

# Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:  
**Tomàs Parellada Gènova**

Dirigit per:  
**Inma Ortigosa Barragán**

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, Juny de 2020

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat de Nàutica de Barcelona







---

# Resum

L'objectiu d'aquest treball de final de grau és dissenyar un kayak per a la pràctica esportiva amateur del piragüisme. La proposta de disseny es centra en la navegació al mar, entre petites platges i cales de la costa.

La primera part del treball consisteix en una recopilació d'informació sobre el piragüisme (història i modalitats). Seguidament ve la fase de disseny, on s'estudien els paràmetres que caracteritzen el comportament d'un kayak i es defineixen aquests en funció dels objectius proposats. Definitos aquest paràmetres es modela el kayak, al qual es realitzarà un anàlisi per obtenir els valors que descriuran l'embarcació en termes de resistència a l'avanç i estabilitat. Paral·lelament es realitza un estudi sobre els diferents materials i processos de construcció seguits en la producció de kayaks. Finalment es proposarà i descriurà pas a pas una metodologia amateur de construcció per a que qualsevol amant de la navegació amb kayak pugui fer ús del prototip, així com les eines i materials necessaris.

## **Abstract**

The aim of this final degree project is to design a kayak in order to practice amateur kayaking. The design will be focused on sea navigation between small bays and beaches.

The first part of the project consists of an information summary about kayaking (history and modalities), followed by a design chapter, where the parameters that affect kayak performance will be analysed and defined, regarding the desired goals. Being these parameters defined, the kayak will be modelled using computer-aided design software. This model will be analysed in order to obtain values and information about its performance in terms of hydrodynamics and stability. Concurrently, several materials and construction methods used in kayak production will be studied. Finally, an amateur construction methodology will be proposed and described step by step (as well as materials and tools employed), so as to allow every kayaking passionate navigate with the prototype.

---

# Taula de continguts

RESUM	III
ABSTRACT	IV
TAULA DE CONTINGUTS	V
LLISTAT DE FIGURES	VIII
LLISTAT DE TAULES	XII
<b>CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIONS	1
1.2 OBJECTIUS	1
1.3 METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ DEL TREBALL	2
<b>CAPÍTOL 2. AVANTPROJECTE</b>	<b>3</b>
2.1 DEFINICIÓ D'UNA EMBARCACIÓ TIPUS KAYAK	3
2.2 HISTÒRIA DEL KAYAK	7
2.3 TIPUS DE KAYAKS	9
2.3.1 AIGÜES TRANQUIL·LES	9
2.3.2 AIGÜES BRAVES	11
2.3.3 AIGÜES MARINES	13
<b>CAPÍTOL 3. DISSENY</b>	<b>17</b>
3.1 PARÀMETRES DE DISSENY DEL KAYAK	17
3.1.1 ESTABILITAT	17
3.1.2 VELOCITAT	24
3.1.3 DIRECCIONALITAT O TRACKING	35
3.1.4 MANIOBRABILITAT	37
3.2 INFLUÈNCIA DE LES FORMES EN EL COMPORTAMENT DEL KAYAK	37
3.2.1 ESLORA	37

---

3.2.2 MÀNEGA	37
3.2.3 PERFIL LONGITUDINAL	38
3.2.4 PERFIL TRANSVERSAL	38
3.2.5 PERFIL LÍNIES D'AIGUA	39
<b>3.3 ERGONOMIA</b>	<b>39</b>
<b>3.4 FORMES DEL KAYAK</b>	<b>40</b>
3.4.1 FORMES DE LA PROA	43
3.4.2 FORMES DE LA POPA	45
3.4.3 PERFIL TRANSVERSAL	45
3.4.4 PERFIL LONGITUDINAL	45
3.4.5 PERFIL DE FLOTACIÓ	46
3.4.6 ESTELLA MORTA	46
<b>3.5 MODELATGE DEL CASC</b>	<b>47</b>
<b>3.6 ANÀLISI DE LA GEOMETRIA</b>	<b>50</b>
3.6.1 COEFICIENTS DE FORMA	50
3.6.2 EXPORTACIÓ A MAXSURF	54
3.6.3 CORBA D'ÀREES	57
3.6.4 ANÀLISI ESPECIFICACIONS DE DISSENY	58
3.6.5 COMPARATIVA DE VALORS HIDROSTÀTICS	61
<b><u>CAPÍTOL 4. MATERIALS I METODOLOGIES DE FABRICACIÓ</u></b>	<b>63</b>
<b>4.1 POLIETILÈ</b>	<b>63</b>
4.1.1 FABRICACIÓ PER ROTOMOLDEJAT	64
4.1.2 FABRICACIÓ PER EXTRUSIÓ	65
4.1.3 FABRICACIÓ PER TERMOFORMAT	66
<b>4.2 FUSTA</b>	<b>66</b>
4.2.1 SISTEMA "STITCH AND GLUE"	67
4.2.2 SISTEMA "STRIP BUILT"	67
4.2.3 SISTEMA "CANVAS ON FRAME"	68
<b>4.3 MATERIALS COMPOSTOS</b>	<b>69</b>
4.3.1 MARIUS	69
4.3.2 MATERIALS DE REFORÇ	70
4.3.3 LAMINAT PER CONTACTE MANUAL	71
4.3.4 LAMINAT PER PROJECCIÓ SIMULTÀNIA	71

---



---

4.3.5 LAMINAT PER CONTACTE MANUAL ASSISTIT PER BUIT	72
4.3.6 LAMINAT PER INFUSIÓ	72
<b>CAPÍTOL 5. SELECCIÓ DE MATERIALS</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTOL 6. ANÀLISI HIDRODINÀMIC</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTOL 7. ANÀLISI D'ESTABILITAT</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTOL 8. PROCÉS CONSTRUCTIU</b>	<b>85</b>
8.1 CONSTRUCCIÓ DEL SUPORT	85
8.2 CONSTRUCCIÓ DEL MODEL	86
8.3 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE	89
8.4 CONSTRUCCIÓ DEL KAYAK	90
<b>CAPÍTOL 9. CONCLUSIONS</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>95</b>
<b>ANNEX 1. PLÀNOL DEL KAYAK</b>	<b>96</b>
<b>ANNEX 2. LLISTAT D'EINES I MATERIAL NECESSARI PER A LA CONSTRUCCIÓ</b>	<b>98</b>
A1 1.1 CONSTRUCCIÓ DEL SUPORT	98
A1 1.2 CONSTRUCCIÓ DEL MODEL	99
A1 1.3 CONSTRUCCIÓ DEL MOTLLE	101
A1 1.4 CONSTRUCCIÓ DEL KAYAK	102
<b>ANNEX 3. PRESSUPOST DEL PROCÉS CONSTRUCTIU</b>	<b>104</b>
<b>ANNEX 4. PLANTILLES DE LES SECCIONS TRANSVERSALS I PERFILS</b>	<b>107</b>

# Llistat de Figures

Figura 1. Eslora – Imatge de Google.....	4
Figura 2. Mànega – Imatge de Google.....	4
Figura 3. Calat – Imatge de Google.....	4
Figura 4. Eslora de flotació – Imatge de Google.....	4
Figura 5. Mànega de flotació – Imatge de Google .....	4
Figura 6. Superfície molla – Imatge de Google.....	5
Figura 7. Àrea de flotació – Imatge de Google .....	5
Figura 8. Coeficient prismàtic - Imatge de Google .....	6
Figura 9. Coeficient de bloc - Imatge de Google .....	6
Figura 10. Coeficient de flotació - Imatge de Google .....	6
Figura 11. Coeficient de secció mestra – Imatge de Google .....	7
Figura 12. Parts principals del kayak - Imatge de Google.....	7
Figura 13. Inuits amb kayak - Imatge de Google .....	8
Figura 14. Descens del Sella [1] .....	9
Figura 15. Kayak K1 Sprint/Marató – Model 7S (NELO) [3].....	10
Figura 16. Kayak Polo – Model X Rock (Aquarius) [4].....	11
Figura 17. Kayak eslàlom – Model Slalom ML (Nelo) [3].....	11
Figura 18. Kayak Descens – Model Sicario (Kick The Waves) [5].....	12
Figura 19. Kayak estil lliure – Model Ripper (Piranha) [6] .....	13
Figura 20. Kayak surfski – Model Ocean Racing 560 (Nelo) [3].....	14
Figura 21. Kayak travessa – Model Ammasalik (Nelo) [3] .....	14
Figura 22. Kayak autobuidable – Model Calypso Sport (Islander Kayaks) [7] .....	15
Figura 23. Kayak inflable – St. Croix 360 (Zray) [8] .....	16

---

Figura 24. Kayak plegable – Model Inlet (Oru Kayaks) [9] .....	16
Figura 25. Centres de gravetat i carena en un kayak - Imatge de Google .....	18
Figura 26. Centre de carena segons escora [10] .....	19
Figura 27. Estabilitat primària - Imatge de Google .....	20
Figura 28. Estabilitat Secundària - Imatge de Google .....	20
Figura 29. Corba GZ segons escora [11] .....	21
Figura 30. Comparació corbes GZ segons forma del casc [10].....	22
Figura 31. Comparació corbes GZ segons forma del casc amb mateixa mànega [10] .....	22
Figura 32. Pantoc suau i pantoc marcat - Imatge de Google .....	23
Figura 33. Comparació corbes GZ en funció de l'altura del centre de gravetat [10] .....	24
Figura 34. Components de la resistència viscosa [12].....	25
Figura 35. Perfil de velocitats del flux hidrodinàmic en la capa límit – Imatge de Google .....	26
Figura 36. Coeficient de fricció vs. Número de Reynolds segons la línia de fricció Schoenherr (“ATTC line”), la línia ITTC 57 i la línia de Hughes [13] .....	27
Figura 37. Variació de P en funció de la relació mànega (B) - longitud cos de sortida (Lr).....	29
Figura 38. Variació de la resistència en funció de l'eslora (L) i la mànega (B) [12] .....	29
Figura 39. Distribucions típiques de pressió sobre una línia de corrent del casc (secció 10 a proa i 0 a popa) [14] .....	30
Figura 40. Patró d'ones de Kelvin – Imatge de Google .....	31
Figura 41. Representació esquemàtica de la suma de trens d'ones transversals generats per un casc a $F_n=0,4$ [14] .....	32
Figura 42. Exemple de corba de resistència per formació d'ones [14] .....	32
Figura 43. Velocitat teòrica del casc en funció de l'eslora - Font pròpia .....	33
Figura 44. Perfils longitudinals del kayak - Imatge de Google.....	36
Figura 45. Perfils transversals del casc - Imatge de Google .....	38
Figura 46. Importància qualitats del kayak - Font pròpia.....	41
Figura 47. Alçat, perfil i planta del kayak "Guillemot" [10] .....	42

---

Figura 48. Semiangle d'entrada a la línia de flotació [14] .....	43
Figura 49. Angle de la roda en la intersecció amb el pla de flotació [14] .....	44
Figura 50. Proa invertida [18] .....	44
Figura 51. Angle estella morta [19] .....	46
Figura 52. Quadernes sobre BitMap – Font Pròpia .....	47
Figura 53. Seccions transversals de la proa inversa – Font pròpia.....	48
Figura 54. Seccions transversals de la popa – Font pròpia.....	48
Figura 55. Superfície del kayak - Font pròpia .....	49
Figura 56. Superfície del kayak i cockpit - Font pròpia.....	50
Figura 57. Coeficient prismàtic - Font pròpia .....	51
Figura 58. Coeficient de bloc - Font pròpia .....	52
Figura 59. Coeficient de flotació - Font pròpia.....	53
Figura 60. Coeficient de secció mestra - Font pròpia.....	54
Figura 61. Frame of Reference - Font pròpia .....	54
Figura 62. Alçat del kayak amb seccions transversals - Font pròpia .....	55
Figura 63. Planta del kayak amb línies d'aigua - Font pròpia .....	55
Figura 64. Kayak amb línies d'aigua - Font pròpia.....	56
Figura 65. Kayak amb seccions transversals i línies d'aigua - Font pròpia .....	56
Figura 66. Taula hidrostàtica del kayak - Font pròpia .....	57
Figura 67. Corba d'àrees del kayak - Font pròpia.....	58
Figura 68. Proa del kayak a AutoCAD (mesures en cm) - Font pròpia.....	59
Figura 69. Angle roda proa inversa - Font pròpia.....	59
Figura 70. Popa del kayak a AutoCAD (mesures en cm) - Font pròpia.....	60
Figura 71. Angle d'estella morta (mesures en cm) - Font pròpia.....	61
Figura 72. Polietilè en pols – Imatge de Google .....	64
Figura 73. Polietilè pellet - Imatge de Google .....	64
Figura 74. Fabricació per rotomoldejat - Imatge de Google .....	65

---

---

Figura 75. Fabricació per extrusió - Imatge de Google .....	65
Figura 76. Kayak construït pel sistema "Stitch and Glue" - Imatge de Google .....	67
Figura 77. Kayak construït pel sistema "Strip Built" - Imatge de Google .....	68
Figura 78. Kayak construït pel sistema "Canvas on Frame" - Imatge de Google .....	68
Figura 79. Laminat per contacte manual [20] .....	71
Figura 80. Projectió simultània [20] .....	72
Figura 81. Laminació per infusió [20] .....	73
Figura 82. Evolució de la resistència a l'avanç en funció de la velocitat – Font pròpia .....	76
Figura 83. Evolució de la potència en funció de la velocitat - Font pròpia .....	76
Figura 84. Resultats de l'anàlisi hidrodinàmic del casc - Font pròpia.....	77
Figura 85. Gràfica comparativa de les diferents resistències a l'avanç - Font pròpia .....	78
Figura 86. Centre de gravetat d'una persona en posició de rem - Imatge de Google .....	80
Figura 87. Corba GZ del kayak en rosca .....	80
Figura 88. Corba GZ per a un palista de 60kg.....	81
Figura 89. Corba GZ per a un palista de 75kg.....	82
Figura 90. Corba GZ per a un palista de 90kg.....	82
Figura 91. Gràfica comparativa de corbes GZ – Font pròpia.....	83
Figura 92. Suport per al kayak - Font pròpia .....	86
Figura 93. Unió de dues bigues - Imatge de Google.....	86
Figura 94. Planta de l'extrem de la biga longitudinal (mesures en mm) - Font pròpia.....	87
Figura 95. Seccions transversals i biga acoblades - Font pròpia .....	88
Figura 96. Prototip final - Font pròpia .....	91

## Llistat de Taules

Taula 1. Dimensions establertes per la ICF en kayaks de pista – Font pròpia.....	10
Taula 2. Mesures del cos humà per a persones europees d'entre 18 i 60 anys d'edat [19] .....	40
Taula 3. Models de l'enginyer Nick Shade – Font pròpia .....	41
Taula 4. Característiques kayak "Guillemot" – Font pròpia .....	42
Taula 5. Valors recomanats per al semiangle d'entrada – Font pròpia.....	43
Taula 6. Comparativa valors hidrostàtics - Font pròpia.....	62
Taula 7. Rang d'aplicació del mètode Holtrop - Font pròpia.....	75

.

# Capítol 1. Introducció

## 1.1 Motivacions

La motivació principal d'aquest treball de final de grau surt de l'interès pel disseny i construcció de les embarcacions d'esbarjo. Un treball d'aquest tipus és, en la meua opinió, el que més es pot assemblar a la manera de procedir en un futur en la vida laboral. Aquest treball comprendrà doncs totes les etapes d'un projecte; estudi dels tipus de kayaks existents, determinar els paràmetres de disseny, realitzar el propi disseny en funció dels objectius, anàlisi de les metodologies de construcció així com dels materials utilitzats i finalment la proposta constructiva del prototip.

Poder dissenyar i construir un artefacte naval tangible que sigui estable, tingui un bon comportament hidrodinàmic i pugui ser governable és un objectiu personal i una de les, si no la principal, motivacions per les quals he cursat aquests estudis. Amb aquest treball doncs podré satisfer aquest desig. La idea principal sempre havia estat dissenyar una petita embarcació d'esbarjo de no més de 10 metres. L'elevat cost econòmic que un projecte d'aquest calibre comporta, la dificultat del procés constructiu i la falta de medis i recursos per a poder fer-ho, van fer que la idea final fos la de dissenyar i construir un kayak.

## 1.2 Objectius

Com bé es comenta en l'apartat anterior, l'objectiu d'aquest treball és dissenyar una embarcació tipus kayak analitzant les necessitats que pugui tenir un artefacte d'aquesta categoria. Es proposarà una metodologia de construcció del prototip mitjançant la utilització de materials compostos i fusta.

El projecte inclourà tots els aspectes tècnics en quant a estructura, hidrodinàmica i estabilitat, a part de les consideracions econòmiques i constructives mitjançant la selecció òptima de materials i la planificació d'un projecte d'execució que descrigui la construcció amateur del prototip.

Es buscarà un disseny que potencii un bon rendiment hidrodinàmic i una bona direccionalitat, de manera que pugui ser utilitzat com a element esportiu, amb estabilitat suficient per a que un practicant amateur pugui fer-ne ús.

L'embarcació serà dissenyada per a utilitzar-se en un ambient marí, principalment una navegació entre petites cales o platges de la costa. No es descarta tampoc un entorn més tranquil com podria ser un llac, pantà o canal.

Aquests objectius serviran de guia i punt de partida per a prendre decisions al llarg del treball.

### **1.3 Metodologia i planificació del treball**

Les primeres tasques seran d'investigació dels models de kayaks existents per a poder conèixer com és el món del kayak en l'actualitat. S'identificaran les principals característiques d'aquests i s'intentarà entendre el perquè d'aquestes. Això ajudarà a definir les característiques del disseny.

A continuació es procedirà amb la fase de disseny del prototip. Es començarà amb la identificació dels paràmetres bàsics de disseny i comportament del kayak. D'aquesta manera i veient com les característiques de disseny afecten a cada paràmetre es podrà definir quin és el disseny més òptim per a complir els objectius proposats. Quan s'hagi vist doncs com afecten les formes del disseny als paràmetres es dimensionarà el kayak definint les mesures principals. Tot seguit es realitzarà el disseny del prototip utilitzant eines CAD i software d'anàlisi naval.

Un cop definit el disseny final es farà un estudi i investigació de les metodologies de construcció i dels materials emprats en cada una.

Realitzada aquesta investigació començarà la fase de selecció de materials.

Finalment es proposarà una metodologia de construcció amateur, per a que qualsevol amant del kayak pugui construir el model.



## Capítol 2. Avantprojecte

### 2.1 Definició d'una embarcació tipus kayak

El kayak es una embarcació de tipus piragua en la que poden navegar d'un a quatre tripulants. El tripulant o palista s'acomoda assegut i orientat en la direcció d'avanç, la principal diferència respecte les embarcacions de rem, i propulsa l'embarcació amb l'ajut d'una pala de doble fulla. És una embarcació esvelta, l'eslora és llarga en relació a la mànega. Les formes varien segons la modalitat i el tipus d'aigües en el que es navegui, però en general pot considerar-se una embarcació petita en relació a altres i amb dissenys extraordinàriament hidrodinàmics, compactes i maniobrables. A l'actualitat existeixen tants dissenys i variables de kayak com usos potencials té. Tal varietat d'usos es tradueix en gran quantitat de models, com es veurà més endavant.

Els paràmetres principals que caracteritzen els kayaks són:

Figura 1. Eslora total (LOA): Longitud total del kayak

Figura 2. Mànega: Amplada total del kayak

Figura 3. Calat: Distància vertical submergida del kayak

Figura 4. Eslora de flotació: Longitud del kayak mesurada a la línia de flotació

Figura 5. Mànega de flotació: Amplada del kayak mesurada a la línia de flotació

Figura 6. Superfície molla: Superfície del casc del kayak que es troba en contacte amb l'aigua

Figura 7. Àrea de flotació: Àrea del casc kayak a la línia de flotació

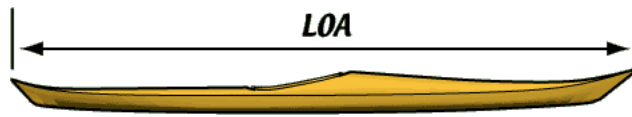


Figura 1. Eslora – Imatge de Google

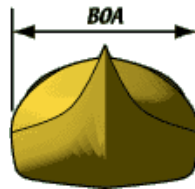


Figura 2. Mànega – Imatge de Google

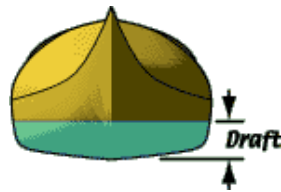


Figura 3. Calat – Imatge de Google



Figura 4. Eslora de flotació – Imatge de Google

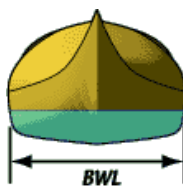


Figura 5. Mànega de flotació – Imatge de Google

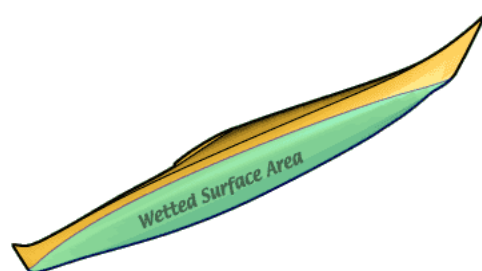


Figura 6. Superfície molla – Imatge de Google

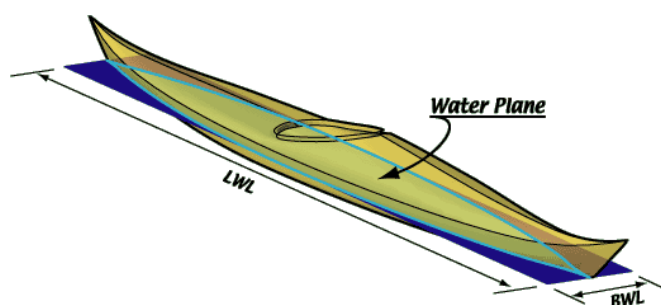


Figura 7. Àrea de flotació – Imatge de Google

A part d'aquests paràmetres també podem definir els coeficients de forma. Aquests donen una aproximació matemàtica de la forma del casc:

**Figura 8. Coeficient prismàtic ( $C_p$ ):** És la relació entre el volum de carena i el volum d'un prisma la base del qual té una àrea igual a la secció mestre i la seva longitud correspon a l'eslora. Aquest coeficient dona una idea de com està repartit el volum de carena longitudinalment. Un valor alt suposa una distribució uniforme de l'àrea de la secció mitja al llarg de l'eslora (molt cos cilíndric), mentre que si és baix la corba d'àrees de les seccions tindrà valors alts a la zona mitja i els extrems afinats.

**Figura 9. Coeficient de bloc ( $C_B$ ):** És la relació entre el volum de carena i el del paral·lelepípede que el conté. El volum del paral·lelepípede correspon al producte de l'eslora, la mànega i el calat. Un valor de  $C_B$  proper a la unitat suposa una embarcació de formes molt plenes mentre que quan més baix sigui el coeficient, més fines seran les formes.

**Figura 10. Coeficient de flotació ( $C_F$ ):** És la relació entre l'àrea del pla de flotació i el rectangle que la circumscriu. Quan l'embarcació té valors de  $C_F$  pròxims a 0,9, aquesta té molt cos central mentre que valors propers a 0,7, o inclús una mica menys, tindrà els extrems afinats.

Figura 11. Coeficient de secció mestra ( $C_{SM}$ ): És la relació entre l'àrea de la secció mestra i el rectangle que la circumscriu. Valors baixos d'aquest coeficient donen una idea d'una embarcació amb grans radis de pantoc i gran estella morta.

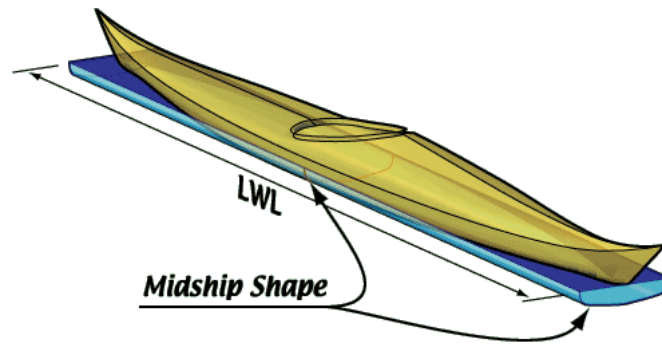


Figura 8. Coeficient prismàtic - Imatge de Google

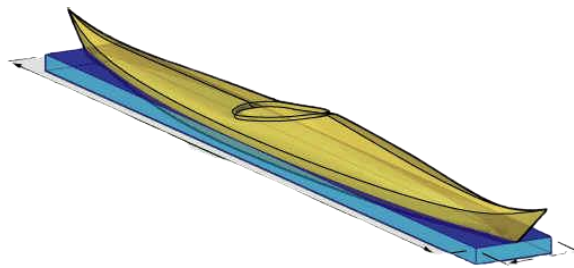


Figura 9. Coeficient de bloc - Imatge de Google

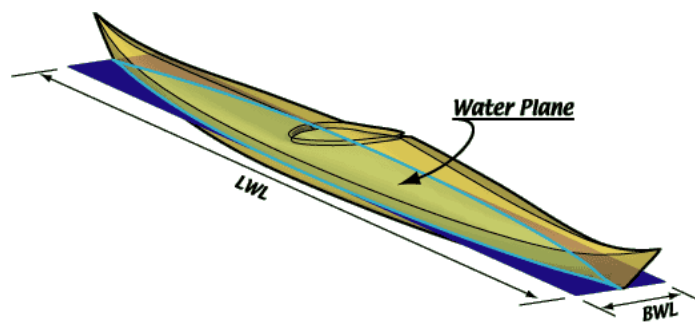


Figura 10. Coeficient de flotació - Imatge de Google

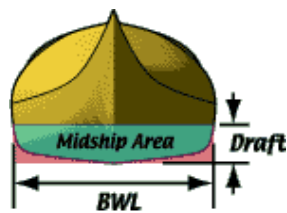


Figura 11. Coeficient de secció mestra – Imatge de Google

I malgrat que cada tipus de kayak té unes característiques que el diferencien dels altres, tots els models comparteixen unes parts comunes, que són:

1. Coberta: Part superior del kayak
2. Casc: Part inferior del kayak
3. Cockpit: Correspon a la zona per la que el palista entra al kayak
4. Seient: On s'acomoda el palista
5. Quilla: Línia central que recorre el kayak de proa a popa

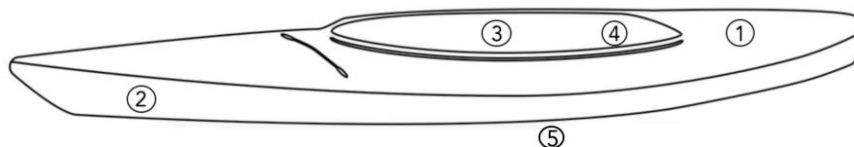


Figura 12. Parts principals del kayak - Imatge de Google

## 2.2 Història del kayak

El kayak és una de les embarcacions que més anys d'història acumula. Malgrat que avui en dia només s'utilitza de forma esportiva (ja sigui professionalment o com a hobby) hi va haver una època en la que era un instrument indispensable per a les poblacions àrtiques. Els primers pobles paleoesquimals que van creuar l'Estret de Bering, des de Sibèria cap a Alaska, ho van fer gràcies a unes petites embarcacions de pell conegudes com a «qajaq» (“roba d'aigua”). La coberta estava feta amb pell de foca (la pell més impermeable que existeix) o de morsa sobre una estructura que podia ser de fusta o ossos de caribú o balena. Per a millorar la flotabilitat omplien bufetes d'animals amb aire i les posaven a les seccions de proa i popa. L'enginy d'aquestes tribus i comunitats que habitaven llocs tan inhòspits els va brindar un tipus d'embarcació preparada tant per a la pesca i/o la caça com per a grans desplaçaments.



Figura 13. Inuits amb kayak - Imatge de Google

A mitjans del segle XIX John MacGregor, un explorador escocès, va construir un petit bot de fusta intentant copiar l'estructura dels kayaks esquimals, que havia vist en els seus viatges per Alaska i Kamchatka. Va ser ell precisament qui va introduir els kayaks a Europa, fundant el Royal Canoe Club a Anglaterra, primer club de piragüisme del món. El 27 d'abril de 1897 es va celebrar la primera carrera de piragües a les aigües del riu Tàmesi. La distància era d'una milla.

L'any 1900 un jove estudiant d'arquitectura alemany, Alfred Heurich, va construir un model de kayak desmuntable de fusta i lona engomada. 5 anys després en va vendre la patent a Johan Keppler, que es va convertir en un empresari fabricant kayaks desmuntables. Eren lleugers i fàcils de muntar i desmuntar, el que va fer que guanyessin molta popularitat a Alemanya. Gràcies a aquesta expansió es va celebrar el primer campionat de kayak l'any 1919. Més tard, als Jocs Olímpics de Berlín el 1936, va ser inclòs oficialment com a esport olímpic. El 1938, a Suècia, es va produir el primer campionat mundial de kayak. A partir de llavors el kayak (juntament amb la canoa) va guanyar popularitat arreu de tot el món.

L'any 1930 es va celebrar a Espanya el primer Descens Internacional del Sella, l'esdeveniment més representatiu del piragüisme espanyol. No és però fins el 1959 quan neix la Federació Espanyola de Piragüisme, desvinculant-se d'aquesta manera de la Federació Espanyola de Rem. En aquell moment hi havia fins a 180 palistes afiliats a tota Espanya. Des de els Jocs Olímpics de Barcelona el 1992 el piragüisme consta de dotze categories en aigües tranquil·les i quatre en aigües braves.



Figura 14. Descens del Sella [1]

## 2.3 Tipus de kayaks

Basant-nos en les modalitats reconegudes per la ICF (*International Canoe Federation*, Federació Internacional de Piragüisme) [2] podem distingir tres grans grups principals, segons el tipus d'aigües en que s'utilitzarà l'embarcació: les aigües tranquil·les, les aigües braves i les aigües marines.

### 2.3.1 Aigües tranquil·les

Es consideren kayaks d'aigües tranquil·les aquells que estan dissenyats per a navegar per rius, llacs, canals i/o piscines on els corrents d'aigua en condicions normals seran nuls o gens elevats. S'ha de tenir en compte però que les inclemències meteorològiques poden alterar l'estat d'aquestes aigües. Podem distingir gran varietat de modalitats en aquestes aigües:

#### 2.3.1.1 Kayak de pista

Es el kayak de competició per excel·lència. S'usa en rius, llacs o canals. Destaca per la seva reduïda mànega, el que provoca una gran inestabilitat, però també un gran rendiment hidrodinàmic. Podem trobar diferents models amb diverses mesures estàndard definides per la ICF en funció de la categoria de competició i el número de tripulants. Les dues categories reconegudes són la categoria esprint que *"consisteix en que equips d'una, dues o quatre persones avancin al llarg d'una trajectòria clara, definida i sense obstacles en el menor temps possible d'acord amb la normativa"* i la categoria marató que *"consisteix en que grups d'una, dues o quatre persones avancin al llarg d'una trajectòria de llarga*

distància en aigües obertes". A la categoria marató a més, "l'atleta ha de poder afrontar les condicions de l'aigua i estar preparat, si fos necessari, per a carregar el kayak entre dues vies navegables o per a superar obstacles". A la taula s'indiquen les dimensions establertes per la ICF:

Modalitat	K1	K2	K4
Eslora màxima (cm)	520	650	1100
Pes mínim, sprint (kg)	12	18	30
Pes mínim, marató (kg)	8	12	20

Taula 1. Dimensions establertes per la ICF en kayaks de pista – Font pròpia



Figura 15. Kayak K1 Sprint/Marató – Model 7S (NELO) [3]

### 2.3.1.1 Kayak polo

El kayak polo és un esport per equips (5 vs 5) en el que els jugadors han d'anotar el màxim de punts possibles introduint una pilota a la porteria contrària. El camp de joc és una piscina de 23x35 metres de longitud i les porteries, d' 1x1,5 metres, estan situades a cada extrem del camp a una alçada de 2 metres. Les mesures reglamentàries estableixen que els kayaks tinguin una eslora màxima de 3 metres i una mànega màxima de 65 centímetres. El pes mínim per a l'embarcació és de 7 kg. La ICF posa èmfasi principalment en les mesures de seguretat ja que al llarg dels partits hi ha gran quantitat de col·lisions. Totes les vores han de tenir un radi mínim establert i, a més, tant la proa com la popa han d'estar recobertes d'un material tipus espuma que absorbeixi els cops. Tots els pernys i cargols han de ser de perfil baix, llisos i, sempre que sigui possible, situats en petites entrades còncaues de manera que no sobresurtin.





Figura 16. Kayak Polo – Model X Rock (Aquarius) [4]

### 2.3.2 Aigües braves

Les aigües braves són aquelles en les que els corrents són molt elevats. Podem trobar-les de forma natural en rius o de forma artificial en canals. Tots els kayaks dissenyats per a ser utilitzats en aquestes condicions comparteixen una mateixa característica estructural; disposen d'uns acomodaments per a les cames on el palista es recolza i subjecta amb força per a aconseguir així més control sobre l'embarcació i tenir la possibilitat de realitzar certes maniobres amb agilitat i rapidesa.

#### 2.3.2.1 Kayak eslàlom

Aquesta modalitat de piragüisme consisteix en descendir en el menor temps possible i sense penalitzacions un riu o canal passant per una sèrie de portes (de 18 a 25) en ordre correlatiu i correctament franquejades. Si la porta és de color verd es travessa en el sentit del corrent mentre que si és vermella es farà en sentit contrari. Seguint la reglamentació de la ICF, els kayaks han de tenir una eslora mínima de 3,5 metres, una mànega superior a 60 centímetres i un pes mínim de 9 kg. Està prohibit portar instal·lat qualsevol tipus de timó així com de quilla. No pot haver cap sortint del casc superior a 2 centímetres.



Figura 17. Kayak eslàlom – Model Slalom ML (Nelo) [3]

### 2.3.2.1 Kayak de descens

El kayak de descens consisteix en recórrer un tram de diversos kilòmetres d'un riu en el menor temps possible. Es poden instal·lar pertorbacions de manera artificial al llarg del recorregut de manera que augmenti la dificultat tècnica de la prova. La ICF estableix que els kayaks d'aquesta modalitat han de tenir com a màxim una eslora de 4,5 metres i una mànega mínima de 60 centímetres. El pes mínim establert és de 10 kg. Al igual que en la modalitat d'eslàlom, qualsevol tipus de timó està prohibit. Les formes de proa i popa solen ser verticals i acumulen cert volum extra, especialment a proa. Aquesta característica els permet sortir a flotació ràpidament y comportar-se àgilment en salts i/o desnivells d'aigua.



