyecto

---

### Funciones

```
In[843]= Clear["Global`*"]  
In[844]= Varchad[Ex_, Ey_, Ez_, Em_, Gxy_, Gyz_, Gxz_,  
vxy_, vxz_, vyz_, Xt_, Yt_, Xc_, Yc_, Sxy_, Ef1_, Ef2_, Em_,  
Vf_, Gm_, Gfxy_, Gfyz_, vfx_, vm_, Xtf_, Xtm_, Xcf_, Xcm_];
```

Figura III.41. Definición de variables en la hoja de cálculo Wolfram Mathematica

---

## ECUACIONES

### CONSTANTES ELÁSTICAS

```
In[845]= Módulo de tracción longitudinal X;  
Ex = Ef1 * Vf + Em * (1 - Vf) (*MPa*);  
Módulo de tracción transversal Y;  
Ey = Em / (1 - Sqrt[Vf] * (1 - (Em / Ef2))) (*MPa*);  
Módulo de tracción transversal Z;  
Ez = Ey (*MPa*);  
Módulo de cortadura XY;  
Gxy = Gm / (1 - Sqrt[Vf] * (1 - (Gm / Gfxy))) (*MPa*);  
Módulo de cortadura YZ;  
Gyz = Gm / (1 - Sqrt[Vf] * (1 - (Gm / Gfyz))) (*MPa*);  
Módulo de cortadura XZ;  
Gxz = Gyz (*MPa*);  
Módulo Poisson (xy) longitudinal – transversal;  
vxy = vfx * Vf + vm * (1 - Vf);  
Módulo Poisson (xz) transversal – transversal;  
vxz = vxy;  
Módulo Poisson (yz) transversal – transversal;  
vyz = vxy;  
Módulo cortadura matriz isotrópica;  
Gm = (Em) / (2 * (1 + vm));
```

Figura III.42. Definición de ecuaciones de constantes elásticas Wolfram Mathematica

### III. Desarrollo proyecto

---

o

#### CONSTANTES RESISTENTES

```
In[865]:= Teni3n de rotura en X;  
Xt = Vf * Xtf (*MPa*);  
Teni3n de rotura a tracci3n en Y;  
Yt = Xtm * (1 - (Sqrt[Vf] - Vf) * (1 - (Em / Ef2))) (*MPa*);  
Teni3n de rotura a compresi3n en X;  
Xc = Vf * Xcf (*MPa*);  
Teni3n de rotura a compresi3n en Y;  
Yc = Xcm * (1 - (Sqrt[Vf] - Vf) * (1 - (Em / Ef2))) (*MPa*);  
Teni3n de rotura a cortadura en XY;  
Sxy = Sm * (1 - (Sqrt[Vf] - Vf) * (1 - (Gm / Gfyz))) (*MPa*);
```

Figura III.43. Definici3n de ecuaciones constantes resistentes Wolfram Mathematica

#### DATOS

```
In[875]:= Vf = 0.7;  
vfxxy = 0.2;  
vfyz = 0.25;  
Ef1 = 379212 (*MPa*);  
Ef2 = 62053 (*MPa*);  
Gfxy = 75842 (*MPa*);  
Gfyz = 48263 (*MPa*);  
  
Xtf = 2500 (*MPa*);  
Xcf = 1500 (*MPa*);  
df = 1.8 (*g/cm^3*);  
dm = 1.2 (*g/cm^3*);  
Em = 3500 (*MPa*);  
vm = 0.35;  
Xtm = 55 (*MPa*);  
Xcm = 103 (*MPa*);  
Sm = 55 (*MPa*);
```

Figura III.44. Definici3n de datos para la resoluci3n Wolfram Mathematica

### III. Desarrollo proyecto

---

#### RESOLUCIÓN

```
In[891]:= Ex  
Out[891]:= 266498.  
  
In[892]:= Ey  
Out[892]:= 16624.7  
  
In[893]:= Ez  
Out[893]:= 16624.7  
  
In[894]:= Gxy  
Out[894]:= 7297.31  
  
In[895]:= Gyz  
Out[895]:= 6976.39  
  
In[896]:= Gxz  
Out[896]:= 6976.39  
  
In[897]:= vxy  
Out[897]:= 0.245  
  
In[898]:= vxz  
Out[898]:= 0.245  
  
In[899]:= vyz  
Out[899]:= 0.245
```

Figura III.45. Resultados resolución de ecuaciones definidas Wolfram Mathematica

### III. Desarrollo proyecto

---

```
In[900]:= Xt
Out[900]= 1750.

In[901]:= Yt
Out[901]= 47.9076

In[902]:= Xc
Out[902]= 1050.

In[903]:= Yc
Out[903]= 89.718

In[904]:= Sxy
Out[904]= 47.6856
```

Figura III.46. Resultados resolución de ecuaciones definidas Wolfram Mathematica

En estos cálculos, *Figura III.41*, *Figura III.42*, *Figura III.43*, se puede observar cómo se aplican modelos matemáticos para la determinación de las propiedades del material compuesto. Estas propiedades calculadas son adimensionales y dependen del tipo de matriz y fibra seleccionadas y de la proporción en las que se unan. Se observa, *Figura III.45*, que el módulo de resistencia en “X” es superior con creces a los módulos en los otros dos ejes “Y,Z”. Además que las diferencias entre los módulos de cortadura en los tres planos principales no son muy importantes, *Figura III.45* y que los módulos de Poisson son iguales en los tres ejes principales. Por otro lado la resistencia a la compresión y tracción, *Figura III.46*, en el eje “X” es muy superior a las del eje “Y”.

#### III.4.4.2. DISEÑO DE LAMINADO, “eLamx”, CÁLCULO DE CONSTANTES INGENIERILES

Una vez se disponen de los datos resistentes y elásticos en función de la fibra y la matriz. Es posible determinar las constantes microscópicas de un material compuesto según la disposición de los laminados que lo conforman. El programa “eLamx” es un software libre que permite calcular estos parámetros dado que se basa en la elección de diferentes modelos matemáticos para el cálculo de las componentes. Se basará el correspondiente estudio en el modelo micromecánico de fallo de Puck. El cual es calculado automáticamente por el software.

Debido a condiciones de contorno el material compuesto a diseñar se calculará teniendo como cota fija, el espesor de la pieza de gancho inicial la cual debe poseer 30mm de

### III. Desarrollo proyecto

---

espesor. Para este cálculo además se tendrá en cuenta que cada capa se compone de un espesor estándar de 0,125mm.

Por ello según la distribución del número de capa que tenga cada inclinación en el plano debe cumplir la regla que la suma de estas tenga como espesor general 35mm, esto da lugar a que deben emplearse 280 capas para ejecutar el estudio.

#### III.4.4.3. LAMINADO CUASI ISOTRÓPICO DE FIBRA DE CARBONO CON EPOXI

Un material compuesto puede componerse de varios laminados, el material a diseñar se compone de varios laminados unidireccionales. Según la disposición de estas capas el material puede obtener diferentes comportamientos frente a las cargas en distintos ángulos.

Las fibras trabajan mejor a tracción que a compresión, por lo que en la compresión de un supuesto laminado unidireccional recibirá la mayoría del esfuerzo la matriz del elemento, esto se refleja en una caída respecto al comportamiento isotrópico de un material. Si se dispone para esta misma carga a compresión laminados en diferentes ángulos, los que no estén alineados con la carga absorberán esfuerzos trabajando primordialmente a cortadura o tracción. Es por ello que el estudio de la disposición de las capas es vital para el correcto diseño de un material.

- Cuando un laminado es simétrico se representa con un subíndice "S"
- Cuando un laminado es no simétrico se emplea el subíndice "T"
- Cuando se repiten varias capas se expresa el laminado entre corchetes.
- Se utiliza un guión encima de la capa que no se repita en laminados simétricos.
- Un laminado se define como equilibrado si cada capa en un ángulo posee una capa igual en espesor y composición pero en ángulo opuesto.

Si el laminado es simétrico si posee una capa con una orientación y espesor dados a una distancia determinada del plano medio y además posee existe otra capa igual a la misma distancia con la misma orientación y espesor en distancia negativa hacia el plano medio.

Un laminado se considera **cuasi-isotrópico** cuando su comportamiento es similar a un lámina ortotrópica a nivel de acoplamientos. Estos laminados deben ser equilibrados y simétricos para definirse como tales. Con una composición de laminados iguales en espesor y composición. Además, deben separarse entre sí con ángulos  $180^\circ/N + \theta_0$  [ $N > 3$ ].

Siendo N, el número de capas

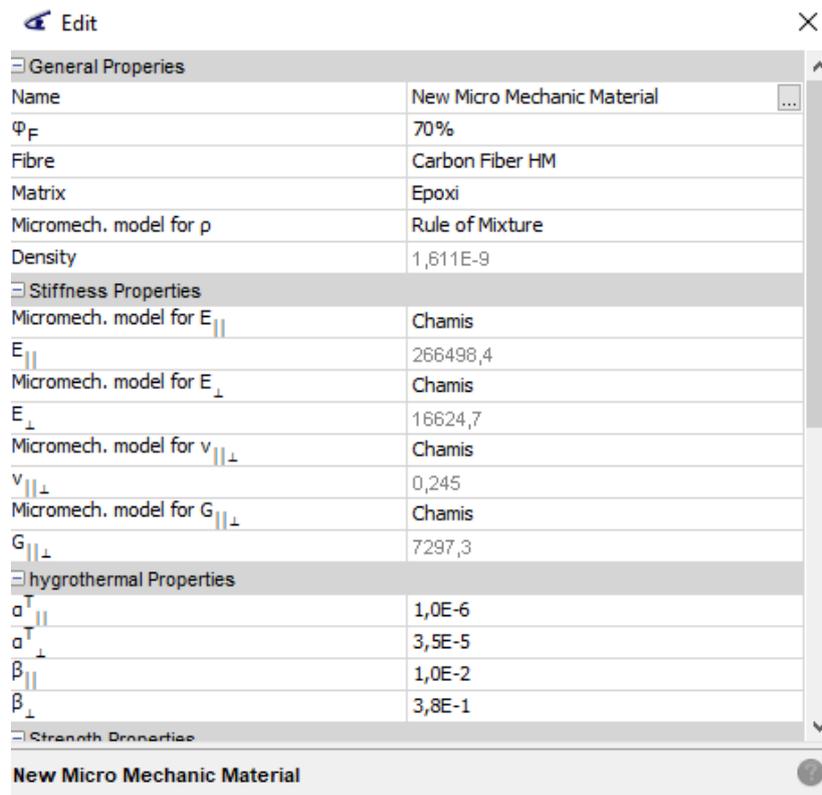
Siendo  $\theta_0$ , la diferencia de ángulos entre capas.

Cuando estas condiciones se dan, el laminado posee su matriz de acoplamiento igual a cero lo que determina que no se curve a la hora de recibir un esfuerzo.

Por el contrario un comportamiento anisotrópico sucede cuando las características mecánicas son distintas en función del ángulo considerado.

### III. Desarrollo proyecto

Para llevar a cabo este estudio se introduce en primera instancia las fibras de fibra de carbono y las propiedades a su vez del matriz epoxi para generar en el software las características de un laminado, *Figura III.47*.



The image shows a software window titled 'Edit' with a close button (X) in the top right corner. The window displays a list of properties for a material named 'New Micro Mechanic Material'. The properties are organized into sections: General Properties, Stiffness Properties, hydrothermal Properties, and Strength Properties. The values for each property are listed in a table format.

General Properties	
Name	New Micro Mechanic Material
$\Phi_F$	70%
Fibre	Carbon Fiber HM
Matrix	Epoxi
Micromech. model for $\rho$	Rule of Mixture
Density	1,611E-9
Stiffness Properties	
Micromech. model for $E_{  }$	Chamis
$E_{  }$	266498,4
Micromech. model for $E_{\perp}$	Chamis
$E_{\perp}$	16624,7
Micromech. model for $\nu_{  \perp}$	Chamis
$\nu_{  \perp}$	0,245
Micromech. model for $G_{  \perp}$	Chamis
$G_{  \perp}$	7297,3
hydrothermal Properties	
$\alpha_{T  }^T$	1,0E-6
$\alpha_{T\perp}^T$	3,5E-5
$\beta_{  }$	1,0E-2
$\beta_{\perp}$	3,8E-1
Strength Properties	

Figura III.47. Propiedades laminado de fibra de carbono y resina epoxi, llamado New Micro Mechanic Material

### III. Desarrollo proyecto

#### II.4.4.4. LAMINADO CUASI-ISOTRÓPICO $[0_{20}/15_{10}/30_{10}/45_{10}/60_{10}/75_{10}/90_{20}/-75_{10}/-60_{10}/-45_{10}/-30_{10}/-15_{10}]_s$

Se introducen las capas del laminado en el software eLamx. Definiendo el espesor por capa de 0.125mm para proceder a insertar 280 capas, con una distribución simétrica y equilibrada que da lugar a:

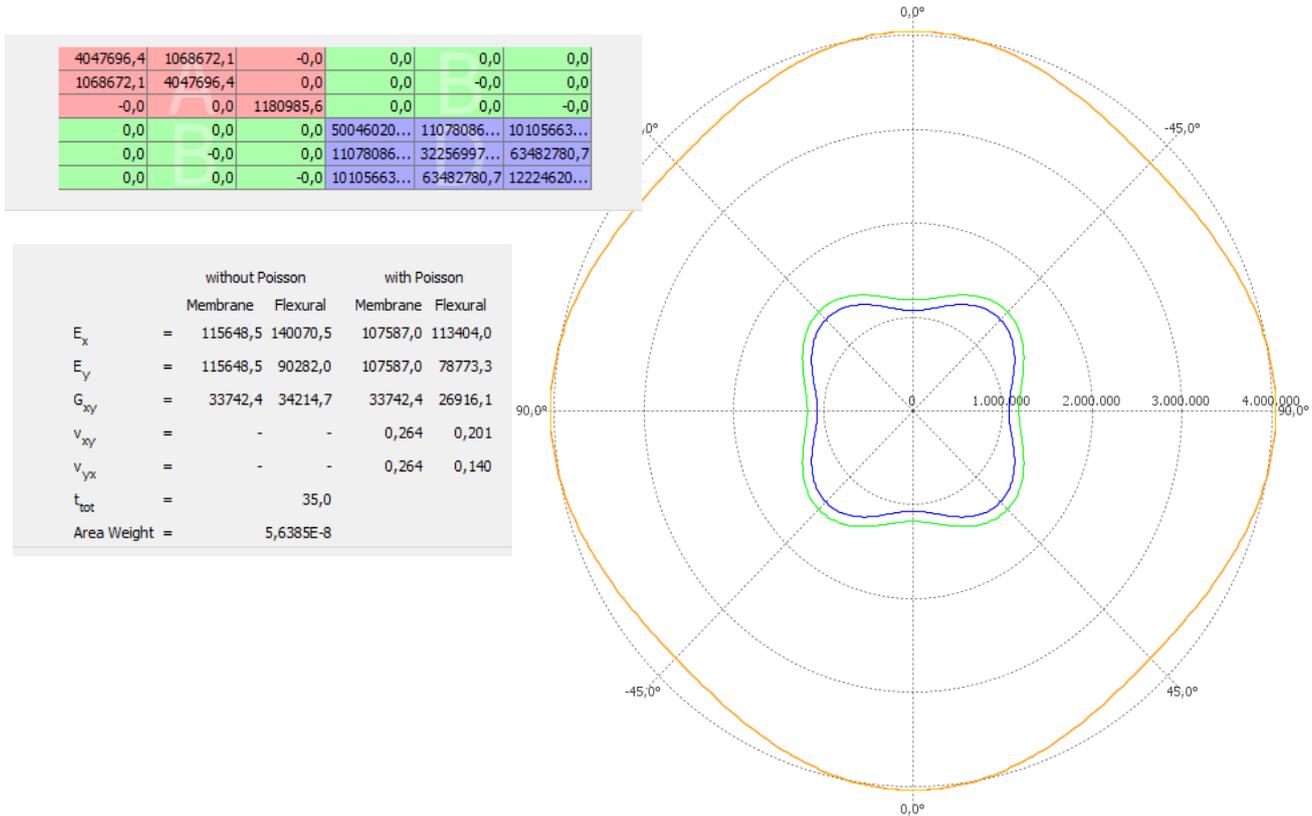


Figura III.48. Propiedades laminado cuasi-isotrópico Fibra de carbono al 70%

Podemos apreciar que las matrices de acoplamiento poseen valores nulos, indicador de laminado cuasi-isotrópico, se refleja en gráfico polar chart, *Figura III.48* una diferencia de comportamiento según el ángulo. Debido a que existe un refuerzo en los ángulos  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , el diagrama polar chart presenta picos máximos en estos ángulos. Esta condición podría ser suficiente para perder la cuasi-isotropía, pero a efectos prácticos se refleja en las constantes ingenieriles que actúa de la misma forma en los tres ejes principales, *Tabla III.3*.

Gracias a este estudio es posible adquirir las constantes ingenieriles del material.

Junto a las constantes elásticas y resistentes dan lugar a:

### III. Desarrollo proyecto

Tabla III.3. Propiedades mecánicas y micromecánicas del laminado cuasi-isotrópico de CF70%

PROPIEDAD ORTOTRÓPICA, 1º LAMINADO	UNIDAD	CF70 CUASI 35MM
Módulo elástico en X	N/mm <sup>2</sup>	107587
Módulo de elasticidad en Y	N/mm <sup>2</sup>	107587
Módulo de elasticidad en Z	N/mm <sup>2</sup>	107587
Coefficiente de Poisson en XY	N/D	0,264
Coefficiente de Poisson en YZ	N/D	0,264
Coefficiente de Poisson en XZ	N/D	0,264
Módulo cortante en XY	N/mm <sup>2</sup>	33742
Módulo cortante en YZ	N/mm <sup>2</sup>	33742
Módulo cortante en XZ	N/mm <sup>2</sup>	33742
Densidad de masa	kg/m <sup>3</sup>	1600
Límite de tracción en X	N/mm <sup>2</sup>	1750
Límite de tracción en Y	N/mm <sup>2</sup>	47,907
Límite de compresión en X	N/mm <sup>2</sup>	1050
Límite de compresión en Y	N/mm <sup>2</sup>	89,718
Límite cortante en XY	N/mm <sup>2</sup>	47,6856
Límite elástico	N/mm <sup>2</sup>	1100
Coefficiente de expansión térmica en X	/K	
Coefficiente de expansión térmica en Y	/K	
Coefficiente de expansión térmica en Z	/K	
Conductividad térmica en X	W/(m·K)	0.2257
Conductividad térmica en Y	W/(m·K)	
Conductividad térmica en Z	W/(m·K)	
Calor específico	J/(kg·K)	1387
Cociente de amortiguamiento del material	N/D	

#### II.4.4.5 LAMINADO [0<sub>35</sub>/30<sub>35</sub>/90<sub>35</sub>/-30<sub>35</sub>]<sub>s</sub>

Para el segundo material se introducen al igual que en el anterior el mismo laminado compuesto de resina epoxi y fibra de carbono, ya diseñado en eLamx, para originar un laminado que al contrario que en el anterior caso, éste no sea cuasi-isotrópico (anisotrópico) la razón será comprobar si disponiendo las capas principalmente en los ejes ortogonales se intenta que menos capas trabajen a compresión.

Una vez introducidos los laminados en el software nos devuelve las constantes:

*Figura III.41.* Se observa que este laminado tiene la matriz de acoplamiento es nula, también se puede observar que funciona mejor en los ángulos ortogonales que en el resto debido a que posee más capas en estos ejes. Sus propiedades micromecánicas junto con las constantes elásticas y resistentes vienen dadas en la *Tabla III.4.*

### III. Desarrollo proyecto

5260700,3	952974,6	0,0	0,0	0,0	-0,0
952974,6	3066087,5	0,0	0,0	-0,0	0,0
0,0	0,0	1065288,2	-0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	-0,0	73605816...	66279520,2	81417380,8
0,0	-0,0	0,0	66279520,2	17597469...	27718084,1
-0,0	0,0	0,0	81417380,8	27718084,1	77744863,8

	without Poisson		with Poisson	
	Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
$E_x$	= 150305,7	206010,4	141843,0	179808,2
$E_y$	= 87602,5	49252,4	82670,2	45889,7
$G_{xy}$	= 30436,8	21759,5	30436,8	18554,7
$\nu_{xy}$	= -	-	0,311	0,224
$\nu_{yx}$	= -	-	0,181	0,057
$t_{tot}$	=	35,0		
Area Weight	=	5,6385E-8		

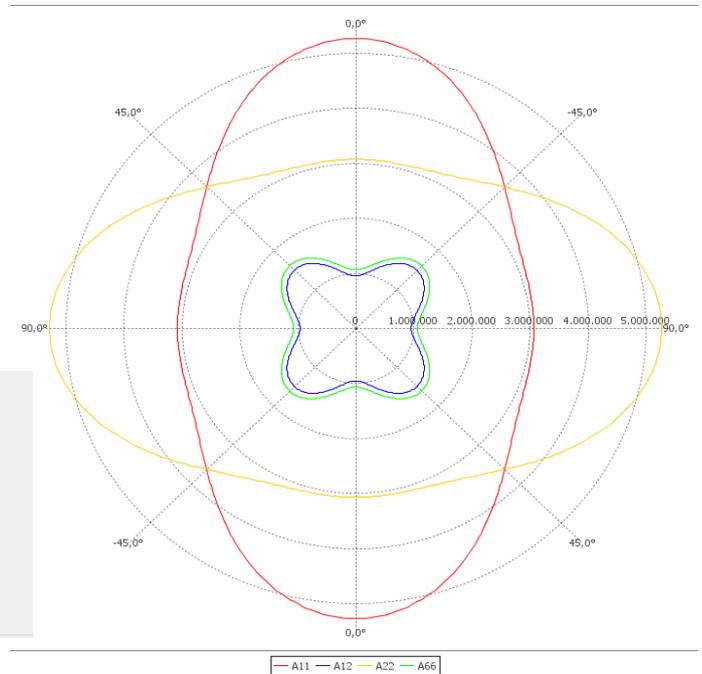


Figura III.49. Propiedades micromecánicas laminado CF70% anisotrópico

Tabla III.4. Propiedades micromecánicas, elásticas y resistentes de segundo laminado CF70

PROPIEDAD ORTOTRÓPICA, 2º LAMINADO	UNIDAD	CF70 ANISOTRÓPICO 35MM
Módulo elástico en X	N/mm <sup>2</sup>	141843
Módulo de elasticidad en Y	N/mm <sup>2</sup>	82670
Módulo de elasticidad en Z	N/mm <sup>2</sup>	82670
Coefficiente de Poisson en XY	N/D	0,311
Coefficiente de Poisson en YZ	N/D	0,181
Coefficiente de Poisson en XZ	N/D	0,181
Módulo cortante en XY	N/mm <sup>2</sup>	30436
Módulo cortante en YZ	N/mm <sup>2</sup>	30436
Módulo cortante en XZ	N/mm <sup>2</sup>	30436
Densidad de masa	kg/m <sup>3</sup>	1600
Límite de tracción en X	N/mm <sup>2</sup>	1750
Límite de tracción en Y	N/mm <sup>2</sup>	47,907
Límite de compresión en X	N/mm <sup>2</sup>	1050
Límite de compresión en Y	N/mm <sup>2</sup>	89,718
Límite cortante en XY	N/mm <sup>2</sup>	47,6856
Límite elástico	N/mm <sup>2</sup>	1100
Coefficiente de expansión térmica en X	/K	
Coefficiente de expansión térmica en Y	/K	

### III. Desarrollo proyecto

Coeficiente de expansión térmica en Z	/K	
Conductividad térmica en X	W/(m·K)	0.2257
Conductividad térmica en Y	W/(m·K)	
Conductividad térmica en Z	W/(m·K)	
Calor específico	J/(kg·K)	1387
Cociente de amortiguamiento del material	N/D	

Las propiedades del segundo laminado, *Figura III.49, Tabla III.4*, se caracterizan por funcionar de distinta forma según el eje en que se encuentre.

