

# Trabajo Fin de Máster

## Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Diseño mediante CATIA V5 de un catamarán modular apto para competición

Autor: Beltrán Aguilar Calvo

Tutor: José Sauco Zaldívar

**Departamento de Ingeniería Gráfica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018





Trabajo de Fin de Máster  
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

# **Diseño mediante CATIA V5 de un catamarán modular apto para competición**

Autor:

Beltrán Aguilar Calvo

Tutor:

José Sauco Zaldívar

Profesor colaborador

Departamento de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Máster: Diseño mediante CATIA V5 de un catamarán modular apto para competición

Autor: Beltrán Aguilar Calvo

Tutor: José Sauco Zaldívar

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

A mis padres y hermanos por su apoyo todos estos años, a José Sauco por permitirme desarrollar este proyecto y ayudarme a sacarlo adelante, y a todos los que me han acompañado en esta aventura.

*Soy la suma de mis logros, mas las demás cosas que perdí,  
me equilibrio si zozobro porque se que no me voy a hundir,  
cuando siento el aire fresco el olor a vida y tierra firme al fin.*

*Soy la resta de nada, la suma de todo.*

*-Zaturnino Rey-*



# Resumen

---

Este proyecto tiene por objeto el diseño y modelado de un catamarán modular mediante el empleo de la herramienta de diseño asistido por ordenador CATIA V5, así como la aplicación de todo lo aprendido estos años en la Escuela para hallar las mejores soluciones a los problemas surgidos para cumplir determinados requisitos impuestos (estética, hidrodinámica, velocidad, estabilidad, versatilidad, seguridad, ligereza, etc.)





# Abstract

---

The purpose of this Project is to design and modelate a modular catamaran using the computer-aided design tool CATIA V5 beyond the application of all the knowledge acquired this years in the School to solve different problems caused by the imposed requirements (esthetic, hydrodinamic, speed, stability, versatility, security, lightness, etc.)





<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>13</b>
<b>Índice</b>	<b>15</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>17</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>19</b>
<b>1 Objetivos</b>	<b>1</b>
<b>2 Interés</b>	<b>3</b>
<b>3 Estado del Arte</b>	<b>5</b>
3.1 <i>Clasificación</i>	5
3.1.1 Buque de transporte	5
3.1.2 Barco mercante	6
3.1.3 Barco de guerra	6
3.1.4 Buque especial	6
3.1.5 Embarcaciones de recreo	7
3.2 <i>Rebel Cat</i>	8
3.3 <i>Expand Craft</i>	10
3.4 <i>Happy Cat</i>	11
3.5 <i>Reverso</i>	12
3.6 <i>Flap Boat</i>	13
3.7 <i>Tiwal</i>	13
<b>4 Memoria Justificativa</b>	<b>11</b>
4.1 <i>Comparativa entre multicasco y monocasco</i>	11
4.2 <i>Elección de velas</i>	13
4.3 <i>Timones</i>	17
<b>5 Proceso de Diseño</b>	<b>19</b>
5.1 <i>Cascos</i>	20
5.2 <i>Estructura metálica</i>	27
5.2.1 Tubos	27
5.2.2 Uniones	29
5.3 <i>Palo</i>	30
5.4 <i>Botavara</i>	30
5.5 <i>Botalón</i>	32
5.6 <i>Base de palo</i>	33
5.7 <i>Timones</i>	34
5.7.1 Pala	34
5.7.2 Estructura del timón	36
5.7.3 Caña	37
5.7.4 Stick	38
5.8 <i>Cogidas de los timones</i>	39
5.9 <i>Mayor</i>	43

---

5.10	<i>Foque</i>	47
5.11	<i>Obenques</i>	50
5.12	<i>Tensores botalón</i>	51
5.13	<i>Escotas</i>	53
5.14	<i>Lona</i>	57
5.15	<i>Fijación estructura metálica al casco</i>	59
<b>6</b>	<b>Montaje</b>	<b>63</b>
6.1	<i>Montaje de los puros</i>	63
6.2	<i>Montaje de la estructura metálica</i>	67
6.3	<i>Tensado de la lona</i>	69
6.4	<i>Unión cascos y estructura metálica</i>	70
6.5	<i>Montaje del palo</i>	72
6.6	<i>Montaje de la mayor</i>	72
6.7	<i>Montaje del foque</i>	73
6.8	<i>Colocación del palo en la base</i>	74
6.9	<i>Montaje de la botavara</i>	75
6.10	<i>Colocación de la botavara</i>	76
6.11	<i>Montaje del botalón</i>	77
6.12	<i>Acoplar los timones</i>	79
6.13	<i>Montaje de la unión de cañas</i>	80
6.14	<i>Colocación del stick</i>	81
6.15	<i>Escotas</i>	81
6.16	<i>A navegar</i>	84
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b>Propuestas de Mejora</b>	<b>91</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>93</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Categoría de embarcaciones según zona de navegación	13
Tabla 2. Altura de palos	14
Tabla 3. Estimación del tiempo de montaje del barco completo	89



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Ejemplo de estructura modular transportable en coche	3
Figura 2. Tabla hinchable	4
Figura 3. Equipo de kite recogido en un mochila	4
Figura 4. Barcos de transporte	5
Figura 5. Barcos mercantes	6
Figura 6. Barcos de guerra	6
Figura 7. Barcos especiales	7
Figura 8. Embarcaciones de recreo	7
Figura 9. Embarcaciones de vela ligera	8
Figura 10. Tipos de embarcaciones	8
Figura 11. Rebel Cat montado	9
Figura 12. Rebel Cat desmontado	9
Figura 13. Expand Craft navegando	10
Figura 14. Expand Craft desmontado	10
Figura 15. Flotabilidad de los cascos de Expand Craft	11
Figura 16. Happy Cat navegando y dos Happy Cats guardados en sus bolsas	11
Figura 17. Happy Cat navegando	12
Figura 18. Reverso navegando	12
Figura 19. Montaje del reverso	13
Figura 20. Flap boat navegando y en su remolque	13
Figura 21. Tiwal navegando	14
Figura 22. Diferencia del casco de un monocasco y un multicasco	11
Figura 23. Catamarán PlayStation	12
Figura 25. Diferente rumbos y posición de las velas	13
Figura 26. Carabela portuguesa y nao española	14
Figura 27. Nacra navegando con ambos tripulantes al trapecio	15
Figura 28. Centro de presión de foque, mayor, velas y centro de resistencia lateral	16
Figura 29. Partes de un timón	17
Figura 30. Árbol de proyecto	19
Figura 31. Perfil del casco	20
Figura 32. Forma del puro de la embarcación	21
Figura 33. Sección hueca del casco	22
Figura 34. Sección de proa	22
Figura 35. Secciones con reborde para mejorar el encaje e estanqueidad	23
Figura 36. Casco acoplado con sistema de cincha para el tensado	25
Figura 37. Casco desmontado	26

Figura 38. Corte del casco	26
Figura 39 Tubos de la estructura metálica	27
Figura 40. Tetón para la unión	28
Figura 41. Unión de la estructura metálica	29
Figura 42. Unión con tubos encajados	29
Figura 43. Palo ensamblado	30
Figura 44. Forma de la mayor de un catamarán	31
Figura 45. Botavara	31
Figura 46. Unión entre palo y botavara	32
Figura 47. Botalón	32
Figura 48. Base del palo	33
Figura 49. Base del palo montada	33
Figura 50. Perfil de la pala del timón	34
Figura 51. Pala del timón	35
Figura 52. Detalle del agujero para el eje que permite subir y bajar la pala	35
Figura 53. Áreas laterales del timón	36
Figura 54. Estructura del timón con detalle de uniones	36
Figura 55. Cañas de los timones	37
Figura 56. Barra que une ambas cañas	37
Figura 57. Stick	38
Figura 58. Ensamblaje del timón	38
Figura 59. Detalle de la cogida del timón	39
Figura 60. Pletina que aprieta la cogida del timón al interior del casco	39
Figura 61. Cogida del timón	40
Figura 62. Cogida del timón completa	40
Figura 63. Eje que permite el gire del timón	41
Figura 64. Detalle de la unión entre timón y casco	42
Figura 65. Palas levantadas	42
Figura 66. Partes de la vela mayor	43
Figura 67. Área de la mayor	43
Figura 68. Sables de la mayor	44
Figura 69. Sables montados	44
Figura 70. Funda de mástil	45
Figura 71. Ventanilla	45
Figura 72. Pujamen que une la mayor a la botavara	46
Figura 73. Foque	47
Figura 74. Driza del foque	47
Figura 75. Detalle del montaje de la driza de foque	48
Figura 76. Puño de amura del foque	48
Figura 77. Velas del catamarán	49

Figura 78. Obenques montados	50
Figura 79. Unión del obenque a la estructura metálica	50
Figura 80. Uniones de los obenques al palo	51
Figura 82. Uniones de los tensores del botalón	52
Figura 83. Escota del foque	53
Figura 84. Sistema de pata de gallo	53
Figura 85. Cogidas de la pata de gallo a la estructura metálica	54
Figura 86. Paso por la polea de la botavara de la escota de la mayor	54
Figura 87. Polea	55
Figura 88. Sistema de escota de mayor completo	55
Figura 89. Polea en el palo	56
Figura 90. Perspectiva del sistema de escota de mayor	56
Figura 91. Lona	57
Figura 92. Funda de la lona con tubos de la estructura metálica por su interior	57
Figura 93. Tensores de la lona	58
Figura 94. Fijación entre casco y estructura metálica	59
Figura 95. Fijación y unión metálica alineados	59
Figura 96. Detalle del ensamblaje	60
Figura 97. Eje que impide que las piezas se separen	61
Figura 98. Agujeros en el casco para introducir las fijaciones	61
Figura 99. Detalle de las fijaciones con goma para asegurar estanqueidad	63
Figura 100. Fijación en posición	64
Figura 101. Unión de dos secciones del casco	65
Figura 102. Casco ensamblado	65
Figura 103. Cascos del barco ensamblados	66
Figura 104. Tensor de la cincha	66
Figura 105. Cincha montada	67
Figura 106. Ensamblaje de los tubos	67
Figura 107. Estructua metálica montada	68
Figura 108. Tensado de la lona	69
Figura 109. Unión entre casco y estructura metálica	70
Figura 110. Fijación lista para navegar	71
Figura 111. Montaje del palo	72
Figura 112. Montaje de la mayor	73
Figura 113. Montaje del foque	74
Figura 114. Colocación del palo en la base	74
Figura 115. Obenques	75
Figura 116. Ensamblaje de la botavara	75
Figura 117. Unión de la botavara al palo	76
Figura 118. Pujamen	76

---

Figura 119. Montaje del botalón	77
Figura 120. Tensores del botalón preparado	78
Figura 121. Colocación de los timones	79
Figura 122. Detalle de la pestaña del timón	80
Figura 123. Unión de las cañas	80
Figura 124. Montaje del stick	81
Figura 125. Preparación de escota el foque	81
Figura 126. Montaje de la pata de gallo	82
Figura 127. Montaje de la escota de mayor	83
Figura 128. Sistemas de escota listos para navegar	83
Figura 129. Modelado final en Catia	86
Figura 130. Catamarán navegando	88
Figura 131. Catamaranes con hidrofoils en la America's Cup	91
Figura 132. Catamares de vela ligera con hidrofoils	92

# 1 OBJETIVOS

---

*Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo.*

*- Albert Einstein -*

El objetivo del presente proyecto consiste en el planteamiento de las pautas del diseño de una embarcación modular que sea sencilla de construir y montar, aplicando herramientas informáticas de diseño y simulación 3D como CATIA V5. En este diseño se aplicarán conocimientos adquiridos en el Máster de Ingeniería sobre fabricación, resistencia estructural, materiales, etc.

Lo esencial de este desarrollo conceptual reside en el gran impacto que podría tener dentro de la vela ligera de recreo y competición. Su estructura modular permite desmontarlo y poder transportarlo por carretera sin necesidad de utilizar un remolque, además de poder guardarlo sin necesidad de una nave. Esta posibilidad de poder montar y desmontar el barco requiere que el proceso de ensamblado sea sencillo y rápido.

El barco debe tener una buena navegabilidad que lo haga superior a los barcos de su categoría una vez esté montado. Este implica ser rápido y estable.

Por último se busca que el barco sea económico para hacerlo accesible a todos los aficionados al mar que no quieran entrar en grandes inversiones económicas.

De estos objetivos se extrae el Late Motiv de este proyecto: *“Hazlo modular, sencillo y rápido”*



## 2 INTERÉS

*Un barco, sobre todo si se trata de un velero, es un ser vivo. No es casualidad, por eso, que los barcos tengan nombre propio.*

*- Arturo Pérez-Reverte-*

**E**stamos en unos tiempos en los que florecen nuevos materiales, técnicas y herramientas que están revolucionando el diseño y la forma de construir todo tipo de objetos. Hoy día se pueden imprimir armas con impresoras 3D o se puede construir un rascacielos en menos de un mes gracias a diseños modulares y nuevos materiales.

En esta línea se puede ver cómo han evolucionado los deportes de agua. Existen gran cantidad de embarcaciones tipo kayak que se pueden desmontar y llevar en el coche, tablas inflables para practicar padel surf y el kitesurf se ha convertido en el deporte rey en las playas a nivel mundial sobretodo por la facilidad para llevar todo el equipo necesario en una mochila.



Figura 1. Ejemplo de estructura modular transportable en coche

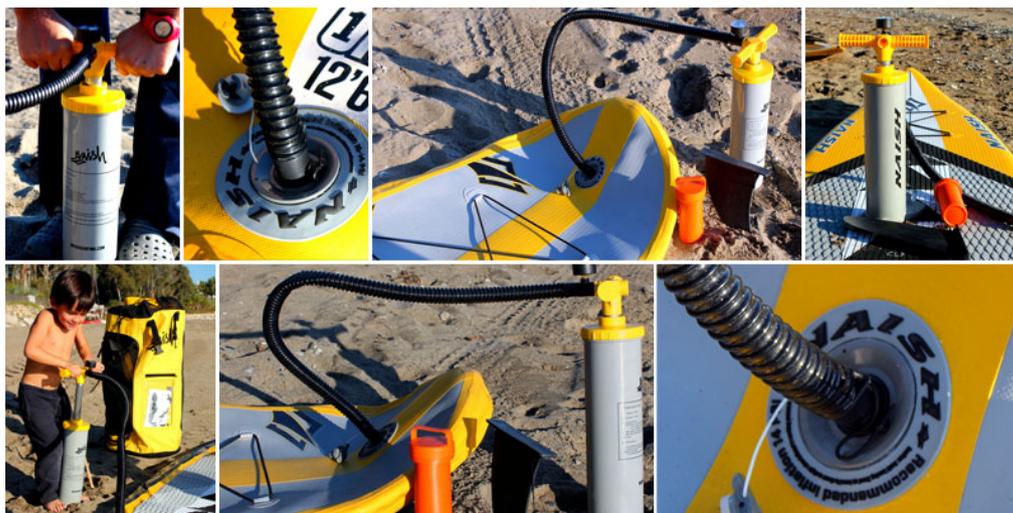


Figura 2. Tabla hinchable

Esta mentalidad aún no ha llegado al mundo de la vela y eso es lo que hace a este proyecto muy interesante. La llegada de barcos desmontables con buena navegabilidad es algo que va a ocurrir en los próximos años y ser pioneros en ese sentido puede ser muy beneficioso.



Figura 3. Equipo de kite recogido en un mochila

Tener embarcaciones fáciles de transportar y montar que ocupen poco espacio cuando no se utilizan permitirá a mucha más gente tener acceso a este deporte y poder disfrutar del mar.

# 3 ESTADO DEL ARTE

---

*Todo está diseñado. Pocas cosas están bien diseñadas.*

*- Brian Reed -*

**A**ntes de analizar los tipos de barcos existentes vamos a enmarcar que tipo de embarcaciones enfoca este estudio del estado del arte.

## 3.1 Clasificación

Dentro del mundo de los barcos existe una primera clasificación en base a la finalidad o uso para el cual hayan sido concedidos. Se diferencia entre:

- Buque de transporte
- Barco mercante
- Barco de guerra
- Buque especial
- Embarcaciones de recreo

### 3.1.1 Buque de transporte

Los buques de transporte son barcos concebidos para transportar personas de un lugar a otro. Dependiendo del tamaño y la duración de ese transporte se hablará de balsa, ferry, crucero y transatlántico.



Figura 4. Barcos de transporte

### 3.1.2 Barco mercante

Los barcos mercantes son también embarcaciones diseñadas para el transporte, pero en este caso se transportan mercancías. Según la mercancía a transportar se diferencia entre buques petroleros, químicos, frigoríficos o de carga general.



Figura 5. Barcos mercantes

### 3.1.3 Barco de guerra

Dentro de los barcos de guerra es difícil hacer una subclasificación debido a la gran variedad de embarcaciones y a lo rápido que evolucionan. Entre todos destacan las cobetas, fragatas, destructores, cruceros, acorazados y los grandes portaaviones.



Figura 6. Barcos de guerra

### 3.1.4 Buque especial

Los buques especiales engloban todos aquellos que tienen alguna misión concreta y auxiliar para ayudar al resto de barcos o al mantenimiento de puertos, balizas, canales, etc. Destacan las dragas que mueven tierra de los fondos marinos para crear canales por los que puedan circular los barcos, los remolcadores que ayudan en maniobras de atraque y desatraque de grandes embarcaciones y los barcos de salvamento marítimo.



Figura 7. Barcos especiales

### 3.1.5 Embarcaciones de recreo

Las embarcaciones de recreo son aquellas que están diseñadas para el disfrute de sus propietarios y no tienen ninguna función o misión. En esta categoría diferenciamos entre barcos de motor como motos de agua, botes y yates, y barcos de vela. Dentro de los barcos de vela se divide entre vela ligera y vela crucero. La diferencia reside en el tamaño y si cuenta con cabina o no.



Figura 8. Embarcaciones de recreo

#### 3.1.5.1 Vela ligera

Los barcos de vela ligera son los más numerosos dentro de la flota mundial. Dentro de este grupo se incluyen también tablas de windsurf, kitesurf, etc aunque no sean barcos propiamente dichos. Son los que requieren menos inversión, mantenimiento y conocimientos por lo que son más accesibles al público general. La embarcación a diseñar se engloba dentro de la vela ligera y más concretamente es un catamarán.



Figura 9. Embarcaciones de vela ligera

Una vez definido el tipo de embarcación a diseñar se focaliza el estudio en catamaranes de vela ligera pensados para 1, 2 o 3 personas que sean modulares o desmontables.



Figura 10. Tipos de embarcaciones

### 3.2 Rebel Cat

Este barco fue el primero que se descubrió con la filosofía de barcos modulares y que motivó la idea del proyecto.

Martin J. Adams es un estadounidense que se diseñó y fabricó su propio barco con técnicas, materiales y herramientas más propios de Leroy Merlin que de un astillero.

Martin es un “manitas” dedicado a la construcción, carpintería, etc, cuyo hobby es la vela y se construyó este barco con las herramientas de su taller y los materiales con los que trabajaba día a día como tuberías de PVC y madera. La única limitación que tenía era que para poder ir de su casa al lago necesitaba coger el coche y por ello hizo el barco desmontable.



Figura 11. Rebel Cat montado

Los materiales que Martin utilizó costaron menos de 1.000 \$. Esto da una idea de que no es necesario entrar en grandes inversiones para conseguir que el barco se pueda desmontar y que mantenga la rigidez cuando esté ensamblado.



Figura 12. Rebel Cat desmontado

En esta imagen podemos ver como el barco se desmonta y se puede llevar en la baca del coche sin necesidad de usar un remolque. Este diseño cumple el requisito de ser modular pero está muy lejos de ser una embarcación con buena navegabilidad. Los puros circulares no evitan de ninguna forma que el barco abata o derive, los sistemas de trimaje y herrajes son muy básicos y obsoletos, los timones están mal diseñados, la superficie vélica es muy baja, etc. Además el tiempo necesario para ensamblar el barco completamente es muy

elevado.

### 3.3 Expand Craft

Expandcraft fue diseñado por una empresa dedicada a la construcción de kayaks y embarcaciones tipo barca plegables. Es un pequeño catamarán con una vela pensado para que una persona pasee por un río o lago. No está pensado para navegar por el mar o cualquier lugar con olas ya que su bajo francobordo impide navegar con un mínimo oleaje ya que los puros se clavan con gran facilidad deteniendo el barco.



Figura 13. Expand Craft navegando

Algo muy positivo que aporta este modelo es la idea de los puros modulares con secciones de un metro.



Figura 14. Expand Craft desmontado

Estos puros de plástico se fabrican fácilmente en un molde y una vez enfrían son muy resistentes, pesan muy poco y conceden una muy buena flotabilidad. Es muy habitual ver hoy día pequeñas embarcaciones fabricadas en estos materiales en vez de en fibra de vidrio debido a lo resistente que son y su bajo coste además de lo fácil y rápido que es trabajar con ellos.



Figura 15. Flotabilidad de los cascos de Expand Craft

En esta imagen se puede apreciar como estos puros pese a ser pequeños aportan una gran flotabilidad. Esto hace pensar que puede ser más interesante utilizar estos polímeros como material base para la fabricación de los puros.

### 3.4 Happy Cat

Este barco es el mejor diseño existente hasta el momento. En este caso estamos ante un barco inflable.



Figura 16. Happy Cat navegando y dos Happy Cats guardados en sus bolsas

Este barco es totalmente plegable ya que se desinfla y enrolla guardándolo en una mochila y su palo se desmonta en piezas de dos metros.

El Happy Cat permite una gran navegabilidad sin necesidad de foils por el diseño de los puros que se clavan en el agua. Esto impide que el barco derive o abata. Alcanza 25 km/h sin tener un gran palo por su poco peso, navega muy bien en rumbos abiertos y ciñe de forma aceptable.



Figura 17. Happy Cat navegando

El principal problema que tiene esta embarcación es que sea hinchable. Esto la hace totalmente plegable pero al mismo tiempo es su gran debilidad. Un barco inflable nunca va a alcanzar la rigidez de uno normal y con oleaje o condiciones de viento fuerte se hace muy difícil navegar con este. Además la aparición de fugas y poros supone un gran riesgo.

### 3.5 Reverso

Reverso tuvo una gran difusión en España ya que fue diseñado en Valencia y es el primer barco de este tipo utilizado y comercializado en España.

Es especialmente interesante porque se ensambla completamente en 90 segundos. Esto es mucho menos que en cualquiera de los casos anteriores, aunque también es cierto que esta embarcación tiene 3 metros de eslora.

Lo que lo hace muy rápido de montar es el sistema que tiene para unir las secciones y dar rigidez al conjunto. Las distintas secciones encajan con unos tetones en la parte baja del casco y se cierran por arriba con unos pestillos.



Figura 18. Reverso navegando



Figura 19. Montaje del reverso

Con ese sistema las secciones quedan unidas y para darle rigidez al conjunto se tensa con dos cinchas de proa a popa. Este sistema de unión es muy fácilmente replicable y hace que el ensamblaje sea realmente rápido evitando tener que poner ningún tornillo, inflar, etc.

### 3.6 Flap Boat

Este diseño es el único multicasco desmontable que se fabrica en España. Está contruido en fibra de vidrio con uniones plegables y desmontables pero en este caso es necesario un pequeño remolque para transportarlo.

Pesa unos 50 kilos debido a la combinación de fibra de vidrio con partes plásticas que utiliza y ofrece mucha estabilidad y navegabilidad gracias a sus tres puros. Es otro ejemplo de las virtudes del uso de los polímeros para barcos que permiten obtener rigidez con un peso mínimo



Figura 20. Flap boat navegando y en su remolque

### 3.7 Tiwal

Tiwal es la primera embarcación monocasco hinchable. Tiene los mismos problemas que el Happy Cat sumado a que necesita mucho más tiempo para ser montado, llegando a 20 minutos según sus creadores. Esta embarcación está pensada para una única persona.

En este caso las secciones en las que se divide el palo son de un metro lo que las hace mucho más manejables que en el caso anterior.



Figura 21. Tiwal navegando

# 4 MEMORIA JUSTIFICATIVA

---

*No hay viento favorable para el barco que no sabe donde va*

*- Lucio Anneo Séneca-*

**E**n este capítulo se justifica por qué se han tomado las principales decisiones de diseño. Como se ha podido ver anteriormente existen varias configuraciones tanto de cascos como de mástiles y velamen. En primer lugar se explicará el motivo para diseñar un multicasco en lugar de un monocasco. Finalmente se analizará el mejor trimaje posible de las velas y timones.

## 4.1 Comparativa entre multicasco y monocasco

Esta comparativa se plantea atendiendo a los objetivos planteados, es decir, capacidad de hacer la embarcación modular y navegabilidad. Todos los sistemas de navegación y componenetes necesarios para trimar el barco son prácticamente iguales en un monocasco y en un multicasco. El palo, botavara, vela, escotas, obenques, drizas, timones, etc son iguales. La principal diferencia radica en el número de cascos y el perfil de estos.

En primera instancia se podría pensar que dos cascos siempre van a ser más problemáticos y pesados que un único casco pero el perfil y tamaño de estos son muy diferentes en ambos cascos.



Figura 22. Diferencia del casco de un monocasco y un multicasco

En esta imagen podemos ver el perfil típico de un monocasco y un catamarán. En este caso se trata de un 470, barco olímpico y un Hobie Cat Max, catamarán concebido para enseñar en escuelas para iniciación. Ambos son de la misma eslora aproximadamente pero se puede ver claramente que la manga del monocasco es mucho

mayor. Los multicascos tienen cada uno de sus puros mucho más finos y alargados lo que genera mucho menos rozamiento en el agua. Además cuando navegan tienden a escorar y sacar uno de los puros del agua reduciendo a la mitad este rozamiento.

Cada uno de los cascos tiene un perfil que tiende a clavarse en el agua, a diferencia de los monocascos que se diseñan para planear sobre esta. Este perfil fino y alargado lo hace mucho más sencillo para dividir por módulos que se puedan encajar entre ellos posteriormente. Diseñando correctamente estas secciones pueden incluso encajarse unas dentro de otras una vez desmontado como si de muñecas rusas se tratase. Esto se verá más tarde.

En cuanto a navegabilidad se refiere los multicascos son mucho más estables que los monocascos. Escoran mucho menos y lo hacen de forma más suave permitiendo al patrón reaccionar para evitar volcar. Las velocidades máximas alcanzadas por los catamaranes son superiores a las de monocascos de la misma eslora. Todos los records de velocidad y de tiempo en travesía son de embarcaciones multicasco como el francés Orange 2, de 37 metros, que ha conseguido hacer 766 millas en un solo día superando los 60km/h de media o el catamarán Playstation que cruzó el Atlántico en solo 4 días.



Figura 23. Catamarán PlayStation

Estas ventajas son evidentes y están haciendo que las principales competiciones a nivel mundial vayan evolucionando hacia embarcaciones multicascos. El mejor ejemplo es el cambio que ha experimentado la mayor competición mundial de vela, la Copa América. El mayor evento del mundo de la vela ha decidido pasarse a los catamaranes por su espectacularidad, las velocidades que se pueden llegar a alcanzar, etc.



Figura 24. America's Cup

## 4.2 Elección de velas

Para elegir las velas a utilizar en el barco y su tamaño se requiere aclarar el uso que tendrá el barco y el rango de vientos óptimo en el que se desea navegar. Este barco está concebido para navegación de recreo y pequeñas regatas costeras. Esto incluye a la embarcación dentro de la categoría 5-6.

	Zonas de navegación	Distancia a la costa
Navegación oceánica	Zona 1	Ilimitada
Navegación en alta mar	Zona 2	Hasta 60 millas
Navegación en alta mar	Zona 3	Hasta 25 millas
Navegación en aguas costeras	Zona 4	Hasta 12 millas
Navegación en aguas costeras	Zona 5	Hasta 5 millas
Navegación en aguas costeras	Zona 6	Hasta 2 millas
Navegación en aguas protegidas	Zona 7	Aguas protegidas

Tabla 1. Categoría de embarcaciones según zona de navegación

Esta zona exige tener una buena maniobrabilidad tanto en rumbos cerrados respecto al viento (ceñida) como en rumbos abiertos (traveses, largos y empopadas).

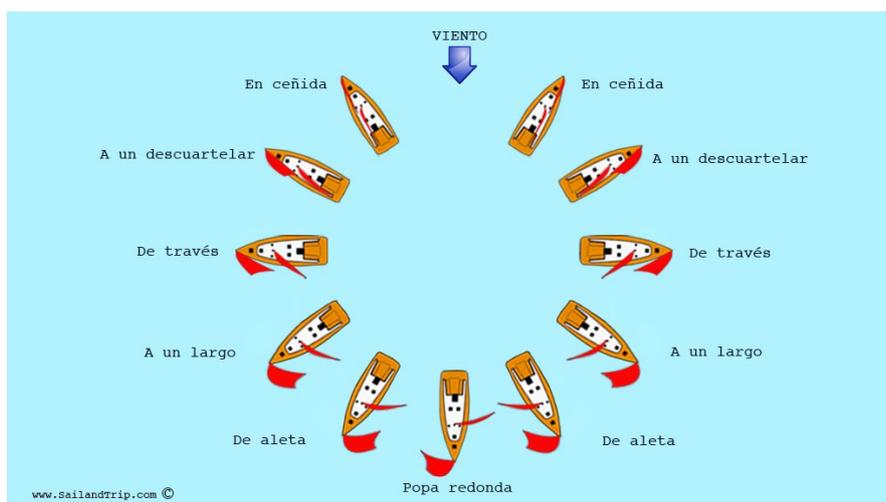


Figura 25. Diferente rumbos y posición de las velas

Cada rumbo tiene una configuración de velas diferente. Esto se hace muy evidente al comparar los barcos que se utilizaban para cruzar a América, con velas diseñadas para vientos portantes, concretamente Alisios, y los barcos utilizados en el mediterraneo para la pesca y el comercio con mayor capacidad para variar sus rumbos.



Figura 26. Carabela portuguesa y nao española

En esta imagen se puede ver la diferencia entre una nao española, con velas cuadradas pensadas para navegar con vientos portantes de popa que requieren pocas variaciones de rumbo y un empuje trasero, y una carabela portuguesa, con velas triangulares diseñadas para navegar contra el viento. Estas velas permiten navegar en todos los rumbos y poder variar estos con facilidad.

Como el barco se quiere utilizar para navegación costera, es necesario poder maniobrar con facilidad y en todas direcciones por lo que se diseña como un aparejo latino, los más habituales hoy día. Además de la vela mayor el barco contará con un foque a proa para aportar más superficie vélica y sobretodo maniobrabilidad en las viradas y trasluchadas.

El tamaño de las velas depende del tamaño del barco, de su peso y del uso y las condiciones en que vayan a ser utilizados. Las dimensiones del barco son muy similares a las de un Hobie Cat 16 o Nacra 16.

Barco	Altura del palo
Hobie 16	7 metros
Nacra 16	8 metros
Hobie Pack	6 metros

Tabla 2. Altura de palos

Estos dos son barcos de competición de fibra de vidrio en los que es necesario que los navegantes hagan contrapeso con un arnés como se puede ver en la imagen inferior. Estos barcos de alta competición no van dirigidos al mismo público que la embarcación objeto de este proyecto. Para poder navegar de forma confortable sin necesidad de colgarse de un arnés es necesario tener un palo más corto que no genere tanta escora. Por ello se decide construir un palo de 6 metros, que con una botavara de 2 proporciona una superficie vélica ideal.



Figura 27. Nacra navegando con ambos tripulantes al trapecio

Para el cálculo del plano vélico es necesario equilibrar las fuerzas que generan ambas velas para evitar que el centro de presión vélica haga al barco orzar o derivar. Esto ocurre cuando el centro de presión vélica (Cpv) y el centro de resistencia lateral (CrL) están desalineados.

- Tendencia a orzar (girar hacia la dirección del viento): ocurre cuando el Cpv se encuentra a popa del CrL.
- Tendencia a arribar (girar hacia sotavento abriéndose al viento): ocurre cuando el Cpv se encuentra a proa del CrL.

Para que ambos centros estén debidamente alineados es necesario repartir bien la superficie vélica entre el foque y la mayor. Una mayor muy grande desplazará este hacia popa, y un gran foque hacia proa. La expresión aproximada que se utiliza para calcular la distancia del centro de presión de la mayor al Cpv es:

$$a = \frac{l}{\frac{A_m}{A_f + 1}}$$

donde:

- a es la distancia entre el centro de presión de la mayor y el Cpv
- l es la distancia entre el centro de presión de la mayor y el foque
- $A_s$  es el área del foque
- $A_m$  es el área de la mayor

La suma total de áreas debe ser de 10 metros cuadrados máximo para que no sea necesario el uso de arnés para hacer banda.

$$A_f + A_m \leq 10 \text{ m}^2$$

Debido a la eslora del barco, la distancia entre centros de mayor y foque  $l$  será de 1,5 m. Para que el el  $C_{pv}$  coincida con el  $C_{rl}$ , que está en mitad del puro,  $a$  debe de ser 0,5 aproximadamente.

Con estas restricciones obtenemos una superficie vélica para la mayor de  $8,25\text{m}^2$  y de  $1,75 \text{ m}^2$ .

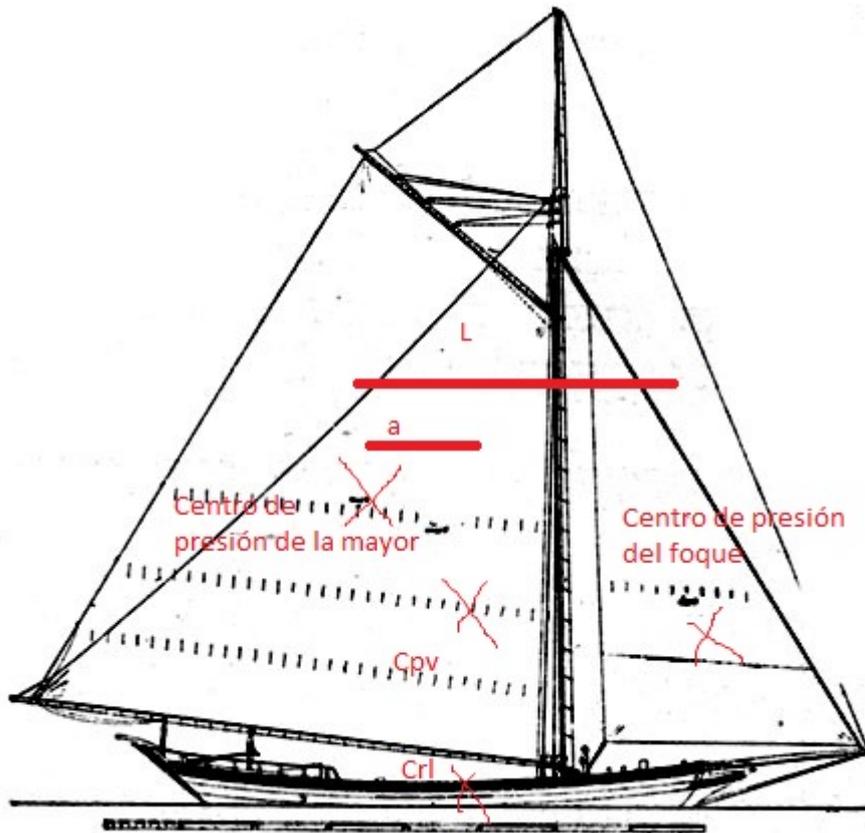


Figura 28. Centro de presión de foque, mayor, velas y centro de resistencia lateral

### 4.3 Timones

El timón es el encargado de dirigir la embarcación y hacer variar sus rumbos. Es una parte fundamental del barco y requiere una atención importante. La pieza fundamental es la pala, que es quien se submerge y está en contacto con el agua.

Antes de determinar el perfil y tamaño del timón es necesario ver el número de timones. Para un catamaran se puede elegir entre uno en el plano medio del barco o dos, uno centrado en cada pantón. Un único timón tiene la ventaja de que te ahorras tener que comprar o fabricar dos, pero aporta menor navegabilidad, desalinea el contacto con el agua entre pala y casco y si el barco escora mucho puede salirse del agua dejando a la embarcación sin gobierno. Por ello se decide colocar dos timones.

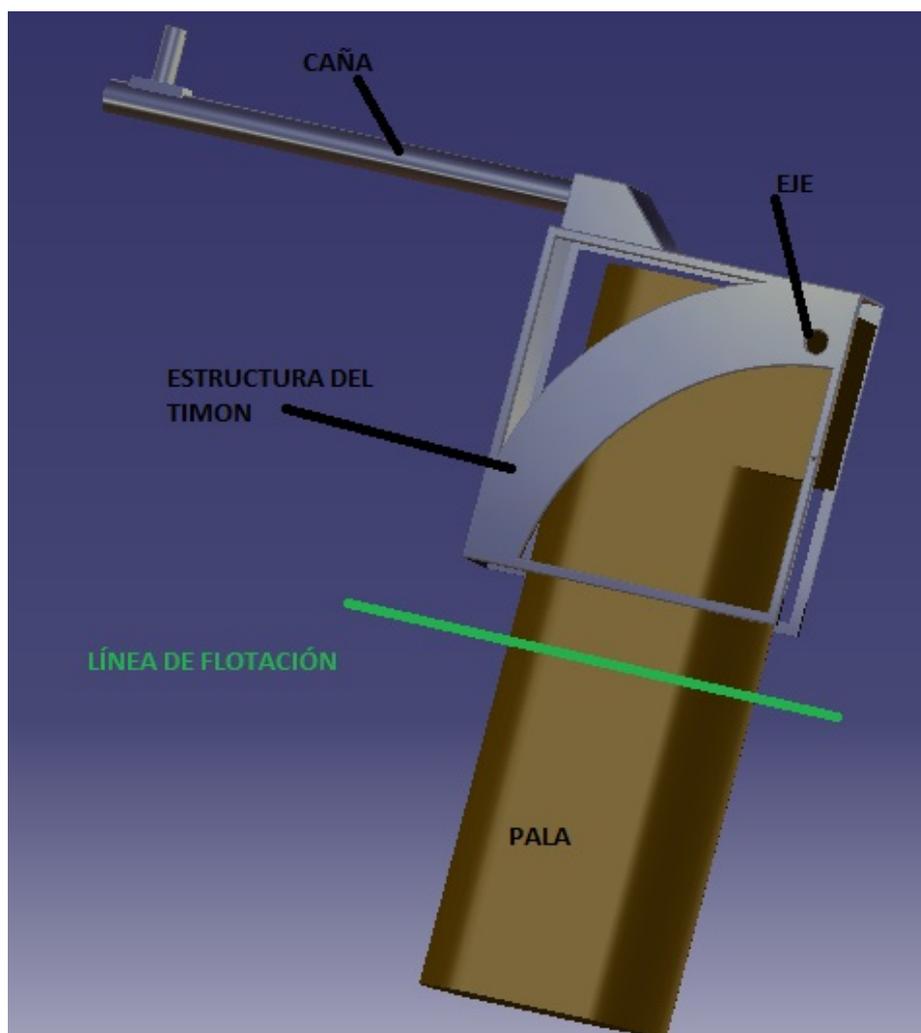


Figura 29. Partes de un timón

El cálculo del área lateral del timón se basa en los estudios de Larsson que lo relaciona con la superficie vélica. En concreto, debe estar entre el 1 y 2% de la superficie vélica de la embarcación. Para  $10 \text{ m}^2$  de vela se necesitarán  $0,15 \text{ m}^2$  de pala sumergida.