Figura 18. Kayak Descens – Model Sicario (Kick The Waves) [5]

### 2.3.2.1 Kayak d'estil lliure

Segons la ICF, la modalitat d'estil lliure *“es un esport d'aigües braves en el que l'atleta realitza una sèrie de trucs i maniobres acrobàtiques en una pertorbació (natural o artificial) en un temps determinat”*. No existeixen restriccions en quant a les dimensions, tan sols s'han de respectar les normes de seguretat (han d'incloure diversos punts d'ancoratge de seguretat). En general són kayaks molt curts de casc arrodonit, d'aparença plana i en ocasions amb arestes. La proa acostuma a estar lleugerament elevada a diferència de la popa, que es situa més baixa. Totes aquestes característiques pretenen aconseguir una gran maniobrabilitat de forma que permeti al palista realitzar de forma ràpida i àgil els trucs propis d'aquesta disciplina com poden ser els girs abruptes o els loopings.



Figura 19. Kayak estil lliure – Model Ripper (Piranha) [6]

### 2.3.3 Aigües marines

Es en aquestes aigües on trobem la majoria de models de kayak existents, tant de competició com d'esbarjo. És important destacar que a diferència de les dues anteriors, aquestes estan fortament condicionades per factors externs com bé poden ser la meteorologia o el relleu marí.

#### 2.3.3.1 Kayak surfski

Aquest model és l'anàleg dels models de pista amb la diferència que s'utilitza al mar, de manera que l'embarcació ha de ser capaç de fer front a factors significatius com l'onatge, els corrents i el vent. Segons la ICF, *“les condicions del dia de competició han de ser acceptades. L'èmfasi estarà en les habilitats dels atletes per aprofitar les condicions exigents del mar per a ser els més ràpids al llarg del recorregut.”* Els models reglamentaris són el SS-1 (individual) i el SS-2 (doble). En quant a grandària, a diferència del kayak de pista, no s'exigeixen unes mesures estàndard. La ICF regula que han de ser embarcacions *Sit-on-top*, l'embarcació forma un compartiment estanc en el que el palista s'acomoda i queda exposat a l'entorn. Els paràmetres de construcció exigits són que *“totes les embarcacions han de tenir un punt reforçat on poder lligar una corretja de seguretat per al palista; que qualsevol obertura del casc que tingui un diàmetre superior a 12mm pugui segellar-se de forma mecànica”*. És característic d'aquest model que la proa tingui un volum superior al de la popa. Amb això s'aconsegueix minimitzar el capcineig produït per l'onatge, poder sobrepassar les ones en cas de mar de proa i poder surfejar-les en cas de mar de popa.



Figura 20. Kayak surfski – Model Ocean Racing 560 (Nelo) [3]

### 2.3.3.2 Kayak surf

El kayak surf és un esport que com bé suggereix el seu nom consisteix en surfejar les ones utilitzant la força propulsora d'aquestes. No es una modalitat reconeguda per la ICF de manera que no hi ha una reglamentació que digui com han de ser els kayaks. Se solen utilitzar els kayaks d'estil lliure donades les seves característiques de maniobrabilitat.

### 2.3.3.3 Kayak de travessa

Aquest es el model que més s'assembla al concepte original dels kayaks esquimals. El seu tret característic és la lleugera elevació de la proa i la popa, així com un perfil arrodonit que li permet escometre l'onatge amb seguretat. Està preparat per a poder recórrer grans distàncies i per això inclou compartiments estancs a proa i popa que permeten portar certa quantitat de càrrega com aliments, aigua instruments per a la pernoctació... El palista s'acomoda a l'interior del kayak i es cobreix amb un cobrebanyera que segella l'entrada d'aigua. Existeixen models amb timó i models sense timó.



Figura 21. Kayak travessa – Model Ammassalik (Nelo) [3]

### 2.3.3.4 Kayak autobuidable

Aquest es el model més comú entre tots els practicants no professionals. Podem trobar-los al llarg de tot el litoral (també en embassaments i llacs). Les seves formes fan d'ell una embarcació extremadament estable i fàcil de governar. A més, pel seu disseny, se'l considera insubmergible. L'aigua que entra es drena a través d'uns forats embornals que travessen la part inferior del casc. En nombroses ocasions compten amb un taló o timó a la popa que fa que l'estabilitat augmenti i els dota de certa direccionalitat. Venen en configuracions d'un a quatre palistes. Són populars per a passejos, travesses, busseig i pesca. Per a aquesta última activitat podem trobar kayaks amb gran quantitat d'accessoris i prestacions com suports per a les canyes, sondes i/o GPS, neveres per a l'esquer, ... El seient està situat lleugerament per sobre del nivell de l'aigua, de manera que el centre de gravetat del conjunt kayak-palista és més alt que en un kayak de competició. Per a compensar aquesta disminució de l'estabilitat es fa més ample la mànega, sense importar la pèrdua de velocitat que aquesta modificació comporta. Normalment aquests models han estat fabricats sempre de plàstic, fent-ne el seu preu molt assequible. En els últims anys però, han aparegut els models inflables. Comparteixen les mateixes característiques i tenen l'afegit de la facilitat de transport. Un altre model que ha aparegut recentment és el modular. No és exactament un tipus de kayak, ja que és autobuidable també, sinó un tipus de configuració. Com indica el seu nom, és un kayak que es pot muntar i desmuntar mitjançant mòduls amb la característica de poder adaptar-lo al número de palistes desitjat per a l'activitat. Finalment i més recentment ha aparegut un kayak autobuidable plegable. És un projecte innovador de l'empresa Oru Kayak, que agafa com a referència la llegendària tècnica japonesa *origami*. És una opció molt vàlida per a gent que viatja doncs combina un pes reduït, senzillesa de prestacions i portabilitat.



Figura 22. Kayak autobuidable – Model Calypso Sport (Islander Kayaks) [7]



Figura 23. Kayak inflable – St. Croix 360 (Zray) [8]



Figura 24. Kayak plegable – Model Inlet (Oru Kayaks) [9]

## Capítol 3. Disseny

### 3.1 Paràmetres de disseny del kayak

Tots els kayaks es caracteritzen per quatre qualitats fonamentals; l'estabilitat, la velocitat, la maniobrabilitat i la direccionalitat o tracking. Aquests paràmetres determinaran quin serà el disseny del kayak segons l'objectiu d'aquest.

#### 3.1.1 Estabilitat

L'estabilitat és la propietat d'un cos o sistema de tornar a la posició d'equilibri en cas de rebre una pertorbació. Dit d'altra manera, l'estabilitat a un kayak és la capacitat d'aquest de recuperar la posició d'equilibri inicial després d'escorar-se i inclinar-se. És un dels paràmetres de més importància, en especial quan el disseny està enfocat a palistes no gaire experimentats.

#### Forces que afecten a l'estabilitat

Hi ha dues forces principals que afecten a l'estabilitat del kayak:

- El pes total del conjunt kayak, palista, pala i altres accessoris, que formen una força total en sentit descendent i que pot considerar-se aplicada al centre de gravetat (CG) d'aquest conjunt.
- L'empenta hidrostàtica, quantificable segons el Principi d'Arquímedes per una força igual al pes del líquid desplaçat i que actua al centre de gravetat del volum geomètric del líquid desplaçat. Aquest punt rep el nom de centre d'empenta o carena (CE)

Per a que el conjunt es trobi en equilibri i sigui estable és necessari que es compleixin dues condicions; que la suma de forces i la suma de moments s'anul·lin. L'anul·lació de forces s'aconsegueix al variar el grau d'immersió del kayak, modificant d'aquesta manera l'empenta. A més immersió més empenta. Per a l'anul·lació dels moments, el centre de gravetat del conjunt i el centre de carena han de coincidir en la mateixa vertical.

Un cos que flota i està en equilibri ha de tenir el centre de gravetat a una profunditat major que el centre d'empenta. Si una força el desequilibra lleugerament, aquest sempre tendirà a equilibrar-se de nou i formar un sistema d'equilibri estable. En el cas del kayak però, el centre de gravetat sempre estarà per sobre del centre d'empenta degut a la posició del palista.

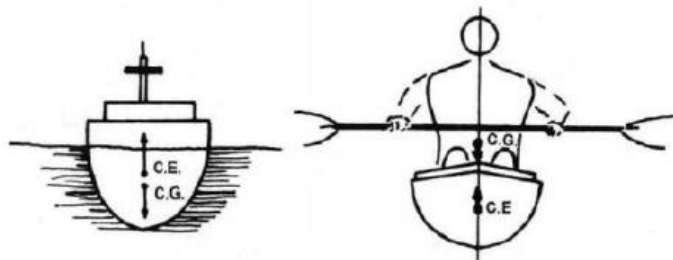


Figura 25. Centres de gravetat i carena en un kayak - Imatge de Google

Al produir-se una escora, traçant les verticals que passen pels centres de carena inicial i final, aquestes es creuen en un punt denominat metacentre. La distància entre el centre de carena i el metacentre es coneix com a radi metacèntric (CM). La distància entre el centre de gravetat i el metacentre es coneix com a altura metacèntrica (GM). És el valor representatiu de l'estabilitat inicial; quant més gran sigui, més estabilitat inicial.

Si una força modifica la situació inicial d'equilibri, el kayak escora. A mesura que el kayak escora el centre de gravetat es desplaça cap aquell mateix costat. Si el centre d'empenta no es mou cap al mateix costat es genera llavors un par escorant que farà bolcar el kayak. Aquesta situació és pròpia dels kayaks de competició en aigües tranquil·les. Al tenir seccions transversals cilíndriques el centre d'empenta no es veu modificat al augmentar l'escora i es genera el par escorant. Per evitar-ho ha de ser el propi palista amb el seu cos qui corregeixi el centre de gravetat. Aquesta maniobra resulta complicada per a una persona sense experiència, per això és fàcil que bolquin en aquests tipus de kayaks.



L'altre cas possible és que a l'escorar el kayak el centre de carena es vegi desplaçat cap al mateix costat que el centre de gravetat. Degut a la forma del casc del kayak aquest modifica la posició del centre d'empenta al desplaçar una major quantitat d'aigua a un costat i alliberant part del volum submergit a l'altre. S'afegeix doncs més volum submergit al costat cap el qual s'inclina el conjunt, el que produeix que el desplaçament del centre de carena sigui cap aquell mateix costat. Es genera el que es coneix com a braç redreçant (GZ) i parlem llavors d'un kayak estable. Quan el centre de carena es mou més ràpid d'un costat a l'altre que el centre de gravetat ens trobem amb un kayak molt estable.

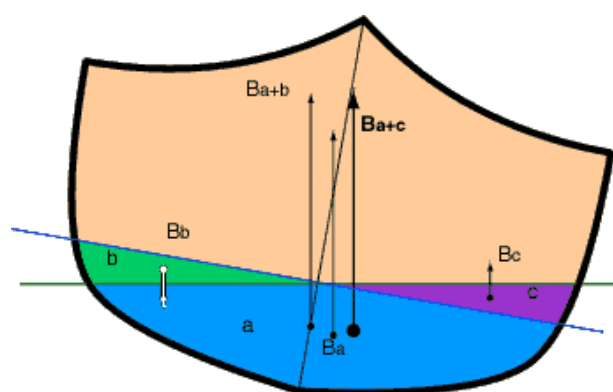


Figura 26. Centre de carena segons escora [10]

En la figura anterior, la línia blava marca el nivell de l'aigua en la situació inicial. Un cop es produeix l'escora, el nivell de l'aigua queda marcat per la línia verda. S'observa com el volum verd "b" deixa d'estar submergit mentre que el volum violeta "c" passa a estar-ho. El centre de carena original " $B_{a+b}$ " passa a " $B_a$ " quan fem la sostracció del volum "b" i finalment acaba a " $B_{a+c}$ " al afegir el volum "c".

Veiem que depenent de les formes del casc del kayak i l'altura del seient podem controlar l'estabilitat; el casc podrà ajudar a crear una força de retorn al sistema d'equilibri del kayak i l'altura del seient pot fer que el centre de gravetat sigui el més baix possible.

#### Tipus d'estabilitat:

En el disseny de kayaks es coneixen dos tipus d'estabilitats; l'estabilitat primària o inicial i l'estabilitat secundària.

L'estabilitat primària és la tendència del kayak a resistir a escorar. Aquesta depèn de la forma de la base del casc ja que quan més pla sigui aquest, més volum d'aigua hi ha al pla de flotació. Els kayaks

autobuidables són un clar exemple de disseny amb una gran estabilitat primària. Quan més gran és aquest volum més esforç es requereix per escorar, de manera que l'estabilitat primària serà major. La forma de les seccions transversals no té molta importància ja que al parlar de petites escores, no hi ha gaire superfície del pantoc que entri o surti de l'aigua. La forma de les seccions transversals únicament afecta a l'estabilitat a mesura que l'angle d'escora es va fent més gran. A partir de certes escores, parts que estaven per sobre de la línia de flotació se submergeixen i parts que estaven submergides passen a estar per sobre la línia de flotació. Com s'ha comentat anteriorment, el centre de carena es desplaça i es genera un moment redreçant.

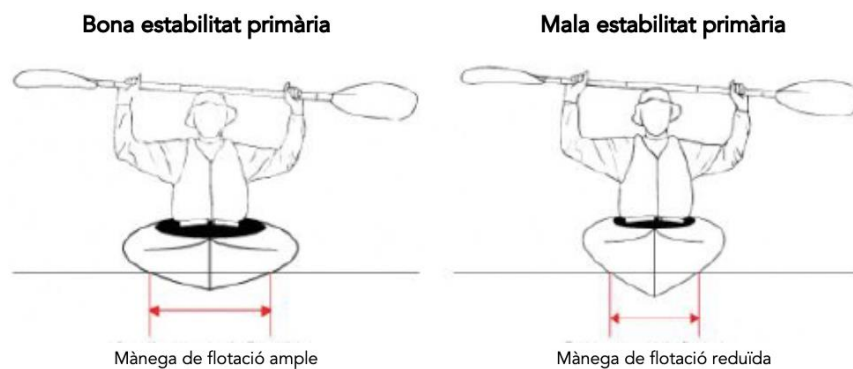


Figura 27. Estabilitat primària - Imatge de Google

Podem dir per tant que l'estabilitat secundària és la capacitat d'un kayak de generar un moment redreçant quan l'escora sigui superior a  $10^\circ$ . Dependrà de la mànegua de flotació i les formes de les seccions transversals. Quant més volum hi hagi per sobre de la línia flotació més gran serà el par redreçant i en conseqüència més estable serà el kayak.

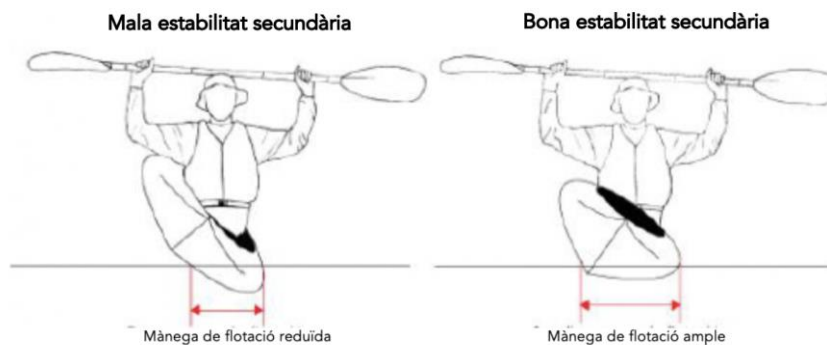


Figura 28. Estabilitat Secundària - Imatge de Google

Com es pot veure de forma evident, el valor del braç redreçant del kayak depèn de la seva escora, de manera que es pot calcular una corba de braços redreçants en funció de l'angle d'escora:

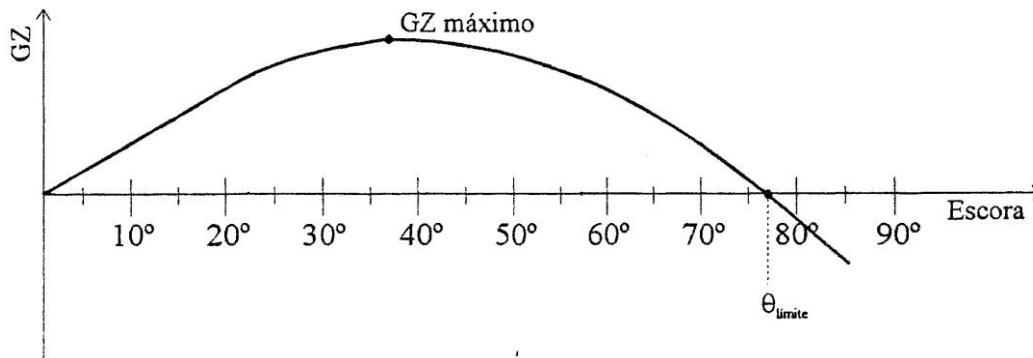


Figura 29. Corba GZ segons escora [11]

Aquí es representen tres dades importants:

- L'altura de la corba en un angle donat, que indica la quantitat de força que està fent el kayak per a tornar a la posició inicial.
- El pendent de la corba en qualsevol angle, que correspon a l'altura metacèntrica.
- L'àrea sota la corba, que correspon a l'energia necessària per a escorar el kayak fins a un cert angle.

Podem fer-ne diverses observacions:

- Fins als 10° d'escora la corba correspon a l'estabilitat primària. Mirant la gràfica podrem determinar si aquesta serà elevada o no. Quant més gran sigui el pendent en aquest primer tram més gran serà GM per tant més gran l'estabilitat primària.
- Un par redreçant més elevat o a una escora elevada indica bona estabilitat secundària.
- A partir de l'angle límit el braç passa a ser negatiu i el moment realitzat fa bolcar el kayak.

Comparació de diferents formes de casc i com afecta cada una a l'estabilitat:

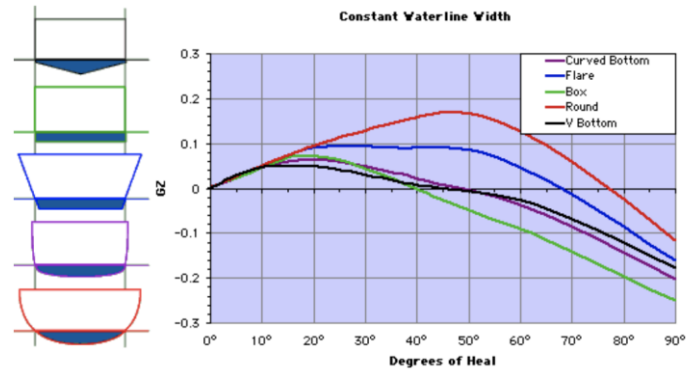


Figura 30. Comparació corbes GZ segons forma del casc [10]

A la figura de sobre podem observar la comparació de les corbes GZ en funció de l'escora per a diferents formes de casc. S'observa que cada forma té una mànega diferent, però la mànega de flotació i el volum de flotació és el mateix per a cada cas. Les corbes, per a escorses menors a 10º, són gairebé idèntiques sense importar la forma del casc per sobre la línia de flotació. Això demostra que l'estabilitat inicial depèn de la mànega de flotació i el volum submergit i no de la forma del kayak sencer.

Encara que sigui d'esperar que un kayak amb el casc arrodonit (vermell) sigui el menys estable, en aquest cas té la major estabilitat perquè sobresurt molt per sobre de la línia de flotació, aconseguint així una bona estabilitat secundària. I malgrat que el casc amb forma acampanada (blau) tingui una mànega similar, la distribució del volum de forma arrodonida dona més estabilitat. Qualsevol forma que s'eixampli per sobre de la línia de flotació tendirà a tenir més estabilitat secundària.

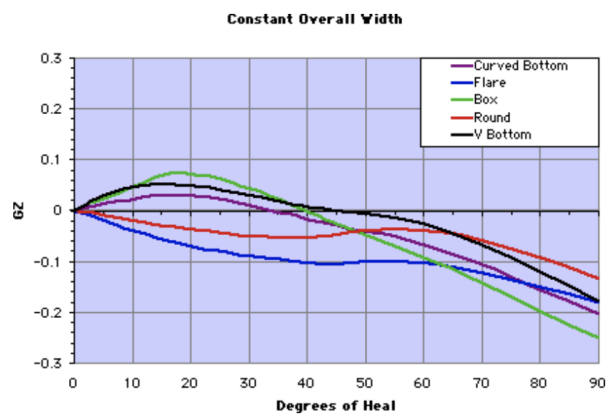


Figura 31. Comparació corbes GZ segons forma del casc amb mateixa mànega [10]

En aquesta segona gràfica s'han utilitzat les mateixes formes de casc que en el cas anterior, aquest cop però fent que la mànega total coincideixi. Ara s'observa com el casc arrodonit és considerablement menys estable que abans, degut a que la mànega de flotació s'ha vist reduïda de forma notable. Això demostra que el conèixer la mànega d'un kayak no és tant informatiu com pot semblar. És més útil conèixer ambdues mànegues (total i flotació).

És important també pel que fa a l'estabilitat la forma del pantoc. El pantoc és la part de transició que hi ha entre el costat i el fons del casc. Aquestes transicions poden ser més arrodonides (pantoc suau) o amb línies més rectes (pantoc marcat). Un pantoc suau millora l'estabilitat secundària mentre que un de marcat en millora la primària.

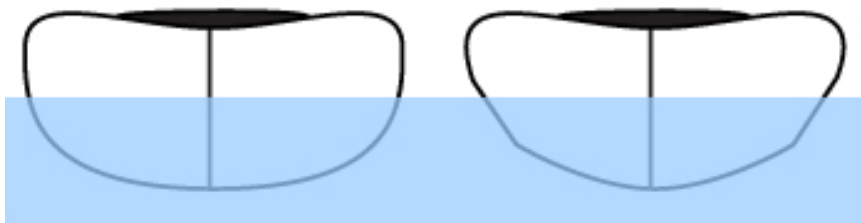


Figura 32. Pantoc suau i pantoc marcat - Imatge de Google

#### Comparació de diferents altures del CG i com afecta cada una a l'estabilitat:

Augmentar o disminuir l'altura del centre de gravetat afecta a l'estabilitat d'una manera previsible. La variació en l'estabilitat es pot calcular si el canvi de situació d'aquest punt és precís i conegut. Aquest canvi és però intrínsec i únic per a cada palista i no depèn del disseny del kayak, de forma que no té molt sentit fer aquests càlculs.

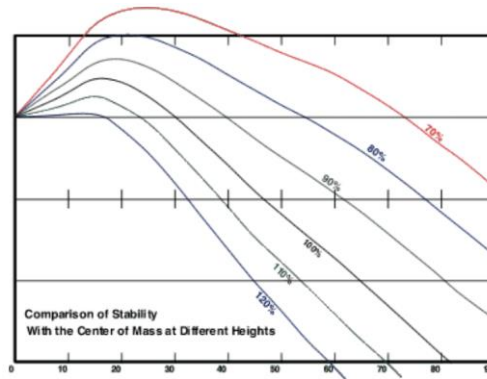


Figura 33. Comparació corbes GZ en funció de l'altura del centre de gravetat [10]

Aquesta gràfica mostra els efectes de canviar l'altura del centre de gravetat. La línia central (100%) representa un centre de gravetat a 25 centímetres sobre el nivell de l'aigua. Cada corba representa un augment o disminució d'aquesta alçada, variant 2,5 centímetres l'alçada entre cada una. Un palista amb el centre de gravetat més elevat que un altre notarà menys estable un mateix kayak. Els palistes baixets trobaran sempre més estables els kayaks.

Tenint en compte que és el kayakista doncs qui determina la posició del centre de gravetat, l'única manera de poder incidir en aquest paràmetre en la fase de disseny es controlar l'altura del seient. Si el disseny contempla un seient més baix s'aconsegueix augmentar l'estabilitat. Per contra, si se situa el seient en una posició elevada l'estabilitat disminuirà.

### 3.1.2 Velocitat

La velocitat d'un kayak depèn de la força de propulsió que genera el palista amb el rem i de la quantitat d'energia generada per aquest esforç que s'acaba transformant en moviment. Parlar de velocitat és doncs un concepte no gaire concret, ja que dependrà d'un paràmetre totalment aliè al disseny del kayak, la força del palista. Parlarem llavors de l'eficiència d'un kayak, entesa com a quantitat d'energia aplicada transformada en moviment. Per a una velocitat donada, un kayak eficient requerirà menys esforç, o dit d'altra forma, per a un determinat esforç un kayak més eficient es mourà amb més velocitat. L'eficiència es pot quantificar com a resistència a l'avanç.

La resistència a l'avanç es pot definir com la força neta en la direcció del fluid que aquest fluid exerceix sobre un objecte que es mogui a través d'ell. Per al cas d'un kayak actuen dos fluids diferents: l'aire i l'aigua. Parlarem doncs de resistència aerodinàmica i hidrodinàmica. La resistència generada per l'aire

però, suposa un 2-4% de la resistència total, de manera que es pot considerar nul·la i ens centrem només en la hidrodinàmica. La resistència hidrodinàmica es pot descomposar en dos components de resistència principals: la resistència viscosa ( $R_v$ ) i la resistència per formació d'ones ( $R_w$ ).

Resistència viscosa

Com bé indica el nom, la resistència viscosa depèn de fenòmens viscosos, per tant variarà en funció del número de Reynolds, que es regeix per:

$$Rn = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu}$$

On;  $\rho$  és la densitat en  $kg/m^3$ ,

$V$  és la velocitat en  $m/s$ ,

$L$  és la longitud en  $m$ ,

$\mu$  és la viscositat dinàmica en  $kg/m \cdot s$ ,

$\nu$  és la viscositat cinemàtica en  $m^2/s$

La resistència viscosa es pot descomposar al mateix temps en resistència per fricció ( $R_f$ ) i resistència per pressió d'origen viscosos ( $R_{POV}$ ).

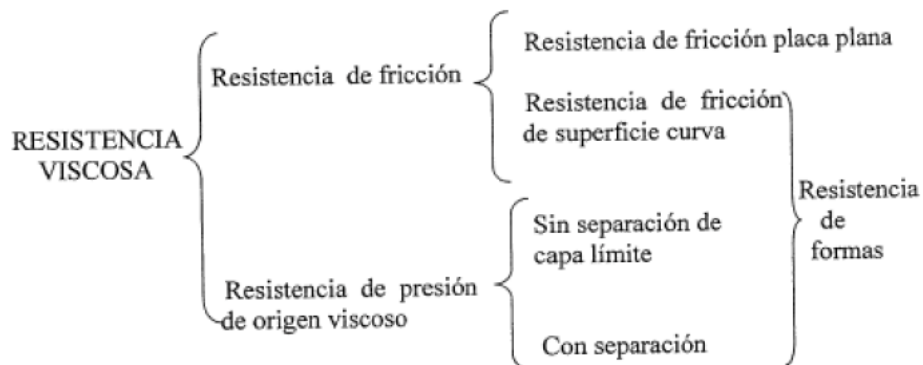


Figura 34. Components de la resistència viscosa [12]

La resistència per fricció es produeix per la fricció directe entre el cos submergit i l'aigua. L'aigua no llisca per damunt del sòlid sinó que una petita capa queda enganxada a ell. La següent làmina és arrossegada per aquesta primera capa, però per efectes de la viscositat aquesta no és solidària i es mou a una velocitat lleugerament inferior. Així doncs ens trobarem amb capes que es mouen a velocitats inferiors a mesura que anem allunyant-nos del casc fins a arribar a un punt en que l'aigua ja no es veu influenciada pel moviment del cos submergit. Aquesta zona on el moviment del fluid està pertorbat pel contacte amb el sòlid submergit rep el nom de capa límit. La velocitat variarà des del 0% fins al 99% de la velocitat de la corrent no pertorbada. A la següent figura es pot observar la distribució típica de la variació de la velocitat de l'aigua a mesura que ens allunyem del sòlid.

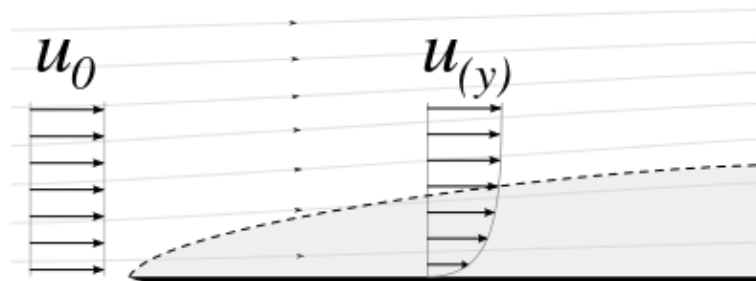


Figura 35. Perfil de velocitats del flux hidrodinàmic en la capa límit – Imatge de Google

La contribució de cada punt de la superfície del casc a la resistència de fricció és proporcional a la variació de la velocitat del fluid a mesura que augmenta la distància de la capa límit, amb la viscositat del fluid com a constant de proporcionalitat.

El càlcul de la resistència de fricció requereix tècniques experimentals. Al llarg del temps s'han desenvolupat però fórmules empíriques obtingudes per a plaques planes que poden ser d'utilitat. S'entén que la placa plana avança pel fluid paral·lelament al seu propi pla, de manera que la única força que experimenta és la resistència de fricció. A la Figura 36 es mostren les línies de fricció i els coeficients de fricció obtinguts a partir de diferents tècniques.



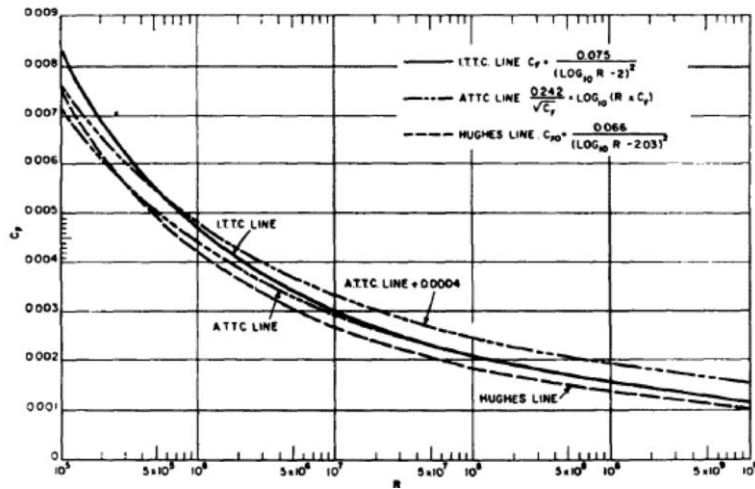


Figura 36. Coeficient de fricció vs. Número de Reynolds segons la línia de fricció Schoenherr ("ATTC line"), la línia ITTC 57 i la línia de Hughes [13]

La més coneguda i acceptada és la ITTC 57, línia de fricció estàndard definida per la *International Towing Tank Conference* el 1957. Segons aquesta corba és possible calcular la resistència friccional d'una placa plana a partir de :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10}(Rn) - 2)^2}$$

On  $C_F$  és el coeficient adimensional de fricció, definit a partir de la resistència de fricció per:

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \rho S V^2}$$

On;  $V$  és la velocitat en m/s,

$S$  és la superfície molla en  $m^2$ ,

$\rho$  és la densitat en  $kg/m^3$ .

Un augment de l'eslora implica un augment de la superfície molla, per tant un augment de la resistència de fricció.

D'altra banda, la resistència de pressió d'origen viscos es deu a una diferència de les forces de pressió sobre el casc generada per fenòmens viscosos. Aquesta força és normal a la superfície i s'oposa al moviment. Com es comenta anteriorment, quan el cos es mou a través d'un fluid amb viscositat, es genera una capa límit al voltant del casc que augmenta d'espessor progressivament de proa a popa. Les línies de corrent a la zona de popa queden més obertes del que haurien, el que implica major velocitat. El principi de Bernouille enuncia que a major velocitat menys pressió. Seguint aquest principi, a popa es genera llavors una depressió. Aquest gradient negatiu de pressió de proa popa genera una resistència per pressió d'origen viscos. Un augment de l'eslora per a una màniga donada implica formes més esveltes per tant una resistència de formes (que segons la Figura 34 equival a la resistència de fricció de superfície corba +  $R_{POV}$ ) decreixent, com es mostra a la Figura 38. La resistència de formes decreix degut a:

$$\frac{R_{POV}}{1/2 \rho S V^2} = k C_{POV}$$

On la constant de proporcionalitat k ve definida per:

$$k = \sqrt{\frac{\Delta}{\rho L^3}} \left( 2,2C_B + \frac{P}{C_B} \right)$$

On;  $C_B$  és el coeficient de bloc,

$\rho$  és la densitat en  $\text{kg/m}^3$ ,

$\Delta$  és el desplaçament en t,

L és l'eslora en m,

P és un paràmetre definit per la Figura 37 .

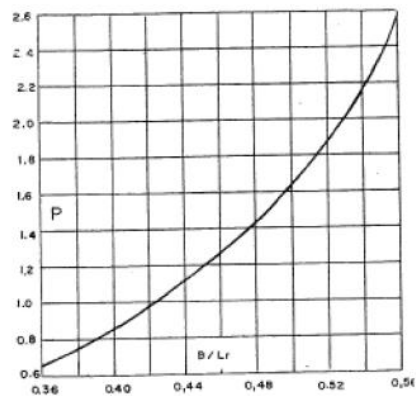


Figura 37. Variació de P en funció de la relació mànega (B) - longitud cos de sortida (Lr)

Podem concloure per tant que a major eslora, per a un determinat desplaçament, menor resistència de pressió d'origen viscos. Per contra, quant més gran sigui la mànega per a un determinat desplaçament, més resistència d'origen viscos.

