



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

Con este proyecto termina una importante etapa de mi vida académica y es necesario aprovechar la ocasión para agradecer la aportación de algunos integrantes de la misma:

A mis padres, por apoyar las decisiones que he tomado a pesar de la incertidumbre y por ser ese punto que, por muchas vueltas que dé en la vida, nunca se va a mover. Por mostrarme el valor que tiene el esfuerzo y por nunca dudar de mis posibilidades.

A mi hermana, por ser consejera, paño de lágrimas, profesora, entrenadora, compañera de juegos, ejemplo a seguir y por transmitirme el amor por aprender algo nuevo todos los días.

A mis abuelos por enseñarme los errores que cometieron y como evitar que los cometa.

A mi compañera de risas, fotos, playas, fiestas, viajes, tardes de sofá, frustraciones, lágrimas, y desventuras burocráticas. Gracias porque eres esa parte consciente de mi inconsciencia y porque consigues que te admire tanto como te quiero.

A todos mis familiares porque una familia es más fuerte cuando está unida y porque todos me han enseñado el valor que tiene tomarse un descanso cuando no se puede dar más.

A mi amigo Martín. Un profesor más que un amigo.

A mis amigos del colegio, instituto, universidad y vida con los que compartí frustración, jornadas de trece horas de bibliotecas y noches de desenfreno que resultaron en cursos exitosos.

Y por último, pero no menos importante, gracias a los profesores, compañeros de clase y todas aquellas personas que han colaborado en que hoy sea quién y cómo soy.

RESUMEN

El presente documento recoge los pasos seguidos para llevar a cabo el diseño del casco de una embarcación ligera tipo canoa-kayak para uso deportivo y recreativo mediante la utilización de un software de diseño 3D.

Inicialmente se plantea la idea de modelar una embarcación ligera capaz de incorporar un sistema de propulsión mecánica mediante pedales en función de las necesidades del palista.

Para lograrlo, se realizó un pequeño análisis de la oferta actual dentro del sector para obtener parámetros iniciales con los que comenzar a diseñar. Posteriormente, se calcularon las necesidades dimensionales teniendo en cuenta factores ergonómicos, confort del futuro usuario y la priorización de unas cualidades respecto a otras de acuerdo al uso esperado del producto final.

Por último se sometió el diseño a ensayos hidrodinámicos en diferentes situaciones evaluando pérdidas de velocidad y distribución de presiones sobre el casco; estáticos analizando la distribución de tensiones en la bañera de la embarcación e identificar puntos problemáticos y de fatiga para comprobar cómo se comportará el modelo en una situación real de esfuerzos repetitivos.

Con esto se evaluó la idoneidad del diseño y se obtuvieron las conclusiones derivadas de la sentencia.

ABSTRACT

This document is a step by step guide through the process followed to design a canoe-kayak lightweight boat hull for sports and recreational use using a 3D modeling software.

Initially, it expose the idea of modeling a lightweight boat hull that is able to include a mechanical propulsión system using pedals that can be used or not depending on user needs.

For achieving the goal, the first step was to make benchmarking between the main brands in kayak-selling horizon to get initial values an parameters for starting the modeling. After that, dimensions of the final product were calculated taking in consideration ergonomic and confort factors and prioritizing some qualities over the rest regarding to expected use of the product.

In the next step, the hull had to pass hydrodynamic, static and fatigue tests to see how it is supposed to act when being used in a real situation under repetitive hydrodynamic forces.

Finally, evaluated the suitability of the modeled kayak and conclusions were written from the results.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Documentos contenidos en el Trabajo de Fin de Master:

- Memoria de desarrollo.
- Presupuesto.
- Pliego de condiciones.
- Planos.

ÍNDICE DE MEMORIA DE DESARROLLO

Hoja de Identificación	1
1. Objeto del proyecto	3
2. Alcance del proyecto	3
3. Antecedentes	4
3.1 Hobie Kayak.....	4
3.2 Native Watercraft:.....	6
4. Programas de cálculo utilizados.....	7
5. Conceptos de interés.....	8
6. Protecciones del diseño. Patentes y marcas registradas.	9
6.1 Asiento ajustable para kayaks	9
6.2 Sistema de propulsión mecánica mediante pedales.....	10
7. Programa funcional o condiciones de diseño.	12
7.1 Peso de la embarcación.	12
7.1.1 Eslora.....	13
7.1.2 Materiales.	13
7.1.2.1 Polietileno (HTP).....	13
7.1.2.2 Fibra de vidrio.....	14
7.1.2.3 Fibra de carbono.	15
7.1.2.4 Comparativa.	16
7.2 Maniobrabilidad.....	17
7.2.1 Eslora.....	17
7.2.2 Arrufo	17
7.2.3 Centro de gravedad.....	18
7.3 Estabilidad.....	18
7.3.1 Centro de gravedad.....	18
7.3.2 Manga.....	18

8.	Dimensionado del Kayak.....	19
8.1	Dimensiones generales.....	19
8.1.1	Eslora.....	19
8.1.2	Manga.....	19
8.2	Ergonomía. Características del asiento y dimensiones de la bañera.....	20
8.2.1	Ángulos de confort.....	20
8.2.2	Dimensiones en planta de la bañera.....	21
8.2.2.1	Anchura.....	21
8.2.2.2	Longitud.....	22
8.2.2.3	Caracterización de la bañera.....	23
8.3	Cálculo del calado.....	23
9.	Estabilidad del Kayak.....	24
10.	Descripción del diseño y justificación de las decisiones.....	24
10.1	Herramientas utilizadas en entorno 3D.....	24
10.2	Diseño del casco.....	24
10.3	Diseño de la cubierta.....	26
10.4	Bañera y compartimentos complementarios.....	27
10.5	Borde estanco de bañera y compartimentos.....	28
10.6	Posicionamiento de sistema de propulsión mecánica.....	29
10.7	Resumen de diseño de ensayo.....	30
11.	Ensayo hidrodinámico y análisis de zonas de riesgo.....	31
11.1	Ensayo hidrodinámico. Condiciones de contorno.....	31
11.1.1	Velocidad y presión en aguas tranquilas.....	31
11.1.2	Velocidad y presión en navegación transversal a la corriente.....	33
11.2	Ensayo estático de tensiones y desplazamientos.....	36
12.	Especificaciones técnicas del producto final.....	38
12.1	Peso y dimensiones.....	39
12.2	Materiales de construcción utilizados.....	40
12.2.1	Composición química.....	40
12.2.2	Estructura física.....	41
12.3	Propiedades mecánicas del producto fabricado.....	42
13.	Conclusiones.....	43

ÍNDICE DE PRESUPUESTO

14.	Contenido del presupuesto.....	46
15.	Exposición del presupuesto.....	46
15.1	Costes de diseño del producto.....	46
15.2	Costes de materia prima.....	47
15.3	Costes de fabricación.....	47
15.4	Resumen de costes.....	48

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

16.	Normativa y disposiciones legales aplicables.....	51
16.1	Definición legal de kayak/ embarcación de recreo.....	51
16.2	Limitantes para uso de embarcaciones deportivas y de recreo.....	52
16.3	Matriculación e identificación de la embarcación.....	52
16.4	Licencia de pesca y requerimientos para su práctica.....	53
17.	Proceso de fabricación.....	53
18.	Bibliografía.....	55

Hoja de Identificación

Título del Trabajo Fin de Master: *“Diseño del casco de una embarcación ligera tipo Canoa-Kayak para uso deportivo y recreativo”*

Autor:

Nombre	Manuel Trujillo Acosta
DNI	78641840 X
Correo electrónico	manueltrujilloacosta@gmail.com

Universidad: Universidad Politécnica de Valencia

Titulación: Máster en Ingeniería Industrial

Curso: 2017-2018

Fecha de entrega: septiembre 2018

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es el diseño del casco de una embarcación ligera tipo Canoa-Kayak mediante el uso de software de diseño 3D. El modelo incluirá la posibilidad de albergar un sistema de propulsión mecánica. Para ello, a lo largo de las páginas de este documento se describe el proceso de elección de ideas, modelado, ensayos para evaluar la idoneidad del diseño y las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de esos ensayos.

Los objetivos concretos que se pretenden obtener son los siguientes:

- Diseño de un prototipo funcional de casco de embarcación ligera tipo canoa-kayak.
- El producto terminado deberá ser tal que garantice unas condiciones mínimas de confort para el usuario. Por tanto se tendrá en cuenta el apartado ergonómico para el diseño de aquellas partes de la embarcación con las que el palista interactúa directamente durante el uso de la misma.
- El producto final deberá soportar demandas provocadas por esfuerzos a los que estaría sometido en condiciones reales de uso para garantizar la seguridad del usuario final.
- Se buscará que el prototipo sea, en la medida de lo posible, de bajo coste para presentar un reto a los homólogos del mercado actual. Para ello se compararán procesos de fabricación y cualidades y calidades de materiales.

2. Alcance del proyecto

El diseño deberá cumplir con los requerimientos de ergonomía para garantizar la seguridad y el confort del palista durante su utilización. Además, el sistema incorporará la posibilidad de instalar un sistema de impulsión mecánica con accionamiento mediante pedales.

El trabajo en entorno 3D comprende el modelado del casco mediante herramientas de superficie (Surface Modeling), ensayo hidrodinámico para evaluar la conveniencia del diseño y los planos del producto final.

Queda fuera del alcance del proyecto las siguientes tareas:

- Diseño del sistema mecánico de propulsión mediante pedales.
- Diseño de remos.
- Diseño de timón/Quilla de popa.

El trabajo finalizará con la obtención de un prototipo virtual viable o *Conceptual Design Review (CDR)* y la redacción de los correspondientes informes de los resultados obtenidos en el ensayo anteriormente mencionado.

3. Antecedentes

Actualmente existen en el mercado diversos modelos de kayak que cuentan con la posibilidad de instalar un sistema de propulsión mecánica. A continuación se exponen de forma resumida las principales marcas del sector, el sistema de propulsión que utiliza cada una y una comparativa de ambas para determinar cuál se utilizará en el kayak que es objeto de este proyecto.

De entre el espectro del sector del kayak para pesca, cabe destacar las siguientes marcas:

3.1 Hobie Kayak.

La empresa Californiana Hobie aparece como referente en lo que a embarcaciones recreativas se refiere. Su amplio catálogo de productos que va desde tablas de surf hasta embarcaciones deportivas de pequeñas dimensiones, ha logrado que los interesados por la pesca recreativa y las actividades en medio acuático la posicionen como una de las principales opciones del mercado.

A pesar de que cuentan con modelos fabricados en materiales que van desde el Polietileno Rotomoldeado hasta la fibra de vidrio, su buque insignia en cuanto a pesca se refiere es el Mirage Pro Angler 12, que cuenta con las siguientes características:

Características Hobie Mirage Pro Angler 12		
Parámetro	Valor	unidades
Tripulación	1	-
Eslora	3660	mm
Manga	910	mm
Desplazamiento max	227	Kg
Peso	58,29	Kg
Material	Polietileno rotomoldeado	

Tabla 1. Características de Hobie Mirage Pro Angler 12. Fuente: (1)



Figura 1. Hobie Kayak Mirage Pro Angler 12. Fuente: 1

El sistema de impulsión que incorporan los kayaks de Hobie, llamado Mirage Drive 180, imita el movimiento de las aletas de un pingüino mientras nada. El movimiento rectilíneo alternativo de las piernas del palista durante el pedaleo se transmite a las aletas girando 90º la dirección del movimiento.



Figura 2. Hobie Mirage Drive 180. Fuente: (1)

Las características del Mirage Drive 180 son las siguientes:

Características Hobie Mirage Drive 180		
Parámetro	Valor	unidades
Altura	825	mm
Anchura (eje)	340	mm
Anchura (pedales)	330	mm
Peso	3	Kg
Material	Acero inoxidable y polietileno	

Tabla 2. Características Mirage Drive 180. Fuente: (1)

La peculiaridad de este sistema es que el palista dispone de un cable al alcance de su mano que, al accionarlo, rota 180º el sentido en el que se mueven las aletas, permitiendo que la embarcación retroceda en lugar de avanzar sin requerir nuevos movimientos del palista o esfuerzo por parte del mismo. Este hecho hace que el precio de este Kayak sea aproximadamente 3000 € en su modelo más básico. Como se expone posteriormente en la comparativa, es ligeramente superior al de sus competidores, pero la innovación, las características y el confort que aporta al usuario lo convierten en una de las opciones preferidas por los aficionados a la pesca con kayak.

3.2 Native Watercraft:

Como competencia directa de Hobie, la empresa Native Watercraft, fundada en Carolina del Norte, opta por una estrategia diferente. En lugar de ofrecer una amplia gama de productos para cubrir diferentes nichos de mercado, se centra principal, y casi exclusivamente, a la venta de kayaks de uso deportivo-recreativo.

Esta estrategia incluye también la amplitud de materiales utilizados, ya que los kayaks de Native Watercraft son principalmente de polietileno rotomoldeado. Si basamos nuestro enfoque en kayaks pensados para la práctica de la pesca, un modelo destaca en ventas sobre el resto: Native Watercraft Titan Propel 12.

Características Native Watercraft Titan Propel 12		
Parámetro	Valor	unidades
Tripulación	1	-
Eslora	3280	mm
Manga	950	mm
Desplazamiento max	227	Kg
Peso	55	Kg
Material	Polietileno rotomoldeado	

Tabla 3. Características Native Watercraft Titan Propel 12. Fuente: (2)



Figura 3. Native Watercraft Titan Propel 12. Fuente: (2)

La marca presume de haber sido pionera en el diseño, la implantación y el uso de sistemas de impulsión mecánica en embarcaciones deportivas. El modelo citado cuenta con uno de esos sistemas patentados por Native Watercraft llamado Propel Pedal Drive, siendo este el primero del mercado en incluir movimiento de retroceso antes de ser precedido por el equivalente de Hobie.

El Propel Pedal Drive convierte el movimiento rectilíneo alternativo de las piernas del palista durante el pedaleo en movimiento circular de un eje que hace girar una pequeña hélice.



Figura 4. Native Watercraft Propel Pedal Drive. Fuente: (2)

Características Propel Pedal Drive		
Parámetro	Valor	unidades
Altura	465	mm
Anchura (eje)	790	mm
Anchura (pedales)	320	mm
Peso	27 ?	Kg
Material	Acero inoxidable	

Tabla 4. Características Native Watercraft Propel Pedal Drive. Fuente: (2)

El sistema de propulsión mecánica de Native Watercraft consigue velocidades inferiores a las del sistema de Hobie y es considerablemente más pesado. Sin embargo, el precio de venta del modelo mencionado anteriormente es cercano a los 2400€ al tratarse de una alternativa de menores dimensiones y más ligero que el Mirage Pro Angler de Hobie.

4. Programas de cálculo utilizados

Los programas de cálculo que se han utilizado para el desarrollo de este proyecto son:

- Dassault Systemes SolidWorks 2018
- Microsoft Office Excel 2007

Se utilizó el Software de Dassault Systemes, Soldiworks en su versión de 2018. Este programa brinda una serie de herramientas de diseño 3D completas para crear, simular, publicar y administrar los datos con una interfaz intuitiva y funcional.

Dentro Solidworks, las herramientas más utilizadas fueron las relacionadas con el modelado de superficies y se utilizaron las herramientas de simulación para los posteriores estudios.

5. Conceptos de interés

En esta sección introductoria se presentan diferentes conceptos fundamentales para la rápida y correcta comprensión del trabajo.

1- Conceptos náuticos básicos:

- *Proa*: Parte delantera de la embarcación.
- *Popa*: Parte trasera de la embarcación.
- *Estribor*: Perfil izquierdo de una embarcación visto de popa a proa.
- *Babor*: Perfil derecho de una embarcación visto de popa a proa.