Gracias a este cálculo podemos comparar las propiedades de estos materiales y una vez llevados al modelo "FEM" se observaría cuál de los dos funciona mejor en el modelo.

A continuación a título de comparativa se exponen ambas tablas unificadas para una comparativa más sencilla.

Tabla III.5. Tabla comparativa de los dos laminados seleccionados CF70

PROPIEDAD ORTOTRÓPICA	UNIDAD	CF70 CUASI 35MM	CF70 ANISOTRÓPICO 35MM
Módulo elástico en X	N/mm <sup>2</sup>	107587	179808
Módulo de elasticidad en Y	N/mm <sup>2</sup>	107587	45889
Módulo de elasticidad en Z	N/mm <sup>2</sup>	107587	45889
Coeficiente de Poisson en XY	N/D	0,264	0,224
Coeficiente de Poisson en YZ	N/D	0,264	0,057
Coeficiente de Poisson en XZ	N/D	0,264	0,057
Módulo cortante en XY	N/mm <sup>2</sup>	33742	18554
Módulo cortante en YZ	N/mm <sup>2</sup>	33742	18554
Módulo cortante en XZ	N/mm <sup>2</sup>	33742	18554

Se observa que existe una gran diferencia entre los módulos de elasticidad en el espacio y en los coeficientes de Poisson en los tres ejes mientras el resto de características son similares y otras iguales debido a que solo dependen de la fibra y la matriz usada y no de su disposición.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### III. Desarrollo proyecto

## III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

En el modelo a estudiar se pueden definir contactos externos al ensamblaje y contactos internos en él.

### III.5.1. CONTACTOS EXTERNOS AL ENSAMBLAJE

Estos contactos dependen del entorno en el que es instalado el gancho, cabe definir que el gancho está inspirado en el Henrisken.

Este al igual que el modelo diseñado dispone de 4 taladros en sus bases (dos en cada base) de 24,5mm de diámetro alineados entre piezas, Figura separados a 100mm tal y cómo se indica en el siguiente gráfico.

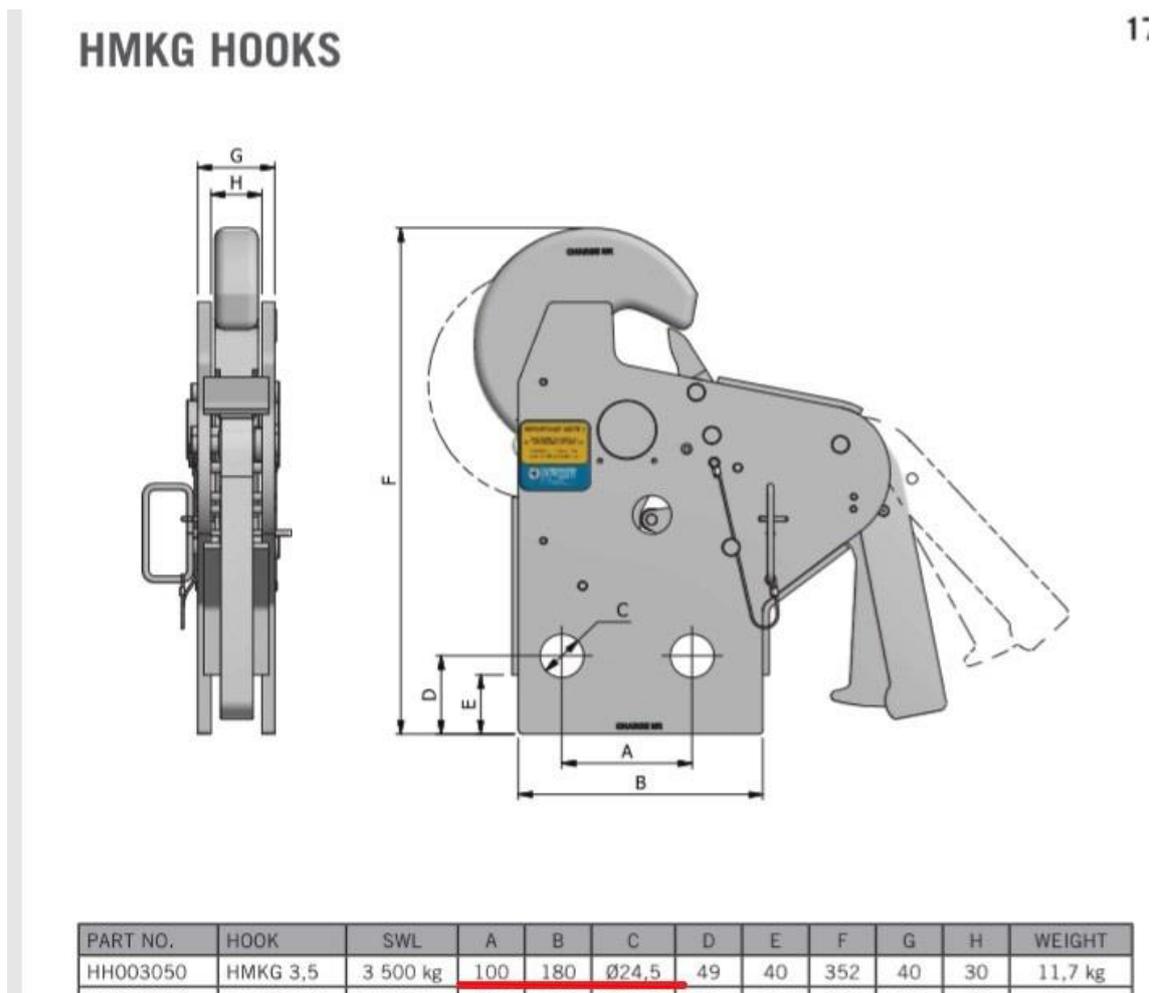
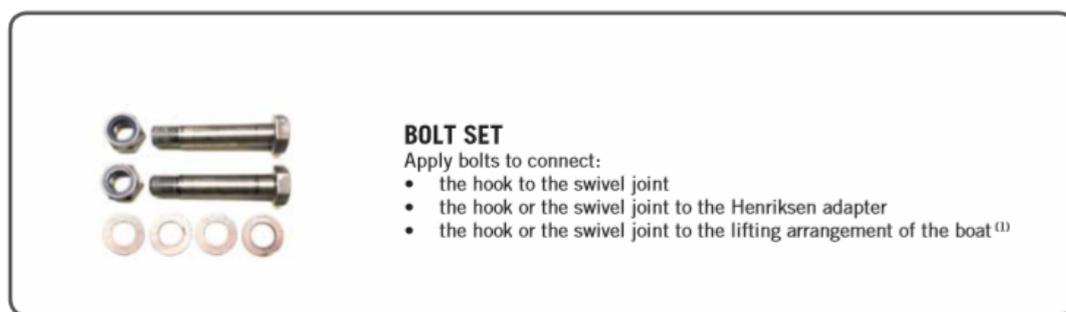


Figura III.50. Base y taladros de gancho Henrisken

### III. Desarrollo proyecto

En estos taladros son introducidos los pasadores que inmovilizarán el conjunto en el bote.

Los tornillos pasadores que fijan la estructura al bote están definidos en el propio catálogo del fabricante.



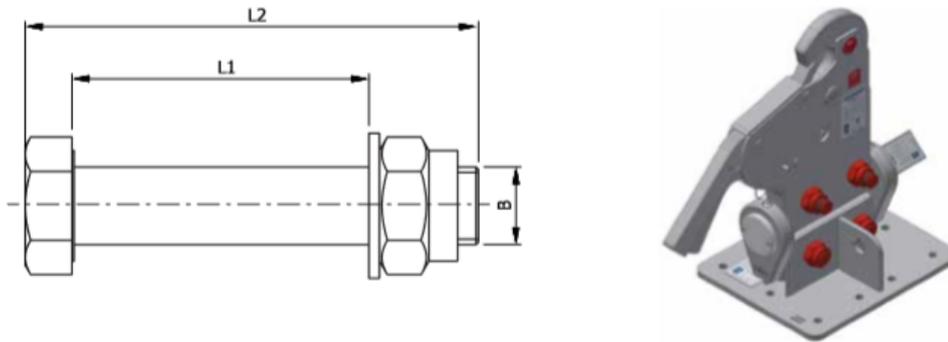
PARTNR	WLL	L1 <sup>(2)</sup>	L2	B	Max. torque (Nm)	Between		
						hook - adapter	hook - swivel	swivel - adapter
HH000217	3,5 T	42	75	M24	70		X	
HH000218	3,5 T	52	80	M24	70	X		X

Figura III.51. Tornillos y arandelas acoplables a las bases del gancho

Pudiendo ser de 42mm o 52mm, *Figura III.51*, de distancia entre arandela y cara interior de la cabeza, según las dimensiones del gancho. Para con el estudio a realizar es elegido el modelo HH000218, *Figura III.52*, que dispone de un par de apriete de 70 (Nm), este par puede ser aplicado con cualquier llave dinamométrica calibrada con acople para la métrica M24.

### III. Desarrollo proyecto

- <sup>(1)</sup> The length of the bolt is specified by the boat builder, the bolt should be unthreaded in the lifting cross-section.
- <sup>(2)</sup> Unthreaded length.
- <sup>(3)</sup> Stud bolt: shaft  $\varnothing 40$  with M36 threaded ends, EN 1.4462 quality.



**HENRIKSEN**

Figura III.52. Información técnica sobre anclaje de ganchos a bote.

Por la parte superior del gancho se observa que este va unido a un “Master link”, pieza que un el gancho con el cable o el grillete que posee el cable, *Figura III.55*, sus aplicaciones son múltiples, en el campo de los botes, facilita y asegura la maniobra de acople entre bote y cable ya que dispone de dos asas para no sufrir un accidente a la hora de izar el bote o introducir el master-link en el gancho. Evita el aprisionamiento del dedo entre las caras del gancho.

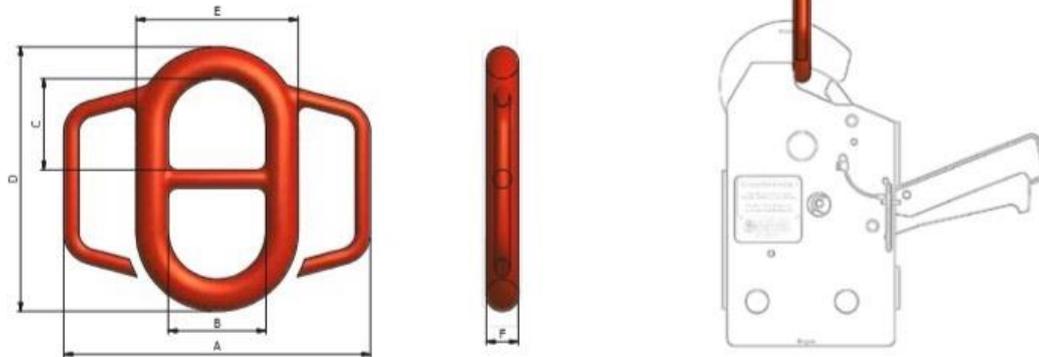


Figura III.53. Representación y muestra del fabricante sobre cómo manejar un Master link y los distintos tipos que ofrece.

### III. Desarrollo proyecto

#### LIFTING RING

The Henriksen Lifting Rings are made with safety in mind. The dimensions are designed to geometrically fit together with the Henriksen Hooks. The gaps on the handles ensure a safer lifting operation.



PARTNR	RING	WLL	A	B	C	D	E	F	WEIGHT
HH170657	HLR 1,5	2,0T	206	60	70	176	86	13	0,7 kg
HH177843	HPR 2,5*	4,1T	178	70	-	152	102	16	0,9 kg
HH170539	HLR 3,5	4,5T	226	60	81	215	100	20	1,7 kg
HH170658	HLR 5	6,0T	280	110	97	254	154	22	2,6 kg

Figura III.54. Información técnica sobre dimensiones y cargas a las que se puede someter un Master link

La elección del master link, *Figura III.54*, se hará por encima de la carga de trabajo, pues si el gancho tiene una carga de trabajo de 3,5 (tons), el master link, *Figura III.53*, debe tener un WLL (working load limit, que hace alusión a la carga de trabajo máxima usable con seguridad), en este caso el fabricante indica que se use el modelo HH170539 con un diámetro de 20mm y un WLL de 4,5T.

### III. Desarrollo proyecto

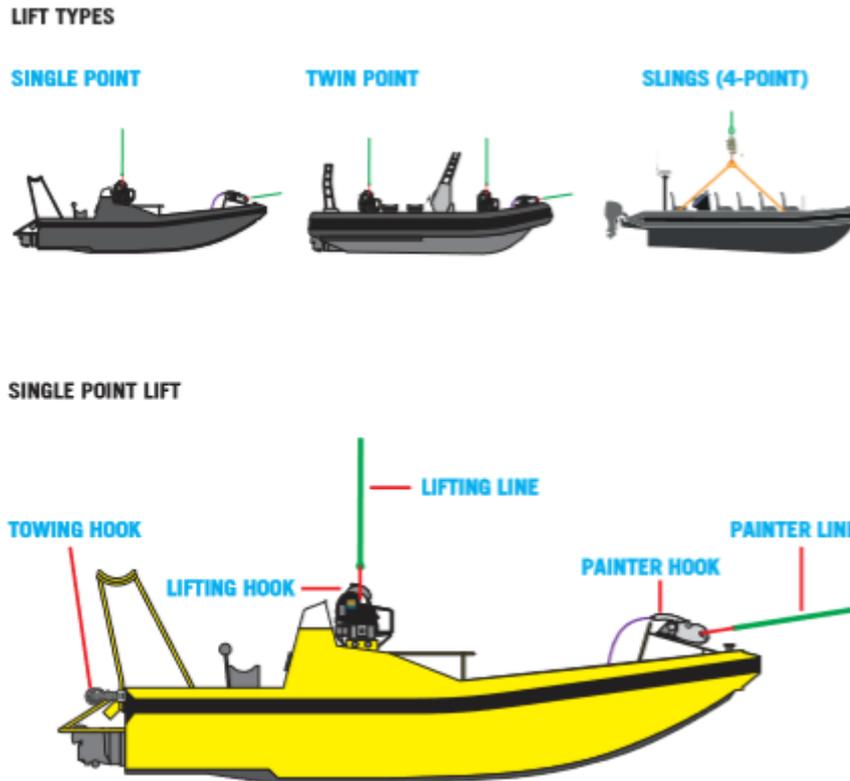


Figura III.55. Diferentes tipos de elementos bote.

#### III.5.2. CONTACTOS INTERNOS EN EL ENSAMBLAJE

Para definir los contactos internos en el ensamblaje es necesario mostrar gráficamente el conjunto.

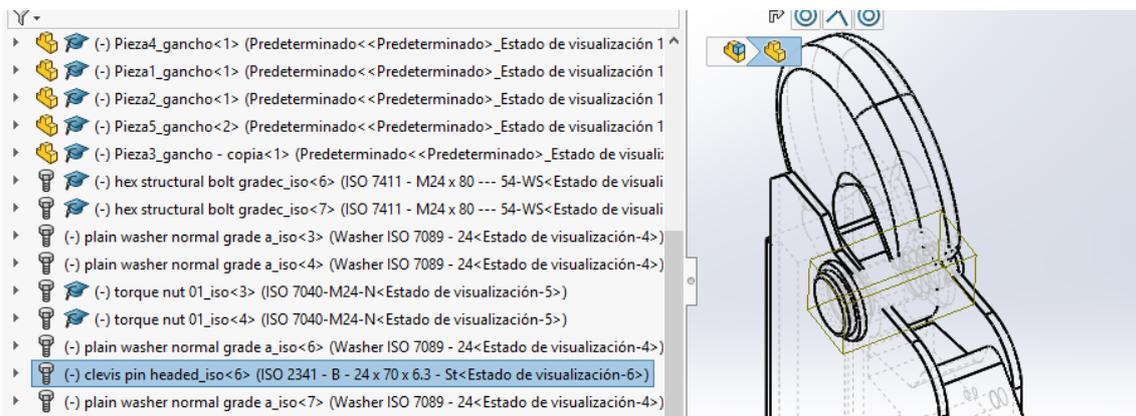


Figura III.56. Vista 3D del modelo

La pieza 1, pieza objeto de estudio se encuentra unida a las placas laterales por un tornillo de cabeza hexagonal, *Figura III.56*, fijado en el otro extremo con tuerca y pin de

### III. Desarrollo proyecto

seguridad, el tornillo seleccionado corresponde a un clevis pin headed ISO 6 de métrica 24mm, con 70mm de largo.

El ensamblaje de la pieza 2 con las placas laterales viene dado por un taladro de 10mm de diámetro.

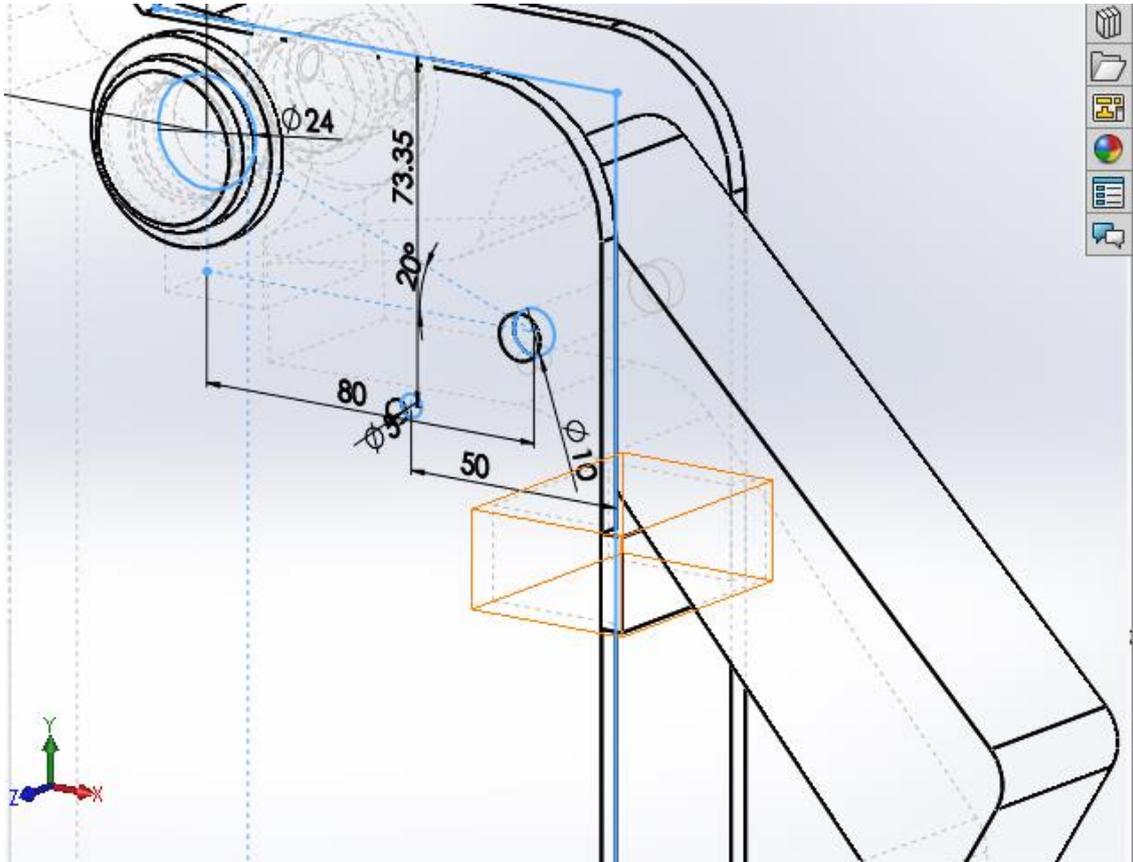


Figura III.57. Ensamblaje de pieza 2 con placas laterales

El resto de contactos han sido definidos como uniones entre caras (pieza 4 y pieza 5), adaptables a taladrado, *Figura III.57*, estos taladros no se han supuesto por complejidad en el proceso de mallado.