## 5 PROCESO DE DISEÑO

*Cuando trabajo en un problema nunca pienso en su belleza, solo en resolverlo. Cuando termino, si la solución es bella, se que es la solución correcta*

*- Richard Buckminster Fuller -*

El proceso de diseño comienza con la parte del barco en contacto con el agua, es decir, con los cascos. Después se pasa a la estructura metálica del barco, palo, botavara, botalón, timones, velas, uniones, caña, stick, obenques, tensores, escota, lona, etc. En total el barco se compone de 146 piezas que se describirán a lo largo del capítulo.



Figura 30. Árbol de proyecto

## 5.1 Cascos

Los cascos son las partes del barco que están en contacto con el agua. Es una de las más importantes que marcará la estabilidad, navegabilidad y flotabilidad de la embarcación. Además es lo más complicado de hacer modular por la dificultad que conlleva su ensamblaje posterior.

Una vez decidida la configuración de catamarán, lo primero que se hizo fue diseñar el perfil del puro. Los cascos de los catamaranes se diseñan para que se claven en el agua actuando como la quilla y la orza de un monocasco. La sección del puro se observa en el siguiente Skecth. Este perfil permite que la obra viva se clave en el agua y el barco no derive. La obra muerta se hace más ancha para poder unir las distintas partes de la embarcación al casco.

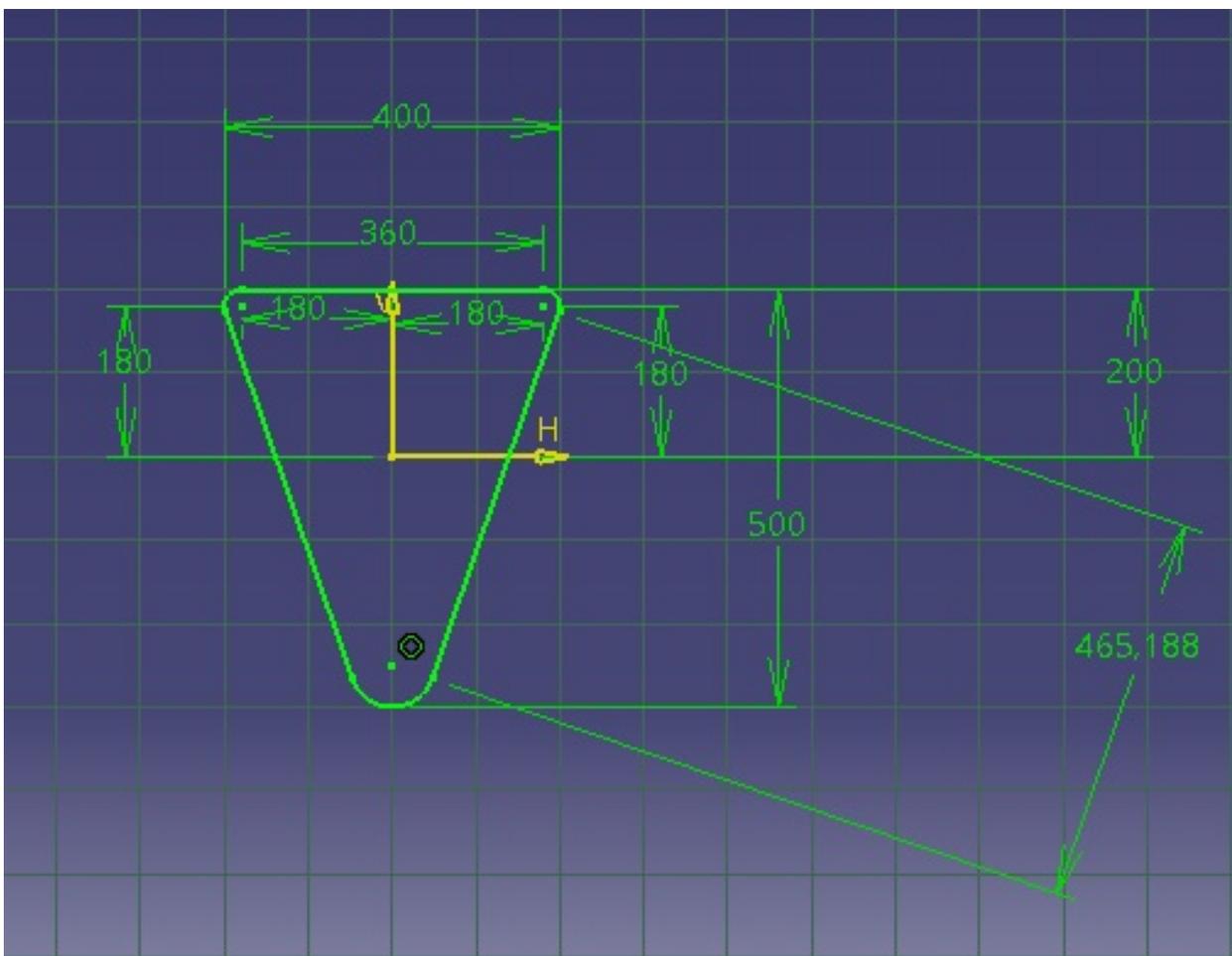


Figura 31. Perfil del casco

El pantón completo mide 5 metros una vez acoplado y puede dividirse en secciones de un metro para que pueda guardarse en el maletero de un coche. Para hacerlo más compacto se encajaron unas secciones dentro de otras haciéndolas más grandes en proa y disminuyendo hacia popa.

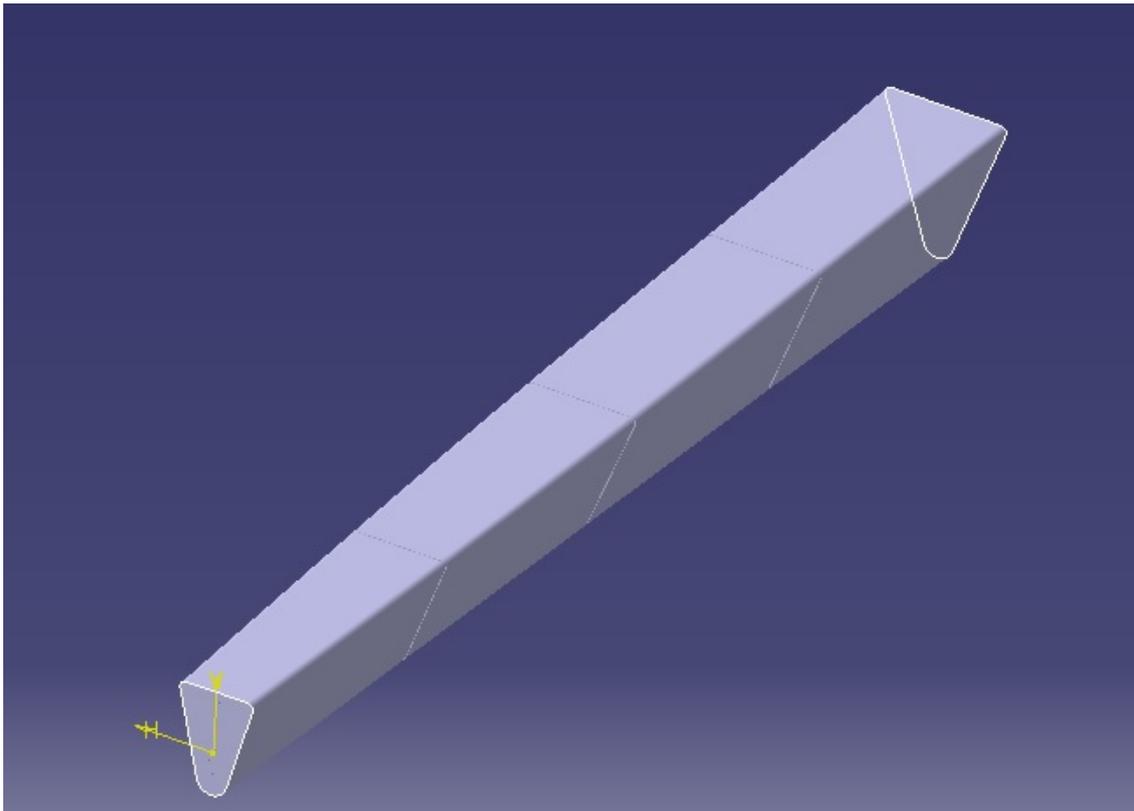


Figura 32. Forma del puro de la embarcación

Para calcular la conicidad que deben tener las distintas secciones para poder encajarlas unas dentro de otras es fundamental definir primero el espesor del casco. Los cascos normales de catamaranes de este tamaño varían entre 1 y 2 cm de espesor. El Hobie Pack tendrá 2 cm de espesor para asegurar que sea rígido y resistente.

Al tener secciones de 1 metro y teniendo que ser 2 cm más estrecha cada sección por cada lado para poder encajar una dentro de otra se obtiene la conicidad necesaria.

$$\text{Conicidad} = \frac{\text{Disminución diámetro}}{\text{altura}}$$

$$c = \frac{4}{100} = 0,04$$

Con esa conicidad las secciones podrán encajarse. Para que una pieza pueda entrar dentro de la anterior requiere que la grande sea hueca por la proa.

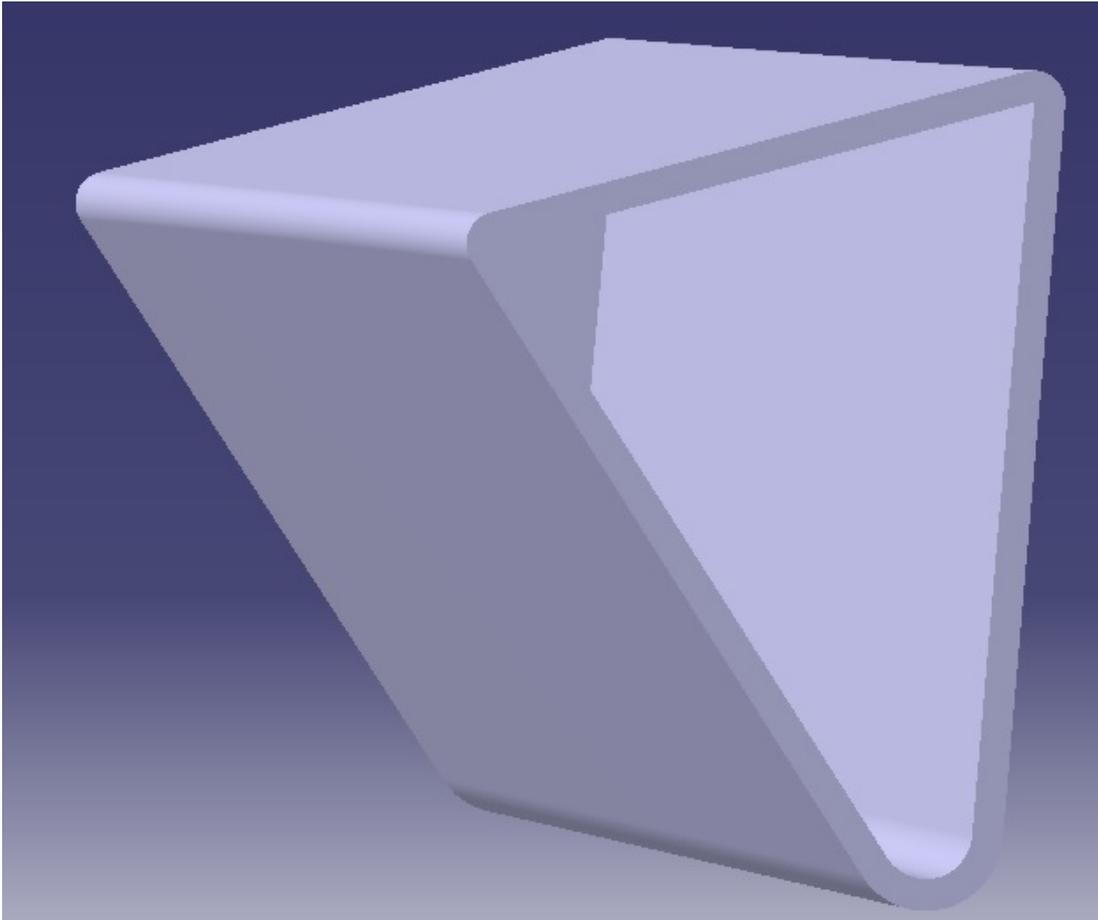


Figura 33. Sección hueca del casco

La sección de proa se diseña con una línea diferente. Esta es la encargada de cortar el agua y requiere ser más afilada y puntiaguada para proporcionar una mejor hidrodinámica al conjunto.

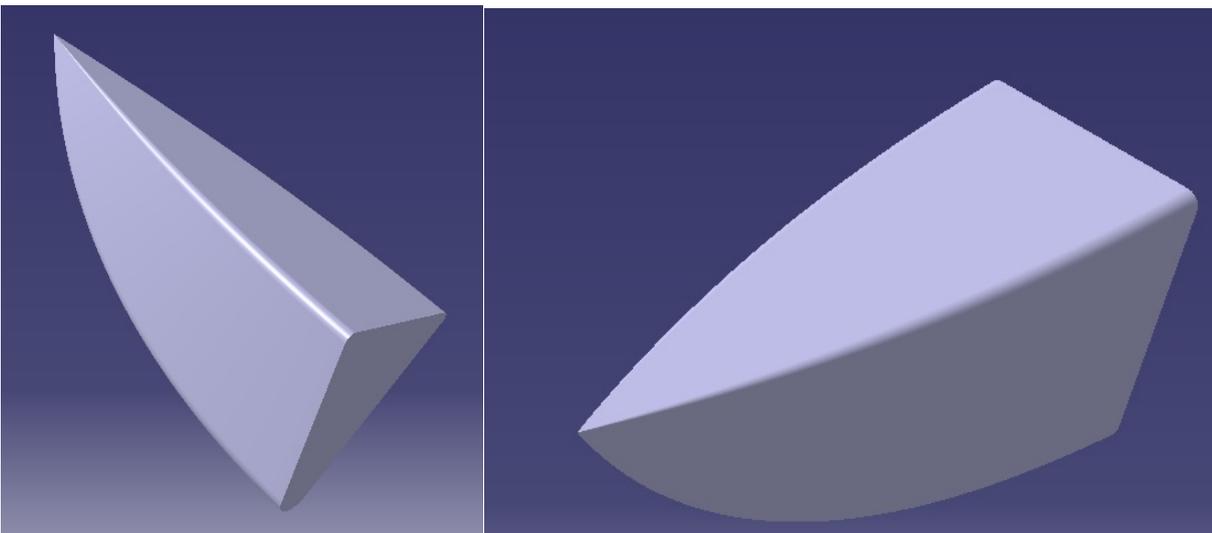


Figura 34. Sección de proa

Para que las secciones encajen correctamente entre si y no se muevan al estar ensambladas se crea un reborde en ellas para mejorar la unión. Tanto este reborde como el interior de la sección en la que encaja lleva una capa de goma para asegurar el hermetismo.

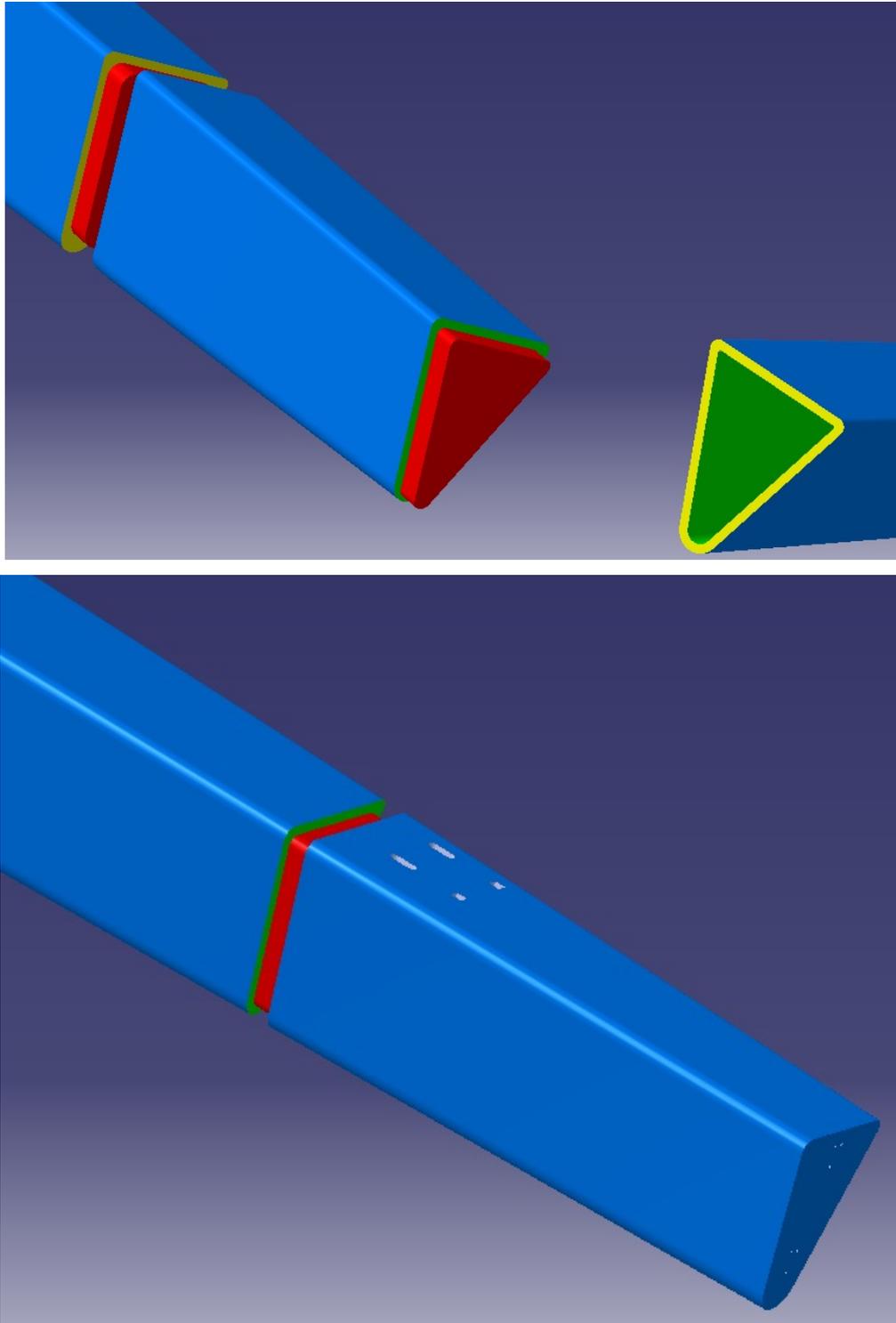
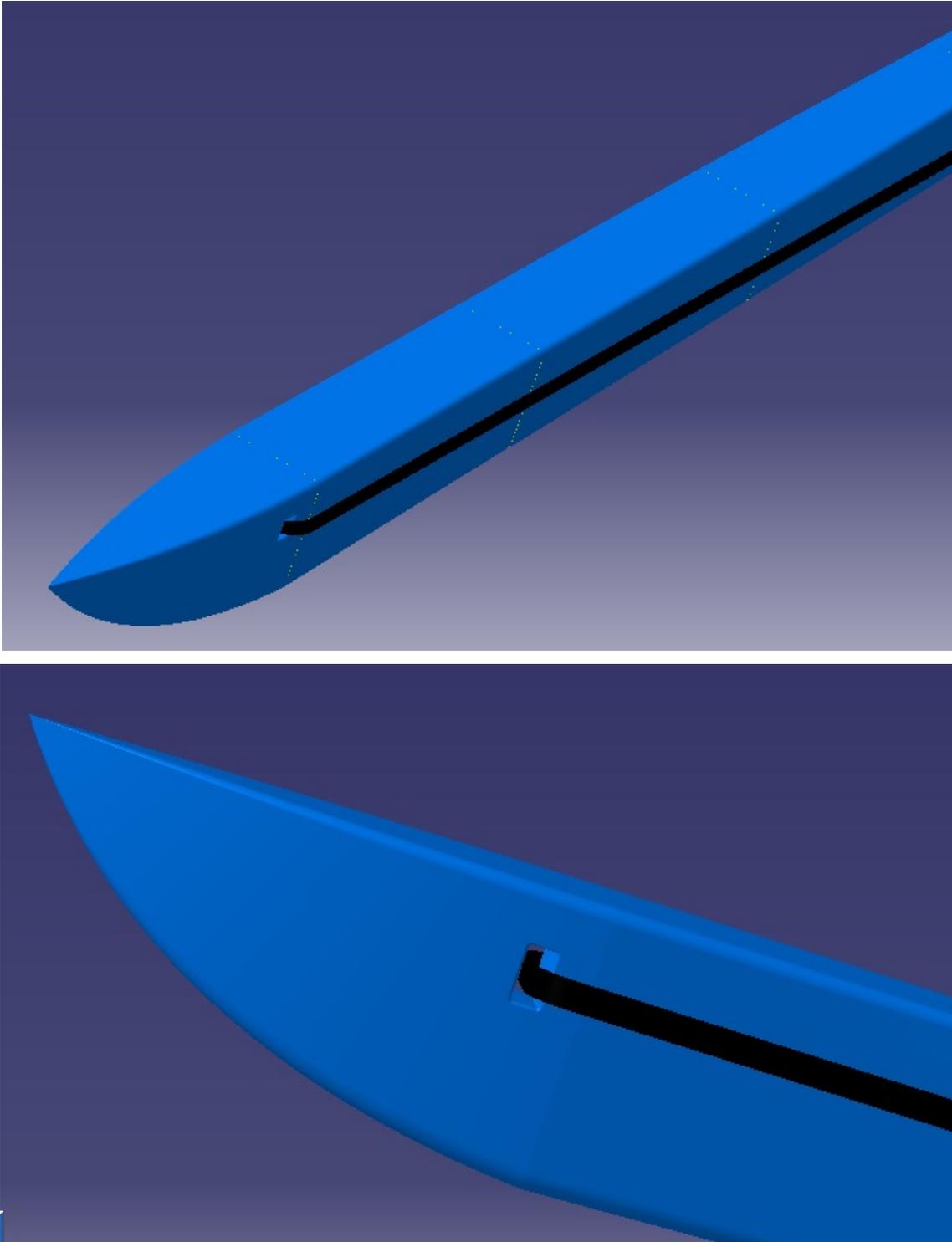


Figura 35. Secciones con reborde para mejorar el encaje e estanqueidad

Una vez están las secciones unidas entre si se utiliza una cincha para tensar el sistema y evitar que se separe el casco.



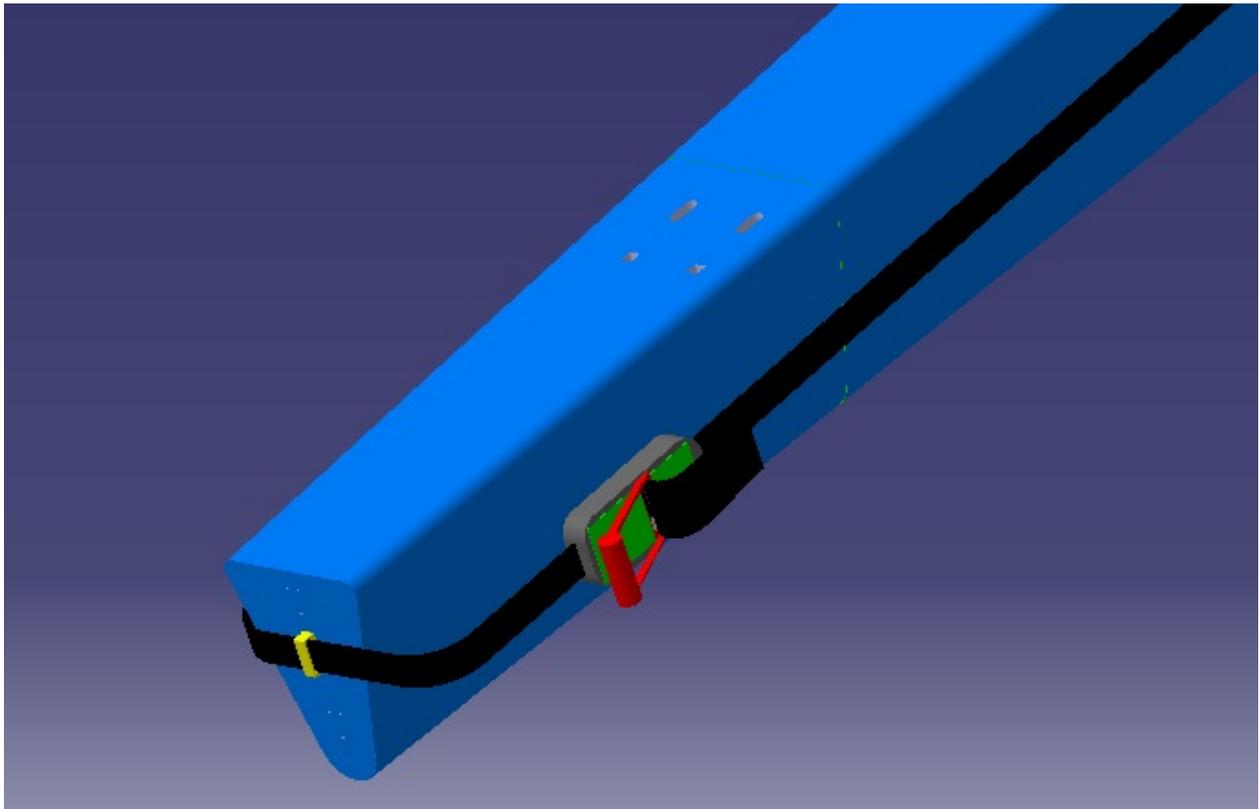
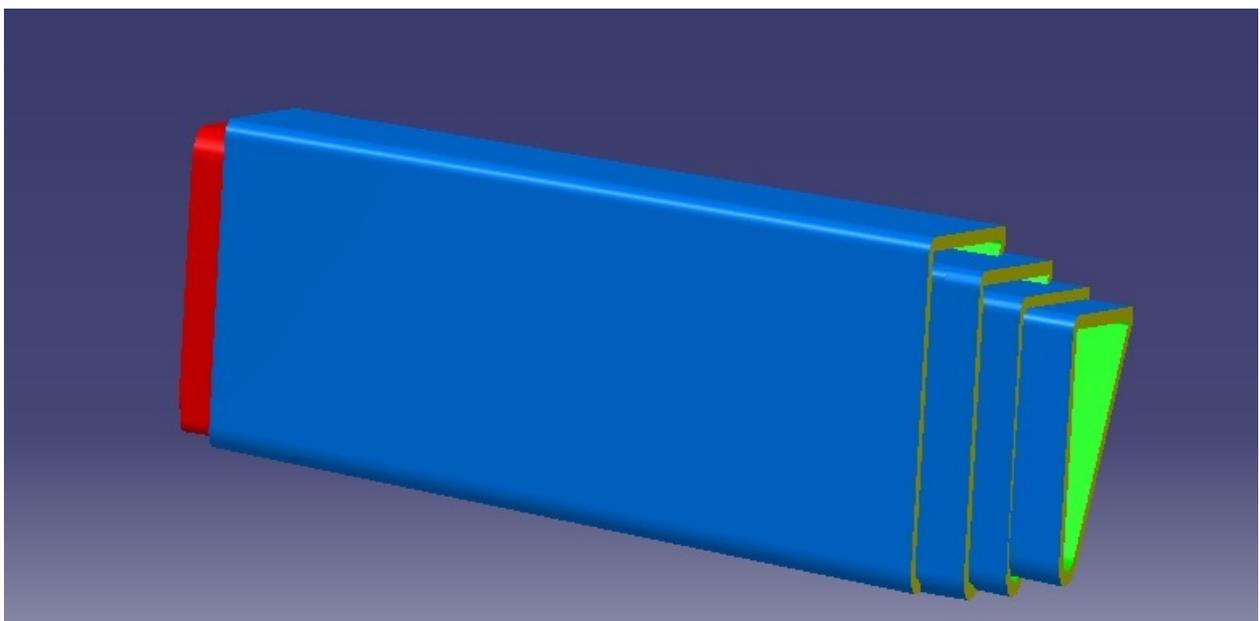


Figura 36. Casco acoplado con sistema de cincha para el tensado

El conjunto desmontado se encajará para transportarlo o guardarlo.



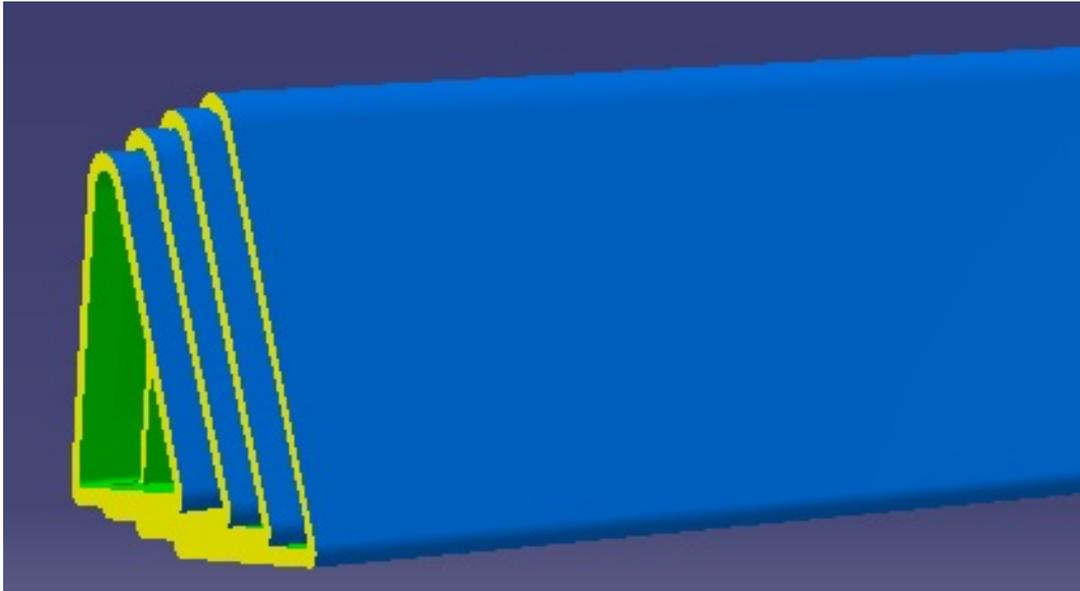


Figura 37. Casco desmontado

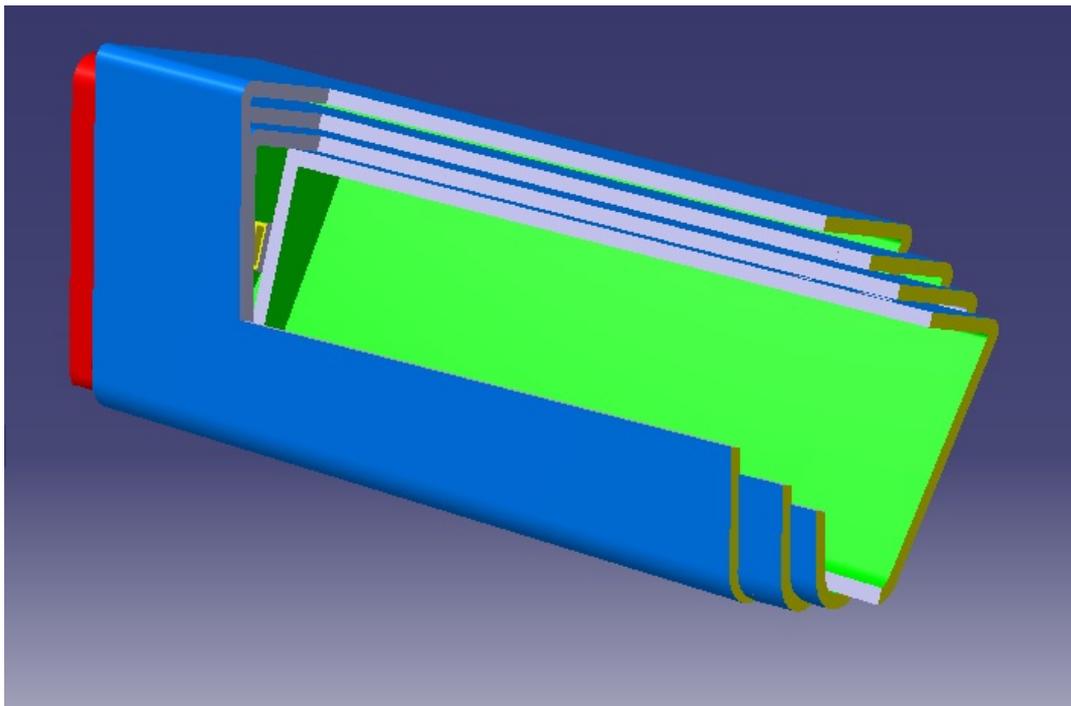


Figura 38. Corte del casco

Como se ha podido ver, con esta configuración se consigue un diseño estable, hidrodinámico y de fácil ensamblaje. El perfil seleccionado permite obtener la forma y funcionalidades deseadas sin añadir excesiva complejidad al proceso de fabricación.

En el corte se puede ver que queda una pequeña holgura al agrupar las distintas secciones para permitir que se puedan guardar correctamente.

## 5.2 Estructura metálica

La estructura metálica es fundamental en un catamarán ya que es la encargada de mantener unidos ambos cascos y servir de base para el palo. Además en esta se coloca la lona sobre la que irán los navegantes. Está será una estructura cuadrada de 2x2 formada por tubos cilíndricos huecos de aluminio.

### 5.2.1 Tubos

Para conseguir la estructura de 2 metros de lado necesitaríamos tubos de esta longitud, pero para que estos quepan en el maletero de un coche es preferible hacerlos en 1 metro y unirlos entre sí. Los tubos tendrán un radio exterior de 25 mm y un espesor de 3 mm para soportar el peso de la tripulación.

El final de una de las dos secciones en la que se divide cada lado de la estructura será más fino para encajar dentro de la otra sección y que estas queden correctamente unidas.

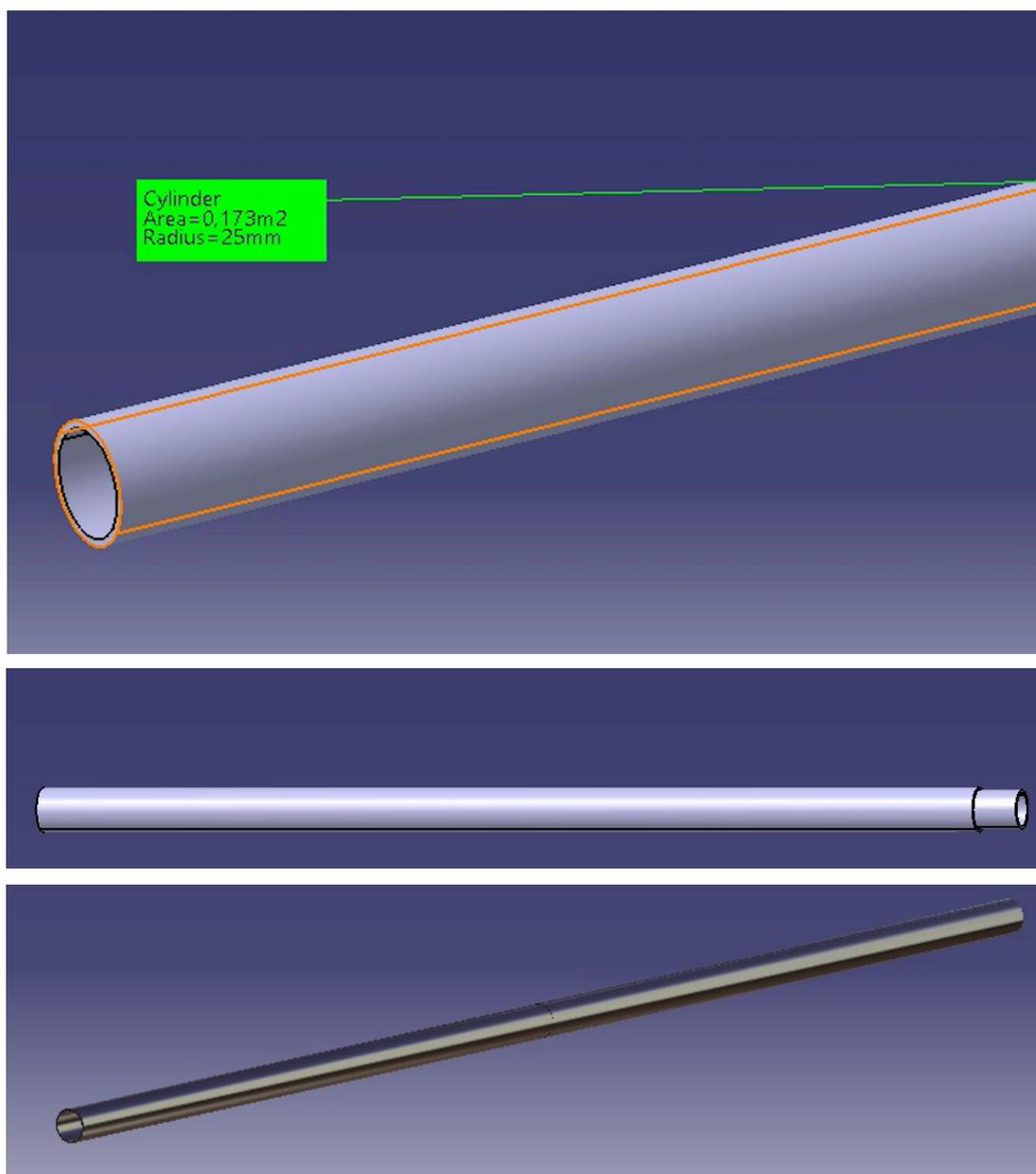


Figura 39 Tubos de la estructura metálica

La unión entre ambos tubos quedará fijar gracias un tetón.