Young va realitzar experiments amb el·lipsoides de revolució d'eix menor D i longitud L. Va estudiar-ne la relació L/D i la resistència de cada relació. Aquest quocient es pot extrapolar a la relació d'eslora-mànega d'una embarcació. Els resultats obtinguts donen lloc a la variació següent:

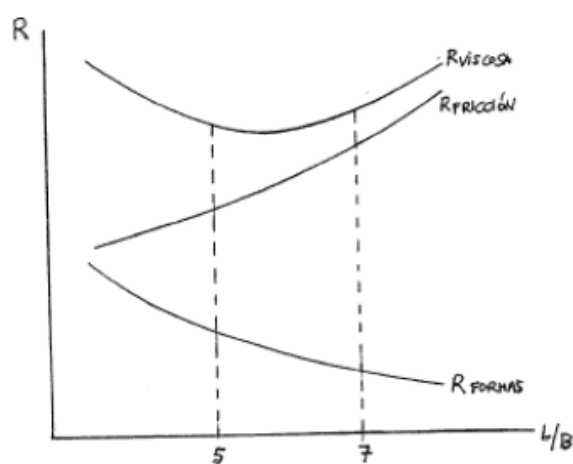


Figura 38. Variació de la resistència en funció de l'eslora (L) i la mànega (B) [12]

Les conclusions són clares: la resistència de formes disminueix al augmentar l'esveltesa del cos mentre que la resistència per fricció es comporta de forma oposada. L'equilibri es troba en una relació L/B entre 5 i 7, on la resistència viscosa llavors serà mínima.

La curvatura longitudinal del cos submergit però pot produir el que es coneix com a despreniment de la capa límit. Les partícules, en règim laminar o turbulent, avancen sempre en la direcció del flux. Quan es produeix despreniment, es creen remolins i les partícules ja no avancen només, sinó que poden retrocedir. Una partícula que va de proa a popa passa primer per un gradient de pressions favorable (negatiu) que després s'inverteix. La combinació de les forces de fricció amb haver d'anar contra pressió a partir d'un cert punt fa que les partícules canviïn de direcció, produint-se el despreniment. Es generen uns vòrtex on la velocitat és molt alta, de manera que seguint l'equació de Bernouille, es produeix una baixada de pressió. Aquesta depressió és més elevada encara que si no hi hagués despreniment, de manera que augmenta de forma considerable la resistència per pressió d'origen viscos.

La Figura 39 mostra tres configuracions de la distribució de la pressió al llarg d'una línia de corrent sobre el casc d'una embarcació. La primera correspon a un cas ideal en el que el fluid no té viscositat. La distribució de la pressió és equilibrada de manera que la resistència per pressió d'origen viscos és nul·la. L'efecte de la viscositat es pot apreciar en la segona i tercera corba, aquesta última amb despreniment de la capa límit. El desequilibri generat provoca l'aparició d'aquesta resistència. Un disseny adequat de les línies d'aigua del casc (curvatura longitudinal) pot reduir de forma apreciable aquest component de la resistència.

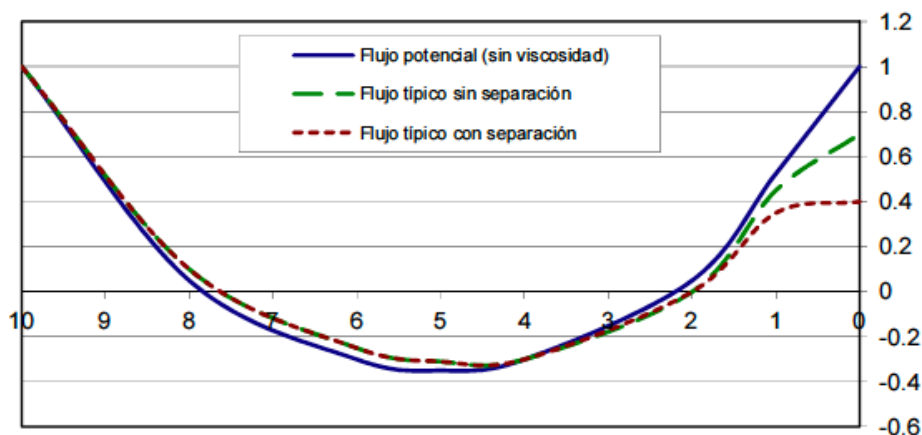


Figura 39. Distribucions típiques de pressió sobre una línia de corrent del casc (secció 10 a proa i 0 a popa) [14]

### Resistència per formació d'ones

La resistència per formació d'ones es deu a l'energia utilitzada per generar ones. Les ones són un fenomen de caràcter gravitacional caracteritzat pel número de Froude ( $F_n$ ), que es regeix per:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

On;  $V$  és la velocitat en m/s,

$g$  és la gravetat en  $m/s^2$ ,

$L$  és l'eslora en m.

L'embarcació al navegar genera dos sistemes d'ones divergents (a proa i a popa) i un sistema d'ones transversal, que és on es perd més energia.

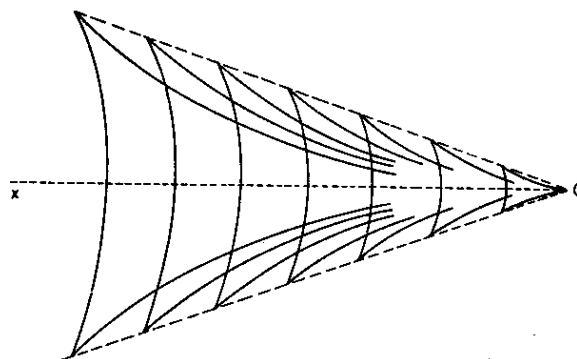


Figura 40. Patró d'ones de Kelvin – Imatge de Google

A baixes velocitats les ones generades pel casc són de baixa amplitud, el que implica llavors que gairebé tota la resistència serà d'origen viscos. Al augmentar la velocitat el patró d'ones canvia, es veu alterada la longitud d'ona i l'altura. En aquest procés hi ha una sèrie de velocitats on les crestes del sistema d'ones generat se sumen entre elles generant una interferència positiva, com es pot observar en la Figura 41. Hi ha altres velocitats en canvi on les ones es cancel·len entre elles, generant una interferència negativa.

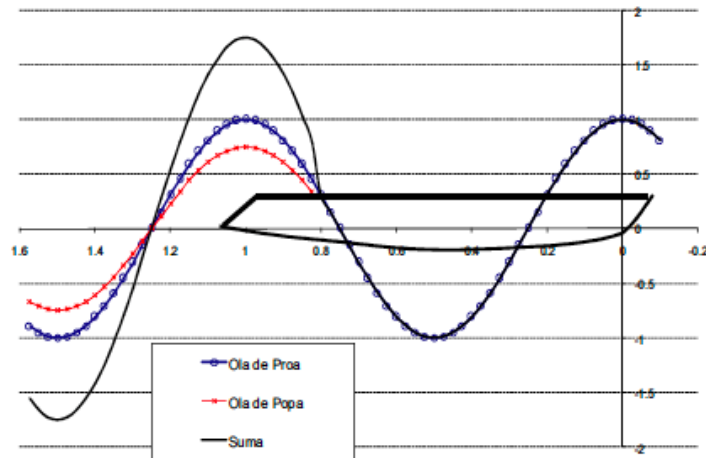


Figura 41. Representació esquemàtica de la suma de trens d'ones transversals generats per un casc a  $Fn=0,4$  [14]

Coneixent que l'energia d'una ona depèn del quadrat de l'amplitud, l'efecte d'interferència provoca oscil·lacions en la component de resistència per formació d'ones. En la corba de resistència, a mesura que anem augmentant de velocitat es creen màxims per a certs punts (interferència positiva) i mínims per a d'altres (interferència negativa). Donat que la resistència per formació d'ones apareix per la pèrdua d'energia transportada per les ones, els fenòmens d'interferència tenen gran importància.

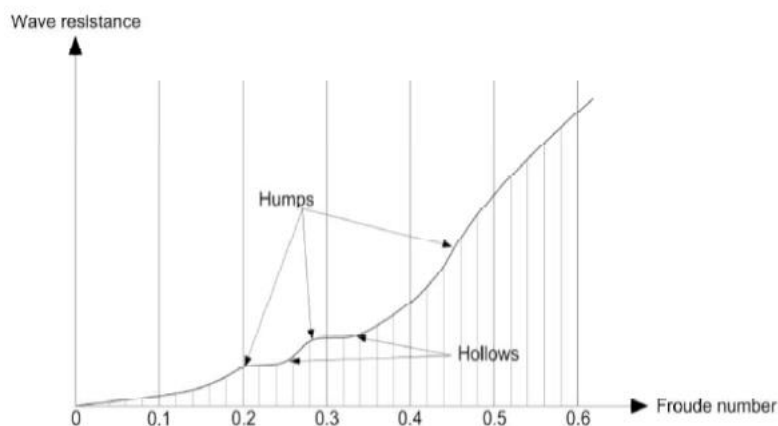


Figura 42. Exemple de corba de resistència per formació d'ones [14]

El fenomen d'interferència és important també a l'hora d'establir els límits de velocitat de l'embarcació. A mesura que augmenta la velocitat de l'embarcació augmenta també l'altura i longitud d'ona, fins que la longitud coincideix amb l'eslora de flotació de l'embarcació. En aquest moment el casc avança

“encaixonat” entre la cresta de proa i la de popa. En aquest punt, si es pretén augmentar la velocitat, el casc haurà de remuntar i escalar la pròpia ona de proa, iniciant-se el que es coneix com a planatge. El kayak però es una embarcació de desplaçament (es mou en nombres de Froude baixos), i necessitaria un increment molt elevat de potència per remuntar aquesta ona. Parlarem llavors de velocitat límit o velocitat teòrica del casc. Aquesta velocitat es pot calcular segons:

$$V_{m\grave{a}x} = 2,43\sqrt{L}$$

On;  $L$  és l’eslora en m.

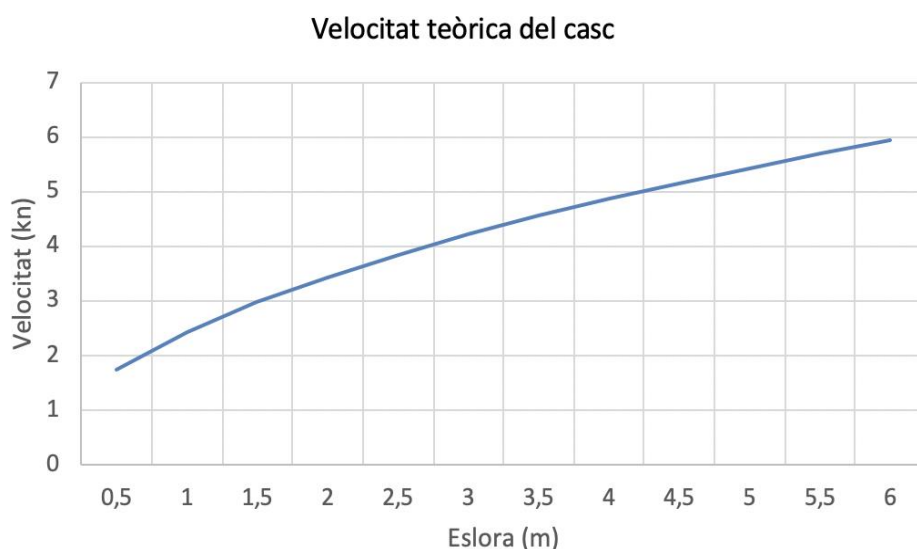


Figura 43. Velocitat teòrica del casc en funció de l'eslora - Font pròpia

Podem deduir per tant que un kayak de major eslora assolirà una velocitat superior que un de menor eslora. S’ha de tenir en compte però que els kayaks (en funció de la condició física del palista) són capaços de mantenir altes velocitats sobrepassant la velocitat teòrica; en modalitats de competició s’arriben a sobrepassar els 10 nusos de manera sostinguda durant llargues distàncies. Això és degut a les reduïdes mànegues de flotació que tenen, reduint així al màxim l’efecte de les ones generades a popa del kayak.

A la pràctica però, la resistència per formació d'ones no pot calcular-se de manera experimental, pel que se sol parlar en el seu lloc de l'anomenada resistència residual, que engloba la resistència per formació d'ones i els efectes de la interacció de la resistència de pressió d'origen viscos amb la resta de components.

Vistes les components de la resistència a l'avanç, és important determinar com afecten diferents dissenys i configuracions a la hidrodinàmica del kayak. Les tres dimensions principals del kayak i les formes del casc afecten de la següent manera:

### Eslora

Com més gran és l'eslora més augmenta la superfície molla de manera que la resistència de fricció és superior. El pic de pressions a popa però no disminueix tant, de manera que el risc que es produeixi separació de la capa límit baixa, la resistència de pressió per origen viscos baixa. Com la resistència de fricció augmenta i la de pressió baixa el resultat és incert. És important doncs seguir la recomanació de la corba de Young (Figura 38) per aconseguir un mínim de resistència viscosa.

Pel que fa a la resistència per formació d'ones, com s'ha vist anteriorment, una major eslora permetrà assolir una velocitat límit superior.

### Mànega

Mantenint les altres dimensions constants, per una mànega superior la resistència viscosa augmenta clarament. D'una banda augmentem la superfície molla (resistència per fricció superior) i per l'altra augmentem el risc de despreniment de capa límit (resistència de pressió d'origen viscos més gran).

La resistència per formació d'ones també augmenta amb una mànega superior donat que aquesta pertorba més la superfície lliure.

### Calat

És important recalcar que aquest paràmetre de disseny queda sota la forta influència del palista. A major pes, més calat. És un paràmetre doncs que variarà de forma considerable en funció de qui utilitzi el kayak. Un augment del calat fa pujar l'àrea de superfície molla, per tant augmenta la resistència viscosa. La resistència per formació d'ones no es veu afectada perquè no pertorba la superfície lliure.



### Perfil del casc

La curvatura transversal genera una disminució de l'espessor de la capa límit respecte al de placa plana. Es produeix un aplanament del perfil de velocitats i en conseqüència un augment dels esforços tallants. A menor radi de curvatura l'espessor de la capa límit augmenta. A més radi, la curvatura és més suau i no es genera desprendiment de capa límit. La resistència generada per la curvatura transversal només representa un 2-4% de la resistència total però, sent la zona dels pantocs on aquest efecte és més acusat.

La curvatura longitudinal està relacionada amb l'esveltesa del casc. Com més esvelt sigui, menys resistència total.

### Coeficients de forma

Un elevat coeficient prismàtic suposa "omplir" les formes del vaixell, de manera que augmenta la resistència de pressió per origen viscosos i en conseqüència la viscosa.

Pel que fa a la resistència per formació d'ones, augmentar el coeficient prismàtic és reduir el desplaçament central i incrementar-lo als extrems. Per a velocitats baixes ( $F_n < 0,3$ ), com és el cas dels kayaks, la cresta de l'ona es forma més a proa. Al tenir una proa amb més desplaçament enlloc d'una amb formes més fines, aquesta ona es pertorba més. Aquesta pertorbació fa que la resistència per formació d'ones sigui més gran.

Observant aquests comportaments es fa evident que un coeficient prismàtic més baix reduirà la resistència hidrodinàmica total.

En paral·lel a l'augment del coeficient prismàtic, el coeficient de bloc també augmenta, el que indica que els increments d'aquest factor també reflecteixen un augment de la resistència a l'avanç.

### **3.1.3 Direccionalitat o tracking**

La direccionalitat és la capacitat del kayak per a mantenir un rumb. Aquesta qualitat es veu principalment afectada per tres variables que són la eslora, la forma del casc i la presència o no de timó. A priori pot semblar una característica important a tenir en compte i potenciar, a tots ens agrada un kayak que vagi en línia recta. Això però pot ser una càrrega en situacions com surfejar, maniobres ràpides o navegar en ràpids prop de roques.

A major eslora en relació a la mànega, més superfície lateral molla tindrà el kayak, de manera que serà més difícil desviar-se d'un rumb. Aquest augment de l'eslora afectarà a altres característiques fonamentals del disseny, per tant s'haurà de valorar quina característica es vol potenciar per sobre de les altres.

La forma del casc té un paper molt protagonista en la direccionalitat. Vist transversalment, quan el kayak té un casc amb formes planes o arrodonides aquest té més dificultats per seguir en línia recta, però si es tracta d'un disseny en forma de "V", millora de forma notable la direccionalitat. La forma de la proa i el perfil longitudinal del casc també afecten a la direccionalitat. Una proa recta proporciona bona direccionalitat mentre que una proa corba el contrari. El perfil longitudinal del casc pot tenir formes més planes o el que es coneix com a perfil rocker. Quan més corbat sigui el perfil, més rocker. Un perfil rocker disminueix la direccionalitat, la proa i la popa estan més elevades per tant hi ha menys superfície que s'oposi al canvi de direcció.

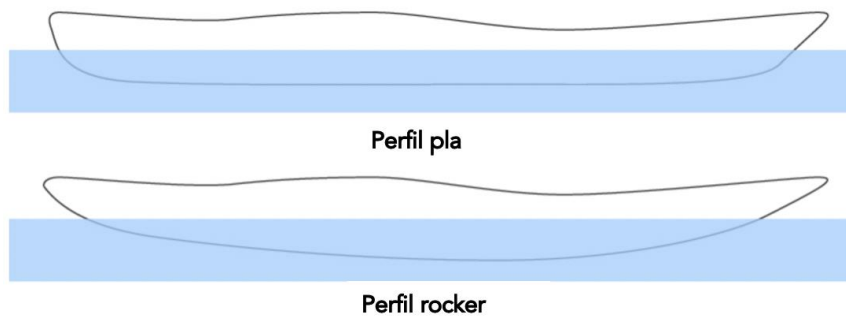


Figura 44. Perfils longitudinals del kayak - Imatge de Google

El perfil de la popa per sobre de la flotació també afecta a la direccionalitat. El vent lateral sempre influeix més en aquesta part desviant el kayak del seu rumb. Això és degut a que la proa sempre està exposada a una pressió, a diferència de la popa que està lliure. Una popa de perfil baix sense gaire superfície exposada augmentarà la direccionalitat.

Finalment, la presència d'un timó que actuï com una orsa pot ajudar a mantenir la direccionalitat segons la direcció del vent. Quan el vent ve de popa augmenta l'estabilitat del kayak. En presència de vent de proa resulta un inconvenient ja que la tendència del kayak serà a alinear-se amb la direcció del vent, pivotant respecte el timó. Si el nostre rumb no coincideix perfectament amb aquesta direcció, sempre haurèm d'estar corregint-lo.

### 3.1.4 Maniobrabilitat

La maniobrabilitat és la facilitat amb la qual podem dirigir el rumb d'un kayak. Aquesta característica va lligada a la direccionalitat. Quan una augmenta és molt probable que l'altra es vegi perjudicada. Si un kayak té facilitat per a seguir un rumb concret serà difícil poder virar i fer maniobres ràpides. Per contra, quan més fàcil sigui virar i fer maniobres més difícil serà que el kayak mantingui un rumb fix. Una forma però d'augmentar la maniobrabilitat sense deixar de banda la direccionalitat és dissenyar-los amb l'assentament una mica apopat. Amb això es redueix la superfície molla a proa fent millorant-ne la capacitat de gir i a més, es millora l'efectivitat del paleig disminuint el capcineig de l'embarcació.

## 3.2 Influència de les formes en el comportament del kayak

En l'apartat anterior s'ha vist com afecten els paràmetres i formes a cada qualitat principal del kayak de forma separada. És important doncs veure com afecten al conjunt per a poder decidir posteriorment com potenciar les qualitats que es proposen per al disseny. Per exemple, un perfil transversal amb formes rectes proporciona una molt bona estabilitat però per contra no garanteix una baixa resistència hidrodinàmica. Cada disseny serà doncs un compromís entre diferents configuracions.

### 3.2.1 Eslora

Per a kayaks amb eslores superiors arribarem a velocitats més grans. Hem de tenir en compte però que això suposarà un augment de la superfície molla de manera que una eslora massa gran implicarà més esforç per a avançar. Segons John Winters [16], per a un palista amateur, la velocitat de creuer es troba entre 5 km/h (2,7 kn) en una eslora de 4,5 metres i 6 km/h (3,24 kn) en eslora de 5,5 metres. Aquestes dades són importants per determinar l'eslora de disseny llavors.

### 3.2.2 Mànega

La mànega de flotació és un bon indicador de diverses característiques. Des d'un punt de vista positiu, quan més gran és aquesta mànega més bona serà l'estabilitat del kayak. Per contra, l'aspecte negatiu és que això provoca que la resistència total hidrodinàmica sigui superior. La mànega ideal doncs depèn de l'objectiu del kayak i de l'experiència que tingui l'usuari del mateix.

### 3.2.3 Perfil longitudinal

Aquest tindrà un major impacte en la direccionalitat i la maniobrabilitat. Com més rocker sigui el perfil més fàcil de maniobrar serà el kayak però més complicat mantenir un rumb fix.

### 3.2.4 Perfil transversal

En pràcticament la totalitat dels models s'utilitzen 3 perfils de casc diferents: un fons pla, un fons arquejat, amb forma "V" o amb forma de pontó. En funció de com es combinin o s'utilitzin es podrà determinar l'estabilitat, velocitat, maniobrabilitat i direccionalitat.

Els perfils plans combinen una molt bona estabilitat primària amb una fàcil maniobrabilitat. Per contra, l'estabilitat secundària no és tant elevada, la direccionalitat es veu afectada al no haver una quilla gaire marcada i el perfil no es gens hidrodinàmic.

Els perfils de fons arrodonit o arquejat destaquen per una alta velocitat donada la baixa resistència hidrodinàmica. També disposen d'una bona maniobrabilitat. La direccionalitat és més bona que en els de fons pla, però tampoc és una qualitat per la que destaquin. El punt feble d'aquests és la baixa estabilitat primària que dificulta moltíssim l'ús d'aquest perfil. Només s'utilitza en kayaks utilitzats per atletes professionals.

Els perfils amb forma de "V", com bé suggereix el seu nom, tenen un perfil agut que permet tallar millor l'aigua. Aquesta quilla pròpia del perfil farà que tingui una molt bona direccionalitat. A part, la resistència total és veu positivament reduïda. D'altra banda però, l'estabilitat primària és força baixa donat que el propi kayak busca descansar sobre un dels dos costats.

Finalment, el perfil de pontó combina la bona estabilitat primària d'un fons pla amb la bona secundària d'un arrodonit, resultant en els que tenen millor estabilitat. La direccionalitat també es bona gràcies a la "doble quilla" que es genera. Per contra la maniobrabilitat es veu afectada negativament. La hidrodinàmica d'aquest perfil tampoc és molt bona.

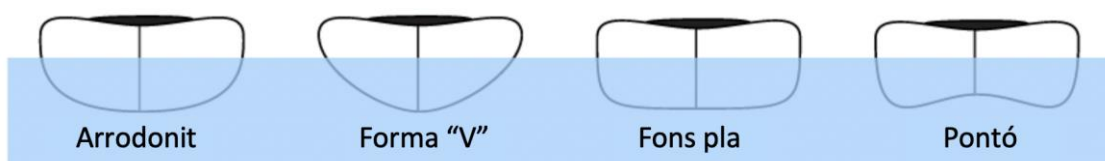


Figura 45. Perfils transversals del casc - Imatge de Google

El pantoc és una característica a tenir en compte també. El perfil marcat ofereix una bona estabilitat primària i una bona direccionalitat mentre que el perfil suau ofereix una bona estabilitat secundària i millor comportament hidrodinàmic.

### 3.2.5 Perfil línies d'aigua

Diferents proves i recerca en universitats i laboratoris hidrodinàmics indiquen que hi ha formes que són més eficients, i una variació significativa respecte aquestes suposa una caiguda en el rendiment. Per al cos d'entrada, la forma més eficient per a les velocitats associades als kayaks d'esbarjo és una amb línies rectes o lleugerament còncaves, ja que ens movem en valors del número de Froude inferiors a 0,25. Si les línies són massa còncaves l'efecte aconseguit és el contrari del que es busca. Per al cos de sortida, unes línies còncaves augmenten la direccionalitat del kayak mentre que unes de convexes n'augmenten la maniobrabilitat.

## 3.3 Ergonomia

En el disseny del kayak s'ha de tenir en compte l'ergonomia. El palista ha de cabre al kayak, ha d'anar còmode i en una posició correcta dins l'embarcació. És important considerar les mesures d'una persona que en pugui fer ús i la posició que aquesta adoptarà un cop sigui sobre el kayak. L'amplada de la banyera del kayak (i en conseqüència la mànega) quedarà determinada doncs per aquestes mesures antropomètriques, en concret per l'amplada del maluc.

Aquestes mesures venen definides a la norma UNE-EN ISO 15537:2005, la qual estableix mesures antropomètriques representatives de la població. Si ens fixem en la Taula 2, s'observa que la mitjana per a l'amplada del maluc correspon a 368 mm. Partint d'aquesta mesura podrem definir el cockpit del kayak.

Medida del cuerpo humano	Valor, mm			Definición, véase
	P5	P50	P95	
Estatura (altura del cuerpo)	1 530 <sup>a</sup>	1 719 <sup>a</sup>	1 881 <sup>b,c</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.2
Altura del ojo	1 420 <sup>a</sup>	1 603 <sup>a</sup>	1 750 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.3
Altura de los hombros	1 260 <sup>a</sup>	1 424 <sup>a</sup>	1 570 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.4
Altura del codo	930 <sup>b</sup>	1 078 <sup>a</sup>	1 195 <sup>b</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.5
Altura de la entepierna	665 <sup>b</sup>	816 <sup>a</sup>	900 <sup>b</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.7
Altura del punto tibial	397 <sup>a</sup>	472 <sup>a</sup>	530 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.8
Longitud de la pierna (altura del popliteo)	340 <sup>b</sup>	444 <sup>a</sup>	505 <sup>b</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.12
Altura de la rodilla, sentado	460 <sup>a</sup>	530 <sup>a</sup>	602 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.14
Anchura de caderas, de pie	300 <sup>a</sup>	359 <sup>a</sup>	400 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.12
Anchura de caderas, sentado	333 <sup>a</sup>	368 <sup>a</sup>	440 <sup>a,b</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.11
Anchura entre codos	390 <sup>a</sup>	478 <sup>a</sup>	545 <sup>c</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.10
Anchura de hombros (bideltoide)	395 <sup>a</sup>	474 <sup>a</sup>	485 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.9
Espesor del pecho, de pie	170 <sup>a</sup>	215 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.1.9
Espesor abdominal, sentado	195 <sup>a</sup>	237 <sup>a</sup>	350 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.2.15
Longitud de la mano	152 <sup>c</sup>	182 <sup>a</sup>	202 <sup>a</sup>	ISO 7250:1996; 4.3.1
Longitud de la mano, incluido el pulgar	<sup>d</sup>	<sup>d</sup>	120 <sup>c</sup>	ISO 15534-3:2000
Anchura de la mano, en el metacarpo	72 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	97 <sup>c</sup>	ISO 7250:1996; 4.3.3
Longitud del pie	211 <sup>c</sup>	255 <sup>a</sup>	285 <sup>b,c</sup>	ISO 7250:1996; 4.3.7
Anchura del pie	84 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>	113 <sup>c</sup>	ISO 7250:1996; 4.3.8
Longitud de la cabeza, desde la punta de la nariz	<sup>d</sup>	<sup>d</sup>	240 <sup>c</sup>	ISO 15534-3:2000
NOTA – Para más información, véanse las Normas ISO 15534-1 a ISO 15534-3.				
<sup>a</sup> Fuente: Jürgens, H.W.; Matzdorff, I; Windberg, J.: <i>International Anthropometric Data for Work-Place and Machinery Design</i> ([13] en la Bibliografía).				
<sup>b</sup> Fuente: ISO 14738:2002.				
<sup>c</sup> Fuente: ISO 15534-3:2000.				
<sup>d</sup> No se dispone de datos.				

Taula 2. Mesures del cos humà per a persones europees d'entre 18 i 60 anys d'edat [19]

### 3.4 Formes del kayak

Com es comenta als objectius del treball, els tres punts que es pretenen potenciar en la proposta de disseny seran la hidrodinàmica, l'estabilitat i la direccionalitat. Es potenciarà un bon rendiment hidrodinàmic per sobre de tot, però paral·lelament l'estabilitat i direccionalitat tindran un paper protagonista, de manera que qualsevol practicant d'aquest esport pugui fer ús de l'embarcació sense que suposi un gran impediment. No es pretén dissenyar un kayak per a cap modalitat en concret sinó un kayak que sigui flexible en diferents usos potencials. Això implica doncs que no es deixarà de banda cap factor influent en el seu comportament. La següent figura mostra el grau d'importància que es donarà al llarg del disseny a cada factor:

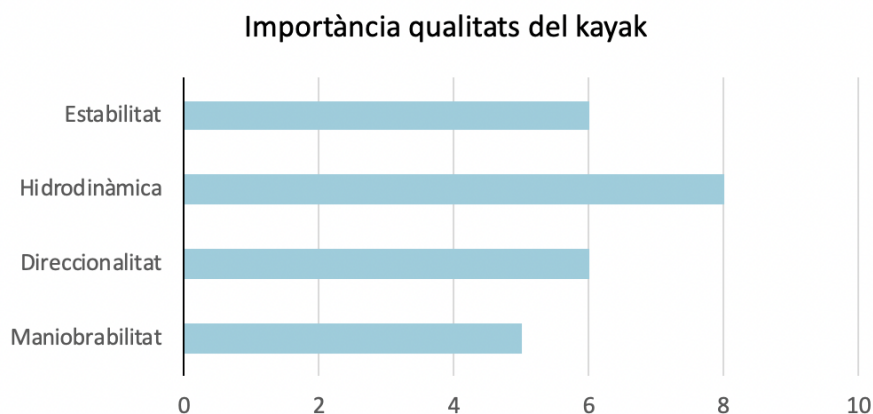


Figura 46. Importància qualitats del kayak - Font pròpia

El primer pas del disseny és el dimensionament del kayak. Es seleccionen models existents dissenyats per l'enginyer Nick Shade [10], especialista en disseny i construcció de kayaks. A la Taula 3 es mostren els dissenys que tenen característiques semblants a les que es volen obtenir. A partir d'aquestes referències s'obtindrà una primera idea racional de les dimensions del kayak.

Kayak	Eslora (m)	Mànega (cm)	Eslora flot. (m)	Mànega flot. (cm)	Calat (cm)	Despl. disseny (kg)
Yukon Racing	5,42	55,25	5,39	49,784	10,57	113,40
Aleutesque	5,49	50,80	5,43	44,958	10,16	104,78
Razor Billed Auk	5,79	50,80	5,67	46,736	8,64	117,48
Mystery	6,10	50,80	6,07	44,196	8,38	104,55
14 foot Great Auk	4,27	62,23	4,21	59,69	10,41	113,85
Simple	4,72	66,04	4,45	61,722	8,89	117,98
microBootlegger Sport	4,75	55,88	4,66	53,975	9,60	102,51
Solo microBootlegger	4,27	66,04	4,24	62,484	9,75	117,48
Petrel Play SG	4,27	58,42	4,11	56,642	12,04	104,78
Petrel Play	4,27	59,69	4,11	57,785	10,44	108,86
Expedition Single	5,79	53,34	5,09	52,578	9,40	112,94
Guillemot	5,18	53,34	4,48	52,578	9,40	97,07

Taula 3. Models de l'enginyer Nick Shade – Font pròpia

Examinant les dades de la taula s'observa que les eslores es mouen en un rang del 4 als 6 metres. Prendrem doncs el valor mig per a definir l'eslora del kayak, 5 metres. Aquesta eslora coincideix amb el valor que proposa J. Winters per a una velocitat de creuer d'uns 4 nusos. Aquesta velocitat correspon a unes 50 palades per minut, més que raonable per a un palista amateur que vol gaudir de la navegació. El valor mig de la mànega, igual que la resta de dimensions, servirà d'orientació a mesura que es vagi modelant el disseny. El calat de disseny es fixarà en 10 cm, valor pròxim també al valor mig.

Dels models seleccionats destaca el model "Guillemot" per les seves prestacions. Nick Shade en destaca el seu comportament esportiu amb bona acceleració. Indica també que no és necessari que el palista sigui molt experimentat, sí que ha de tenir però nocions de navegació a rem. Tant per dimensions com per prestacions aquest model és bo per utilitzar-lo com a punt de partida i fer-ne les modificacions adequades per assolir els objectius establerts. A continuació hi ha una taula amb característiques més específiques del model esmentat:

Kayak	Superfície molla (m <sup>2</sup> )	Superfície de flotació (m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	C <sub>B</sub>	C <sub>F</sub>	C <sub>M</sub>	L/B	B/T	Fn
Guillemot	1,81	1,57	0,53	0,43	0,70	0,82	9,71	5,68	0,22

Taula 4. Característiques kayak "Guillemot" – Font pròpia

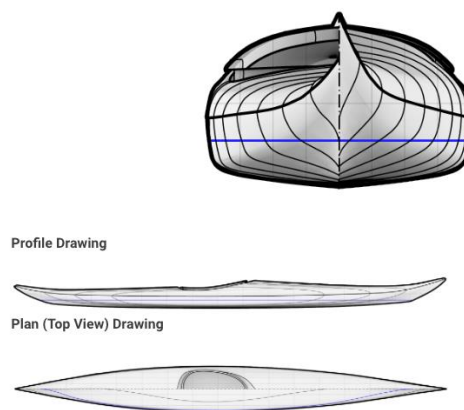


Figura 47. Alçat, perfil i planta del kayak "Guillemot" [10]



### 3.4.1 Formes de la proa

El primer aspecte important a tenir en compte és el semiangle d'entrada a la línia de flotació  $\alpha$  (veure Figura 48). Un angle excessivament elevat pot provocar que les formes resultants indueixin una transició al flux turbulent més a proa, i en conseqüència, un augment de la resistència viscosa. D'altra banda, aquest angle influirà també en la forma de les seccions de proa. Els valors recomanats per a aquest angle són els següents:

$C_p$	0,55	0,7	0,8
$\alpha$	8°	10° a 14°	33 °

Taula 5. Valors recomanats per al semiangle d'entrada – Font pròpia

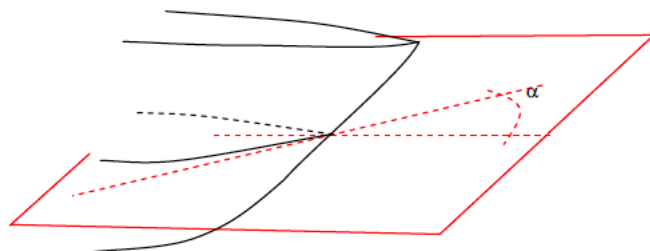


Figura 48. Semiangle d'entrada a la línia de flotació [14]

Un segon aspecte important és l'angle que forma la roda en la intersecció amb el pla de flotació. Es recomana un angle  $\beta$  entre 15° i 30° permetent d'aquesta manera un angle d'entrada de l'aigua constant.