En el siguiente aparatado se procederá a introducir los distintos materiales en el software para ejecutar una simulación con las cargas definidas y las condiciones de contorno ya descritas. Mediante estas simulaciones se obtendrán los datos en los que se defina que material soporta las tensiones generadas en la simulación.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## III. Desarrollo proyecto

### III.6. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

A continuación se analiza como soportan las tensiones los distintos materiales en el modelo diseñado. Los materiales a utilizar son isotrópicos y ortotrópicos. Los isotrópicos sin importar de la dirección en la que sean aplicadas la carga reaccionan igual, mientras que los ortotrópicos implican que no soportan de igual manera las cargas o esfuerzos en los tres ejes espaciales. Por ello se someterán a estudios materiales isotrópicos (aluminio, acero aleado, acero inoxidable), materiales cuasi-isotrópicos (laminado CF70%) y materiales anisotrópicos (laminado CF70%). Se someterá a la carga de prueba definida con anterioridad y se comparan los resultados obtenidos en cada una de ellas.

#### III.6.1. Modelo FEM proyecto.

Se aplicarán cargas y materiales al siguiente modelo, ensamblaje diseñado:

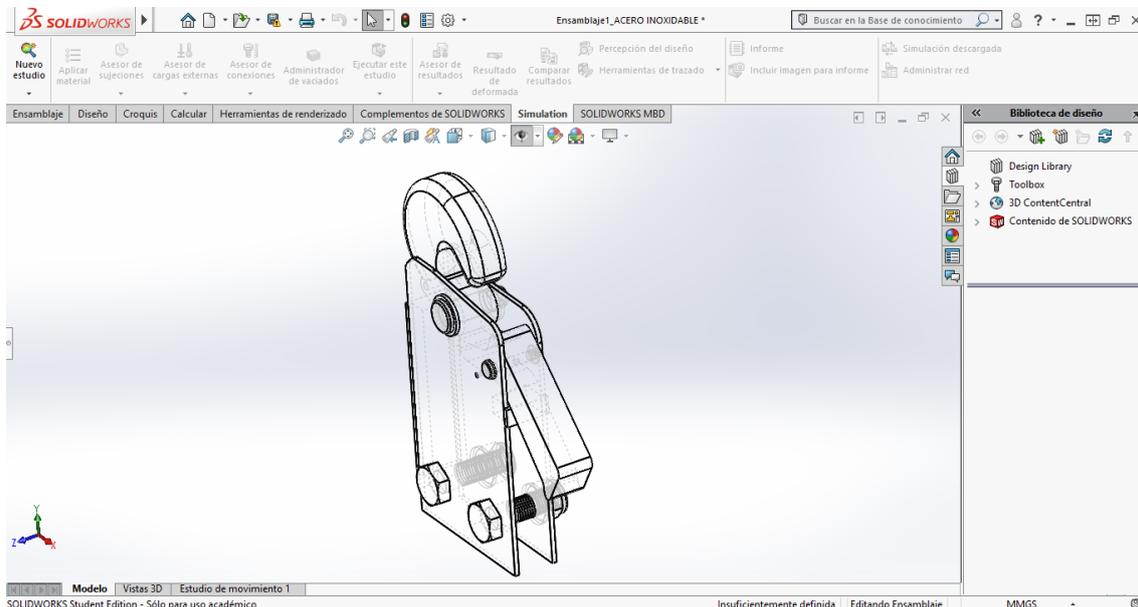


Figura III.58. Vista 3D del modelo

Una vez definido el diseño del conjunto, *Figura III.58*, se procede a definir la malla para el cálculo por elementos finitos.

Debido a la complejidad del ensamblaje la forma en que el software resuelve el problema es mediante el uso de elementos finitos. El fin del método es dividir el conjunto o la pieza

### III. Desarrollo proyecto

---

seleccionada en subdominios que no posean interferencia para así resolver con una matriz de rigidez el sistema.

Según las cargas que se apliquen, el modelo a resolver y la dimensión del conjunto se pueden emplear diferentes matrices de rigidez para la correcta resolución.

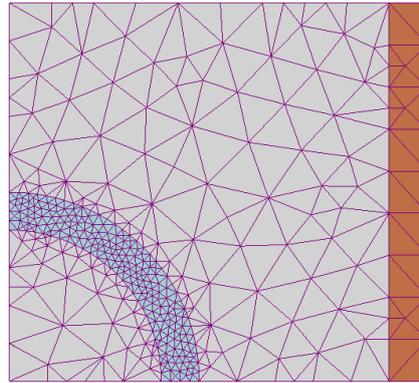


Figura III.59. Ejemplo de una malla

Este cálculo puede realizarse con mayor precisión cuanto menor sea los elementos que componen el mallado, *Figura III.59*. Pero a su vez tiene que usar más operaciones para realizarlo y puede que emplee varias horas en su resolución si la malla es muy minuciosa. Varias formas geométricas pueden componer una malla y el softwares Solidworks ofrece y utiliza varias.

#### III.6.1.1. Aplicación de estados tensionales.

Una vez explicados los estados tensionales a utilizar se procede a realizar una simulación seleccionando la cara interior del objeto de estudio, pieza central gancho para averiguar si es capaz de soportar los esfuerzos. Estos esfuerzos serán definidos a continuación:

### III. Desarrollo proyecto

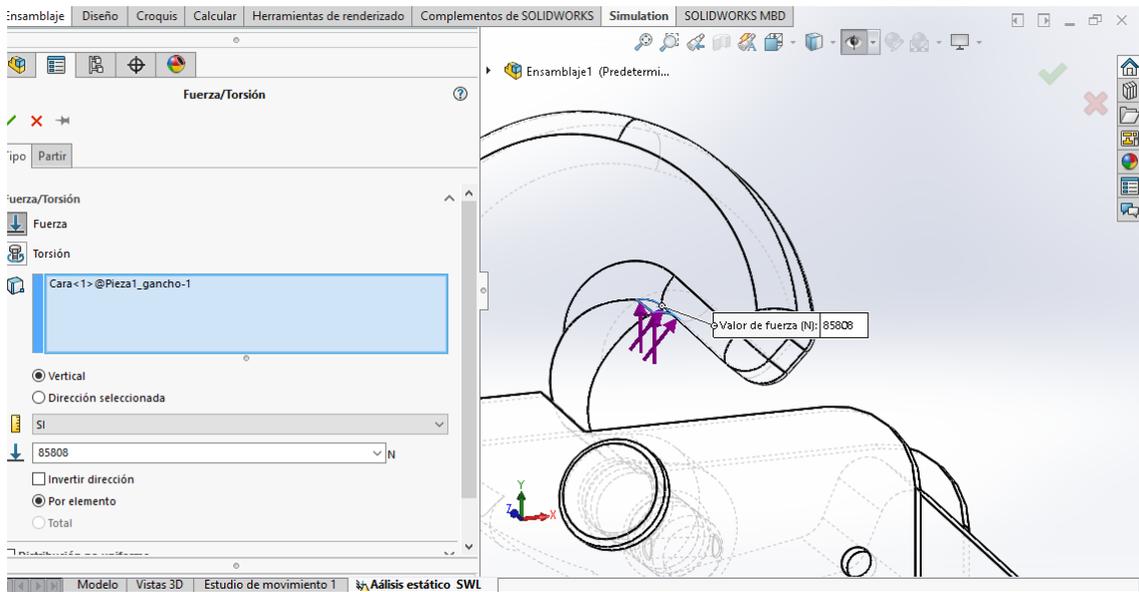


Figura III.60. Introducción de cargas modelo FEM

Se puede observar cómo se aplica una carga distribuida de 85808 N, *Figura III.60*, en la cara interior de la pieza central del gancho, a fin de emular la acción del master link y el peso del bote.

Se fijará para esta operación la cara inferior de las piezas 3, emulando pernos, *Figura III.61*, en forma de tonillo que se usarían en la realidad.

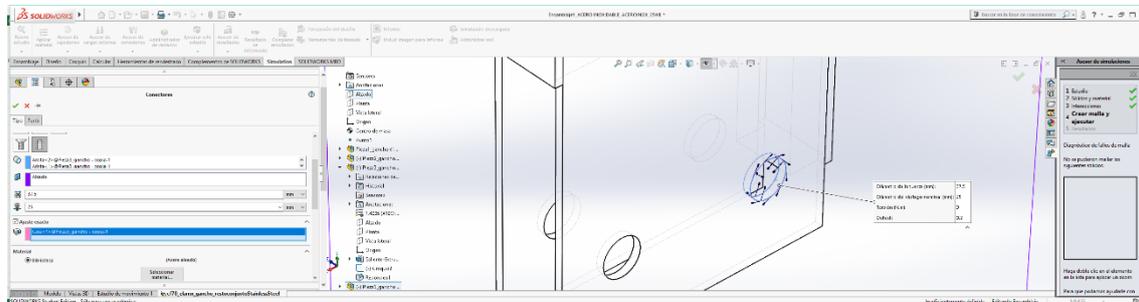


Figura III.61. Contacto bisagra fijo inferior

#### III.6.1.2. Aplicación de materiales.

Para analizar cómo pueden soportar los materiales esta carga se realizará un estudio con cada uno de ellos. Se dividen en dos grupos estos materiales, los compuestos de matriz polimérica (con un comportamiento ortotrópico) y los metálicos con un comportamiento isotrópico.

Los materiales isotrópicos han sido extraídos de la biblioteca de materiales dentro de la opción de simulación de Solidworks, estos a su vez pertenecen al grupo normalizado de

### III. Desarrollo proyecto

materiales DIN. Su estudio es vital para tener una referencia en el posterior estudio de los materiales compuestos de matriz polimérica.

Actualmente en el mercado se comercializan tan solo los materiales metálicos. Ejecutado la simulación con las dimensiones determinadas del gancho se podrá observar si estos pueden soportar la carga.

Tabla III.6. Propiedades isotrópicas de materiales metálicos

PROPIEDAD ISOTRÓPICA	UNIDAD	Acero aleado	Aluminio	Acero inoxidable
Módulo elástico	N/mm <sup>2</sup>	205000	70000	220000
Coefficiente de Poisson	N/D	0.29	0.3897	0.28
Módulo cortante	N/mm <sup>2</sup>	80000	27000	79000
Densidad de masa	kg/m <sup>3</sup>	7850	2780	7700
Límite de tracción	N/mm <sup>2</sup>	820	440	500
Límite de compresión	N/mm <sup>2</sup>			
Límite elástico	N/mm <sup>2</sup>	590	290	260
Coefficiente de expansión térmica	/K	1.1e-05	2.4e-05	1.1e-05
Conductividad térmica	W/(m·K)	14	204	14
Calor específico	J/(kg·K)	440	940	440
Cociente de amortiguamiento del material	N/D			

Donde:

Tabla III.7. Abreviaturas materiales metálicas

Aluminio	<b>Aluminio. 3.1355 (EN-AW-2024)</b>
Acero aleado	<b>Acero aleado 1.6523 (20NiCrMoS2-2)</b>
Acero inoxidable	<b>Acero Inoxidable 1.4003 (XCrNi12)</b>

Tabla comparativa, *Tabla III.6*, de los materiales isotrópicos a emplear, en ella se puede observar que el material que mayor módulo elástico 220000 N/mm<sup>2</sup> lo posee es el acero inoxidable, Acero Inoxidable 1.4003 (XCrNi12), abreviado como acero inoxidable, *Tabla III.7*. El material con mayor límite elástico 590 N/mm<sup>2</sup> es acero aleado, Acero aleado 1.6523 (20NiCrMoS2-2). El mayor módulo cortante es de acero aleado, 80000 N/mm<sup>2</sup>.

### III. Desarrollo proyecto

Los materiales ortotrópicos han sido definidos con anterioridad, son los materiales compuestos con matriz polimérica que contienen un 70% de fibra de vidrio y resina epoxi.

Como se ha comentado, ambos poseen la matriz de acoplamiento nula, son simétricos y poseen el mismo espesor de laminados. La diferencia entre ellos reside en la disposición de los laminados. Uno de ellos adquiere gracias a la disposición de las capas un comportamiento cuasi-isotrópico mientras que el otro no posee este comportamiento debido a que dispone más número de capas en las direcciones ortogonales.

La diferencia en propiedades entre estos modelos hará que la reacción a las cargas sea diferente.

Estos materiales ortotrópicos se definen en la tabla, *Tabla III.5*,

Se observa que las propiedades varían entre ambos materiales por las condiciones antes descritas.

Se han definido los valores que han de introducirse en el modelo de elementos finitos.

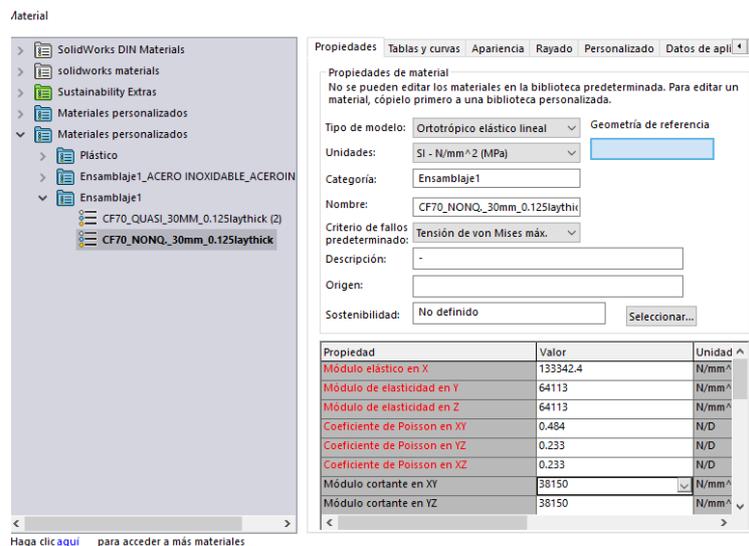


Figura III.62. Ejemplo definición de materiales en Solidworks

Cabe recalcar que este estudio pretende observar como interactúa un material compuesto de matriz polimérica frente a grandes esfuerzos debido a que en el mercado actual no aparecen estos materiales para estas aplicaciones. Para ello nos centraremos en la piza con geometría más compleja. La pieza central del gancho.

### III. Desarrollo proyecto

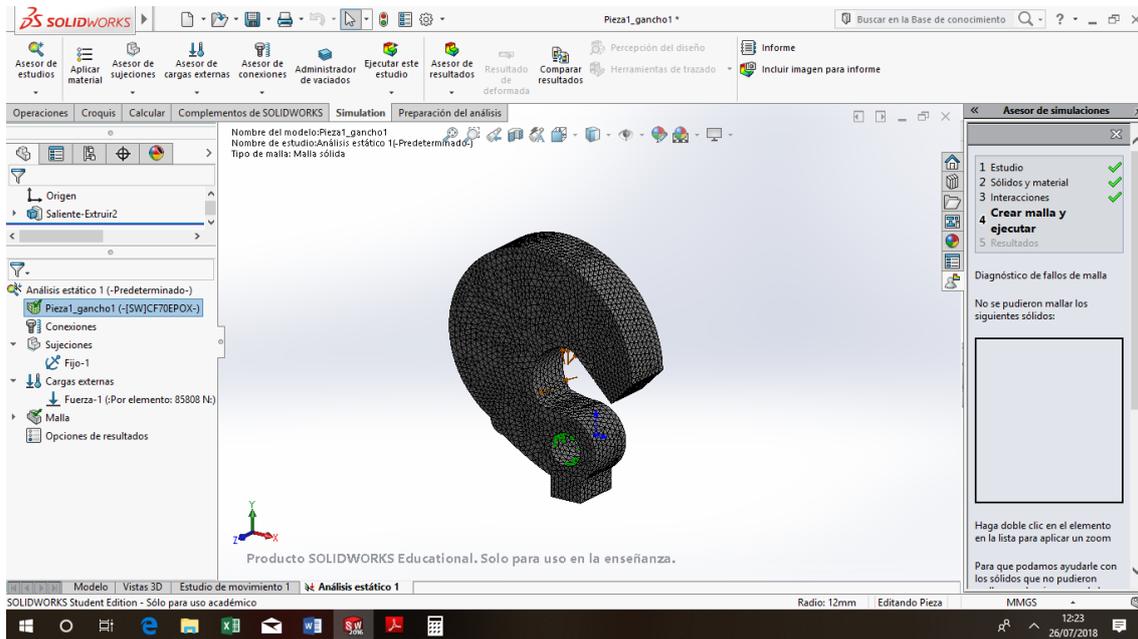


Figura III.63. Pieza central gancho objeto de análisis

Los resultados del estudio pueden recogerse en el programa en un documento que genera en el apartado de simulaciones llamado informe, en este documento se recogen todos los valores obtenidos de la simulación, las tensiones de Von Mises, los desplazamientos unitarios, los desplazamientos equivalentes, las deformaciones unitarias y el factor de seguridad. Este último ha sido dividido o duplicado para observar el punto más desfavorable del ensamblaje y además observar el punto más desfavorable en la pieza de interés, la pieza central del gancho.

#### III.6.1.3. Mallado de modelo FEM

Del informe generado por Solidworks se observa que el mallado se ha realizado en cada pieza independientemente. Siendo un mallado más fino aquel en el que las piezas poseen concavidades o geometrías con detalles más pequeños.

### III. Desarrollo proyecto

#### Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		<b>Entidades:</b> 1 Sólido(s) <b>Unidades:</b> mm <b>Tamaño:</b> 5.38931 <b>Coficiente:</b> 1.5

Figura III.64. Extracción datos sobre mallado modelo FEM

Control-4		<b>Entidades:</b> 1 Sólido(s) <b>Unidades:</b> mm <b>Tamaño:</b> 3.54366 <b>Coficiente:</b> 1.5
-----------	--	--

Figura III.65. Mallado de cara del gancho placa lateral.

Se puede observar que el mallado de la placa lateral del gancho, *Figura III.65* conlleva un tamaño más pequeño que la pieza del objeto de estudio, *Figura III.64*.

#### III.6.2. Análisis de estados tensionales, deformaciones y trazado de factor de seguridad.

Una vez se han simulado los estudios con los distintos materiales se analizará el resultado en cada uno de ellos.

Se pasará a mostrar brevemente los resultados originados en el estudio con los materiales isotrópicos (aluminio, acero inoxidable, acero aleado) y los materiales ortotrópicos (material compuesto CF70, material compuesto CF70 cuasi-isotrópico).

El estudio de estados tensionales es realizado con el modelo de “Tensión de Von Mises”, donde las unidades vienen dadas en MPa (N/mm<sup>2</sup>).

El factor de seguridad viene calculado por el “Criterio máxima tensión de Von Mises”. Este criterio marca que una pieza falla cuando la tensión soportada en la pieza supera el

### III. Desarrollo proyecto

límite elástico de la misma, debido a que se produce una deformación irreversible o ruptura. Cuando el FDS es menor que uno se produce la ruptura o la deformación permanente.

#### III.6.2.1. ALUMINIO

Se exponen los resultados de las simulaciones con el material Aluminio.