2- Dimensiones características de un kayak:

- *Eslora*: Dimensión longitudinal. Es la distancia de proa a popa, medida sobre el eje de simetría longitudinal de la embarcación. Generalmente es la mayor dimensión del kayak.
- *Manga*: Dimensión transversal. Es la distancia de estribor a babor, medida en la parte más ancha de la embarcación.

3- Elementos estructurales de un kayak:

- *Cubierta*: Superficie superior del kayak que se expone al sol.
- *Casco*: Superficie inferior del kayak que está en contacto con el agua.
- *Cabina/Bañera*: Cubículo que aloja al asiento.
- *Compartimentos estancos*: Situados en la proa y la popa de la embarcación. Al ser estancos garantizan la flotación y permiten cargar utensilios en el kayak sin perjudicar la ergonomía y el confort.

4- Accesorios y/o añadidos:

- *Timón*: Situado normalmente en la popa. Permite mantener un avance estable y sin continuos cambios en la dirección. También evita la deriva cuando se deja de remar o pedalear.
- *Quilla*: Elemento situado en el eje longitudinal de la embarcación que funciona a modo de línea base o columna vertebral.
- *Línea de vida*: Cuerda que rodea la cubierta y permite al usuario agarrarse si cae al agua.

5- Conceptos físicos:

- *Arrufo*: Curvatura de una embarcación en dirección longitudinal. Viene dada por la diferencia de altura entre popa y proa con respecto al Centro de Gravedad.

- *Empuje*: En náutica, fuerza de reacción al peso que sufre un cuerpo al interactuar con otro. En este caso, el agua.
- *Quebranto*: Defecto de arrufo. Perdida de la curvatura inicial de una embarcación en dirección longitudinal debida, habitualmente, a un defecto o daño estructural.
- *Línea de Flotación*: Línea formada por la intersección del plano del agua con el casco de una embarcación. Separa la superficie mojada u obra viva, de la superficie seca u obra muerta.
- *Centro de Gravedad*: En una embarcación, punto geométrico en el que converge la resultante de todos los pesos de de la misma. Su situación depende de la magnitud de estos pesos (desplazamiento) y la distribución de los mismos en cada momento.
- *Centro de Flotación*: También llamado Centro de Carena, es el centro de gravedad del volumen de agua desplazado por un cuerpo sumergido. También se conoce como centro de empuje pues es ahí donde se aplican las fuerzas de reacción al sumergir dicho cuerpo.
- *Calado*: Distancia vertical que existe entre la Quilla y la línea de flotación. Incluye el espesor de la embarcación.

6. Protecciones del diseño. Patentes y marcas registradas.

De acuerdo con el alcance del proyecto, quedan fuera del mismo el diseño de asiento, sistema de impulsión mecánica, Quilla/timón de popa y remos. Por este hecho, a continuación se listan las patentes asociadas a dichos elementos, los cuales serán mencionados más adelante en el proyecto.

6.1 Asiento ajustable para kayaks.

En lo relativo a la usabilidad y ergonomía de los asientos para embarcaciones deportivas, la patente US10065713 recoge la definición de asiento ajustable para actividades acuáticas, su funcionamiento y los rangos de posición, entre otras características.

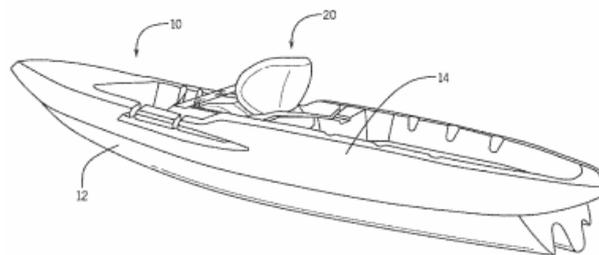


Figura 5. Asiento ajustable. Patente US10065713. Fuente: (3)

De forma análoga, una patente más reciente efectuada por Hobie Cat, US20130239873, recoge la definición de los asientos ajustables en dimensiones y posición que utiliza dicha marca.

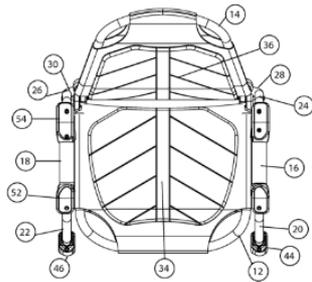


Figura 6. Asiento ajustable Hobie Cat. Patente US20130239873. Fuente: (3)

6.2 Sistema de propulsión mecánica mediante pedales

Existen diversas patentes sobre los kayaks que no necesitan remos para moverse. Tras una búsqueda exhaustiva, la mayor parte de las existentes no incluyen un sistema intercambiable entre botes considerándose un accesorio, sino que se basan en un método de fabricación del kayak de forma que queda completamente embebido en el casco formando parte de él.

Una de ellas es la patente de 1994 US5460551A, que recoge una primera aproximación a los sistemas mencionados en apartados anteriores. Sin embargo, en esta ocasión, el palista acciona con su pedaleo una hélice situada en la popa de la embarcación en lugar de justo debajo de los pedales.

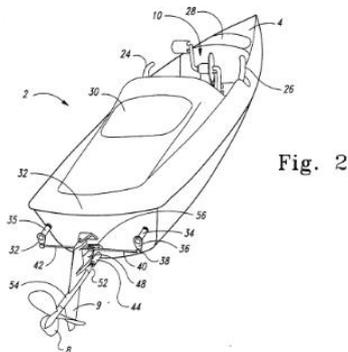


Figura 7. Sistema de propulsión mediante pedales. Patente US5460551A. (3)

Nuevamente, la empresa Hobie Cat ha patentado el sistema Mirage Drive mencionado anteriormente. Este novedoso sistema trata al mecanismo de pedales como un accesorio más, permitiendo el intercambio entre modelos compatibles con su geometría. La patente US6022249A recoge el funcionamiento del mecanismo recogiendo su historia, fabricación, funcionamiento, rangos de movimiento y montaje en el casco del kayak.

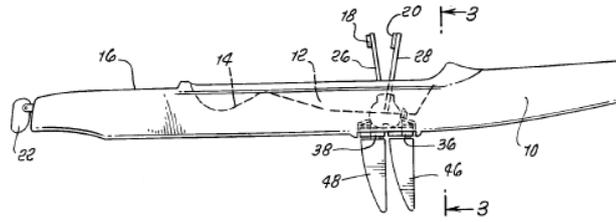


Figura 8. Sistema Mirage Drive de Hobie Cat. Patente US6022249A. Fuente: (3)

CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL MODELO

7. Programa funcional o condiciones de diseño.

En este apartado, se determinarán las características más relevantes del diseño que es objeto de este proyecto.

En primer lugar, se recogen una serie de características deseables en un listado que funcionará a modo de antecedente de la ficha técnica del producto final. De esta forma, servirá también como objetivos a cumplir a la hora de desarrollar el diseño. Los puntos descritos a continuación describen parámetros de forma cualitativa puesto que el detalle de cálculo se reflejará más adelante.

- El peso de la embarcación deberá ser reducido. Será el menor posible para optimizar la flotabilidad de la misma. Siendo además un valor añadido al producto en términos de satisfacción del usuario a la hora de transportarlo.
- Las dimensiones de la bañera serán tales que permitan contar con un ángulo que garantice la comodidad y el confort del usuario en términos de ergonomía en posición de conducción.
- El casco debe incorporar espacio libre suficiente para albergar elementos asociados a las actividades del medio acuático, tales como aparejos de pesca, equipamiento de snorkel o provisiones.
- Se primará la estabilidad (relacionada con el ancho de manga) de la embarcación frente a la velocidad de la misma (relacionada con la eslora), ya que está pensada para actividades deportivo-recreativas que no requieran altas velocidades de maniobra y avance y debe ser apta para usuarios sin experiencia en el campo.
- Dada la orientación del diseño hacia actividades ociosas, se buscará un diseño de tipo sit-on-top (kayak abierto). Este tipo de embarcación es adecuada tanto para principiantes como para usuarios avanzados por la libertad de movimientos y la sensación de espacio que permite. Además, facilita la reincorporación al mismo en caso de vuelco y al tratarse de kayaks “autovaciables” el riesgo que existe de llenado de la bañera es mínimo.

De lo arriba citado, se deducen tres parámetros que se priorizarán sobre el resto a la hora de realizar el diseño dado el impacto de cada una en el comportamiento de la embarcación durante su uso. Estas son el peso de la embarcación, la estabilidad y la maniobrabilidad de la misma.

7.1 Peso de la embarcación.

El peso viene dado como consecuencia del espesor de los materiales de construcción y la superficie, la cual a su vez viene dada principalmente por la Eslora.

7.1.1 Eslora.

Con el aumento de la Eslora aumenta la superficie, generando un aumento del material por lo que tiene un gran impacto en el peso.

El objetivo del diseño es el menor peso posible sin comprometer el resto de especificaciones, por lo que es necesario encontrar un balance que minimice el peso pero garantice las condiciones necesarias de maniobrabilidad y estabilidad de la embarcación.

7.1.2 Materiales.

En gran medida, el principal factor que influye en el peso de la embarcación es el material del que está construido. Los materiales más utilizados en fabricación de kayaks son el Polietileno, la Fibra de vidrio y la fibra de carbono, siendo este último más utilizado en embarcaciones de uso competitivo. A pesar de eso, existen kayaks y canoas de otros materiales tales como la madera, aunque es más propia de modelos artesanales o de coleccionismo.

A continuación, se describen las principales características de los materiales más utilizados, incluyendo sus ventajas e inconvenientes.

7.1.2.1 Polietileno (HTP).

La mayor parte de los fabricantes tienden a utilizar polietileno para la construcción de los kayaks. Esto es debido a que, siendo un material que requiere bajo coste de fabricación y mantenimiento, cuenta con las siguientes propiedades mecánicas:

- Gran resistencia a la flexión y al choque. Si bien a temperatura ambiente es un material relativamente blando, el enfriamiento paulatino del mismo aumenta la tenacidad. El polietileno puede soportar cargas de impacto de hasta 110 kg/cm².
- Gran resistencia al desgaste. La dureza del polietileno es inversamente proporcional a la temperatura (hasta un mínimo de -200°C).
- Buena conductividad térmica y eléctrica.
- Hidrófugo. No muestra signos de hinchamiento al estar sumergido en un líquido a pesa de su porosidad.
- Excelentes propiedades de deslizamiento con un factor de fricción medio de 0.25.

Estas características lo convierten en una opción adecuada para la fabricación de embarcaciones deportivas, garantizando un buen deslizamiento, Resistencia al impacto y bajo desgaste y favoreciendo el uso en aguas frías dada su baja conductividad térmica y su resistencia a temperaturas por debajo de los 0°C.

Los kayaks de polietileno se fabrican principalmente mediante dos procesos: rotomoldeado o Extrusión insuflada con algunas variantes que se mencionan a continuación:

○ Polietileno Rotomoldeado (PE):

Se introduce polietileno en polvo (PE) en un molde de aluminio que gira en torno a varios ejes dentro de un horno industrial con unas condiciones de temperatura, velocidad de rotación, balanceo y tiempo controladas. Posteriormente, se desmolda el casco del kayak y se procede a un enfriamiento controlado para evitar grietas.

El proceso termina con un pulido del casco, especialmente en la junta de las dos mitades del molde. Se trata de un proceso de bajo coste con buenos resultados en términos de resistencia, sin embargo, su principal desventaja es que la fragilidad del conjunto es mayor en zonas cercanas a la junta de las mitades del molde.

○ Polietileno Extrusado Insuflado (HTP):

De forma análoga al caso anterior, el polietileno (PE) en polvo es calentado pero esta vez dentro de la cámara de una extrusora donde se funde y homogeniza. Una vez la cámara se llena, el polietileno fundido se extrude en forma de tubo hueco de espesor controlado. Posteriormente, las dos mitades del molde de aluminio se cierran en torno al tubo y, mediante insuflamiento, el polietileno se ciñe a las paredes interiores del molde. El conjunto se enfira mediante un circuito de refrigeración con el que cuenta el propio molde y se desmolda dando lugar al kayak terminado.

Tras un pulido del casco eliminando rebabas en juntas y posibles imperfecciones, el resultado es un casco más resistente y ligero que las embarcaciones rotomoldeadas con mayor resistencia a la torsión (flexibilidad), a la flexión (exceso de arrufo o defecto de él (quebranto)) y menor fragilidad a los golpes.

7.1.2.2 Fibra de vidrio.

La solución más utilizada por los fabricantes después del PE/HTP es el uso de fibra de vidrio a pesar de que el proceso de fabricación sea más artesanal.

Esta combinación de resina y láminas de vidrio, cuenta con las siguientes características mecánicas:

- Resistencia química a la abrasión y al medio ambiente.
- Aislante térmico y eléctrico dada su baja conductividad de ambos.
- Peso reducido al ser combinación de resinas de poliéster y finísimas capas de vidrio, es un material más ligero que el Polietileno.
- Reducido mantenimiento ya que las reparaciones se realizan de forma sencilla y económica con resina.

Por esos motivos, la fibra de vidrio es una alternativa excelente para la fabricación de embarcaciones deportivas/recreativas y de competición. Sin embargo, cuenta con las siguientes características mecánicas que puede resultar una barrera para determinados usos:

- Fragilidad. Se trata de un material de elevada dureza y rigidez pero baja tenacidad. Esta disminución de flexibilidad los hace propensos a agrietarse bajo impactos.

Los kayaks de fibra de vidrio se fabrican habitualmente de una forma más artesanal que los de polietileno, aumentando consecuentemente su coste.

En primer lugar, se utilizan moldes a dos piezas separando casco de cubierta para ser unidas posteriormente por una junta. Luego, una bomba de vacío ejerce presión negativa sobre un film de nylon que comprime las fibras de vidrio.

Posteriormente, se inyecta la resina a través del laminado de fibra y el molde para, finalmente, imprimir una capa exterior de resina pigmentada que da color, aspecto pulido y aumenta la resistencia a la abrasión y a la radiación ultravioleta.

7.1.2.3 Fibra de carbono.

Por último, el tercer material más utilizado en la fabricación de kayaks es la fibra de carbono, un compuesto de resina polimérica y un tejido trenzado de refuerzo hecho con carbono. Sus propiedades, al tratarse también de un compuesto de resinas y material de refuerzo, son similares a las de la fibra de vidrio:

- Más ligero que el polietileno y la fibra de vidrio debido a que el vidrio se sustituye por el compuesto kevlar-carbono.
- La combinación kevlar-carbono-resina aumenta la rigidez del conjunto pero no la fragiliza debido que el carbono es más tenaz y flexible que el vidrio, por lo que soporta mejor los impactos.
- Al igual que la fibra de vidrio tiene alta resistencia térmica.
- Resistente a la fatiga.

Al igual que los kayaks de fibra de vidrio, se trabaja con un molde a dos piezas, separando el casco de la cubierta.

El proceso de fabricación es el mismo que para las embarcaciones de fibra de vidrio pero las cualidades resultantes son diferentes. La combinación kevlar-carbono reduce significativamente el peso del conjunto con respecto a la fibra de vidrio o al polietileno, y aumenta su rigidez. La resistencia a los golpes es ligeramente superior a los de fibra de vidrio y, una vez dañados, es más fácil repararlos.

Dadas las propiedades anteriores, la fibra de carbono se convierte en un material idóneo para la fabricación de kayaks. Sin embargo, es extremadamente caro en comparación al polietileno y la fibra de vidrio.