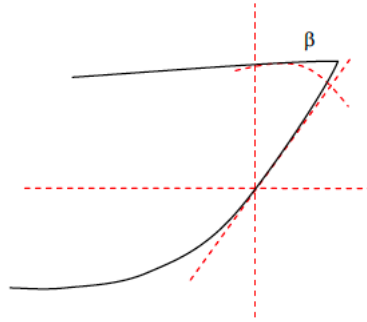


Figura 49. Angle de la roda en la intersecció amb el pla de flotació [14]

Si ens fixem en els kayaks de competició però, observem que aquest angle és molt petit, arribant a tenir la proa totalment recta, o inclús negatiu, tenint llavors una proa inversa (veure Figura 15). Aquesta proa té un molt bon comportament davant el capcineig. Quan les ones topen amb el casc a proa, creen una força descendent conseqüència de la forma de la proa. Aquesta força es contraresta amb la força de flotació natural del cos submergit i permet que es pugui mantenir la velocitat. La forma d'aquesta proa és òptima per a la reducció de resistència per formació d'onades i al mateix temps permet augmentar l'eslora de flotació amb tots els beneficis que comporta. És important comentar també que no tot el que aporta aquesta configuració són beneficis. Al trencar les ones l'aigua mullarà la coberta. En vaixells grans això pot suposar un problema però en un kayak, on el palista ja va preparat i vestit de forma adequada no suposa un gran inconvenient. El disseny incorporarà doncs una proa invertida. L'angle de la roda en la intersecció amb el pla de flotació  $\beta$  serà invertit, rondant els  $15^\circ$ .

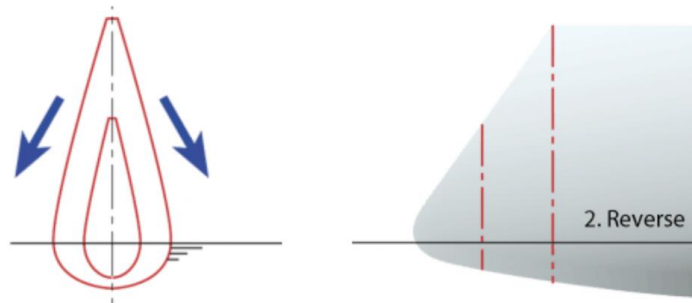


Figura 50. Proa invertida [18]

### 3.4.2 Formes de la popa

El traçat de les línies d'aigua ha de ser tal que minimitzi la separació de capa límit i per tant la resistència viscosa. Es recomana que el semiangle a línia de flotació no superi els 20º en cap cas. El semiangle de sortida que s'adoptarà serà d'uns 10º.

### 3.4.3 Perfil transversal

Per a les seccions transversals s'adoptarà una forma composta per tres perfils diferents. Es combinen el perfil amb formes de "V", el perfil arrodonit i el pla per a obtenir les qualitats positives de cada un. Partirem del casc arrodonit, amb el que s'aconsegueix el millor rendiment hidrodinàmic. L'estabilitat primària n'és un defecte però, que aconseguirem millorar amb un fons més aplanat. Així llavors el perfil combinarà les qualitats de cada un. En aquesta combinació però, la direccionalitat es veu afectada negativament, de manera que combinarem també el perfil en forma de "V" per aconseguir una petita quilla intrínseca en el perfil.

Pel que fa als pantocs, també s'opta per una combinació de perfil suau i marcat.

### 3.4.4 Perfil longitudinal

El perfil longitudinal serà una combinació de perfil pla i perfil rocker. De proa a la secció mestra el perfil serà pla. Pel que fa a la construcció, aquest disseny farà que el procés sigui més fàcil donat que combinar una proa invertida amb un perfil rocker podria conduir a dificultats de treball. D'altra banda, al tenir un perfil més aplanat de proa a la secció mitja millorarem la direccionalitat. Des de la secció mestra fins a popa sí que es dissenyarà un perfil amb certa curvatura rocker, de manera que es redueixi la superfície mullada i per tant menys esforç s'haurà de fer per a dirigir el kayak. Amb aquesta combinació de perfils no deixarem de banda ni la direccionalitat ni la maniobrabilitat, quedant aquesta primera característica lleugerament més potenciada per la quilla del disseny del perfil transversal.

### 3.4.5 Perfil de flotació

El perfil de flotació és important perquè definirà la posició del palista i, en conseqüència, la posició del centre de gravetat. El perfil escollit és un asimètric amb el CG lleugerament a popa, de manera que el kayak disposi d'un assentament apopat, amb tots els beneficis que això comporta. El kayak guanyarà maniobrabilitat i més bon rendiment hidrodinàmic.

### 3.4.6 Estella morta

Al haver definit un perfil transversal amb lleugera forma de "V", és important decidir l'angle d'estella morta. Aquest angle és el que forma la carena amb la línia horitzontal que surt des de l'extrem de cruixia. Influeix en el coeficient prismàtic, característic en determinar la resistència a l'avanç i la flotació. Els valors de l'angle d'estella morta depenen de la velocitat ja que, per exemple, angles massa baixos (és a dir fons gairebé totalment plans) no són recomanables per a altes velocitats. Per a valors de  $F_n < 1,00$ , trobem valors entorn als  $15^\circ$ . Per a valors de  $F_n > 2,50$ , entre  $25^\circ$  i  $30^\circ$ . L'angle serà doncs d'uns  $10^\circ$  com a mínim i  $15^\circ$  màxims. Es deixa aquest marge per a facilitar el disseny. La mesura d'aquest angle es farà seguint la norma UNE-EN ISO 8666:2019. L'angle ve donat per la fórmula:

$$\beta = \text{ArcTang} \frac{\text{Altura (1)}}{\text{Amplada (2)}}$$

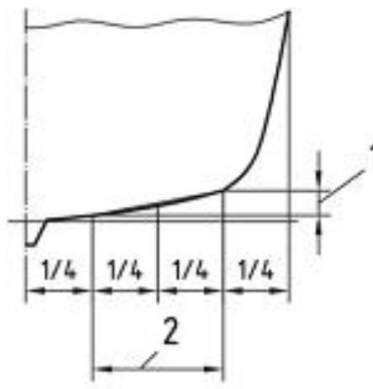


Figura 51. Angle estella morta [19]

### 3.5 Modelatge del casc

Per modelar la geometria del kayak s'utilitza el software Rhinoceros. Per crear les formes es fa servir l'eina "BitMap", la qual permet ajudar-se d'un suport gràfic fix en el pla de treball. S'utilitzen com a referència la planta, perfil i alçat del kayak "Guillemot".

Un cop escalades les tres fotos i situades de forma correcta es comencen a dibuixar les quadernes del kayak. Seguidament, per a complir amb el perfil longitudinal desitjat, aquestes es redibuixen i s'ajusten a l'alçada corresponent. Tant la proa com la popa no es dibuixen encara.

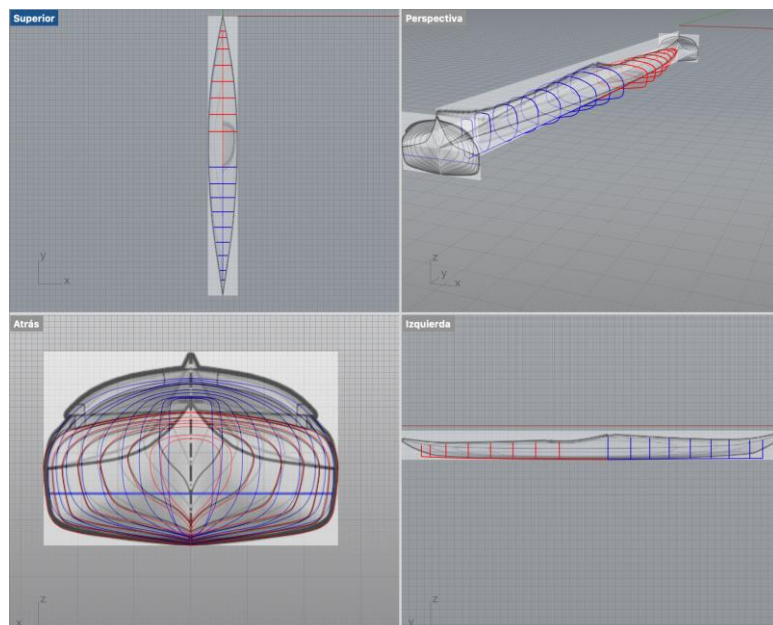


Figura 52. Quadernes sobre BitMap – Font Pròpia

Seguidament, es modela la proa inversa. Es dibuixa el perfil d'aquesta, seguint les especificacions definides anteriorment. Amb l'eina "Perfiles de Sección Transversal", podem dibuixar les línies transversals i tindrem una visió de la proa. És important que tant el semiangle d'entrada com l'angle de la roda quedin dins del rang definit. Utilitzant l'eina "Cota de Ángulo" es mira que així sigui. Tot i això, més endavant es tornarà a fer una avaluació del disseny per a comprovar que compleix amb tots els requisits especificats.

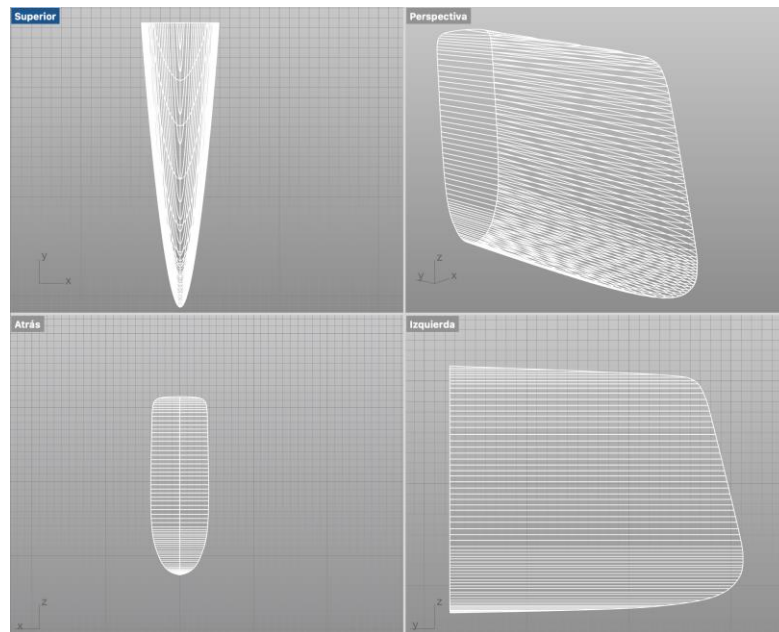


Figura 53. Seccions transversals de la proa inversa – Font pròpia

Seguidament es realitza el mateix per a la popa, complint ara amb les condicions corresponents.

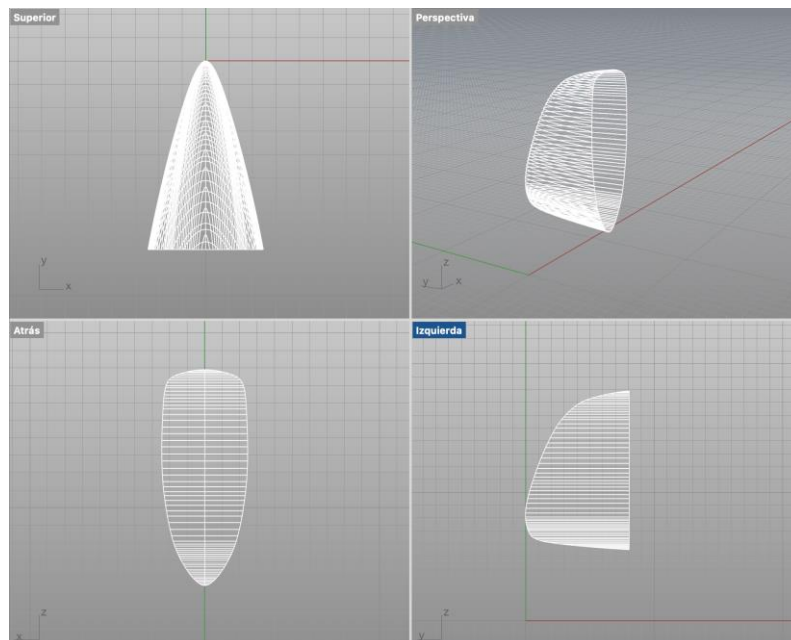


Figura 54. Seccions transversals de la popa – Font pròpia

Un cop dibuixades la proa i la popa, es reajusten les quadernes properes a aquestes seccions. És important que tant l'angle d'entrada com de sortida tinguin una forma afinada sense espatlles. Definida

ja l'estructura és moment de crear la superfície del casc, utilitzant l'eina "Transición". Un cop obtinguda una primera superfície, s'ajusten i modifiquen algunes quadernes on la superfície no quedava del tot fina. Aquest pas es va repetint fins a obtenir un casc òptim. El resultat final, a primera vista, és bastant satisfactori.

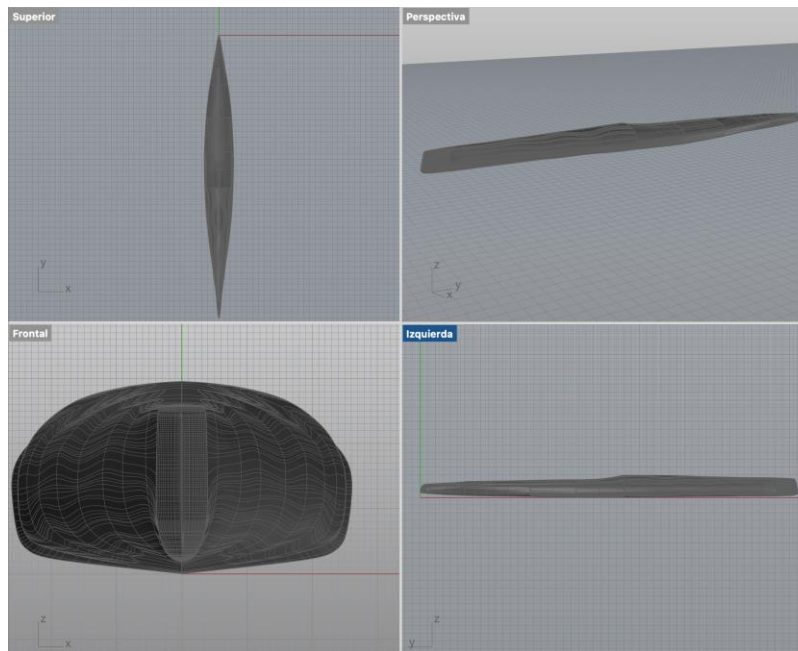


Figura 55. Superfície del kayak - Font pròpia

Finalment es crea el cockpit. Aquí és important tenir en compte l'amplada del maluc, utilitzant les mesures que venen donades a la Taula 2. Es dibuixa primer el contorn (tant l'interior com l'exterior), es projecta sobre el casc i se'n retalla la zona sobrant. Finalment, amb l'eina "Barrido por 2 carriles" es crea una petita vora amb volum, de manera que l'acabat sigui arrodonit.

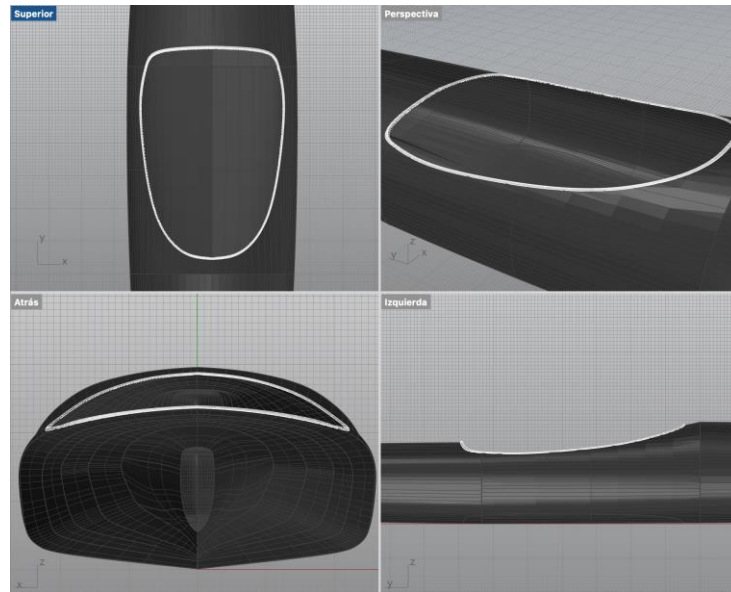


Figura 56. Superfície del kayak i cockpit - Font pròpia

### 3.6 Anàlisi de la geometria

#### 3.6.1 Coeficients de forma

Amb l'ajuda de Rhinoceros es calculen els diferents coeficients de forma del kayak, definits a l'apartat 2.1. Rhinoceros permet obtenir el valor de qualsevol volum i àrea, de manera que només caldrà fer el càlcul corresponent per a cada coeficient.

##### 3.6.1.1 Coeficient prismàtic

El coeficient prismàtic correspon a la relació del volum de la carena ( $V_C$ ) entre el volum del prisma la base del qual correspon a l'àrea de secció mestra ( $V_P$ ), seguint doncs l'equació:

$$C_P = \frac{V_C}{V_P}$$

Segons Rhinoceros;

$$V_C = 108,967 \text{ dm}^3$$

$$V_P = 214,355 \text{ dm}^3$$



De manera que;

$$C_P = \frac{V_C}{V_P} = \frac{108,967 \text{ dm}^3}{214,355 \text{ dm}^3} = 0,508$$

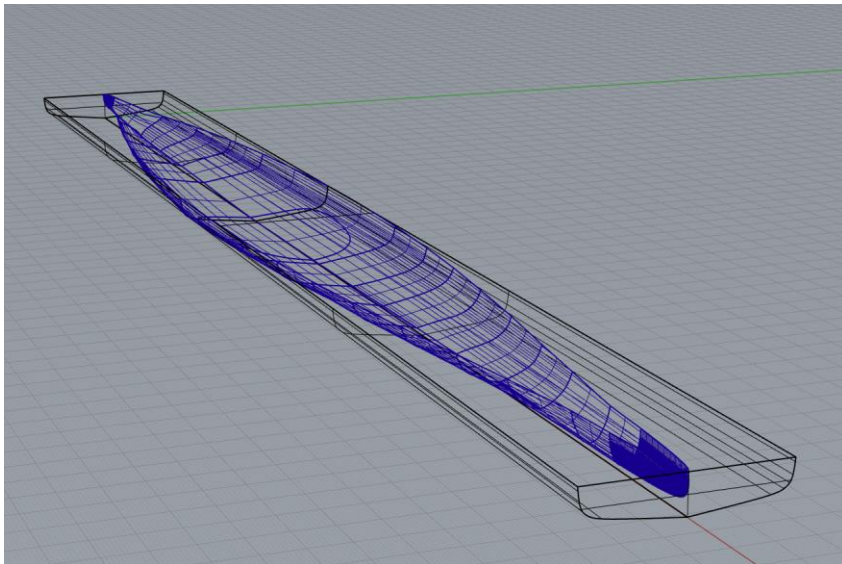


Figura 57. Coeficient prismàtic - Font pròpia

### 3.6.1.2 Coeficient de bloc

El coeficient de bloc correspon a la relació del volum de la carena ( $V_C$ ) entre el volum del paral·lelepède que circumscriu la carena ( $V_{P'}$ ), seguint doncs l'equació:

$$C_B = \frac{V_C}{V_{P'}}$$

Segons Rhinoceros;

$$V_C = 108,967 \text{ dm}^3$$

$$V_{P'} = 259,617 \text{ dm}^3$$

De manera que;

$$C_B = \frac{V_C}{V_{P,}} = \frac{108,967 \text{ dm}^3}{259,617 \text{ dm}^3} = 0,419$$

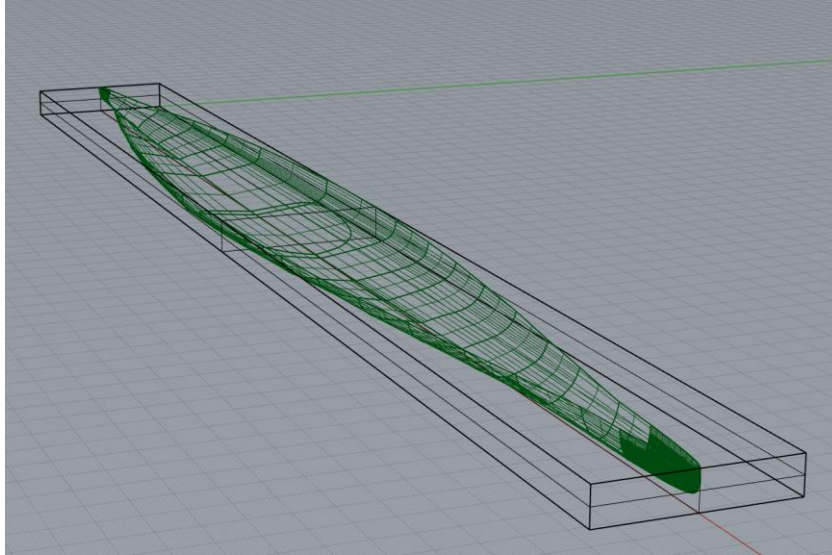


Figura 58. Coeficient de bloc - Font pròpia

### 3.6.1.3 Coeficient de flotació

El coeficient de flotació correspon a la relació de l'àrea de flotació ( $A_F$ ) entre l'àrea del rectangle que la circumscriu ( $A_R$ ), és a dir, amb base corresponent a la mànega de flotació i alçada corresponent a l'eslora de flotació. L'equació es tradueix doncs en:

$$C_F = \frac{A_F}{A_R}$$

Segons Rhinoceros;

$$A_F = 16048,493 \text{ cm}^2$$

$$A_R = 25961,659 \text{ cm}^2$$

De manera que;

$$C_F = \frac{A_F}{A_R} = \frac{16048,493 \text{ cm}^2}{25961,659 \text{ cm}^2} = 0,618$$

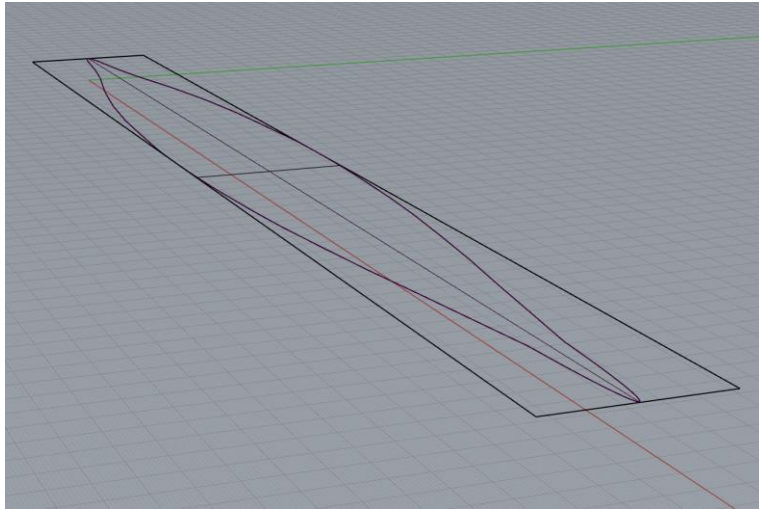


Figura 59. Coeficient de flotació - Font pròpia

### 3.6.1.4 Coeficient de secció mestra

El coeficient de secció mestra correspon a la relació de l'àrea de la secció mestra ( $A_{SM}$ ) entre l'àrea del rectangle que la circumscriu ( $A_{R'}$ ), és a dir, amb base corresponent a la mànega de flotació i alçada corresponent al calat. L'equació es tradueix doncs en:

$$C_{SM} = \frac{A_{SM}}{A_{R'}}$$

Segons Rhinoceros;

$$A_{SM} = 427,711 \text{ cm}^2$$

$$A_{R'} = 513,865 \text{ cm}^2$$

De manera que;

$$C_F = \frac{A_{SM}}{A_{R'}} = \frac{427,711 \text{ cm}^2}{513,865 \text{ cm}^2} = 0,832$$

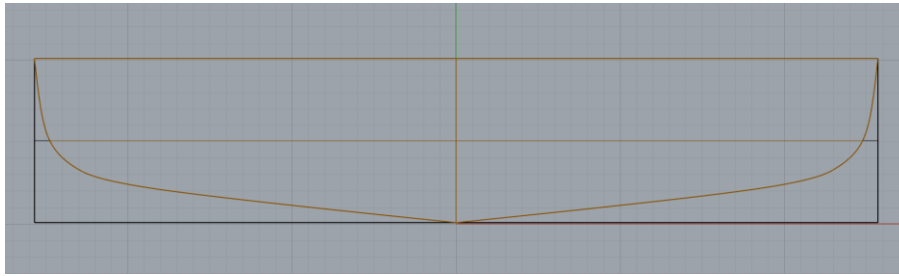


Figura 60. Coeficient de secció mestra - Font pròpia

### 3.6.2 Exportació a Maxsurf

Des de Rhinoceros, es talla el casc per la meitat seguint la línia de cruïxa i s'exporta la superfície en format IGES (.igs) per poder treballar amb Maxsurf. Maxsurf és un software que permet, mitjançant l'ús de diferents extensions, modelar cascs i realitzar els posteriors anàlisis estructurals, hidrodinàmics i d'estabilitat. Obrirem el programa i a la pestanya "Import" seleccionarem l'arxiu corresponent. Al haver importat només una meitat del casc el programa té menys dificultats per a llegir i interpretar la superfície. A continuació s'utilitza l'eina "Symmetry", que com el seu nom suggereix completará el casc sencer.

Un cop es disposa del casc sencer per a treballar-hi es defineix el punt de referència, a popa de la línia base, tal i com es mostra a la figura següent. També es defineix el calat de projecte (línia groga).

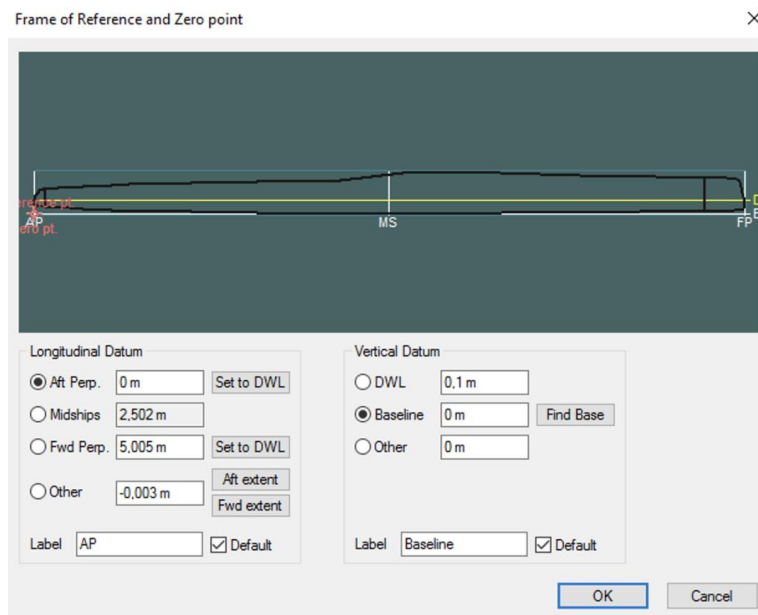


Figura 61. Frame of Reference - Font pròpia

A continuació es defineixen 25 seccions transversals, separades cada una per 20cm i les línies d'aigua, 10 en total, separades entre elles per 1cm. Veient les seccions transversals podem observar com s'han mantingut les quadernes de disseny en el model exportat. Al fixar-nos en les línies d'aigua, podem veure com el fons del casc a proa i popa té forma de "V" mentre que la part central del casc, on queda situat el cockpit, queda perfilat amb un fons més pla amb pantocs arrodonits, aconseguint doncs aquesta mescla proposada en la fase preliminar del disseny. A proa les línies formen una lleugera concavitat que, com es comenta anteriorment, és la forma més eficient per als números de Froude en el que es mou una embarcació de les característiques d'un kayak. Per al cos de sortida, les línies també mantenen certa concavitat, fet que augmenta la direccionalitat del kayak.

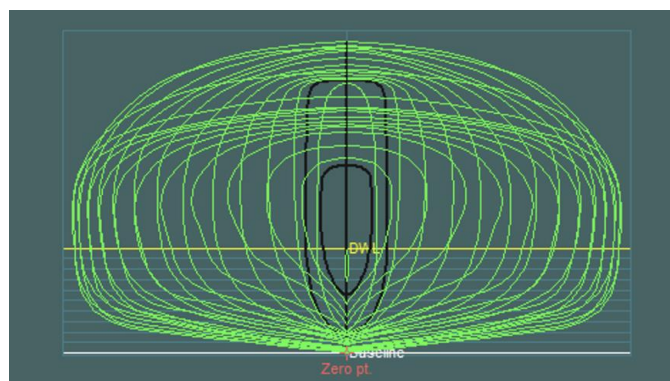


Figura 62. Alçat del kayak amb seccions transversals - Font pròpia

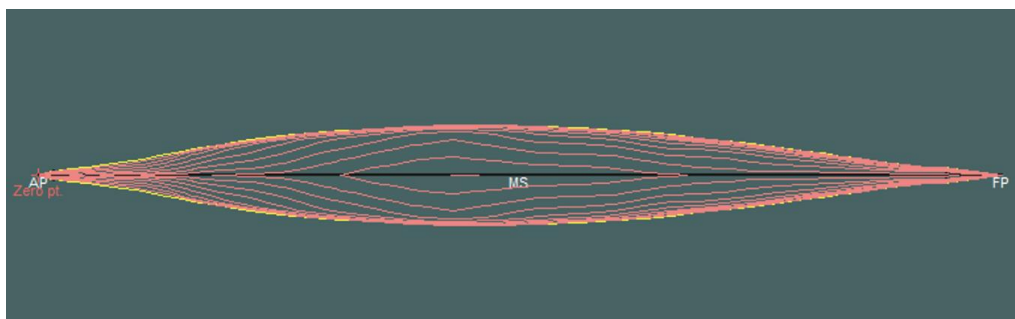


Figura 63. Planta del kayak amb línies d'aigua - Font pròpia

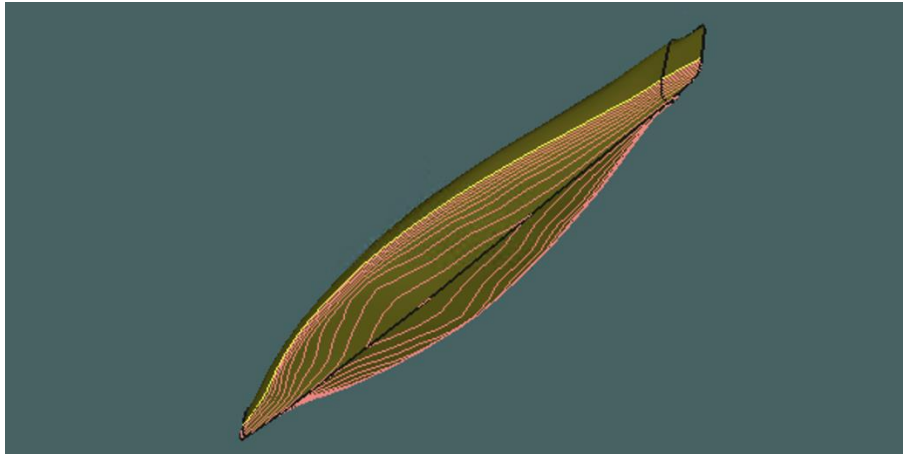


Figura 64. Kayak amb línies d'aigua - Font pròpia

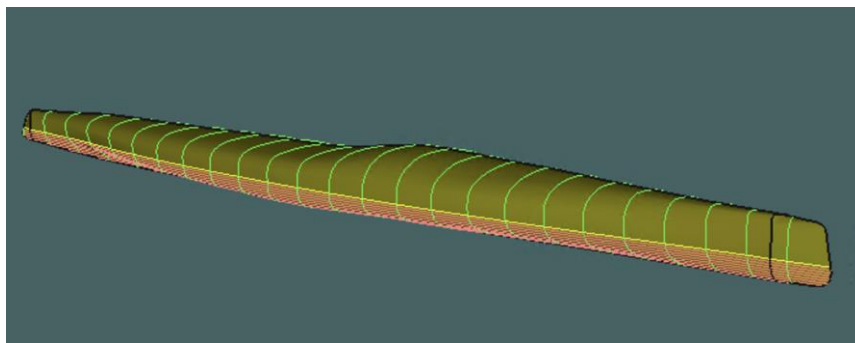


Figura 65. Kayak amb seccions transversals i línies d'aigua - Font pròpia

Maxsurf també permet obtenir la taula hidrostàtica del casc. Podem destacar el desplaçament total del kayak (1) de 110kg en aigua salada. És interessant observar la posició del centre de flotació en la direcció longitudinal (16), veiem que queda situat a un 48,882% de l'eslora des del punt de referència. També dona els valors dels coeficients de forma (10, 11, 12 i 13), que s'analitzen i comenten en un apartat més endavant.

Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	110,0	kg
2	Volume (displaced)	0,107	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	0,100	m
4	Immersed depth	0,100	m
5	WL Length	5,004	m
6	Beam max extents o	0,520	m
7	Wetted Area	1,992	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	0,043	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	1,601	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,503	
11	Block coeff. (Cb)	0,412	
12	Max Sect. area coeff	0,829	
13	Waterpl. area coeff.	0,615	
14	LCB length	2,446	from z
15	LCF length	2,400	from z
16	LCB %	48,882	from z
17	LCF %	47,949	from z
18	KB	0,063	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	0,222	m
21	BML	16,924	m
22	GMt corrected	0,285	m
23	GML	16,987	m
24	KMt	0,285	m
25	KML	16,987	m
26	Immersion (TPc)	0,016	tonne/c
27	MTc	0,004	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Di	0,547	kg.m
29	Length:Beam ratio	9,624	
30	Beam:Draft ratio	5,197	
31	Length:Vol <sup>0.333</sup> ratio	10,532	
32	Precision	Medium	65 stati

Density (water)

Std. densities

VCG

Figura 66. Taula hidrostàtica del kayak - Font pròpia

### 3.6.3 Corba d'àrees

Seguidament, s'exporta la taula de dades de les àrees transversals de la carena al llarg de l'eslora, i es crea la corba d'àrees utilitzant Excel. La corba d'àrees representa la distribució longitudinal de les seccions per sota de la línia de flotació (en aquest cas per a un calat de 10cm). Representa doncs l'àrea transversal submergida per a cada secció infinitesimal longitudinal, o dit d'altra manera, com queda distribuïda la carena al llarg de l'eslora.