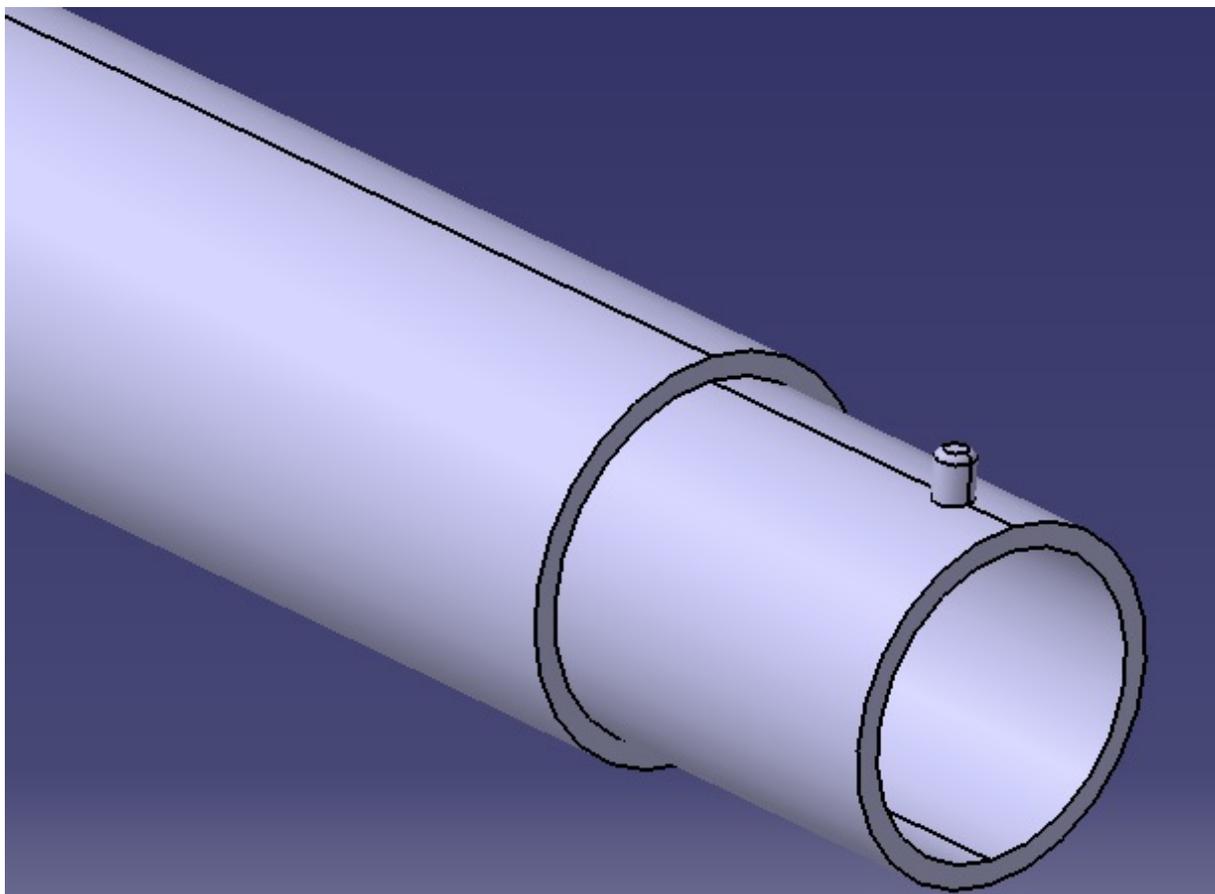


Figura 40. Tetón para la unión

### 5.2.2 Uniones

Cada lado de la estructura metálica debe unirse entre sí para formar el cuadrado, y este conjunto a su vez debe unirse al barco. Para ello se utilizan 4 uniones, una por cada esquina, que unen el conjunto completo.

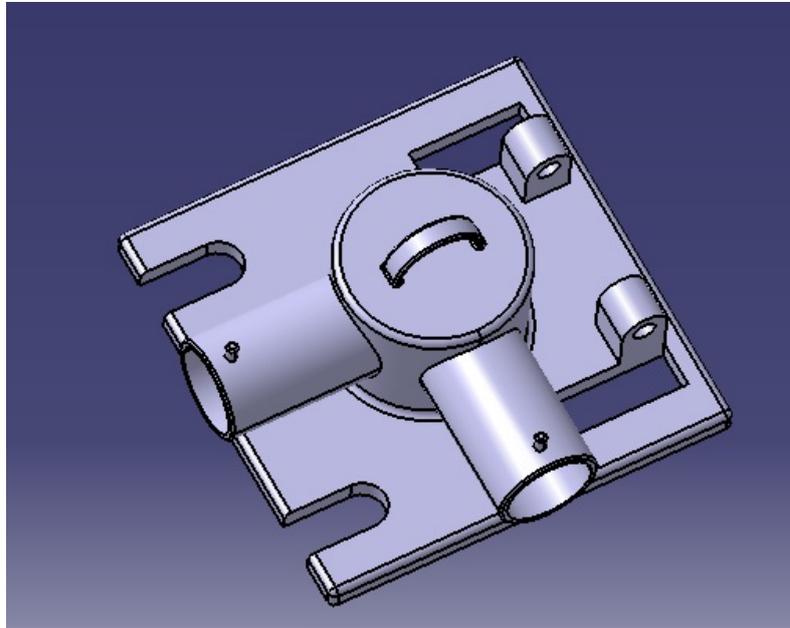


Figura 41. Unión de la estructura metálica

Esta estructura tiene una base rectangular que estará en contacto con el casco. La utilidad de los distintos agujeros y herrajes se explica más adelante. Los dos lados de la estructura metálica encajarán en los dos cilindros que sobresalen. Estos quedan unidos nuevamente gracias a unos tetones.

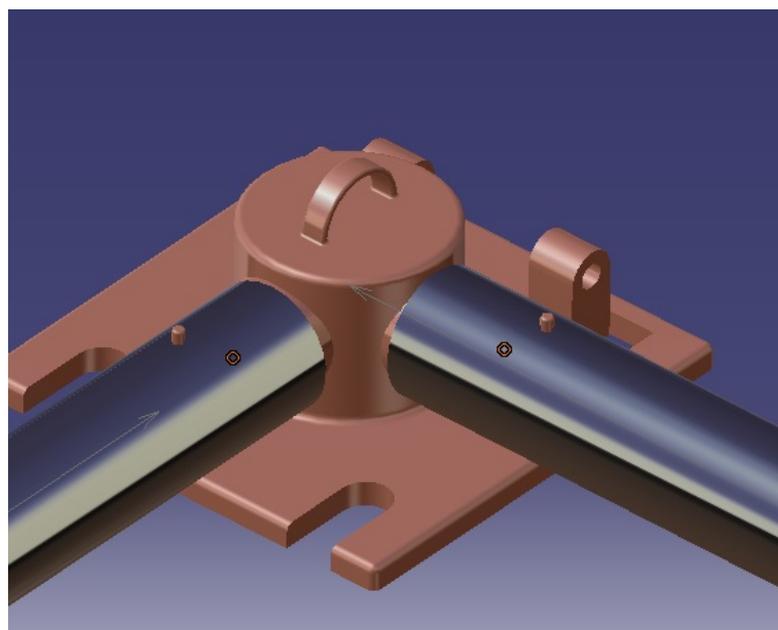


Figura 42. Unión con tubos encajados

### 5.3 Palo

El palo de 6 metros necesita, al igual que el resto del barco, ser modular para poder transportarlo en el maletero de un coche. Por ello se decide dividir este en secciones de 1 metro que se unan unas a otras igual que las secciones de la estructura metálica.

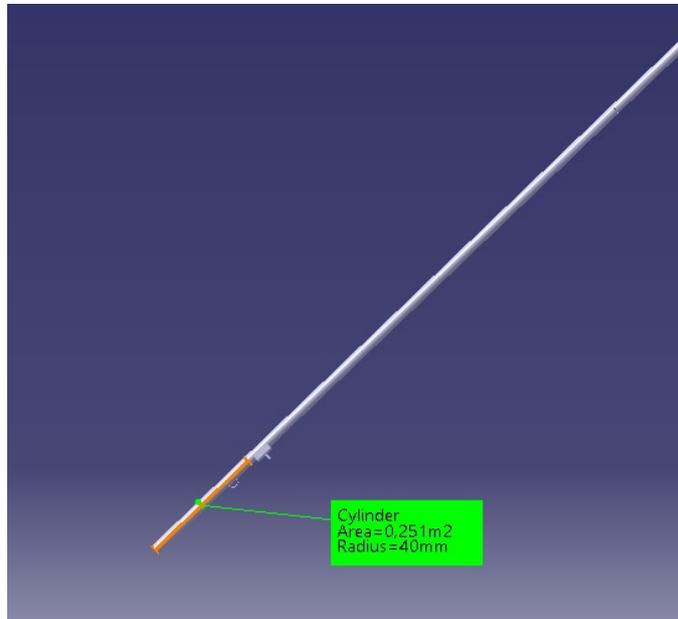


Figura 43. Palo ensamblado

Los tubos en este caso serán de 80 mm de diámetro con un espesor de 5 mm para aguantar bien los esfuerzos de las velas.

### 5.4 Botavara

La botavara sigue los mismos principios que el palo. Para determinar la longitud necesaria se tiene que tener en cuenta la superficie vélica de la mayor. Esta será de 8,25 m<sup>2</sup> aproximadamente. Pese a tener un palo de 6 metros, ya se verá que la vela empieza a 1 metro del principio del palo para poder pasar por debajo de la botavara.

Si la vela fuese un triángulo rectángulo de 5 metros de altura y cuyo área se quiere que sea 8,25 m<sup>2</sup>, se puede obtener la longitud que debe tener la botavara.

$$Botavara = \frac{\text{Área de la mayor} * 2}{\text{Altura}} = \frac{8,25 * 2}{5} = 3,3 \text{ metros}$$

Pero la vela de un catamarán no es realmente triangular, por lo que se llegará a un punto medio entre un triángulo y un cuadrado.



Figura 44. Forma de la mayor de un catamarán

Si la vela fuese completamente rectangular se necesitaría una botavara de 1,65 metros. Ponderando, se decide hacer una botavara de 2,5 metros y se controlará la forma de la vela para no exceder la superficie vélica necesaria.

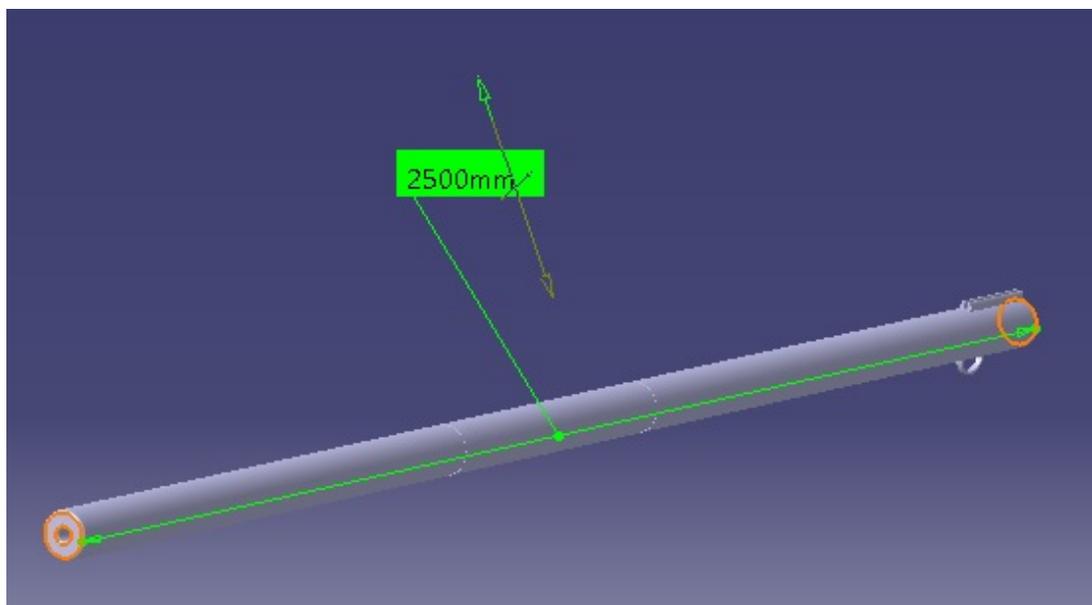


Figura 45. Botavara

Esta se dividirá en dos secciones de un metro y una de medio metro que se unirán como el resto de tubos. Los tubos tendrán la misma sección que los que componen el palo.

La botavara se encaja en el palo como se puede observar en la siguiente imagen.

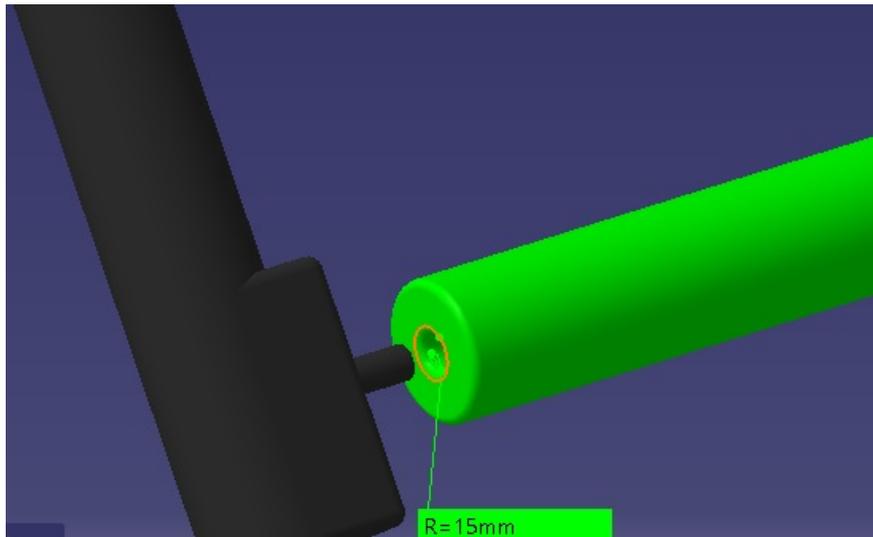


Figura 46. Unión entre palo y botavara

Del palo sale un cilindro que encaja dentro de la botavara. El sistema queda rígidamente unido cuando se une con la vela como se podrá ver posteriormente.

## 5.5 Botalón

El botalón es el encargado de soportar el puño de amura del foque y de dotar a este de la forma deseada. Es un tubo de 1 metro igual con sección idéntica al palo y la botavara. En su extremo de proa lleva tres puntos de unión, uno para cada tensor, que se verán más tarde, y otro para unirlo al foque. Se unirá a la estructura metálica a través de la base del palo.

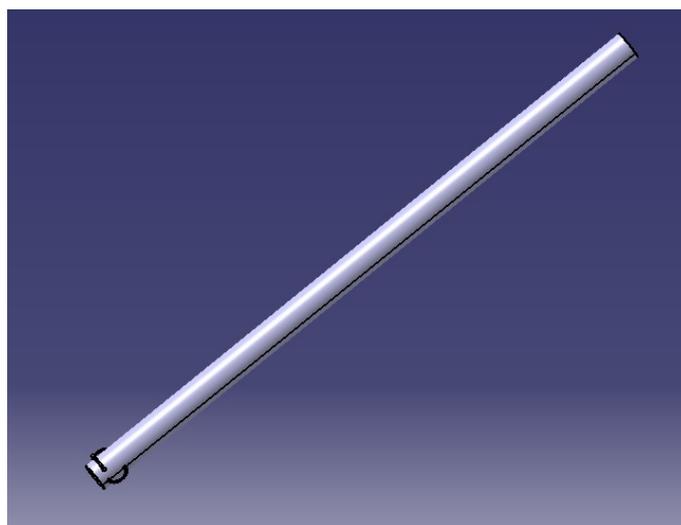


Figura 47. Botalón

## 5.6 Base de palo

La base del palo es la encargada de unir este y el botalón a la estructura metálica. Las uniones con todas estas piezas serán como las de la estructura metálica. Unos cilindros encajarán dentro de las distintas piezas y unos tetones harán que no se separen.

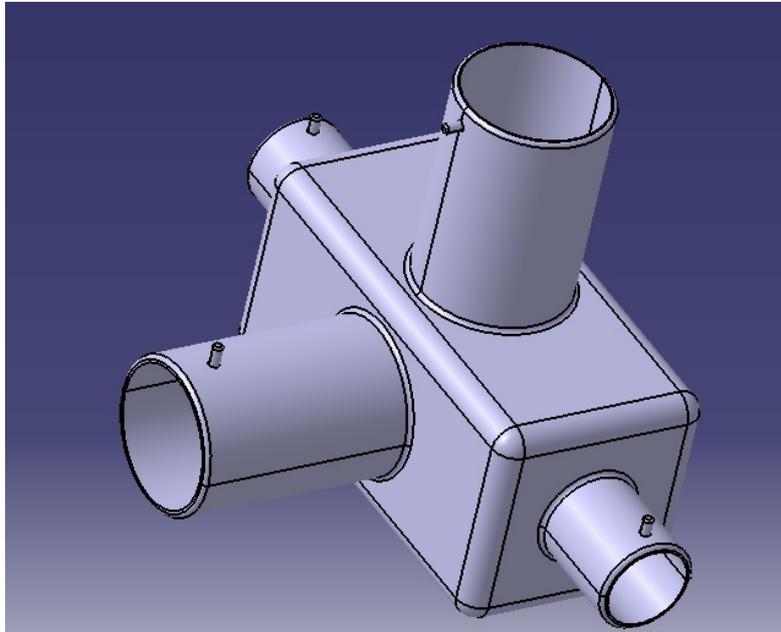


Figura 48. Base del palo

El ensamblaje completo del conjunto se puede ver en la siguiente imagen.

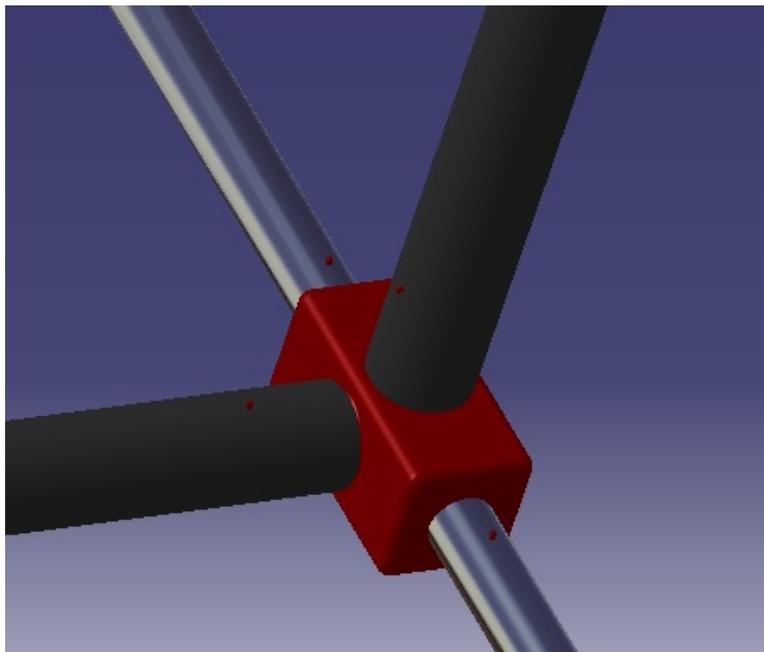


Figura 49. Base del palo montada

## 5.7 Timones

En este apartado veremos el diseño de los distintos componentes que forman el timón; palas, estructura, caña, stick y las cogidas para unir estos al casco

### 5.7.1 Pala

En el capítulo anterior se estimó que el área de contacto de las palas con el agua debe ser de  $0,15 \text{ m}^2$  aproximadamente. Además de esto se debe dotar a la pala de un perfil hidrodinámico que evite la aparición de muchas burbujas o turbulencias en el contorno de la pala que dejen a la embarcación sin control.

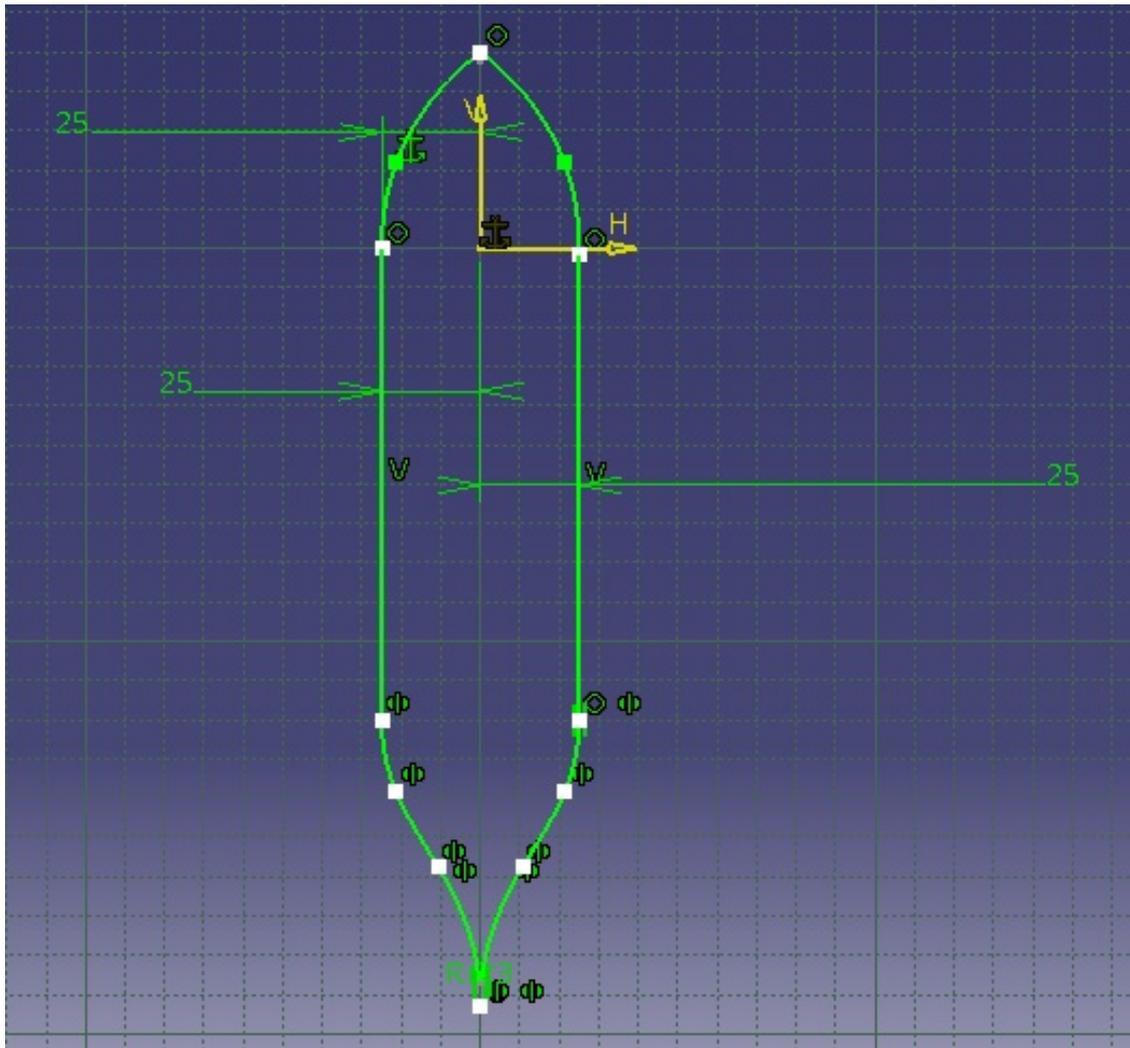


Figura 50. Perfil de la pala del timón

Por la parte superior la pala se hace más ancha teniendo más espesor para encajar en el eje que permite a la pala subir y bajar cuando se acerque a la orilla.

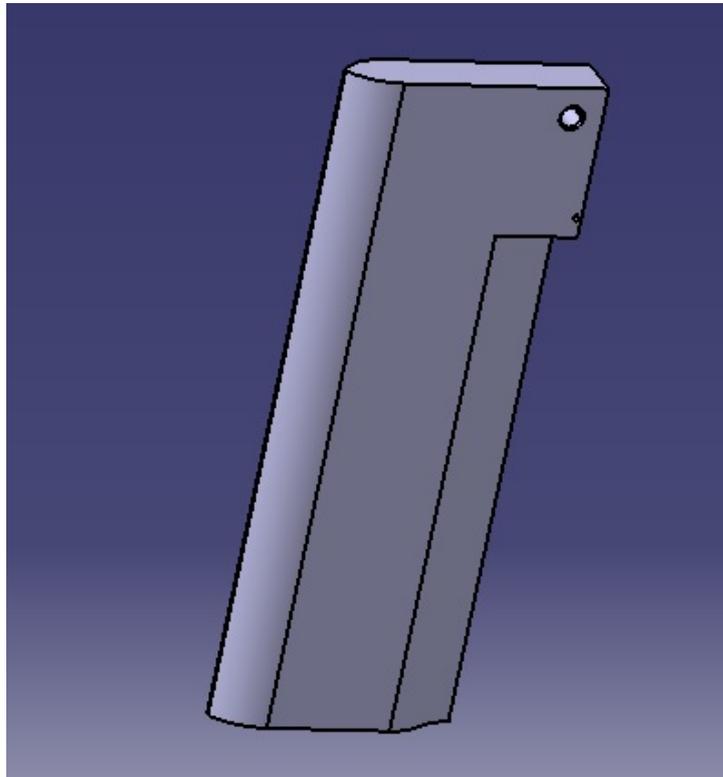


Figura 51. Pala del timón

Se puede ver un agujero menor que sirve para encajar un pasador para evitar que la pala se suba cuando esta en la posición de navegación.

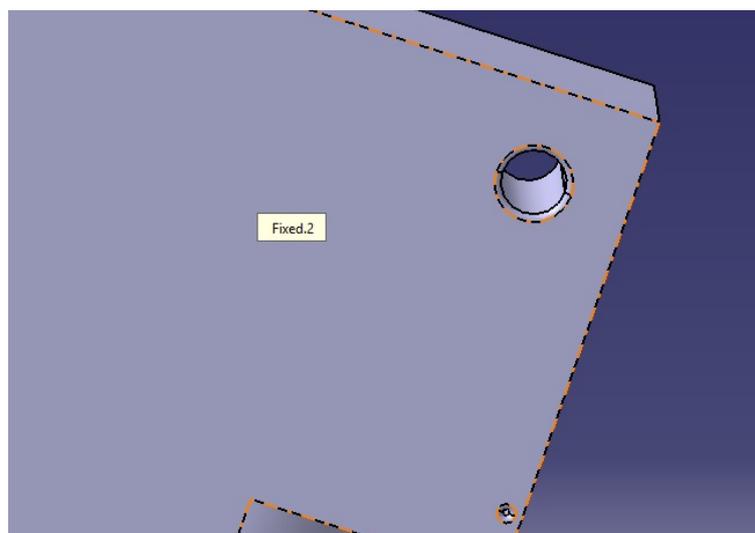


Figura 52. Detalle del agujero para el eje que permite subir y bajar la pala

Para obtener el área de contacto lateral del timón no se tiene en cuenta toda la pala, sino la parte que está sumergida, es decir, por debajo de la línea de flotación. Se suma el área de los tres diferentes perfiles.

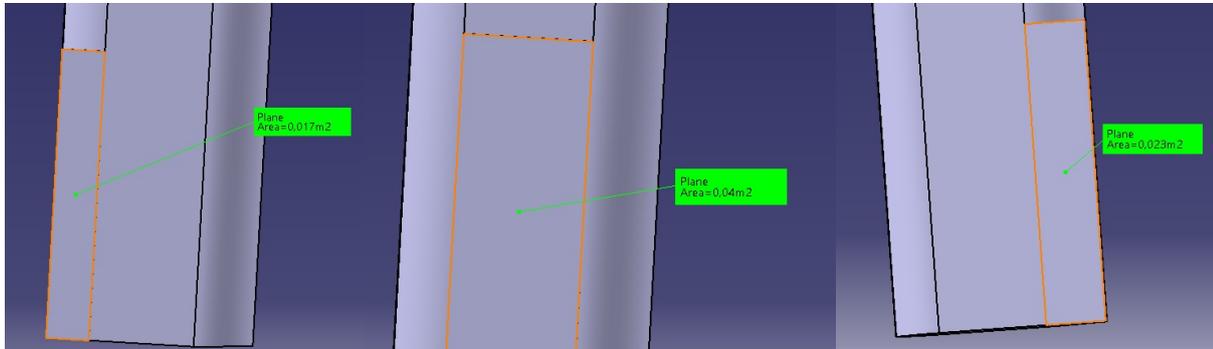


Figura 53. Áreas laterales del timón

$$A_{lateral} = 0,017 + 0,04 + 0,023 = 0,08 \text{ m}^2$$

Sumando ambas caras del timón se obtiene  $0,16 \text{ m}^2$ , prácticamente el área idónea calculada.

### 5.7.2 Estructura del timón

La pala del timón se une a una pequeña estructura sobre la que pivota para subir y bajar al llegar a la orilla y que permite que esté fija en su posición de navegación. Esta se unirá a la caña, equivalente al volante de un coche, que dará la dirección deseada a la embarcación.

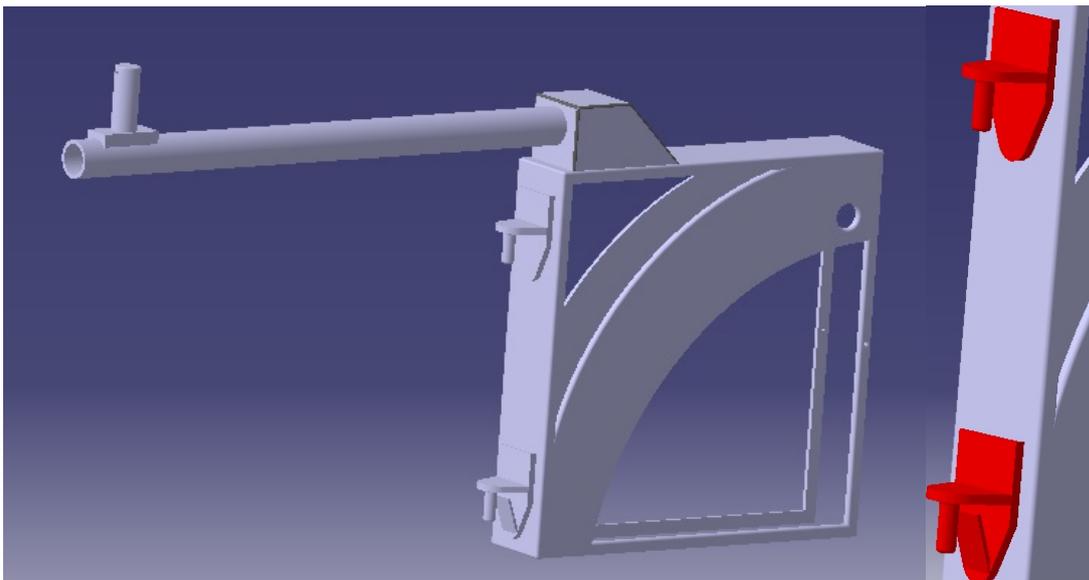


Figura 54. Estructura del timón con detalle de uniones

Se pueden ver en rojo las piezas a través de las cuales se une el timón al casco como se verá posteriormente. También se observan los huecos para el eje de la pala y el pasador.

### 5.7.3 Caña

La caña es el conjunto formado por tres tubos que se unen a las estructuras de los timones. Dos de ellos se unen a dichas estructuras como se observa en la imagen, y el tercero une a ambos.

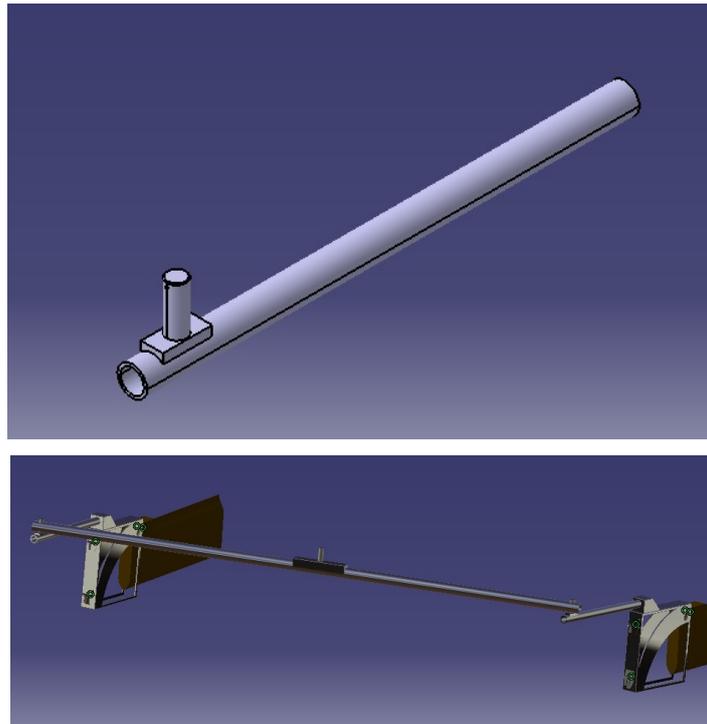


Figura 55. Cañas de los timones

La caña permite poder controlar el giro de los timones desde la lona en la que están los tripulantes, haciendo que ambas palas giren los mismos grados. La unión de los dos tubos que conectan se conectan a las estructuras de los timones mide 2 metros por lo que se divide al igual que en los casos anteriores. Para que la unión con el stick quede centrada se hace una parte de 1,25 m y otra de 0,75 m.

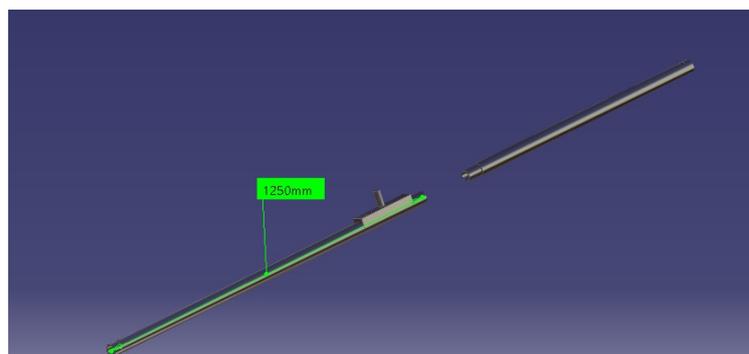


Figura 56. Barra que une ambas cañas

### 5.7.4 Stick

El stick es un alargador que se conecta a la caña para poder dirigir los timones cuando el patrón está más a proa de lo habitual o haciendo contrapeso en una banda para enderezar la embarcación.

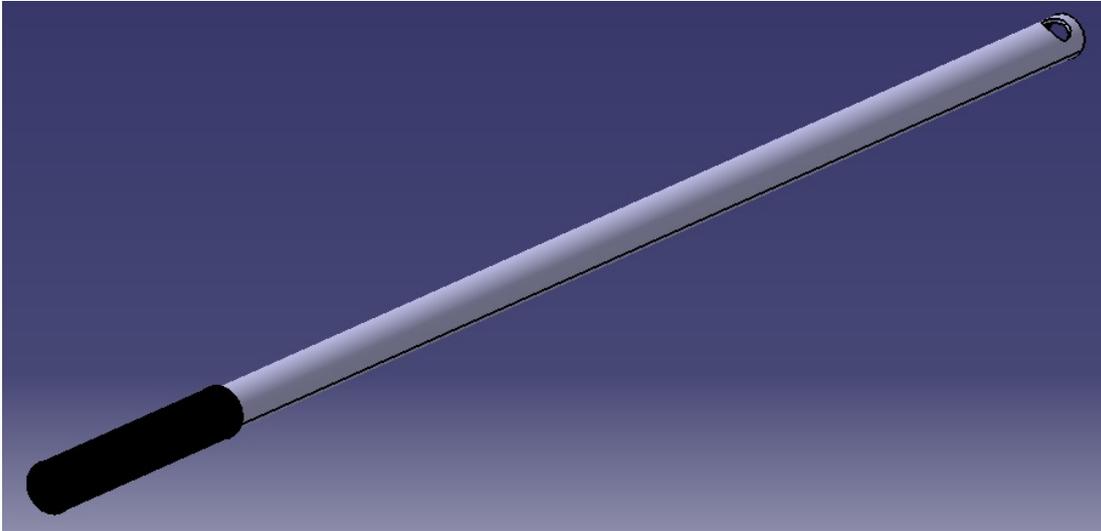


Figura 57. Stick

Por la parte trasera se une a la caña y por la delantera tiene una envoltura de goma para mejorar el agarre y evitar que los golpes estropeen el stick.

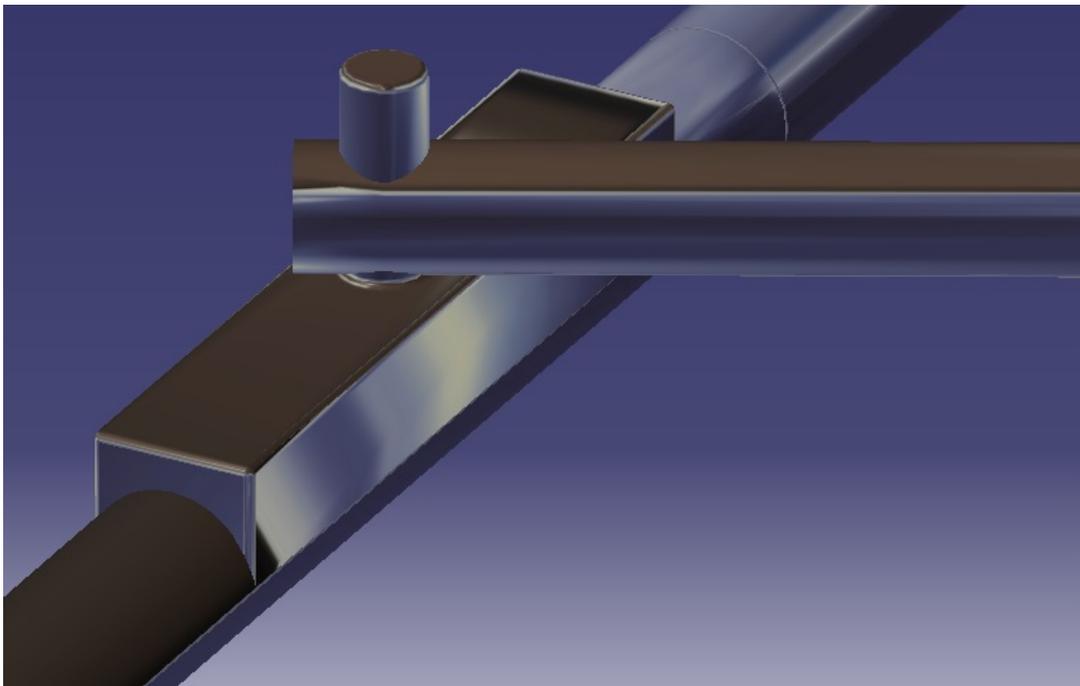


Figura 58. Ensamblaje del timón

## 5.8 Cogidas de los timones

Las cogidas de los timones tienen dos partes fundamentales. La primera es la unión al casco que se hace a través de un conjunto de tornillos, tuercas y arandelas que fijan las uniones al casco apretando una pequeña pletina por dentro de estos.