7.1.2.4 Comparativa.

En este apartado, y dado que los tres materiales citados anteriormente son adecuado para fabricar el kayak que es objeto de este proyecto, se utilizará el método de selección de alternativas por suma ponderada para determinar el material que mejor se ajusta a los mínimos acordados en el apartado 8 de este documento.

Para realizar la evaluación, se asignan en primer lugar los pesos relativos a cada uno de los criterios que evaluarán a cada alternativa. Por tanto:

- Peso de la embarcación – 30%
- Tenacidad – 20%
- Coste – 30%
- Flexibilidad – 10%
- Dificultad del mantenimiento/repificaciones – 10%

En la siguiente tabla se recogen las cualidades arriba mencionadas y se evalúa cada material de 1 a 10 para cada parámetro:

Material de fabricación	Peso	Tenacidad	Coste	Flexibilidad	Mantenimiento
Polietileno (PE/HTP)	4	8	10	8	6
Kevlar-Carbono	10	6	3	6	9
Fibra de Vidrio	7	3	6	4	8

Tabla 5. Puntuación absoluta de materiales en función de parámetros relevantes. Fuente: Propia

Seguidamente, se normalizan las puntuaciones:

Material de fabricación	Peso	Tenacidad	Coste	Flexibilidad	Mantenimiento
Polietileno (PE/HTP)	0,4	0,8	1	0,8	0,6
Kevlar-Carbono	1	0,6	0,3	0,6	0,9
Fibra de Vidrio	0,7	0,3	0,6	0,4	0,8

Tabla 6. Puntuaciones normalizadas de materiales en función de parámetros relevantes. Fuente: Propia.

Finalmente, se calcula la puntuación definitiva de acuerdo a los pesos asignados inicialmente:

Material de fabricación	Suma ponderada
Polietileno (PE/HTP)	0,72
Kevlar-Carbono	0,66
Fibra de Vidrio	0,57

Tabla 7. Suma ponderada en evaluación de materiales por parámetros relevantes. Fuente: Propia

De acuerdo a lo anterior se decide utilizar el polietileno en la construcción del kayak que es objeto de este proyecto ya que es el material que cumple, a menor coste, las siguientes condiciones de diseño iniciales:

- *El peso del kayak será el mínimo posible tal que se maximice la resistencia, estabilidad y portabilidad del mismo.*
- *El peso del kayak será tal que el coste sea mínimo sin perjudicar el resto de cualidades buscadas.*

7.2 Maniobrabilidad.

La maniobrabilidad de la embarcación será un parámetro determinante dado el uso previsto de la misma. La actividad de pesca requiere movimiento suave, preciso y la embarcación deberá dar al usuario la mayor libertad de movimiento posible.

La maniobrabilidad del kayak vendrá dada por tres parámetros principales: la eslora, el arrufo del casco y la posición del centro de gravedad.

7.2.1 Eslora

La maniobrabilidad es inversamente proporcional a la eslora debido a que aumenta la superficie mojada. Esto provoca que la acción de viraje necesite mayor esfuerzo y tiempo por parte del palista. En embarcaciones con una relación eslora-manga significativa, es muy habitual el uso de timón para ayudar al palista a realizar giros cerrados.

Sin embargo, un kayak con una relación eslora-manga significativa es notablemente más rápido que uno con relación más corta.

Por otra parte, el peso de la embarcación es directamente proporcional a la eslora debido a un aumento de la superficie de la misma.

Por esto, y dada la condición inicial de primar maniobrabilidad y estabilidad sobre velocidad y el requisito de embarcación ligera, se buscará un diseño con relación eslora-manga ajustada.

7.2.2 Arrufo

El arrufo determina, entre otras cosas, el impacto que tendrán las olas en el comportamiento de la embarcación. De esta forma, un arrufo elevado mantiene los extremos del kayak fuera del agua, minimizando el cabeceo del mismo y facilitando el viraje aun en aguas turbulentas. Por el contrario, un arrufo menor es más adecuado para embarcaciones deportivas donde prima la velocidad y no es necesario un viraje elevado. Esto se debe al calado en cada uno de los casos, siendo inversamente proporcional al arrufo.

De acuerdo a lo anterior, se buscará un arrufo de diseño significativo (12cm) para priorizar facilidad de viraje y manejo sobre velocidad.

7.2.3 Centro de gravedad

La posición del centro de gravedad difiere ligeramente en función del entorno y las condiciones en las que se prevea navegar. Por ello, las embarcaciones de mar suelen presentar un centro de gravedad ligeramente más cercano a la popa. Esto es así para facilitar la elevación de la proa cuando una ola incide sobre la misma, sorteándola con mayor facilidad y reduciendo el impacto en el rumbo.

El Centro de Gravedad es un parámetro crítico en el diseño dado que, si su posicionamiento es demasiado cercano la popa, se produce un efecto contraproducente puesto que requerirá mayor esfuerzo del palista para virar el kayak.

7.3 Estabilidad.

Dado el uso previsto, la estabilidad de la embarcación será un parámetro que prime significativamente sobre la velocidad.

La estabilidad de un kayak vendrá dada por el desplazamiento del centro de empuje o carena respecto al centro de gravedad cuando se produce un movimiento de vaivén en la sección transversal del mismo. Los tres parámetros de diseño que mayor impacto tienen en la estabilidad de una embarcación son el Centro de Gravedad y la Manga.

7.3.1 Centro de gravedad.

El Centro de Gravedad es también un parámetro determinante en la estabilidad del conjunto. Si bien en el plano longitudinal lo deseable es que su posición sea ligeramente apopada, en el plano transversal debe encontrarse lo más cercano a la Quilla posible. La estabilidad es inversamente proporcional a la distancia del Centro de Gravedad a la Quilla, por tanto, cuanto mayor es esta distancia, mayor es la dificultad y el riesgo de vuelco al estibar obstáculos o realizar giros cerrados.

La posición del Centro de Gravedad en embarcaciones recreativas de este tipo suele ser cercana a los 25 cm tomando como referencia la línea base o Quilla.

7.3.2 Manga.

En este tipo de embarcaciones, la manga viene determinada por dos tipos de estabilidad: primaria y secundaria o de reserva. La primera determina el comportamiento del kayak ante el movimiento lateral que experimenta en los ángulos iniciales de un giro. La estabilidad de reserva

es la que experimenta el palista al inclinar la embarcación en un rango situado entre esos ángulos iniciales y el vuelco.

A medida que crece la manga, crece también la estabilidad del conjunto, pero también crece el peso del mismo con el aumento de la superficie mojada. Por lo tanto, se diseñará de tal forma que la Manga sea la menor posible que garantice una suficiente estabilidad del kayak en la mayoría de las situaciones.

8. Dimensionado del Kayak.

En este apartado se realizará el dimensionado de las diferentes características del kayak. El apartado estará dividido en: dimensiones generales, ergonomía de uso y dimensiones de la bañera y calado.

8.1 Dimensiones generales.

Para determinar las dimensiones generales del kayak, se asumirán las medidas anatómicas en base a “*Dimensiones humanas en espacios interiores: Estándares antropométricos*” de Julius Panero y Martin Zelnik. Se tomó como usuario medio del producto final el percentil 50 de un hombre de entre 25 y 34 años, obteniendo los siguientes resultados:

Parámetro	Resultado	uds	Nomenclatura
Altura del palista	175	cm	H
Peso del palista	76	Kg	P
Anchura de caderas del palista	35,6	cm	W

Tabla 8. Dimensiones generales del palista medio. Fuente: (4)

8.1.1 Eslora.

Como parámetro inicial de diseño, se asumirá que la Eslora (E) de la embarcación será equivalente a dos veces la altura del usuario medio ($H_{palista}$). De esta forma:

$$E = H_{palista} \cdot 2 = 175 \text{ cm} \cdot 2 = 350 \text{ cm} = 3,50 \text{ m} \text{ (ec. 1)}$$

8.1.2 Manga.

De forma análoga, y como punto de partida para el diseño, se asumirá que la Manga (M) será igual a la anchura de las caderas del usuario medio ($W_{palista}$) más 50cm.

$$M = W_{palista} + 50 = 35,6 \text{ cm} + 50 \text{ cm} = 85,6 \text{ cm} \text{ (ec. 2)}$$

Con esto, garantiremos un espacio aproximado de 25 cm a ambos lados del palista, algo típico de los kayaks “sit on top” como el que es objeto de este proyecto.

8.2 Ergonomía. Características del asiento y dimensiones de la bañera.

Para garantizar el confort y la ergonomía por parte del usuario durante el uso del kayak, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensiones del asiento (anchura, altura y materiales).
- Ángulo del asiento con la horizontal.
- Ángulo de las piernas en los puntos muertos frontal y trasero (PMF, PMT) durante el pedaleo.
- Distancia desde el punto de apoyo del cuerpo hasta el sistema de propulsión mecánica.

8.2.1 Ángulos de confort

Para determinar la longitud necesaria de la bañera, se tomarán como referencia los ángulos de confort más adecuados para la posición del usuario durante la actividad. Para ello, se tendrán en cuenta las medidas presentes en la sección “Ángulos de confort para puestos de conducción” de “Ángulos de confort y visión” publicado en 1963 por Wisner, A. y Rebiffe, R.

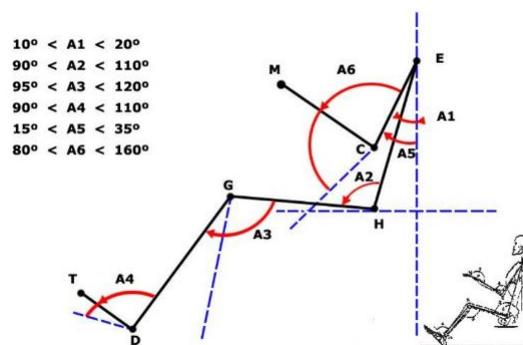


Figura 9. Ángulos de confort para puestos de conducción. Fuente (5)

Ante la inexistencia de medidas específicas para la conducción de un kayak, se midió empíricamente el ángulo de confort entre el bíceps femoral y el bíceps braquial de un modelo en posición de reposo (medida equivalente al ángulo A3 de la imagen anterior). Posteriormente, se repitió la medición durante el movimiento de pedaleo. Las medidas obtenidas se recogen en la siguiente tabla:

Nomenclatura	Referencia 1	Referencia 2	Ángulo de diseño (°)
POSICIÓN DE REPOSO			
A2	Torso	Cuádriceps	100
A3 (reposo)	Biceps femoral	Biceps braquial	145
A4	Tibial anterior	Empeine	100
POSICIÓN DE MARCHA/PEDALEO			
A2	Torso	Cuádriceps	100
A3 (PMT)	Biceps femoral	Biceps braquial	85
A3 (PMF)	Biceps femoral	Biceps braquial	155
A4	Tibial anterior	Empeine	100

Tabla 9. Referencias y ángulos de interés en puestos de conducción. Fuente: (4)

8.2.2 Dimensiones en planta de la bañera.

De acuerdo a lo establecido en el documento “Dimensiones humanas en espacios interiores: Estándares antropométricos” de Julius Panero y Martin Zelnik, y basándonos en los resultados obtenidos en el punto anterior, estas son las dimensiones tomadas para el diseño de la bañera de la embarcación.

8.2.2.1 Anchura

Se toman como valores de anchura de la bañera los siguientes valores:

Dimensión	mínima (cm)	máxima (cm)	media (cm)
Anchura	40	65	52,5

Tabla 10. Dimensiones máximas mínimas de bañera. Fuente: Propia

Obtenidos a partir de la siguiente imagen, tomando como mínimo el ancho del asiento en su dimensión más estrecha (L) y como máximo el ancho de los hombros del usuario (24 pulgadas

o 60 cm) se añadió un margen de 2.5 cm por cada lado para garantizar cierta holgura).

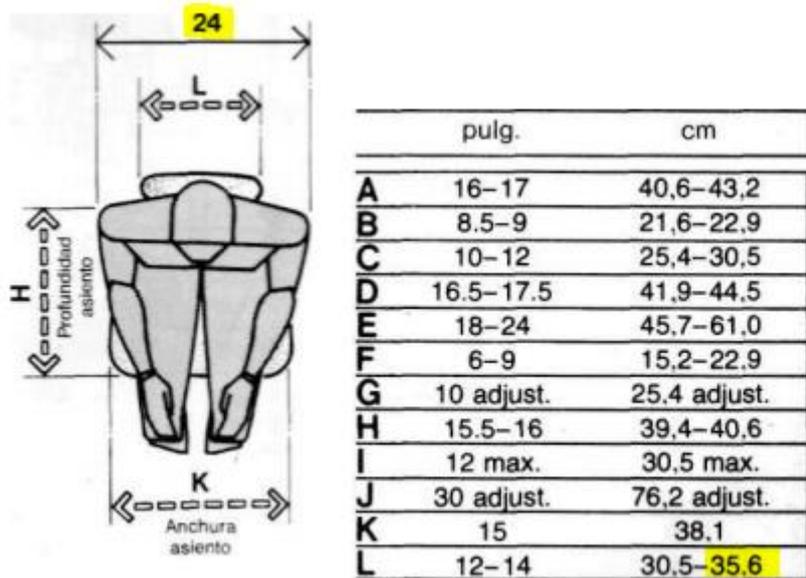


Figura 10. Dimensiones antropométricas de interés en posición de sentado. Fuente: (4)

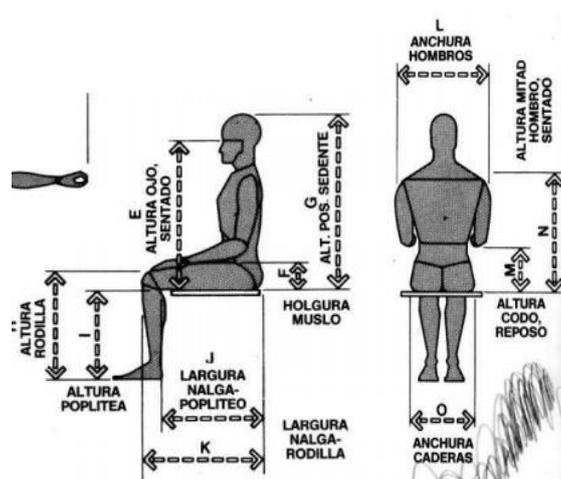
8.2.2.2 Longitud

Siguiendo los ángulos obtenidos en el apartado 6.2.1, se obtuvieron las siguientes medidas para la longitud de la bañera:

Dimensión	mínima (cm)	máxima (cm)	media (cm)
Longitud	100	120	110

Tabla 11. Longitud máxima y mínima de bañera. Fuente: Propia

Obtenidas a partir de dichos ángulos y la siguiente imagen:



	H		I		J		K		L		M		N		O			
	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm		
95	HOMBRES		23.7	60,3	18.8	47,8	21.7	55,1	25.7	65,4	20.8	52,9	11.7	29,7	27.4	69,6	16.6	42,2
	MUJERES		21.4*	54,3	17.4	44,2	20.7	52,7	24.4	62,0	18.4	46,8	10.7	27,1	24.8	63,1	16.4	41,6
5	HOMBRES		20.5	52,1	15.9	40,4	18.3	46,4	22.2	56,4	17.5	44,4	8.3	21,0	23.9	60,6	13.5	34,4
	MUJERES		18.4*	46,7	14.9	37,8	17.2	43,7	21.0	53,3	15.2	38,6	7.6	19,2	21.3	54,2	13.9	35,4

Figura 11. Dimensiones antropométricas relevantes en posición de sentado. Fuente: (4)

8.2.2.3 Caracterización de la bañera

De acuerdo a lo establecido en los tres puntos anteriores, las dimensiones de diseño de la bañera son:

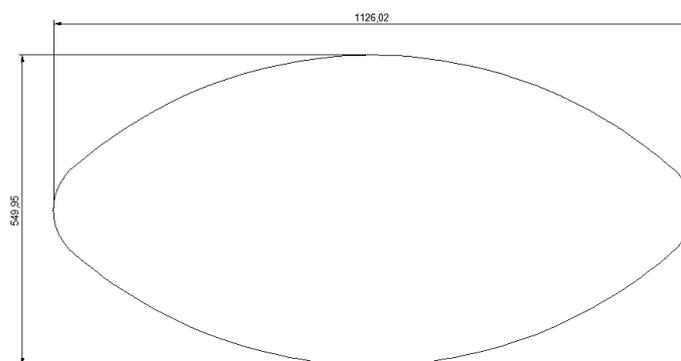


Figura 12. Esquema primario en planta de bañera. Fuente: Propia.