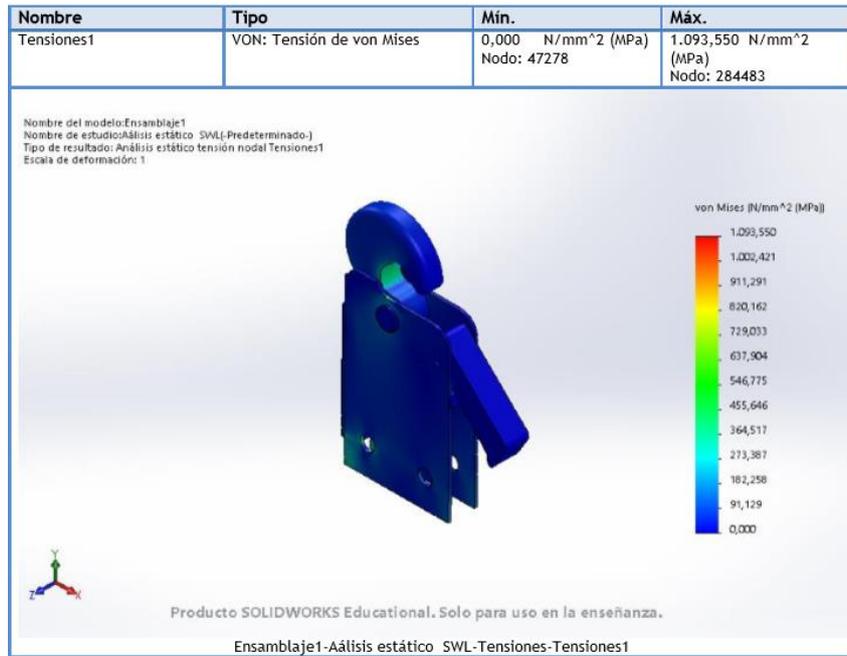


Figura III.66. Tensiones generadas modelo aluminio

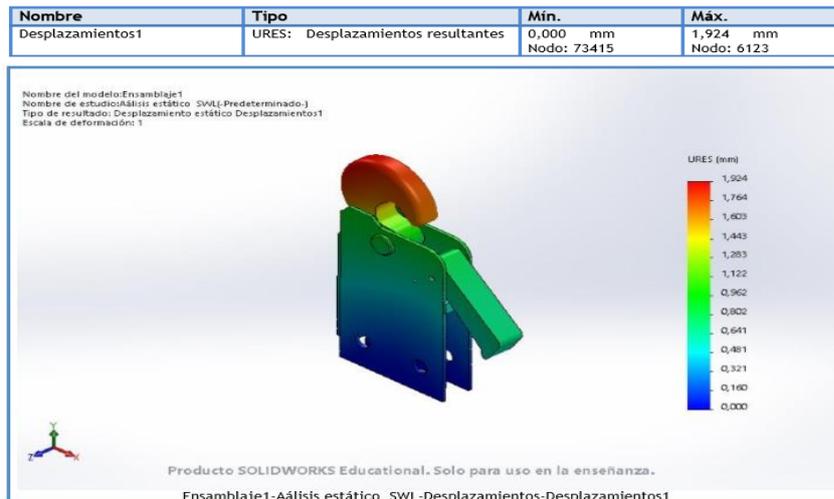


Figura III.67. Desplazamientos aluminio

### III. Desarrollo proyecto

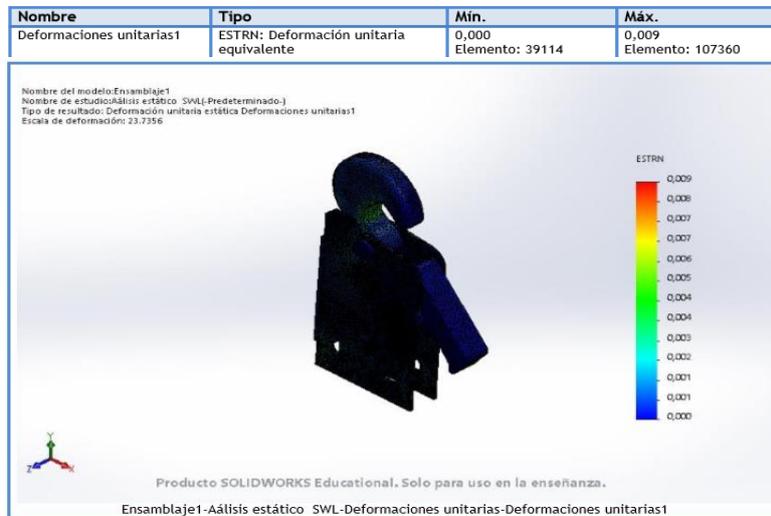


Figura III.68. Deformaciones unitarias aluminio

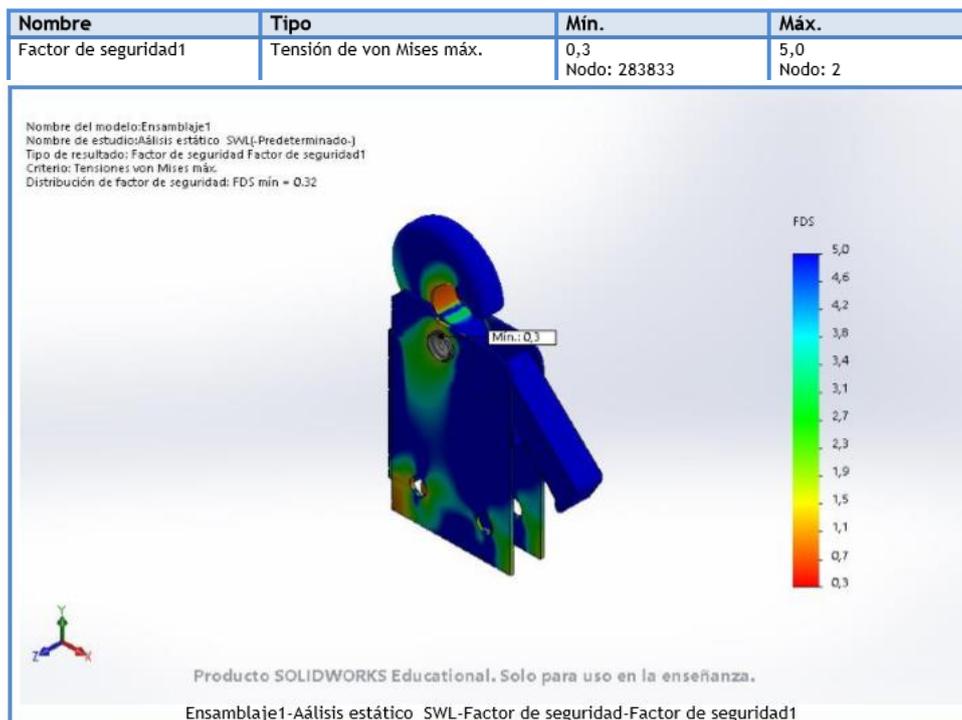


Figura III.69. Factor de seguridad de conjunto de aluminio. Valor mínimo 0,3

El factor de seguridad del conjunto, *Figura III.69*, revela que el punto más crítico del ensamblaje se encuentra en el pasador de la pieza central objeto de estudio. Esta conexión resulta ser la más crítica del conjunto por lo que se recomienda elegir un pasador, tornillo o perno que aguante las tensiones solicitadas.

### III. Desarrollo proyecto

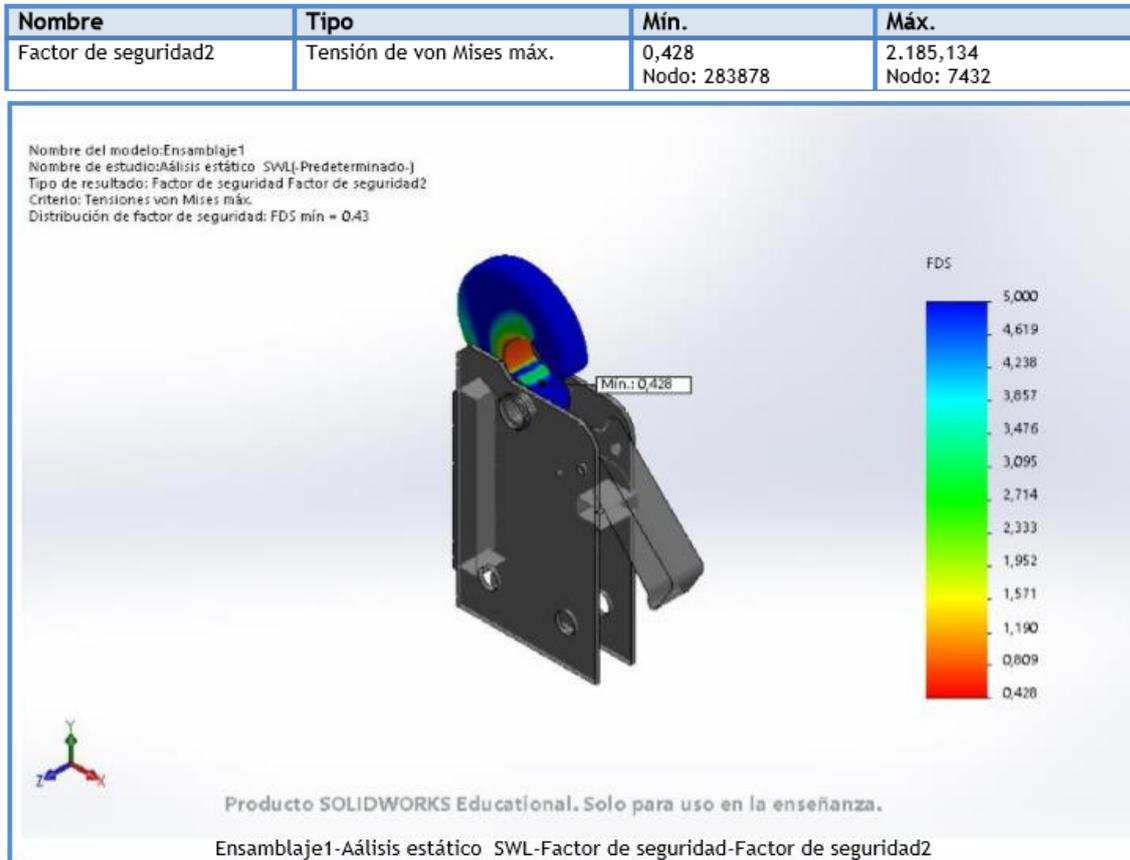


Figura III.70. Trazado factor de seguridad pieza a analizar, donde el valor mínimo es 0,428

Gracias a este estudio se puede prever que un ensamblaje con material de Aluminio DIN 3.1355 (EN-AW-2024) no soportaría las tensiones y adquiriría una deformación permanente o ruptura de la pieza. En este segundo trazado, *Figura III.70*, se observa como la pieza central del gancho, no alcanza el factor de seguridad solicitado igual a 1 para un sobredimensionamiento de la carga de 2,5 veces superior a la carga máxima de trabajo.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.6.2.2. ACERO INOXIDABLE

A continuación se expone los resultados del análisis del acero inoxidable, Acero inoxidable DIN 1.4003 (XCrNi12).

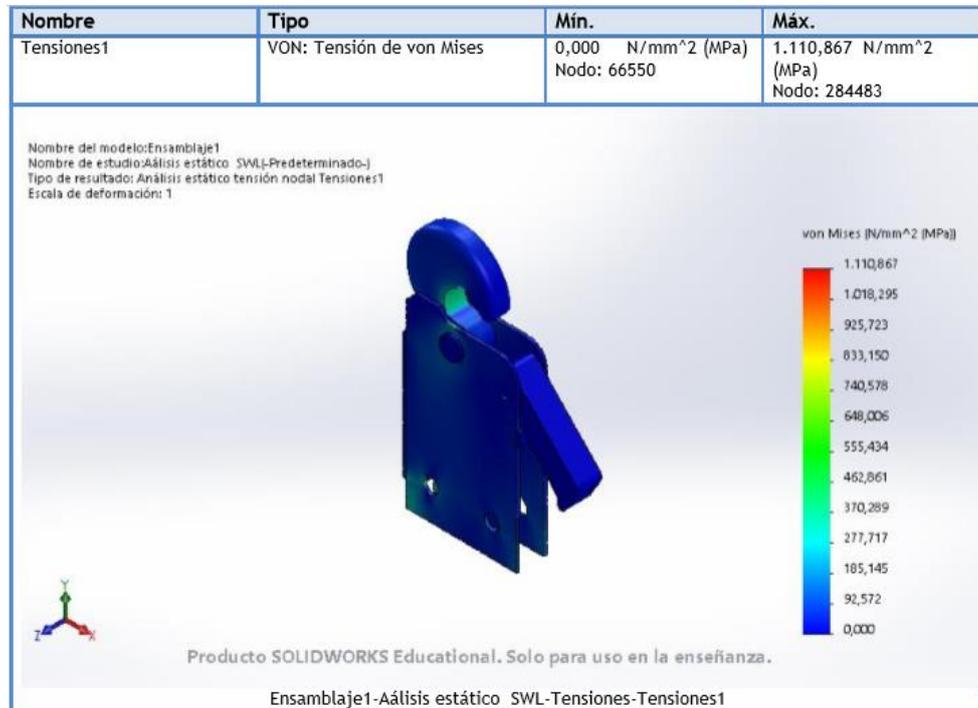


Figura III.71. Tensiones Von Mises, pieza acero inoxidable

### III. Desarrollo proyecto

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0,000 Elemento: 38928	0,005 Elemento: 180402



Figura III.73 Deformaciones unitarias acero inoxidable

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	0,2 Nodo: 283833	5,0 Nodo: 2

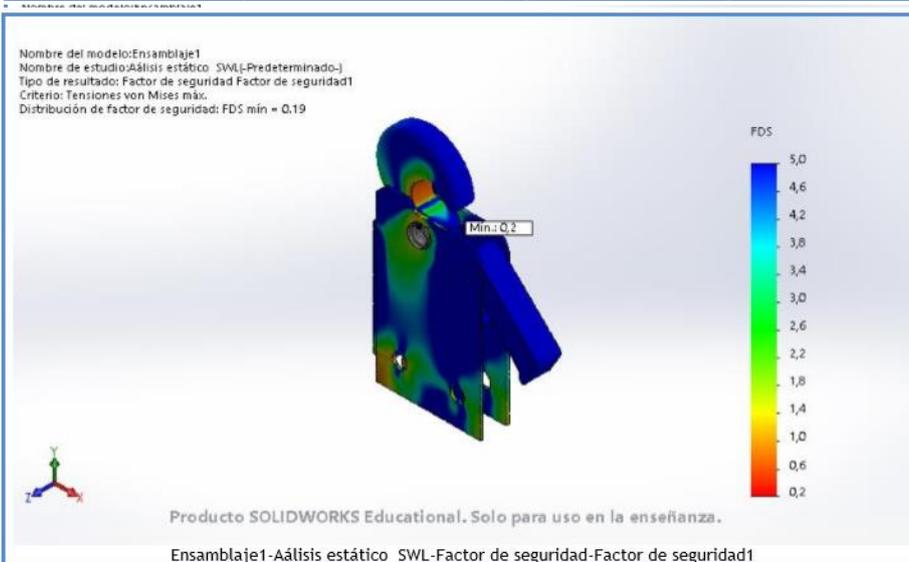


Figura III.74. Factor de seguridad 1, acero inoxidable

### III. Desarrollo proyecto

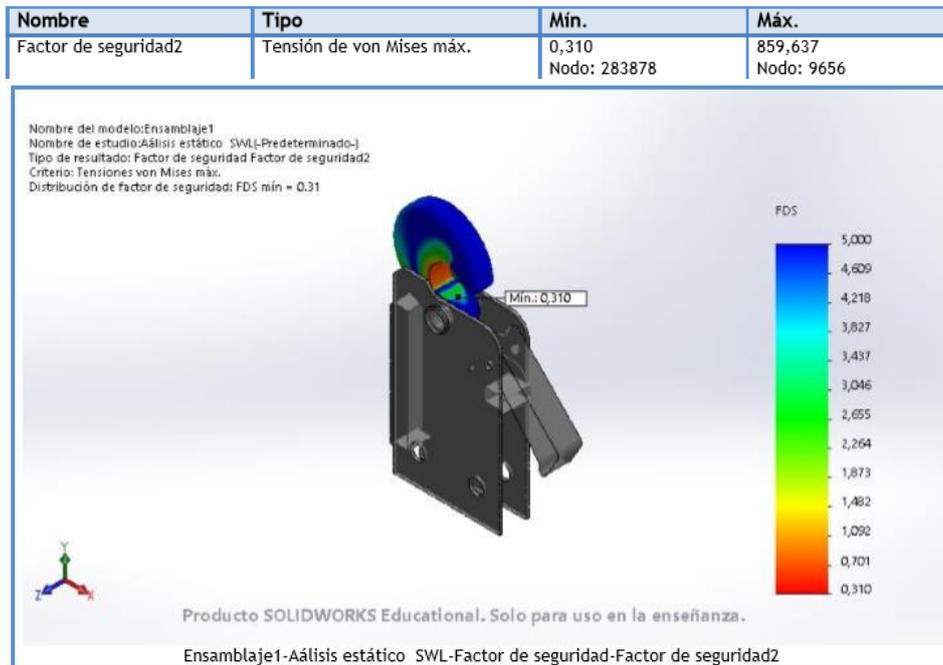


Figura III.75. Factor de seguridad 2, pieza de acero inoxidable

Al igual que en el caso anterior de observa, *Figura III. 73*, *Figura III.74*, que tanto el conjunto como la pieza central del gancho no soportan las tensiones generadas en el estudio, *Figura III.71*.

En este caso se puede observar como el acero inoxidable, Acero Inoxidable DIN 1.4003 (XCrNi12), no soporta las tensiones generadas por la aplicación de la carga con 85808N. Se refleja en un FDS de 0,310, *Figura III.72*.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.6.2.3. ACERO ALEADO

En este apartado se realizará un estudio con carga 85808(N) sobre el ensamblaje fabricado en acero aleado DIN 1.6523 (20NiCrMoS2-2).

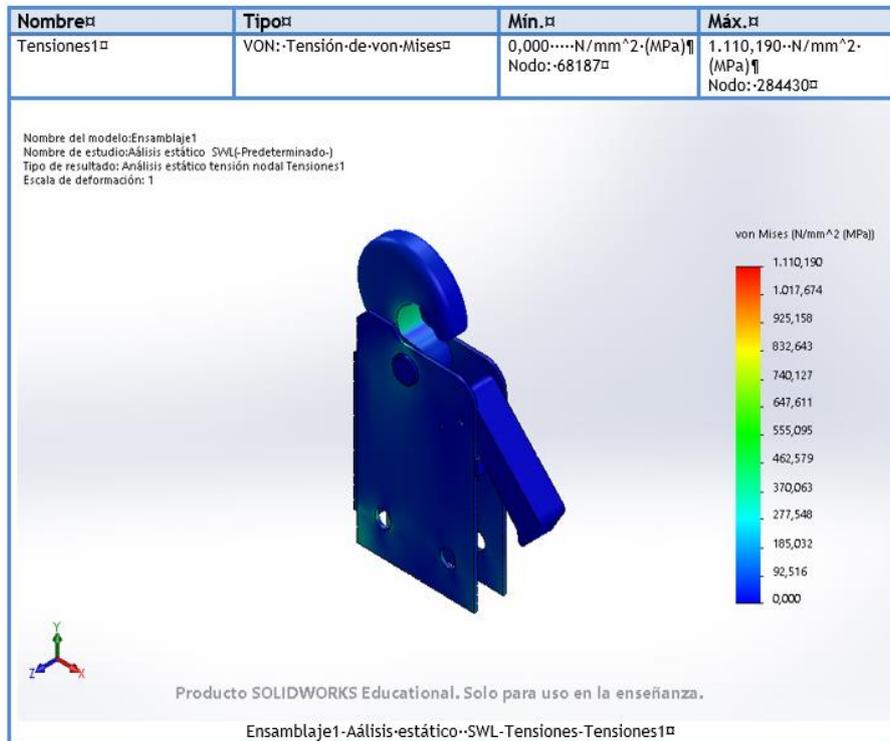


Figura III.76. Tensiones acero aleado

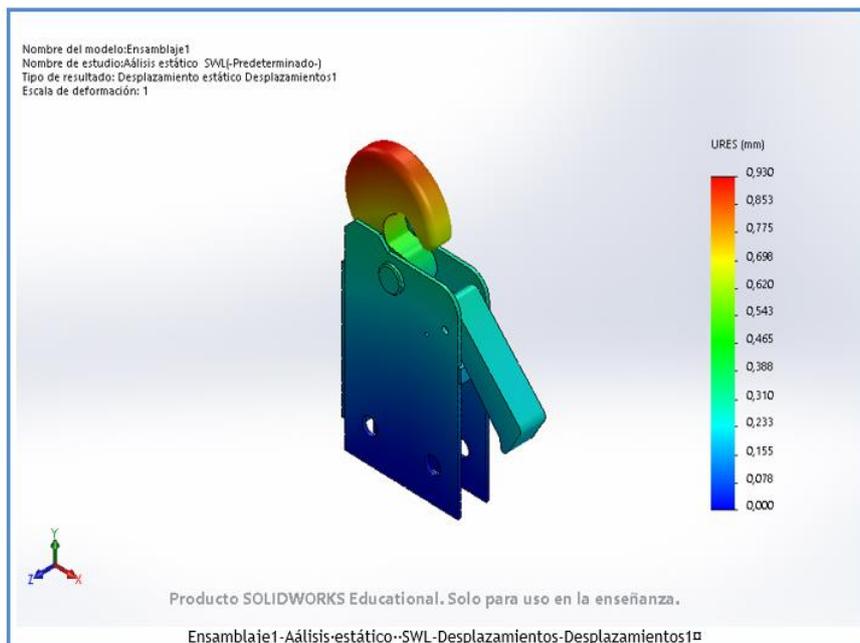


Figura III.77 Desplazamientos acero aleado

### III. Desarrollo proyecto

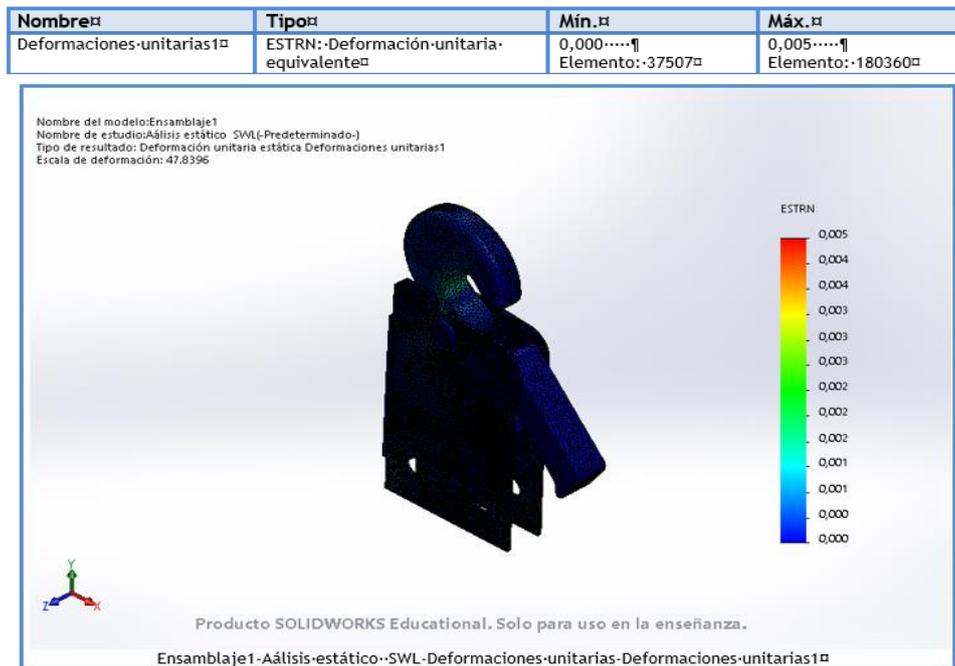


Figura III.78. Deformaciones unitarias acero aleado

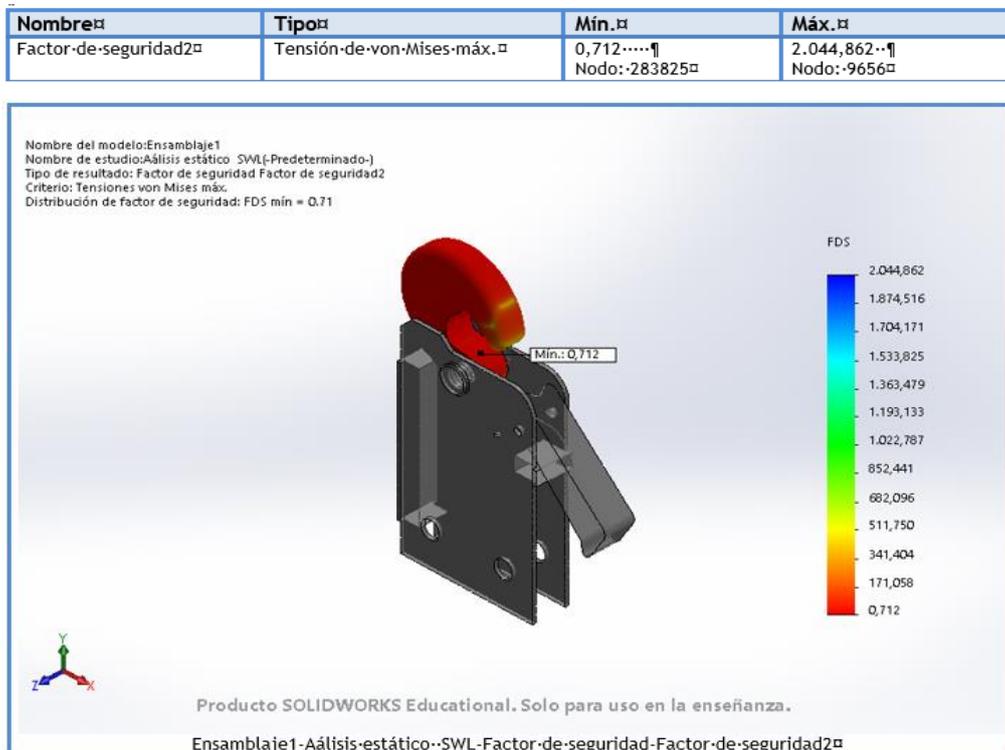


Figura III.79. Factor de seguridad 2, acero aleado

Con este estudio se determina que las tensiones generadas en el ensayo, *Figura III.76*, son suficientes para que el modelo no resista las tensiones, esto se refleja en el FDS de la

### **III. Desarrollo proyecto**

---

pieza central del gancho, *Figura III.79*. Obteniendo un factor de seguridad de 0,712.