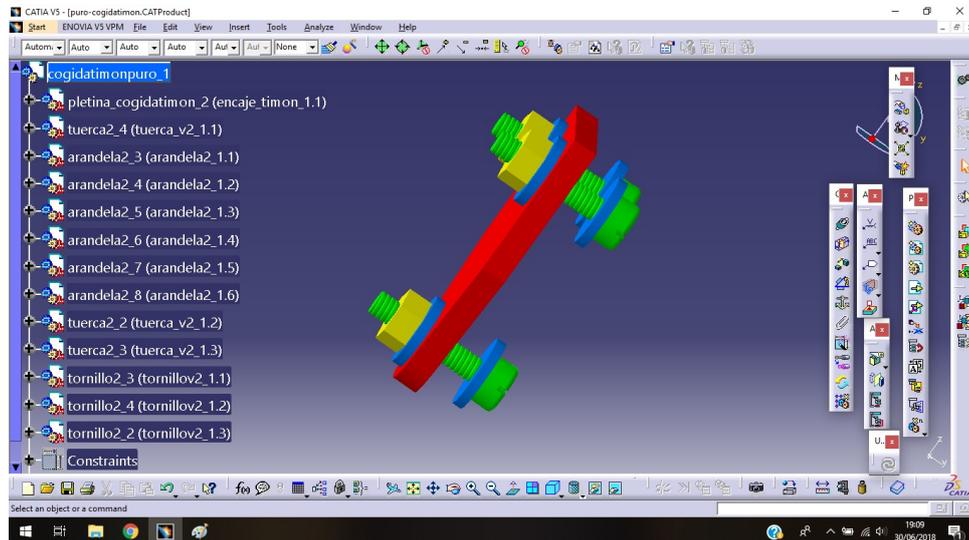


Figura 59. Detalle de la cogida del timón

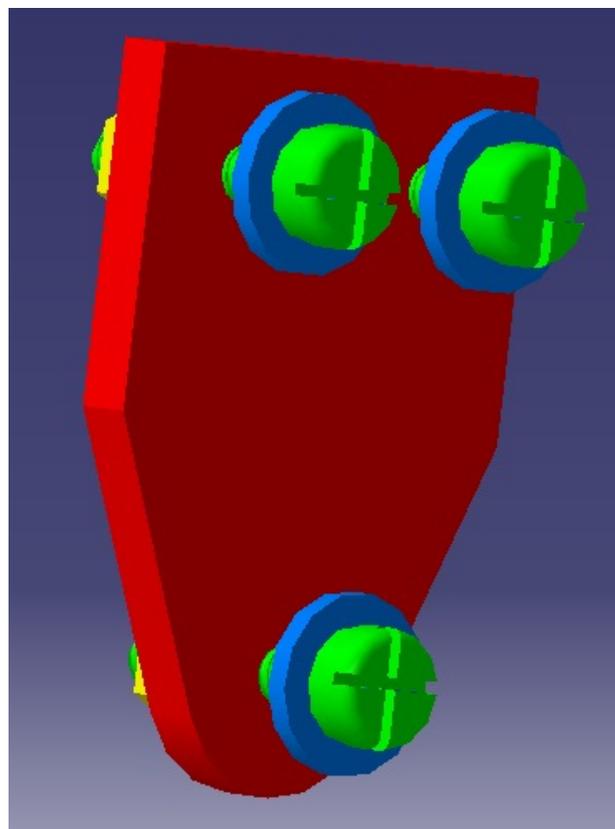


Figura 60. Pletina que aprieta la cogida del timón al interior del casco

Entre las arandelas y la pletina interior roja estará el caso y la segunda parte de la cogida. En esta segunda parte encajan las piezas anteriormente mencionadas del timón y que permiten a estos pivotar sobre el casco.

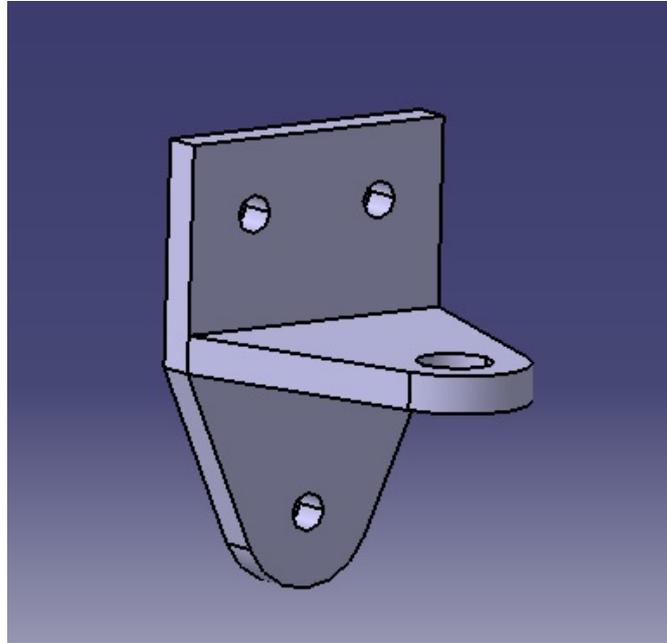


Figura 61. Cogida del timón

El conjunto completo montado se puede ver en la siguiente imagen.

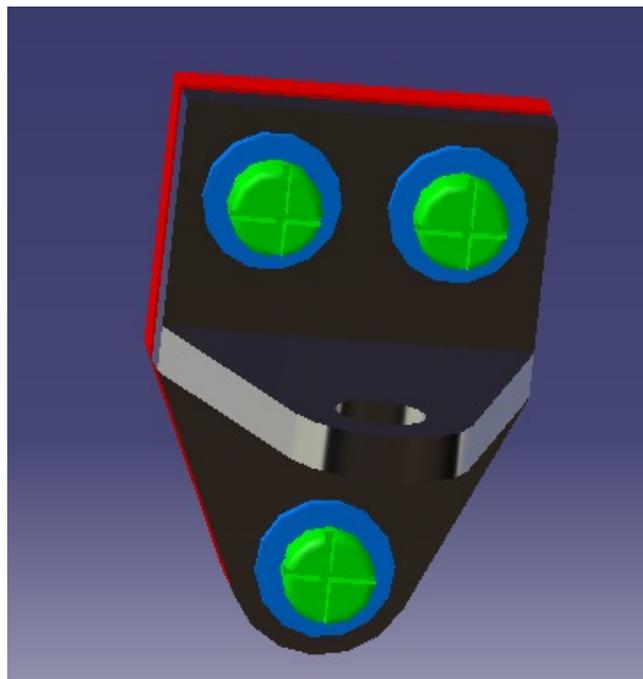


Figura 62. Cogida del timón completa

Una vez encajado el timón se puede ver como se permite el giro en torno al eje marcado en naranja.

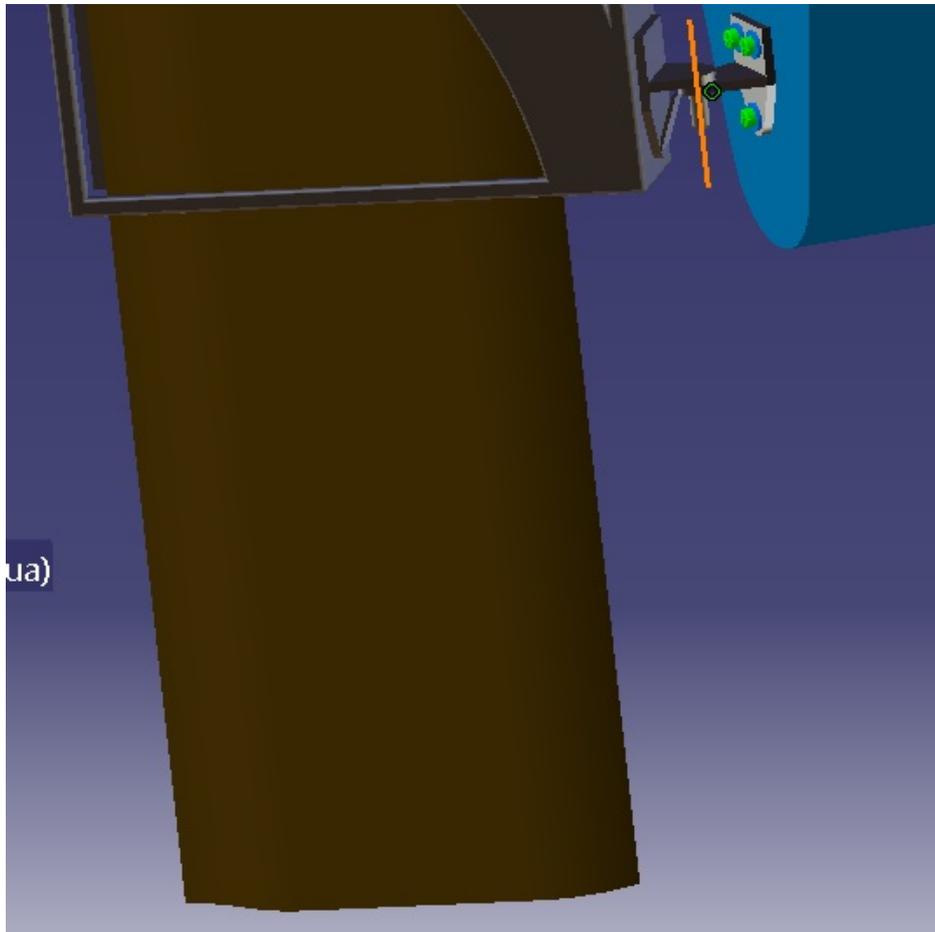


Figura 63. Eje que permite el gire del timón

Para evitar que el timón se pueda salir de su posición se ha creado una pequeña pletina que impide que este pueda subir.

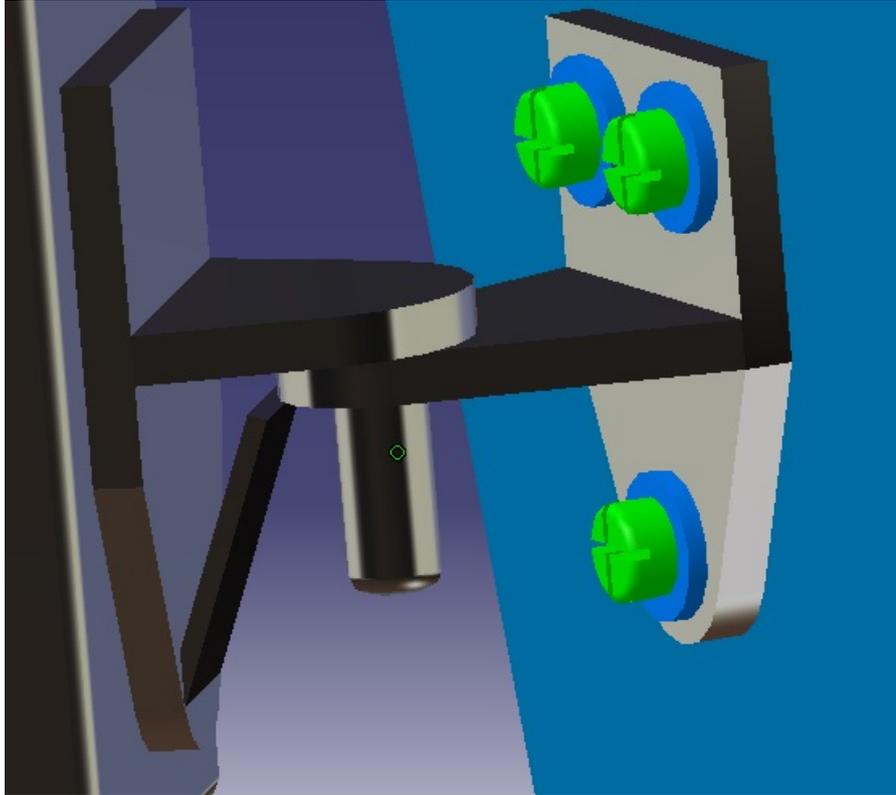


Figura 64. Detalle de la unión entre timón y casco

Esta pletina debe forzarse hacia atrás para poder quitar el timón cuando se desmonta completamente el barco para transportarlo.

En la siguiente imagen se puede apreciar como quedan las palas cuando se levantan.

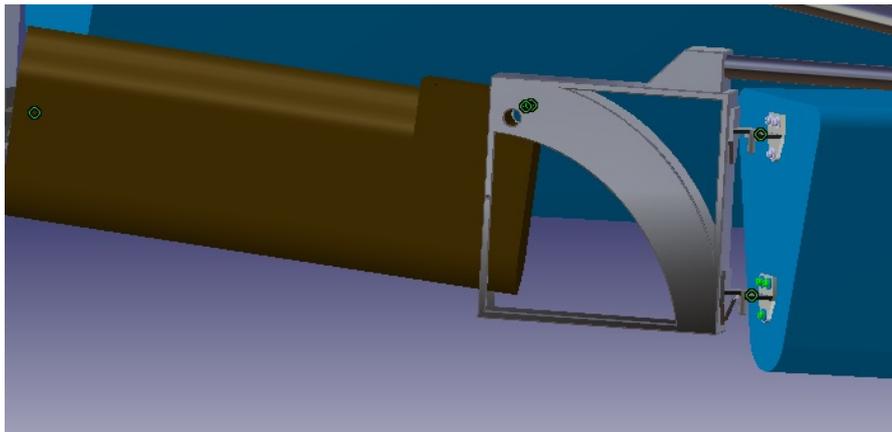


Figura 65. Palas levantadas

## 5.9 Mayor

La vela mayor es la más importante del barco. Es la principal encargada de impulsar al barco. Es muy habitual encontrar barcos que solo navegan con ella sin necesidad de foque, génova, trinqueta, genaker, spy, mesana o cualquier otra vela.

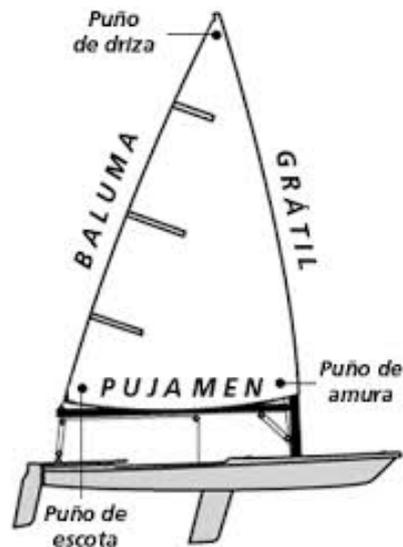


Figura 66. Partes de la vela mayor

Anteriormente se calculó el área que esta debía tener,  $8,25 \text{ m}^2$ . La forma de la mayor se encuentra a medio camino entre un triángulo y un rectángulo.

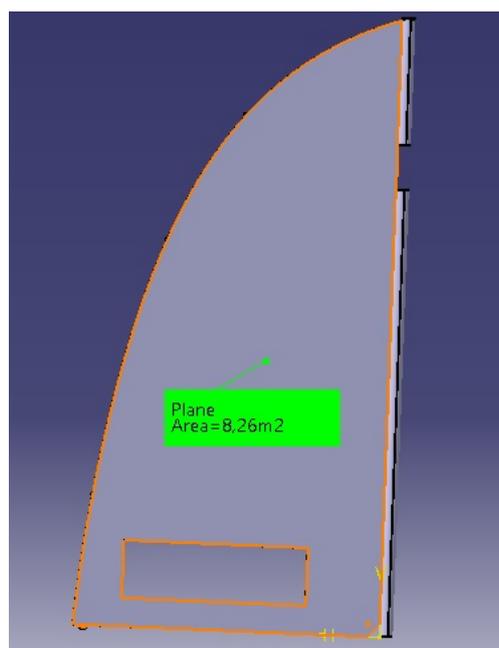


Figura 67. Área de la mayor

Para que la vela mantenga su forma es necesario que tenga una serie de sables. Estos son varas de fibra que atraviesan la vela horizontalmente haciendo que mantengan su forma.



Figura 68. Sables de la mayor

En esta imagen se pueden ver en negro los sables de la mayor.

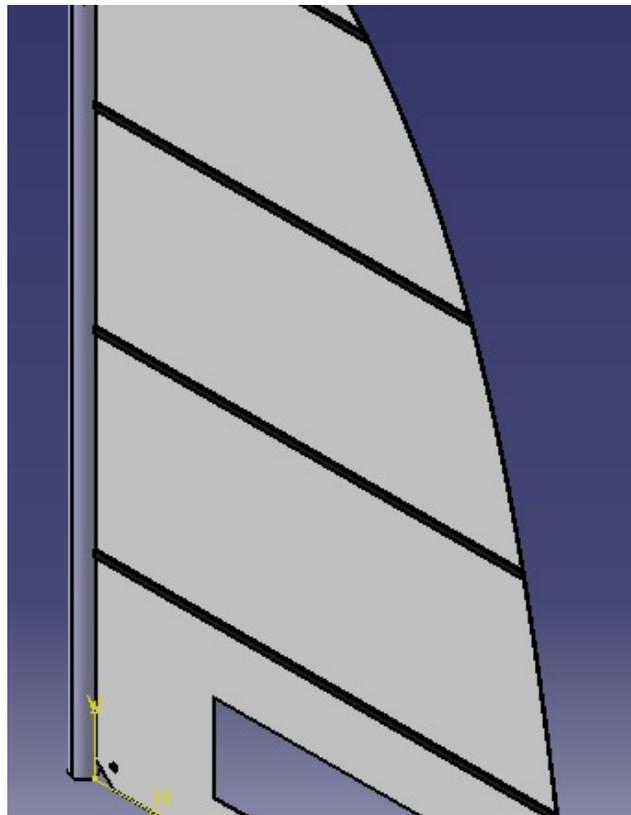


Figura 69. Sables montados

Para unir la mayor al palo se hace una funda de mástil en el grátil. Por dentro de esta funda entra el palo como en las velas de windsurf. Esto evita tener que tener drizas, etc que complican el montaje y desmontaje completo.

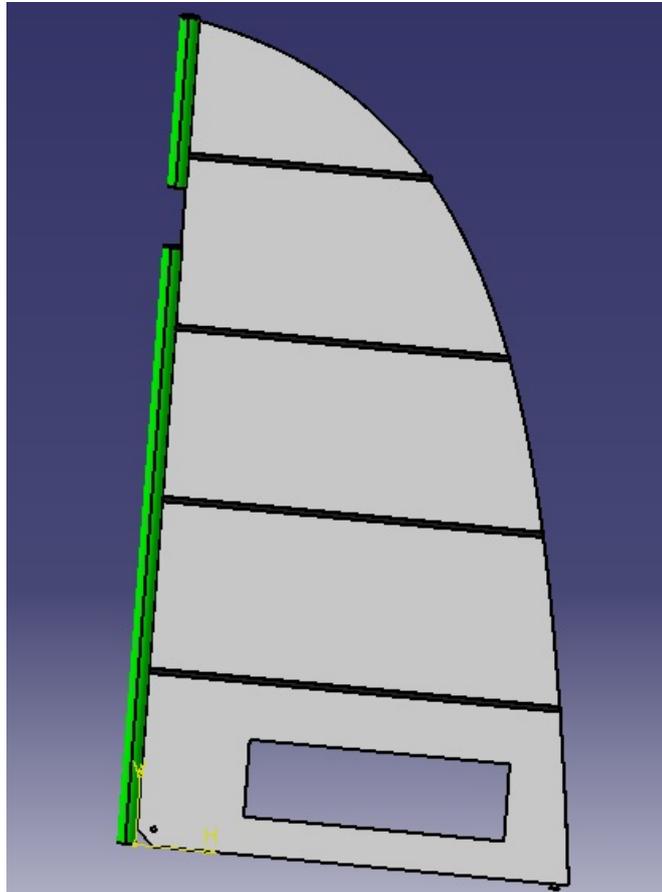


Figura 70. Funda de mástil

Se puede ver un tramo en el que no hay funda. Esto se debe a que a esa altura se enganchan el foque y los obenques como se verá posteriormente.

La vela cuenta con un rectángulo fabricado en plástico transparente en el paño inferior llamado ventanilla. Esta se usa para poder ver a través de la vela.

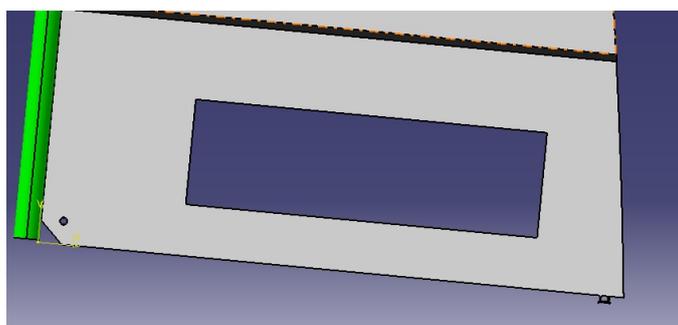


Figura 71. Ventanilla

En la parte baja de la baluma se puede ver el enganche de la mayor con la botavara. Este evita que la botavara se pueda separar del palo y hace que al cazar la escota la mayor se caze a la posición deseada.

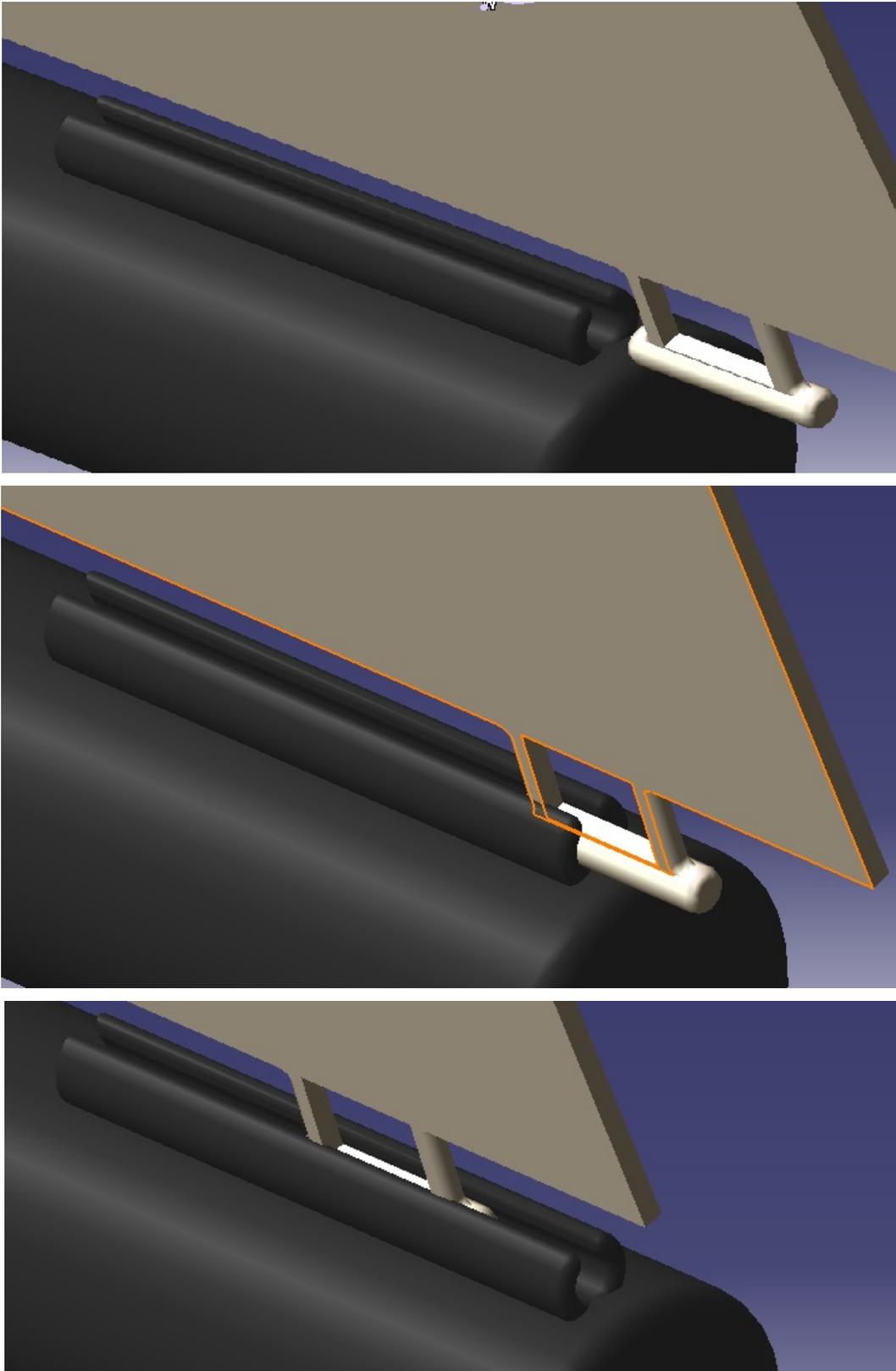


Figura 72. Pujamen que une la mayor a la botavara

## 5.10 Foque

El foque es la vela secundaria de la embarcación. La misión principal de esta es dar empuje en la proa para ayudar a maniobrar, sobretudo en las viradas. Es una vela con forma claramente triangular.

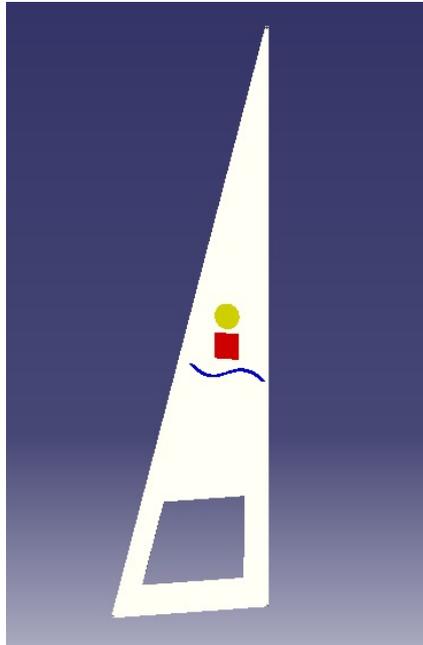


Figura 73. Foque

Este también cuenta con ventanilla para poder ver a través de él. Los sistemas de unión del foque son muy diferentes a los de la mayor. El puño de driza se une al palo en el punto en el que este no tiene funda de mástil a través de un gancho.

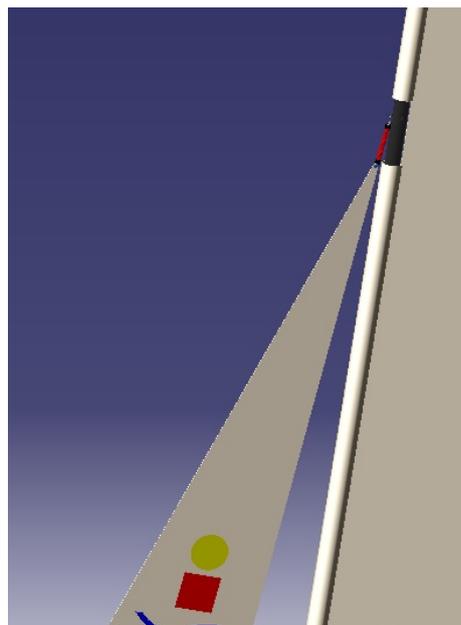


Figura 74. Driza del foque

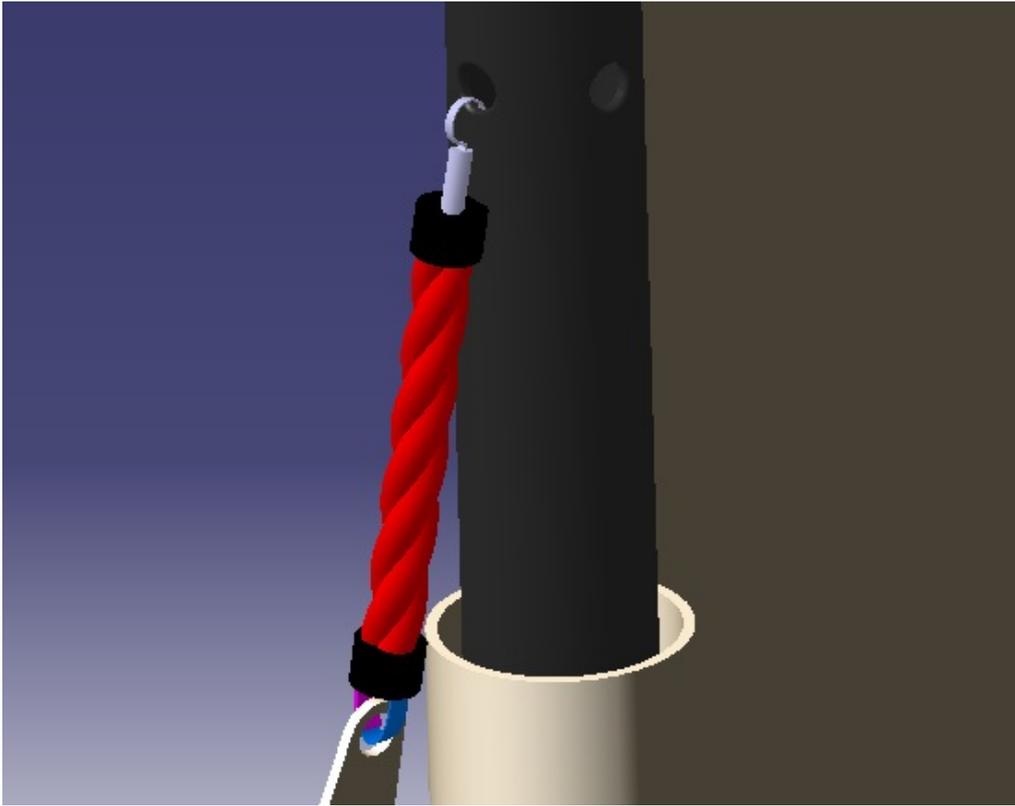


Figura 75. Detalle del montaje de la driza de foque

El puño de amura se une al botalón a través de un cabo que podremos tensar más o menos en función de las condiciones de viento. Más tenso con vientos fuertes y menos con vientos suaves.

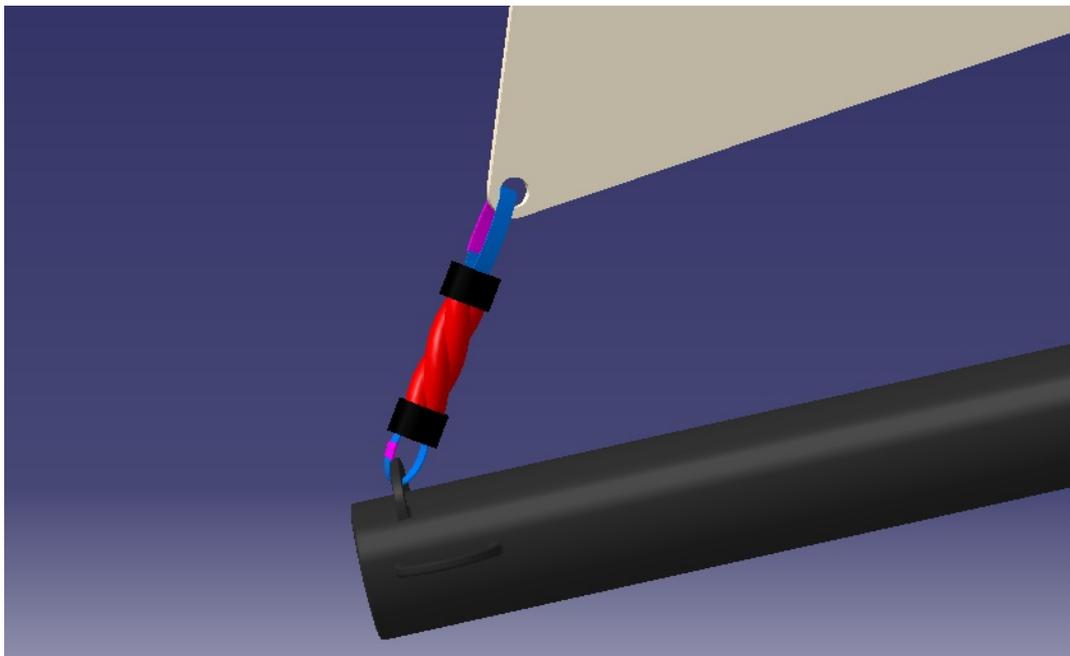


Figura 76. Puño de amura del foque

El conjunto completo de ambas velas se puede ver a continuación.

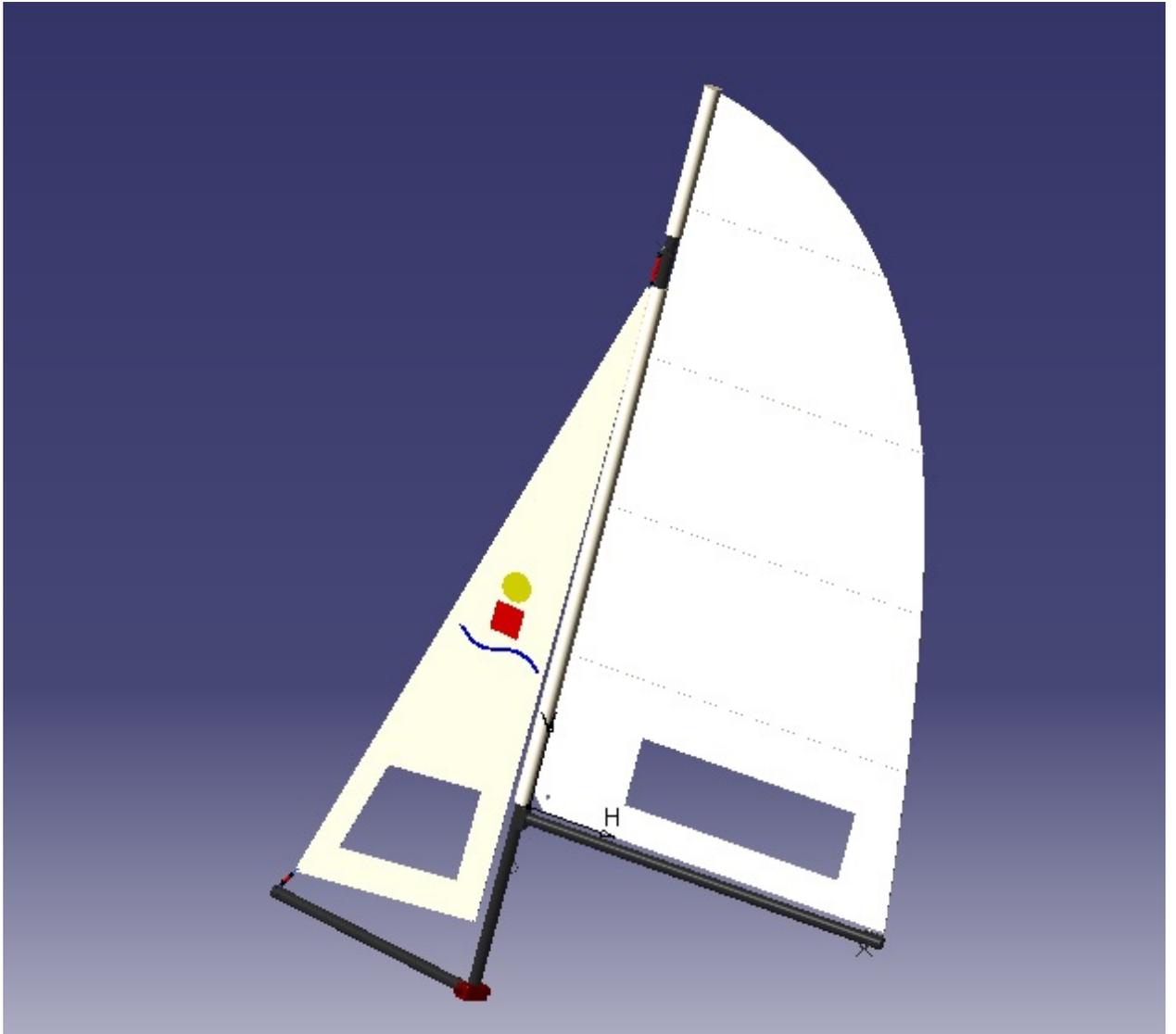


Figura 77. Velas del catamarán

## 5.11 Obenques

Los obenques son unos cabos o cables que se utilizan para evitar que el palo se flexione lateralmente debido a las fuerzas del viento. Estos mantienen al palo en posición vertical obteniendo el máximo rendimiento de las velas. Además, ayuda a que el palo se quede fijo en la base del palo.



Figura 78. Obenques montados

Cada obenque se fija a las uniones de la estructura metálica como puede verse en la siguiente imagen.

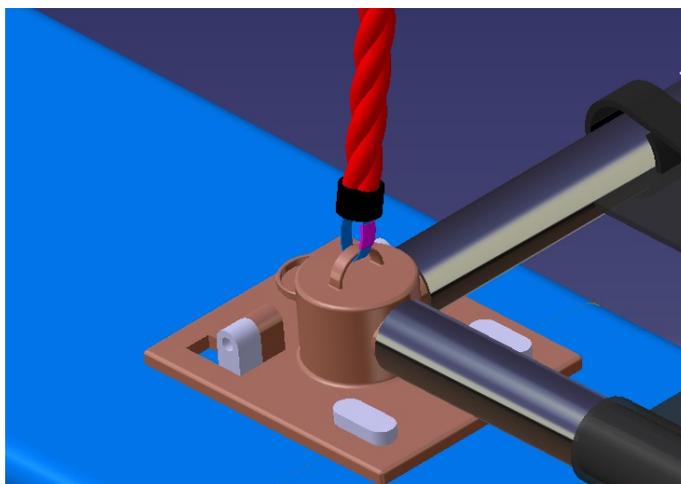


Figura 79. Unión del obenque a la estructura metálica

Estos se unen al palo mediante un gancho al igual que la driza del foque.