Dimension	mínima (cm)	máxima (cm)	media (cm)
Anchura	40	65	52,5
Longitud	100	120	110

Tabla 12. Dimensiones preliminares de la bañera. Fuente: Propia

8.3 Cálculo del calado.

El calado (D) de la embarcación viene dado principalmente por el desplazamiento total (P) (resultante de pesos). En este caso se tendrá en cuenta el peso del casco-cubierta, el del palista y un factor de seguridad para cubrir objetos accesorios que se carguen durante su uso (aparejos, equipamiento...). De esta forma:

$$P = (P_{\text{palista}} + P_{\text{kayak}} + P_{\text{pedales}}) \cdot 1,1 = (75 \text{ Kg} + 35 \text{ Kg} + 27 \text{ Kg})1,1 = 150,7 \text{ Kg} \text{ (ec. 3)}$$

Para calcular el calado (D) se asumirá que el kayak es un tetraedro con desplazamiento (P) 150,7 Kg, y que la anchura de la superficie mojada (Wsf) en la sección transversal es de la mitad de la manga (M) aproximadamente. Por tanto:

$$P \cdot g = V \cdot g \cdot \rho_{h20} = V \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1000 \frac{Kg}{m^3} = 150,7 Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \rightarrow V = 0,151 m^3 \text{ (ec. 4)}$$

$$V = \frac{M}{2} \cdot E \cdot D = \frac{0,85 m}{2} \cdot 3,5 m \cdot D = 0,151 m^3 \rightarrow D = 0,102m = 10,2 cm \text{ (ec. 5)}$$

9. Estabilidad del Kayak.

En términos generales, la estabilidad de un kayak viene dada por la relación entre la posición del centro de gravedad (G) y el centro de carena (B) en cada punto del movimiento. A continuación se procede al cálculo de ambos parámetros y al impacto que tiene la relación entre ambos sobre el comportamiento del conjunto.

10. Descripción del diseño y justificación de las decisiones.

En este apartado se describirán paso a paso las decisiones tomadas a lo largo del diseño del casco de la embarcación. La finalidad de esta sección es que sirva como guía al lector durante el proceso de modelado seguido para diseñar el producto.

10.1 Herramientas utilizadas en entorno 3D

El diseño del casco de la embarcación se ha realizado mediante herramientas de modelado de superficies (Surface Modeling). Estas herramientas permiten trabajar con geometrías más complejas y comportamientos más libres de los que permite trabajar directamente con sólidos.

10.2 Diseño del casco.

Tomando como punto de partida las siguientes condiciones, se diseñó el casco trabajando mediante perfiles paralelos.

Características iniciales de diseño		
Parámetro	Valor	unidades
Tripulación	1	-
Eslora	3500	mm
Manga	850	mm

Tabla 12. Dimensiones iniciales de diseño del kayak. Fuente: Propia.

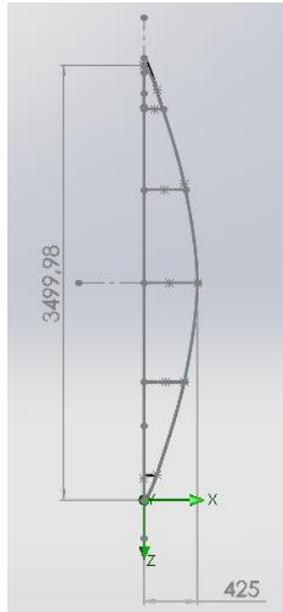


Figura 13. Croquis en planta del kayak. Fuente: Propia

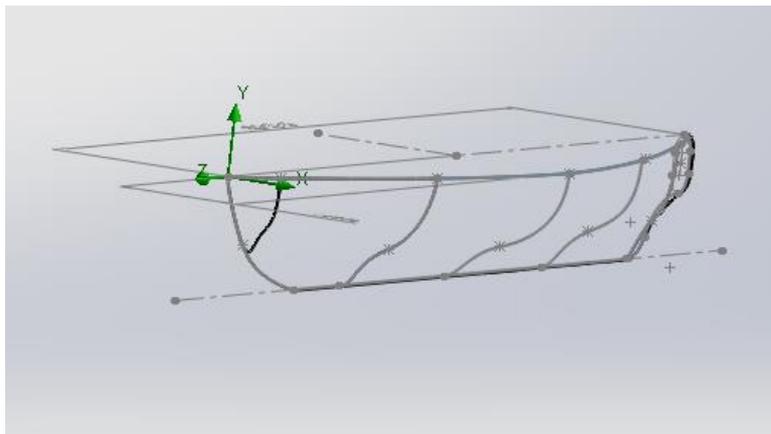


Figura 13. Vista en perspectiva del croquizado mediante perfiles para el casco. Fuente: Propia.

Cada perfil representa un cambio significativo en el contorno del casco de forma que quede completamente caracterizado. Se trabajó con cinco perfiles paralelos, colocando la línea de flotación en cada uno de acuerdo a lo expuesto en el apartado 9.3 sobre calado y línea de flotación.

A continuación se conformó el casco mediante las herramientas “Recubrir superficie” y “simetría de entidades”.

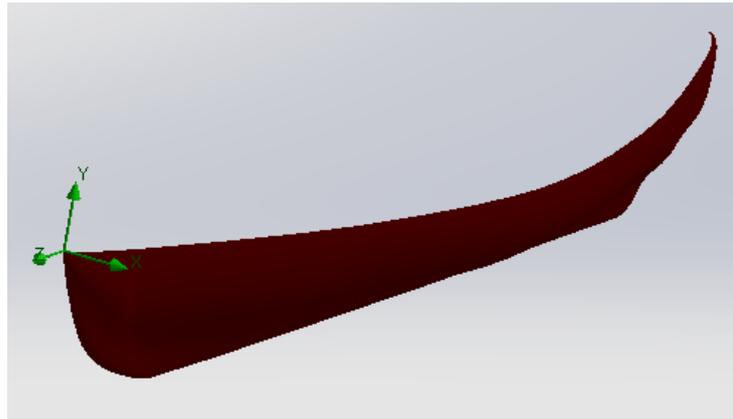


Figura 14. Vista en perspectiva de parte del casco con la opción recubrir superficie. Fuente: Propia.

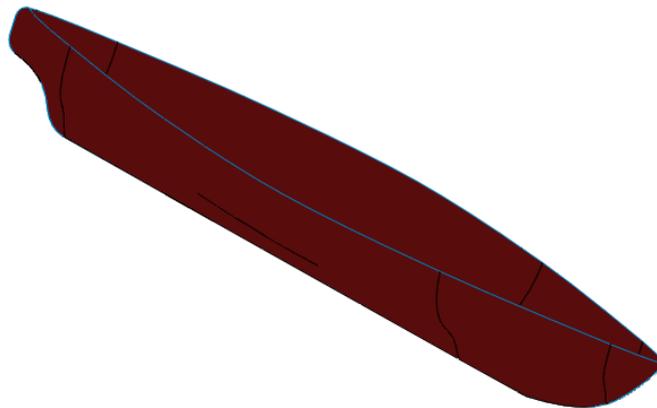


Figura 15. Vista en perspectiva del casco completo después de la simetría. Fuente: Propia.

10.3 Diseño de la cubierta.

De forma análoga al trabajo del casco, se conformó la cubierta. Una vez definido el espesor, de 4,5 mm, se convirtieron las entidades a sólido para asignar un material. De esta forma los ensayos posteriores darán un resultado más similar a lo esperable en la realidad.

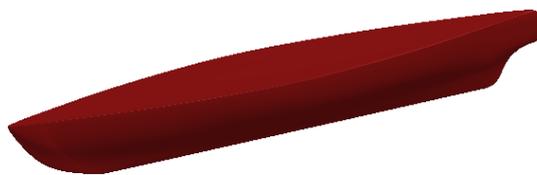


Figura 16. Vista en perspectiva del conjunto casco-cubierta y espesor asignado. Fuente: Propia.

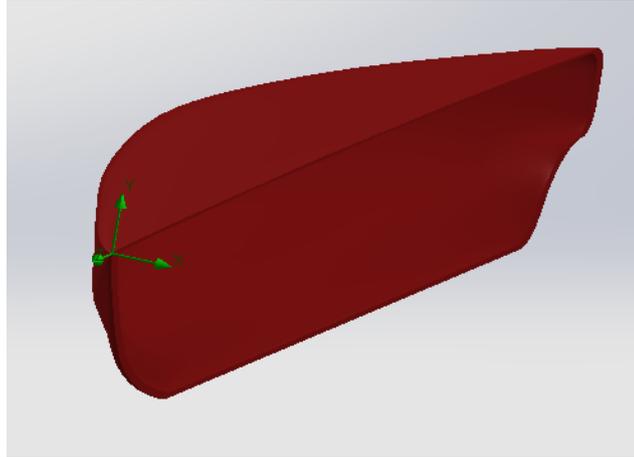


Figura 17. Vista en perspectiva de corte longitudinal. Fuente: Propia.

10.4 Bañera y compartimentos complementarios.

Finalmente, se practicaron los cortes necesarios para las cavidades de la bañera y los espacios de proa y popa. Para el croquizado de la bañera se tuvieron en cuenta las dimensiones acordadas en el apartado 9.2.2.3.

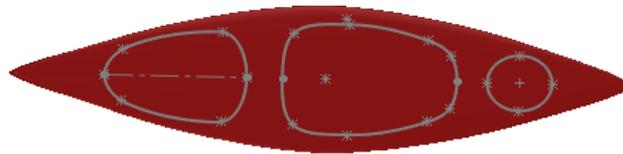


Figura 18. Vista en planta del croquis de bañera y compartimentos. Fuente: Propia.

Tras dibujar los croquis correspondientes, y mediante la herramienta “Extruir base” se conformaron los sólidos cónicos que posteriormente darían lugar a la bañera y los espacios. Utilizando la herramienta “Indentación”, se mantuvieron las paredes de los sólidos dentro del contorno del casco y la cubierta.

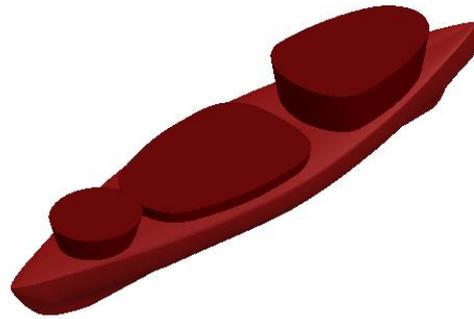


Figura 19. Extrusión de bañera y compartimentos complementarios. Fuente: Propia.

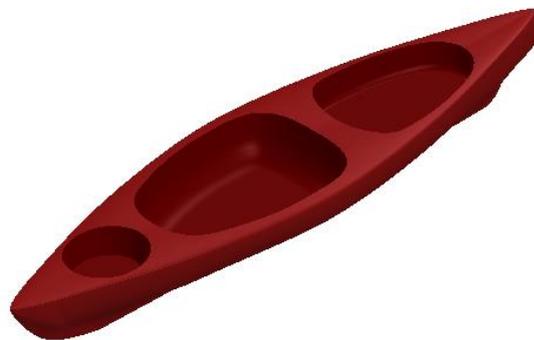


Figura 20. Indentación y vaciado de bañera y compartimentos complementarios. Fuente: Propia.

10.5 Borde estanco de bañera y compartimentos.

Para garantizar que la cavidad del palista y los compartimentos se mantengan libres de agua durante las travesías, se incluyeron bordes estancos a cada uno de los elementos.

En primer lugar se dibujó el perfil del borde con forma de gancho invertido para que el agua quede retenida.

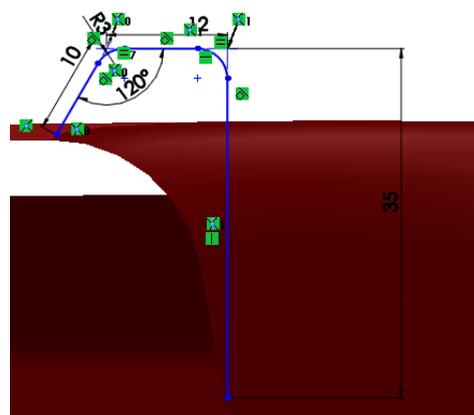


Figura 21. Croquis del borde estanco de bañera y compartimentos. Fuente: Propia.

Posteriormente, con las herramientas “barrido de superficie” y “añadir espesor”, se realizó el modelado de los bordes.

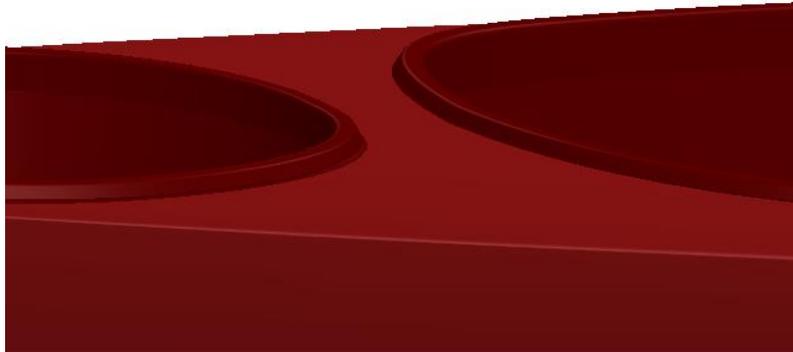


Figura 22. Borde estanco de bañera y compartimento de proa. Fuente: Propia.

10.6 Posicionamiento de sistema de propulsión mecánica

Teniendo en cuenta los resultados de los apartados 9.2.1 en adelante, relativos a los ángulos de confort en posición de conducción, se determinó la posición idónea donde irá encajado el sistema de propulsión mecánico.

La geometría y dimensiones del corte practicado se basan en las indicaciones de Hobie Cat en la patente US6022249A.

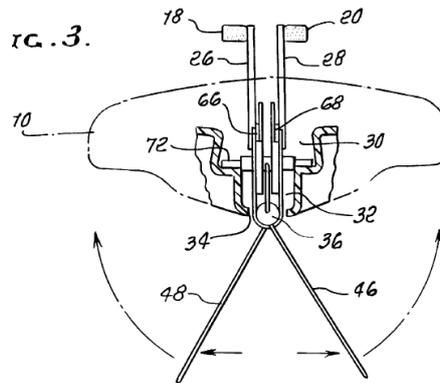


Figura 23. Croquis de instalación del sistema Mirage Drive 180. Fuente: (3)

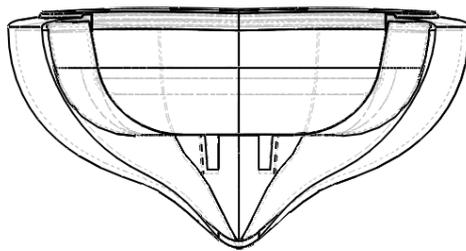


Figura 24. Croquis de orificio de instalación de sistema de propulsión mecánica en kayak diseñado. Fuente: Propia.