## III. Desarrollo proyecto

### III.6.2.4. PLANO DE REFERENCIA SIMULACIÓN MATERIAL ORTOTRÓPICO

Antes de comenzar con el estudio de los modelos ortotrópicos de Solidworks, es decir, los materiales compuestos, es necesario definir lo que sería el plano de referencia al que van ligadas las propiedades del laminado. La disposición del laminado en uno de los tres planos principales del espacio otorga diferentes respuestas frente a la acción de la carga.

Existen tres posibilidades:

- ALZADO, pieza 1, pieza central del gancho
- VISTA LATERAL, pieza 1, pieza central del gancho
- PLANTA, pieza 1, pieza central del gancho

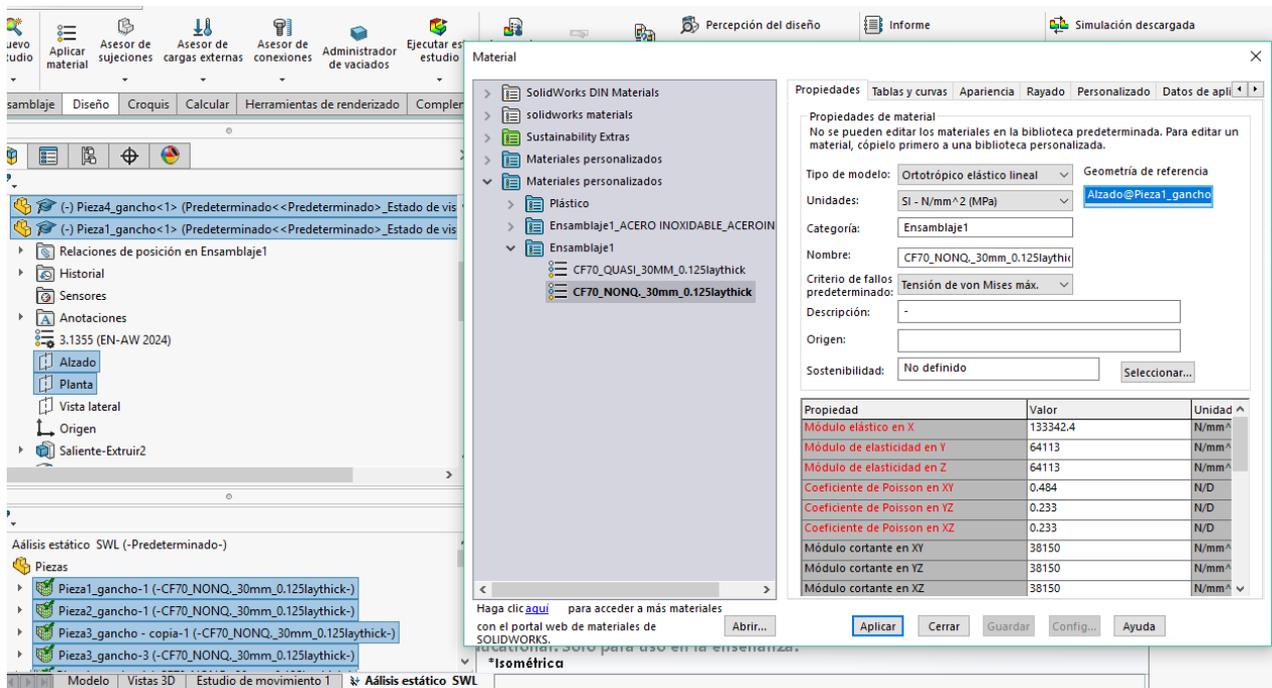


Figura III.80. Selección plano de referencia para cálculo de modelo ortotrópico

Los modelos representados a continuación son calculados marcando el plano de referencia del alzado, *Figura III.80*. La diferencia entre los tres planos no es reseñable debido a la distribución simétrica de los laminados, la diferencia frente a una carga mayor es de (+-0.01) en el segundo trazado del factor de seguridad. Por lo que el estudio se ejecutará con la selección de alzado como plano de referencia.

Además, el plano de referencia va ligado al espesor de la pieza por lo que en el plano alzado, 35mm de espesor se podría usar este laminado mientras que en otro plano, vista

### **III. Desarrollo proyecto**

---

lateral por ejemplo, tendría que definirse un laminado con espesor igual al ancho de la pieza.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.6.2.5. MATERIAL COMPUESTO CF 70 CUASI-ISOTRÓPICO

En este capítulo se analizará el material compuesto diseñado:

$[0_{20}/15_{10}/30_{10}/45_{10}/60_{10}/75_{10}/90_{20}/-75_{10}/-60_{10}/-45_{10}/-30_{10}/-15_{10}]_s$

Este material presenta un comportamiento anisotrópico en el gráfico Polar Chart, *Figura III.48*, pero cuasi-isotrópico en sus constantes ingenieriles, *Tabla III.3*.

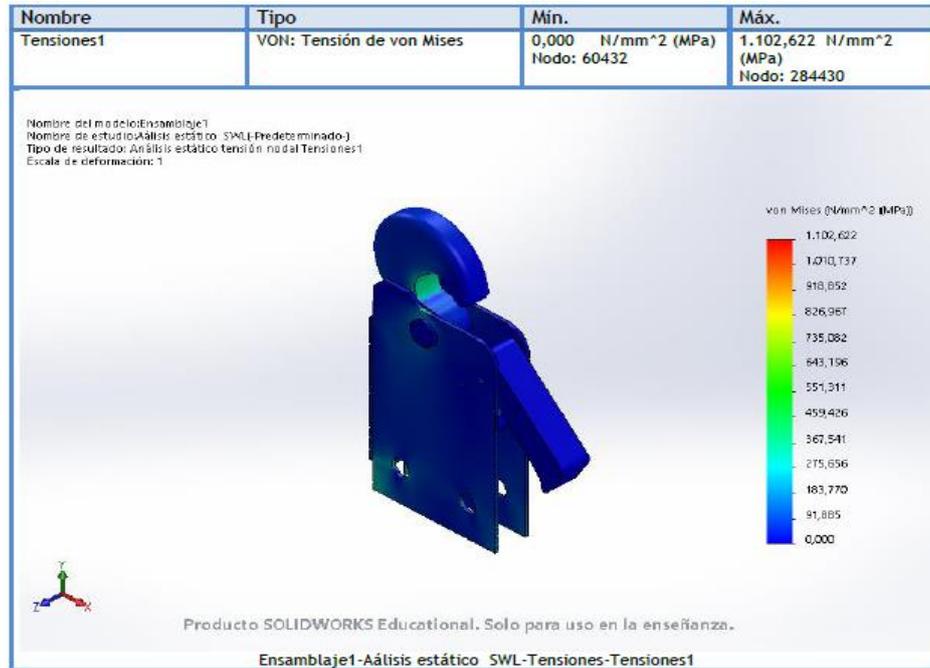


Figura III.80. Tensiones CF70 cuasi-isotrópico

### III. Desarrollo proyecto

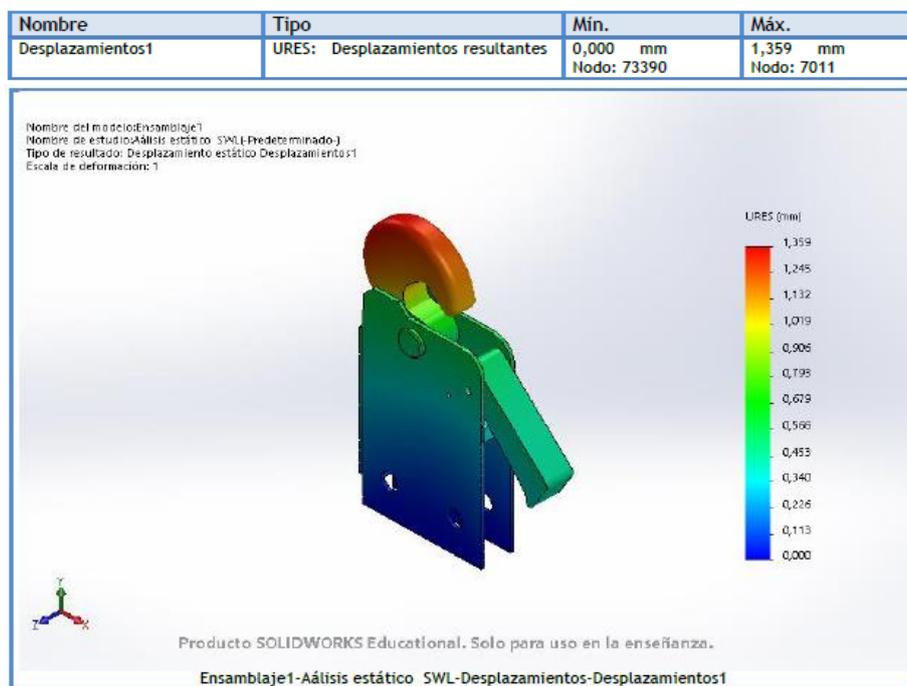


Figura III.81. Desplazamientos CF70 cuasi-isotrópicos

### III. Desarrollo proyecto

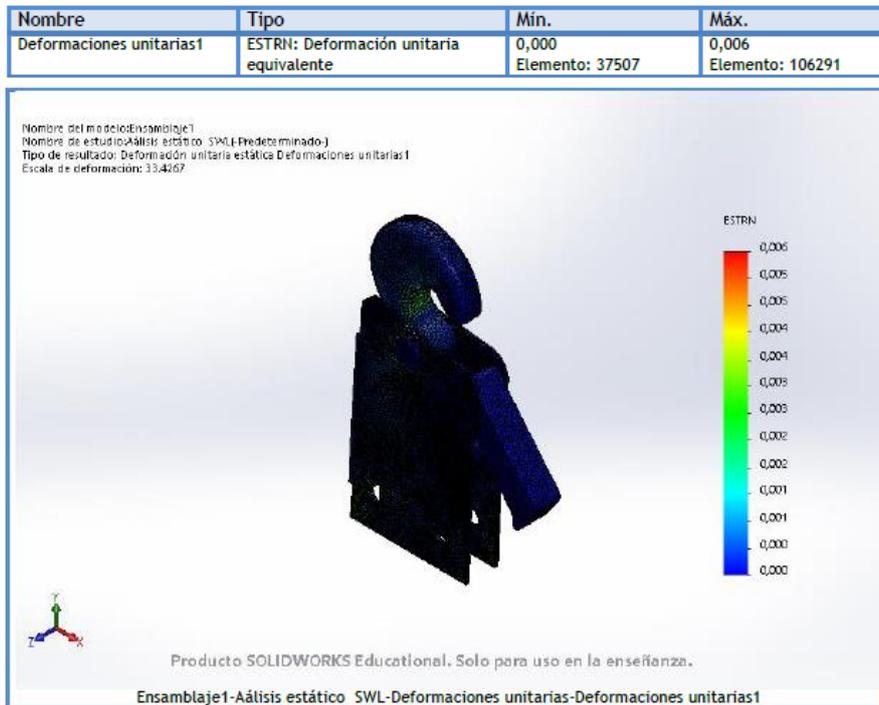


Figura III.82. Deformaciones unitarias CF70 cuasi-isotrópico

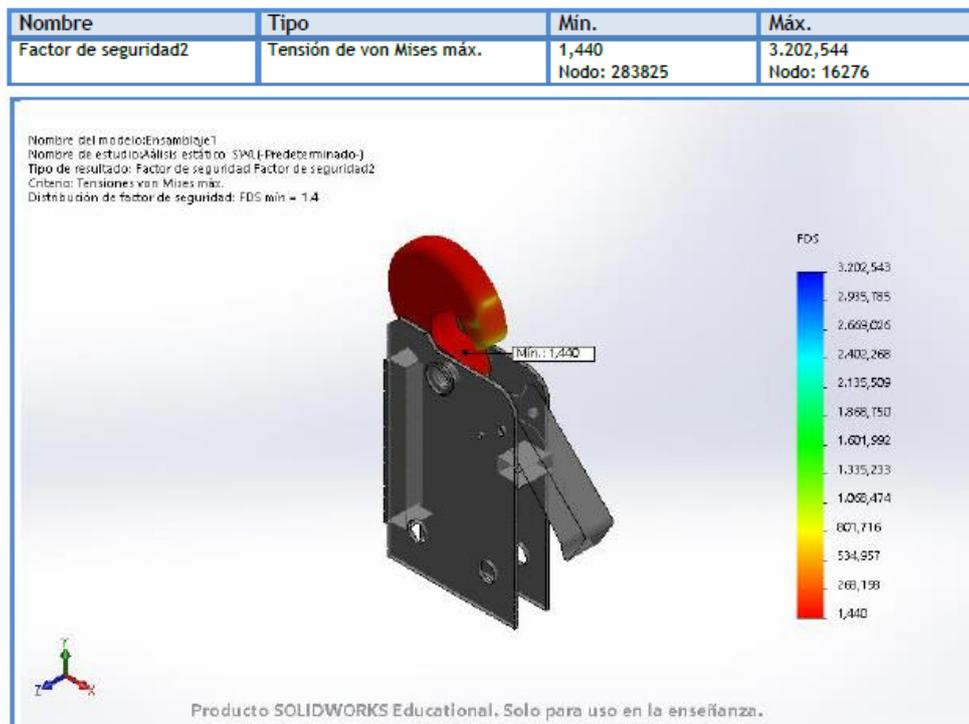


Figura III.83. Factor de seguridad 2, CF70 cuasi-isotrópico

### III. Desarrollo proyecto

Se observa que con este material la pieza diseñada, gancho pieza central soporta las tensiones. El factor de seguridad una vez aplicada la fuerza (Figura III.80) es de 1,440, Figura III.83. Por lo que se comprueba mediante simulación que el material está preparado para soportar las tensiones asociadas a la aplicación de la carga 2,5 veces mayor a la carga máxima de trabajo del gancho.

#### III.6.2.6. MATERIAL COMPUESTO ANISOTRÓPICO [0<sub>35</sub>/30<sub>35</sub>/90<sub>35</sub>/-30<sub>35</sub>]<sub>s</sub>

En este capítulo se analizará el material compuesto diseñado:

[0<sub>35</sub>/30<sub>35</sub>/90<sub>35</sub>/-30<sub>35</sub>]<sub>s</sub>

Este material presenta un comportamiento ortotrópico, Figura III.49, Tabla III.4, los resultados de la simulación son representados a continuación:

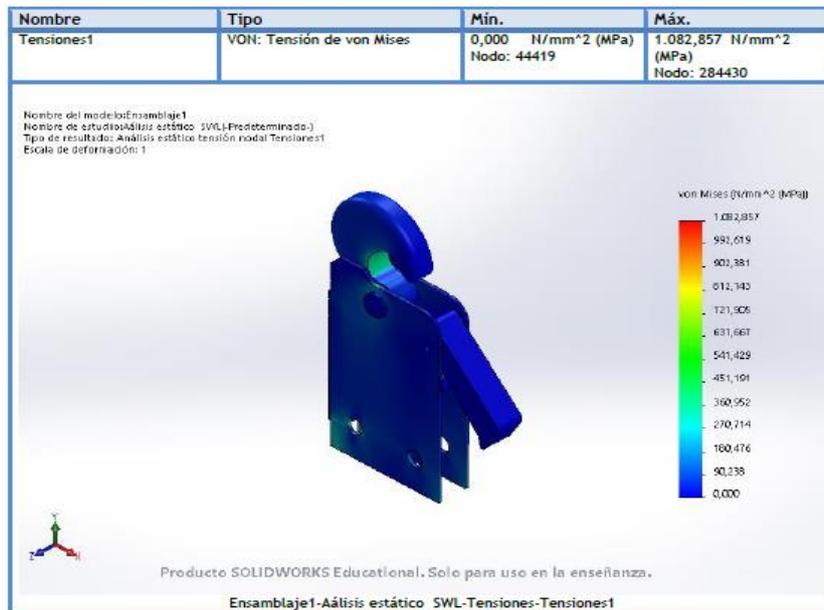


Figura III.84. Tensiones CF70 ortotrópico

### III. Desarrollo proyecto

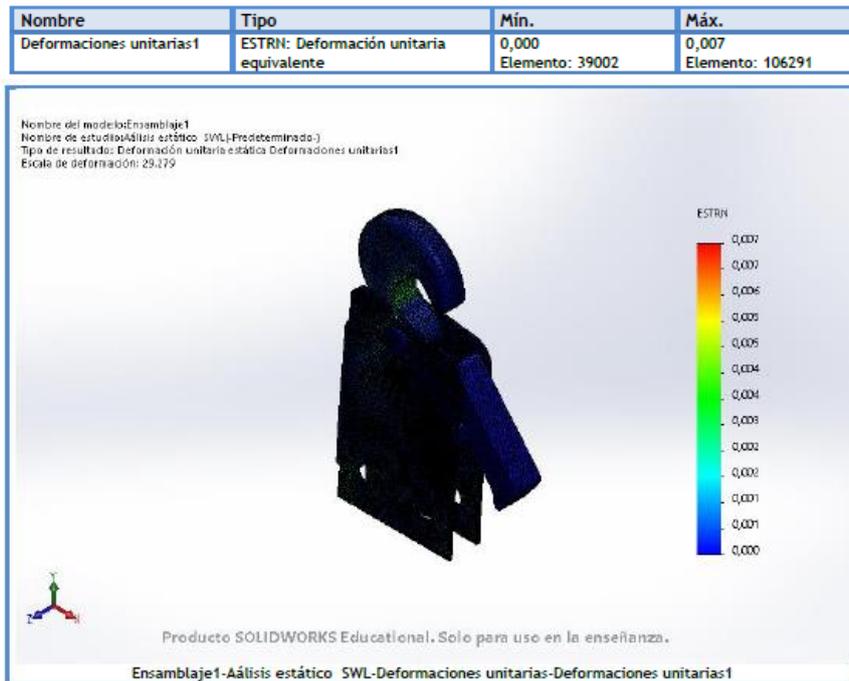


Figura III.86. Deformaciones CF70 ortotrópico

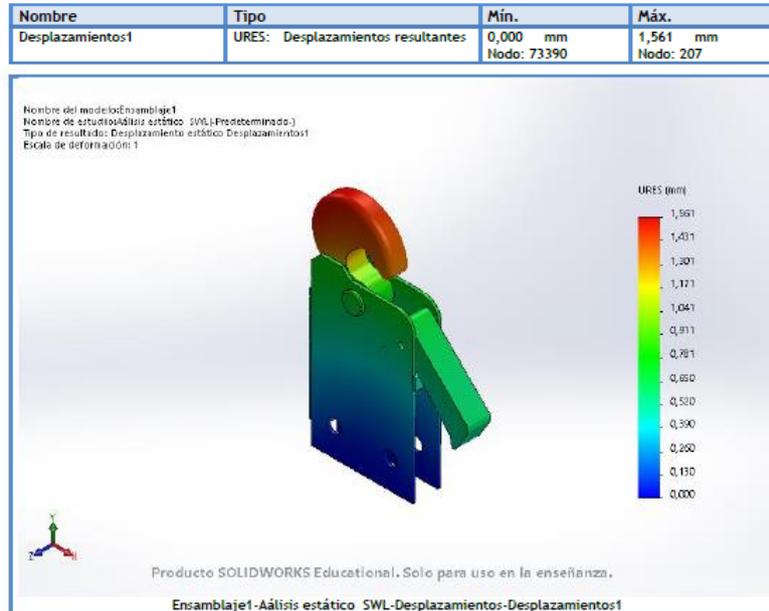


Figura III.85. Desplazamientos CF70 ortotrópico

### III. Desarrollo proyecto

Se observa que con las tensiones generadas en el proceso, *Figura III.84*, la pieza diseñada, gancho pieza central soporta las tensiones. El factor de seguridad, *Figura III.87*, una vez aplicada la fuerza es de 1,516. Por lo que mediante la simulación se obtiene el resultado en el cual el laminado anisotrópico obtiene una resistencia suficiente para soportar el ensayo, en el que se aplica una fuerza 2,5 veces superior a la fuerza máxima de trabajo.