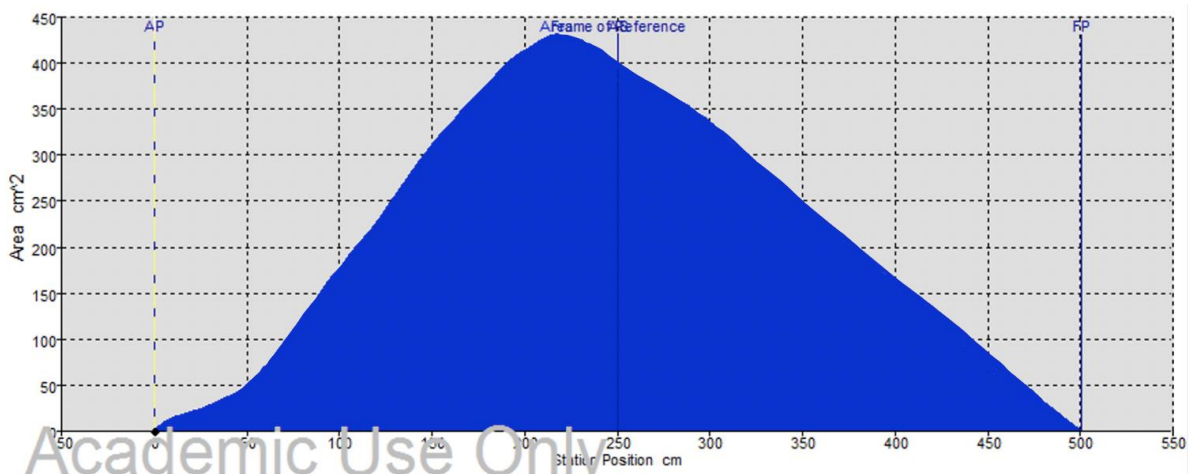


Figura 67. Corba d'àrees del kayak - Font pròpia

De la corba podem observar com el cos d'entrada és allargat, de forma que es pertorbarà poc la superfície de l'aigua i es generarà el mínim nombre d'ones, per tant menys energia es perdre. No s'observen colzes, que fan que la resistència viscosa augmenti. El cos de sortida tampoc és curt i acusat, de forma que no s'ha de produir desprendiment de la capa límit. De fet, la corba es similar a la d'un buc ràpid (característica per un cos d'entrada llarg i fi combinat amb un cos de sortida no curt) cosa que indica que tindrà un bon comportament hidrodinàmic.

### 3.6.4 Anàlisi especificacions de disseny

S'exporta el model 3D generat a AutoCAD (extensió .dwg) per a treballar en format 2D. Aquí es comprova que el kayak segueixi les especificacions definides inicialment a l' apartat 3.4.

#### PROA

A proa, el semiangle d'entrada es calcula utilitzant la relació trigonomètrica:

$$\alpha = \text{ArcTang} \frac{\text{dist. eix } x/2}{\text{dist. eix } y} = \text{ArcTang} \frac{12,32/2}{50} = 7,02^\circ$$



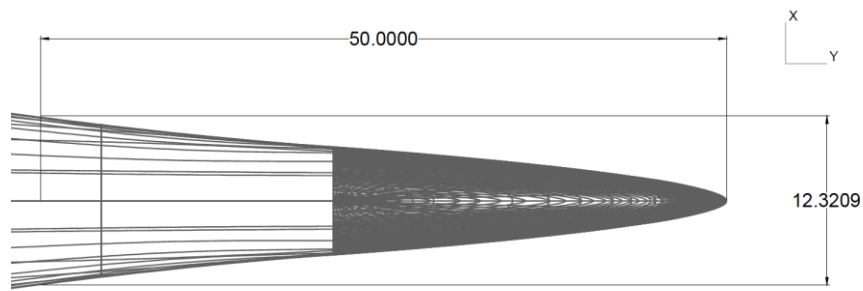


Figura 68. Proa del kayak a AutoCAD (mesures en cm) - Font pròpia

El valor recomanat per la Taula 5 per a un coeficient prismàtic de 0,55 era de  $8^\circ$ . Tenint en compte que el kayak té un coeficient prismàtic de 0,508, podem donar per bo un semiangle d'entrada de  $7,02^\circ$ .

L'angle de la roda amb la intersecció del pla de flotació té un valor de  $13,8^\circ$ . S'ajusta també al rang que s'havia definit anteriorment.

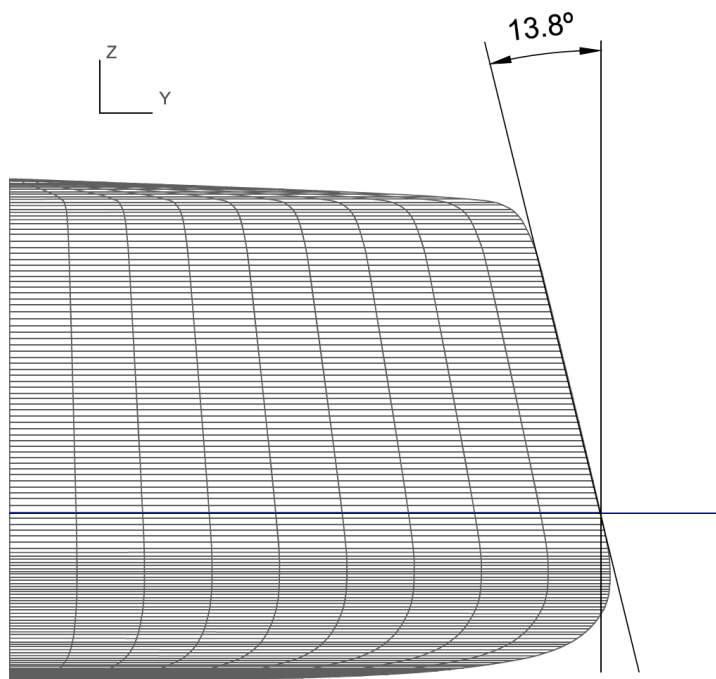


Figura 69. Angle roda proa inversa - Font pròpia

### POPA

El semiangle de sortida a popa es calcula igual que el de proa. En aquest cas, el resultat és de 10,79° . S'ajusta també a l'angle de disseny.

$$\alpha = \text{ArcTang} \frac{\text{dist. eix } x/2}{\text{dist. eix } y} = \text{ArcTang} \frac{19,05/2}{50} = 10,79^\circ$$

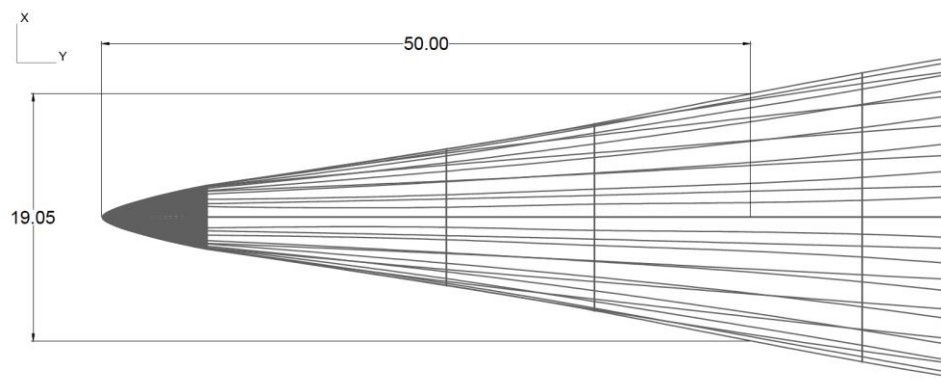


Figura 70. Popa del kayak a AutoCAD (mesures en cm) - Font pròpia

### SECCIÓ MESTRA

Per al càlcul de l'estella morta, seguint la norma UNE-EN ISO 8666:2019, es pren la secció mitja i es divideix el fons com indica la Figura 51. Completant l'equació, també proposada per la normativa, obtenim un angle d'estella morta de 10,53°. Aquest resultat queda dins el rang que s'ha definit en les especificacions.

$$\beta = \text{ArcTang} \frac{\text{dist. eix } z/2}{\text{dist. eix } x} = \text{ArcTang} \frac{2,34/2}{12,58} = 10,53^\circ$$

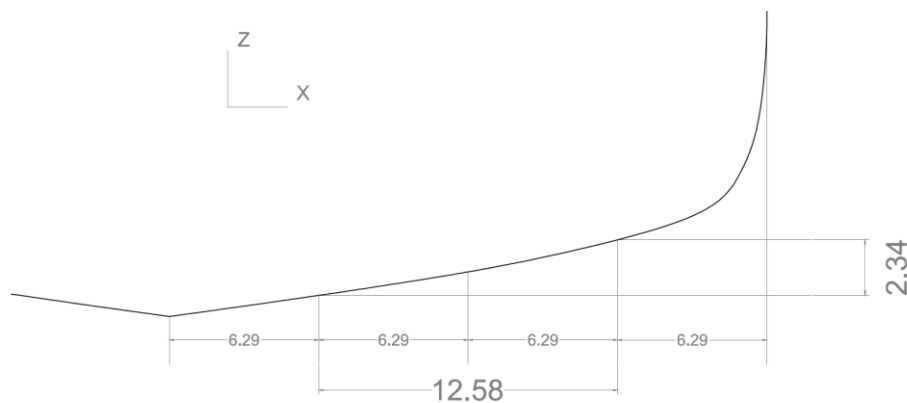


Figura 71. Angle d'estrella morta (mesures en cm) - Font pròpia

### 3.6.5 Comparativa de valors hidrostàtics

La taula que es mostra a continuació és una comparativa dels valors obtinguts a través de Rhinoceros, Maxsurf i del model de referència "Guillemot". S'observa com resultats calculats a partir de les geometries de Rhinoceros concorden amb els que ha proporcionat Maxsurf. Mirant la columna d'error percentual veiem que només en un cas es supera l'1%, el que demostra que s'ha utilitzat bé l'eina de modelatge 3D i pot utilitzar-se com a alternativa a Maxsurf en cas de no dominar la interfície. Tot i això, Maxsurf es tracta d'un programa d'anàlisi naval on els resultats seran sempre els més acurats, per tant es treballarà amb els valors proporcionats per aquest.

Fent la comparativa amb la columna del kayak "Guillemot" s'observa com els valors d'aquest no difereixen gaire del disseny proposat, fet que indica que es manté la similitud en les formes. Les variacions en els valors hidrostàtics es deuen principalment a les modificacions de proa i popa. El fet que ambdues siguin inverses fa que l'eslora de flotació es mantingui propera a l'eslora total, a diferència d'un kayak amb proa convencional. El desplaçament en conseqüència es veu afectat també, essent més gran en el cas amb proa inversa.

	<b>Rhinoceros</b>	<b>Maxsurf</b>	<b>Guillemot</b>	<b>Unitats</b>	<b>% ε</b>
<b>Eslora total</b>	501,00	501,00	518,00	cm	0,000
<b>Mànega total</b>	52,00	52,00	53,34	cm	0,000
<b>Eslora de flotació</b>	500,4	500,4	448,00	cm	0,002
<b>Mànega de flotació</b>	52,00	52,00	52,58	cm	0,000
<b>Calat</b>	10,00	10,00	9,40	cm	0,000
<b>Coefficient prismàtic</b>	0,508	0,503	0,53		0,984
<b>Coefficient de bloc</b>	0,419	0,412	0,43		1,671
<b>Coefficient de flotació</b>	0,618	0,615	0,7		0,485
<b>Coefficient de seccio mestra</b>	0,832	0,829	0,82		0,361
<b>Volum de carena</b>	0,108	0,107	0,095	m <sup>3</sup>	0,926
<b>Desplaçament</b>	110,70	110,00	97,07	kg	0,632
<b>Àrea submergida</b>	1,993	1,992	1,81	m <sup>2</sup>	0,050
<b>Àrea submergida SM</b>	0,043	0,043	-	m <sup>2</sup>	0,000
<b>Àrea de flotació</b>	1,604	1,601	1,57	m <sup>2</sup>	0,187
<b>L/B</b>	9,62	9,62	9,71		0,002
<b>B/T</b>	5,2	5,2	5,68		0,000

Taula 6. Comparativa valors hidrostàtics - Font pròpia

Després d'haver anat modelant i ajustant el cas a les necessitats proposades s'ha arribat al disseny actual. Tant els valors hidrostàtics com els anàlisis de les especificacions de disseny obtinguts indiquen que el resultat és satisfactori. El disseny proposat es donarà per bo i es seguirà doncs amb les següents fases del projecte.

# Capítol 4. Materials i metodologies de fabricació

En aquest capítol es fa un estudi de tots els materials utilitzats en la construcció de kayaks i dels respectius processos de fabricació que es segueixen en cada cas.

Podem diferenciar 3 grans grups en aquests processos. Són el polietilè, la fusta i els materials compostos.

## 4.1 Polietilè

El polietilè és un polímer termoplàstic. En augmentar la temperatura es torna tou i mal·leable, retornant a l'estat sòlid al refredar-se, característica que el fa ideal per a la producció de kayaks. Existeixen diferents qualitats de polietilè entre les quals destaquen el de baixa densitat (LDPE), baixa densitat lineal (LLDPE), alta densitat (HDPE) i ultra alta densitat (UWHDPE).

Les propietats mecàniques de rigidesa estructural i duresa les donen els polietilens d'alta densitat. Per contra, aquests són més susceptibles al trencament per impacte o sota estrès mecànic. Les propietats mecàniques de resistència a l'impacte són superiors en els de baixa densitat però, per contra, tenen una molt baixa rigidesa estructural, el que es tradueix en kayaks que vinclen i es ratllen fàcilment. La barreja de cada tipus en les proporcions adequades farà que s'aconsegueixin unes característiques o altres.

La presentació d'aquest polímer pot ser en pols o granulat, també conegut com a pellet. Com que el polietilè és de per sí incolor, es mescla sempre amb additius colorants en funció de quin acabat es vol donar al kayak.



Figura 72. Polietilè en pols – Imatge de Google



Figura 73. Polietilè pellet - Imatge de Google

Existeixen tres mètodes de producció amb polietilè; el rotomoldejat, l'extrusió i el termoformat.

#### **4.1.1 Fabricació per rotomoldejat**

El rotomoldejat és un procés simple que permet la fabricació en sèrie de kayaks. En un motlle, format per una secció inferior i una superior, s'aboca el polietilè en pols. La superfície del motlle està perfectament allisada amb un acabat que garanteix una brillantor excel·lent. S'introdueix el motlle ben tapat i assegurat en un forn, on s'arribarà als 220 °C de temperatura. Un cop dins el motlle es fa rotar el motlle longitudinalment (d'aquí surt el nom del procés). Al mateix temps, es crea també un moviment de capcineig aixecant la proa i la popa successivament. Amb aquests moviments es garanteix una distribució uniforme del polietilè per tot el motlle, recobrint tota la superfície amb una única capa. Passats 20 minuts aproximadament comença el procés de refredament. Ja sigui amb aire o aigua es

refreda el motlle a temperatura ambient per poder extreure la peça de polietilè. Finalment s'eliminen les vores que s'hagin pogut crear per les juntes del motlle i se li dona l'acabat final.

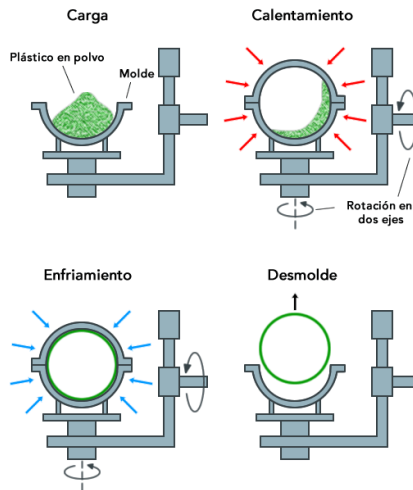


Figura 74. Fabricació per rotomoldejat - Imatge de Google

#### 4.1.2 Fabricació per extrusió

Primer de tot es realitza la mescla del polietilè amb el pigment que donarà color al kayak. El material passa doncs a l'extrusionadora on es fon a 250 °C i s'homogeneïtza. Un cop la càmera estigui plena, el material fos s'injecta a través d'una boca amb forma d'anell i es extrusionat a l'exterior en forma de tub. Durant aquest procés l'espessor de les parets del futur kayak es controla ajustant l'embocadura. Una vegada el tub fa la llargada corresponent, les dues parts del motlle del kayak es tanquen al voltant del tub, quedant aquest segellat. Utilitzant agulles d'insuflat s'infla el tub a l'interior del motlle, pressionant el tub de polietilè contra les parets interiors del motlle. El propi motlle incorpora un sistema de refrigeració, de forma que després d'un període de refredament de pocs minuts el casc es pot retirar.

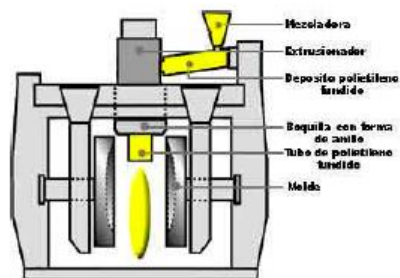


Figura 75. Fabricació per extrusió - Imatge de Google

#### **4.1.3 Fabricació per termoformat**

Aquest procés utilitza planxes de polietilè prefabricades, amb la mescla de polietilè i additius feta ja. S'escalfen les planxes fins arribar al punt en que són prou mal·leables per a poder treballar. S'apliquen sobre un motlle que les succiona mitjançant un buit d'aire, adaptant-se d'aquesta manera a la forma del motlle. En quest mètode llavors, es fabriquen per separat la coberta del casc, que s'uneixen posteriorment. Aquest procés genera kayaks més resistents que els fabricats per rotomoldejat i extrusió, amb característiques de lliscament i rigidesa lleugerament superiors. Per contra, la producció és molt més lenta, el que repercuteix en el preu final.

Entre els avantatges dels kayak de polietilè destaca sobretot el cost econòmic doncs és un material abundant de preu molt reduït. Els mètodes de fabricació permeten la producció de qualsevol model en sèrie. Són generalment resistents i durs i per això és difícil que es trenquin. Per contra, hidrodinàmicament no tenen un comportament tant bo com podria proporcionar un kayak de fusta o de material compost, ja que no llisquen tant bé per l'aigua. Comparats amb aquests altres materials són difícils de reparar. Si bé és cert que són difícils de trencar, en el cas que es perforés el casc el kayak el millor seria adquirir un de nou. Finalment, destacar l'elevat pes d'un kayak de polietilè. Aquests kayaks no solen estar mai per sota dels 30kg de pes, el que dificulta el seu transport fora de l'aigua.

#### **4.2 Fusta**

La fusta sempre ha estat present en el món de la construcció naval. És important que compleixi certs requisits, com ara flexibilitat, per a la construcció és important que la fusta pugui adaptar-se a les formes del vaixell; lleugeresa, quant més lleugera sigui més facilita la flotabilitat del vaixell; durabilitat, la resistència als fongs i a podriments és important pel contacte continu amb l'aigua i la humitat.

Existeixen molts tipus de fusta diferents, però no tots són útils en la construcció naval, no totes poden satisfer tots els requisits anteriors al mateix temps. La fusta utilitzada normalment en la construcció de kayaks és la fusta de cedre. Destaca per la seva gran flexibilitat i el poc pes, factors importants en la construcció d'un kayak. Això no significa però que només és pugui utilitzar cedre en la fabricació de kayaks. De fet, el més comú es combinar-la amb algun altre tipus de característiques semblants, com ara la fusta de pi o la d'om. D'aquesta manera, i gràcies a la diferència de tonalitats de colors, es poden



aconseguir acabats més personalitzats. També s'utilitza el contraxapat marí (fet a partir de fusta d'Ocumé normalment).

### 4.2.1 Sistema "Stitch and Glue"

La traducció de "Stitch and Glue" és cosir i enganxar. S'utilitza contraxapat marí, on es dibuixen les diferents parts del kayak, que posteriorment són retallades. Seguidament es van cosint i enganxant amb cola, fil metàl·lic i/o brides de plàstic, donant forma al casc. D'aquí ve el nom del sistema de construcció. Un cop construït el casc, s'aplica una petita capa de fibra de vidre amb resina epoxi a l'interior per a donar-li l'estanqueïtat necessària. Es repeteix el procés per a la coberta, repetint els mateixos passos. Finalment s'uneixen ambdues parts, s'envernissen i es col·loquen els accessoris finals.

Aquest mètode destaca per la seva senzillesa, donant com a resultat embarcacions robustes i lleugeres. Per contra, el propi sistema constructiu limita els dissenys, al no poder fer algunes formes corbes dels dissenys. Al treballar amb contraxapat marí també es limita una mica l'elecció del tipus de fusta ja que, com es comenta anteriorment, sol ser de fusta d'Ocumé.



Figura 76. Kayak construït pel sistema "Stitch and Glue" - Imatge de Google

### 4.2.2 Sistema "Strip Built"

Significa construir amb tires. Primerament es formen, amb fusta també, les seccions transversals del kayak, que s'uneixen a la quilla. A continuació, i com indica el nom d'aquesta metodologia, es van enganxant tires de fusta al llarg de totes les quadernes, formant el casc del kayak. Quan s'ha completat tot el kayak, la fusta es poleix per a donar un acabat llis. Sobre la fusta s'aplica una capa de fibra de vidre i resina epoxi, que és totalment transparent, per a donar més rigidesa i protecció al kayak sense haver de renunciar a l'acabat de fusta.

Aquesta tècnica és més complexa que l'anterior i requereix més temps per a finalitzar el kayak. Els resultats però són més bons en quant a forma i eficàcia del kayak a l'aigua. Permet construir molts més

models de kayak ja que els dissenys no queden limitats a formes polièdriques, aconseguint formes molt més esveltes i arrodonides sense deixar de banda angles més afilats en funció del disseny. També permet escollir entre una gran varietat de fustes i combinació entre elles.



Figura 77. Kayak construït pel sistema "Strip Built" - Imatge de Google

#### 4.2.3 Sistema "Canvas on Frame"

Aquest tercer mètode combina la fusta amb teixits impermeables o de pell (la traducció és lona en un marc). Consisteix a construir una carcassa de fusta amb la forma del kayak, que posteriorment es folra amb pells o teles impermeables. Els kayakers resultants emulen els primers kayakers inuits. Són kayakers molt lleugers que requereixen molta cura per a no danyar la tela.

Avui en dia aquest mètode pràcticament no s'utilitza, tan sols entusiastes interessats en els mètodes tradicionals l'utilitzen. Val a dir també que és un mètode que pot resultar molt econòmic (constructivament parlant), doncs s'utilitza poca fusta i un teixit impermeable. Si s'utilitza alguna pell o cuir el preu final augmentarà.



Figura 78. Kayak construït pel sistema "Canvas on Frame" - Imatge de Google

### 4.3 Materials compostos

Un material compost és tot aquell sistema o combinació de materials constituït a partir d'una unió de dos o més components, que dona com a resultat un nou material amb propietats característiques específiques, no essent aquestes noves cap de les anteriors. S'identifiquen dues fases; una continua (constituïda per la matriu) i una discontinua (anomenada reforç). Les propietats del nou material depenen doncs de les característiques dels components.

De les diferents classificacions que es poden fer dels materials compostos la més important és la que es refereix a la matriu, distingint matrius metàl·liques, ceràmiques i polimèriques. En el món de les embarcacions d'esbarjo són les polimèriques les que s'utilitzen, donant lloc a materials compostos constituïts per un polímer i fibres com a reforç. Són materials amb bones propietats mecàniques, resistent a la corrosió (factor clau) i, donades les seves característiques, poden modelar-se amb absoluta llibertat de formes.

#### 4.3.1 Matrius

Entre les funcions principals de la matriu polimèrica en el material compost podem mencionar transmetre els esforços a les fibres de reforç, unir les fibres de reforç per forces adhesives i resguardar les fibres d'atacs externs com humitat, atac químic, ...

Dins les matrius polimèriques podem trobar els polímers termoplàstics, termoestables i elastòmers. Els termoplàstics al escalfar-se a determinades temperatures es converteixen en fluids, permetent així modelar-los en la forma desitjada. Els termoestables no flueixen per efecte de la temperatura a diferència dels primers. Els elastòmers presenten un estat gomelàstic a temperatura ambient. En l'àmbit naval són les matrius termoestables les més utilitzades ja que no es necessiten grans inversions en motlles doncs els processos de construcció requereixen motlles senzills (fets amb altres composts més senzills o fusta). Tampoc es requereixen controls de temperatura ja que la majoria de resines es processen a temperatura ambient. Entre les principals avantatges d'aquestes podem destacar una alta rigidesa i baix pes.

Podem trobar dins el grup de matrius termoestables resines de polièster, de vinilèster, epoxi i/o fenòliques d'entre altres. La més utilitzada és la resina de polièster. El seu cost és el més reduït de les

termoestables. Sovint són mesclades amb additius que en milloren i/o canvien les propietats, com ara reduir el pes, augmentar la rigidesa, donar color, ...

#### **4.3.2 Materials de reforç**

Les fibres de reforç són les que aporten al material compost la resistència i el bon comportament mecànic. Les més utilitzades en la construcció naval són les fibres de vidre, les fibres aramídiques (kevlar) i les de carboni, presentades en diferents configuracions com feltres, sistemes mallats i sistemes no mallats.

La fibra de vidre és el reforç més utilitzat, degut a la seva disponibilitat, les seves més que acceptables propietats mecàniques i el seu cost reduït. En funció dels components empleats en la seva fabricació tindrem diferents tipus de fibra de vidra. No obstant, els vidres més utilitzats són els de base de silici. De la fibra de vidre podem destacar l'alta adherència fibra-matriu, la resistència mecànica (la seva resistència específica, tracció/densitat, és superior a la de l'acer), la incombustibilitat, la imputrescibilitat i el seu baix cost.

La fibra d'aramida és relativament nova i amb un potencial d'aplicacions molt ampli. El principal avantatge es basa en l'alta resistència i la rigidesa que es pot aconseguir. Els materials compostos fabricats amb aquestes fibres es consideren materials d'altres prestacions ja que les propietats mecàniques són molt elevades, en especial la resistència a l'impacte. Per contra, com a punt dèbil tenen un mal comportament a pressió. Presenten una resistència específica a la tracció molt elevada, fins a 5 vegades més resistent que l'acer.

La fibra de carboni és un material que històricament s'ha considerat d'ús excepcional degut al seu elevat cost. En els darrers anys però el preu està baixant de forma considerable ja que cada vegada la demanda és major doncs s'aplica en un número de camps major i més divers. D'entre les seves propietats destaquen l'alta rigidesa específica i gran resistència, elevada resistència a la fatiga, no presenta plasticitat (el seu límit de ruptura coincideix amb el límit elàstic) i, per contra, l'inconvenient de l'elevat cost.

Per a la construcció d'un kayak amb materials compostos es poden seguir diferents mètodes de fabricació, que s'exposen a continuació. En tots els casos, es parteix d'un motlle sobre el qual es laminarà, obtenint les formes desitjades.

### 4.3.3 Laminat per contacte manual

És una de les tècniques més antigues en la fabricació de materials compostos i a dia d'avui continua sent una de les més utilitzades. El procés consisteix en l'aplicació de successives capes de material de reforç sobre el motlle, per impregnar-les gradualment amb resina mitjançant un rodets o brotxa. L'acció de passar el rodets ajuda a la impregnació del reforç i evita que quedin bombolles d'aire atrapades entre les successives capes de l'estratificació.

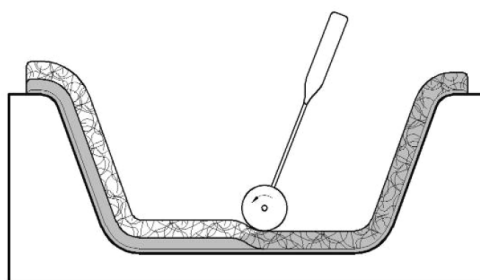


Figura 79. Laminat per contacte manual [20]

Els principals avantatges podrien resumir-se en la senzillesa i cost baix del mètode, el cost dels motlles és també el més baix en tots els mètodes de producció, no existeixen límits en quant a mida de peça a produir, es poden utilitzar tot tipus de resines i reforços i en general no requereix processos tèrmics posteriors.

Els desavantatges d'aquesta opció són que el contingut de reforç és baix (25-35%), els laminats són de qualitat irregular (uniformitat, homogeneïtat i taxa de porositat), la productivitat és baixa doncs el procés és molt artesanal i provoca elevades emissions de compostos orgànics volàtils.

### 4.3.4 Laminat per projecció simultània

Consisteix en projectar fibra retallada entre dolls de resina catalitzada mitjançant un equip especial, de forma que la matriu i el reforç es dipositen simultàniament sobre el motlle. Una vegada dipositats es realitza el compactat utilitzant rodets o espàtules per a millorar la impregnació dels reforços i eliminar l'aire que quedi atrapat. Aquest pas és important doncs en el procés de projecció queda una quantitat considerable d'aire atrapat.

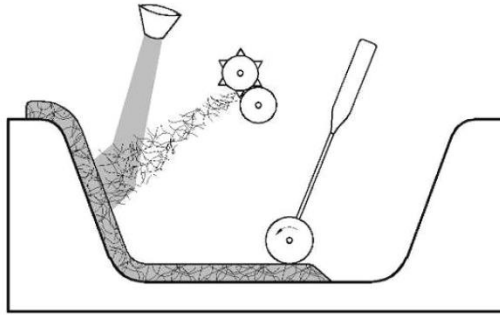


Figura 80. Projecció simultània [20]

Entre els principals avantatges podem destacar que és més productiu que el laminat manual (fins a un 30%), el cost del reforç és inferior, utilitza els mateixos motlles que en laminat manual i en general tampoc requereix de processos tèrmics posteriors.

Per contra, el cost de l'equip de projecció és elevat, la qualitat del laminat és molt irregular, existeix una forta dependència de l'habilitat de l'operari, la taxa d'emissions de composts orgànics volàtils és molt elevada i el manteniment de l'equip requereix un rigorós i estricte programa.

#### 4.3.5 Laminat per contacte manual assistit per buit

La tècnica de laminat assistit per buit consisteix en crear una pressió addicional sobre el laminat durant el cicle de curat. S'introdueix la peça en una bossa, en la que es crea el buit amb una bomba, de forma que el laminat es compacta. La funció principal de la tècnica consisteix en optimitzar la relació reforç-matriu del material. Ajuda també a remoure l'aire atrapat entre capes, compacta les capes de reforç, redueix la humitat i proporciona laminats més uniformes. Resumint, la tècnica persegueix millorar les propietats mecàniques del laminat amb una important reducció de pes. En contrapartida, el seu cost és lleugerament superior, la productivitat és menor ja que els processos són més extensos i els motlles han de ser especialment dissenyats (o en el seu defecte modificats) per assegurar l'estanqueïtat.

#### 4.3.6 Laminat per infusió

El procés d'infusió està format per diferents etapes. Primer es disposen les fibres seques de reforç sobre el motlle. Seguidament tot el conjunt és compactat per pressió de buit mitjançant una bossa, extraient així tot l'aire que quedi atrapat entre les capes de laminat. Un cop compactat es permet el pas de resina catalitzada a través de mànegues distribuïdes estratègicament per tot el motlle.

Destaquen les bones propietats mecàniques de les peces finals utilitzant un mètode senzill i rentable econòmicament. No existeixen limitacions de mida de les peces (més que les de l'equip de treball) i el temps de fabricació és menor que en altres tècniques.

D'altra banda és necessària una mà d'obra especialitzada, la productivitat del procés no és molt elevada, i les possibles resines a utilitzar han de tenir una viscositat baixa, cosa que pot encarir el procés.

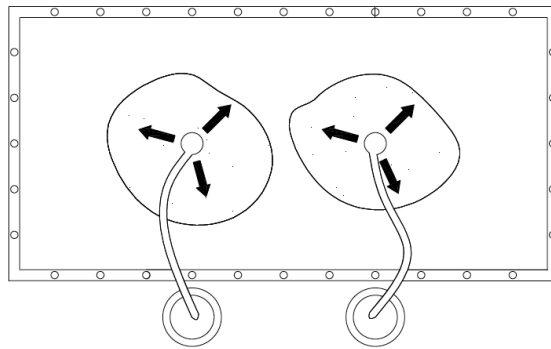


Figura 81. Laminació per infusió [20]

## Capítol 5. Selecció de materials

La metodologia de construcció proposada en aquest treball es centrarà en un model fet a partir de materials compostos. En concret, una estructura de tipus sandwich amb fibres de vidre i aramida. Una estructura tipus sandwich és una estructura constituïda per dos capes de material resistent entre les quals s'interposa un material lleuger i, en general, de baixa densitat. Aquest nucli augmenta l'espessor del conjunt i proporciona grans beneficis des del punt de vista de rigidesa del conjunt.

La seqüència de laminat proposada s'inspira en les que utilitzen els kayaks de la marca *Lincoln Kayaks*, kayaks amb característiques similars a les del disseny proposat. Es comença amb una capa de teixit de fibra de vidre de 205 g/m<sup>2</sup>. Seguidament una altra capa de teixit de fibra de vidre, aquest cop de 280 g/m<sup>2</sup>. Després d'aquesta segona capa ve el nucli del laminat. En aquest cas, una capa de teixit d'estructura hexagonal, Soric XF, de 3 mm. Finalment es dipositarà una capa de fibra d'aramida de 170 g/m<sup>2</sup>. Combinar les dues fibres en un mateix laminat permet aconseguir les característiques d'ambdós teixits. Un laminat fet només a partir de fibres d'aramida o inclús carboni dotaria al kayak d'unes millors prestacions, però recordem que la proposta queda enfocada a una construcció amateur, per tant un dels punts a tenir en compte és l'assequibilitat del prototip final.

La matriu utilitzada serà la resina de polièster ortoftàlica. De les propietats principals en podem destacar la duresa, la resistència a la hidròlisi (factor important en el nostre cas), ràpid cicle de curació, excel·lent compatibilitat amb pigments (el que permetrà personalitzar el color final del casc de forma fàcil) i, d'entre les resines de polièster, és la més econòmica (cosa que ajudarà a mantenir un preu final de construcció raonable).

Amb el laminat proposat, s'obtindrà un pes d'uns 22kg aproximadament.



## Capítol 6. Anàlisi hidrodinàmic

Per a fer l'estudi hidrodinàmic del kayak s'utilitza l'extensió Resistance del programa Maxsurf, que permet estudiar el comportament dels casc utilitzant diferents mètodes.