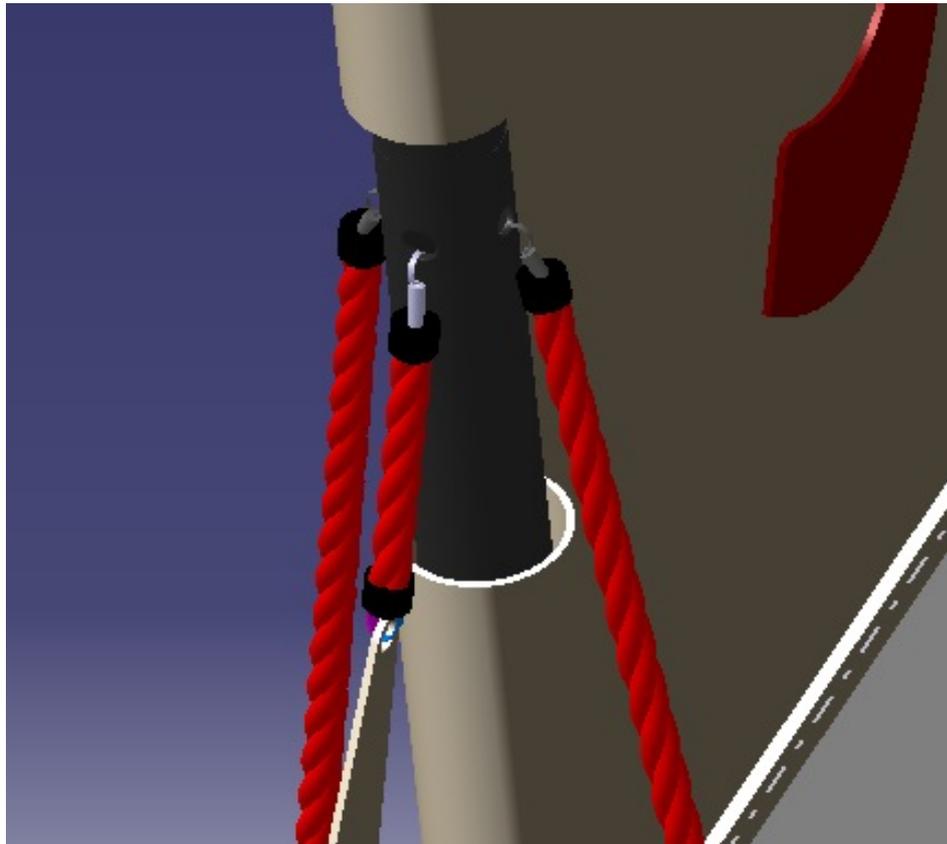


Figura 80. Uniones de los obenques al palo

## 5.12 Tensores botalón

Los tensores del botalón cumplen la misma misión que los obenques.

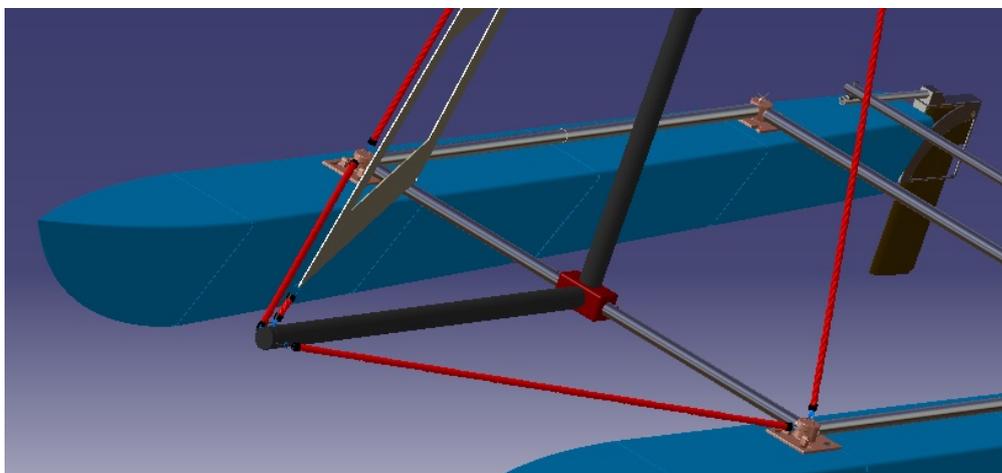


Figura 81. Tensores del botalón

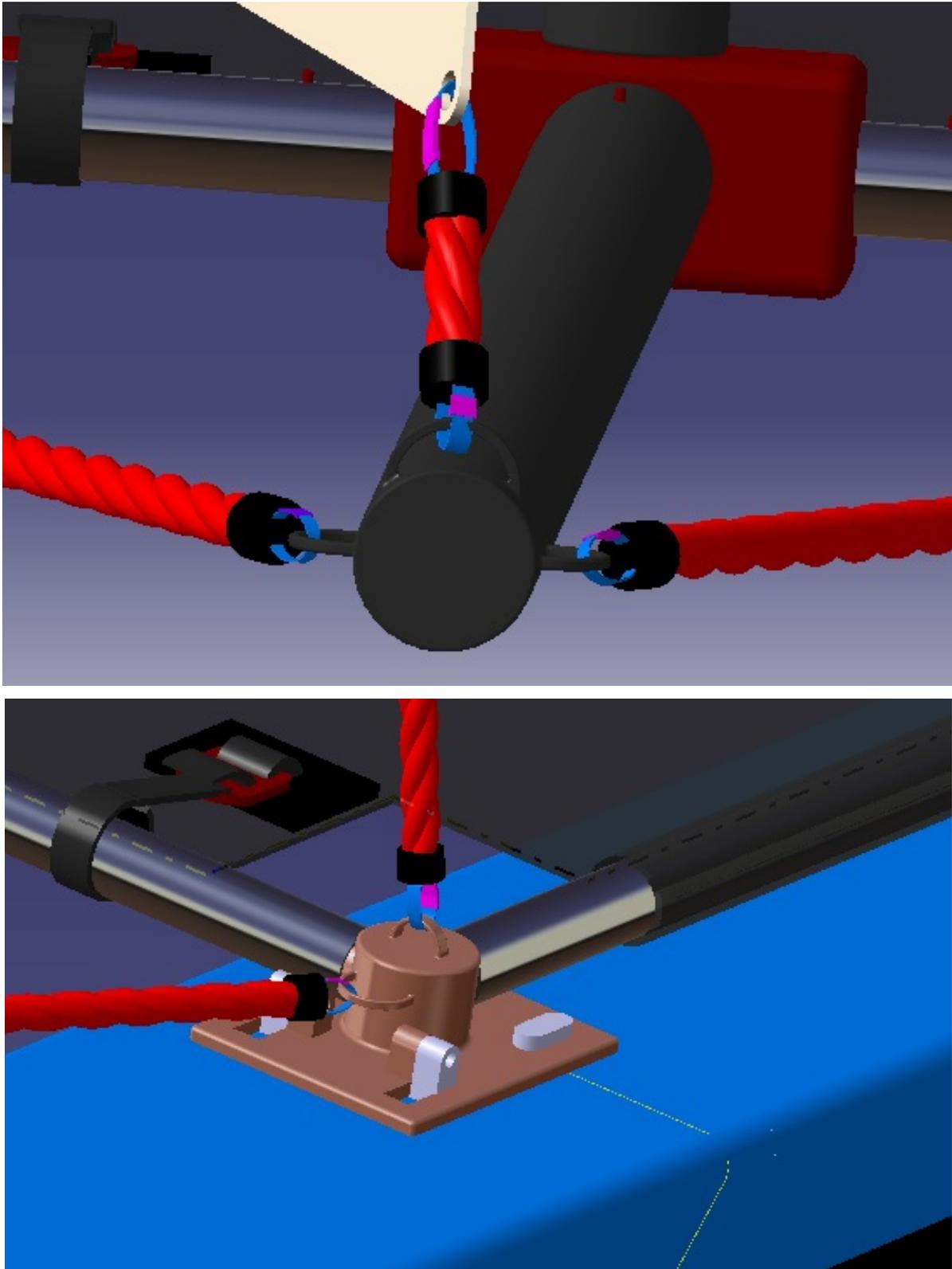


Figura 82. Uniones de los sensores del botón

### 5.13 Escotas

Las escotas son los cabos que se utilizan para trimar las velas. La del foque es muy sencilla ya que se une directamente al puño de escota y se fija en unas mordazas que se han creado en el tubo de proa de la estructura metálica.

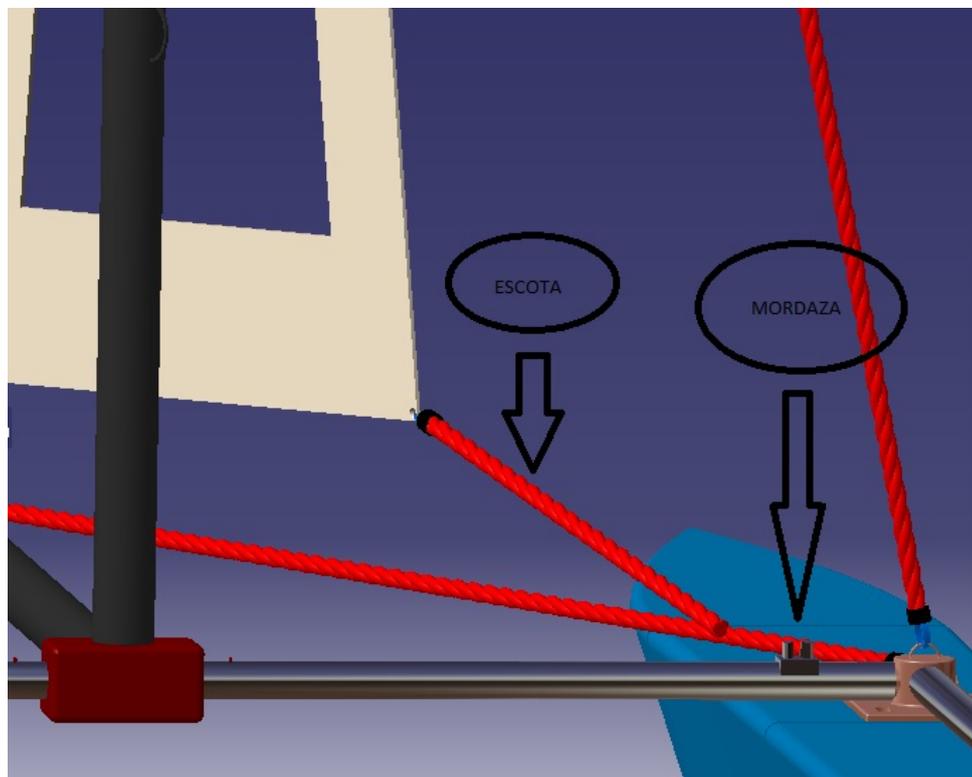


Figura 83. Escota del foque

La escota de la mayor requiere un sistema más complejo. Lo primero que tenemos que hacer es un sistema de pata de gallo que se fije a las dos uniones de la estructura metálica en popa.

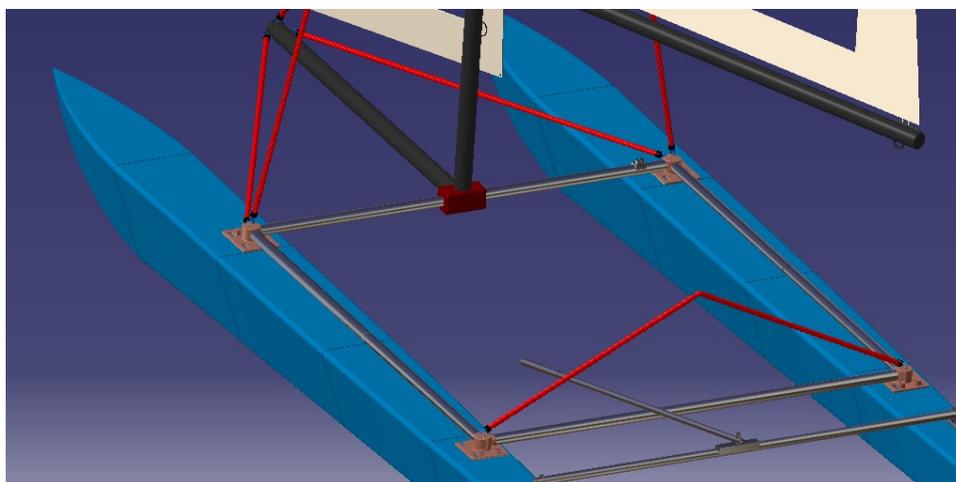


Figura 84. Sistema de pata de gallo

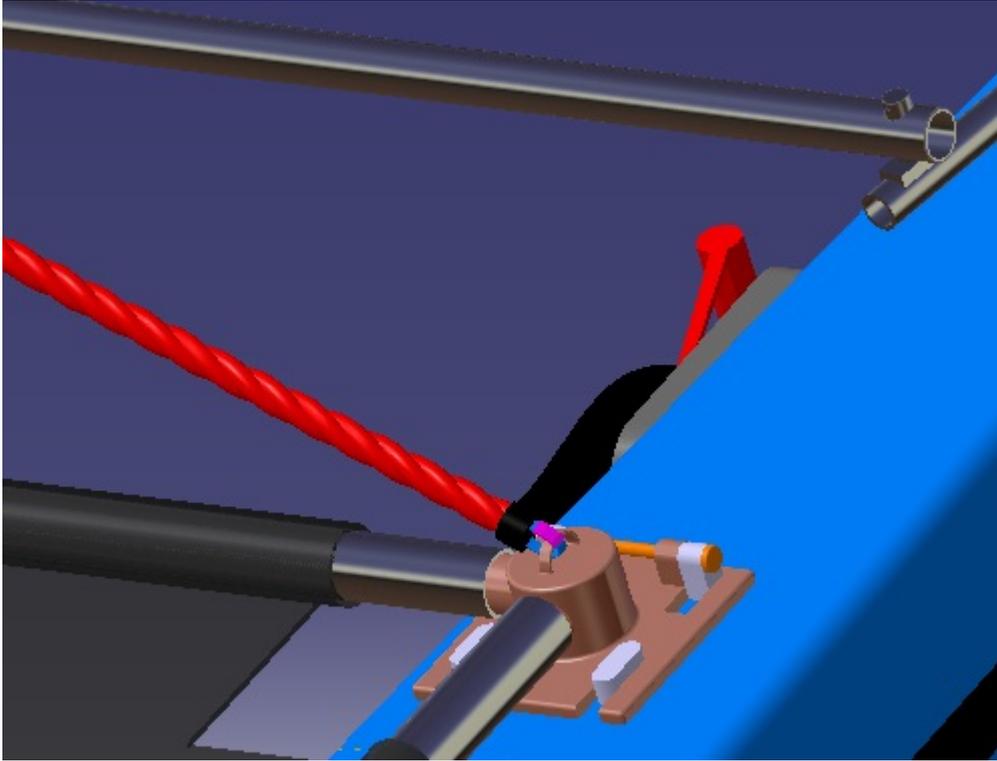


Figura 85. Cogidas de la pata de gallo a la estructura metálica

De la pata de gallo sale la escota de la mayor que va directamente a una polea instalada en el final de la botavara.

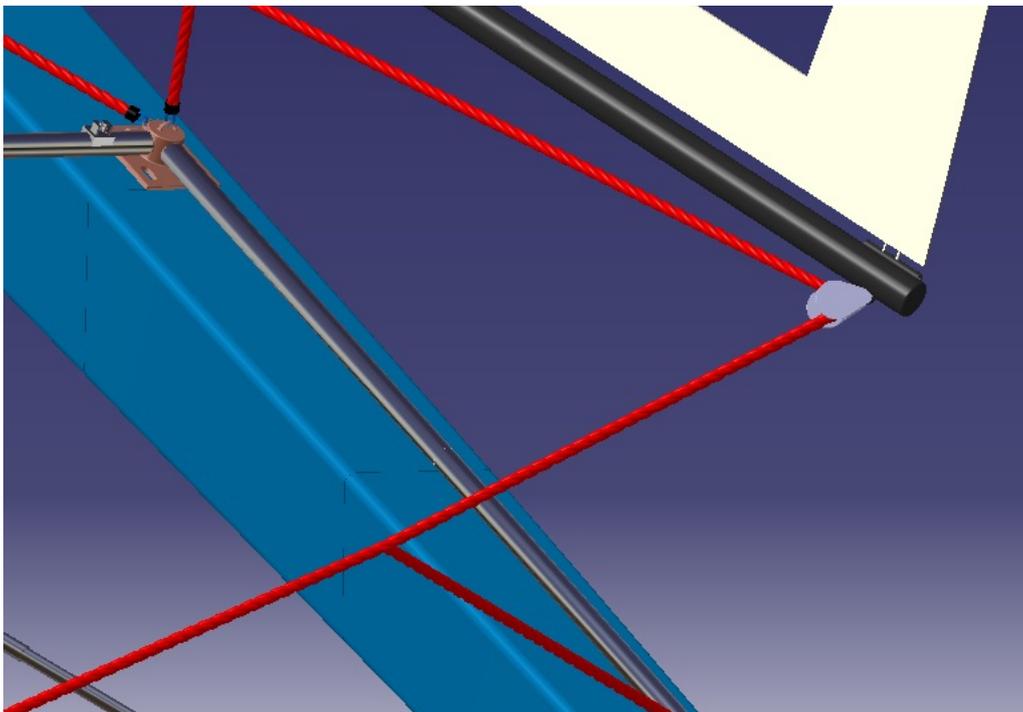


Figura 86. Paso por la polea de la botavara de la escota de la mayor

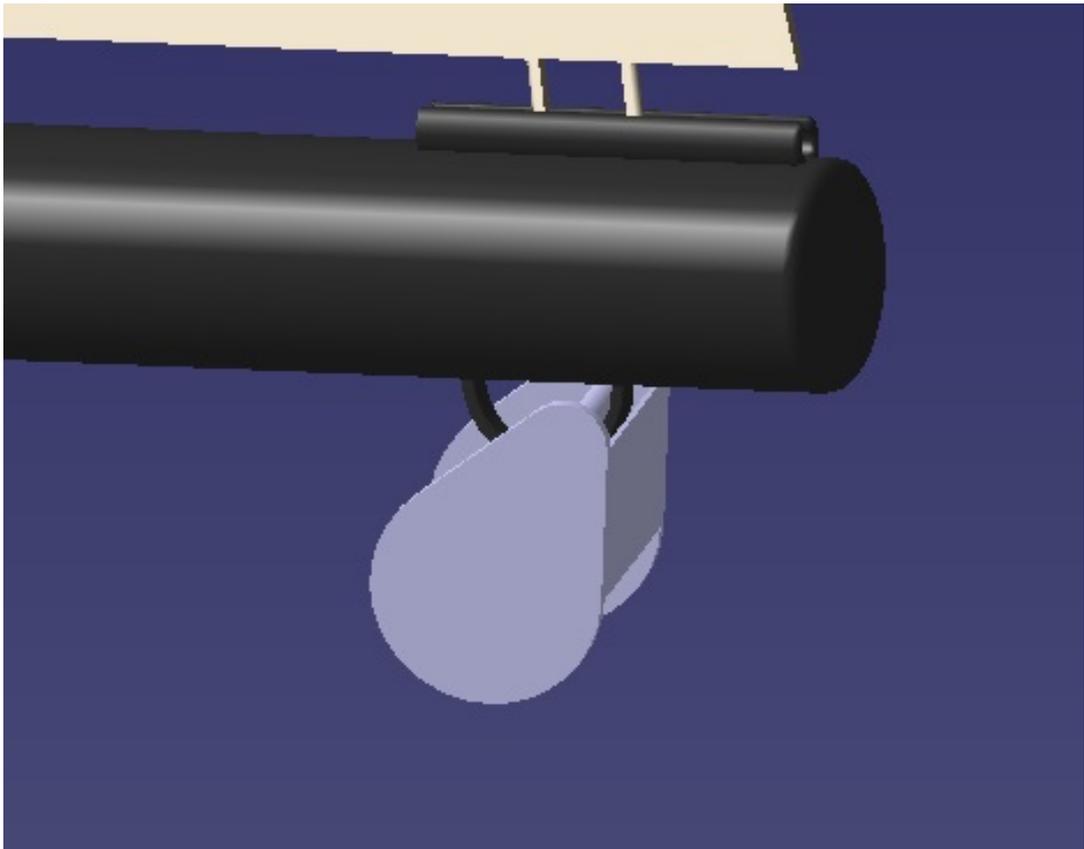


Figura 87. Polea

Desde la botavara se reenvía al palo en el que hay otra polea. Desde esa polea se podrá cazar y soltar la escota.

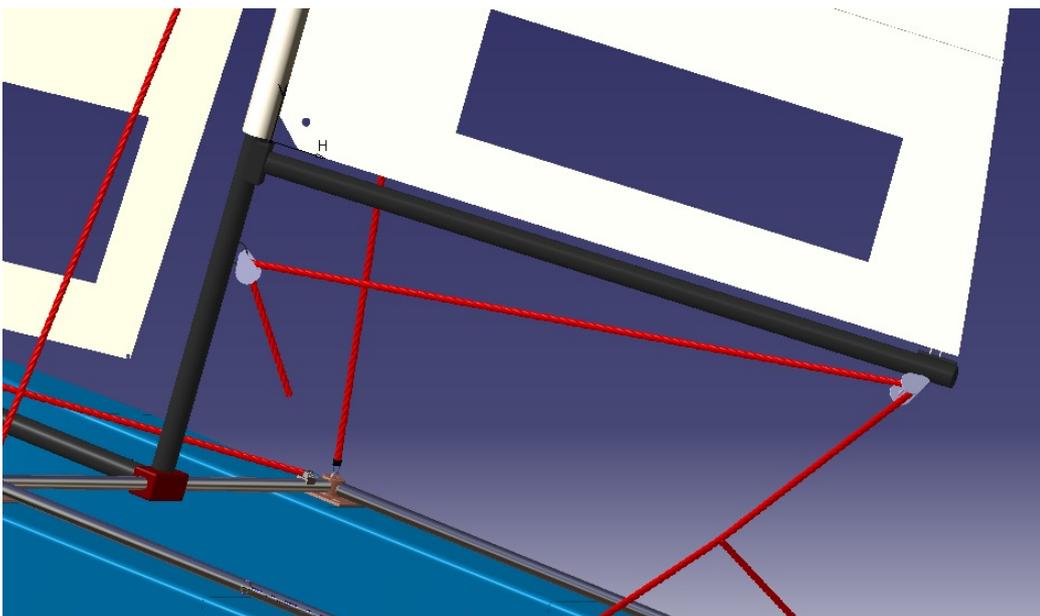


Figura 88. Sistema de escota de mayor completo

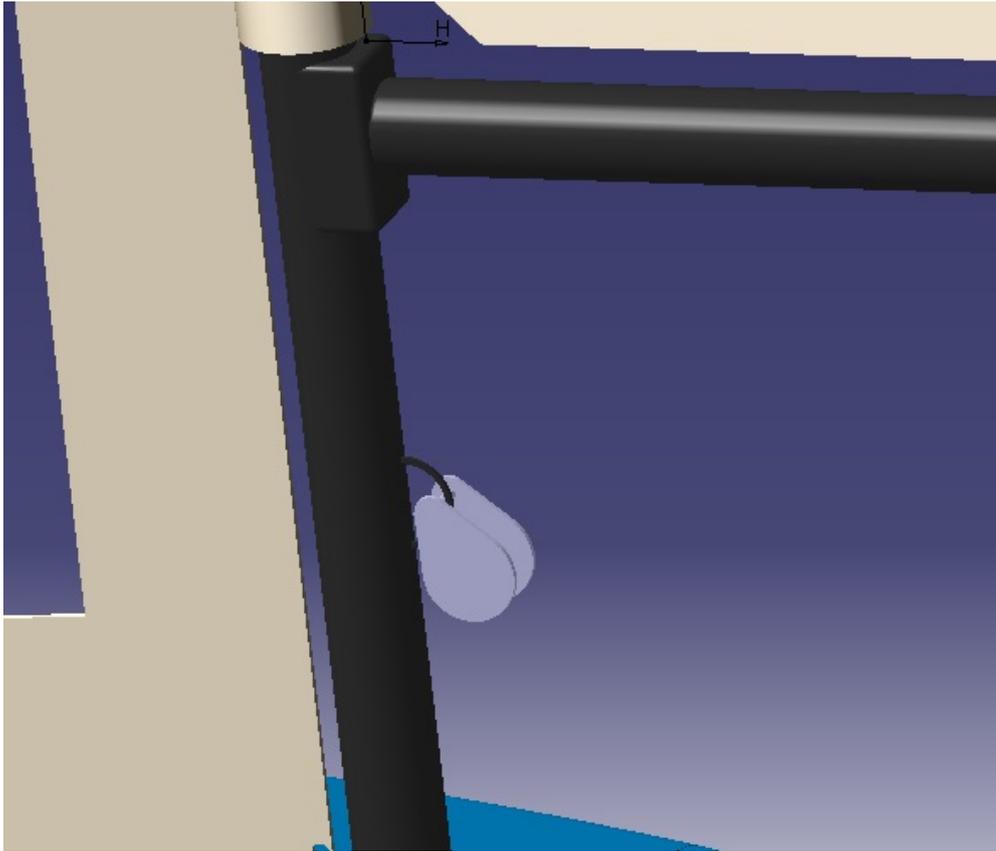


Figura 89. Polea en el palo

Estas escotas permiten a la embarcación adaptar sus velas a cualquier rumbo y cualquier condición de viento.

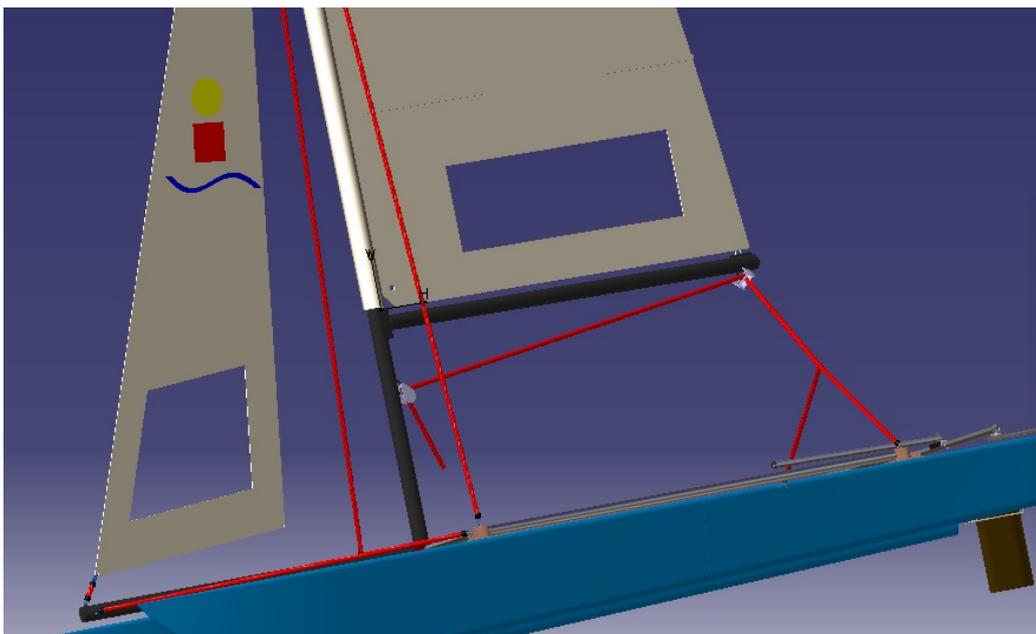


Figura 90. Perspectiva del sistema de escota de mayor

## 5.14 Lona

La lona es la superficie sobre la que la tripulación está. Se fabrica en materiales sintéticos con perforaciones para evitar que el agua se acumule sobre ella.

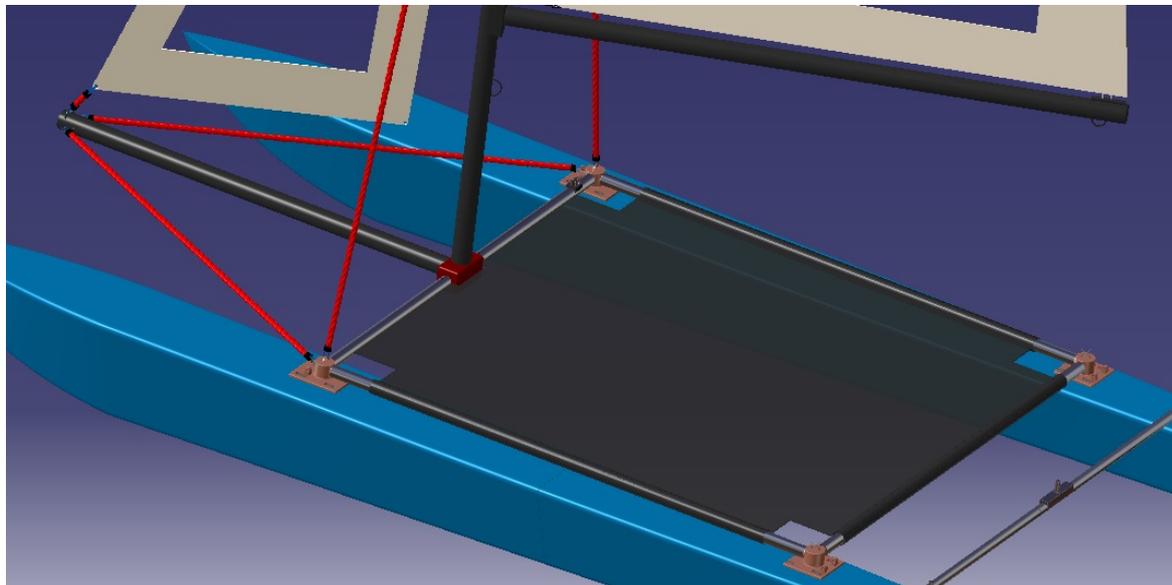


Figura 91. Lona

La lona tendrá tres fundas como las de la mayor en ambas bandas y en popa. Por su interior entrarán los tubos de aluminio que forman la estructura metálica.

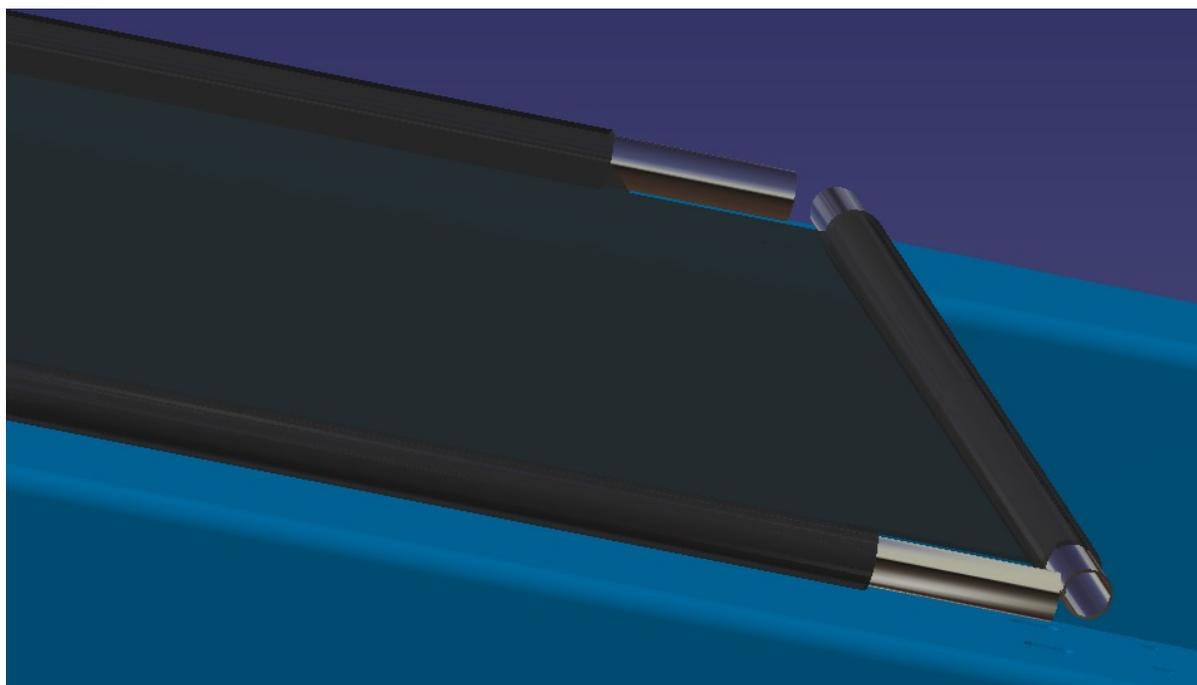


Figura 92. Funda de la lona con tubos de la estructura metálica por su interior

En la proa tiene 6 tensores que abrazan al tubo de proa de la estructura metálica. Con ello tensaremos la lona una vez esté en la posición correcta.

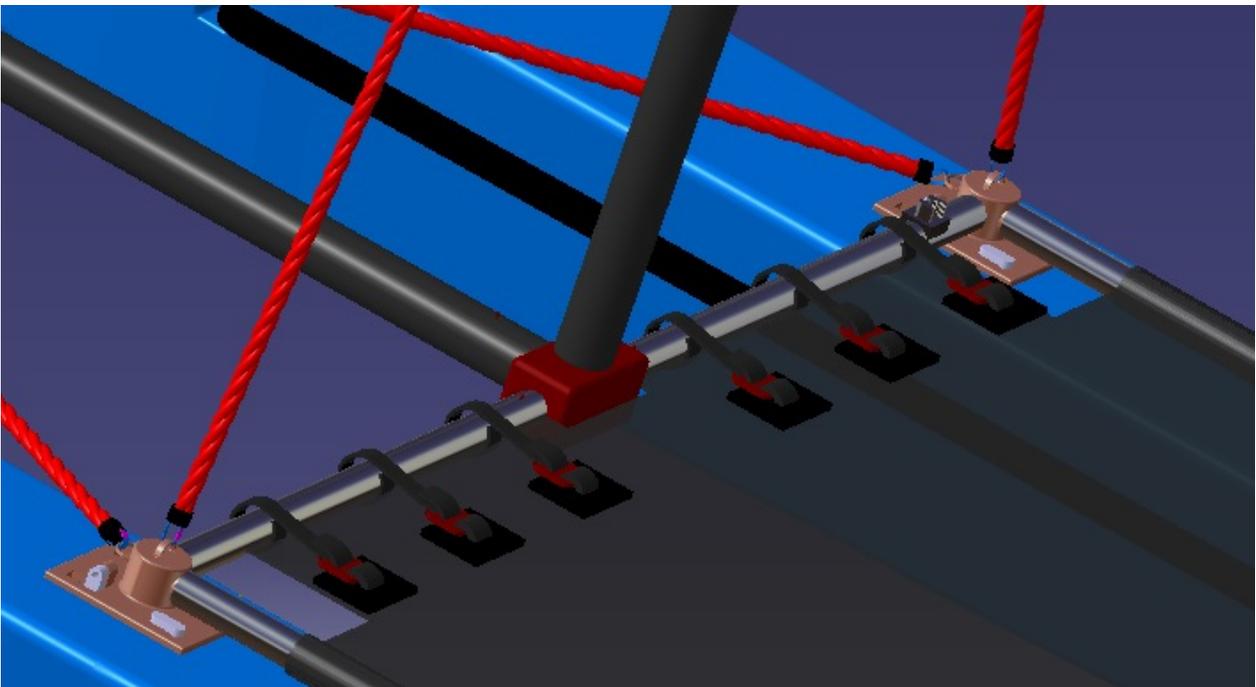
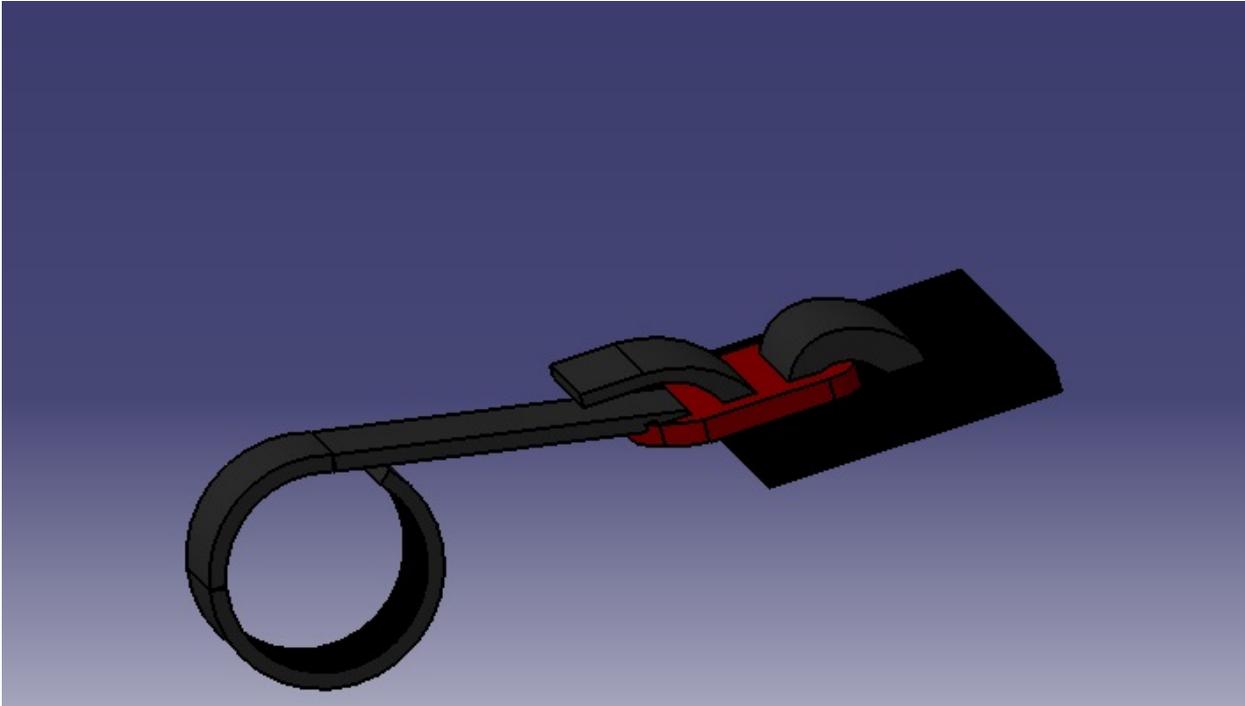


Figura 93. Tensores de la lona

### 5.15 Fijación estructura metálica al casco

Una vez tenemos todos los elementos del barco diseñados y unidos de una forma u otra a la estructura metálica hay que fijar esta al casco. Se descarta que esta unión sea atornillada ya que es un sistema lento y con muchas piezas que haría el montaje del catamarán más largo y tedioso.