10.7 Resumen de diseño de ensayo.

Tras completar los pasos anteriores, se obtuvo el sólido de casco y cubierta sobre el que se realizaran los ensayos de flujo. El resultado fue el siguiente:



Figura 25. Vista isométrica de kayak diseñado. Fuente: Propia.

CAPÍTULO 3. ENSAYOS Y CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PRODUCTO

11. Ensayo hidrodinámico y análisis de zonas de riesgo.

En este apartado se exponen los resultados obtenidos tras realizar ensayo hidrodinámico sobre el kayak modelado. Este ensayo se centró en el análisis de velocidad de flujo en cada área del casco y en cómo se produce la distribución de presiones sobre el mismo cuando el kayak se encuentra en travesía.

11.1 Ensayo hidrodinámico. Condiciones de contorno.

11.1.1 Velocidad y presión en aguas tranquilas.

El primer ensayo hidrodinámico se realizará utilizando un volumen de control de aproximadamente 5 metros cúbicos. Suficiente para albergar el modelo y la parte significativa del entorno (más alejado la perturbación generada por el casco es mínima). De esta forma se reduce notablemente el tiempo de simulación.

Otros parámetros iniciales tenidos en cuenta son:

- 1- Calidad de mallado media (nivel 4 de 7).
- 2- Se tuvo en cuenta la acción de la gravedad.
- 3- El fluido de trabajo será agua.
- 4- Como temperatura del fluido se tomó la temperatura media anual del océano atlántico, es decir, 10°C.
- 5- El análisis será de tipo externo, es decir, no se tendrá en cuenta acción del flujo al entrar en cavidades o al pasar por el interior del casco.
- 6- Se asume que la navegación transcurre en aguas tranquilas. Por tanto la única velocidad tenida en cuenta es la del kayak. Para su valor se tomó la velocidad media de travesía de un palista de nivel intermedio, es decir, 7 km/h o 1,67 m/s.
- 7- Para simplificar el ensayo, se asume que la velocidad del fluido transcurre únicamente en la dirección del eje z (longitudinalmente al casco).
- 8- La rugosidad del material se considera nula a efectos de ensayo ya que para el polietileno es de 1,5 micrómetros.

a. Análisis de líneas de velocidad.

A continuación, se muestra el resultado del ensayo hidrodinámico representando las líneas de velocidad lineal del fluido en cada punto de contacto con la superficie del kayak.

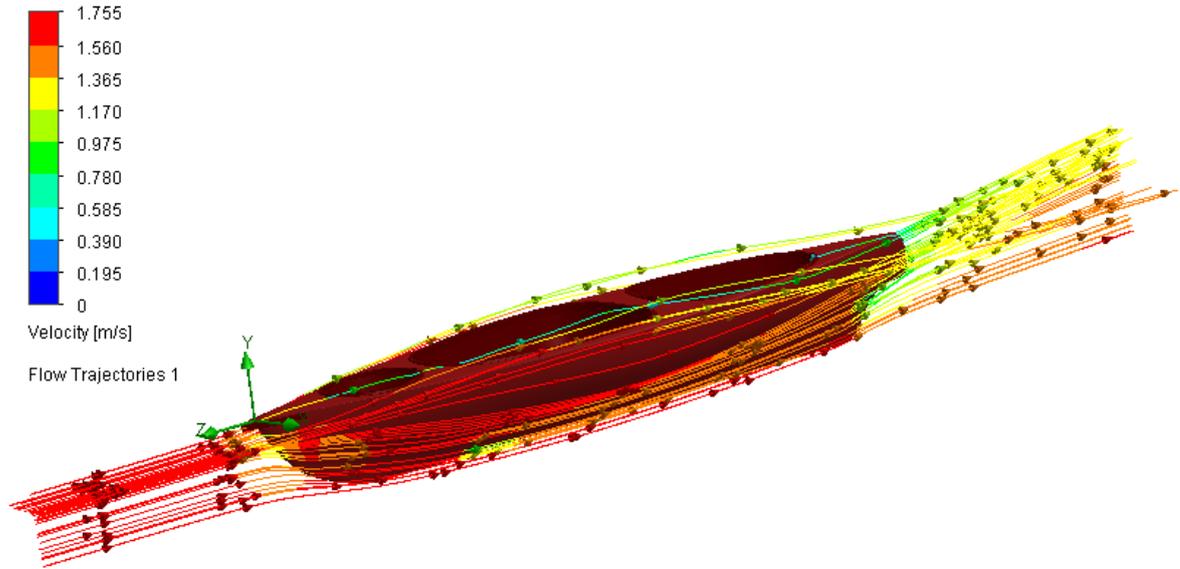


Figura 26. Resultado de ensayo hidrodinámico 1. Líneas de velocidad. Fuente: Propia.

Punto	Velocidad (m/s)	Δ (Variación)
Borde de ataque	1.755	0,000
Máximo de manga	1.560	-0,111
Punto de salida	1.465	-0,165

Tabla 13. Evolución de velocidades en ensayo hidrodinámico 1. Fuente: Propia.

De acuerdo con lo anterior, la velocidad del fluido en el borde de ataque del casco es de 1,755 m/s, pierde velocidad al entrar en contacto con el casco, bajando hasta 1,56 m/s en el punto más ancho de la embarcación (manga) y continúa disminuyendo hasta alcanzar 1,465 m/s en el borde de salida.

Este tipo de ensayos permiten evaluar la idoneidad del diseño en términos de hidrodinamismo. Se observa como la geometría actual genera una disminución de velocidad de un 16,5% entre el borde de ataque y el de salida. La adecuación del diseño es inversamente proporcional al porcentaje de variación de velocidades entre el primer punto de contacto y el último, ya que la perturbación y resistencias generadas por la embarcación disminuyen con ese porcentaje.

b. Análisis de áreas de presión.

La segunda parte del ensayo hidrodinámico en las condiciones anteriores, muestra la distribución de presiones a lo largo del casco:

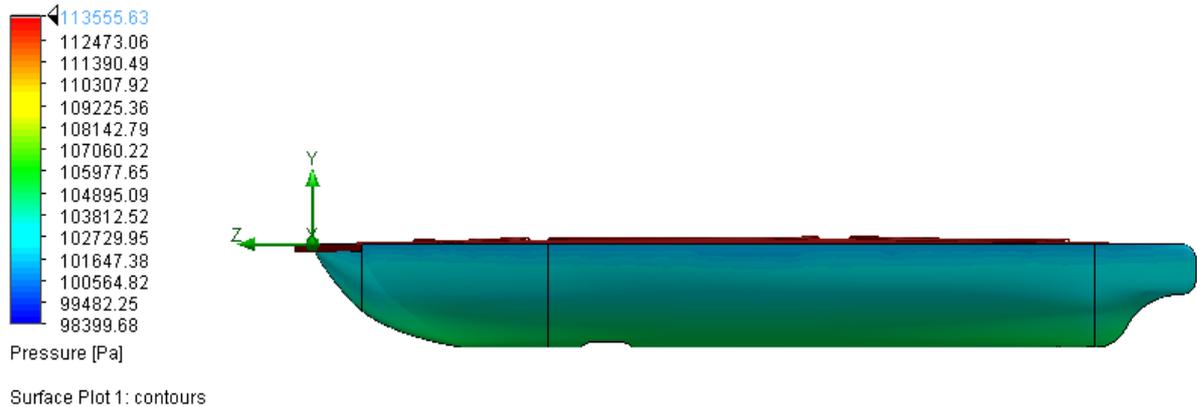


Figura 27. Vista Perfil Izquierdo de distribución de áreas de presión. Fuente: Propia.

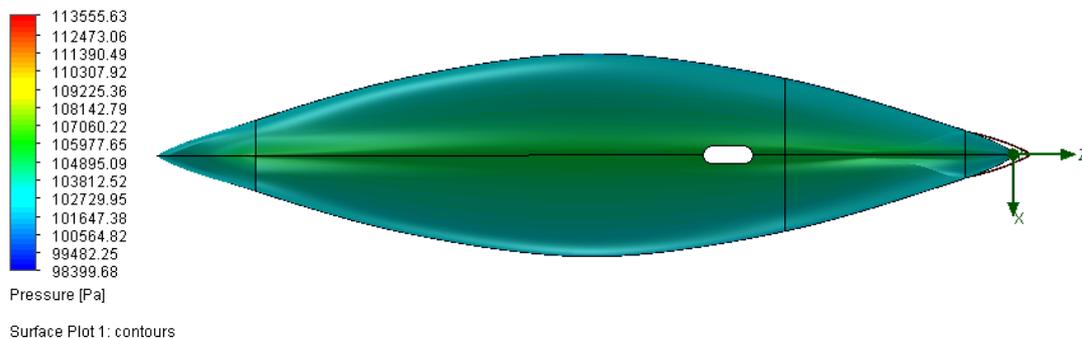


Figura 28. Vista Planta invertida de distribución de áreas de presión. Fuente: Propia.

Se observa que la presión aumenta de forma inversamente proporcional a la distancia a la quilla, alcanzando su valor máximo en 0,108 MPa. Se trata de un valor muy cercano a la presión atmosférica, por lo que se descarta como situación problemática.

11.1.2 Velocidad y presión en navegación transversal a la corriente.

El segundo ensayo hidrodinámico se realizará utilizando un volumen de control similar al anterior.

Otros parámetros iniciales tenidos en cuenta son:

- 1- Calidad de mallado media (nivel 4 de 7).
- 2- Se tuvo en cuenta la acción de la gravedad.
- 3- El fluido de trabajo será agua.
- 4- Como temperatura del fluido se tomó la temperatura media anual del océano atlántico, es decir, 10°C.
- 5- El análisis será de tipo externo, es decir, no se tendrá en cuenta acción del flujo al entrar en cavidades o al pasar por el interior del casco.

- 6- Se asume que la navegación transcurre perpendicularmente a la dirección de la marea, por ser una situación más demandante. Para el cálculo de la velocidad del agua en este caso, se asume una longitud de onda media de olas de 5m (valor medio aproximado para el océano atlántico) y un periodo de onda de 2s. Esto da lugar a :

$$v_x = \frac{\lambda_{onda}}{T_{olas}} = \frac{5\text{ m}}{2\text{ s}} = 2,5\text{ m/s}$$

- 7- A efectos de cálculo, se tomará que la velocidad actúa únicamente sobre el eje x (transversalmente al casco).
- 8- La rugosidad del material se considera nula a efectos de ensayo ya que para el polietileno es de 1,5 micrómetros.

- a. Análisis de líneas de velocidad.

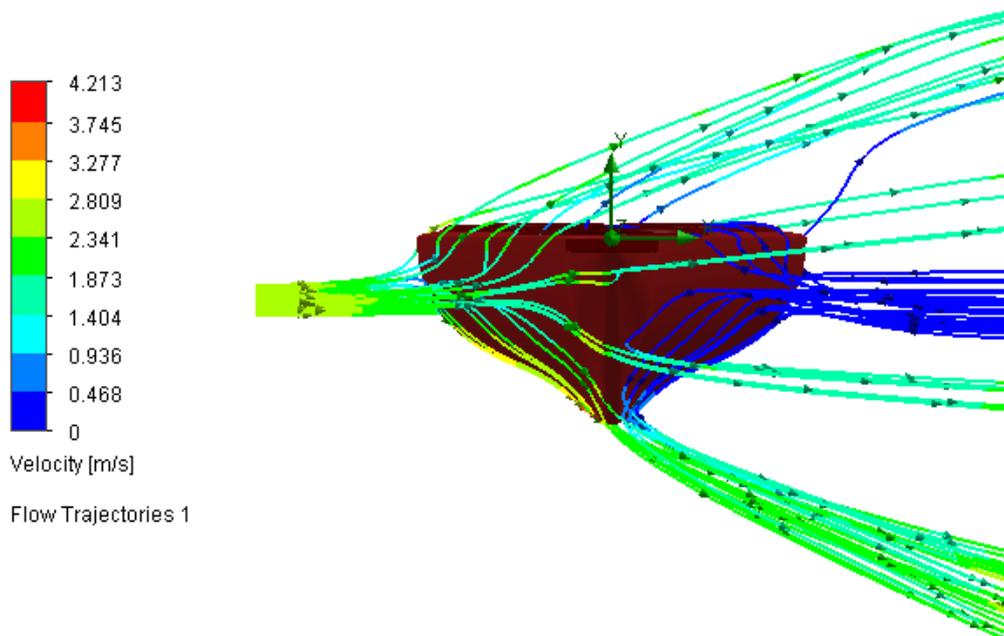


Figura 29. Resultado de ensayo hidrodinámico 2. Líneas de velocidad. Fuente: Propia.

Punto	Velocidad (m/s)	Δ (variación)
Punto de contacto primario	2.341	0,000
Durante el contacto	1.873	-0,200
Punto de salida	1.404	-0,400

Tabla 14. Evolución de velocidades en ensayo hidrodinámico 2. Fuente: Propia.

De acuerdo con lo anterior, la velocidad del fluido en el instante antes de entrar en contacto con la embarcación es de 2,342 m/s, pierde velocidad al entrar en contacto con el casco, bajando hasta 1,873m/ suponiendo un decrecimiento del 20% tras ese primer contacto. Continúa disminuyendo hasta alcanzar 1,404 m/s en el instante posterior al último contacto con la embarcación.

Como se menciona anteriormente, esa situación es la más demandante para la estructura, ya que todo el caudal que atraviesa el volumen de control impacta transversalmente contra el casco (en este caso, a babor en el sentido de la marcha).

Se observa como la geometría actual en la situación descrita, genera una disminución de velocidad de un 40% entre punto de contacto primario y el de salida. Al igual que para el ensayo del punto anterior, la adecuación del diseño es inversamente proporcional al porcentaje de variación de velocidades entre el primer punto de contacto y el último, ya que la perturbación y resistencias generadas por la embarcación disminuyen con ese porcentaje.

Era esperable que la variación de velocidad en esta situación fuese superior a la del ensayo anterior ya que el kayak se encuentra navegando perpendicularmente al flujo de trabajo. Sin embargo, el peor de los casos hubiese supuesto una variación del 100%, ya que supondría que el kayak absorbe por completo el impacto del agua durante el contacto. Esto generaría situaciones claras de inestabilidad y riesgo de vuelco.

Dado el 40% de variación en la velocidad siendo la situación más demandante, el diseño se da por válido puesto que cualquier estado intermedio entre los dos ensayos anteriores será soportado de forma satisfactoria.

b. Análisis de áreas de presión.

De forma análoga a lo visto en el punto anterior, se muestra a continuación la distribución de presiones a lo largo del casco en las condiciones descritas en este apartado.

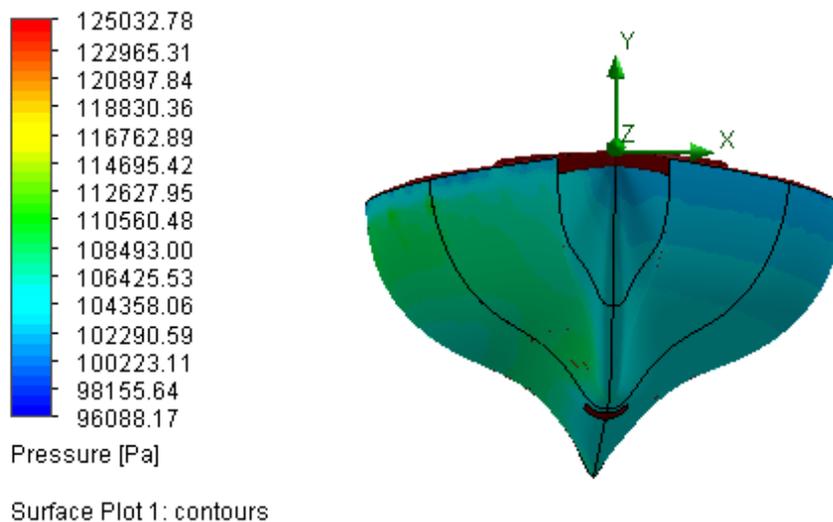


Figura 30. Vista en alzado de distribución de presiones. Ensayo hidrodinámico 2. Fuente: Propia.