Es comença per importar el casc amb les referències establertes prèviament. Es defineixen les unitats de treball, per a que siguin coherents amb l'escala del kayak (massa en kilograms, longitud en centímetres, força en newtons i potència en watts). L'interval de velocitats a analitzar serà fins a 7 nusos. Un estudi sobre l'actuació física en el piragüisme publicat per un conjunt d'investigadors japonesos [21] determina que palistes no olímpics, però si practicants habituals del kayak, arriben a una mitja de 113,7 palades cada minut, assolint una velocitat de 8 nusos. Com que el kayak dissenyat no està pensat per a competició, però sí per a practicants amb experiència es decideix fer l'anàlisi fins a 7 nusos de velocitat. És bo recordar que les velocitats màximes que s'assoleixen en kayak ronden els 11 nusos, en la modalitat K1 sprint. Normalment el kayak es mourà en un rang de velocitats de passeig, dels 3 als 5 nusos, però és bo estudiar-ne també el comportament en velocitats superiors per a una possible condició d'esprint.

En un primer moment es proposa utilitzar el mètode d'anàlisi Holtrop, utilitzat en embarcacions de desplaçament (com és el cas). És un mètode fiable que dona bons resultats, molt utilitzat en l'anàlisi de superfícies. Per a treballar amb aquest mètode però és necessari trobar-se dins uns rangs determinats:

Fn		Cp		L/B		B/T	
Mín.	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	Màx.
0	0,8	0,55	0,85	3,9	15	2,1	4

Taula 7. Rang d'aplicació del mètode Holtrop - Font pròpia

Si observem amb atenció la taula, veiem que per al disseny proposat no és compleix el rang de coeficient prismàtic (0,508) ni la relació B/T (5,2), per tant no es podrà treballar amb aquest mètode.

El mètode escollit és doncs el "Slender Body". S'utilitza quan la relació L/B és elevada, és a dir, quan el cos a analitzar és esvelt (com és el cas d'un kayak). Per a poder realitzar l'estudi és necessari definir una malla d'anàlisi, activant l'opció "SB Mesh". Els resultats obtinguts han estat els següents:

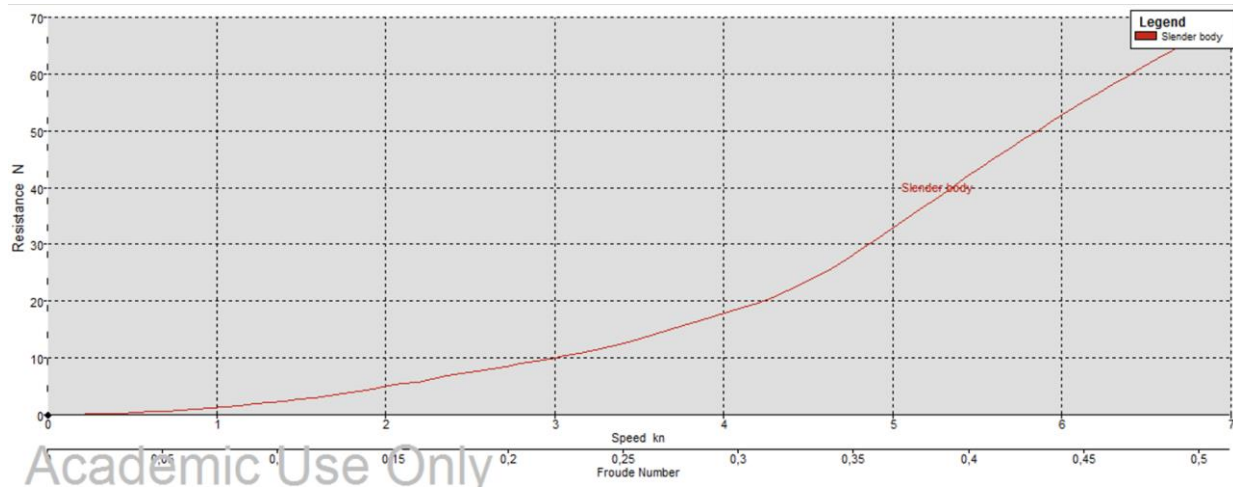


Figura 82. Evolució de la resistència a l'avanç en funció de la velocitat – Font pròpia

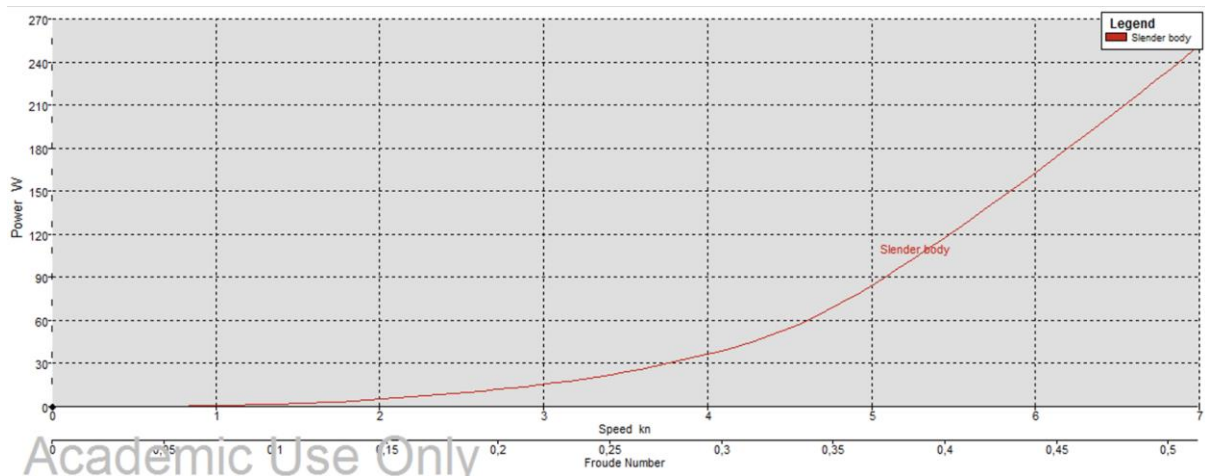


Figura 83. Evolució de la potència en funció de la velocitat - Font pròpia

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (W)
1	0	0	0	--	--
2	0,175	0,013	0,042	0,06	0,01
3	0,35	0,026	0,083	0,19	0,03
4	0,525	0,039	0,125	0,4	0,11
5	0,7	0,051	0,167	0,67	0,24
6	0,875	0,064	0,208	1,01	0,46
7	1,05	0,077	0,25	1,43	0,77
8	1,225	0,09	0,292	1,9	1,2
9	1,4	0,103	0,334	2,42	1,74
10	1,575	0,116	0,375	3,02	2,44
11	1,75	0,129	0,417	3,64	3,28
12	1,925	0,141	0,459	4,62	4,57
13	2,1	0,154	0,5	5,41	5,85
14	2,275	0,167	0,542	6,36	7,44
15	2,45	0,18	0,584	7,18	9,05
16	2,625	0,193	0,625	8,07	10,9
17	2,8	0,206	0,667	8,97	12,92
18	2,975	0,218	0,709	9,9	15,15
19	3,15	0,231	0,751	10,91	17,68
20	3,325	0,244	0,792	12,02	20,55
21	3,5	0,257	0,834	13,4	24,12
22	3,675	0,27	0,876	14,97	28,3
23	3,85	0,283	0,917	16,5	32,69
24	4,025	0,296	0,959	18,01	37,3
25	4,2	0,308	1,001	19,7	42,57
26	4,375	0,321	1,042	21,79	49,05
27	4,55	0,334	1,084	24,38	57,06
28	4,725	0,347	1,126	27,41	66,64
29	4,9	0,36	1,168	30,79	77,61
30	5,075	0,373	1,209	34,35	89,69
31	5,25	0,386	1,251	37,99	102,61
32	5,425	0,398	1,293	41,61	116,12
33	5,6	0,411	1,334	45,14	130,05
34	5,775	0,424	1,376	48,56	144,28
35	5,95	0,437	1,418	51,87	158,77
36	6,125	0,45	1,459	55,06	173,5
37	6,3	0,463	1,501	58,15	188,47
38	6,475	0,475	1,543	61,17	203,76
39	6,65	0,488	1,585	64,12	219,34
40	6,825	0,501	1,626	67,02	235,33
41	7	0,514	1,668	69,9	251,74

Figura 84. Resultats de l'anàlisi hidrodinàmic del casc - Font pròpia

Si bé és cert que les dades obtingudes proporcionen una informació valuosa, una comparació amb altres models és necessària per a tenir una idea de quin és el comportament real del kayak. L'objectiu del treball és que el disseny proposat sigui bo hidrodinàmicament, per tant és important comparar-lo amb altres models existents i valorar si s'ha assolit aquest objectiu. Vaclav Stekskal té una pàgina web [22] dedicada al disseny i construcció de kayaks. Allà hi trobem una petita base de dades de diferents kayaks amb taules on apareixen les diferents resistències a l'avanç per a les corresponents velocitats de cada un. S'introdueixen aquests valors en una taula comparativa en fulla de càlcul Excel per a poder treballar-hi. El model dissenyat en aquest treball partia d'una proposta de l'enginyer Nick Shade, el kayak "Guillemot". És important també doncs afegir-lo a la comparativa per veure si se n'ha millorat el

comportament o no. Un cop s'ha completat la taula es crea la gràfica que relaciona la resistència a l'avanç i la velocitat. El resultat obtingut ha estat el següent:

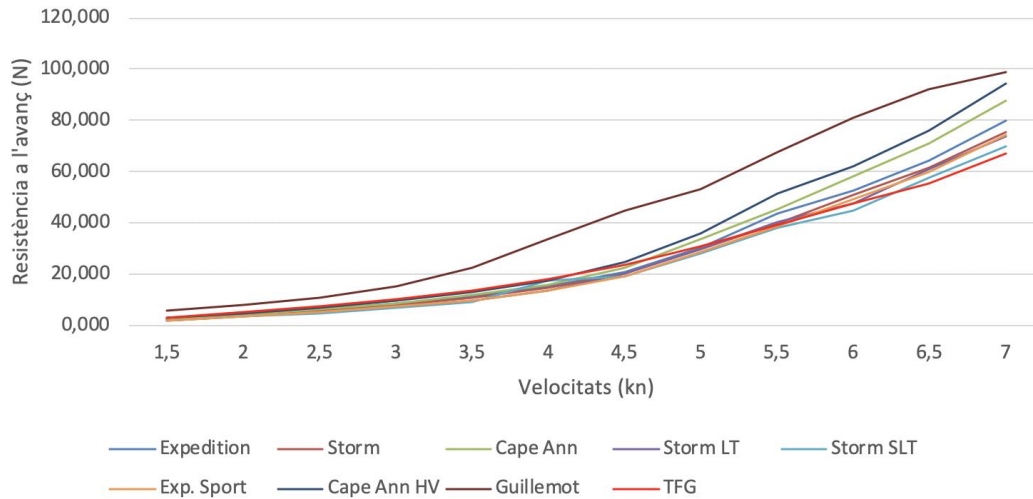


Figura 85. Gràfica comparativa de les diferents resistències a l'avanç - Font pròpia

Comparant l'evolució del model "Guillemot" amb el disseny proposat en aquest treball, els resultats obtinguts es poden donar per més que satisfactoris. Per a velocitats baixes els valors no difereixen molt, però la resistència a l'avanç del prototip es manté per sota en tot moment. A mesura que la velocitat augmenta aquesta diferència cada vegada és més pronunciada, arribant gairebé als 35N per a les velocitats més elevades. Que les modificacions de disseny proposades donin un resultat així és un molt bon indicador de la seva efectivitat.

Comparant ara l'evolució amb els altres models podem treure diverses conclusions. Per a velocitats baixes el prototip sempre té una resistència a l'avanç superior. La màxima diferència, de 10N, es dona en comparació amb el model "Exp. Sport" per a una velocitat de 4,5 nusos. A mesura que augmenta la velocitat però, el disseny proposat té un comportament més bo, tenint la resistència més baixa de totes a partir dels 6,25 nusos. Tenint en compte però que la velocitat de creuer d'un kayak de passeig és 4 nusos, el prototip no té el disseny més favorable per a aquest rang de velocitats. Cal remarcar que la diferència en aquesta velocitat no supera els 7N amb el kayak més eficient, un valor gens exagerat. Podem donar per satisfactori doncs també el resultat obtingut.

## Capítol 7. Anàlisi d'estabilitat

Per a fer l'anàlisi d'estabilitat del kayak s'utilitza l'extensió Stability del programa Maxsurf. Es comença per importar el casc i definir les unitats de treball.

Un cop preparat l'arxiu, s'ha de definir el centre de gravetat del kayak. Es considera que el camp gravitacional és uniforme, per tant el centre de gravetat es troba al mateix punt que el centre de masses.

En una estructura composta per reforços i peces de materials diferents, per a buscar el centre de masses equivalent de tot el conjunt, s'elabora una taula amb la massa de cada peça i la seva posició longitudinal, transversal i vertical respecte el punt de referència. Tenint en compte el moment que cada peça genera en funció del pes d'aquesta, podem obtenir el centre de masses de tot el sistema. Degut a la metodologia constructiva escollida i la selecció de materials proposada, s'observa que en tota l'estructura el laminat del kayak és igual, el que es tradueix en una distribució uniforme de la densitat del material al llarg del casc. Aquesta distribució uniforme de la densitat simplifica molt trobar la posició del centre de masses. De fet, aquest coincideix amb el centroide del kayak. Amb el programa Rhinoceros podem obtenir fàcilment la posició d'aquest punt.

Per a estudiar l'estabilitat del kayak però, es tindrà també en compte la posició del palista i el pes d'aquest. El centre de gravetat d'una persona asseguda en una posició de rem correspon a la de la Figura 86. Aquest punt es troba aproximadament de mitjana en una persona adulta a 25cm sobre el nivell del terra (fons del kayak) i a 30cm respecte l'esquena del palista (part anterior del cockpit). Val a dir que en funció de cada persona aquest punt variarà. Aquestes dues mesures per tant corresponen a la posició vertical i longitudinal respectivament de la posició del centre de gravetat del palista. Per a la posició transversal es tindrà en compte que aquesta queda situada en el pla de simetria de la persona.

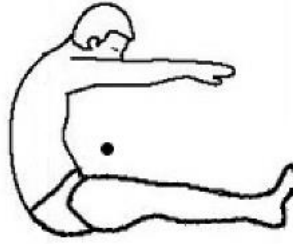


Figura 86. Centre de gravetat d'una persona en posició de rem - Imatge de Google

Pel que fa al pes, s'analitzen 3 situacions diferents: un palista de 60kg, un de 75kg i un de 90kg. Per a compensar la posició del centre de gravetat a mesura que el pes augmenta, es reduirà la posició vertical d'aquest en 1cm pel palista de 75kg i 2cm pel de 90kg.

S'introdueixen a Maxsurf Stability els valors de cada cas en una nova condició de càrrega. La primera condició a analitzar serà la del kayak en rosca. La corba GZ obtinguda és la següent:

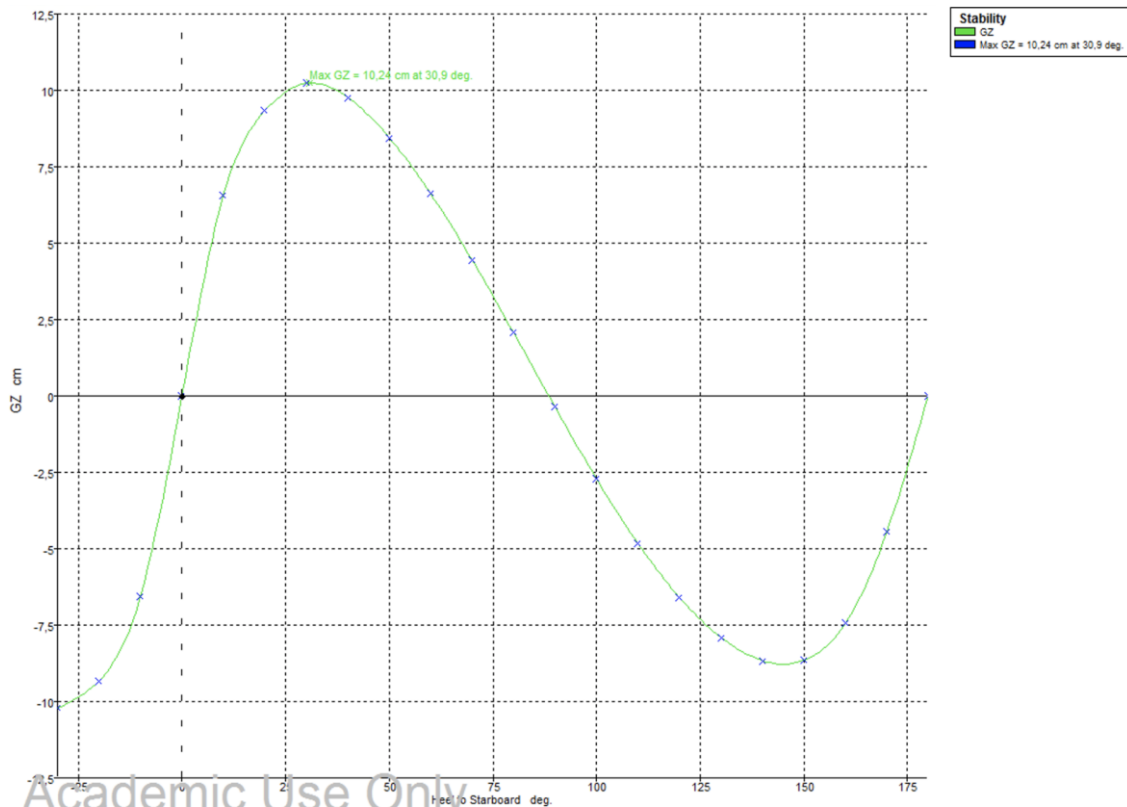


Figura 87. Corba GZ del kayak en rosca

S'observa una molt bona estabilitat primària donat que el pendent de la corba en els primers 10º d'escora és elevat. El braç redreçant màxim s'assoleix en una escora de 30,9º, de 10,24cm. L'angle límit és a 88,5º d'escora.

A continuació es mostren les corbes per als casos amb palista:

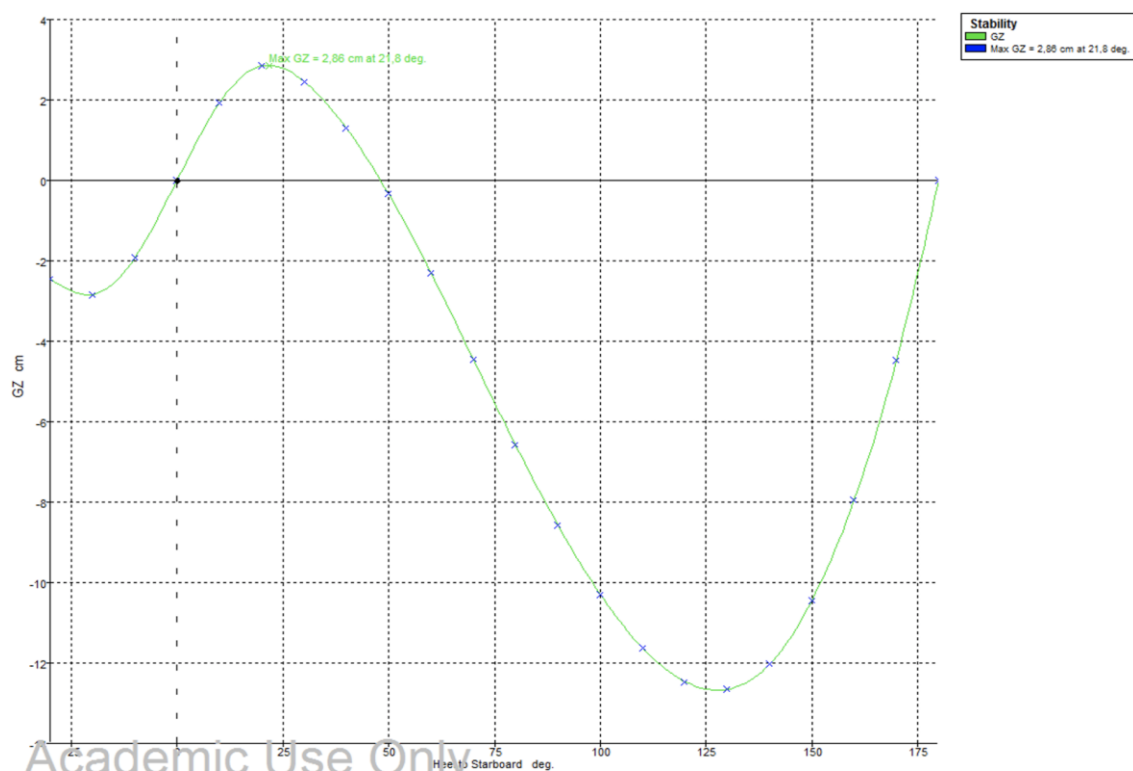


Figura 88. Corba GZ per a un palista de 60kg

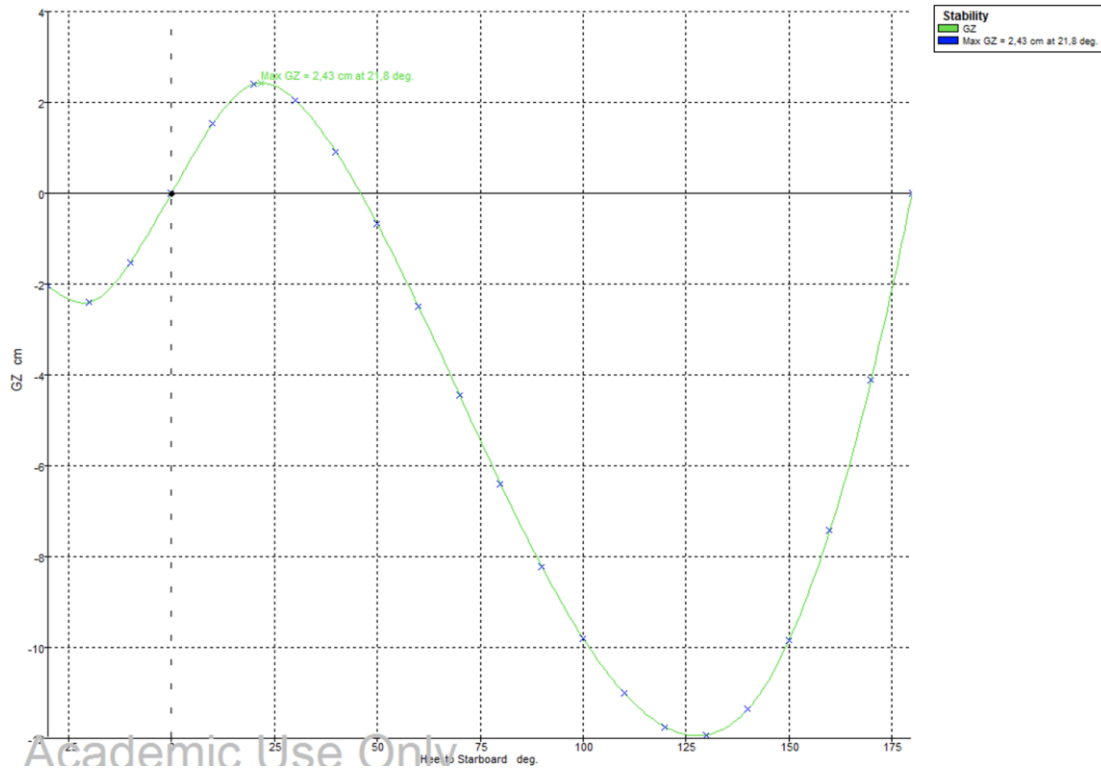


Figura 89. Corba GZ per a un palista de 75kg

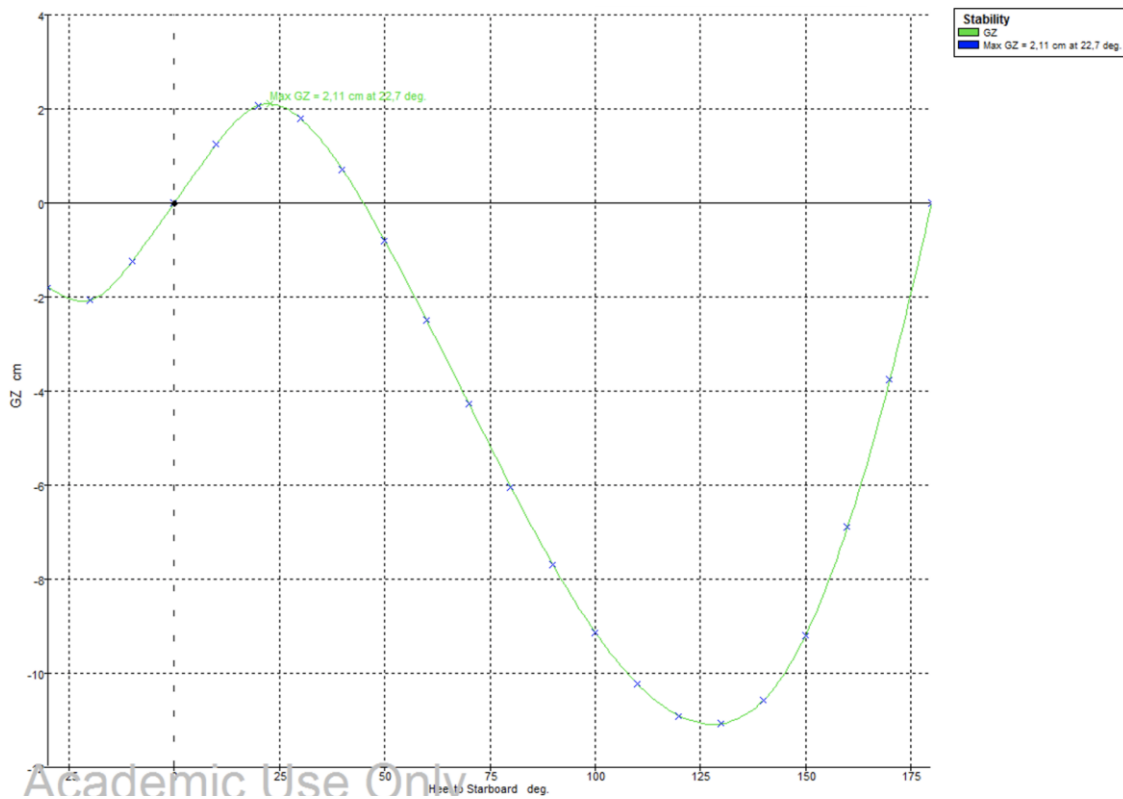


Figura 90. Corba GZ per a un palista de 90kg



En els 3 casos s'observa una bona estabilitat primària, reduint però a mesura que augmenta el pes del palista. Quan el pes del palista és de 60kg el parell redreçant màxim és de 2,86º, a una escora de 21,8º. L'angle límit és de 48,5º. Al augmentar el pes del palista s'observa també com el braç redreçant màxim disminueix, fent que el kayak sigui menys estable. Per a un palista de 75kg aquest serà de 2,43cm a una escora de 21,8º i per a un de 90kg serà de 2,11cm a una escora de 22,7º. El valor de l'angle límit d'escora també es veu reduït, sent 46º i 45º per a 75kg i 90kg respectivament.

Veient els resultats es confirma que el pes del palista influeix de forma notòria al comportament del kayak. A mesura que augmenta la càrrega del kayak tant l'estabilitat inicial com secundària, el braç redreçant màxim i l'angle límit disminueixen. La resistència a bolcar és inferior i per tant el kayak és menys estable.

Igual que en l'anàlisi hidrodinàmic, una comparació de les dades obtingudes en el disseny proposat amb les del kayak Guillemot és necessària per a fer una valoració del resultat obtingut. L'enginyer Nick Shade presenta els valors de la corba d'estabilitat per a un palista de 90kg, per tant seran els valors de la Figura 90 els que s'utilitzin per a la comparació. En una fulla de càlcul Excel s'introdueixen els valors del braç redreçant en funció de l'escora i es crea la gràfica següent:

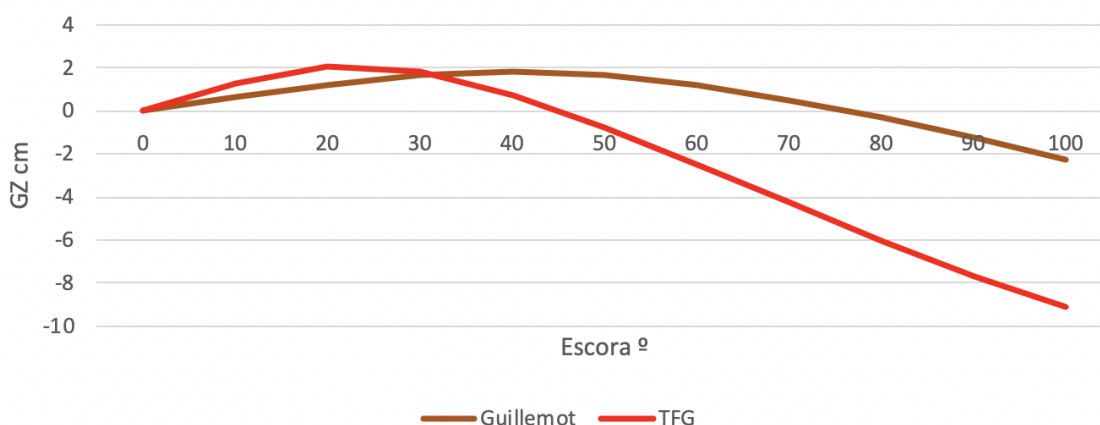


Figura 91. Gràfica comparativa de corbes GZ – Font pròpia

De la gràfica anterior podem veure com el prototip té una estabilitat primària clarament superior a la del model Guillemot. El braç redreçant màxim també és superior en el disseny proposat. Aquestes dues observacions indiquen que per a petites escores el kayak es comportarà molt millor. A partir dels 32º

d'escora però el valor del par redreçant és inferior. El kayak Guillemot té una estabilitat secundària superior, arribant a un angle límit de 75°. Les formes del prototip per tant no potencien aquesta estabilitat a elevats angles d'escora. Pensant que el disseny ha estat proposat per a practicants amateurs amb experiència, podem concloure que la corba d'estabilitat és bona. En la navegació amb kayak poques vegades els angles d'escora són elevats. És bo per tant que el braç redreçant sigui superior a escores més baixes, el que donarà una sensació de seguretat quan es navegui. Val a dir també que es podria haver potenciat més l'estabilitat secundària intentant que l'angle límit fos superior. D'aquesta manera quan l'estat de l'aigua fos més advers el kayak seguiria oferint aquesta seguretat.

## Capítol 8. Procés constructiu

En aquest capítol s'explica tot el procés que s'ha de seguir per a la construcció del model proposat. La proposta constructiva està pensada per a que qualsevol persona amb nocions bàsiques de bricolatge la pugui seguir. És per això que tant les eines utilitzades com les tasques a realitzar no són d'un nivell tècnic molt elevat.

El procés constructiu queda dividit en diferents fases. Comença per a la confecció d'un suport sobre el qual es treballarà. En segon lloc ve la construcció del model a partir de fusta i poliestirè expandit (porexpan). A continuació s'elaborarà el motlle amb materials compostos. Finalment, es laminarà sobre el motlle seguint la seqüència de laminat proposada i es poliran els detalls finals.

A l'Annex 2 es poden trobar les llistes de materials i eines utilitzades en cada fase.

A l'Annex 3 es pot trobar el pressupost aproximat del procés de construcció.

### 8.1 Construcció del suport

El suport està pensat per a que sigui utilitzat durant tot el procés de construcció. Constarà de dues parts iguals, formades per una estructura de fusta i una cingla on descansarà el kayak. Per a construir-lo s'utilitza un taulell d'aglomerat de fusta, d' 1cm de gruix. Tan sols caldrà traçar les peces sobre el tauler amb llapis, serrar-les i posteriorment enganxar-les amb cola blanca i cargols. El kayak descansarà sobre les cintes, que es fixen també amb cargols a la fusta.

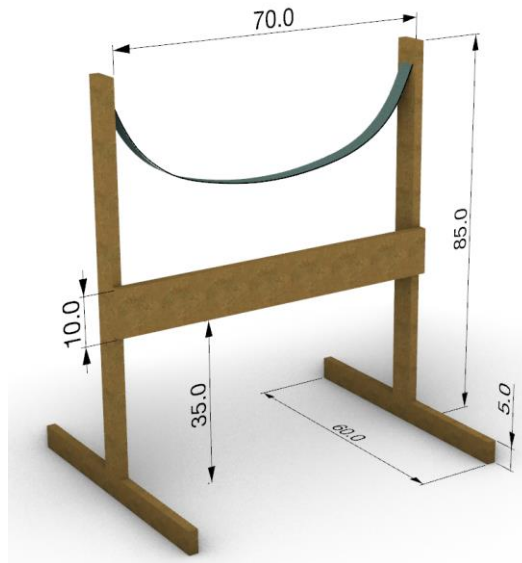


Figura 92. Suport per al kayak - Font pròpia

## 8.2 Construcció del model

Un cop es tinguin llestos els suports, es comença la construcció del model. Es comença per preparar el que serà l'eix longitudinal del model, una biga de fusta. A poder ser s'utilitzarà una peça continua de fusta, de 4,4m de longitud. Com que trobar una biga d'aquesta longitud pot resultar complicat, es poden utilitzar dues peces de menys longitud i empalmar-les. En concret s'utilitzen dues bigues de 7,8 x 5,8 x 300 cm (Les plantilles de l'Annex 4 estan pensades per a una biga d'aquestes dimensions, qualsevol altra pot utilitzar-se però, ajustant adequadament les plantilles). Per a unir-les es serraran les bigues fins que facin 235cm de longitud. Els 15cm d'un extrem de cada biga es retallen en forma d' "L" i s'encolen l'un amb l'altre, quedant una biga final de 440cm. Per a assegurar la unió es poden utilitzar cargols també, tal com es mostra a la següent figura.

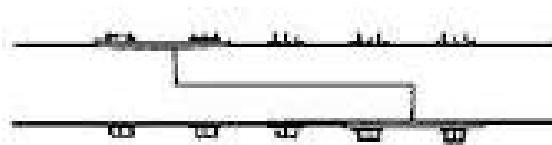


Figura 93. Unió de dues bigues - Imatge de Google

És important que les dues parts quedin perfectament alineades, per això es treballarà en una superfície totalment plana i s'aplicarà pressió amb serjants.