#### III.6.2.7. CONCLUSIONES FRENTE A FACTOR DE SEGURIDAD

En el estudio realizado un modelo cumple los requisitos de resistencia cuando el trazado de factor de seguridad es igual o superior a 1. Esto se debe a que la norma naval define el peso que debe soportar el dispositivo de liberación de botes de rescate (gancho), pero no determina el factor de seguridad según comprende la teoría de Von Mises. Por el contrario determina la carga que debe soportar, luego cuando con una carga superior “n” veces a SWL (en el estudio realizado, 2,5 veces superior) es capaz de mantener su geometría sin deformarse de forma continua o romperse el gancho habrá cumplido con los requerimientos de la norma de la directiva europea marítima (MED).

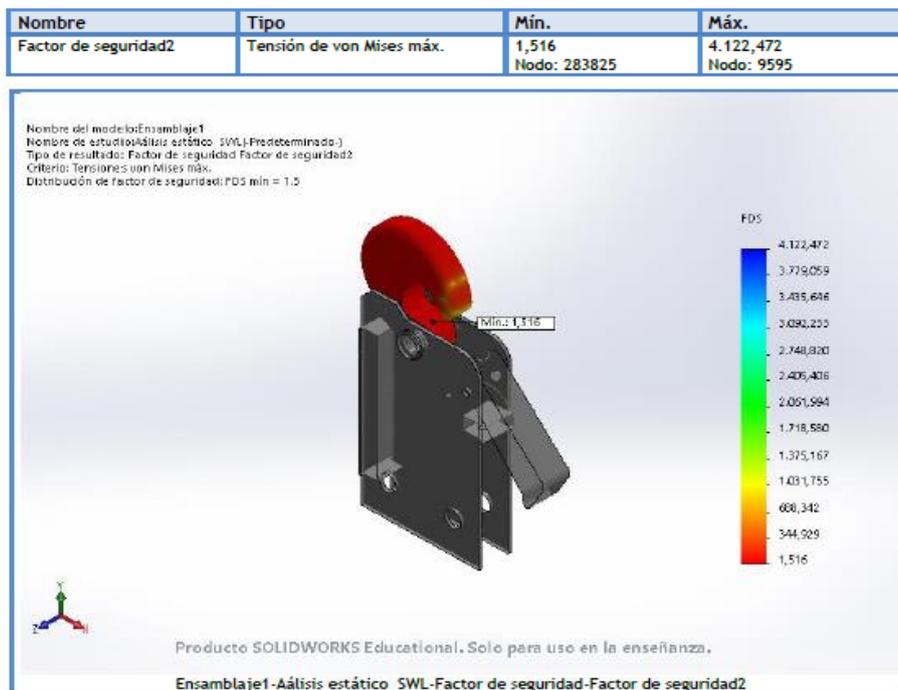


Figura III.87. Factor de seguridad 2, CF70 ortotrópico

### III. Desarrollo proyecto

---

Tabla III.8. Comparativa de resultados frente a la simulación con una carga de 85808(N)

MATERIAL	TENSIÓN MÁXIMA VON MISES (MPa)	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMO(mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁXIMA	FACTOR DE SEGURIDAD 2 MÍNIMO	PESO (kg)
ALUMINIO	1093	1,924	0,009	0,428	4,55
ACERO INOXIDABLE	1110	0,894	0,005	0,310	12,13
ACERO ALEADO	1110	0,930	0,005	0,712	12,36
CF70 CUASI-ISOTRÓPICO	1102	1,359	0,006	1,440	2,73
CF70 ANISOTRÓPICO	1082	1,561	0,007	1,516	2,73

Donde se puede observar que tan solo los materiales compuestos obtienen un factor de seguridad superior a 1,000, además poseen el menor peso aunque no es relevante para esta aplicación.

Queda demostrado que el direccionamiento para crear un laminado anisotrópico devuelve mejores resultados frente a la carga que el modelo cuasi-isotrópico.

La elección para el modelo será el modelo anisotrópico ya que además de disponer mejor factor de seguridad frente al resto de materiales, *Tabla III.8*, a la hora de ser fabricado presenta un menor tiempo de disposición de capas en el molde debido a que tiene menos ángulos que el laminado cuasi-isotrópico.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### III. Desarrollo proyecto

## III.7. DISEÑO FINAL.

Debido a los resultados obtenidos en la simulación la elección del material será la opción del material compuesto “Laminado anisotrópico  $[0_{35}/30_{35}/90_{35}/-30_{35}]_s$ ”, ya que se ha demostrado que es el material que mejor soporta las tensiones, *Tabla III.8*.

Este material presenta las propiedades definidas en *Tabla III.4*. Por qué mantiene un comportamiento mejor se debe que las capas con ángulos bajos que componen el laminado, *Figura III.49*, logran que las fibras trabajen en mayor medida a tracción que en el “Laminado cuasi-istrópico”, *Figura III.48*, en el cual muchas capas de laminados se ven sometidas a esfuerzos de compresión, esfuerzos en los cuales una fibra no tiene buen comportamiento, *Tabla III.3*.

Tabla III.9. Resultados del material seleccionado al ensayo

MATERIAL	TENSIÓN MÁXIMA VON MISES (MPa)	DESPLAZAMIENTOS MÁXIMO(mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA MÁXIMA	FACTOR DE SEGURIDAD 2 MÍNIMO	PESO (kg)
CF70 CUASI-ISOTRÓPICO	1100	1,450	0,006	1,478	2,73

La pieza final diseñada posee las geometrías dadas en los planos. La pieza central del gancho, *Figura III.88*, *Figura III.89*, resiste las tensiones con un espesor de 35mm.

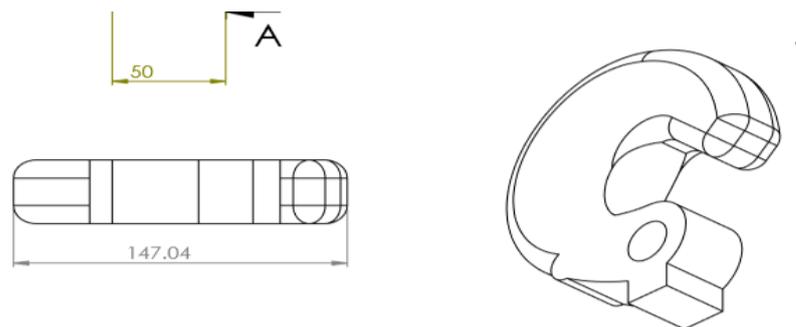


Figura III.88. Vista pieza central gancho

### III. Desarrollo proyecto

El material empleado para su fabricación es el material compuesto de matriz polimérica diseñado "Laminado anisotrópico  $[0_{35}/30_{35}/90_{35}/-30_{35}]_s$ ".

#### III.7.1. RENDERIZADOS DEL ENSAMBLAJE

Utilizando el programa de renderizados Keyshot 6, se puede obtener una visión más

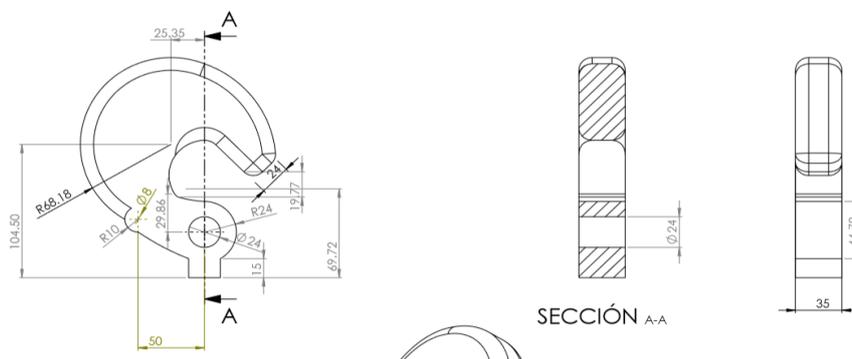


Figura III. 89. Pieza central gancho medidas

realista del gancho diseñado. En este software se introduce el conjunto de ensamblaje realizado en Solidworks y se traspasa al software Keyshot 6. Una vez ahí el programa otorga la posibilidad de variar los entornos en los que se encuentra el conjunto. Se puede asignar condiciones de iluminación, condiciones de acabado superficial. Gracias a esto se pueden obtener varias representaciones en alta calidad de cómo se vería el elemento en la realidad.

A continuación se mostrarán varios de estos renderizados en diferentes entornos, *Figura III.90, Figura III.91, Figura III.92, Figura III.93*, a fin de apreciar de una forma creativa cómo se vería el gancho en la realidad.

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.90. Renderizado Modelo nave industrial

### III. Desarrollo proyecto

---

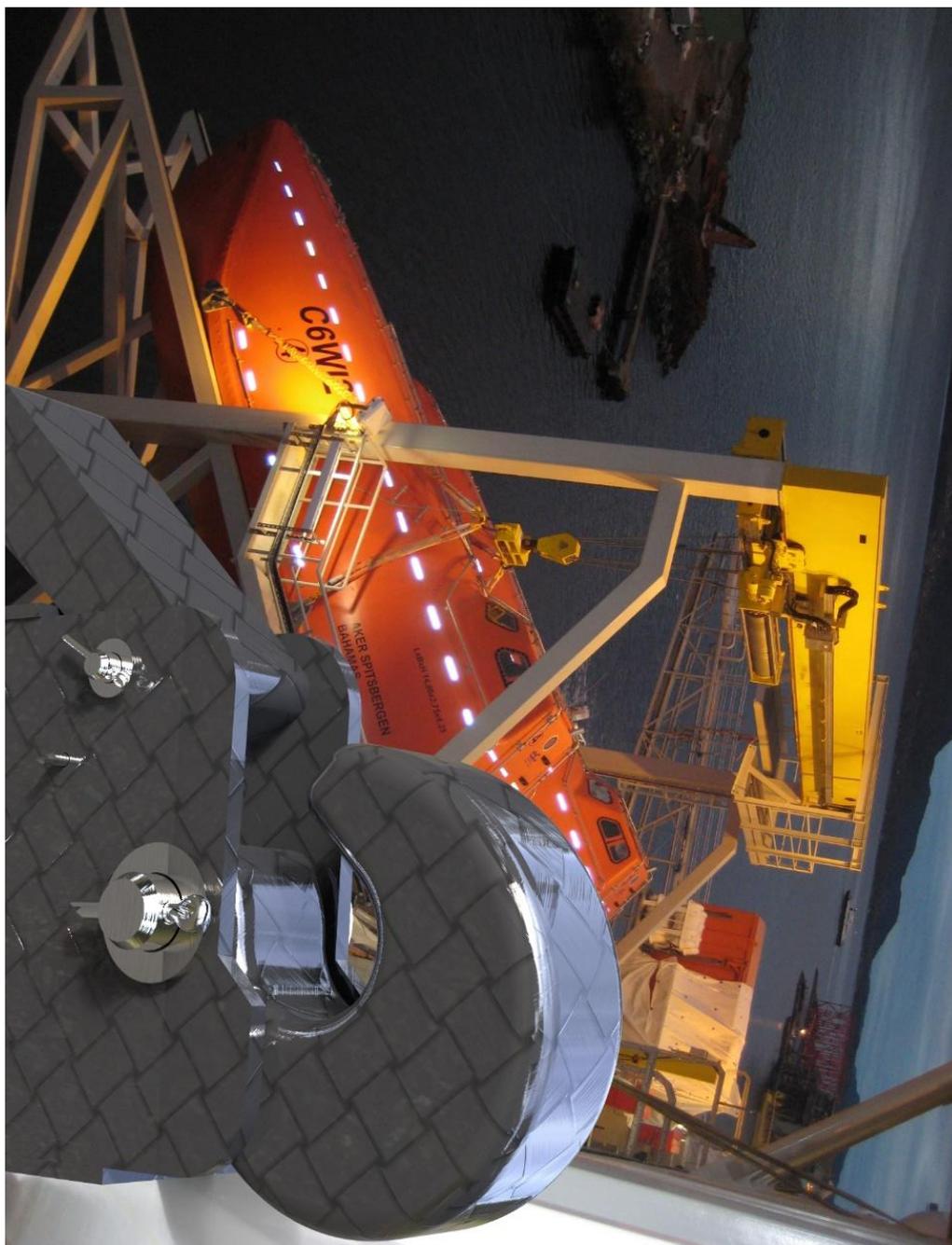


Figura III.91. Renderizado modelo Drillship

### III. Desarrollo proyecto

---

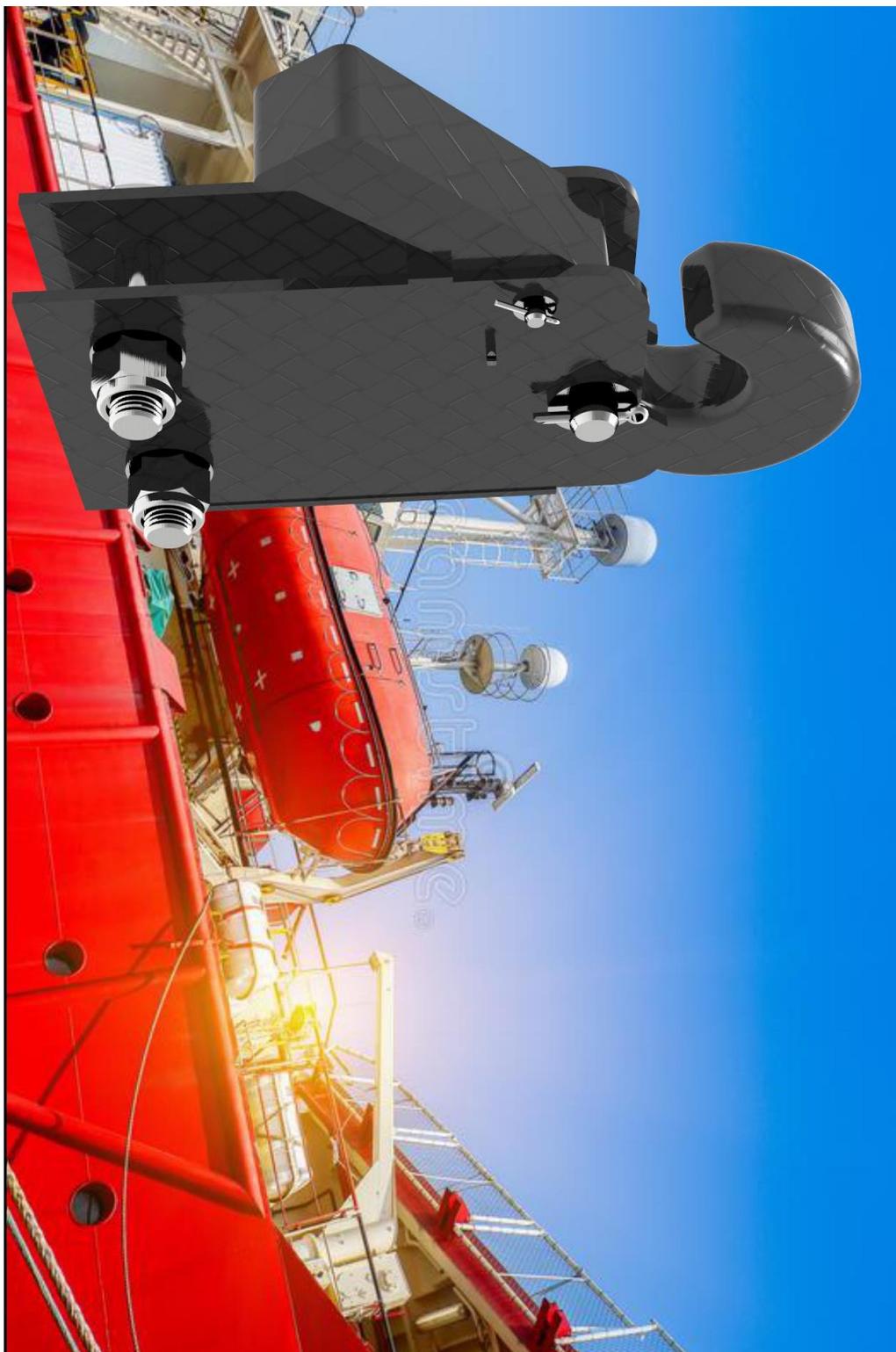


Figura III.92. Renderizado modelo flotante

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.93. Renderizado narco salvamento de fondo

### **III. Desarrollo proyecto**

---

A continuación en el siguiente capítulo se procede a definir las condiciones y metodologías de fabricación para el conjunto, comparándose así varios modelos y finalizando con un estudio económico del proceso.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### III. Desarrollo proyecto

---

## III.8. FABRICACIÓN.

Existen varias posibilidades a la hora de conformar una pieza de material compuesto. Entre los procesos más comunes se encuentran

- Moldeo por colocación manual
- Filament Winding
- Proceso curado en autoclave
- Sheet moulding compounds (SMC)
- Resine Transfer Moulding

Para determinar qué proceso elegir se utilizará una matriz de selección en la cual se puntúan del 1 al 10, *Tabla III.10*, los distintos procesos en función de:

- Costo inicial de maquinaria, donde un 10 significa que el costo es bajo y un 0 implica que el costo es muy alto.
- Procesabilidad de Pieza, donde un 10 implica que se puede procesar excelente y un 0 implica que no se puede procesar
- Calidad de pieza, donde un 10 implica que la calidad de la pieza es excelente y un 0 implica que la pieza tiene muy mala calidad

Tabla III.10. Matriz de selección proceso de conformado

PROCESO CONFORMADO	COSTO INICIAL MAQUINARIA	PROCESABILIDAD DE FORMA PIEZA	CALIDAD PIEZA	Sumatorio Puntuación
Moldeo por colocación manual	9	8	5	<b>22</b>
Filament Winding	2	2	8	<b>12</b>
Proceso curado en autoclave	1	10	9	<b>20</b>
Sheet moulding compounds	1	8	9	<b>18</b>
Resine Transfer Moulding	7	9	7	<b>23</b>

Se apostará por una inversión en bajo costo por lo que comparando procesos de fabricación se determina que el proceso manual por infusión es la resine transfer moulding. (RTM).

### III.8.1. RTM (Resine transfer moulding)

### III. Desarrollo proyecto

Para la fabricación de piezas en este elemento es necesario adecuar un molde para cada tipo de pieza ya que cada molde otorga la geometría correspondiente a la pieza.

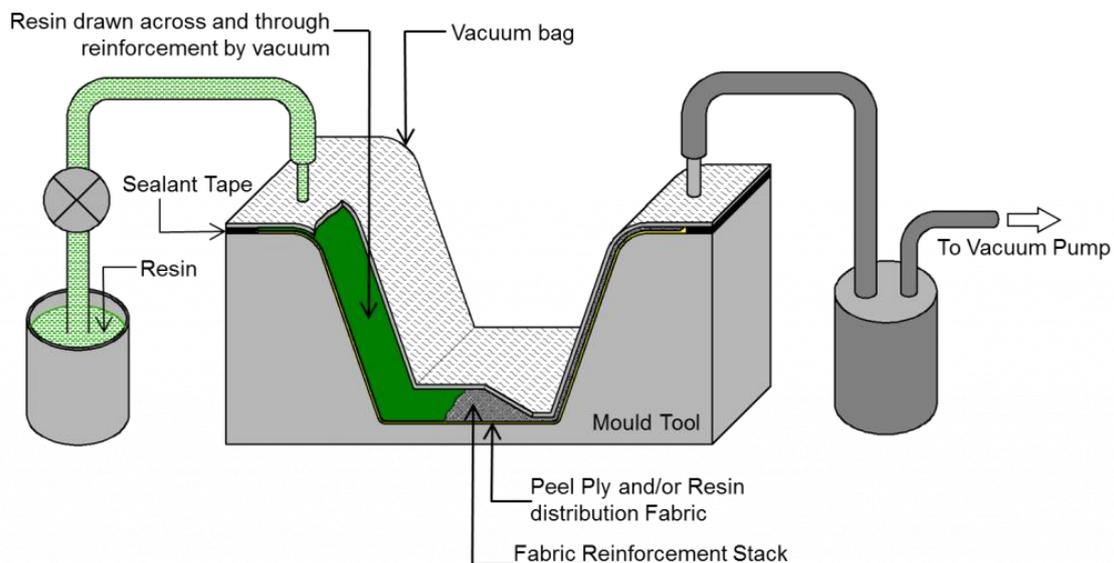


Figura III.94. Diagrama Resine Transfer Moulding

En la figura se explica cómo se realiza el proceso gráficamente, en el que la resina fluye gracias al vacío a través del molde. Este molde se encuentra sellado para que un dispositivo de aplicación de presión, pudiera ser un pistón hidráulico, aplique el vacío en la cavidad del molde. Éste a su vez al encontrarse conectado con el depósito sellado en el que se deposita la resina, impulsa a la resina a entrar en la cavidad del molde y rellenarla en su conjunto. Dentro del molde se encuentra el refuerzo del material compuesto y una vez se mezclen la matriz y el refuerzo se crearán mediante la aplicación de distintos procesos de curado el material compuesto diseñado.