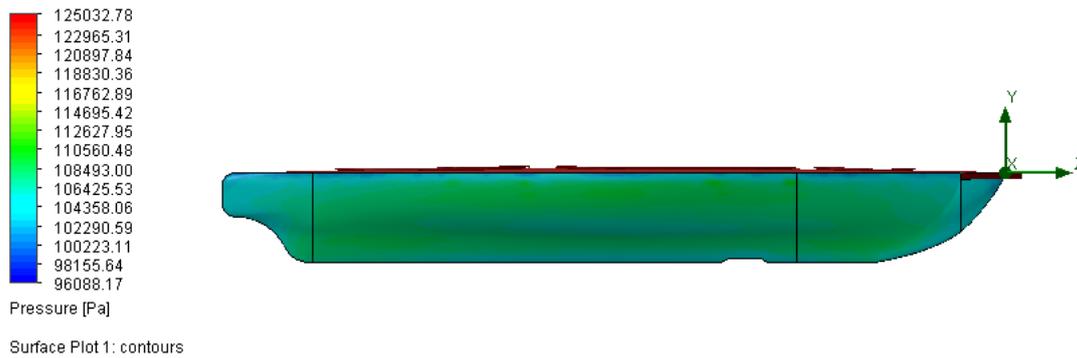


Figura 31. Vista en perfil derecho de distribución de presiones en ensayo hidrodinámico 2.

Fuente: Propia.

Se observa como la presión máxima en el casco se produce en la superficie sobre las que impacta el agua perpendicularmente, en este caso sobre la línea de quilla y bajo la regala de babor. El valor de presión máxima alcanzado es de 0,116 MPa, nuevamente lo suficientemente cercano a la presión atmosférica como para no considerarse una situación que ponga en riesgo la integridad estructural del casco.

11.2 Ensayo estático de tensiones y desplazamientos.

Con este ensayo se pretende identificar puntos problemáticos en el diseño. Las condiciones de contorno tenidas en cuenta son las siguientes:

- 1- Calidad de mallado media (nivel 4 de 7).
- 2- Se tuvieron en cuenta la acción de las fuerzas listadas a continuación:
 - a. Gravedad
 - b. Peso del palista (puntual, actuando sobre el punto de asiento) – 75Kg
 - c. Peso de la embarcación – 43 Kg
 - d. Acción del agua sobre las paredes externas del casco. Al tratarse de un análisis estático, se asume que estas superficies quedan fijas para estudiar la distribución de tensiones en bañera y alrededores.
- 3- El fluido de trabajo será agua.
- 4- Como temperatura del fluido se tomó la temperatura media anual del océano atlántico, es decir, 10°C.
- 5- Se asume una situación estática (velocidad nula en todas las direcciones y sentidos, solo actúan las fuerzas estáticas).

a. Análisis de tensiones.

A continuación, se muestra el resultado del ensayo descrito anteriormente en términos de tensiones. En este tipo de ensayos, lo esperable es una concentración de tensiones mayor en torno a cambios bruscos de geometría, uniones y ángulos pronunciados.

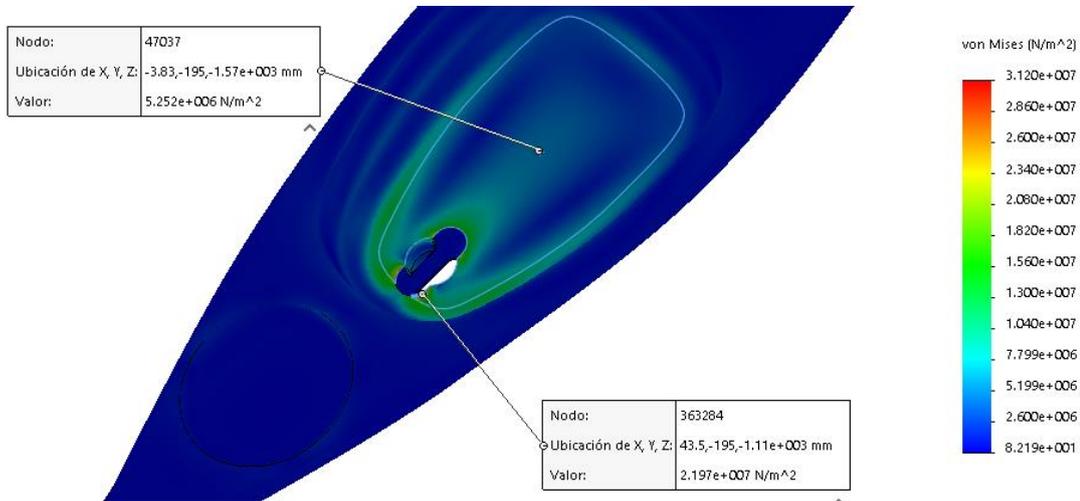


Figura 32. Vista en perspectiva de distribución de tensiones en la bañera. Ensayo estático.

Fuente: Propia.

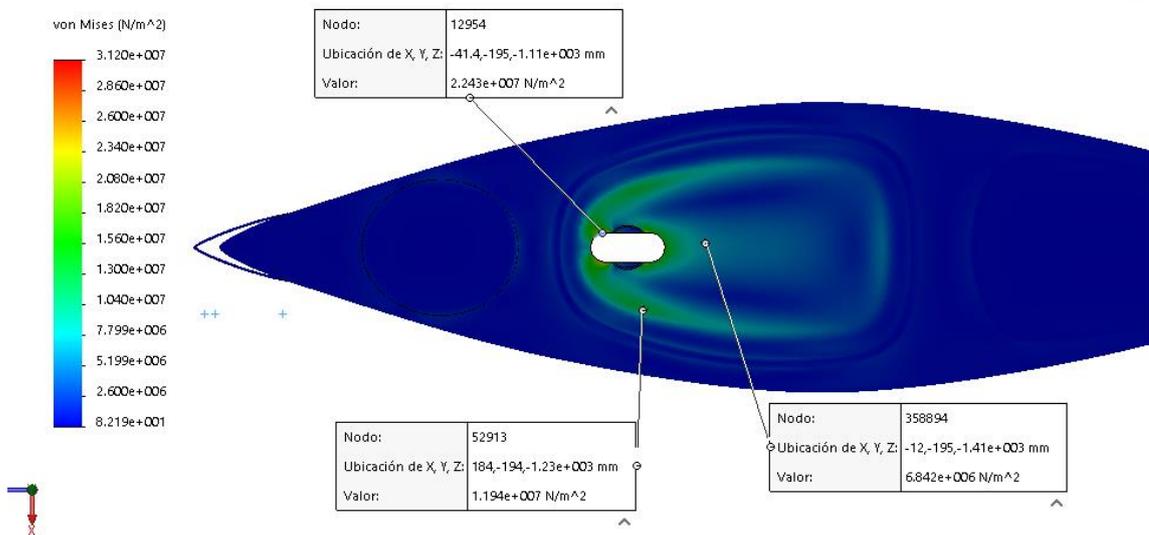


Figura 33. Vista en planta de distribución de tensiones en la bañera. Ensayo estático. Fuente:

Propia.

Como se puede observar, el máximo de tensión se produce en el emplazamiento del sistema de propulsión a pedales. Se trata de un resultado esperable dada la geometría de la operación. Por este motivo, se diseñó evitando bordes agudos, ángulos pronunciados y buscando geometrías orgánicas para mejorar la distribución de tensiones.

En este caso, el valor de tensión máxima es de 22,4 MPa. El módulo de Young para el polietileno de alta densidad está en torno a los 1-1,1 GPa, por lo que se trata de una tensión por

debajo del 4% del Módulo de Young, es decir, que en la condición de estudio no se producen deformaciones permanentes.

a. Análisis de desplazamientos.

A raíz del estudio de tensiones, se decidió analizar los desplazamientos generados en la bañera a causa de estas tensiones. Los resultados se muestran a continuación.

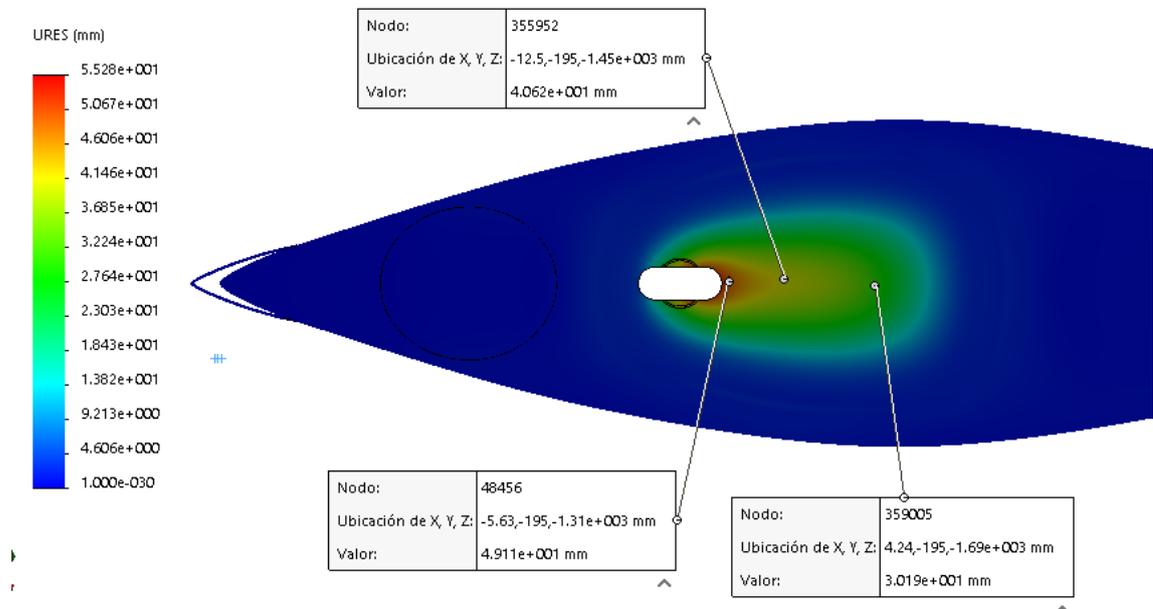


Figura 34. Vista en planta de deformaciones y desplazamientos en bañera. Ensayo estático.
Fuente: Propia.

Como cabía esperar, los desplazamientos máximos de la bañera se producen en la zona de máxima concentración de tensiones. En ese punto y con las condiciones dadas, se produce una deformación de 4,9mm, es decir, un desplazamiento igual al espesor del casco aproximadamente.

Al no producirse desplazamientos excesivos ni tensiones por encima del límite elástico y, además, la reducción porcentual de velocidad de los ensayos hidrodinámicos es favorable el diseño se da por válido en términos de hidro-dinamismo y resistencia mecánica.

12. Especificaciones técnicas del producto final.

En este apartado, se listas y describen las características finales del producto terminado las cuales se tendrán en cuenta para el cálculo del presupuesto necesario para fabricar el kayak y que esté listo para su uso.

12.1 Peso y dimensiones.

Después del modelado de la embarcación, el producto cuenta con las siguientes dimensiones y peso.

Características Kayak Diseñado		
Parámetro	Valor	unidades
Tripulación	1	-
Eslora	3500	mm
Manga	850	mm
Puntal (altura)	410	mm
Peso de la embarcación	49	Kg

Tabla 15. Resumen de características del kayak diseñado. Fuente: Propia

- Tripulación:

El kayak producto de este proyecto está pensado para ser utilizado por un solo palista de forma simultánea. La bañera cuenta con las dimensiones apropiadas para un palista en posición de conducción y garantizar el confort durante la travesía además de estar equipado con un único asiento y juego de pedales.

- Eslora:

Tras el “benchmarking” realizado previo al desarrollo del producto, se decidió fijar la eslora máxima en 3500m. Una cifra que no difiere en exceso del resto de competidores pero que si es menor que la mayoría de ellos.

Esta decisión se tomó pensando en diseñar un producto lo más compacto posible y está pensado para poder ser trasladado desde el domicilio al entorno acuático en la baka de un vehículo sin que sobresalga comprometiendo la estabilidad del mismo.

Como se describe más adelante en lo relativo al puntal, un punto que se tuvo en cuenta a la hora de sacrificar eslora fue el espacio de almacenamiento.

- Manga:

De forma análoga al estudio realizado para determinar la eslora de diseño, se realizó “benchmarking” entre las principales marcas. Finalmente, se decidió fijar la manga máxima en 850 mm, unas dimensiones compactas pero que garantizan al palista espacio suficiente para tener libertad de movimiento y almacenar pequeños aparejos al alcance de la mano.

- Puntal:

El puntal del kayak es la distancia que separa la línea de quilla del regala. En esta ocasión, se decidió aumentar ligeramente respecto a la media de los competidores del mercado.

Con esto, se consigue aumentar el volumen disponible para almacenamiento sin alejar los aparejos y objetos del radio de acción del palista. En el caso más desfavorable (objeto más

cercano a la popa del kayak) la distancia entre el palista y el objeto es de 87 cm, aproximadamente la longitud de brazo del adulto medio en Europa.

Para aumentar el puntal sin aumentar en exceso el peso de la embarcación, es necesario ajustar la eslora y la manga respectivamente. Por este motivo, el kayak en dimensiones es más pequeño que el presentado por otras marcas, pero más alto.

Parámetro	Eslora (mm)	Manga (mm)	Puntal (mm)
Hobie Mirage Pro Angler 12	3660	910	500
Native Watercraft Titan Propel 12	3820	950	330
Kayak diseñado	3500	850	410

Tabla 16. Comparativa entre dimensiones con alternativas comerciales. Fuente: Propia.

De esta forma, el kayak objeto del proyecto presenta una reducción en eslora del 8% respecto a la propuesta estrella de Native WaterCraft y del 4,5% respecto al Mirage Pro Angler de Hobie. Por otra parte, cuenta con un 10,6% menos de manga que el Titan Propel 12 de Native Watercraft y un 4,5% que la alternativa de Hobie. Sin embargo, cuenta con un 18% menos de puntal que el Mirage Pro Angler 12 pero con un 25% más que el Titan Propel 12.

- Peso de la embarcación:

El espesor medio del casco es de 5 mm, estando reforzado hasta 7 en proa y popa para aumentar su resistencia a impactos frontales. Esto, sumado a las dimensiones anteriormente mencionadas y al material escogido (polietileno HTP) resulta en un kayak de 43 Kg de peso. Algo superior al resto de competidores.

12.2 Materiales de construcción utilizados.

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 8.1.2.4 de la memoria de este proyecto, se decide utilizar como material de fabricación el Polietileno Extrusado Insuflado (HTP) por su reducido coste, su buena resistencia a los impactos y su flexibilidad.

12.2.1 Composición química.

El Polietileno (con fórmula $(C_2H_4)_n$) está formado en un 85,7% de Carbono y un 14,3% de Hidrógeno y es producto de la polimerización por adición del etileno. Durante este proceso, los monómeros de etileno se activan por efecto de un catalizador provocando la rotura de los enlaces de etileno. Posteriormente, se producen uniones entre los meros resultantes siempre que existan electrones libres para la formación de la cadena polimérica. Este proceso, habitualmente deja residuos del catalizador o impurezas del etileno, sin embargo, el peso porcentual de estas impurezas es tan bajo (menor 0,1% en la mayoría de los casos) que se desprecia.