Quan ja es tingui acoblada la biga es realitzaran dos osques als extrems per a poder unir la biga amb els perfils de proa i popa. Les osques han de tenir una amplada igual a la del taulell que s'utilitzarà per a retallar els perfils de proa i popa, en aquest cas 1cm, i una llargada de 10cm. A la següent figura es pot observar la planta de la secció:

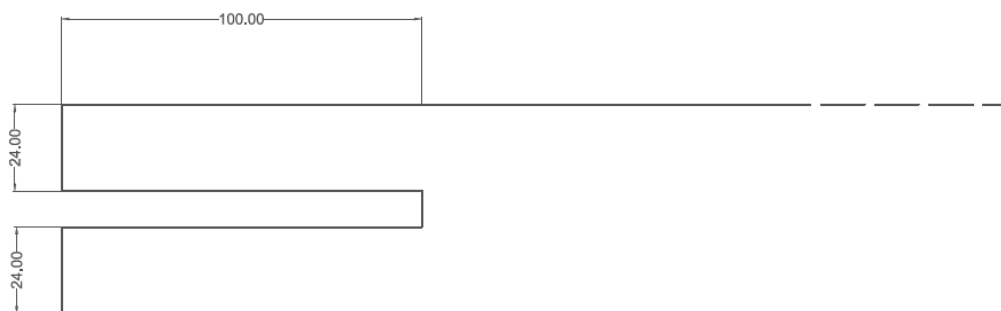


Figura 94. Planta de l'extrem de la biga longitudinal (mesures en mm) - Font pròpia

Un cop llesta la biga, el següent pas és preparar les seccions transversals del kayak. S'imprimiran les plantilles de l'Annex 4 i es retallaran les seccions transversals. També es retallaran els perfils de proa i popa. A continuació es distribuiran les plantilles sobre un tauler de fusta intentant aprofitar al màxim l'espai. Un cop ja estiguin totes situades s'encolaran i es retallaran amb una serra de vogir.

Seguidament s'ha de realitzar un orifici per a poder acoblar les seccions a la biga longitudinal. Les plantilles de l'Annex 4 incorporen ja el contorn de l'orifici, les dimensions del qual corresponen a la base de la biga. Es fa un forat al centre amb un trepant, s'introdueix la fulla de la serra de vogir per l'orifici realitzat i es ressegueix el contorn fins retallar la part sobrant. És molt important ser precís en aquest pas sinó les seccions transversals no quedaran ben ajustades i la forma final del casc no serà òptima.

Les seccions transversals de proa i popa no encaixen seguint el patró anterior sinó que tenen una entrada de forma que puguin encaixar amb els perfils de proa i popa. A les plantilles proporcionades ja estan dibuixats els contorns per a que les peces encaixin amb precisió.

Quan ja es tinguin totes les peces retallades de forma corresponent s'encolaran a la biga longitudinal i, per a aconseguir una unió més ferma, es repassaran les juntes amb cola calenta. El resultat ha de ser el següent:

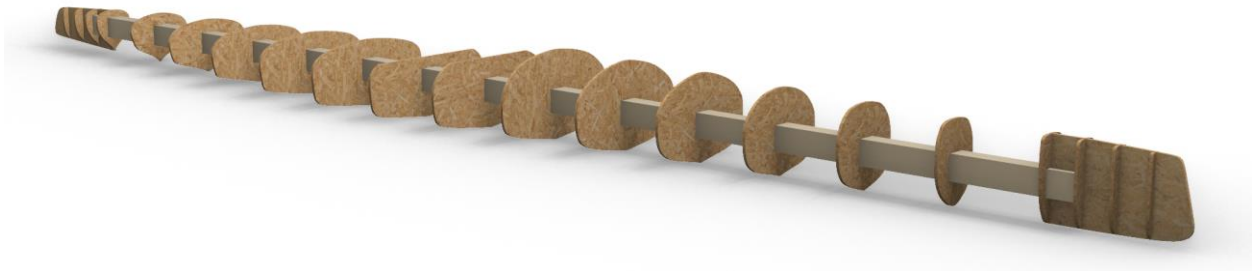


Figura 95. Seccions transversals i biga acoblades - Font pròpia

Quan ja es tingui muntat l'esquelet del kayak és hora de donar-li volum. S'omplirà amb poliestirè expandit (conegut comunament com a "porexpan"). Per a tallar les planxes s'utilitzarà un tallador de fil calent. Els cubs s'enganxaran a l'esquelet utilitzant adhesiu especial per a poliestirè. Aquest no conté dissolvents, evitant així que es desfaci el poliestirè. Quan els blocs ja estiguin adherits a l'estructura, amb el fil calent es retirarà la part sobrant de manera que vagi quedant la forma del casc. Un cop ja s'hagi realitzat per a totes les seccions tocarà omplir les parts que no s'hagin pogut omplir amb el poliestirè. Per a aquests buits s'utilitza espuma de poliuretà. Aquesta espuma, a part d'emplenar les parts que hagin quedat sense poliestirè expandit, servirà de fixació entre blocs.

A continuació es crearà el forat del cockpit. Utilitzant les plantilles de l'Annex 4 es traçarà tot el perfil del cockpit sobre el casc i amb l'ajuda de la serra de vogir es buidarà la part interior. De la fusta sobrant dels taulells utilitzats es retallen pestanyes d'uns 5cm x 3cm, que s'aniran enganxant amb adhesiu resseguint tota la vora del cockpit.

Finalitzat això, s'aplicarà una capa de resina acrílica per tot el kayak, amb l'ajuda d'una brotxa. Seguidament s'aplica una capa de feltre de fibra de vidre i es cobreix amb més resina acrílica. La resina acrílica no conté dissolvents i el procés de curat no és gaire exotèrmic, evitant així que es desfaci el poliestirè. Passades 24 hores, quan ja sigui ben sec, aplicarem una capa de resina acrílica mesclada amb carbonat càlcic (seguint les proporcions que indiqui el fabricant). El carbonat actuarà d'espessidor i la mescla resultant serà una massilla que s'ha d'aplicar amb una espàtula. És important repartir-la de forma homogènia per tot el casc. S'haurà de deixar assecat un altre cop 24 hores més. Passat aquest

temps, amb una esponja abrasiva deixarem la superfície amb un acabat polit i uniforme, llest per a l'aplicació del top-coat.

El top-coat és un material fet a base d'una resina termoestable i parafina que actua com a revestiment, tapant totes les imperfeccions i donant un acabat uniforme i brillant. Amb l'ajuda d'una brotxa s'aplicarà una capa a tot el kayak de top-coat mesclada amb catalitzador, seguint la proporció que indiqui el fabricant, intentant que quedi el màxim uniforme possible. Quan aquesta capa estigui seca ja es pot donar per conclosa aquesta segona fase.

### 8.3 Construcció del motlle

Per a la construcció del motlle serà necessària la preparació d'una pestanya de treball. Aquesta resseguirà tot el casc al llarg dels dos costats dividint-lo en dues meitats (superior i inferior). Aquestes pestanyes facilitaran el procés de laminat sobre els motlles i permetrà separar més còmodament el casc del motlle. Amb taulons llargs de fusta i massilla es crea la pestanya, que quedarà perpendicular al model. És important traçar una línia al llarg de tot el casc que ressegueixi tota la pestanya per a fer coincidir les dues cares del motlle a la mateixa altura.

Quan ja es té preparada la pestanya es comença a laminar. Primer s'aplicarà una capa del gel-coat. El gel-coat protegeix el laminat de l'atac químic i mediambiental i proporciona un acabat superior al del laminat en sí. És probable que s'hagi de mesclar amb algun additiu, en funció del que recomani el fabricant (normalment es compren en packs). S'aplica amb una brotxa per tota la superfície. Quan ja hi hagi una capa uniforme es torna a passar la brotxa fent petits moviments ondulats. Amb això s'aconsegueix que no quedi aire atrapat sota la superfície.

Un cop hagi curat el gel-coat es comença a laminar, fent servir un mat de gramatge baix i una resina de polièster. Es mescla la resina amb el catalitzador corresponent i s'aplica una capa a tota la superfície. Seguidament, es col·loca una capa de mat de fibra de vidre d'uns 150 g/m<sup>2</sup>. Amb l'ajuda d'una brotxa s'aplica més resina sobre el mat i es va distribuint per tota la superfície. Immediatament es passarà el rodet per a distribuir uniformement la resina i evitar que quedin bombolles d'aire atrapades. Es deixarà reposar fins que la capa hagi curat.

A continuació es laminaran un mínim de 4 capes de mat de fibra de vidre d'uns 450 g/m<sup>2</sup> i resina de polièster de baixa contracció, especial per a motlles. Aquesta també s'ha de barrejar amb el catalitzador

corresponent seguint les indicacions del fabricant. Per a laminar es segueixen els mateixos passos; s'aplica una capa de resina seguida d'una de mat fins a completar tota la seqüència. Finalment es passa el rodet per a distribuir bé la resina i eliminar l'aire que hagi pogut quedar atrapat.

Quan hagi curat el laminat s'aplica una última capa de top-coat. Aquesta protegirà les fibres de la intempèrie, augmentant així la vida útil del motlle.

Quan ja hagi passat el temps d'assecat s'extreu el motlle amb cura intentant fer pressió de forma equitativa per tota la vora. Es poden utilitzar falques de goma per ajudar a separar-lo.

Es repetirà el procés per a l'altre meitat del casc, tenint molta cura de col·locar la pestanya a l'altura indicada. De no col·locar-se a la línia traçada al principi, tindriem un motlle més gran que el model.

#### **8.4 Construcció del kayak**

L'última fase del procés comença per aplicar una capa de cera d'abella en tota la superfície del motlle. La cera farà que sigui més fàcil desprendre el laminat final del motlle. A continuació s'aplicarà una capa de gel-coat. Igual que en la fase anterior, es passarà la brotxa fent petites ondulacions per evitar que quedi aire atrapat. Seguidament s'aplicarà una primera capa de resina de polièster ortoftàlica, mesclada amb el corresponent catalitzador. Després ve la primera capa de fibra, teixit de fibra de vidre de 205 g/m<sup>2</sup>, i altre cop més resina ortoftàlica. És important anar passant el rodet per a distribuir la resina homogèniament per tota la superfície i que les fibres quedin ben impregnades. S'anirà seguint la seqüència de laminat proposada al capítol 5 fins a completar tot el laminat. Passat el temps de curat s'aplica una capa de top-coat, que protegirà les fibres. Completat el temps d'assecat es podrà extreure el laminat del motlle. S'ha d'anar amb compte, aplicant la mateixa pressió a diferents punts, ajudant-se si fos necessari amb falques. Es repetirà el procés per a l'altre meitat del kayak.

El procés d'unir les dues meitats comença per polir el que serà la junta. Com que els motlles tenen una pestanya que facilita separar el casc del motlle, s'ha d'eliminar la part sobrant del casc fins a que tota la superfície quedi suau i continua. Per a extreure aquesta part s'utilitza una serra radial i amb una llima s'acaba de repassar. A la zona del cockpit es farà el mateix, es retallarà la part sobrant i es poliran les vores.

Quan ja estiguin les vores retallades i polides es col·loca una part del casc sobre l'altra. Per a unir-les primer es laminarà per a la part interior amb resina de polièster i cintes de teixit de fibra de vidre (es pot utilitzar el que hagi sobrat del laminat). Un cop hagi curat, es repeteix el procés per a la part exterior de



la unió. Es pot utilitzar cinta adhesiva protectora per a delimitar quina és la zona on s'ha de laminar. Quan la part exterior hagi curat es llimarà amb una esponja abrasiva, donant un acabat polit a la unió. Finalment, ajudant-se de cinta adhesiva protectora altre cop, es pintarà una capa de gel-coat (pot ser de qualsevol color), que complirà una doble funció: protegir el laminat i donar un acabat més estètic.

L'últim pas serà afegir els acabats. Es començarà per afegir una goma protectora per tota la vora del cockpit, que s'enganxarà amb adhesiu. La goma no només dona un acabat estètic sinó que protegeix al palista de la vora viva del laminat, que podria causar algun petit tall.

Seguidament s'instal·la el seient. Es poden adquirir gran quantitat de seients, només caldrà seleccionar aquell que s'ajusti a la demanda del palista (amb més espuma o menys, d'un material o altre, ...). L'única condició a tenir en compte l'amplada del cockpit, que a la part anterior mesura 40cm.

Per a que el palista pugui remar d'una forma més còmoda i eficient s'afegeix també un reposapeus regulable. Igual que en el cas del seient, per internet es poden adquirir reposapeus amb diferents prestacions. Serà doncs qüestió d'escollir aquell que s'ajusti més al pressupost i prestacions desitjades. Per unir-lo al kayak s'utilitzarà qualsevol adhesiu fort compatible amb la resina de polièster.

Tant a proa com a popa es poden afegir nanses per a facilitar el transport. Per a col·locar-les cal foradar el casc amb un trepant i passar la corda pel forat. Es pot instal·lar també una malla elàstica que permetrà carregar bosses estanques. Caldrà foradar el casc altre cop amb el trepant, cargolar les anelles i lligar llavors la malla. Són moltes les possibilitats que ofereix el kayak, només cal fer recerca per internet i veure la gran quantitat d'accessoris que se li poden acoblar. Dependrà doncs del pressupost i el nivell de prestacions desitjat els accessoris que s'hi afegiran.

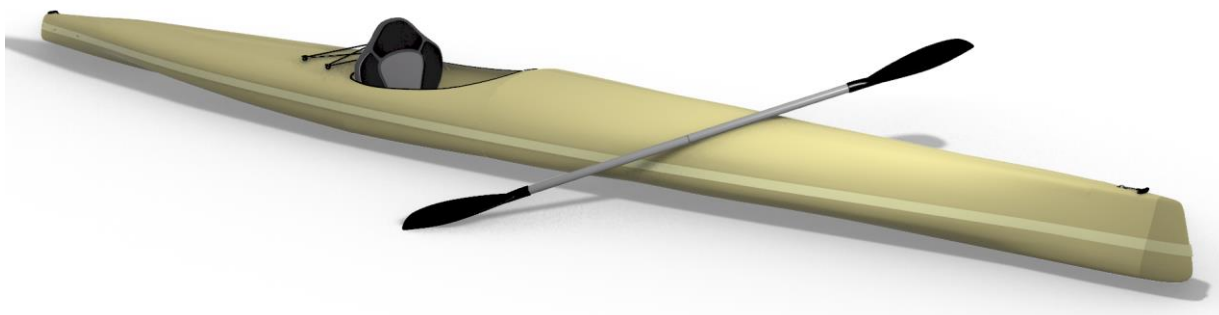


Figura 96. Prototip final - Font pròpia

## Capítol 9. Conclusions

A l'inici del treball es van proposar uns objectius a satisfer i, observant els resultats obtinguts, es poden donar per complerts. Pel que fa al comportament hidrodinàmic del kayak, els resultats finals són positius; comparant la resistència a l'avanç amb la del kayak de referència, les millores en el disseny clarament han optimitzat el seu rendiment hidrodinàmic, pel que podem donar per molt bo el disseny proposat. Com a millora però, haver pres des d'un inici com a referència un kayak amb formes que potenciessin més aquesta qualitat hagués resultat en un rendiment encara més bo, fent que la comparació final amb altres models fos més destacable. Les altres característiques de disseny del kayak s'haguessin vist alterades però, el que demostra que no és possible satisfer i potenciar al mateix temps hidrodinàmica, estabilitat, direccionalitat i/o maniobrabilitat. Sempre doncs s'ha de buscar una solució de compromís en funció de l'objectiu final que es persegueixi.

Pel que fa a l'estabilitat, els resultats obtinguts són força bons també. Si bé és cert que l'estabilitat primària ha millorat notòriament respecte la del kayak de referència, la secundària s'ha vist perjudicada. Aquesta pèrdua d'estabilitat secundària reafirma que mai es podran satisfer totes les qualitats alhora. El prototip final ha perdut estabilitat a canvi de millorar el comportament hidrodinàmic. En una segona volta de l'espiral de disseny es podria haver buscat millorar l'estabilitat en certa mesura intentant no perjudicar la hidrodinàmica del kayak, sempre tenint en compte quins son els marges de pèrdua-guany per a cada característica.

També cal remarcar que l'estabilitat del kayak és una qualitat que dependrà de factors externs al propi kayak. Com es comenta anteriorment, la distribució de pesos i la posició del centre de gravetat del palista són factors determinants per a l'estabilitat del conjunt. Per tant, la condició física del palista (pes i alçada), la posició del palista (que dependrà del seient), si es carreguen o no pertrets i equipament, ... afectaran de forma notòria a l'estabilitat.

Durant la realització del treball he pogut comprovar la falta de normativa existent pel que fa al disseny dels kayaks. La legislació nàutica espanyola considera el kayak com a artefacte flotant o de platja, quedant exempt doncs de complir qualsevol criteri de disseny i/o seguretat. Això en certa mesura és

beneficiós ja que hi ha una total llibertat per a modelar les formes segons la conveniència, però regir-se per uns estàndards i límits pot resultar d'ajuda i orientació.

He pogut comprovar també que existeix una gran afició i, en conseqüència, un mercat dedicat a la construcció artesanal de kayaks. Existeixen diversos fòrums i blogs on es pot trobar molta informació sobre processos de construcció amateur. Fins i tot hi ha webs dedicades a la venda de plànols i material necessari per construir un mateix un kayak. Per contra, no existeix molta informació sobre les formes dels kayaks i com aquestes afecten al seu comportament. Si bé és cert que en els fòrums es parla i debat sobre els comportaments dels dissenys, no hi ha dades empíriques ni assajos que sostinguin aquestes teories. Com a opinió personal, penso que això es deu a que els fabricants de kayaks de competició (que poden disposar dels recursos necessaris per a fer aquests estudis), han de seguir uns patrons estandarditzats per les normatives de les federacions. El fet que no puguin modificar-se provoca una falta d'ambició en la millora i evolució dels models d'aquestes embarcacions en categories de competició.

Això fa pensar doncs que la innovació i millora recau en la recerca de nous materials de producció. Les possibles vies d'investigació que s'obren són les de trobar materials que millorin les prestacions del kayak, ja no en la forma i disseny d'aquest, sinó en d'altres qualitats com ara la reducció del pes total i/o la disminució dels coeficients de rugositat. S'obren les portes també doncs a un estudi de com es poden millorar els mètodes de producció existents per a aconseguir estructures de característiques similars amb materials diferents, sense perdre les prestacions que es poden obtenir actualment.

La realització d'aquest treball m'ha fet entendre també que es necessari tenir coneixement de diverses disciplines per a poder dissenyar qualsevol embarcació o artefacte flotant. D'entrada és important dominar tots els conceptes relacionats amb una embarcació com ara la hidrodinàmica, l'estabilitat, els materials de la indústria naval, ... També cal dominar i saber usar amb comoditat software de modelatge 3D i 2D, tant per a la confecció del model virtual com per a la representació de plànols que seran utilitzats en el posterior procés de construcció. No només això sinó que també serà necessari dominar software d'anàlisi naval, amb el qual es pugui determinar si un disseny serà o no viable. Al llarg d'aquests 4 anys de carrera he anat adquirint tot això i, amb la realització d'aquest treball, he pogut consolidar-ho, per tant puc donar per complert un dels objectius principals del Treball de Final de Grau.

Finalment afegir que en un inici la idea era portar a la realitat aquest prototip i, utilitzant les instal·lacions de la Facultat de Nàutica de Barcelona, construir el model dissenyat seguint la metodologia proposada. L'estat d'alarma nacional declarat per la situació actual de COVID-19 però, ha fet que això fos impossible. Queda pendent doncs poder dur a la realitat aquest projecte i poder comprovar de primera mà que tot el que s'ha demostrat sobre el paper es correspon amb la realitat.

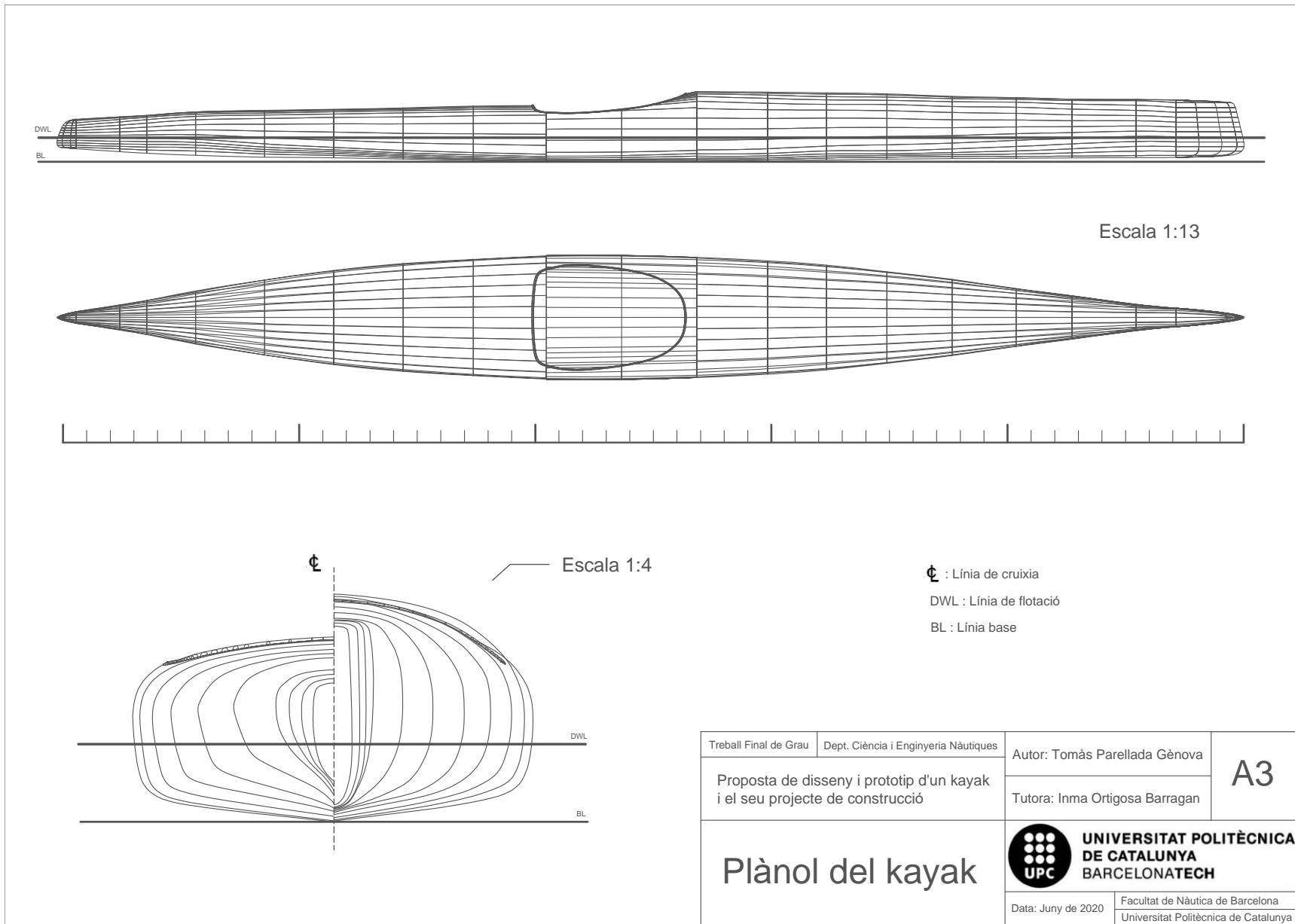
## Bibliografia

- [1] Descens del Sella <[www.descensodelsella.com](http://www.descensodelsella.com)>
- [2] ICF (*International Canoe Federation*, Federació Internacional de Piragüisme) <<https://www.canoeicf.com>>
- [3] Fabricant Nelo <[www.nelo.eu](http://www.nelo.eu)>
- [4] Fabricant Aquarius <<https://aquariusport.com>>
- [5] Fabricant Kick The Waves <<http://www.kickthewaves.com>>
- [6] Fabricant Pyranha <<http://www.pyranha.com>>
- [7] Fabricant Islander Kayaks <[www.islanderkayaks.com](http://www.islanderkayaks.com)>
- [8] Botiga on-line <<https://www.poolaria.com>>
- [9] Fabricant Oru Kayak <[www.orukayak.com](http://www.orukayak.com)>
- [10] Guillemot Kayaks <<https://www.guillemot-kayaks.com>>
- [11] Olivella Puig, J. (1995). *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*. Edicions UPC
- [12] Baquero Mayor, A. (2009). *Resistencia al avance del buque*. Universidad Politécnica de Madrid
- [13] Newman, J. (1977). *Marine Hydrodynamics*. The MIT Press
- [14] García Espinosa, J. (2016). *Apuntes de Hidrodinámica; Diseño de formas*
- [15] Lobato da Rocha Barros, F. (2015). *Study of Kayak Hull Design on Calm Water Resistance*
- [16] Winters, J. *The Shape of the Canoe, Designing Canoes and Kayaks*
- [17] Fòrum kayaks <<https://www.kayakdemar.org>>
- [18] Sail Magazine <<https://www.sailmagazine.com>>
- [19] AENOR – Normas UNE <<https://www.aenor.com>>
- [20] Besdnjak Dietrich, A. (2005). *Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcacions*. Edicions UPC
- [21] Hammano, S. (2015). *Relationship between performance test and body composition/physical strength in sprint kayak and canoe paddlers* <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4480586/>>
- [22] One Ocean Kayaks <<http://www.oneoceankayaks.com/kayakpro/kayakgrid.htm>>
- [23] Feroxa <<https://www.feroca.com/es/>>
- [24] Castro Composites <<https://www.castrocompositesshop.com>>
- [25] Bricomart <<https://www.bricomart.es>>
- [26] Leroy Merlin <<https://www.leroymerlin.es>>
- [27] Bauhaus <<https://www.bauhaus.es>>
- [28] Todokayak <<https://www.todokayak.com>>

## **Annex 1. Plànol del kayak**

En aquest annex es presenta el plànol del kayak fet a través d'AutoCAD.

# Annex 1. Plànol del kayak



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	A3
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plànol del kayak		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

## Annex 2. Llistat d'eines i material necessari per a la construcció

En aquest annex apareixen les llistes dels materials i eines a utilitzar durant tot el procés constructiu. Els elements de menys importància com ara llapis, regles, ... no s'inclouen.

### A1 1.1 Construcció del suport

- Taulell de fusta aglomerada
- Cingles
- Cargols o claus
- Serra de vogir
- Martell



Figura A 1. Fusta aglomerada - Imatge de Google



Figura A 2. Cingla de polièster - Imatge de Google



Figura A 3. Serra de vogir - Imatge de Google



### A1 1.2 Construcció del model

- Biga de fusta
- Cola blanca
- Claus
- Serjants
- Taulell de fusta
- Serra de vogir
- Trepant
- Paper de vidre
- Pistola de cola calenta
- Polièstirè expandit
- Adhesiu per a polièstirè
- Fil calent
- Espuma de poliuretà
- Resina acrílica i catalitzador
- Brotxa
- Carbonat càlcic
- Esponja abrasiva
- Top-coat i catalitzador



Figura A 4. Biga de fusta - Imatge de Google



Figura A 5. Serjant - Imatge de Google



Figura A 6. Trepant - Imatge de Google



Figura A 7. Pistola de cola calenta - Imatge de Google



Figura A 8. Poliestirè expandit - Imatge de Google



Figura A 9. Fil calent - Imatge de Google



Figura A 10. Espuma de poliuretà - Imatge de Google



Figura A 11. Resina acrílica – Ferroca [23]



Figura A 12. Esponja abrasiva - Imatge de Google



Figura A 13. Top-coat - Castro Composites [24]

### A1 1.3 Construcció del motlle

- Taulons de fusta
- Massilla
- Gel-coat
- Brotxa
- Resina de polièster
- Mat fibra de vidre 150 g/m<sup>2</sup>
- Mat fibra de vidre 450 g/m<sup>2</sup>
- Top-coat
- Rodet
- Falques de goma



Figura A 14. Gel-coat - Castro Composites [24]    Figura A 15. Resina de Polièster - Castro Composites [24]



Figura A 16. Fibra de vidre - Imatge de Google



Figura A 17. Rodet - Castro Composites [24]



Figura A 18. Falca de goma - Imatge de Google

#### A1 1.4 Construcció del kayak

- Cera d'abella
- Gel-coat
- Brotxa
- Resina de polièster
- Teixit fibra de vidre 205 g/m<sup>2</sup>
- Teixit fibra de vidre 280 g/m<sup>2</sup>
- Teixit hexagonal Soric XF 3mm
- Teixit fibra d'aramida 170 g/m<sup>2</sup>
- Top-coat
- Falques de goma
- Serra radial
- Lima
- Cinta protectora
- Esponja abrasiva
- Pistola de cola calenta
- Goma protectora
- Seient
- Reposapeus
- Adhesiu
- Nanses



Figura A 19. Cera d'abella - Imatge de Google



Figura A 20. Teixit Soric XF 3mm - Castro Composites [24]



Figura A 21. Serra radial - Imatge de Google



Figura A 22. Lima - Imatge de Google



Figura A 23. Cinta protectora - Imatge de Google



Figura A 24. Goma protectora - Imatge de Google



Figura A 25. Seient – Todokayak [28]



Figura A 26. Reposapeus – Todokayak [28]

## **Annex 3. Pressupost del procés constructiu**

Aquest pressupost és un aproximat del que pot arribar a costar construir el kayak proposat, seguint la metodologia del capítol 8.

Només s'inclouen els preus dels materials i consumibles. S'entén que ja es disposa de les eines necessàries i, en cas contrari, sempre es podran demanar a coneguts o llogar a botigues especialitzades.

El pressupost final és una mera orientació, existeixen diversos factors que faran variar el preu final, com poden ser:

- Qualitat dels materials; en funció de la qualitat i/o prestacions dels materials el preu serà superior o inferior. Un exemple és el preu del gel-coat, que varia en funció del color d'aquest.
- Proveïdor; cada proveïdor ofereix uns preus diferents, per tant adquirir els materials a un o altre lloc farà variar el preu final. Els proveïdors mencionats tan sols són suggeriments d'on adquirir el material.
- Packaging; els proveïdors ofereixen els materials en lots de quantitats determinades, pel que pot donar-se el cas que estiguem obligats a comprar una quantitat superior a la que s'utilitzarà.
- Disponibilitat; algun producte que apareix a la llista és d'ús habitual, per tant pot ser que no sigui necessari adquirir-lo

Article	Proveïdor	Format	Referència	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Taulell fusta aglomerada	Bricomart	120 x 60 x 1cm	10001390	4	4,10 €	16,40 €
Cingles	Bricomart	2m	10360154	1	4,80 €	4,80 €
Cola blanca	Bricomart	500g	10361652	1	3,25 €	3,25 €
Cargols	Leroy Merlin	25u 40mm	14676242	1	3,79 €	3,79 €
Biga fusta	Bauhaus	300 x 7,8 x 5,8 cm	14416188	2	7,95 €	15,90 €
Taulell fusta aglomerada	Bricomart	244 x 122 x 1 cm	10001376	1	12,20 €	12,20 €
Barres cola termofusible	Leroy Merlin	50u 200mm	4322103	1	7,29 €	7,29 €
Poliestirè expandit	Bricomart	200 x 100 x 4 cm	10312414	5	6,08 €	30,40 €
Adhesiu per a poliestirè	Bricomart	1L	10098305	1	5,67 €	5,67 €
Espuma de poliuretà	Bricomart	750ml	10563686	3	4,80 €	14,40 €
Resina acrílica	Feroxa	7kg	441001005	1	56,00 €	56,00 €
Carbonat càlcic	Feroxa	1,7kg	304100601	1	4,25 €	4,25 €
Top-coat	Castro Composites	5kg	WTC0001-5	2	58,03 €	116,06 €
Taulons de fusta	Leroy Merlin	10 x 100 x 1 cm	1737592	10	4,89 €	48,90 €
Gel-coat	Castro Composites	5kg	WGC0337B-5	2	53,83 €	107,66 €
Resina polièster	Castro Composites	25kg	WRP0115A-25	1	142,08 €	142,08 €
Mat fibra vidre 150 g/m2	Castro Composites	5m <sup>2</sup>	WFOV0150-5	1	15,13 €	15,13 €

Mat fibra vidre 450 g/m2	Castro Composites	5m <sup>2</sup>	WFV0450-5	1	19,36 €	19,36 €
Cera abella	La Casa de Pinturas	1L	0150	2	22,70 €	45,40 €
Teixit fibra vidre 205 g/m2	Castro Composites	5m <sup>2</sup>	WTVTF0205-5	1	35,09 €	35,09 €
Teixit fibra vidre 280 g/m2	Castro Composites	5m <sup>2</sup>	WTVTF0280-5	1	41,14 €	41,14 €
Teixit hexagonal Soric XF 3mm	Castro Composites	1,27 x 5m	WNC003XF-5	1	88,33 €	88,33 €
Teixit fibra aramida 140 g/m2	Castro Composites	5m <sup>2</sup>	ARAM170G-5	1	131,89 €	131,89 €
Cinta protectora	Leroy Merlin	45m x 48mm	82582097	1	2,69 €	2,69 €
Adhesiu	Bricomart	300ml	1045034	1	4,33 €	4,33 €
Goma protectora	Banggood	4m	105028	1	9,78 €	9,78 €
Seient	Todokayak	1u	YK-06001	1	35,00 €	35,00 €
Reposapeus	Todokayak	2u	LF-2S	1	17,00 €	17,00 €
Nanses	Todokayak	1u	-	2	4,00 €	8,00 €

<b>TOTAL</b>	<b>1.042,19 €</b>
--------------	-------------------



## Annex 4. Plantilles de les seccions transversals i perfils

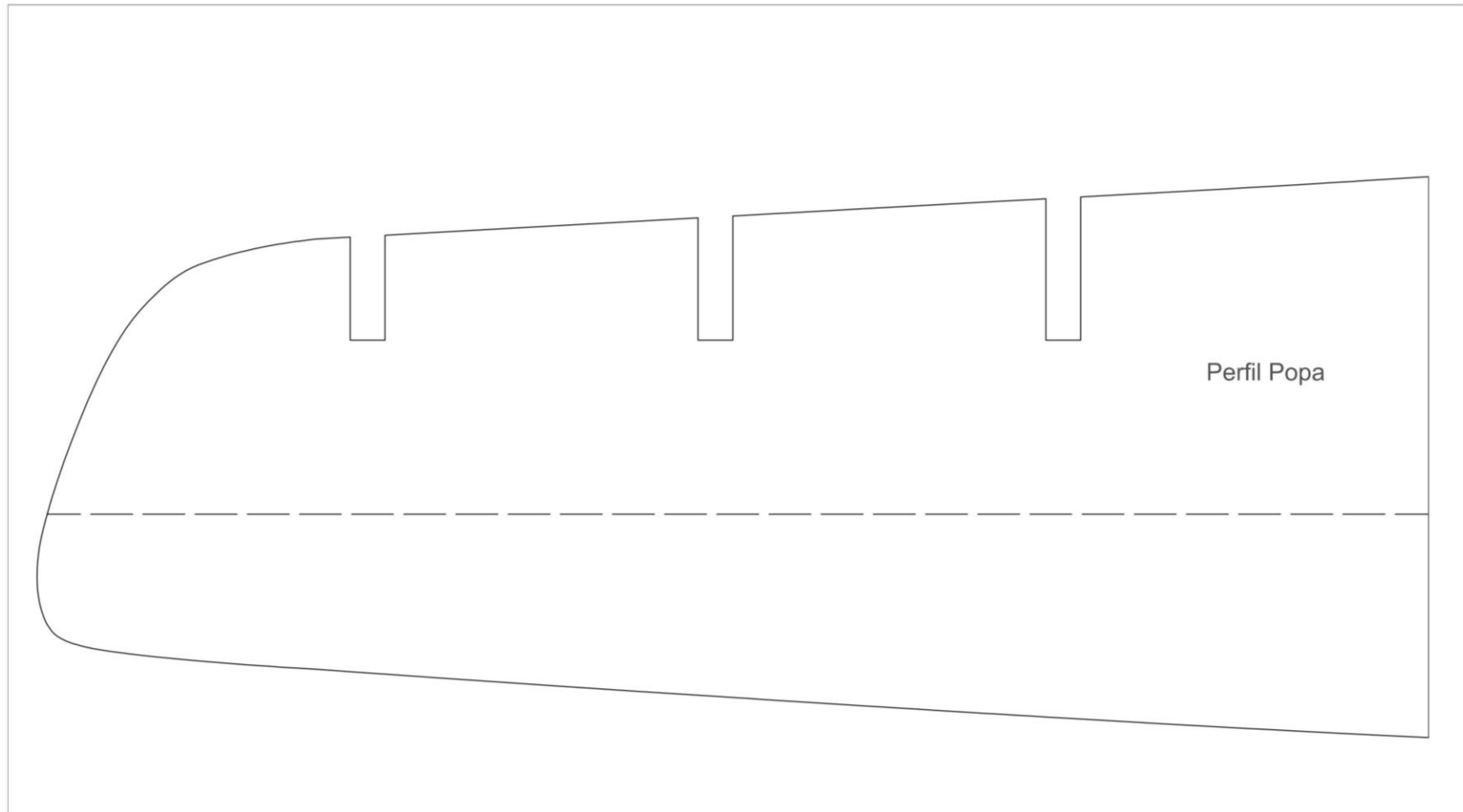
En aquest annex es poden trobar els plànols que seran utilitzats com a plantilles per a obtenir les seccions transversals i perfils de proa i popa del kayak. Cada secció està numerada, de proa a popa en ordre creixent.