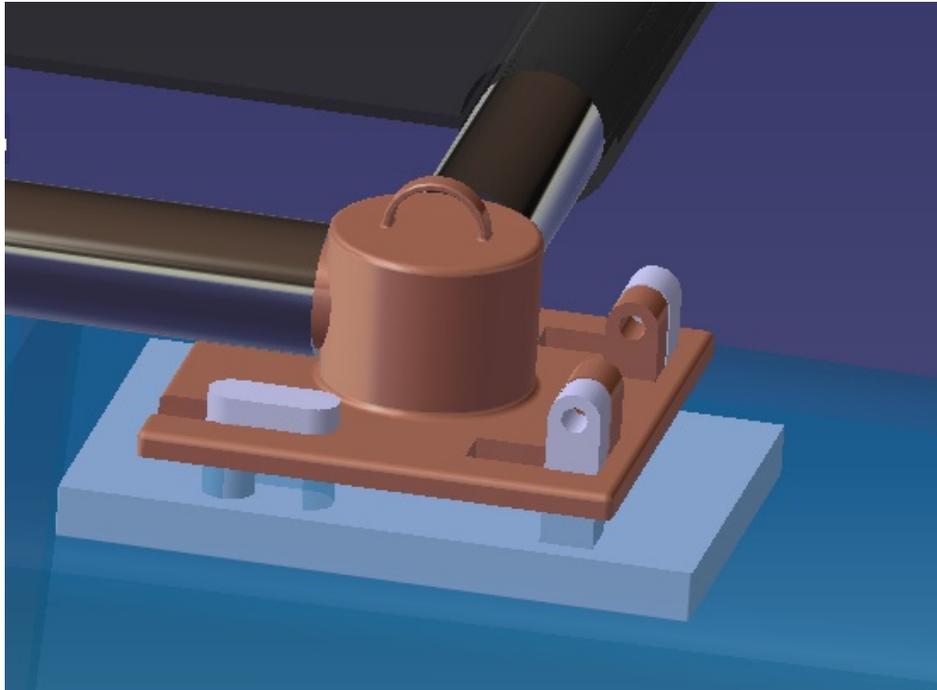


Figura 94. Fijación entre casco y estructura metálica

La fijación diseñada permite unir rápidamente la estructura metálica al casco. Por la parte delantera la pestaña mantiene a la unión metálica apretada contra el casco. Además evita que esta pueda avanzar hacia proa que sería la tendencia natural.

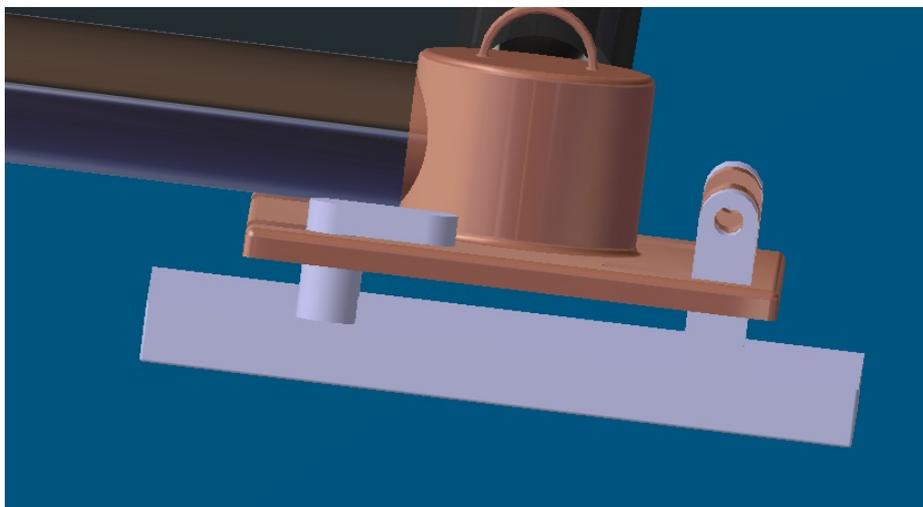


Figura 95. Fijación y unión metálica alineados

La parte trasera de la fijación se alinea con la unión metálica formando un orificio por el que se introducirá un eje que mantendrá fijo en esa posición al conjunto.

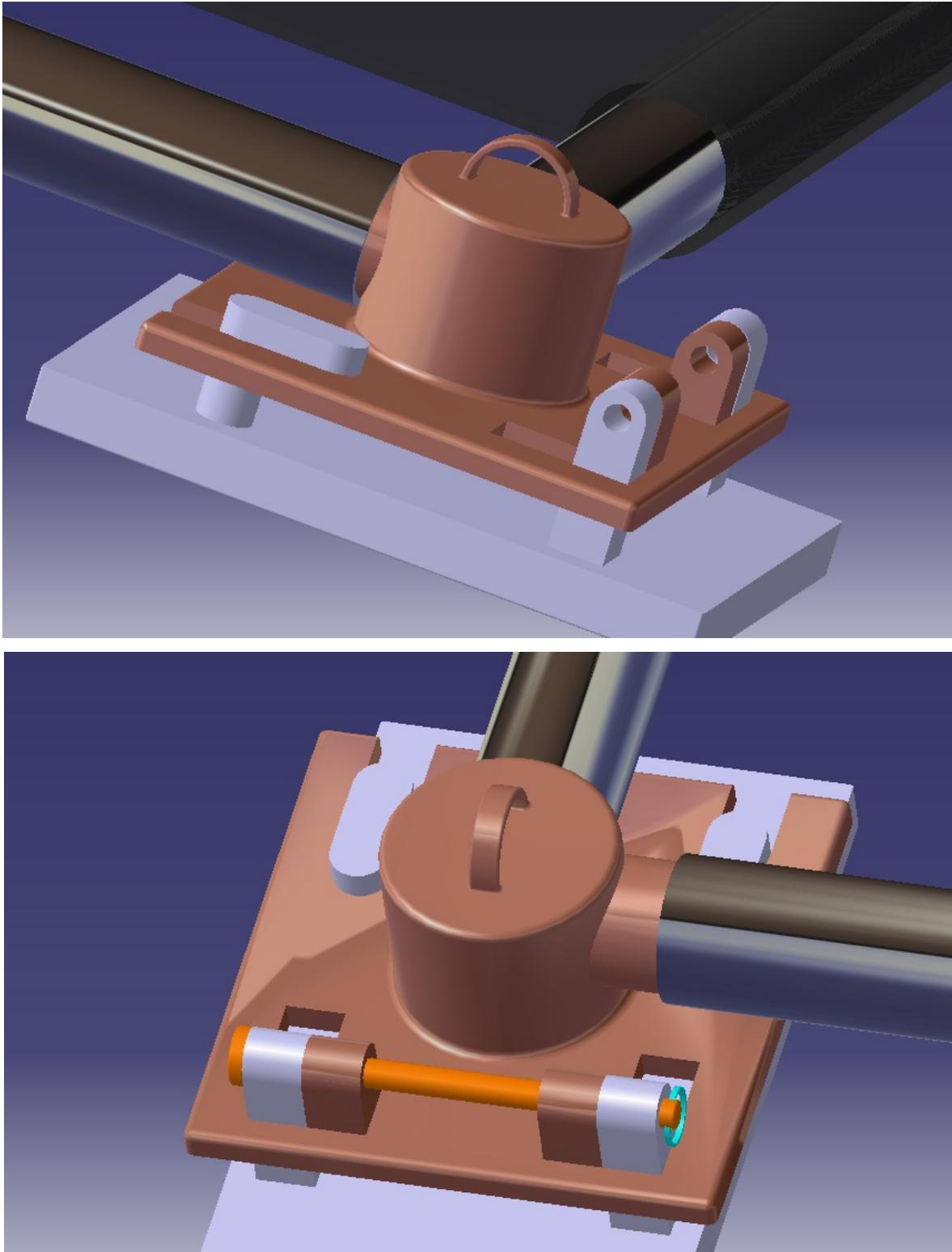


Figura 96. Detalle del ensamblaje

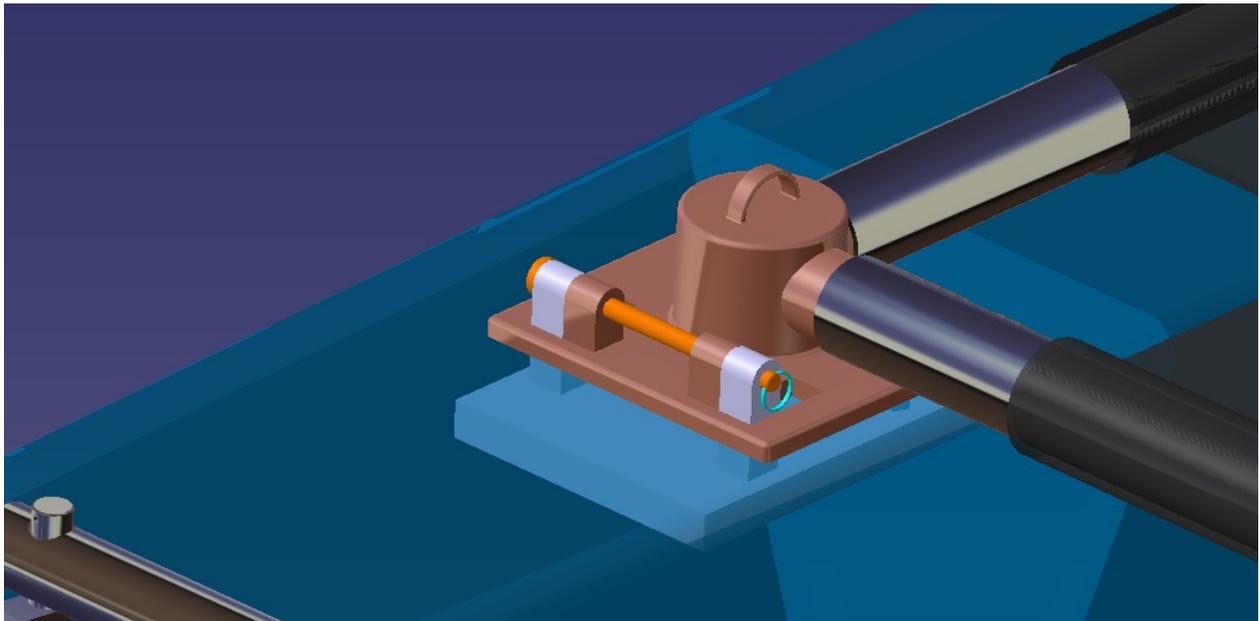


Figura 97. Eje que impide que las piezas se separen

Para que esta fijación pueda ser colocada requiere hacer unos agujeros en el puro.

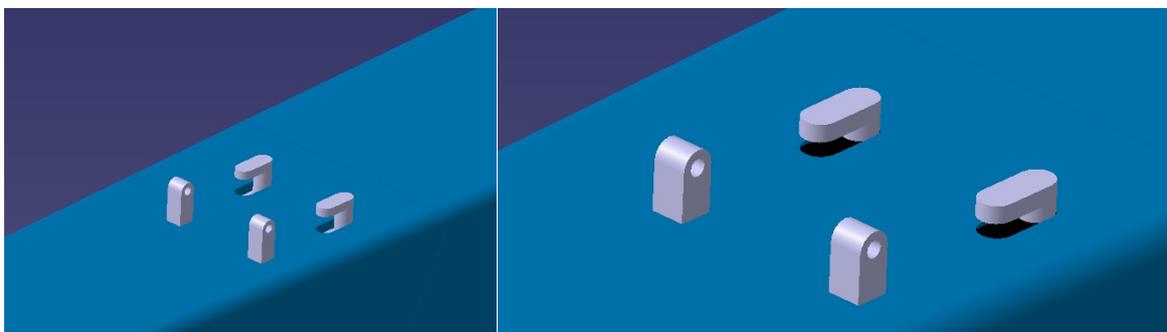


Figura 98. Agujeros en el casco para introducir las fijaciones

En principio no debería entrar agua por esos agujeros ya que la unión metálica por debajo tendrá una goma, que al apretarse contra el casco evitará estas vías de agua. Para mayor seguridad se pondrá goma también a la fijación de forma que esta encaje por el agujero de proa, más grande por la forma de la pestaña.



## 6 MONTAJE

*Ni la herida cierra si aviva la hemorragia ni los triunfos llegan por arte de magia, el éxito se compone de humildad y perseverancia y las lagrimas nunca darán más rendimiento que la constancia. Es la esencia del gladiador que sueña con ser libre, que no baja los brazos mientras vive, a veces pierden los que luchan pero nunca ganan los que se rinden. Fallar es humano, rendirse triste y si lloras que sea de la emoción de conseguir lo que te propusiste.*

*- Sergio Castro Gilbert -*

### 6.1 Montaje de los puros

El primer paso para el montaje del barco es ensamblar los puros. Para ello es necesario encajar las cuatro fijaciones que posteriormente permitirán unir los cascos con la estructura metálica. Gracias a las gomas que encajan en los agujeros del casco están quedando fijas para unirlos después. Además se pone temporalmente una pequeña pieza que se ajusta como haría la unión metálica para asegurar que la pieza no caiga mientras se montan los puros.

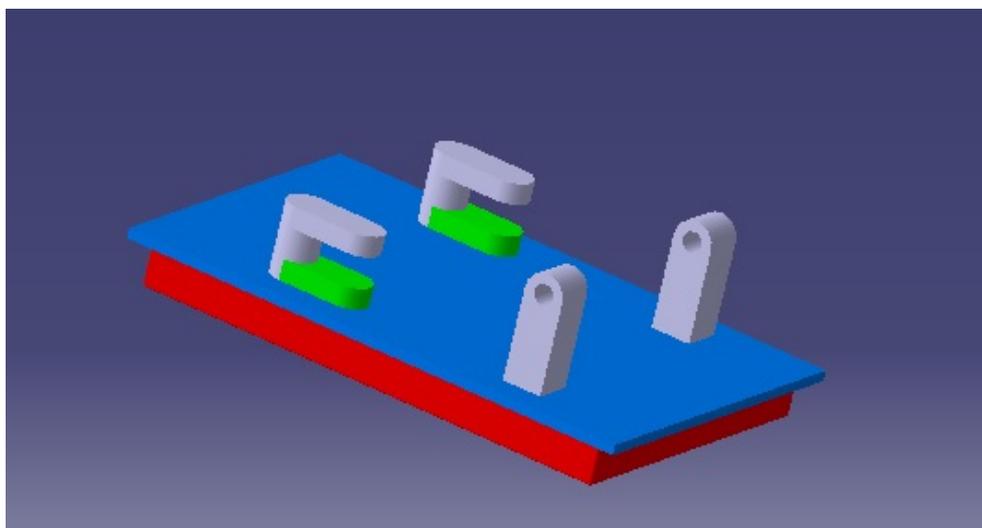


Figura 99. Detalle de las fijaciones con goma para asegurar estanqueidad

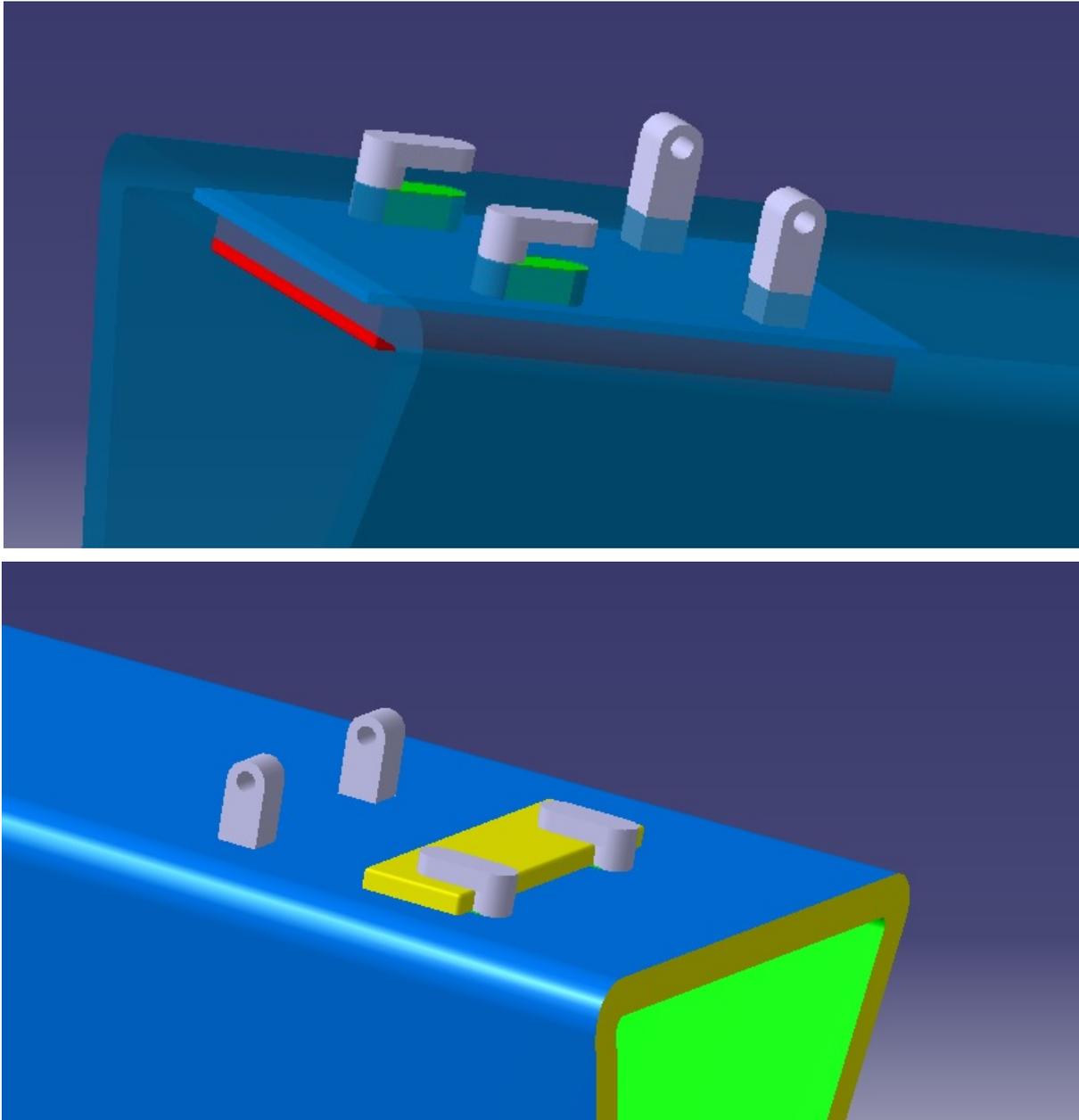


Figura 100. Fijación en posición

Una vez las fijaciones están en posición se unen las secciones de los pueros entre sí.

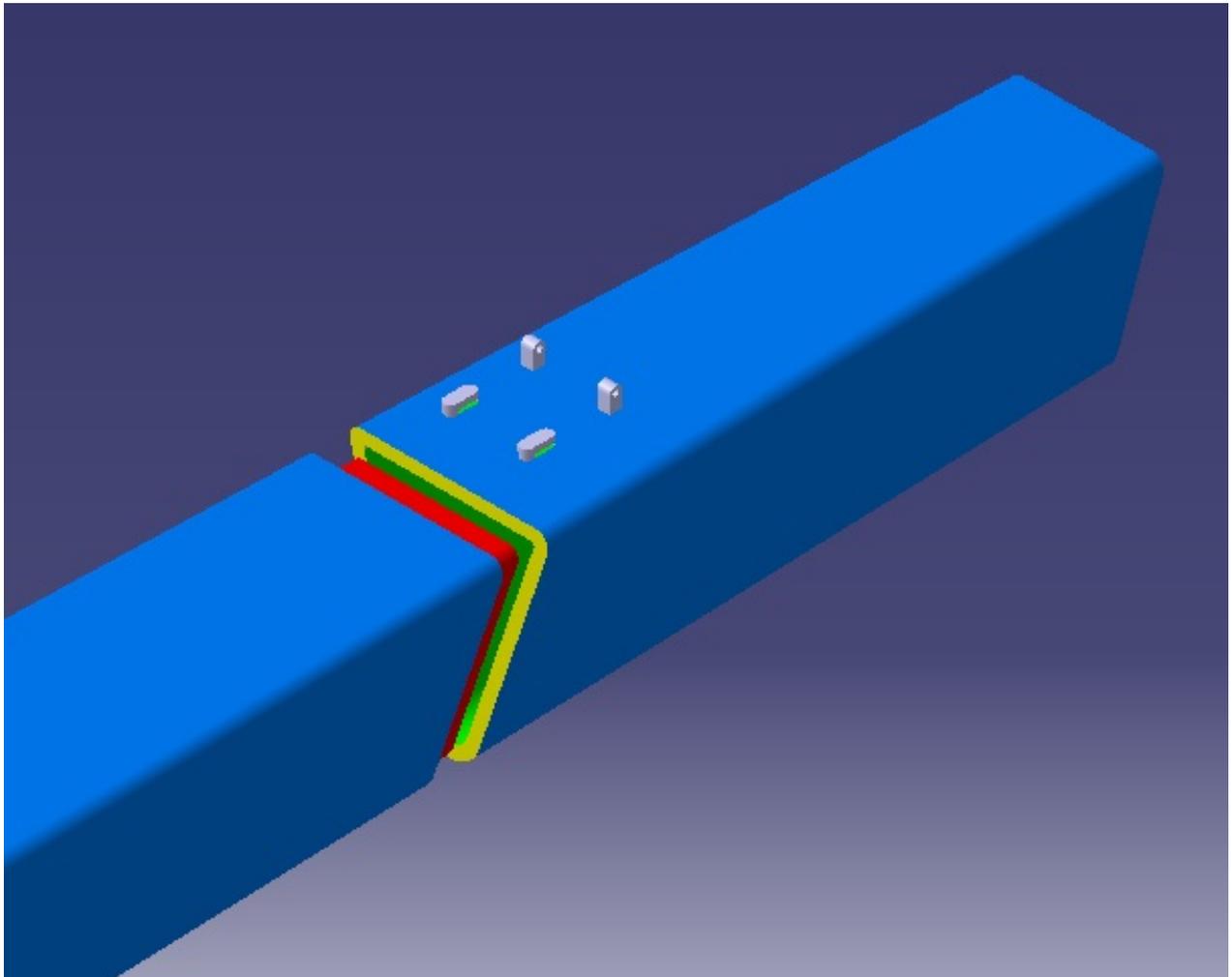


Figura 101. Unión de dos secciones del casco

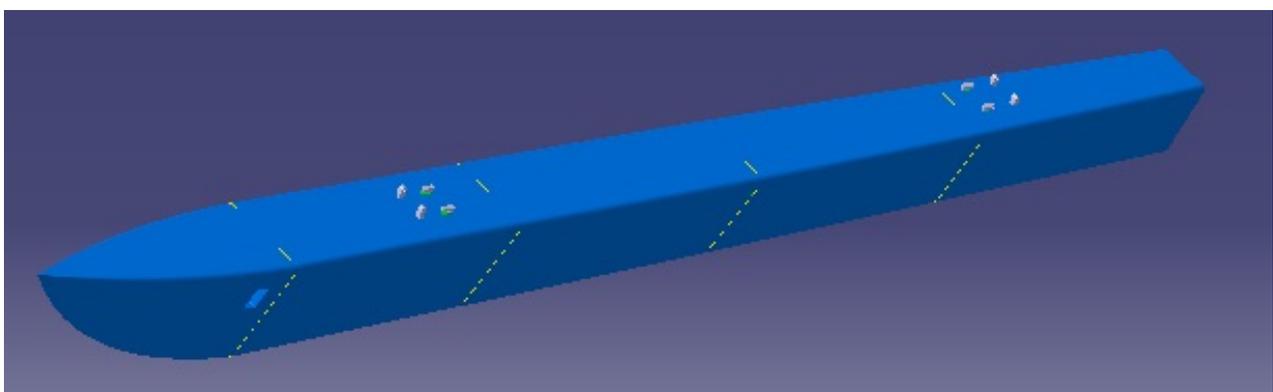


Figura 102. Casco ensamblado

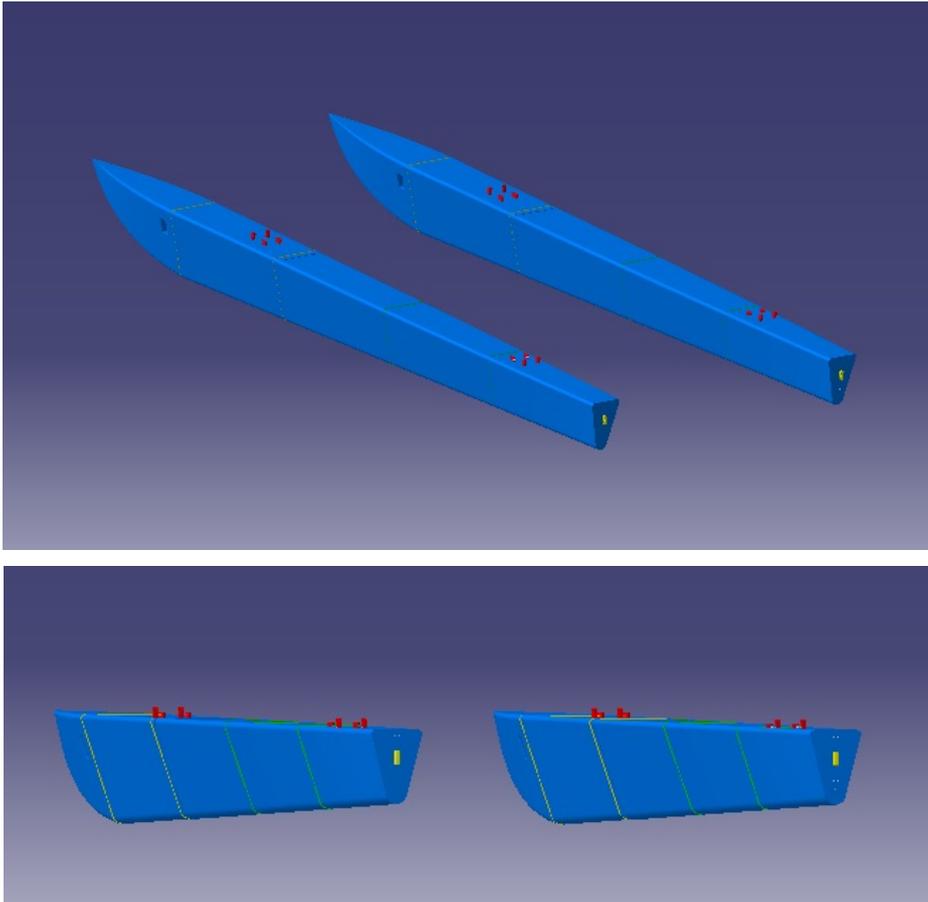


Figura 103. Cascos del barco ensamblados

Cuando los cascos están ensamblados se tensan con la cincha para evitar que estos se separen.

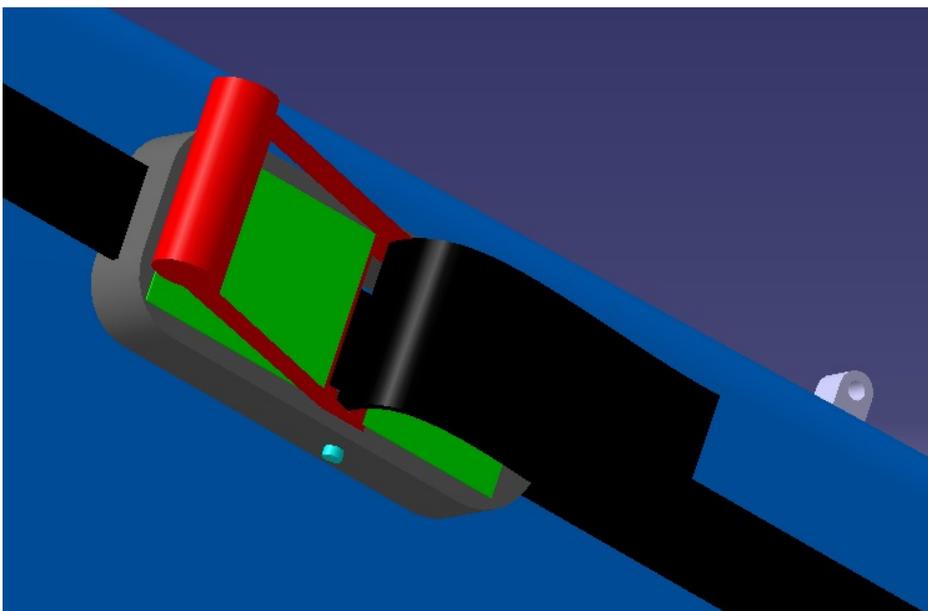


Figura 104. Tensor de la cincha

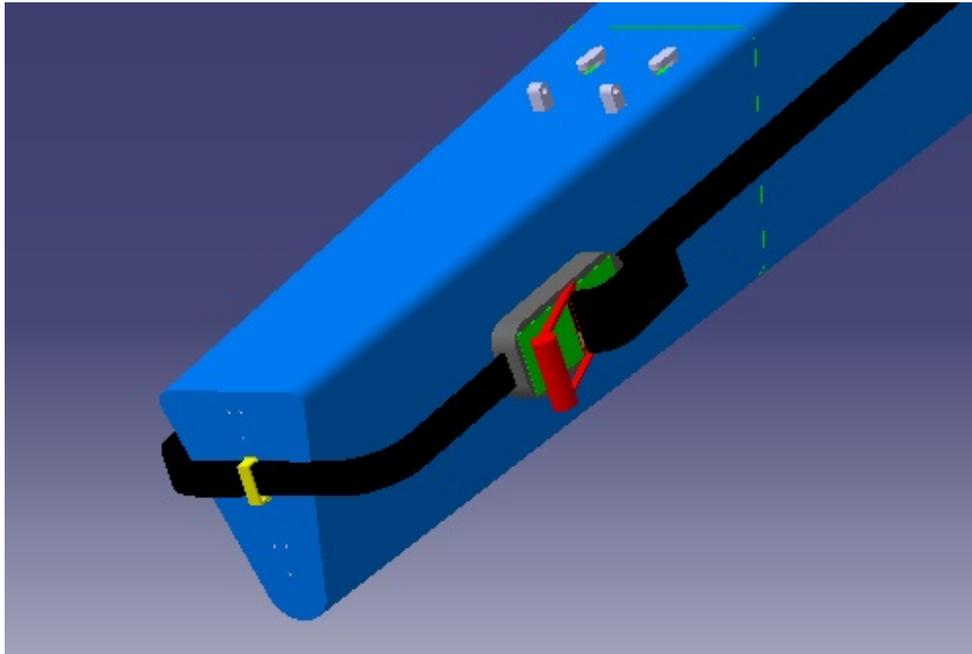


Figura 105. Cincha montada

## 6.2 Montaje de la estructura metálica

El segundo paso fundamental es el ensamblaje de la estructura metálica sobre la que se montarán el resto de piezas. Para ello tenemos que unir los diferentes tubos y encajar estos con las uniones metálicas. Antes de colocar las uniones hay que poner la lona.

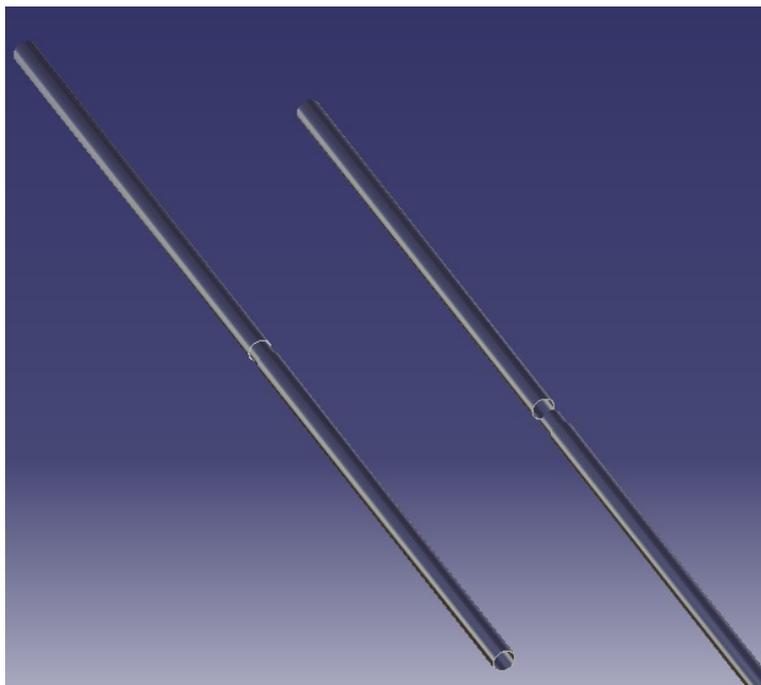


Figura 106. Ensamblaje de los tubos

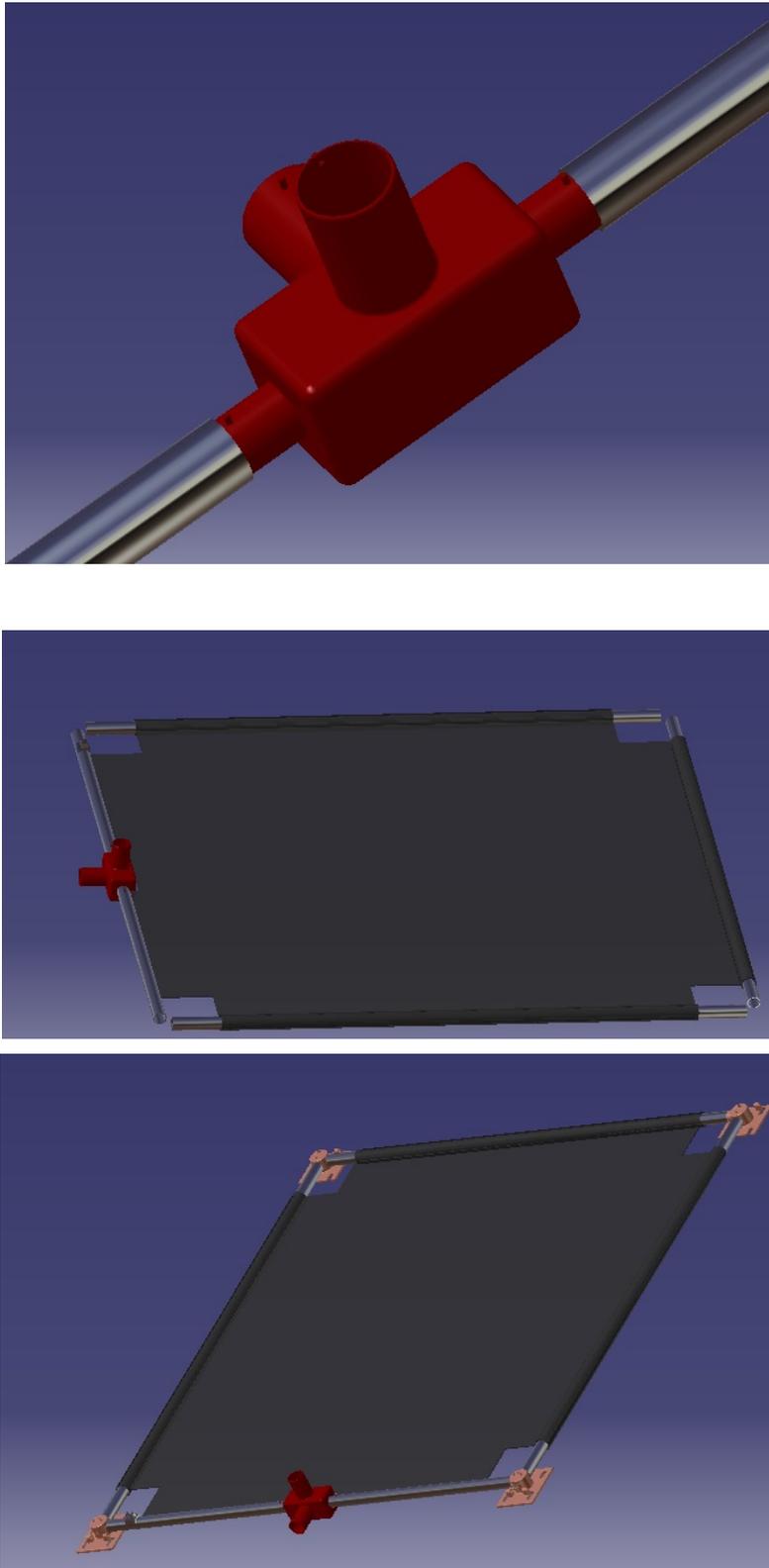


Figura 107. Estructua metálica montada

### 6.3 Tensado de la lona

Una vez se tiene la estructura metálica preparada hay que tensar la lona haciendo uso de los 6 tensores. Así se consigue dar rigidez y estabilidad a la superficie sobre la que se mueven y navegan los tripulantes de la embarcación.

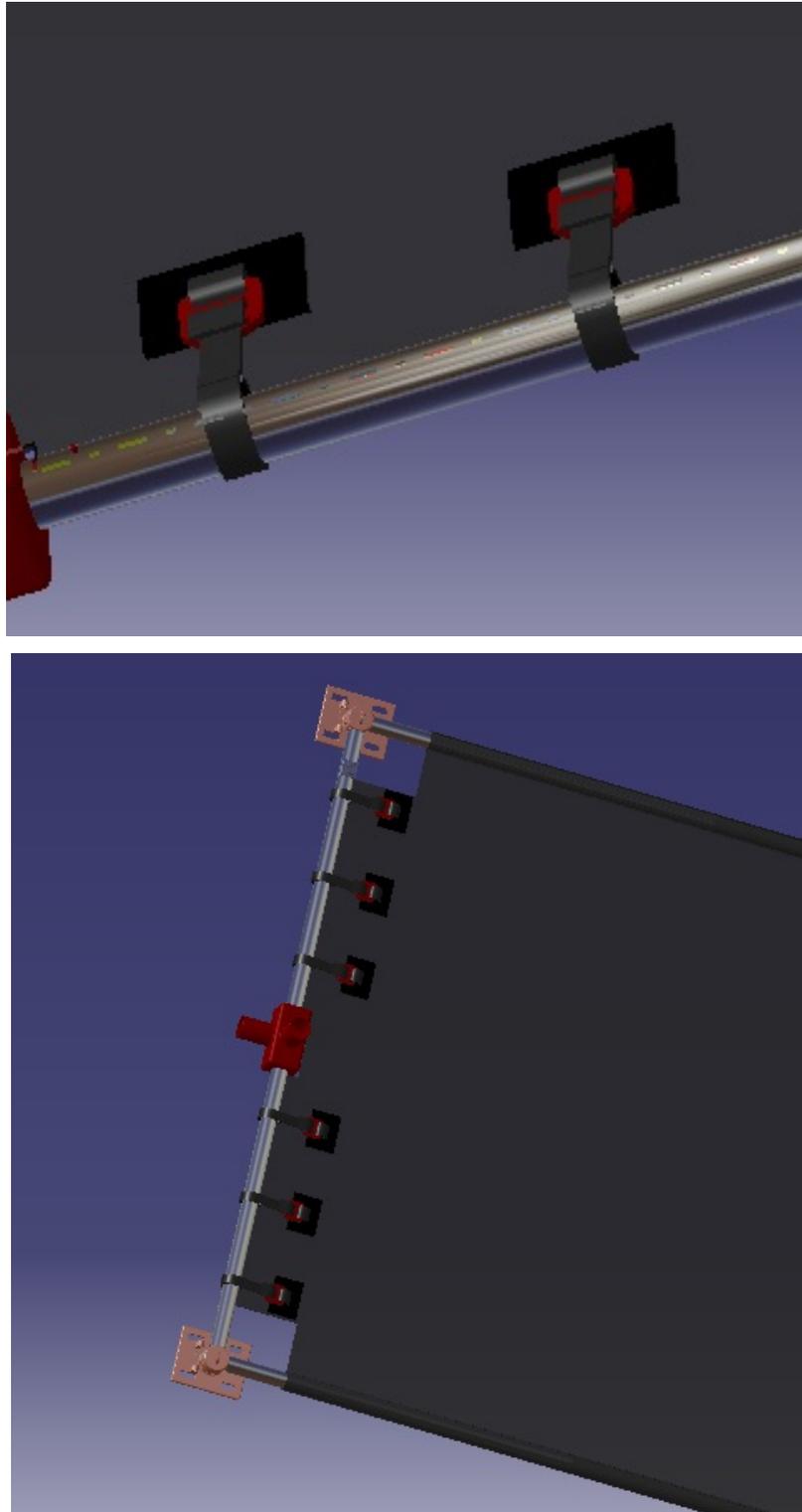


Figura 108. Tensado de la lona

## 6.4 Unión cascos y estructura metálica

Teniendo los cascos preparados al igual que la estructura metálica se procede a su unión. Para ello es necesario encajar la estructura en las fijaciones y desplazar esta hacia atrás para alinear los ejes.