12.2.2 Estructura física.

Entre los tipos de polietileno a utilizar, cabe diferencias dos tipos: polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad. La principal diferencia entre ambos es su estructura química. El primero, cuenta con una estructura ramificada, dando lugar a un producto más poroso, flexible y menos denso. Por el contrario, el segundo cuenta con una estructura lineal dando lugar a un polímero más rígido y denso.

La rigidez del polietileno de alta densidad es relativa, puesto que cuenta con una flexibilidad menor al polietileno de baja densidad y otros polímeros porosos, pero presenta una rigidez mucho menor a la fibra de vidrio, fibra de carbono y otros materiales de construcción usados para embarcaciones tales como la madera.

La estructura física del polietileno depende de la cristalinidad, cualidad internamente ligada a la densidad del polímero, la cual depende a su vez de la temperatura de trabajo y del grado de ramificación. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la densidad del polietileno y la cristalinidad es inversamente proporcional al grado de ramificación.

Ramificación (CH ₃ por 100 CH ₂)	Densidad a 20 °C	Cristalinidad (%)
0	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

Tabla 17. Relación entre densidad y grado de ramificación del Polietileno. Fuente: (6)

De estas afirmaciones se deduce que, para obtener un casco con dureza alta, resistencia a tracción y punto de fusión, se utilizará un polietileno de alta densidad. De acuerdo con la tabla anterior, se usará un polietileno con grado de ramificación 1.5, con densidad a 20°C de 0,95 kilogramos por metro cúbico y una cristalinidad del 76%.

12.3 Propiedades mecánicas del producto fabricado.

Una vez decidido el tipo de polietileno utilizado para la fabricación del kayak, a continuación, se recogen las principales propiedades físicas:

Magnitud	Valor
Peso molecular medio	25
Punto de Fusión, °C	110
Densidad (g/cm ³)	
a 20 °C	0,92
a 50 °C	0,9
a 80 °C	0,87
a 110 °C	0,81
Módulo de Young (0-5% de extensión), Kg/cm ²	1600
Resistencia a la tracción a 20 °C., Kg/cm ²	150

Tabla 18. Propiedades químicas del polietileno. Fuente: (6)

De las características mencionadas, resultan las siguientes propiedades mecánicas con las que contará el kayak.

Magnitud	Valor	uds
Resistencia a la compresión	18.6 - 24.8	Mpa
Resistencia a la flexión	30.9 - 43.3	MPa
Resistencia a la tracción	22.1 - 31	MPa
Dureza a T ^a ambiente	7.9 - 9.9	HV

Tabla 19. Propiedades mecánicas del polietileno. Fuente: (6)

Como se puede observar, y dado los resultados de los ensayos expuestos en los apartados 11 y 12 de la memoria de este proyecto, la integridad estructural de la embarcación no se ve comprometida en situaciones de uso cotidiano.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

13. Conclusiones

En este apartado se recoge las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto. Para ello, se analizará el logro o el fracaso a la hora de alcanzar los objetivos planteados inicialmente.

Objetivo 1:

Diseño de un prototipo funcional de casco de embarcación ligera tipo canoa-kayak.

El primer reto que surgió a la hora de completar este objetivo fue el desconocimiento de términos náuticos que se utilizan para describir la gran parte de conceptos y procesos que rodean el diseño y la fabricación de este tipo de artefactos. Tras un estudio de los términos más utilizados, listados en el punto 5 “conceptos de interés” de la memoria de desarrollo de este proyecto, realizar un croquis realista en términos de dimensiones fue más sencillo.

Una vez plasmada en papel la idea inicial del diseño, el modelado 3D se realizó mediante SolidWorks. Su interfaz, más intuitiva que la de otros programas, y la flexibilidad que aporta al usuario para corregir errores o hacer cambios en operaciones pasadas facilitaron la tarea. Esto permitió modelar el casco de una embarcación ligera tipo canoa-kayak de manera satisfactoria.

Objetivo 2:

El producto terminado deberá ser tal que garantice unas condiciones mínimas de confort para el usuario. Por tanto se tendrá en cuenta el apartado ergonómico para el diseño de aquellas partes de la embarcación con las que el palista interactúa directamente durante el uso de la misma.

Para lograr este objetivo, se realizó un estudio antropométrico de las principales medidas que afectan a la geometría del habitáculo del kayak. El estudio fue posible con el apoyo de las publicaciones “Ángulos de confort para puestos de conducción” de “Ángulos de confort y visión” por Wisner, A. y Rebiffe, R y “Dimensiones humanas en espacios interiores: Estándares antropométricos” de Julius Panero y Martin Zelnik.

Con base en los resultados del estudio de dicha publicaciones, se logró diseñar un habitáculo para el palista que garantice posiciones de confort en tarvesias de media longitud tanto si decide hacer uso del sistema de pedales como si no.

Por otra parte, se tuvo en cuenta la usabilidad de los espacios de proa y popa para almacenar elementos y aparejos de pesca. A este respecto, las publicaciones anteriormente citadas también tuvieron influencia determinando el alcance máximo que tiene un humano adulto medio y sirviendo como base para especificar las dimensiones máximas de esos espacios.

Por tanto, este objetivo se logró de manera satisfactoria.

Objetivo 3:

El producto final deberá soportar demandas provocadas por esfuerzos a los que estaría sometido en condiciones reales de uso para garantizar la seguridad del usuario final.

Para garantizar el cumplimiento de este objetivo, crucial en la usabilidad final del diseño, se sometió al casco modelado a ensayos hidrodinámicos considerando navegación a favor de la marea y transversalmente a ella y un ensayo estático que determina la concentración de tensiones y deformación máxima en zona problemáticas de la bañera.

El resultado de los test mencionado fue satisfactorio de acuerdo a lo expuesto en el apartado 11 en delante de la memoria de este proyecto.

Por tanto, dado que se garantiza la seguridad del palista durante el uso del producto propuesto, el objetivo se logró de forma satisfactoria.

Objetivo 4:

Se buscará que el prototipo sea, en la medida de lo posible, de bajo coste para presentar un reto a los homólogos del mercado actual. Para ello se compararán procesos de fabricación y cualidades y calidades de materiales.

La estrategia seguida para el logro del último objetivo fue la búsqueda de un material y un proceso de fabricación que cumpliera las condiciones mínimas de seguridad y confort expuestas anteriormente al menor coste posible.

Tras sondear el mercado y comparar diversos materiales muy utilizados en la fabricación de este tipo de embarcaciones, el uso de polietileno de alta densidad representa una opción que satisface los requerimientos con un coste inferior a otra alternativas tal y como se puede observar en el apartado 7.1.2.4 relativo a comparativa de materiales.

En cuanto al proceso de fabricación, el rotomoldeado hubiese supuesto una opción más barata que el Extrusado-Insuflado descrito en el Pliego de condiciones de este proyecto. Sin embargo, las propiedades mecánicas que se consiguen con éste último son superiores a los productos rotomoldeados, por lo que se decidió escoger la alternativa del insuflado.

De esta forma se encuentra un equilibrio entre coste y seguridad del usuario (en línea con el objetivo 3) puesto que, a pesar de ser más costoso que el rotomoldeo, su coste es muy inferior a los procesos manufacturados requeridos para fabricar un kayak de fibra de vidrio o carbono.

Por tanto, el objetivo 4 se cumple de manera satisfactoria.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los cuatro objetivos planteados al inicio de este proyecto se cumplen satisfactoriamente con el diseño propuesto.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



**ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA**

Curso Académico:

14. Contenido del presupuesto.

En este apartado del documento, se estimarán los costes de producción asociados a la fabricación del casco del kayak que es objeto de este proyecto. Para ello se evaluará el coste de los siguientes puntos:

1. Costes de diseño del producto. Se tendrá en cuenta las horas empleadas en cada tarea de este proyecto. El coste por hora será el de Ingeniero proyectista Junior (30€/h)
2. Materia prima. Se analizará el coste de adquisición de polietileno y del molde de aluminio. Se asumirá que la vida útil del molde es de 1000000 de inyecciones.
3. Fabricación del casco. Se estimará el coste de tratamiento del polietileno, incluyendo el cocido, la extrusión y el insuflado en el molde de acuerdo a lo expuesto en el punto 17 del Pliego de condiciones de este proyecto.
4. Resumen de coste. Se estimará un coste final resultado del sumatorio de todos los costes parciales.

15. Exposición del presupuesto.

15.1 Costes de diseño del producto.

Concepto	Descripción	Tiempo		Subtotal (€)
		Coste (€/h)	requerido (h)	
Análisis de oferta y benchmarking	Comparativa de primeras marcas y obtención de ideas para el diseño	30	12	360
Elección de material	Comparativa de materiales y elección por sumas ponderadas	30	10	300
Estudio ergonómico	Análisis de dimensiones antropométricas y estudio de ángulos de confort en puestos de conducción	30	23	690
Modelado 3D	Representación 3D del producto diseñado con Solidworks	30	90	2700
Ensayos y análisis	Ensayos hidrodinámicos y de tensión-deformación	30	45	1350
Estudio de legislación aplicable	Lectura de legislación, reales decretos y normal aplicables al uso del producto	30	25	750
Planos	Desarrollo de planos del producto	30	10	300
Presupuesto	Desarrollo del presupuesto y búsqueda de costes	30	10	300

Redacción de proyecto	Redacción de documentos	30	80	2400
			Total parcial 1	9150

Tabla 20. Costes de diseño de producto. Fuente: Propia

15.2 Costes de materia prima.

Para el cálculo de este total parcial, se han tenido en cuenta las siguientes clausulas:

- El coste de fabricación aproximado del molde se obtuvo a partir de las directrices expuestas en la fuente (3).
- Se asumió una vida útil del molde de 100000 de inyecciones, por lo que el coste total asociado a la fabricación de un solo prototipo de kayak será el equivalente a una sola inyección.

Concepto	Descripción	Coste (€/ud)	Cantidad (ud)	Subtotal (€)
Polietileno alta densidad	Material prima principal para la fabricación del casco.	1,23	45	55,35
Molde de inyección	Molde de aluminio en dos piezas. Acabado superficial medio.	200000	1	2
Mirage Drive 180	Sistema de propulsión a pedales empresa (Hobie Cat)	893	1	893
			Total parcial 2	950,35

Tabla 21. Costes de materia prima. Fuente: Propia

15.3 Costes de fabricación.

En este apartado se estimaron el coste por h de cada proceso en función del precio de la máquina a utilizar para el extrusado y el insuflado. Para la refrigeración se tuvo en cuenta el precio del molde y que ésta, el proceso de fabricación de Polietileno HTP, se trata de una cualidad añadida (el circuito de refrigeración es interno en el molde).

En cuanto a los acabados, el corte de los sobrantes y el último acabado superficial se realiza de forma manual, por lo que ha utilizado el coste medio por hora de operario en el sector industrial.

Los tiempos requeridos vienen dados porque, en producción en masa, el tiempo máximo de fabricación de kayaks es de 6 minutos por unidad. Por tanto, se halló el equivalente en horas y se realizó el reparto en función del tiempo que necesario para cada fase.

Concepto	Descripción	Coste (€/h)	Tiempo requerido (h)	Subtot al (€)
Extrusora de plástico	Extrusora utilizada para la conformación del tubo previo	650	0,03	19,5
Insuflado	Conjunto de compresor de aire y agujas para realizar el soplado del casco	300	0,05	15
Refrigeración	Refrigeración del casco creado mediante agua.	400	0,02	8
Acabados	Corte de rebabas y restos de material en uniones.	11	0,16	1,76
Total parcial 3				44,26

Tabla 22. Costes de fabricación estimados. Fuente: Propia

15.4 Resumen de costes.

Concepto	Descripción	Coste (€)
Total Parcial 2	Costes de materia prima	950,35
Total Parcial 3	Costes de fabricación	44,26
Total producción		994,61
Total Parcial 1	Corte de rebabas y restos de material en uniones.	9150
Total desarrollo del proyecto		10144,61

Tabla 23. Resumen de costes. Fuente: Propia

En la tabla anterior se resumen los totales parciales de los apartados anteriores. De esta forma, la fabricación del kayak diseñado en este proyecto es de 994,61 € aproximadamente (costes de proceso estimados). Parece un coste lógico puesto que el precio medio de este tipo de kayaks en el mercado se encuentra en el rango de 1600 a 2200 euros, lo cual supondría un beneficio de venta de entre el 60% y el 85% sin tener en cuenta los costes de marketing, distribución y patentes asociadas.

Por otra parte, el coste de realización del proyecto completo, englobando desde el estudio previo hasta el producto terminado, es de 10144 € aproximadamente. Parece un coste elevado, pero debe tenerse en cuenta que es el coste de fabricar una sola unidad del kayak. De esta forma, el total parcial 1 se considera parte de los gastos fijos que no dependen del volumen de kayaks fabricados.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

16. Normativa y disposiciones legales aplicables.

Se listan a continuación las disposiciones legales que afectan al uso y explotación comercial de embarcaciones deportivas en España.

- Real Decreto RD 875/2014 del 10 de octubre por el que se regulan las titulaciones náuticas para el gobierno de las embarcaciones de recreo.
- Orden FOM/3200/2007 del 26 de octubre por la que se regulan las embarcaciones de recreo.
- Real Decreto 544/2007 del 27 de abril por el que se regula e abanderamiento y la matriculación de las embarcaciones de recreo.
- Real Decreto 1434/1999 del 10 de septiembre por el que se establecen los reconocimientos e inspecciones de las embarcaciones de recreo.

16.1 Definición legal de kayak/ embarcación de recreo.

De acuerdo a lo expuesto en la orden FOM/3200/2007 del 26 de octubre por la que se regulan las embarcaciones de recreo:

“A los efectos de esta orden, se entenderá por:

1. «Embarcaciones de recreo»: Embarcación de cualquier tipo, con independencia de su medio de propulsión, proyectada para fines deportivos o de ocio y construida según las normas de construcción vigentes en cada caso, cuyo casco tenga una eslora superior a 2,5 metros, medida según los criterios fijados en las normas armonizadas aplicables.

2. «Artefactos flotantes o de playa»:

1.º Piraguas, kayacs y canoas sin motor.

2.º Patines con pedales o provistos de motor con potencia inferior a 3,5 kW.

3.º Las tablas a vela.

4.º Las tablas deslizantes con motor, las embarcaciones de uso individual y otros ingenios similares a motor.

5.º Instalaciones flotantes fondeadas.

6.º Otros de similares características, distintos a los relacionados anteriormente.”

Por tanto, a efectos teóricos, el kayak no se considera legalmente una embarcación de recreo, sino que es un artefacto flotante o de playa. Esta consideración puede variar en función de la legislación de cada país. En Francia, por ejemplo, un kayak será considerado embarcación de recreo o no en función de su eslora y los artefactos de playa no pueden alejarse a más de 300 metros de la costa.

16.2 Limitantes para uso de embarcaciones deportivas y de recreo.

De acuerdo a lo expuesto en el artículo 3 del Real Decreto RD 875/2014 del 10 de octubre, relativo a las regulaciones aplicables sobre titulaciones náuticas para el gobierno de embarcaciones de recreo, deberán atenerse a las cláusulas de este real decreto las embarcaciones proyectadas con fines recreativos o deportivos de los siguientes tipos:

- a. Piraguas, kayaks, canoas sin motor y otros artefactos sin propulsión mecánica.
- b. Patines con pedales o provistos de motor con potencia inferior a 3.5 kW.
- c. Motos náuticas.
- d. Tablas a vela.
- e. Tablas deslizantes con motor y otros ingenios similares.
- f. Instalaciones flotantes fondeadas.