El material necesario para realizar este proceso es:

- Pistón hidráulico para introducir la resina en la cavidad.
- Pistón hidráulico.
- Cámara de precalentado en la cual se encuentra la resina.
- Molde de la pieza.
- Resina
- Fibra o refuerzo.

Este proceso trata es un procesos en varias etapas en el que se inyecta la matriz polimérica o cerámica en estado líquido dentro de un molde a presión que puede tener estar caliente o frío según el proceso de curación que ese le vaya a otorgar a la matriz.

### III. Desarrollo proyecto

---

En ese molde se inicia el proceso de cristalización mediante el cual el polímero se cristaliza.

En este proceso se obtiene la pieza fabricada una vez es abierto el molde, normalmente mediante la acción de unos expulsadores que sacan la pieza del molde. En este proceso se introduce el material en un molde abierto al que luego se le aplica mediante diversos mecanismos presión y temperatura para curar el polímero. El material rellena la cavidad del molde para conformar la geometría del molde y terminar así con la geometría calculada.

Este proceso es un proceso que se encuentra entre el moldeo por compresión y el moldeo por inyección, debido a que se introduce el material dentro de un molde al cual se le aplica presión para que el material rellene por completo la cavidad. El material se inyecta a través de unos canales mediante ellos accede a las diferentes compartimentos del molde.

Este proceso suele ser algo más rápido ya que al circular el material a través de los canales calientes, el ciclo de curado suele reducirse por ello.

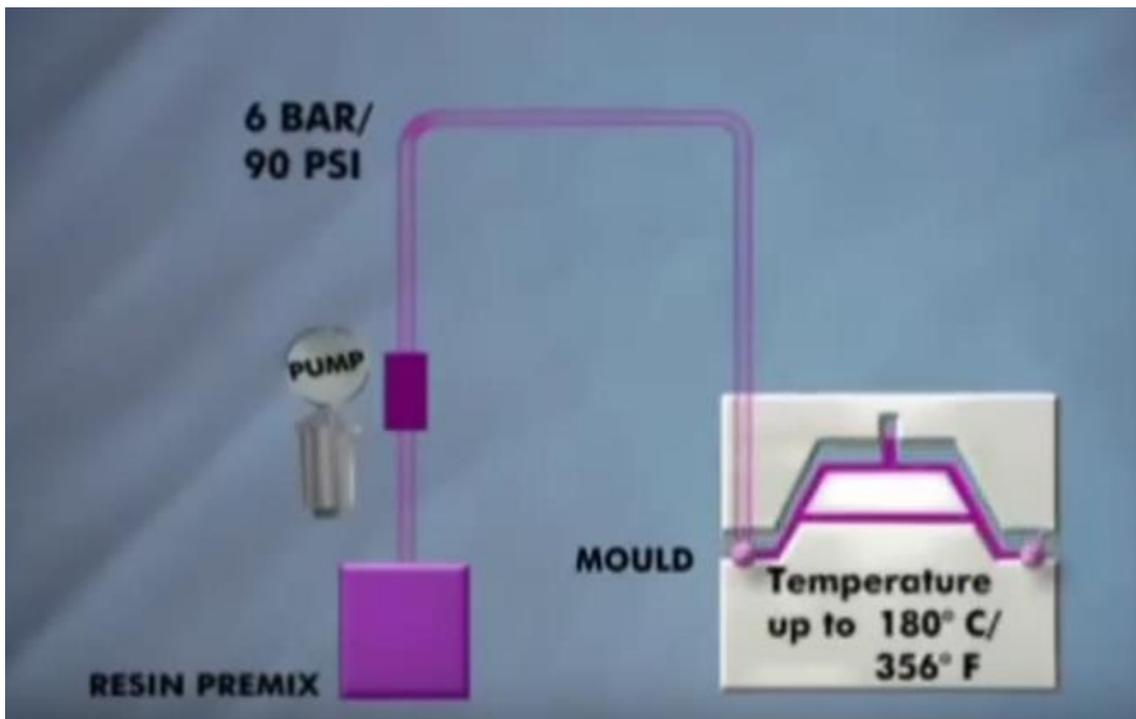


Figura III.95. Esquema funcionamiento moldeo por transferencia de resinas.

El Resine Transfer Moulding se realiza trasvasando un polímero termoestable cuantificado desde un depósito precalentado contiguo al molde. La transferencia de la cámara al molde se realiza mediante la acción de una presión que puede venir dada por un pistón hidráulico. Esta resina se transfiere a través de unos canales llamados bebederos al interior del molde caliente, las presiones y tiempos alcanzados por la acción

### **III. Desarrollo proyecto**

---

del cilindro hidráulico en este proceso oscilan entre 3 a 8 segundos y entre 5.5 hasta 6.9 MPa.

El molde calefactado y presurizado mantiene se mantiene con estos parámetros y cerrados hasta que el proceso de curado de la resina se ve finalizado. Una vez suceda esto, se abre el molde expulsando por medio de los expulsadores o pines eyectores la pieza conformada del interior del molde.

En ocasiones es necesario añadir otro proceso de fabricación o mecanizado a la pieza conformada por Resine Transfer Moulding, el fallo más común es que las piezas salgan de los moldes con rebaba, es por ello que necesitarían de otro mecanizado para pulir o mejorar la geometría final.

Al igual que en el moldeo por inyección, en el moldeo por transferencia se inyecta el mismo tipo de polímero en el molde haciéndolo pasar por una cámara precalentada, contigua al molde. Es por ello que posee varias similitudes con el proceso de moldeo por inyección.

Se procesan polímero termoestables comúnmente y elastómeros pudiendo conformar piezas fabricadas en diferentes tipos de resina, resinas epoxi, poliéster y fenol formaldehído.

Este proceso se diferencia de los procesos de moldeo por compresión y por transferencia debido a que puede obtener piezas con una tolerancia más fina que las piezas conformadas por moldeo por compresión debido a que el molde se encuentra sometido a presiones mayores que mejoran el método de fabricación. Además posee costos menores que en el moldeo por inyección debido a la maquinaria necesaria para su fabricación, es por ello que posee mejor producción que el moldeo por inyección.

Debido a razones relacionadas con la maquinaria empleada, el mantenimiento es más barato que el mantenimiento del moldeo por inyección.

Este proceso está recomendado para materiales compuestos con refuerzos de metálicos.

Por otro lado, este proceso genera mayores residuos y mayores costos en maquinaria que el moldeo por compresión, el tiempo de fabricación es mayor que el moldeo por inyección.

### III. Desarrollo proyecto

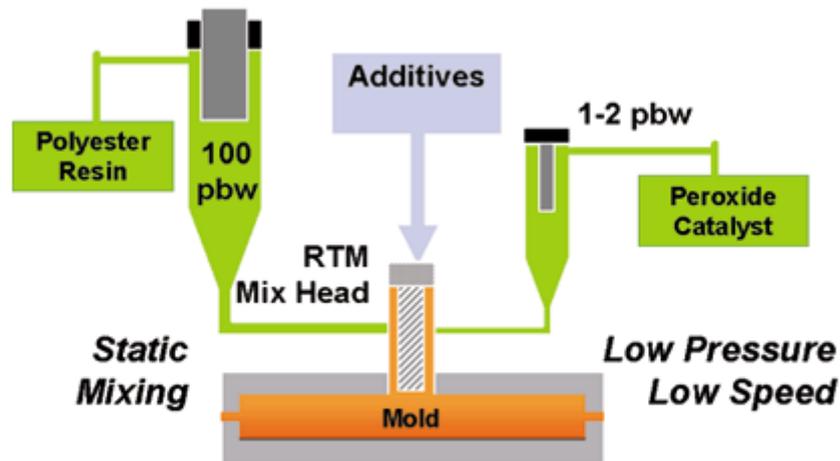


Figura III.96. Moldeo por transferencia con dos conductos separados para resina y catalizador.

Las opciones para mezclar la resina y el catalizador son dos principales. Pudiéndose dar que se mezclen en la cámara de precalentado y luego ser transferidas al molde por un único conducto. O que sean separadas en dos cámaras antes de entrar en el molde y por medio de ser transferidas al molde por dos conductos separados se mezclen luego sí, en el interior de la cavidad del molde, para proteger de posibles residuos a la cámara de precalentamiento. Tal y como se puede observar en la *figura III.96*.

En el proceso el uso de prensas hidráulicas y sus parámetros vienen calculados en relación con el molde precalentado y el volumen interior de la cavidad del molde. Es conveniente evitar aristas pronunciadas en las caras interiores del molde así como aristas vivas para evitar defectos en el acabado de las piezas. Aplicando ángulos de salida entre 0.5 y 1 grado se puede automatizar el proceso.

El proceso puede venir dado con los siguientes pasos:

- Abrir el molde e introducir la fibra o refuerzo.
- Precalentar la resina con el catalizador en cámaras separadas o conjuntas.
- Cierre del molde.
- Mediante la acción de un dispositivo aplicador de presión (pistón hidráulico) se inyecta por un conducto o por dos separados (según se haya mezclado o no la resina con el catalizador en la cámara de precalentado) la matriz de la pieza al molde.
- Por medio de un pistón se añade presión al molde y gracias a un dispositivo calefactor se añade temperatura al molde para alcanzar las temperaturas de curado de la resina, en este caso de la resina epoxi (temperatura que varía según el catalizador usado).

### **III. Desarrollo proyecto**

---

- Se espera con el molde cerrado a presión y caliente hasta que el material se haya curado.
- Una vez la pieza se ha curado se procede a abrir el molde.
- Mediante la acción de unos pines eyectores se expulsa la pieza del interior de la cavidad del molde.
- Se recopilan las cinco piezas de los distintos moldes (cuatro moldes en total, ya que las placas laterales son idénticas, estas se realizarían en dos procesos separados).
- Una vez se disponen de las piezas del ensamblaje se disponen para ensamblarse con los distintos pernos, pines, tornillos, arandelas y tuercas requeridos.

#### **III.8.2. FABRICACIÓN DE GANCHO MEDIANTE RTM**

Mediante la aplicación de este método explicado anteriormente se introducirán los parámetros para conformar el gancho diseñado.

En primer lugar se obtiene un molde con la geometría lateral de la pieza. Se tendrá en cuenta el taladro que posee la pieza de 24mm de diámetro. Se fabricará por tanto un molde que contenga la sección de la pieza gancho en vista lateral y un espesor de 35mm.

El espesor de la cavidad del molde es de 35mm, la altura es 172.68mm y el ancho es de 147.04 mm

### III. Desarrollo proyecto

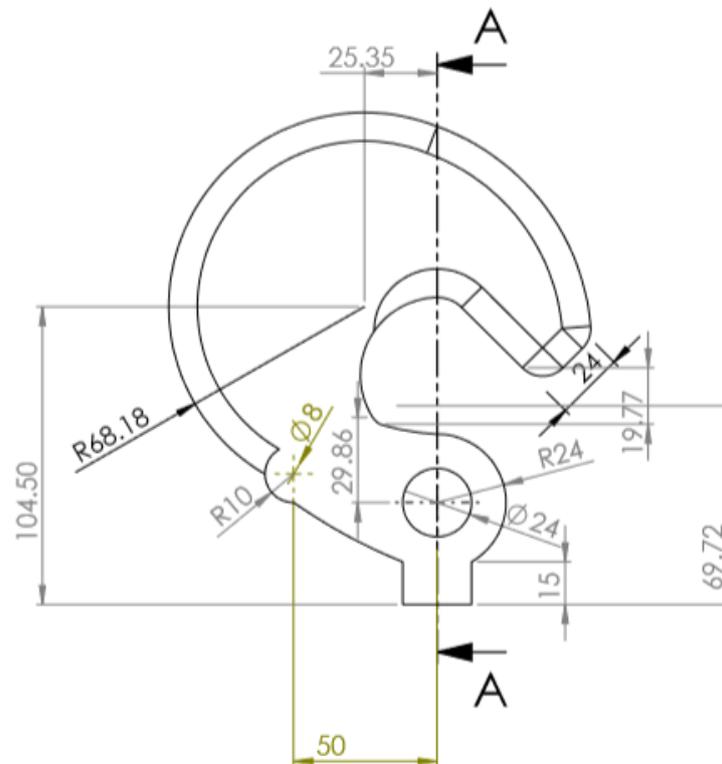


Figura III.97. Vista lateral de pieza gancho.

- Lo primero que se realiza es un proceso en el que se aplica al molde un agente desmoldeante para que el material compuesto conformado no se quede adherido a las paredes del molde
- En segundo lugar se aplica peel-ply, un tejido en forma de tela con una elevada resistencia el cual es anti-adherente con la resina. Que se aplica para separar el molde del material compuesto, su extracción es sencilla.
- Es necesario rellenar en tercera instancia el molde con la disposición de las fibras. Este proceso puede llevar en torno a 40 minutos, este tiempo viene incluido en el tiempo del proceso en la *tabla III.14*.
- Paralelamente el molde es calentado a la temperatura de curado de la resina, esta temperatura puede variar según el catalizador que se use. En caso de que no se usara catalizador la temperatura de curado de la resina epoxi sería
- Una vez se haya dispuesto el molde con las fibras en su interior se procede a precalentar la resina para su próxima transferencia al molde por un canal separado al del catalizador para evitar el deterioro de la cámara de precalentado.
- Se procede a transferir la resina por medio de la acción de un pistón hidráulico y paralelamente el catalizador en el interior del molde.
- Una vez se encuentra la resina dentro del molde caliente se introduce presión por medio de un pistón hidráulico llegando a otorgarle 6 MPa de presión al

### III. Desarrollo proyecto

molde y a una temperatura propia para el curado de la resina. Esta temperatura viene dada por el análisis de calorimetría DSC. El Differential Scanning Calorimetry o DSC es una técnica comparativa en la que se utiliza una muestra de referencia y otra muestra, en este caso la resina epoxi para medir de manera comparativa los cambios ocurridos en el material en función de la temperatura.

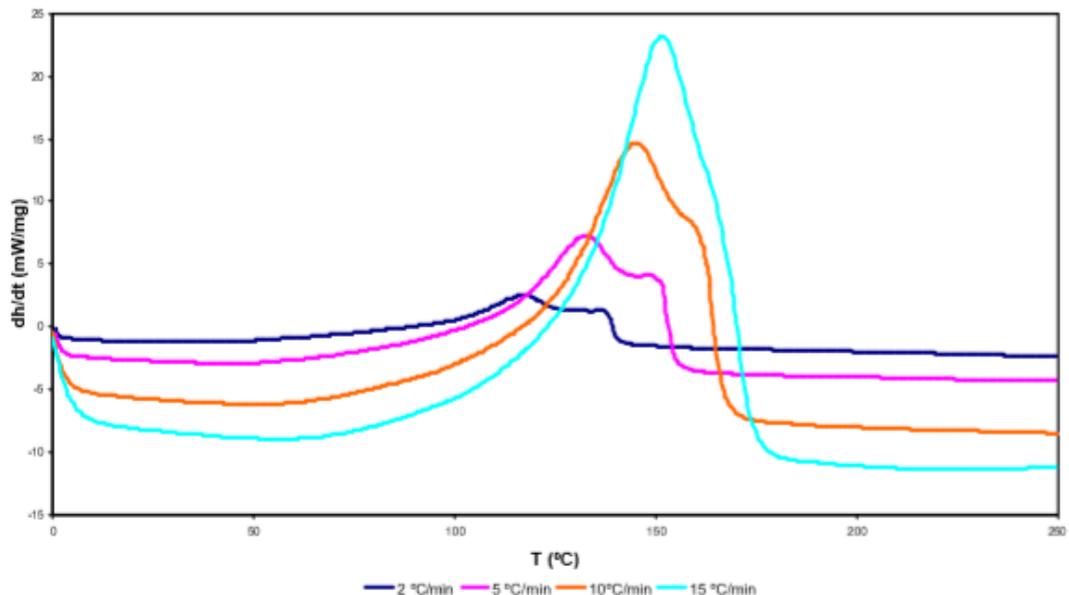


Figura III.98. Análisis calorimétrico a una muestra resina epoxi

Este método se basa en el principio dado que un material al realizar una transición en su estado genera una reacción ya sea exotérmica o endotérmica. Por ello el análisis determina un rango de temperaturas (iniciales y finales) y comienza a aplicarlas a las muestras con una velocidad de incremento de temperatura constante ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ). Gracias a esto y a la precisión de estas velocidades se determina que en las transiciones que suceden en el material ocurren reacciones exotérmicas o endotérmicas, reacciones que son ajustadas en la máquina aplicando potencia. La medida de esta potencia determina la energía y temperatura que absorbe o expulsa el material en estas transiciones.

En la *figura III.75* se puede observar los diferentes picos o transiciones (transición vítrea,  $T_g$ ) que genera una resina epoxi a medida que se le aplica una velocidad de curado. En este caso la velocidad más lenta y precisa muestra que la transición vítrea a una velocidad de calentamiento de  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$  ocurre entre el rango de  $120^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto nuestra temperatura de curado serán los  $135^{\circ}\text{C}$ .

- Se mantiene el molde a la temperatura de curado ( $135^{\circ}\text{C}$  si no tuviera catalizador) hasta que la pieza se cure.
- Una vez esté curado se abre el molde y mediante el uso de los pines eyectores se extrae la pieza de la cavidad del molde.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### III. Desarrollo proyecto

## III.9. ESTUDIO ECONÓMICO.

Para el correspondiente estudio es necesario calcular los costes dados por la fabricación de un elemento.

En principio se dispone de los costes del material

#### Propiedades generales

Densidad	i	1,5e3	-	1,6e3	kg/m <sup>3</sup>
Precio	i	* 29,7	-	32,9	EUR/kg
Fecha de primer uso ("-" significa AC)	i	1963			

Figura III.99. Costes de la fibra de carbono con resina epoxi.

Donde se observa el precio que tiene un material compuesto formado por resina epoxi y fibra de carbono, teniendo en cuenta que el precio viene dado en EUR/kg. Estos precios son obtenidos de la aplicación CES EDUPACK. El cálculo de los precios y tiempos en fabricación es una estimación del tiempo que tardaría un operario en realizar los procesos.

Tabla III.11. Precio material en proceso RTM

MATERIAL	PESO (kg)	Precio (EUR/kg)	Precio (EUR) sin IVA
CF70 CUASI-ISOTRÓPICO	2,73	31,3	85,449

Los precios de la *Tabla III.11* han sido obtenidos de software CES EDUPACK, en el cuál se especifican que coste tendría un material compuesto de fibra de carbono con resina epoxi.

Luego el estudio del coste del proceso viene dado por:

Tabla III.12. Estudio económico de proceso RTM

Precio fabricación	Coste proceso (€/kg)	Tiempo requerido(h)	Coste fabricación(€)	Nivel Operario	Precio Operario (€)	Costo (€)	Precio total con IVA 21% (EUR)
Resine transfer moulding	20	4	80	4	40	240	290,4
Ensamblaje	2	0,5	1	4	40	21	25,41

### III. Desarrollo proyecto

---

En la *Tabla III.12* se determinan los costos generados en el proceso RTM, debido al costo del proceso y al operario. Siendo 290,40€ los costes del propio proceso y 25,41€ los costes del tiempo de ensamblaje.

Una vez realizado este cálculo es posible determinar el costo total del conjunto.

Tabla III.13. Costes totales de fabricación

OBJETO	COSTE TOTAL (€)
Resine transfer moulding	290,40
Ensamblaje	25,41
Material con IVA	103,39
TOTAL	419,20

Debido a esto, en *Tabla III.13* se puede apreciar el precio final de costo que tendría el proceso, adquiriendo un costo final de 419,20€.

Tabla III.14. Ganancias del proceso RTM

VENTA(€)	COSTO(€)	BENEFICIO(€)	Margen ganancia bruta (%)
794,40	419,20	375,20	89,50

En la *Tabla III.14* se obtiene el precio actual del gancho y del beneficio que supondría venderlo a 794,40€. Esto supondría obtener un beneficio de 375,20 euros y un margen de ganancia bruta del 89,50%. El precio actual de los competidores de un gancho de liberación para bote de rescate rápido oscila entre los 900€ y los 2000€. Estos precios son estimados basados en la experiencia laboral, debido a que no se pueden acceder a ellos sin solicitarlos al fabricante. Es por ello que el precio del gancho competiría con el precio mínimo de ganchos.

Se ha demostrado que la fabricación de este elemento puede llegar a ser viable económicamente, comparando los precios de fabricación y precios de venta con una estimación de los precios de las actuales marcas del mercado.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## **IV. APÉNDICES**

# APÉNDICES



## **IV. Apéndices**

---

### **IV.1. REFERENCIAS**

[1] RESOLUTION MSC.48(66)

[2] DIRECTIVE 2014/90/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 July 2014 on marine equipment and repealing Council Directive 96/98/EC

[3] <https://www.palfingermarine.com/en/service/hooks>

[4] <https://www.hhenriksen.com/hooks>

[5] <https://www.fassmer.de/en/boats-and-davits/products/offshore-commercial/clx-the-clr-enlargement/>

## **IV. Apéndices**

---

### **IV.2. PLIEGO DE CONDICIONES.**

#### **IV.2.1. Pliego de condiciones técnicas particulares**

En este documento se mostrarán las exigencias de origen técnico a la hora de ejecutar el proceso de fabricación y a la hora de ejecutar en la obra.

#### **IV 2.2. Prescripciones sobre los materiales en la fabricación**

Las resinas epoxi no deben superar las temperaturas de degradación, temperaturas establecidas a 190°C.

Las resinas epoxi no deben almacenarse en rangos de temperatura inferiores a -100°C.

Las resinas deben transferirse al molde en estado líquido.

Los tiempos de acción de los pistones hidráulicos que comprimen los moldes no deben superar los el tiempo de curado de la resina.

El tiempo de curado viene determinado en función del catalizador empleado.

Se debe evitar el contacto entre resina y catalizador en la cámara de precalentamiento.