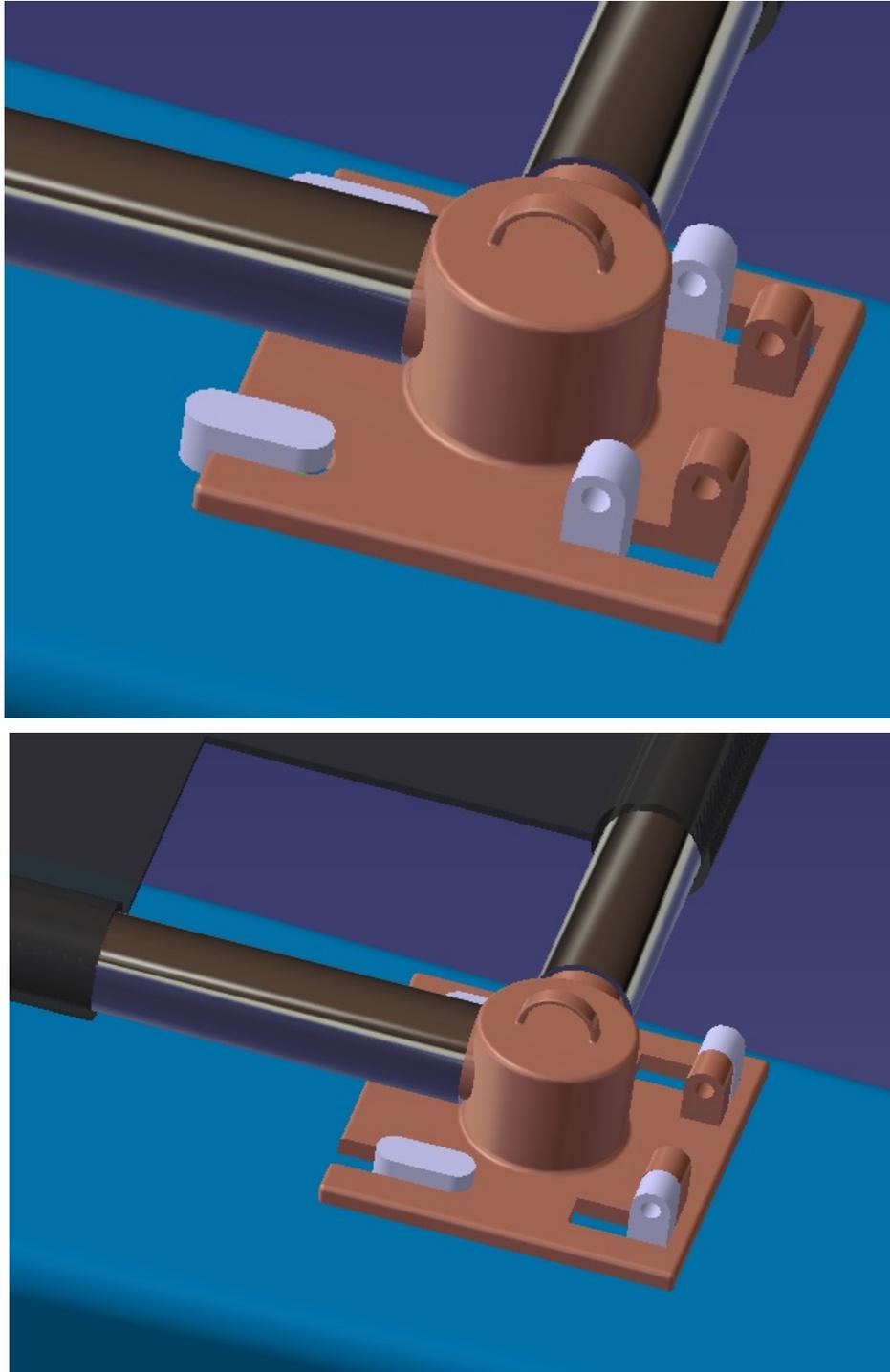


Figura 109. Unión entre casco y estructura metálica

Una vez tenemos la fijación y las uniones en posición introducimos los pasadores que evitarán que estas puedan desplazarse.

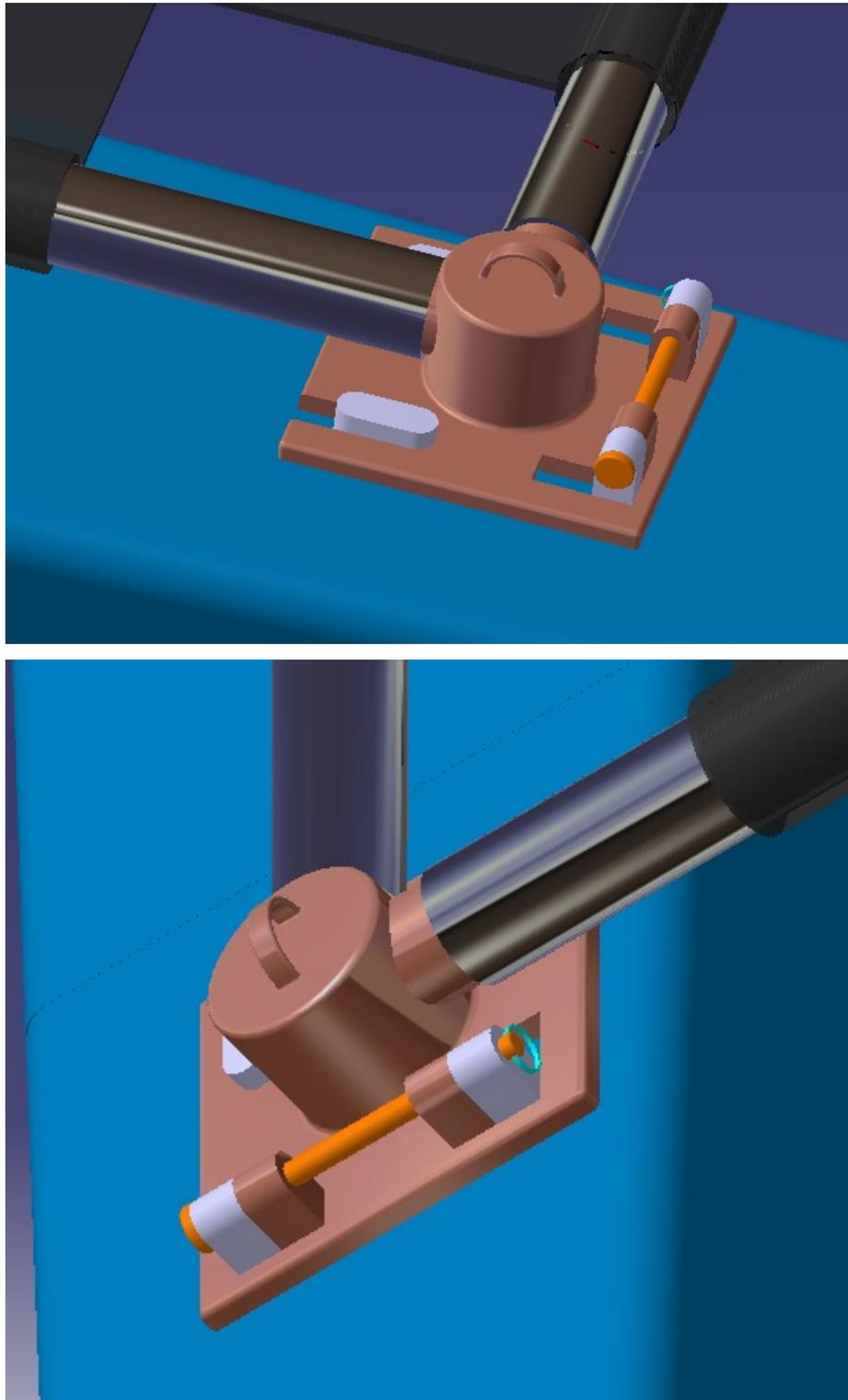


Figura 110. Fijación lista para navegar

## 6.5 Montaje del palo

Para montar el palo basta con encajar las diferentes secciones.

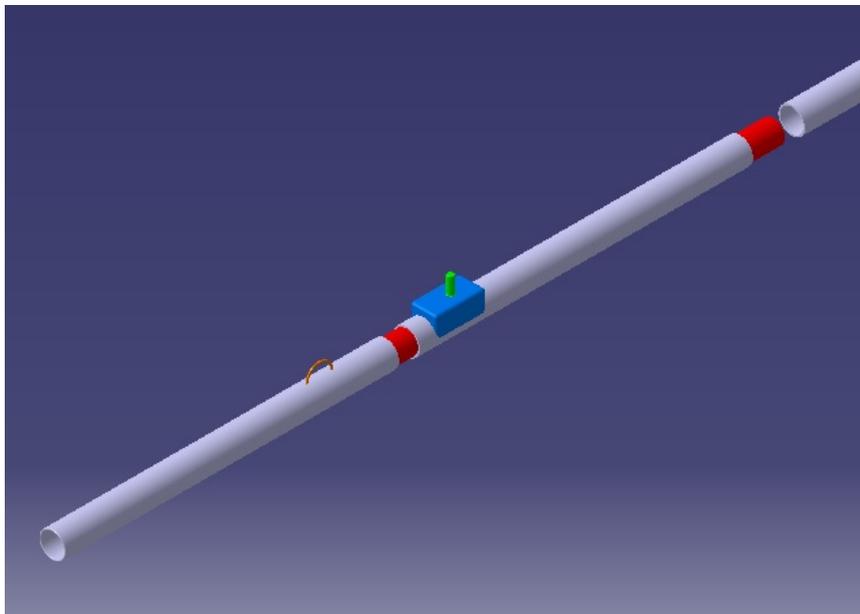
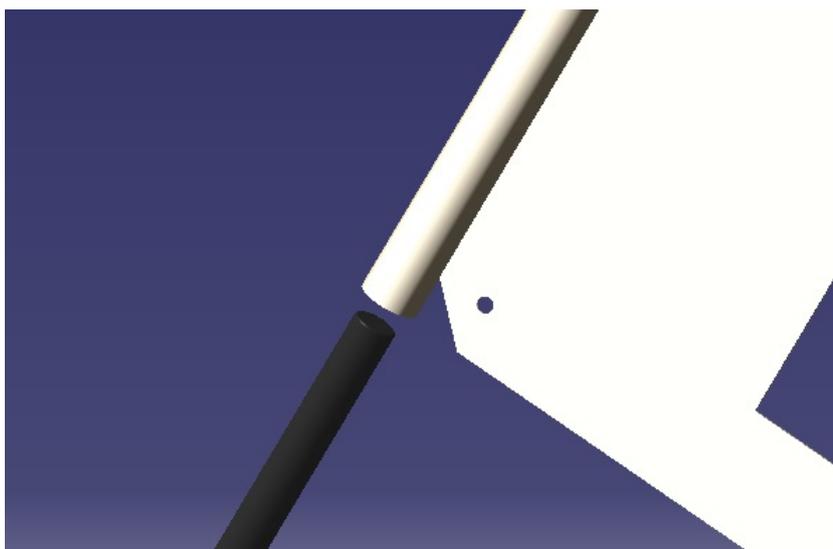


Figura 111. Montaje del palo

## 6.6 Montaje de la mayor

Cuando el palo está montado se introduce en la funda de mástil de la mayor.



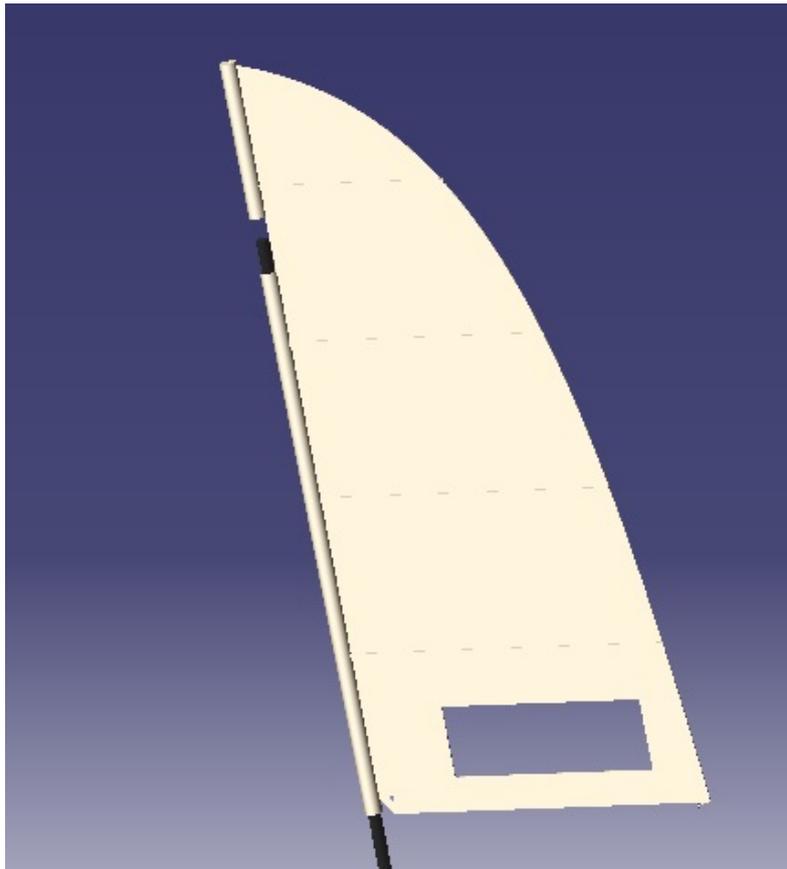


Figura 112. Montaje de la mayor

## 6.7 Montaje del foque

Para montar el foque se une la driza de este al palo a la altura en la que la mayor no tiene funda. Además de esto, se encajan los obenques.

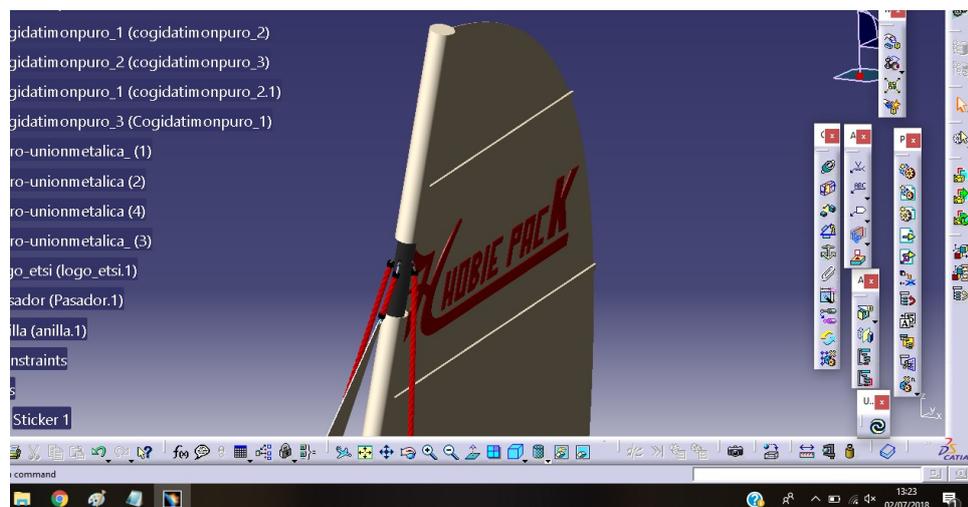




Figura 113. Montaje del foque

## 6.8 Colocación del palo en la base

Una vez montado el palo con la mayor, foque y obenques preparados se coloca este sobre la base del palo.

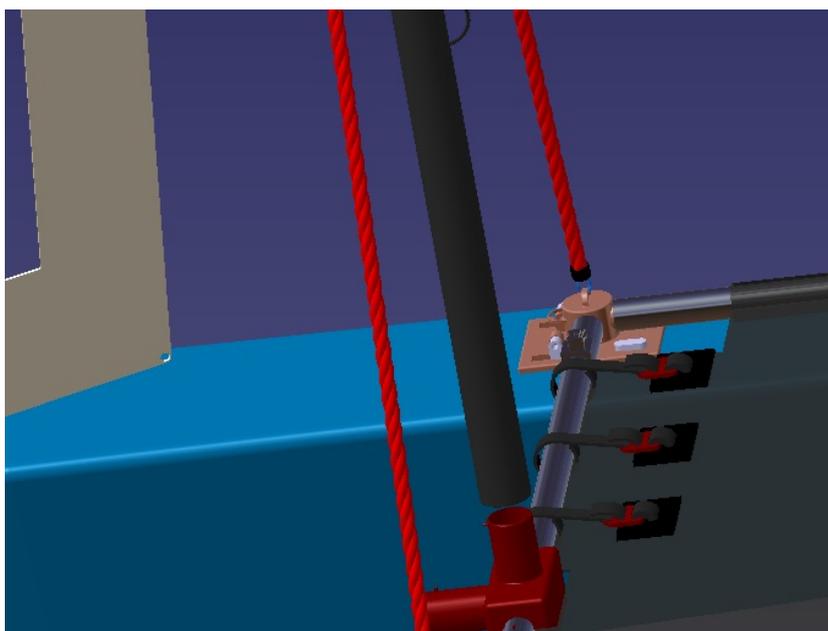


Figura 114. Colocación del palo en la base

Cuando este está unido a la base se fijan los obenques a las uniones metálicas.

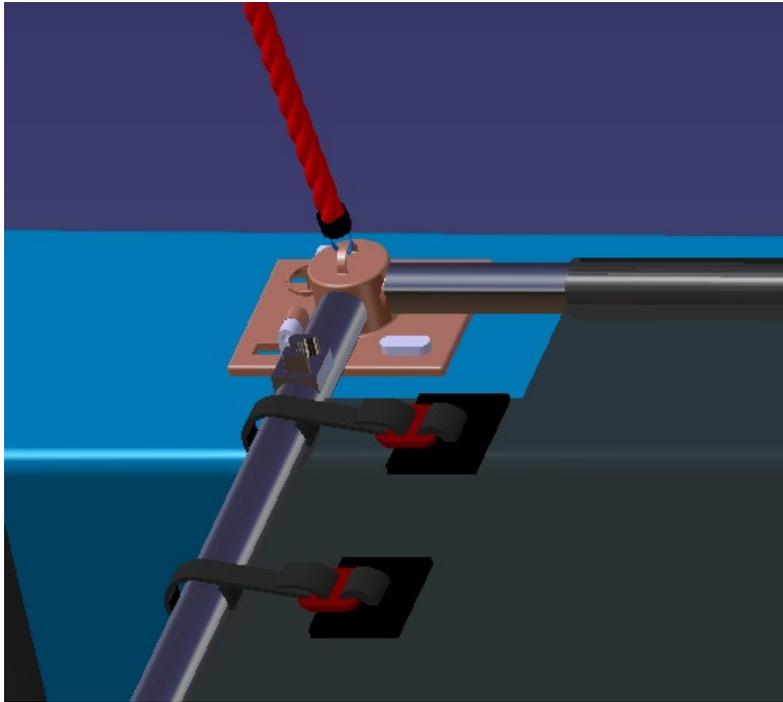


Figura 115. Obenques

## 6.9 Montaje de la botavara

La botavara se monta de la misma forma que el palo.

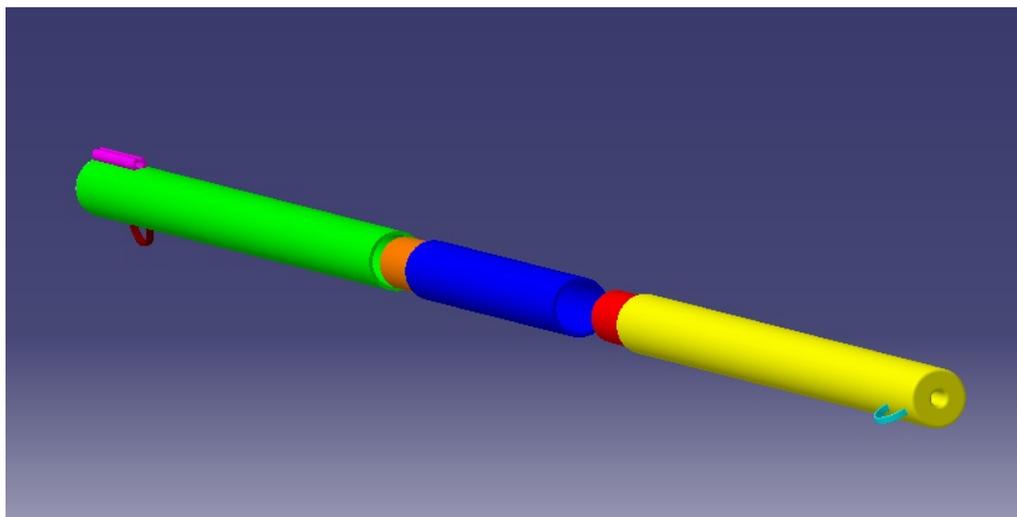


Figura 116. Ensamblaje de la botavara

## 6.10 Colocación de la botavara

La botavara se introduce en el anclaje que tiene el palo para tal fin.

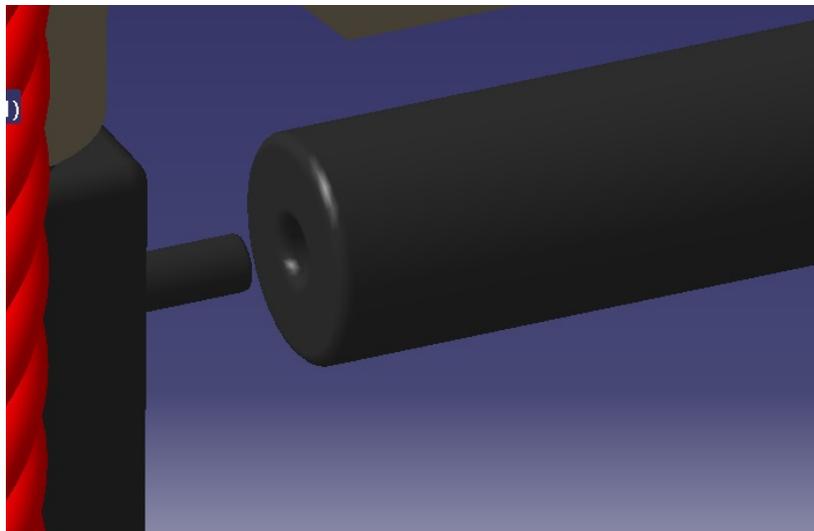


Figura 117. Unión de la botavara al palo

Una vez unida esta al palo, se introduce el pujamen de la vela al extremo de la botavara.

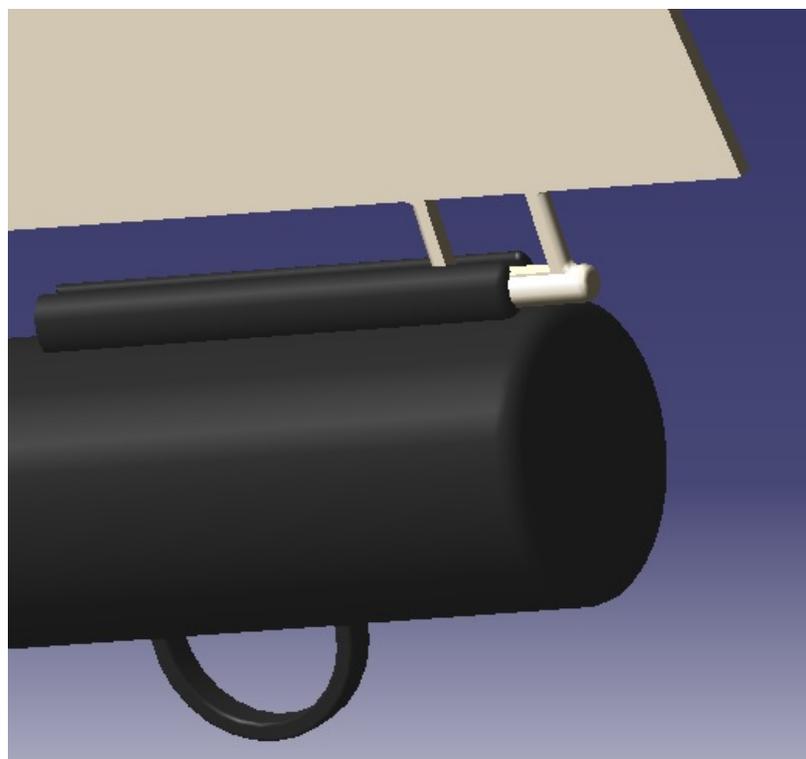


Figura 118. Pujamen

## 6.11 Montaje del botalón

El botalón se fia a la base del palo. Una vez colocado, se fija el puño de amura del foque dándole a este la tensión correcta.

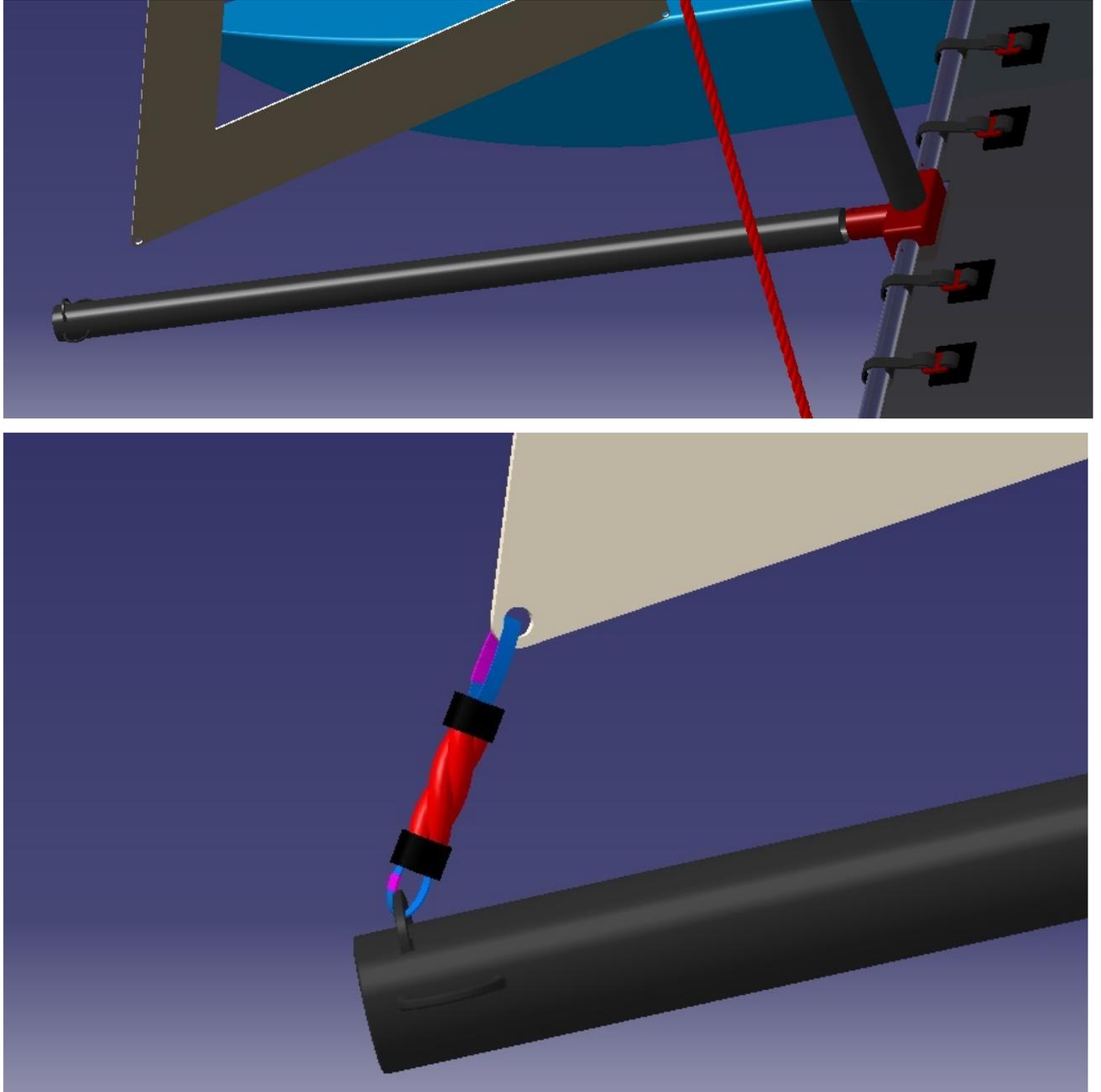


Figura 119. Montaje del botalón

Después se ponen los tensores laterales del botalón.

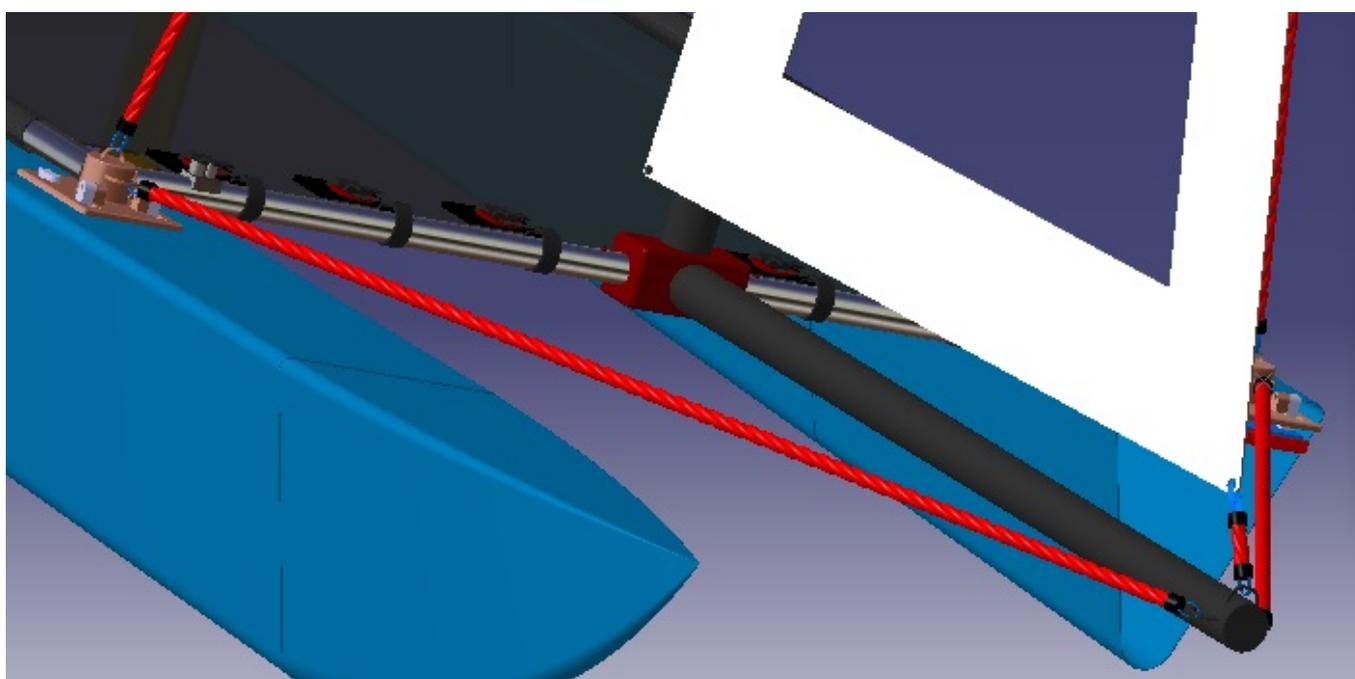
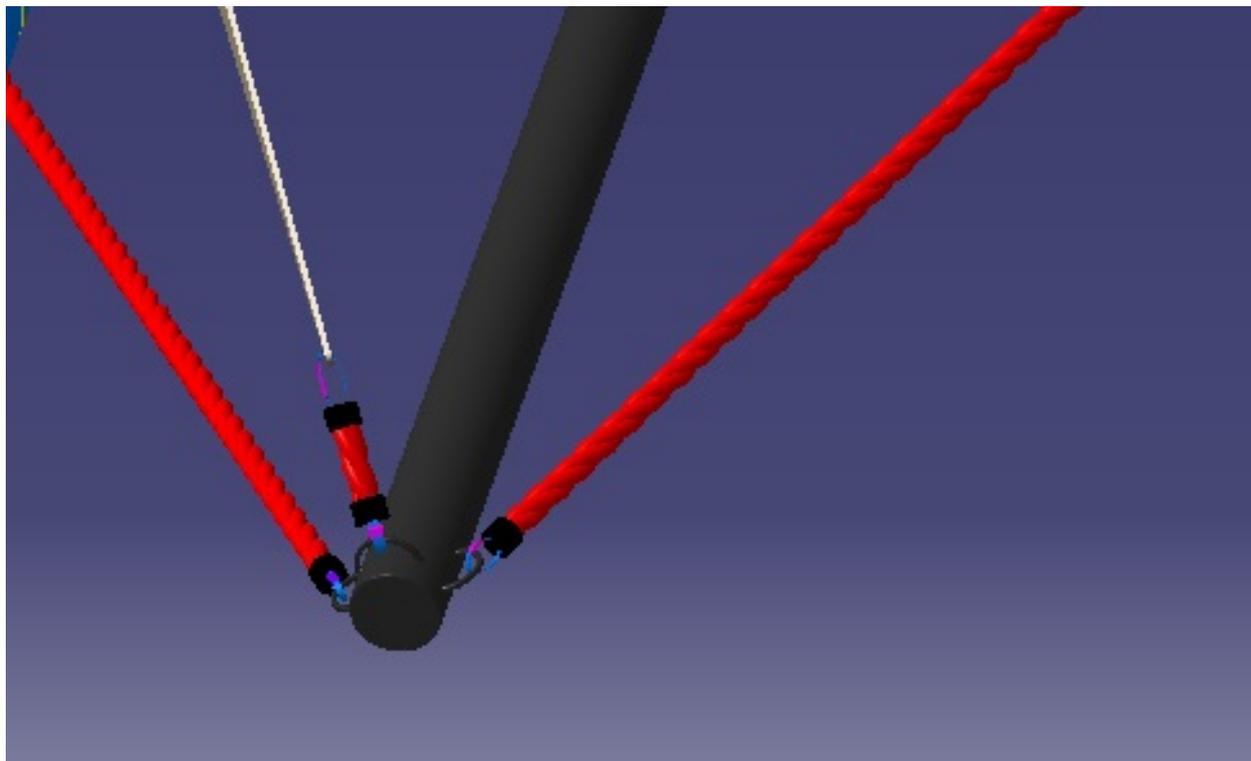


Figura 120. Tensores del botalón preparado

## 6.12 Acoplar los timones

Fijar los timones es muy sencillo. Basta con introducir los cilindros de la estructura del timón en los encajes unidos al casco.

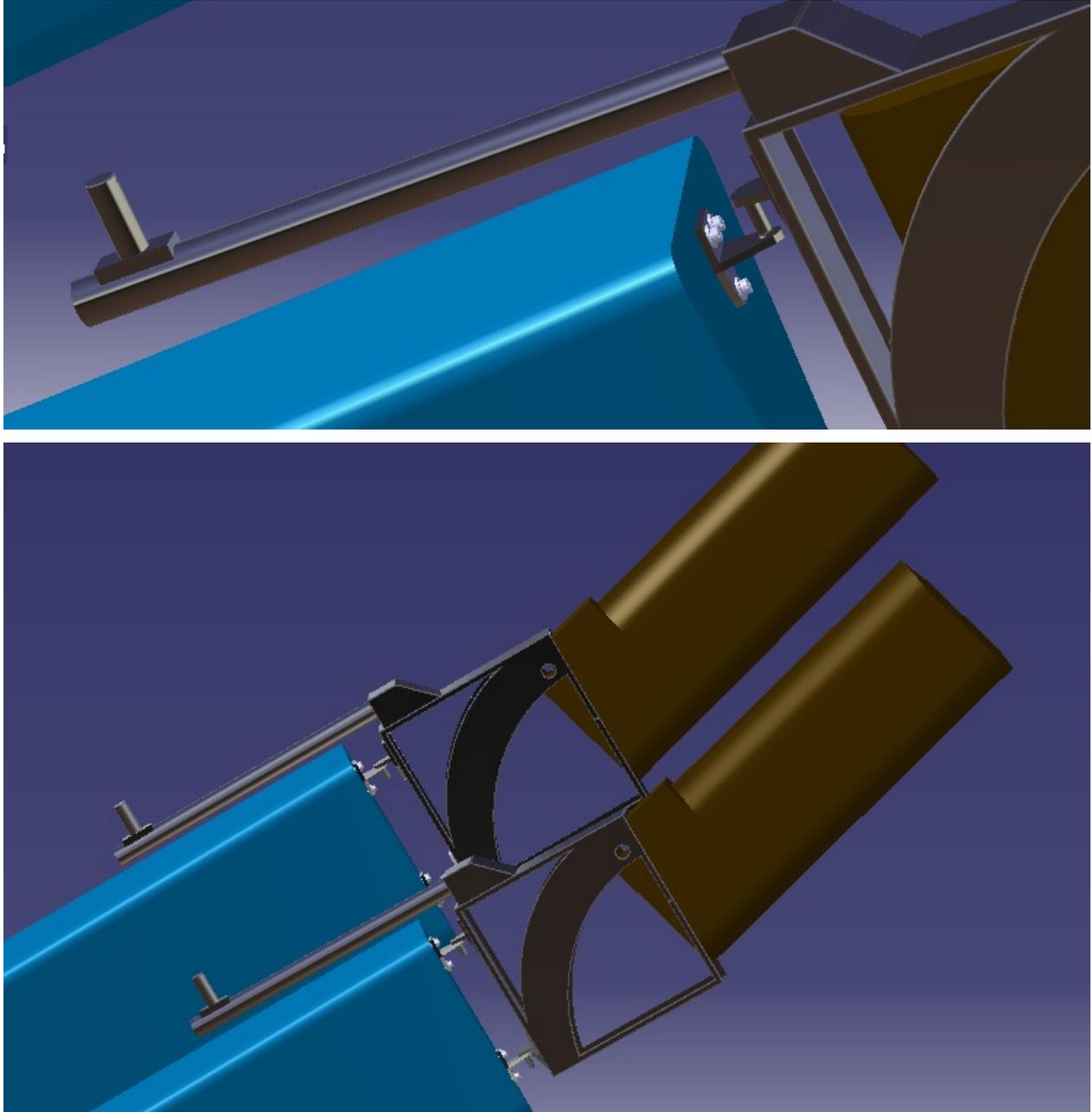


Figura 121. Colocación de los timones

Una vez el timón está en su posición la pestaña de la cogida evita que pueda salirse.