En el Real Decreto citado, se acota el uso de las embarcaciones arriba citadas a las siguientes condiciones:

“Para el gobierno de embarcaciones a motor con una potencia máxima de 11.26 kilovatios y hasta 5 metros de eslora, las de vela hasta 6 metros de eslora y los artefactos flotantes o de playa, a excepción de las motos náuticas, no será preciso estar en posesión de las titulaciones reguladas en este real decreto, siempre que no se alejen más de 2 millas náuticas de un puerto, marina o lugar de abrigo y la actividad se realice en régimen de navegación diurna”

De acuerdo con esto, el uso y la navegación del kayak objeto de este proyecto no requerirá uso de licencia de gobierno de embarcación (patrón, capitán o licencia de navegación básica) siempre que el radio de acción no se aleje a más de 2 millas náuticas (o 3,75 km) de la costa y se realice la navegación durante el día.

16.3 Matriculación e identificación de la embarcación.

Según lo expuesto en el Real Decreto 544/2007 del 27 de abril por el que se regula e abanderamiento y la matriculación de las embarcaciones de recreo, en su artículo 3:

“Están excluidas del ámbito de aplicación de este real decreto las motos náuticas y los artefactos náuticos, con independencia de que se usen exclusivamente para la práctica del deporte sin ánimo de lucro o la pesca no profesional”

El ministerio de Fomento realizó una interpretación del artículo anterior puntualizando:

“Están exentas de matriculación las embarcaciones de recreo menores de 2,5 metros y los aparatos flotantes o de playa con independencia de su eslora.”

Esto es debido a que el Real Decreto 544/2007 contempla la categoría “artefactos náuticos” pero no la define ni recoge las embarcaciones englobados en ella.

Por otra parte, siguiendo las pautas del artículo 2 del Real Decreto 1434/1999 del 10 de septiembre por el que se establecen los reconocimientos e inspecciones de las embarcaciones de recreo:

“Este Real Decreto se aplicará a las embarcaciones de recreo matriculadas en España, considerándose como tales aquellas de todo tipo, con independencia de su medio de propulsión, que tengan una eslora de casco comprendida entre 2,5 y 24 metros, proyectadas y destinadas para fines recreativos y deportivos, y que no transporten más de 12 pasajeros”

Por tanto, al no requerir matriculación, tampoco requiere pasar inspecciones técnicas u obtención de certificados de navegabilidad. Por tanto, tampoco se requiere el registro español/permiso de navegación para hacer uso de este artefacto.

16.4 Licencia de pesca y requerimientos para su práctica.

De acuerdo a lo expuesto en el Real Decreto 544/2007 del 27 de abril por el que se regula el abanderamiento y la matriculación de las embarcaciones de recreo, en su artículo 3 y a lo explicado en el punto anterior, los kayaks se consideran artefacto flotante y no deben/pueden ser matriculados. Este hecho hace que no se requiera de licencia de pesca desde embarcación, y no requerirá tampoco licencia de ningún tipo si la pesca se realiza de forma no profesional.

Sin embargo, si la actividad pesquera desde kayak pretende realizarse de manera profesión y/o con ánimo de lucro, será necesaria la obtención de licencia de pesca terrestre o desde costa. Esto es porque, al estar limitado el rango de actividad de un kayak a cierta distancia desde la costa, la licencia a utilizar es equivalente.

17. Proceso de fabricación.

El kayak objeto de este proyecto se fabricará mediante Extrusado Insuflado (HTP). Se trata de un proceso de fabricación de bajo coste, con tasa de producción alta y relativamente fácil de controlar.

1- Tratamiento de la materia prima.

En primer lugar, el polietileno de alta densidad se somete a vibraciones continuas para dividirlo en pequeños pedazos. A continuación, estos pedazos se vierten en la tolva de una peletizadora que cuenta con un sistema de tornillo sin fin cónico que calienta el polietileno hasta una temperatura cercana a la fusión (alrededor de los 110 °C) y va comprimiendo el polietileno hasta forzar su paso a través de una placa perforada con orificio de diámetro de los pellets deseados. En este caso, para la fabricación del kayak será necesario un máximo 500 micras de diámetro para conseguir una densidad adecuada y evitar porosidad en el casco.

Una vez los pellets abandonan la extrusora de la pelletizadora, se transportan mediante succión a un depósito externo a la máquina donde reposará la materia prima hasta ser utilizada.

Los pellets utilizados pueden tener entintado o no. En este caso, se introducen en una mezcladora junto con una sustancia pigmento y un estabilizador.

2- Extrusado.

Tras el mezclado anterior, el material entra a la cámara de otra extrusora donde se calienta por encima de su temperatura de fusión (entre 200 y 220°C) y se somete a giros y vibraciones para homogeneizarlo.

Una vez se llena la cámara con la cantidad necesaria, el polietileno fundido pasa a través de una boquilla con forma anillada siendo extruido en forma de tubo hueco. El grosor del anillo de la boquilla será equivalente al espesor deseado del producto terminado. Durante este proceso las condiciones deben ser controladas:

- Velocidad de rotación de la extrusora constante y controlada.
- Temperatura superior al punto de fusión del polietileno de alta densidad (entre 200 y 220°C)
- Tiempo de cocido y extruido inferior a 4 minutos.

3- Moldeado.

Una vez el tubo haya alcanzado la longitud de la eslora deseada, dos partes de un molde de aluminio aprisionan el tubo de forma estanca. Mediante la utilización de agujas, se insufla aire a presión dentro del molde ocasionando que el polietileno, aún caliente, se ciña a las paredes interiores del molde.

4- Enfriamiento.

El molde, aun cerrado en torno al polietileno, se somete a un proceso de enfriamiento rápido mediante chorro de aire o agua. El proceso completo desde que los pellets entran a la extrusora y se termina el enfriamiento debe ser inferior a 6 minutos.

5- Desmoldado y tratamiento posterior.

Una vez transcurrido el tiempo de enfriamiento, las dos partes del molde se separan y se desmolda el kayak ya conformado.

Sobre el producto obtenido, se practican manualmente los cortes necesarios para bañera y compartimentos complementarios.

Finalmente, se cortan rebabas en las uniones del molde y se retira material sobrante tras el moldeado para, después de lavar el casco, se someta a un pulido final para obtener el producto terminado.

18. Bibliografía.

1. Europa HK. www.hobie.com. [Online].; 2018. Available from: <https://www.hobie.com/xes/>.
2. Casas Ferrer A. Diseño y cálculo de un kayak de madera de 5.387 metros de eslora (LOA). 2012. Proyecto final de carrera - Ingeniería Técnica Naval.
3. D. López G. www.interempresas.net. [Online].; 2015. Available from: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/147288-Costeo-de-piezas-plasticas-moldeadas-por-inyeccion.html>.
4. Watercraft N. nativewatercraft.com. [Online].; 2018. Available from: <https://nativewatercraft.com/>.
5. Google. Google Patents. [Online].; 2018. Available from: <https://patents.google.com/>.
6. Llano Uribe C. Fibra de Carbono. Presente y futuro de un material revolucionario. [Online].; 2010.
7. Anónimo. El Trinauta. [Online].; 2016. Available from: <http://www.eltrinauta.com/kayak-de-mar-pesca-travesia/>.
8. Wisner A, Rebiffe R. Ángulos de confort para puestos de conducción; 1963.
9. Panero J, Zelnik M. Dimensiones humanas en espacios interiores: Estándares antropométricos; 1979.
10. Anónimo. Textos Científicos. [Online].; 2005. Available from: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/estructura>.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

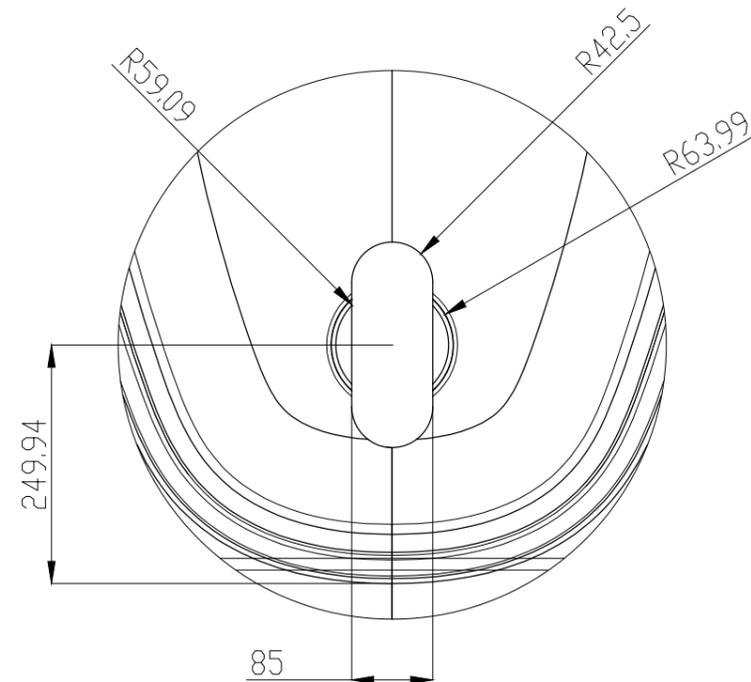
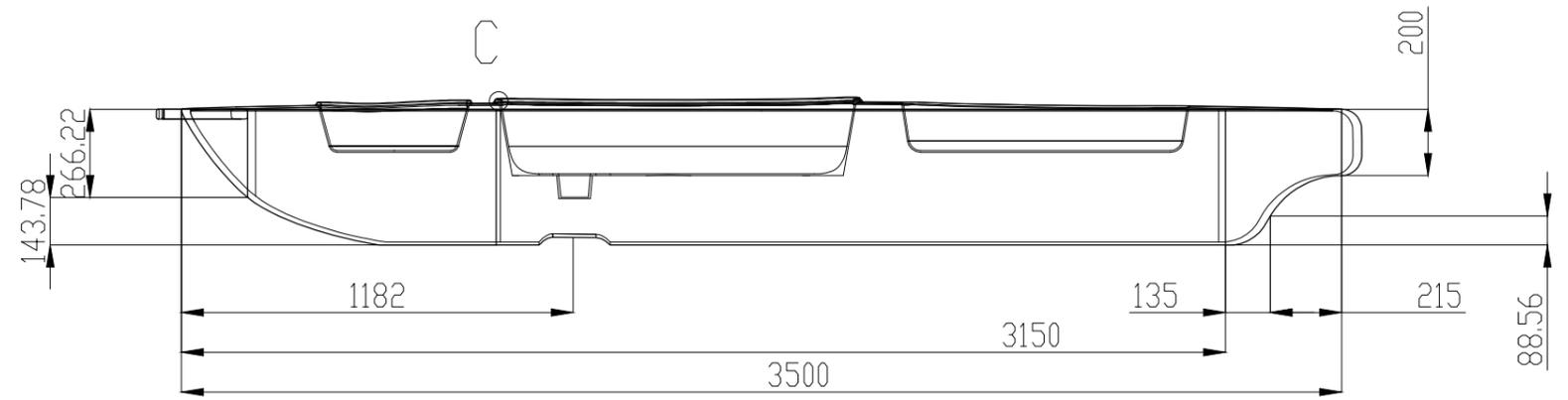
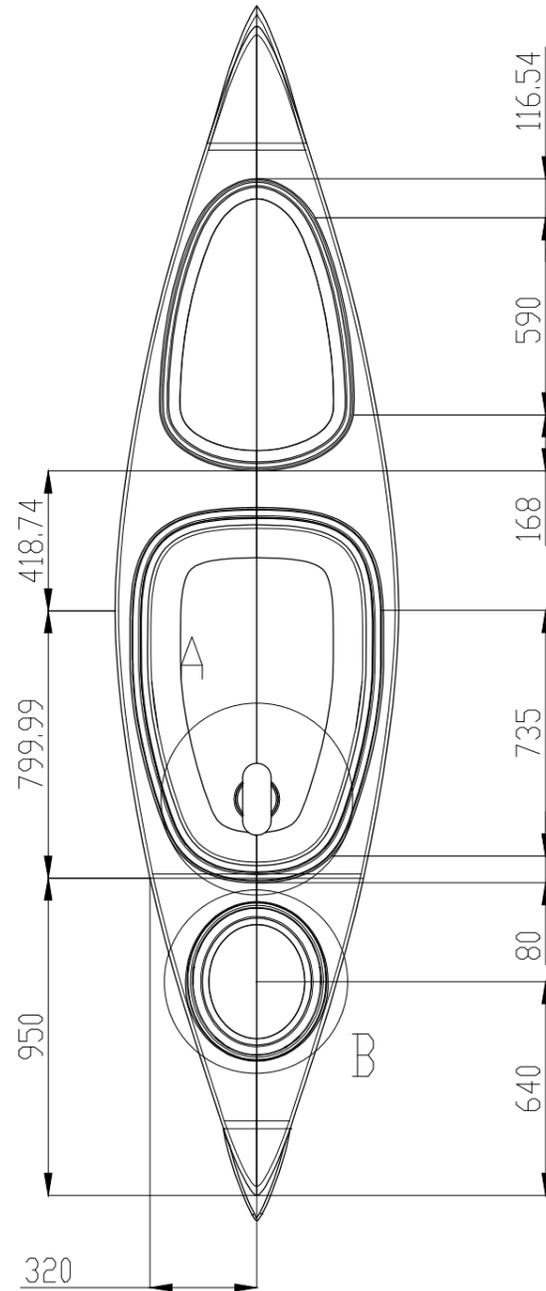
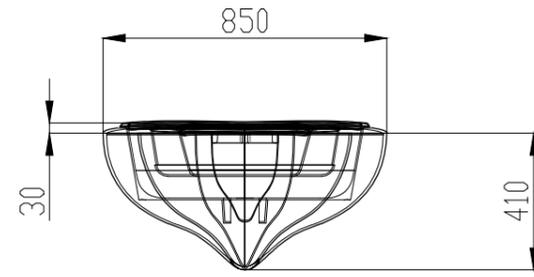


ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

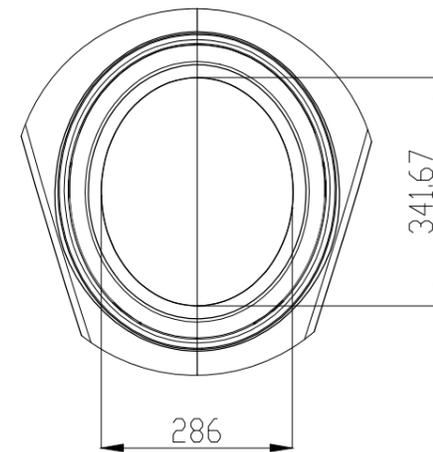
Curso Académico:

ÍNDICE DE PLANOS

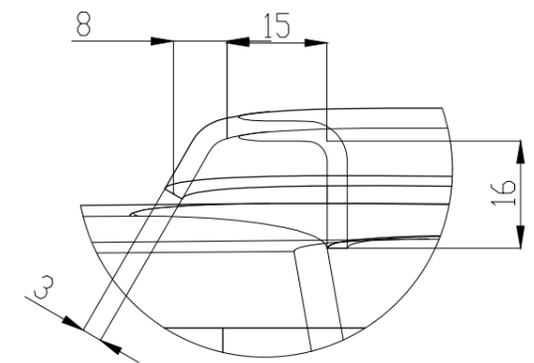
1. Plano de vistas estándar y de detalle..... 1



DETALLE A
ESCALA 1 : 7



DETALLE B
ESCALA 1 : 10



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