La presión producida por el pistón hidráulico no debe superar los 6,5 MPa.

Las tolerancias exigidas en este proceso deben corresponderse a un rango de  $\pm 1$ mm.

Se debe inspeccionar la pieza una vez finalizado el proceso RTM en busca de rebabas. Si esto fuera así se debe aplicar un proceso de mecanizado a parte para eliminar cualquier rebaba existente.

#### **IV 2.3. CONDICIONES GENERALES DEL USO EN OBRA**

El objeto está diseñado para usarse tan solo en botes de rescate.

El conjunto debe instalarse en el bote de rescate.

A la hora de introducir el master-link es necesario que el gancho se encuentre sin carga.

Tan solo un master-link puede acoplarse al gancho.

El master-link empleado debe apoyar en la cara interior del gancho perfectamente, evitándose así concentraciones de tensiones.

## **IV. Apéndices**

---

El objeto no está diseñado para recibir impactos laterales.

La carga solo se puede desacoplar del gancho una vez pierda la tensión.

El conjunto debe ser revisado anualmente según especifica la normativa *MSC.1/Circ.1182/Rev.1*.

## **IV. Apéndices**

---

### **IV.3. NORMATIVA.**

RESOLUTION MSC.48(66)

MSC.1/Circ.1182/Rev.1

MSC.1/Circ.1206

DIRECTIVE 2014/90/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 July 2014  
on marine equipment and repealing Council Directive 96/98/EC

## **IV. Apéndices**

---

### **IV.4. BIBLIOGRAFÍA.**

Temario UPV, EPSA, Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Materiales Poliméricos,:

- T1 - Los materiales poliméricos en la ingeniería.
- T2 - Obtención de materiales poliméricos.
- T3 - Estructura interna del sólido polimérico.
- T4 - Propiedades físico químicas de materiales poliméricos.

Temario UPV, EPSA, Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Materiales Compuestos de Matriz Polimérica:

- T1 - Estructura de materiales compuestos.
- T2 - Componentes de materiales compuestos.
- T3 - Comportamiento de materiales compuestos.
- T4 - Transformaciones y aplicaciones de materiales compuestos.

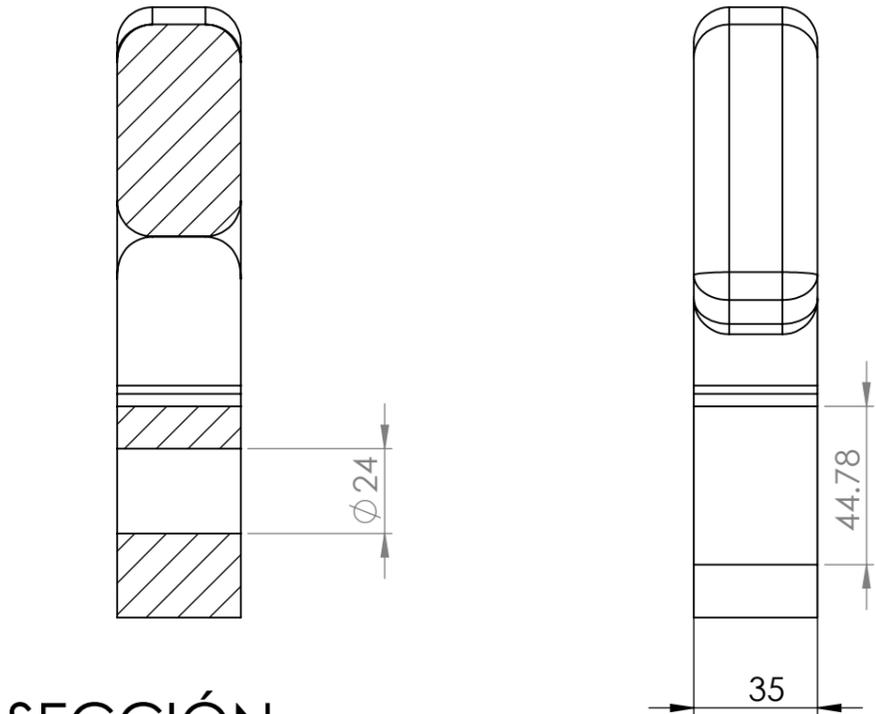
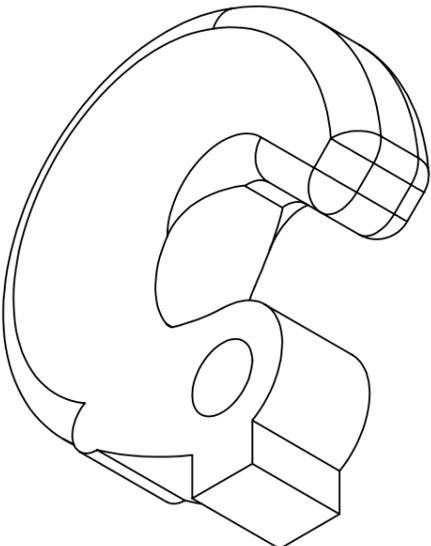
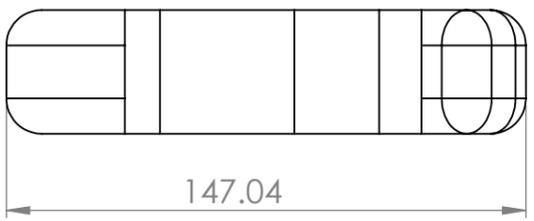
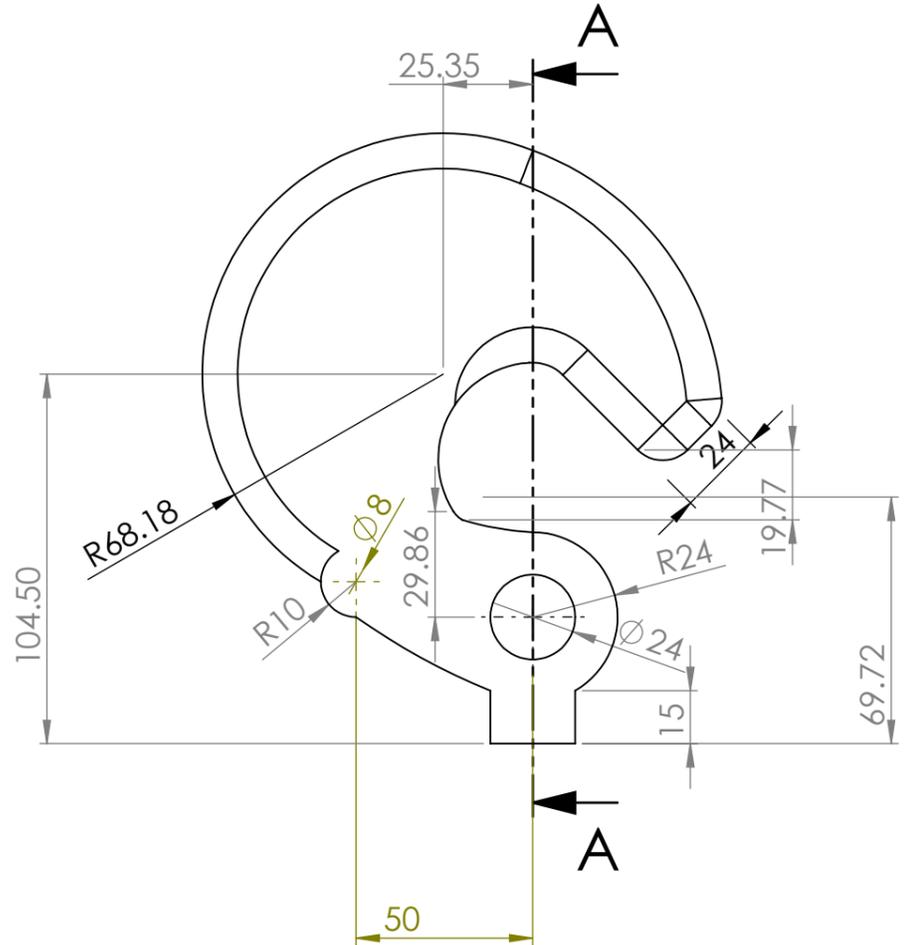
Temario UCLM, Ingeniería rural:

- T9. El pliego de condiciones

## **IV. Apéndices**

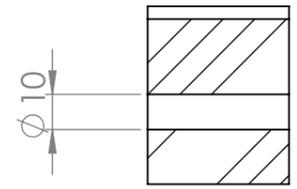
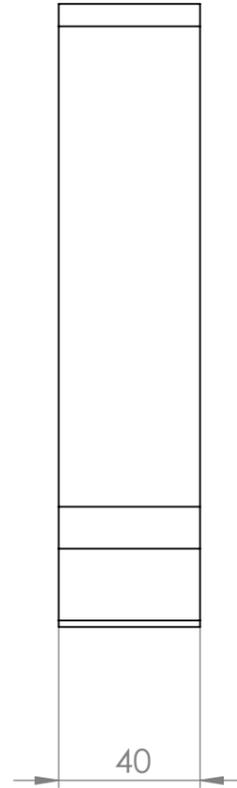
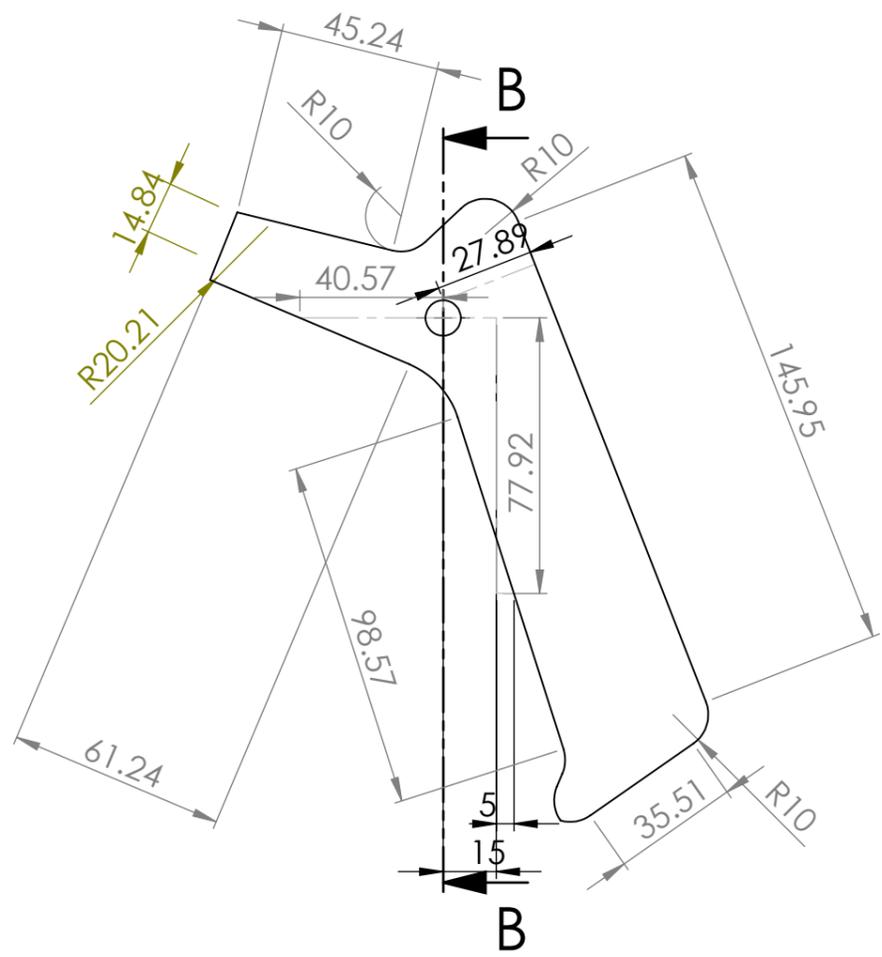
---

### **IV.5. PLANOS ACOTADOS.**

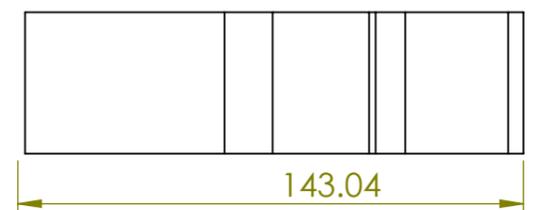
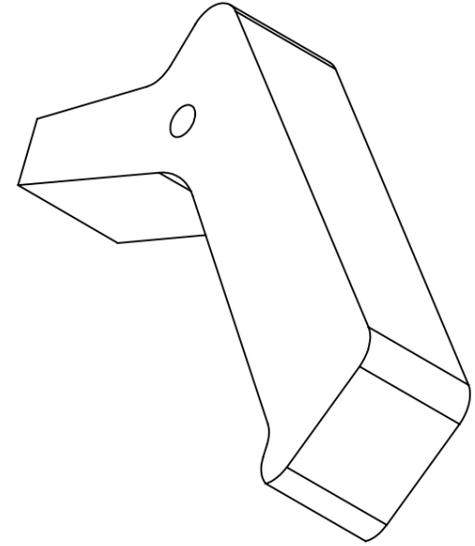


SECCIÓN A-A

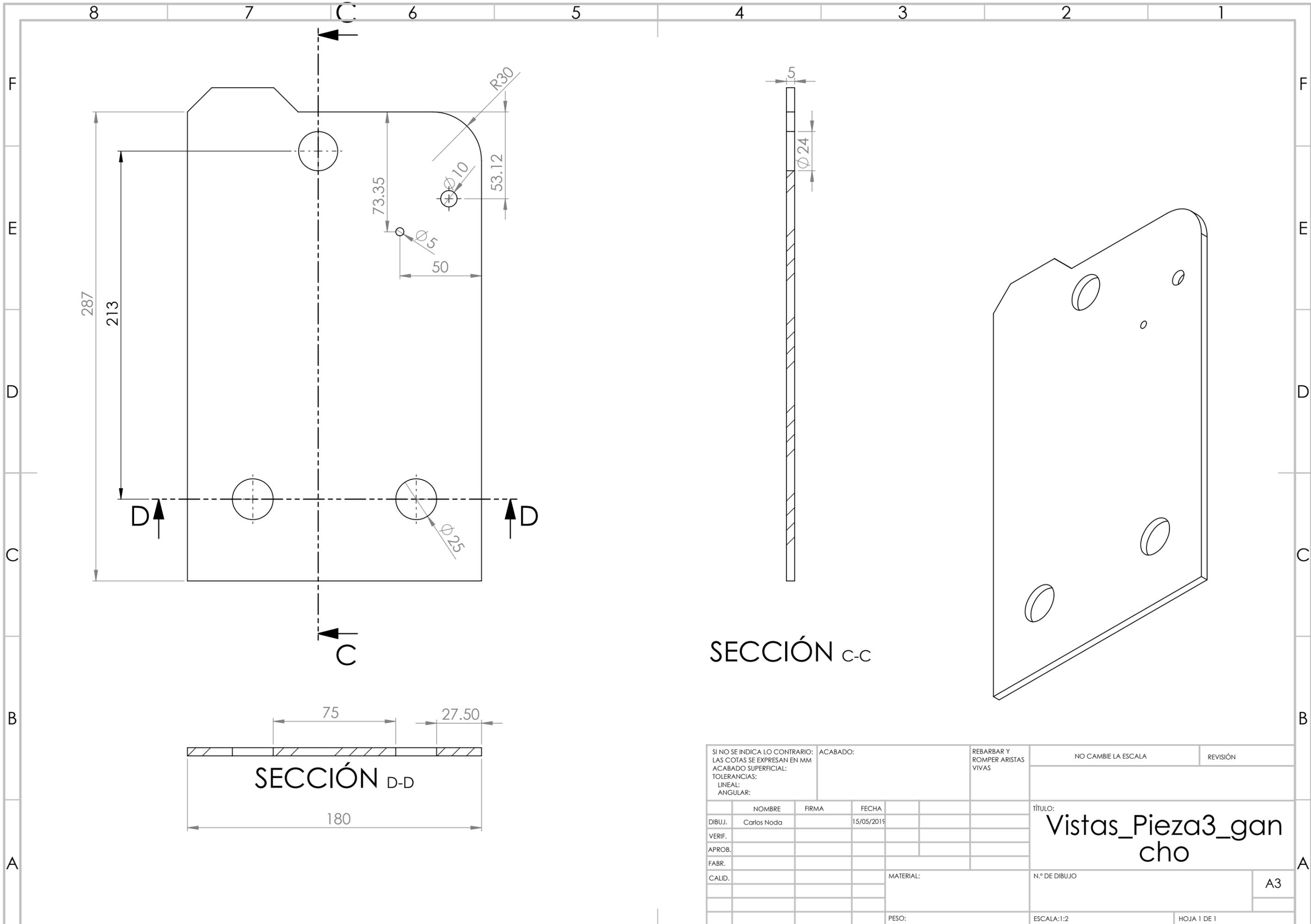
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
CREADO	Carlos Noda	FIRMA		FECHA	15/05/2015	TÍTULO: <b>Pieza1_gancho</b>			
VERIF.						N.º DE DIBUJO			
APROB.						A3			
FABR.						MATERIAL: CF70% ANISOTRÓPICO			
CALID.						PESO:			
						ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN B-B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.	Carlos Noda	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <b>Vistas_Pieza 2_Gancho</b>			
VERIF.			15/05/2019			N.º DE DIBUJO			
APROB.						A3			
FABR.						MATERIAL: CF70% ANISOTRÓPICO			
CALID.						ESCALA:1:2			
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	

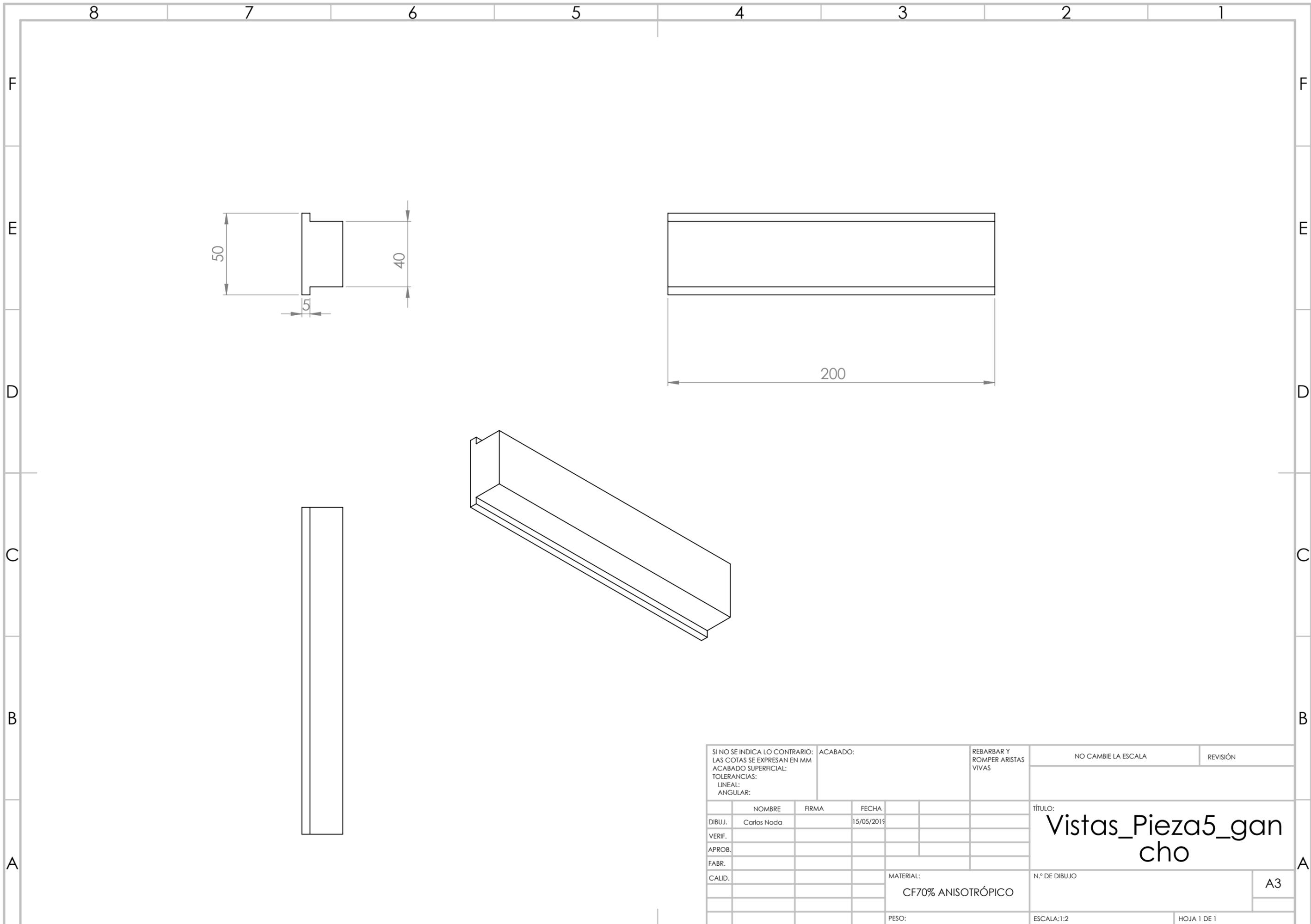


SECCIÓN C-C

SECCIÓN D-D

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE Carlos Noda	FIRMA	FECHA 15/05/2015	TÍTULO: Vistas_Pieza3_gancho	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				A3	
FABR.			MATERIAL:	ESCALA:1:2	
CALID.			PESO:	HOJA 1 DE 1	





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: <b>Vistas_Pieza5_gancho</b>				
DIBUJ. Carlos Noda			FIRMA		FECHA 15/05/2015		N.º DE DIBUJO				
VERIF.							A3				
APROB.							MATERIAL: CF70% ANISOTRÓPICO				
FABR.							ESCALA:1:2				
CALID.							PESO:				
							HOJA 1 DE 1				