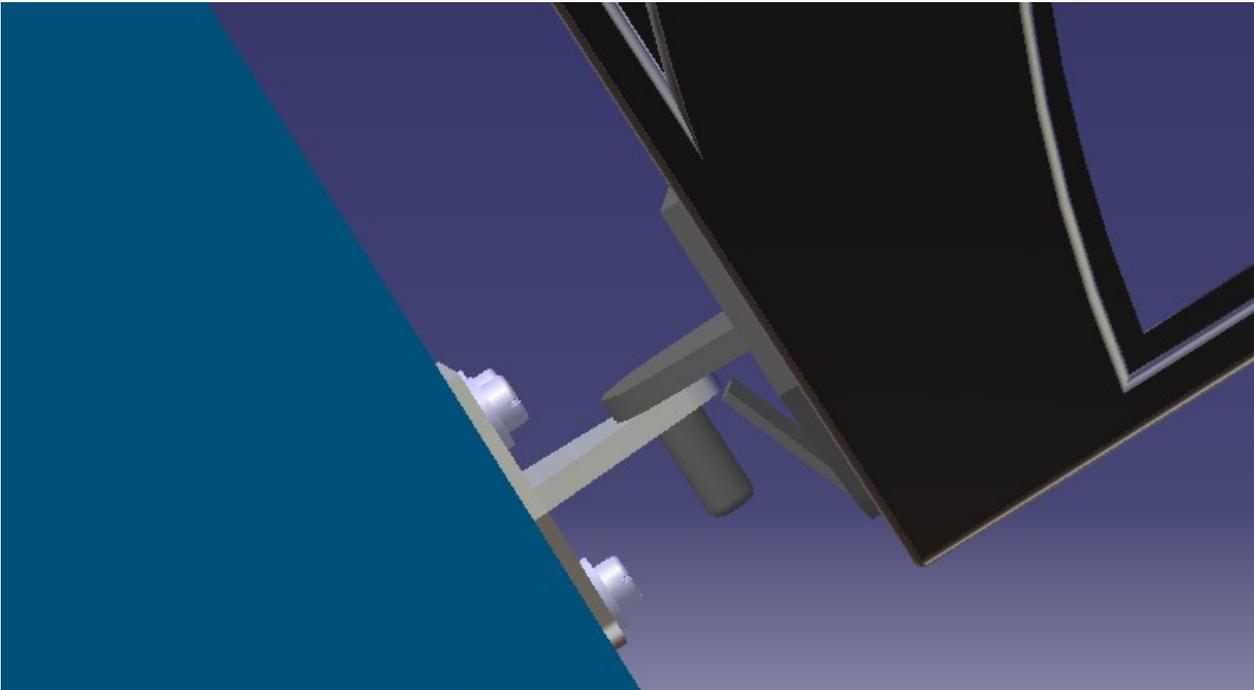


Figura 122. Detalle de la pestaña del timón

### 6.13 Montaje de la unión de cañas

El montaje de la unión de cañas es análogo al resto de tubos. Después se une a las cañas que tienen unos tetones que evitan que se desenganche

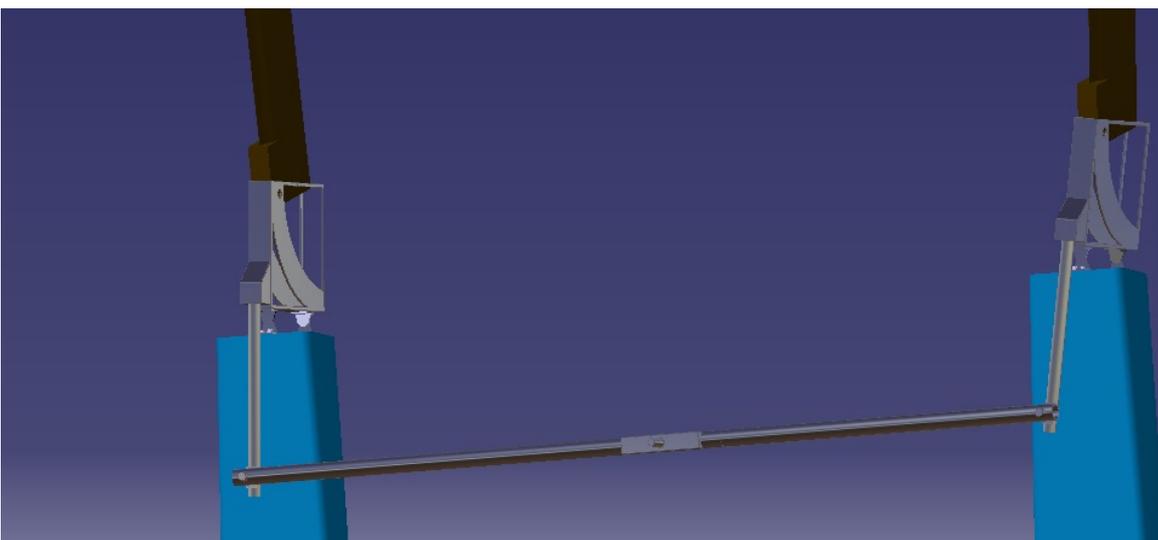


Figura 123. Unión de las cañas

## 6.14 Colocación del stick

El stick se encaja en la unión de las cañas.

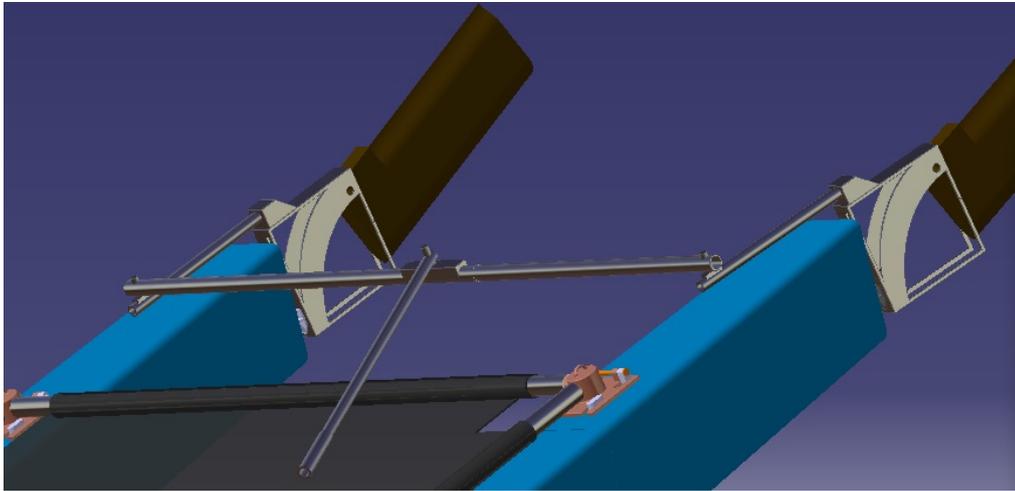


Figura 124. Montaje del stick

## 6.15 Escotas

La escota del foque es muy sencilla de montar. Simplemente hay que unirla al puño de escota del foque.

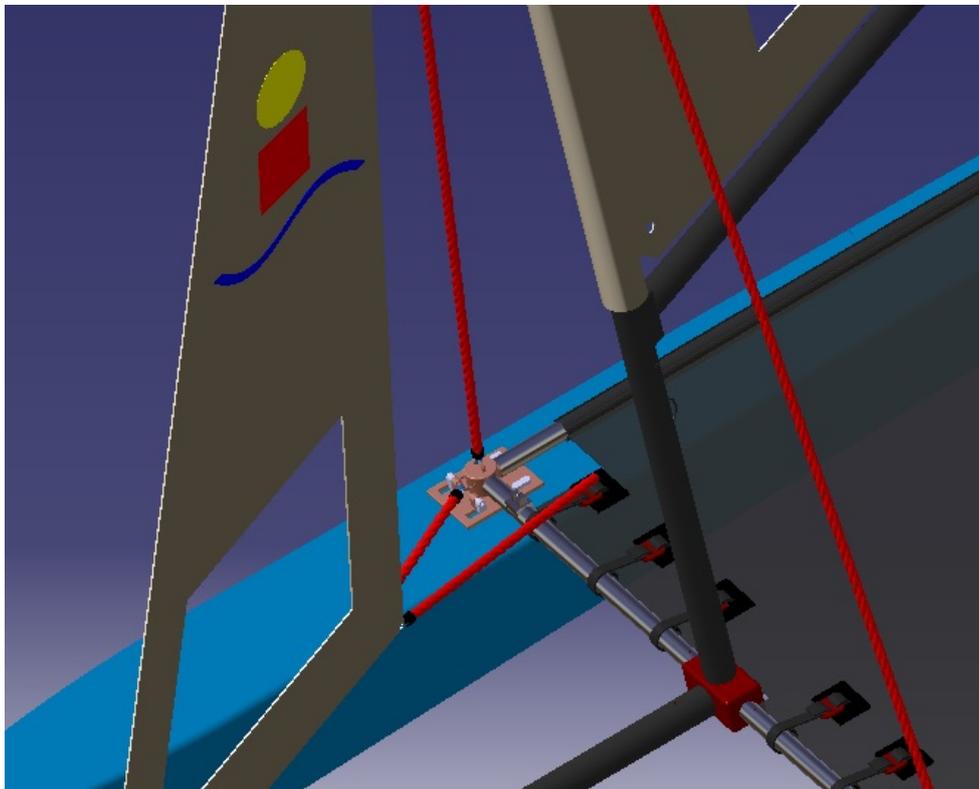


Figura 125. Preparación de escota el foque

La escota de la mayor requiere unir la pata de gallo a las dos uniones metálicas de la popa, pasar esta por la polea de la botavara y llevarla a la escota del palo.

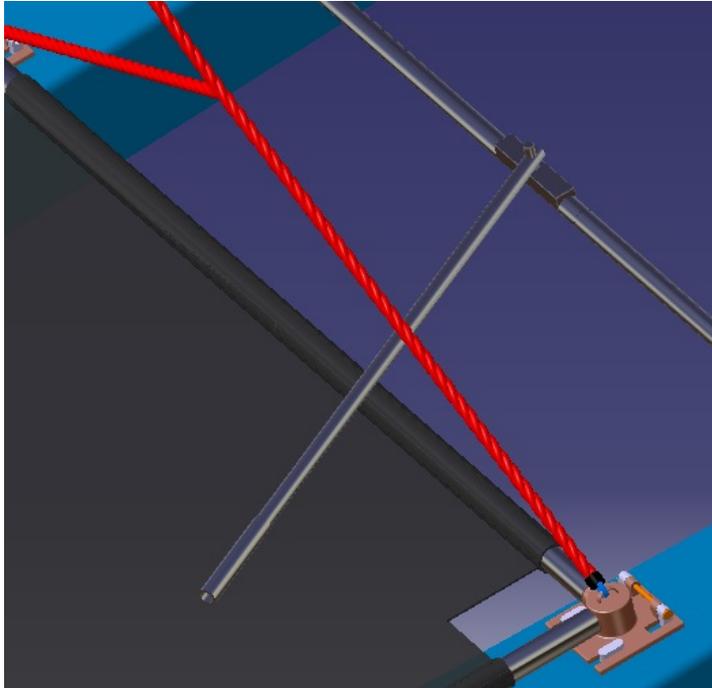
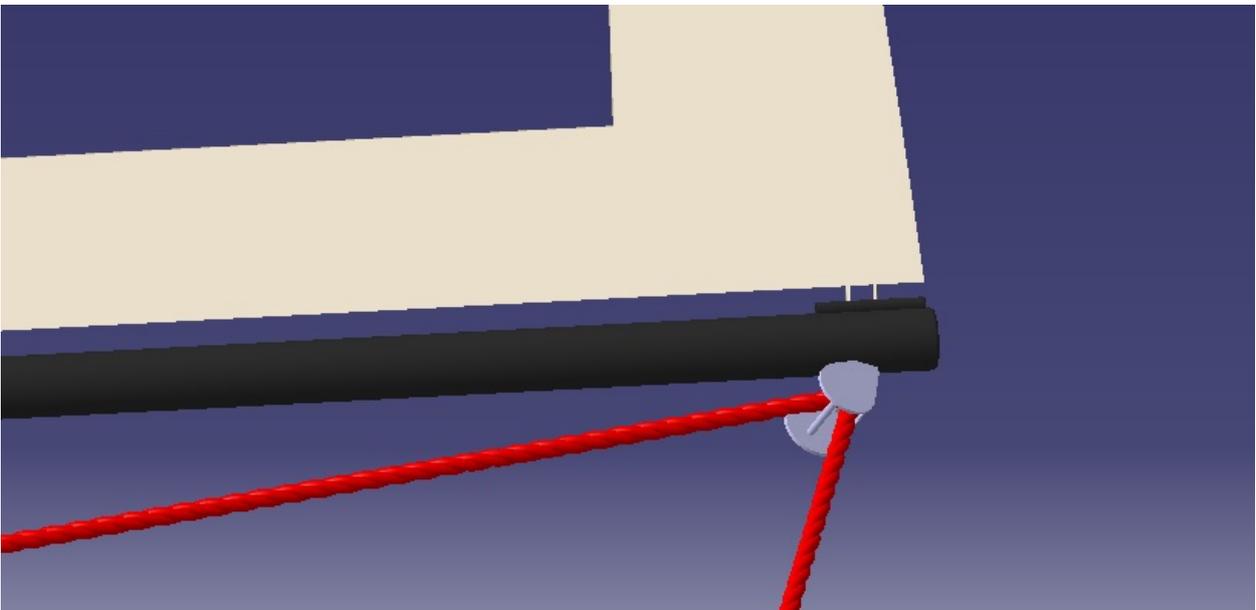


Figura 126. Montaje de la pata de gallo



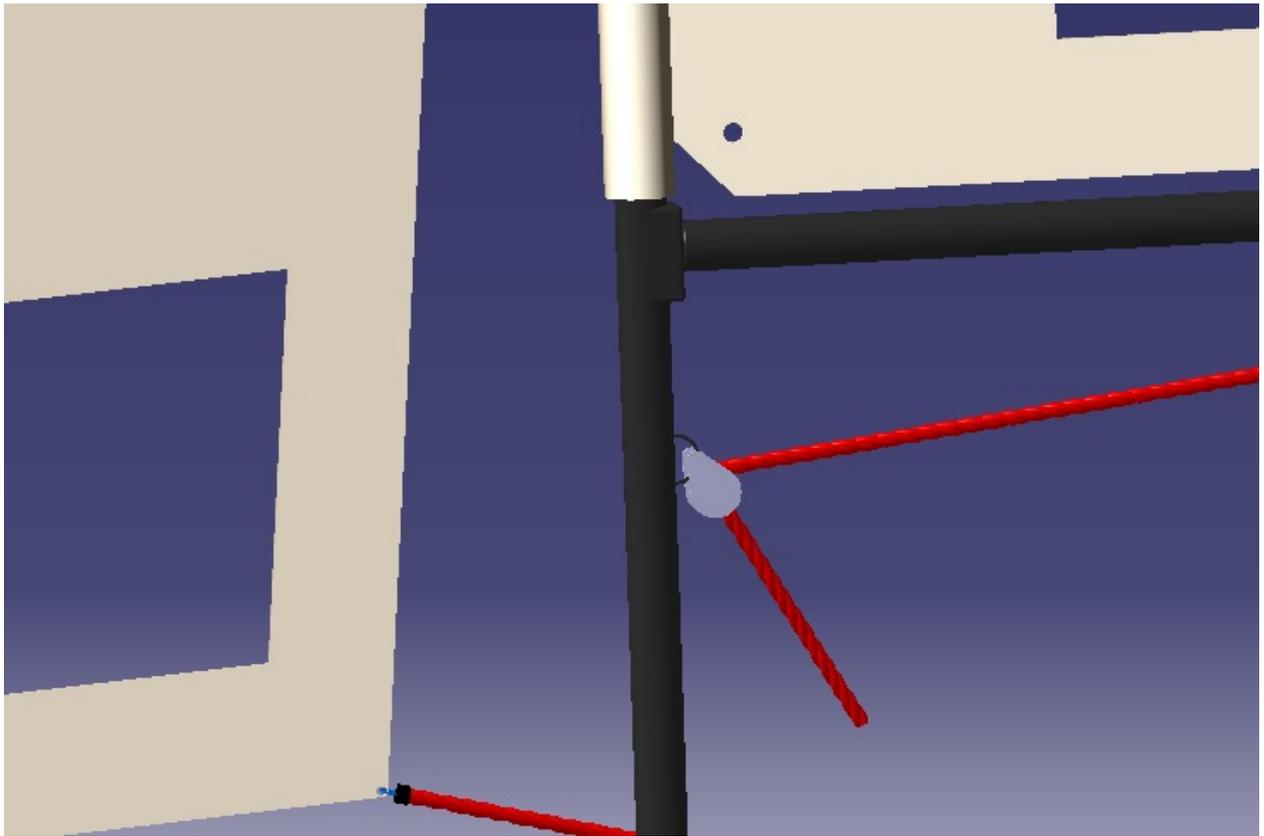


Figura 127. Montaje de la escota de mayor

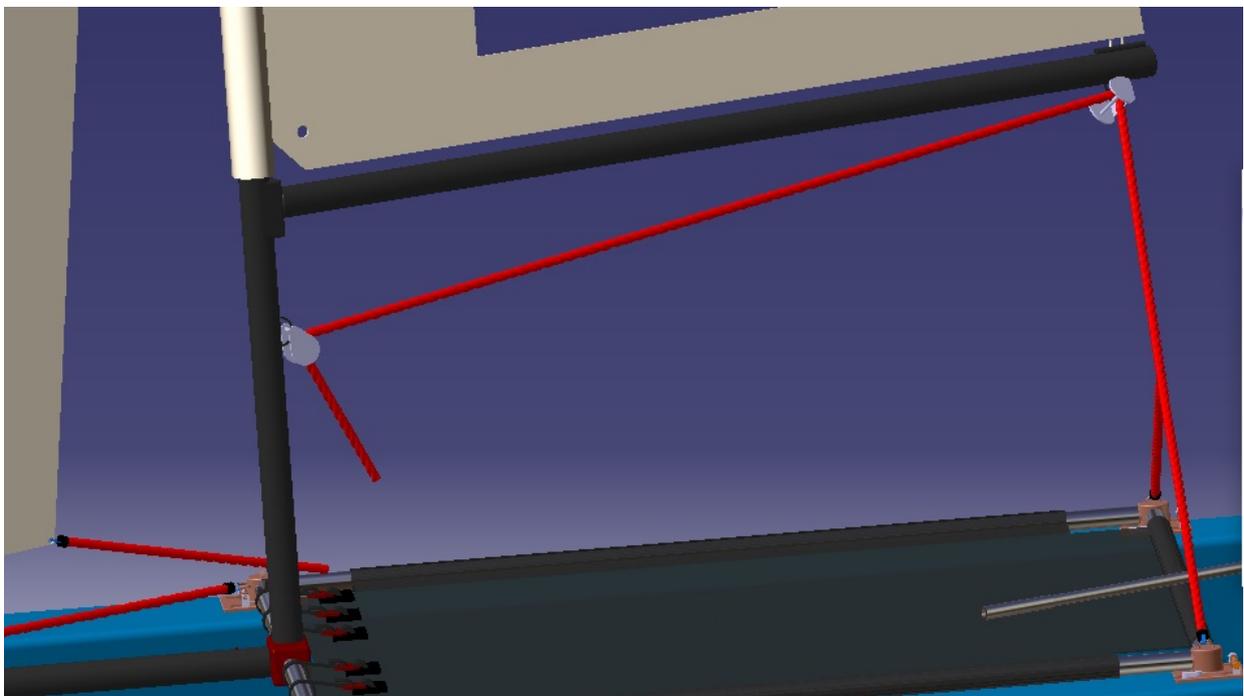
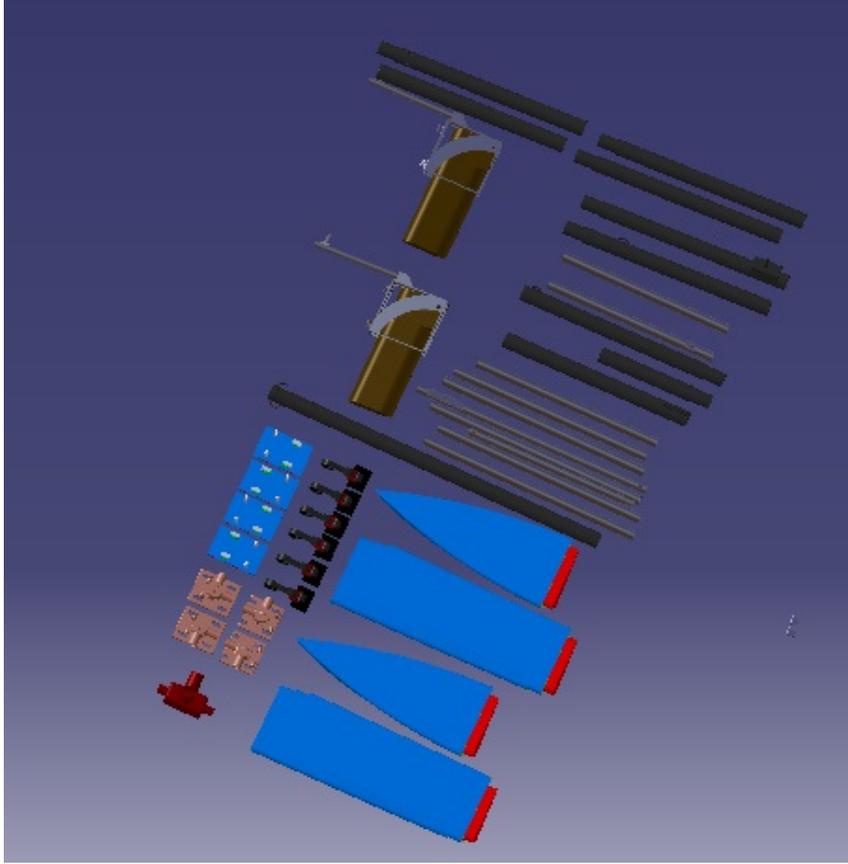


Figura 128. Sistemas de escota listos para navegar

## 6.16 A navegar





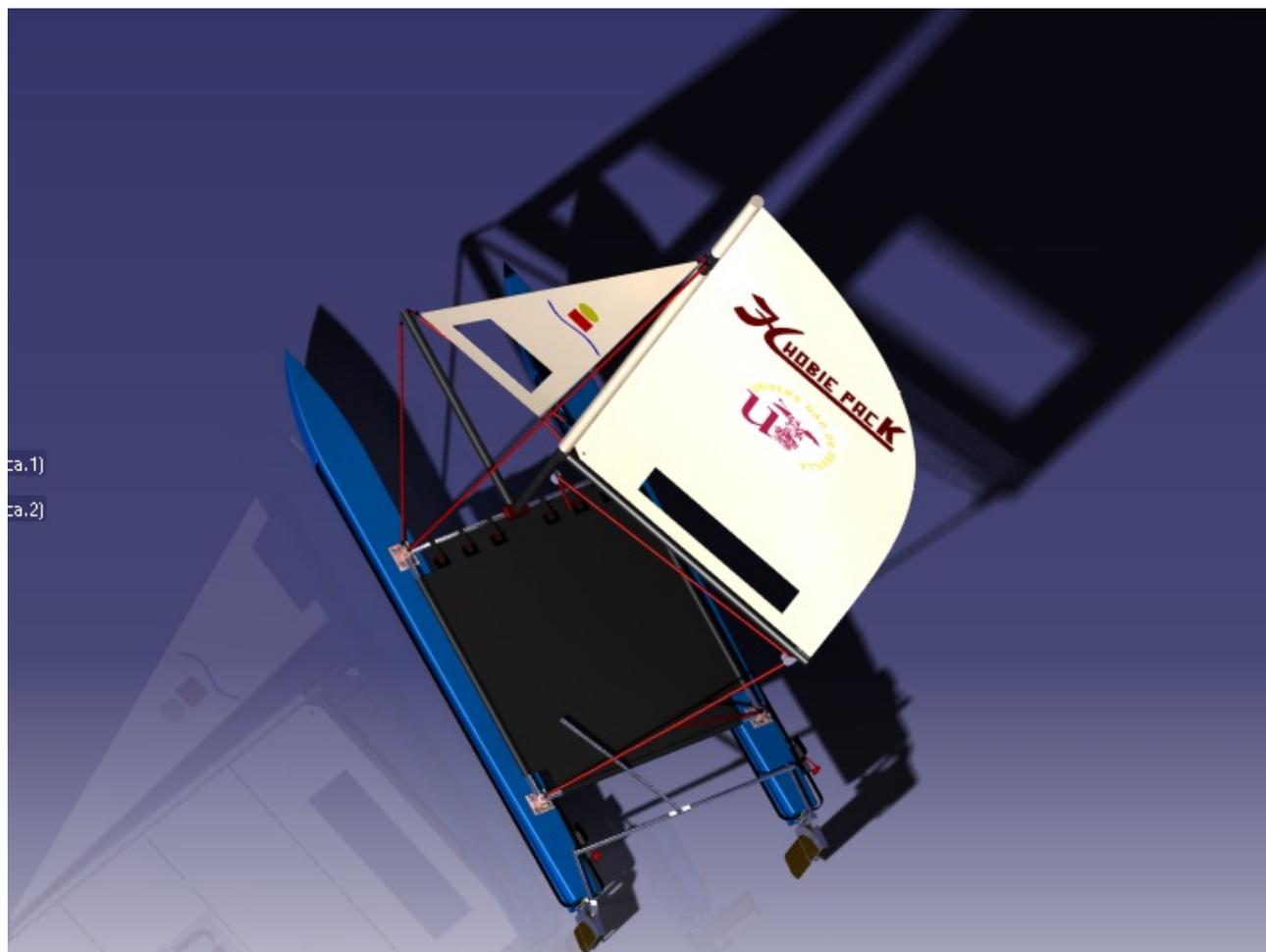


Figura 129. Modelado final en Catia





Figura 130. Catamarán navegando

## 7 CONCLUSIONES

*Lo bueno, si breve, dos veces bueno*

*- Baltasar Gracián -*

El objetivo fundamental de este proyecto es diseñar un barco modular que sea fácil y rápido de ensamblar. Se ha realizado una estimación del tiempo que llevaría realizar el montaje completo del barco. Para este cálculo se ha supuesto que la embarcación la monta una única persona. Si lo montasen entre dos o tres personas el tiempo sería mucho menor.

PASO	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE OPERACIONES	TIEMPO POR OPERACIÓN (segundos)	TIEMPO TOTAL (segundos)
1	Colación de las fijaciones en el casco	4	5	20
2	Ensamblaje de los puros	2	30	60
3	Colocación de la cincha	2	10	20
4	Tensado de la cincha	2	10	20
5	Montaje de los tubos de la estructura metálica	8	5	40
6	Meter tubos en la lona	3	5	15
7	Ensamblar tubos con las uniones metálicas	5	10	50
8	Tensar la lona	6	5	30
9	Unir estructura metálica a las fijaciones	4	10	40
10	Montar el palo	1	20	20
11	Meter el palo en la funda del mástil	1	20	20
12	Poner driza de foque	1	5	5
13	Enganchar obenques al palo	2	3	6
14	Colocar el mástil en la base del palo	1	10	10
15	Fijar los obenques	2	10	20
16	Ensamblar botavara	1	10	10
17	Unir botavara al palo	1	5	5
18	Meter el pujamen en la botavara	1	5	5
19	Colocar botalón en la base del palo	1	5	5
20	Poner tensores laterales	2	10	20
21	Trimar la amura del foque	1	20	20
22	Colocar timones	2	10	20
23	Ensamblar la unión de las cañas	1	5	5
24	Fijar la unión entre las dos cañas	1	10	10
24	Poner el stick	1	5	5
			Total en segundos	481
			<b>Total en minutos</b>	<b>8</b>

Tabla 3. Estimación del tiempo de montaje del barco completo

El montaje completo del barco se realizaría en 8 minutos. Esto es realmente importante ya que es un barco pensado para ser montado y desmontado prácticamente cada vez que se use. Al ser tan rápido se consigue que la preparación de la embarcación no suponga un inconveniente a la hora de disfrutar del mar. Además este montaje no conlleva ningún ensamblaje complejo que requiera de conocimientos náuticos o experiencia en la mar.

Los objetivos secundarios son que la embarcación fuese fácil de construir y que gozase de una buena navegabilidad.

Que sea fácil de construir se consigue principalmente con los materiales utilizados, en este caso polímeros y aluminio principalmente que son muy maleables y resulta fácil trabajar con ellos, y con los perfiles de las piezas, que se han diseñado formando geometrías sencillas, fundamentalmente cilindros.

La buena navegabilidad no se puede asegurar hasta que no se bota el barco, pero el cálculo de la superficie vélica, del tamaño de los timones, de la separación entre cascos, de la altura del palo, etc dan una idea de que el barco tendrá una buena navegabilidad, que será estable y rápido.

## 8 PROPUESTAS DE MEJORA

*Hazlo lo mejor que sepas hasta que sepas más.*

*Cuando sepas más, hazlo mejor.*

*-Maya Angelou-*

La principal novedad que se está introduciendo en el mundo de los barcos de competición es la instalación de hidrofoils que hagan que el barco vuele sobre el agua reduciendo drásticamente el rozamiento entre embarcación y mar haciendo nulo el desplazamiento de agua.



Figura 131. Catamaranes con hidrofoils en la America's Cup



Figura 132. Catamares de vela ligera con hidrofoils

Una variante interesante a este diseño sería la inclusión de estos sistemas. Además de aumentar la velocidad máxima del barco permite simplificar mucho el diseño de los cascos. Esto se debe a que en navegación no estarán en contacto con el agua. Esto permite hacer un diseño menos hidrodinámico basado únicamente en la sencillez de montaje. La flotabilidad de estos pasa además a un segundo plano.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Juan Rivas Lagares. " *Aprender CATIA V5 con ejercicios alámbricos y superficies*". Ed. MARCOMBO 20131.
- [2] Juan José Prieto, Leopoldo Gorostiza, Las Carabelas de Colón: Su diseño y reconstrucción
- [3] Guerra, J. (2016), *Documentación sobre planos nao Santa María y modelado de la misma mediante Catia V5*
- [4] Cheret, B. (2008). *Las velas: Comprensión, trimado y optimización* (3ª ed). Barcelona: Juventud.
- [5] Besednjak, A. (2005) *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones*. Ediciones UPC
- [6] Schweer, P. (2002). *El correcto trimado del aparejo*. (3ª ed). Editorial Tutor
- [7] 2018 Unidad Editorial Información General, S. (2018). *El barco que se monta en 90 segundos*. [online] Expansión.com. Disponible en : <http://www.expansion.com/nauta360/vela/2018/02/04/5a7456f6468aeb4b0d8b4781.html>
- [8] Get a board, take your road. (2017). *Tablas de paddle surf hinchable | Beboarder - Tienda online*. [online]. Disponible en: <https://beboarder.com/paddle-surf-hinchable/>
- [9] Diego, J. (2018). *Un barco desmontable y un hotel flotante -*. [online]. Disponible en: <http://www.navegar.com/un-barco-desmontable-y-un-hotel-flotante/>
- [10] Doane, C. (n.d.). *Foiling Monohull Design*. [online] Sail Magazine. Disponible en: <https://www.sailmagazine.com/boats/foiling-monohull-design>
- [11] La Celosía. (n.d.). *El barco del año es desmontable - La Celosía*. [online] Disponible en: <http://www.lacelosia.com/el-barco-del-ano-es-desmontable/>
- [12] Nauticexpo.es. (2018). *Vela ligera hinchable / cat boat - TIWAL 3.2 - TIWAL - Videos*. [online]. Disponible en : <http://www.nauticexpo.es/prod/tiwal/product-49682-379979.html>
- [13] Urquía, B. (2016). *¿Qué tipo de kayak ofrecer a tus clientes?*. [online]. Disponible en: <https://blog.urquiabas.com/kayak-desmontable-no/>
- [14] Atienza, H. (2015). *El trimarán sin 'carnet' | Salones | Nauta 360*. [online] Nauta360.expansion.com. Disponible: <http://nauta360.expansion.com/2015/02/16/salones/1424086282.html>
- [15] Lamagalquilerbarcosgrecia.com. (2011). *Los barcos de vela y su evolución. La Nao y la rea de los descubridores. | Alquiler de velero con patrón en Grecia*. [online] Disponible en: <https://www.lamagalquilerbarcosgrecia.com/lla-nao-fue-un-barco-fundamental-en-la-era-de-los-descubrimientos/>
- [16] Moldtrans (2014). *El transporte marítimo y los diferentes tipos de buques*. [online] Moldtrans. Disponible en : <https://www.moldtrans.com/transporte-maritimo-tipos-de-buques-en-funcion-del-tamano-de-la-carga/>
- [17] Naggy, A. (2014). [online] Es.gizmodo.com. Disponible en: <https://es.gizmodo.com/buques-de- guerra-de-alta-tecnologia-que-ya-dominan-los-1619349990>
- [18] NauticExpo. (2016). *Brand NEW: The fastest inflatable catamaran ever: HAPPY CAT HURRICANE*. [online] Disponible en: <http://trends.nauticexpo.com/grabner-gmbh-austria/project-21096-322597.html>

- [19] *Diez tipos de embarcaciones a vela* (2013). | *Revista Ingeniería Naval*. [online] Disponible en: <https://sectormaritimo.es/diez-tipos-de-embarcaciones-a-vela>
- [20] *Partes de un velero, nomenclatura básica* (2018). - *SailandTrip*. [online] Disponible en: <https://sailandtrip.com/vela/partes-de-un-velero/>
- [21] Sheitan (2011). *TRIMARAN FLAP BOAT*. [online] SHEITAN BROTHERS. Disponible en: <https://muelasheitan.wordpress.com/2011/11/04/trimaran-flap-boat/>
- [22] Wiki.lamarencalma.com. (2013). *CLASIFICACION DE EMBARCACIONES - Wiki Nautico Lamarencalma*. [online] Disponible en: [http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=CLASIFICACION\\_DE\\_EMBARCACIONES](http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=CLASIFICACION_DE_EMBARCACIONES)
- [23] Yatching, W. (2002). [online] Yatchingworld.com. Disponible en: <http://www.yatchingworld.com/news/playstation-sets-another-world-record-52078>
- [24] Grela, E. (2013). Diseño y proyecto constructivo de un velero de crucero-regata de 10,5 metros de eslora. Licenciado. Universidad de Cádiz.
- [25] Guerrero, A. (2007). Diseño de un catamarána vela de 12 metros de eslora. Licenciado. Universidad de Cádiz.
- [26] Martínez, Y. (2010). Diseño de un velero transportable de 6 m de eslora. Licenciada. Universidad de Cádiz.
- [27] Montes, F. (2008). Proyecto de ejecución de nave metálica para almacenamiento y venta de puertas de madera en el P.I. "Belmonte", Osuna (Sevilla). Licenciado. Universidad de Sevilla.
- [28] Ramirez, F. (2018). Diseño conceptual del fuselaje de un helicóptero ultraligero eléctrico monoplaza. Licenciado. Universidad de Sevilla.

#### Páginas web consultadas

- [29] <http://rebelcat.com/RC5-Update-12-20-11.html>
- [30] <https://www.todokayak.com/9-desmontables>
- [31] <https://blog.urquiabas.com/kayak-desmontable-no/>
- [32] <http://www.navegar.com/un-barco-desmontable-y-un-hotel-flotante/>
- [33] <https://beboarder.com/paddle-surf-hinchable/>
- [34] <http://www.lacelosia.com/el-barco-del-ano-es-desmontable/>
- [35] <https://www.sailmagazine.com/boats/foiling-monohull-design>
- [36] <http://www.instructables.com/id/DIY-Styrofoam-Catamaran/>
- [37] <https://tiwal.com/gb/>
- [38] <http://www.terranea.es/blog/embarcaciones-de-recreo-tipos-permisos/>
- [39] <https://ingenieromarino.com/tipos-de-barcos/>
- [40] <http://expandacraft.com/products/>
- [41] <http://www.happy-cat.at/en/happy-cat/evolution/>
- [42] <https://redbeardsailing.com/collections/reverso-boats>
- [43] <http://www.morrellimelvin.com/PlayStation/>
- [44] <https://www.americascup.com/>
- [45] <https://www.muchocatia.es/>
- [46] <https://catiafacil.wordpress.com/>

## Videos vistos

[47] <https://www.youtube.com/channel/UC5UgQ4cGyadkOuB5wVb0nXA>

[48] <https://www.youtube.com/watch?v=hNyzX80Kqdk>

[49] <https://www.youtube.com/watch?v=xT-J13qtno8>

[50] <https://www.youtube.com/watch?v=BsiiAMMINaA>

[51] <https://www.youtube.com/watch?v=jWdJUPChj6M>

## Para desarrollar propuestas de mejora

[52] “Hydrofoils” [en línea] Disponible en: <http://web.mit.edu/2.972/www/reports/hydrofoil/hydrofoil.html>

[53] “Hydrofoil design” [en línea] Disponible en: <http://kitehydrofoil.com/index.php/design/design.html>