Les plantilles estan pensades per a ser utilitzades sobre taulons d' 1cm de gruix.

Hi ha seccions d'àrea superior a l'espai que ofereix un A3. Aquestes doncs han estat dividides per la línia de cruixia, quedant les dues parts simètriques.

Cada peça inclou un requadre al centre (línia de punts), pensat per a introduir la biga longitudinal.

A cada peça hi ha dibuixada la línia de flotació, que servirà de referència si fos necessària.

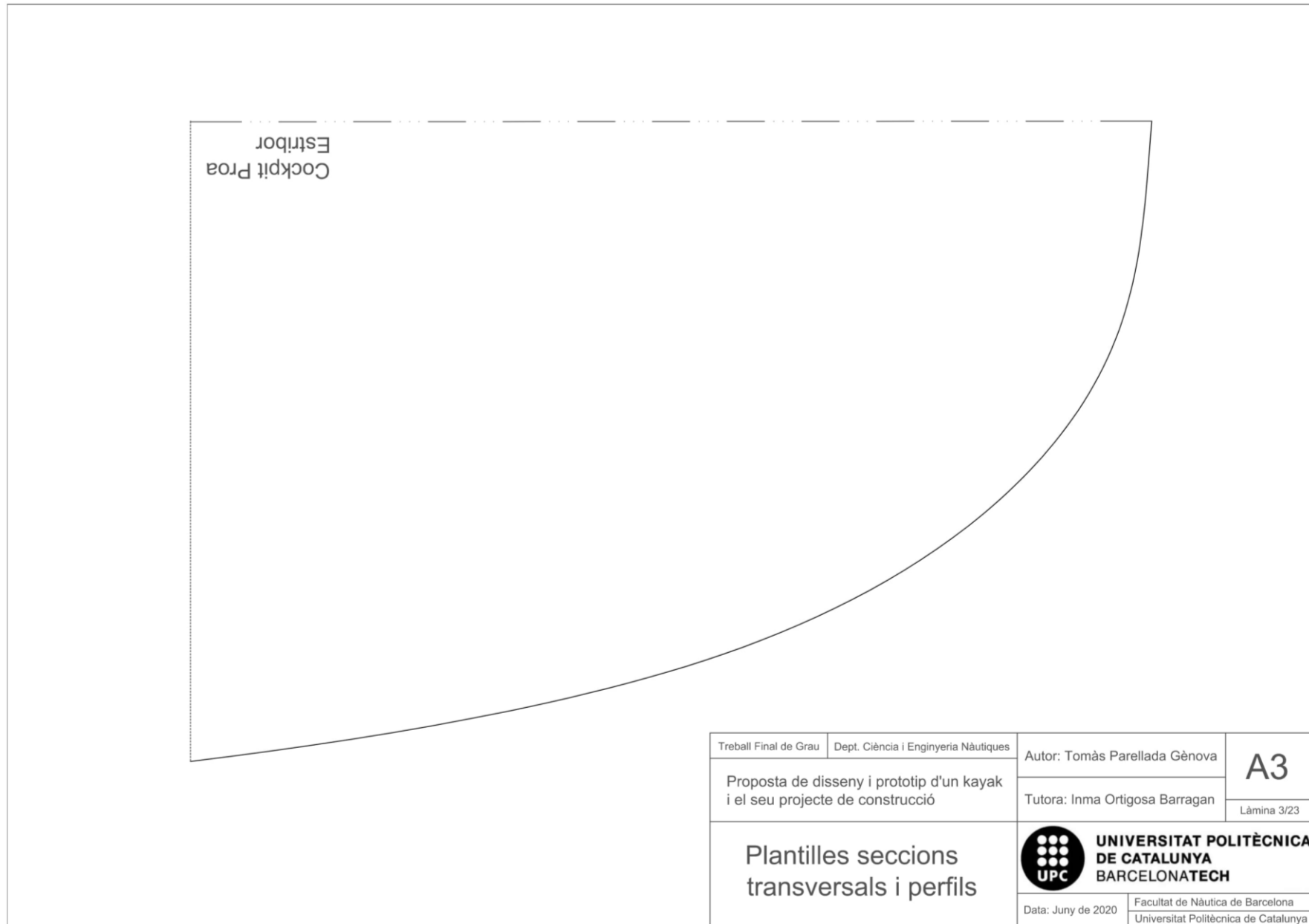


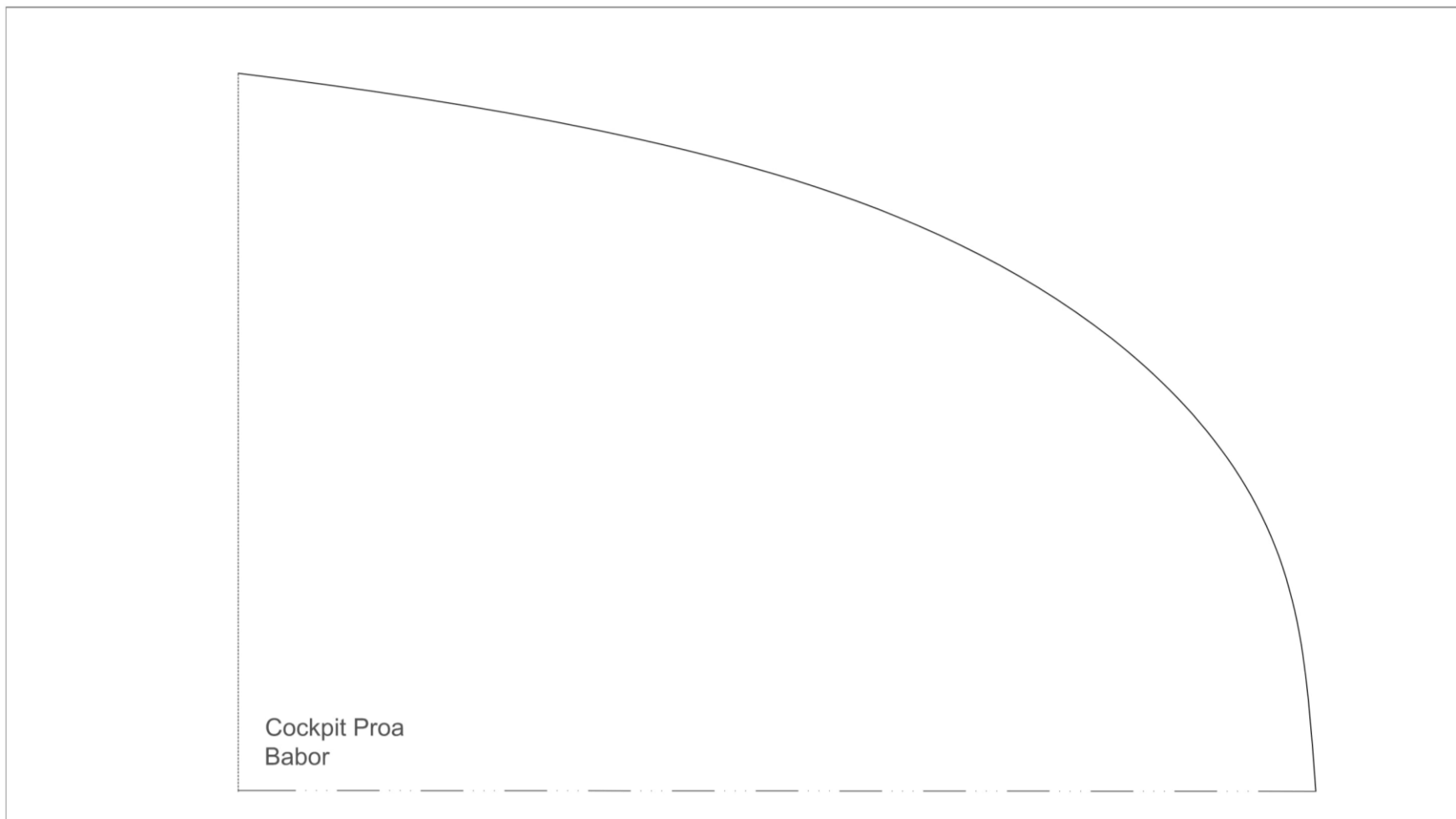
Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	A3
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	
Data: Juny de 2020		Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya	

## Annex 4. Plantilles de les seccions transversals i perfils


Perfil Proa


Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b> Làmina 2/23
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: 03 / 06 / 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

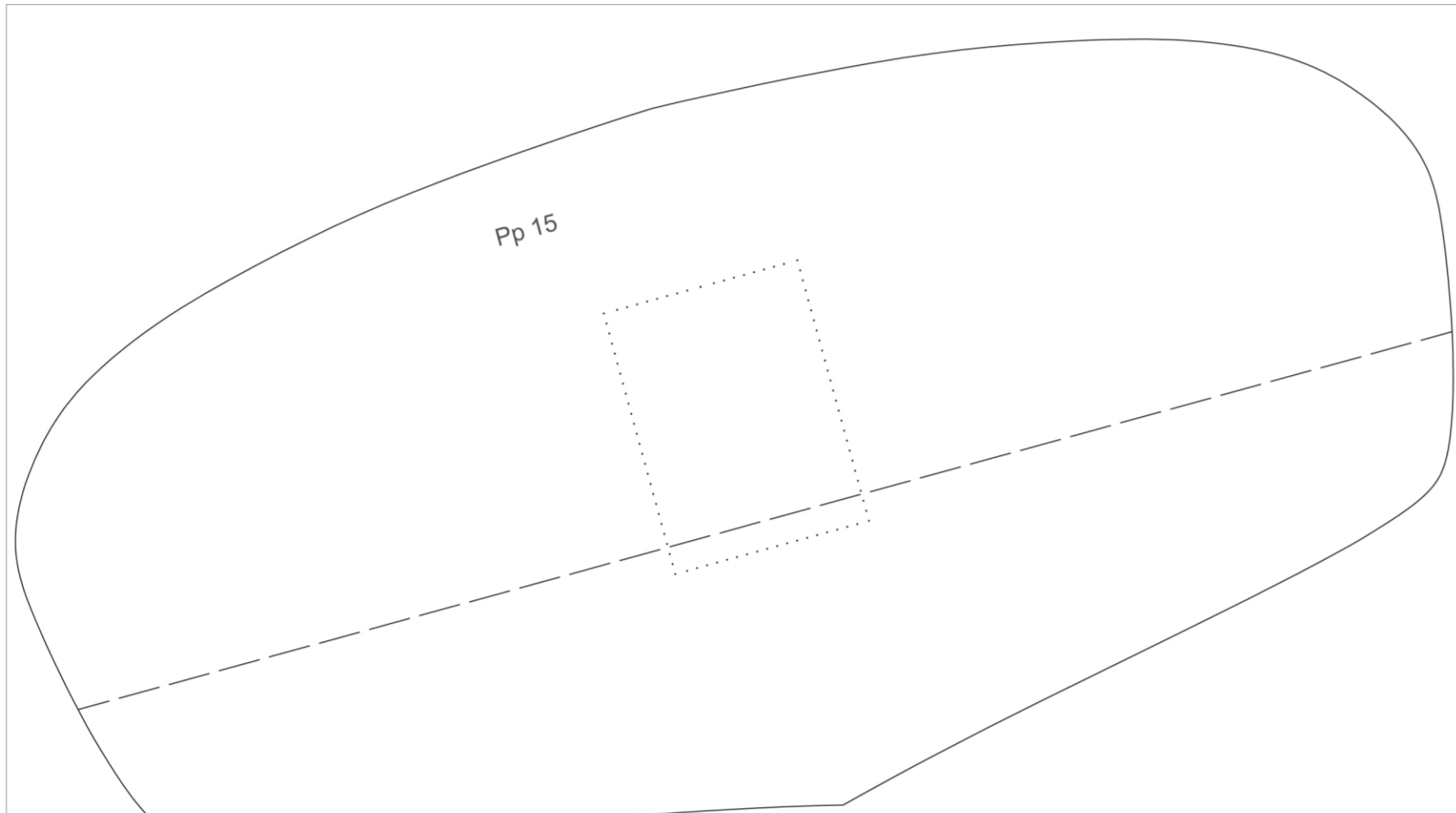




Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

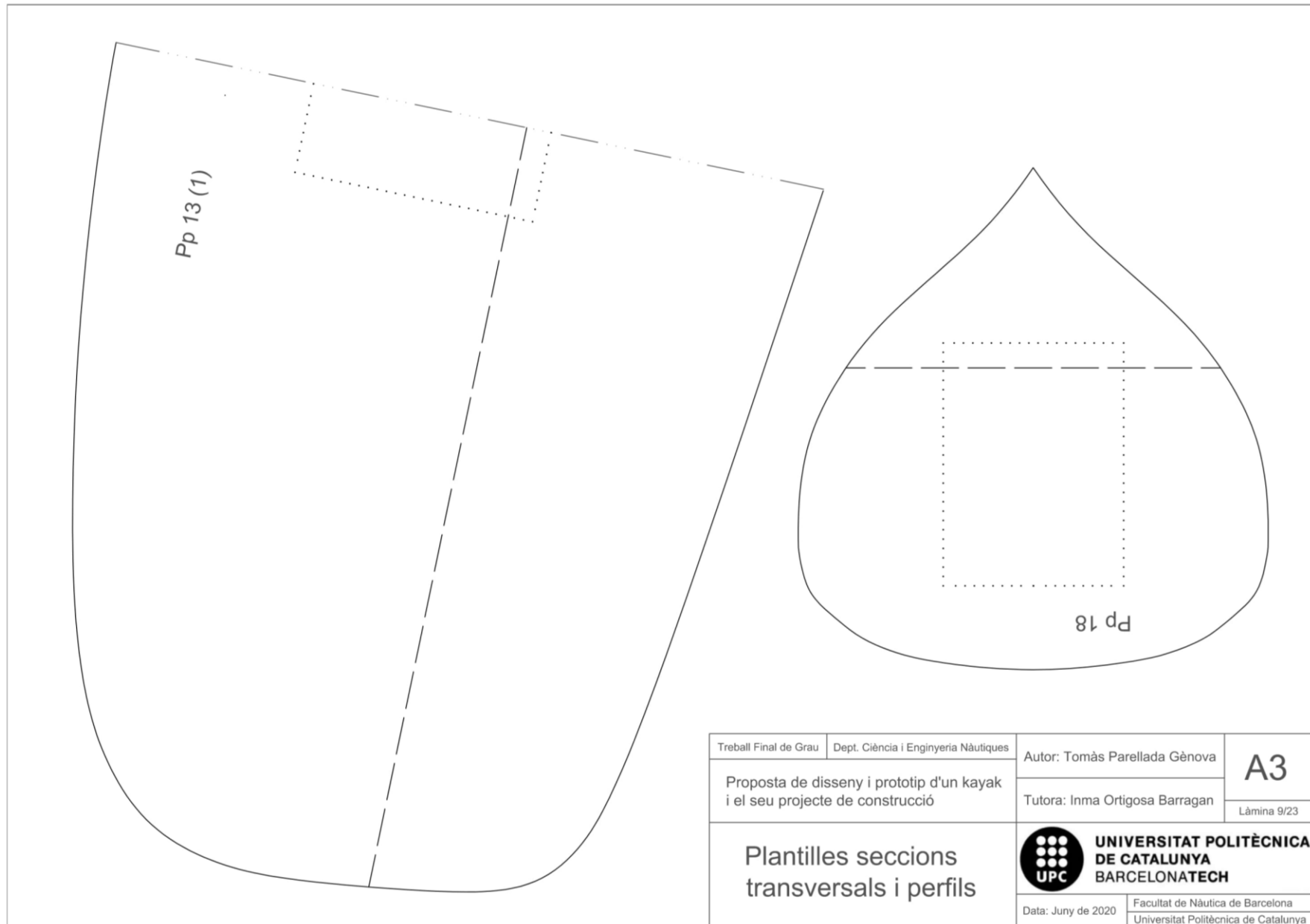


Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils			<b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya




## Annex 4. Plantilles de les seccions transversals i perfils





Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
		Data: Juny de 2020 Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya	

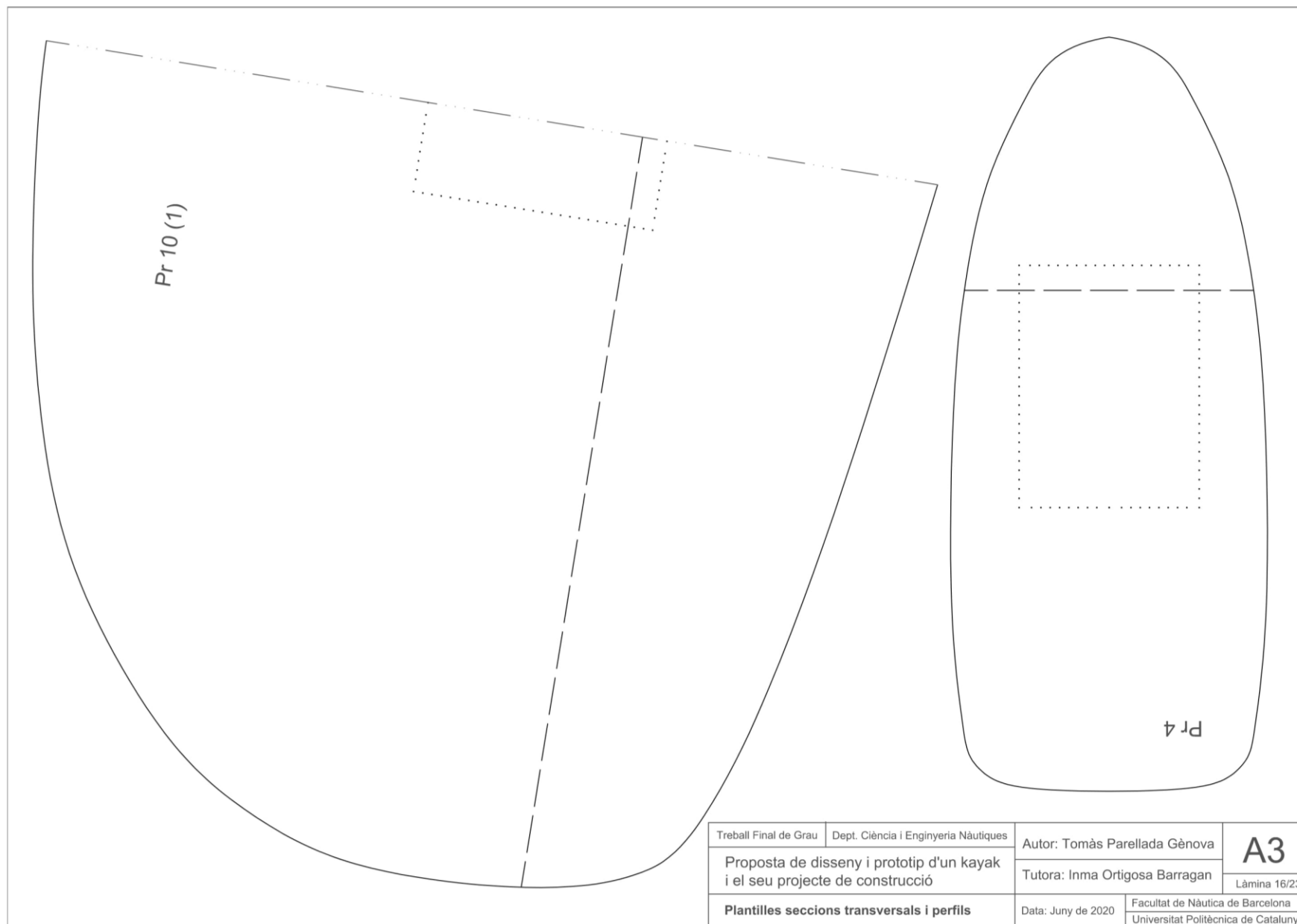
Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	Làmina 14/23
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		<b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</b>	
Data: Juny de 2020		Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya	

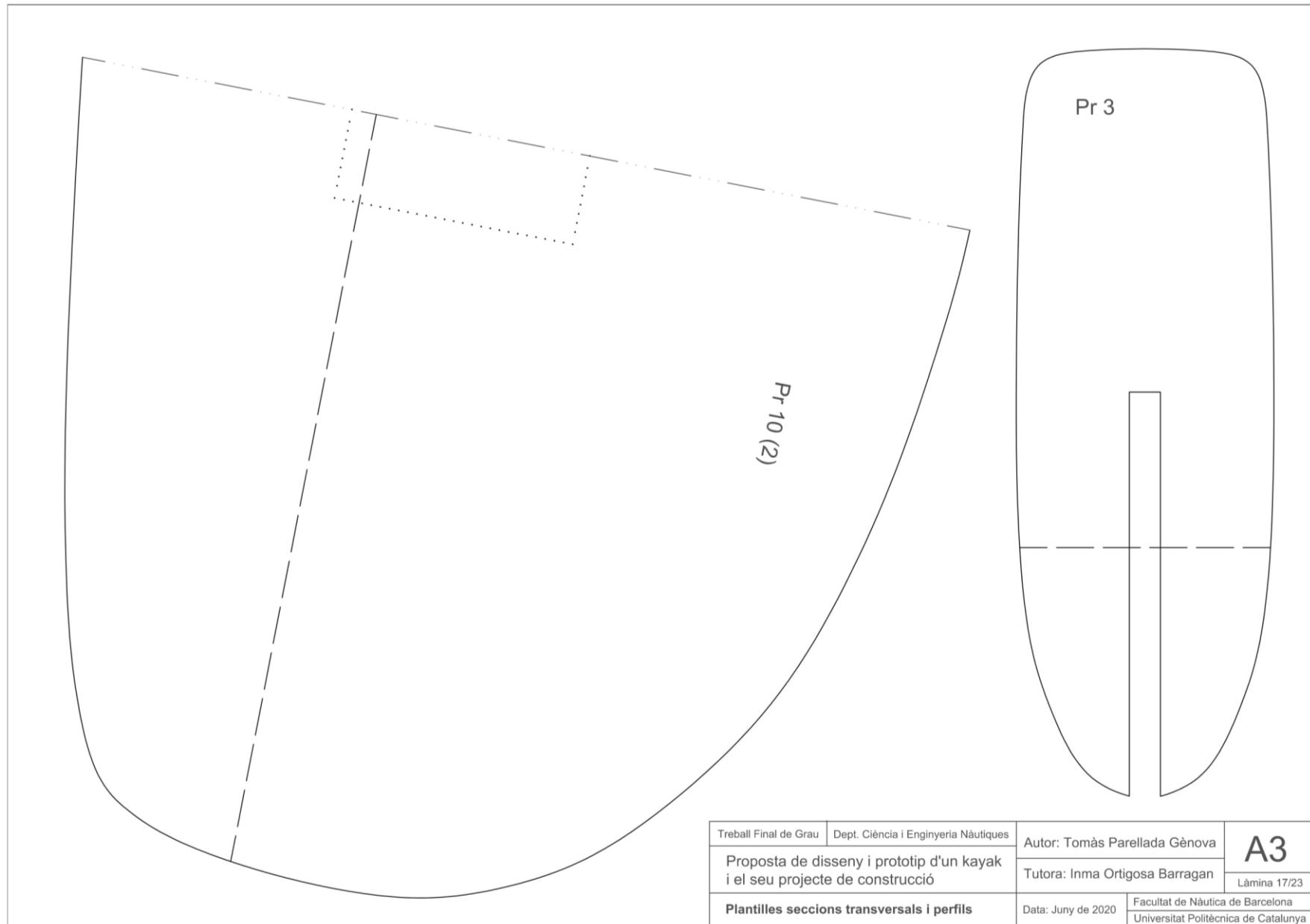


Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b> Làmina 15/23
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



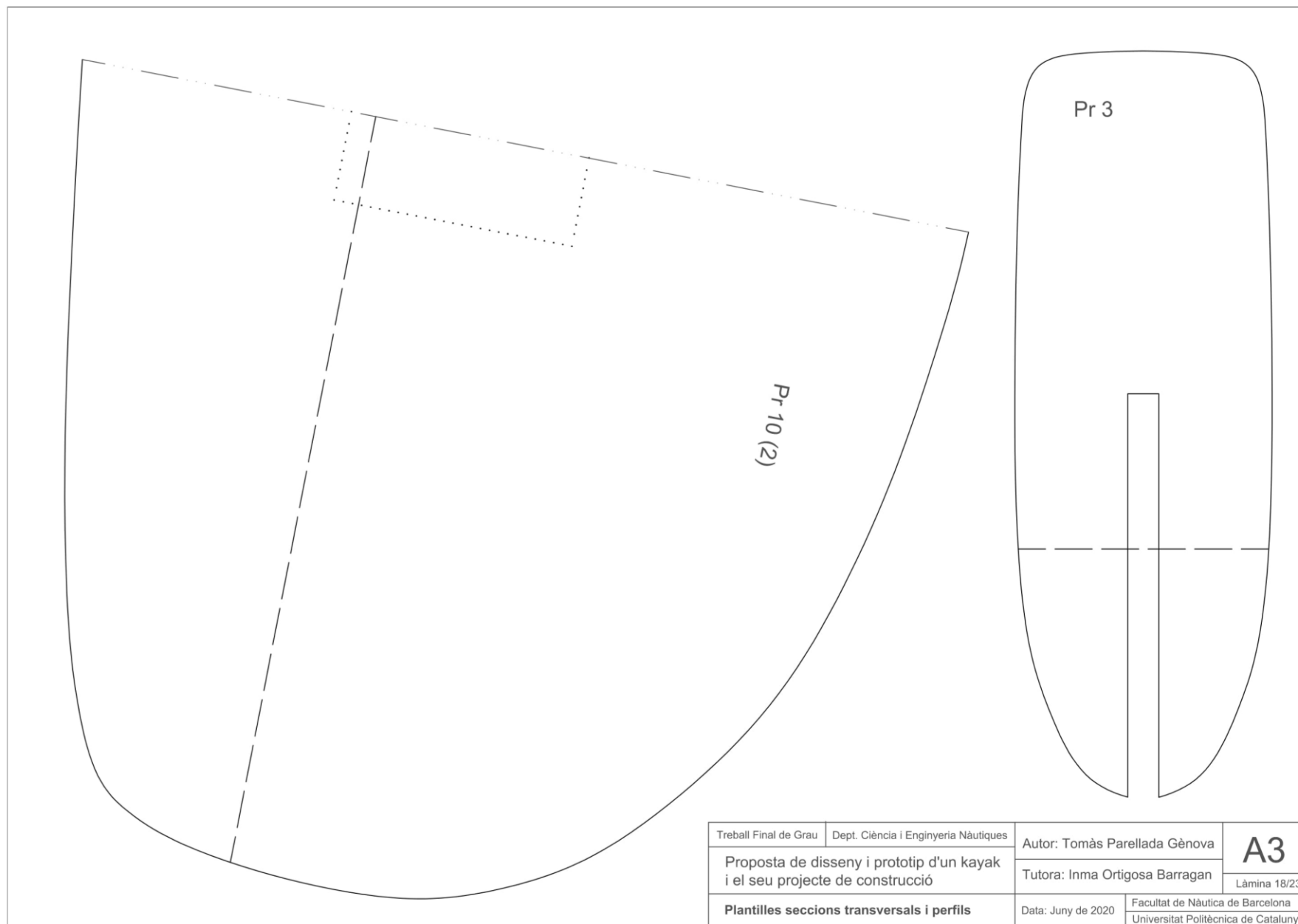
## Annex 4. Plantilles de les seccions transversals i perfils



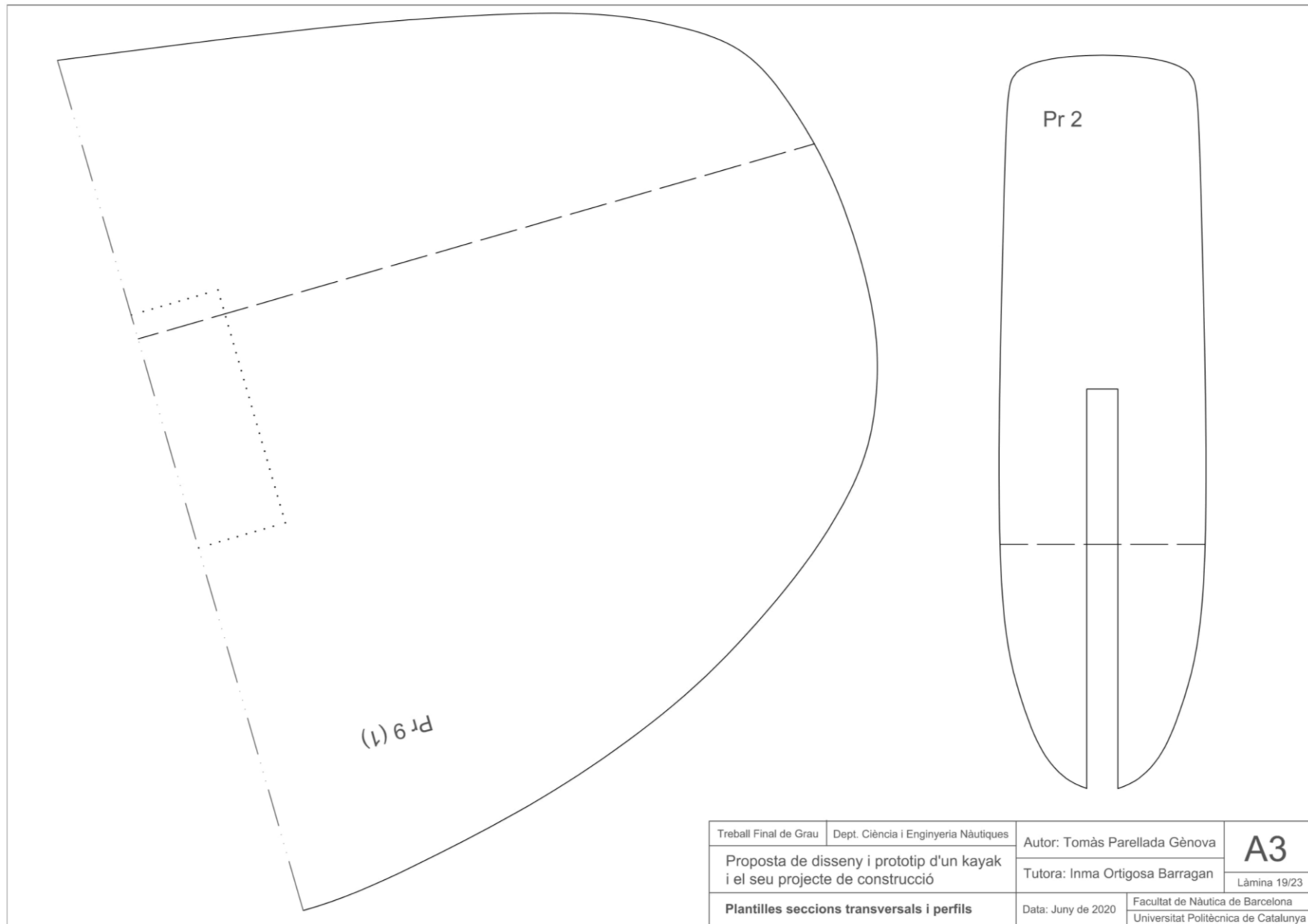


Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

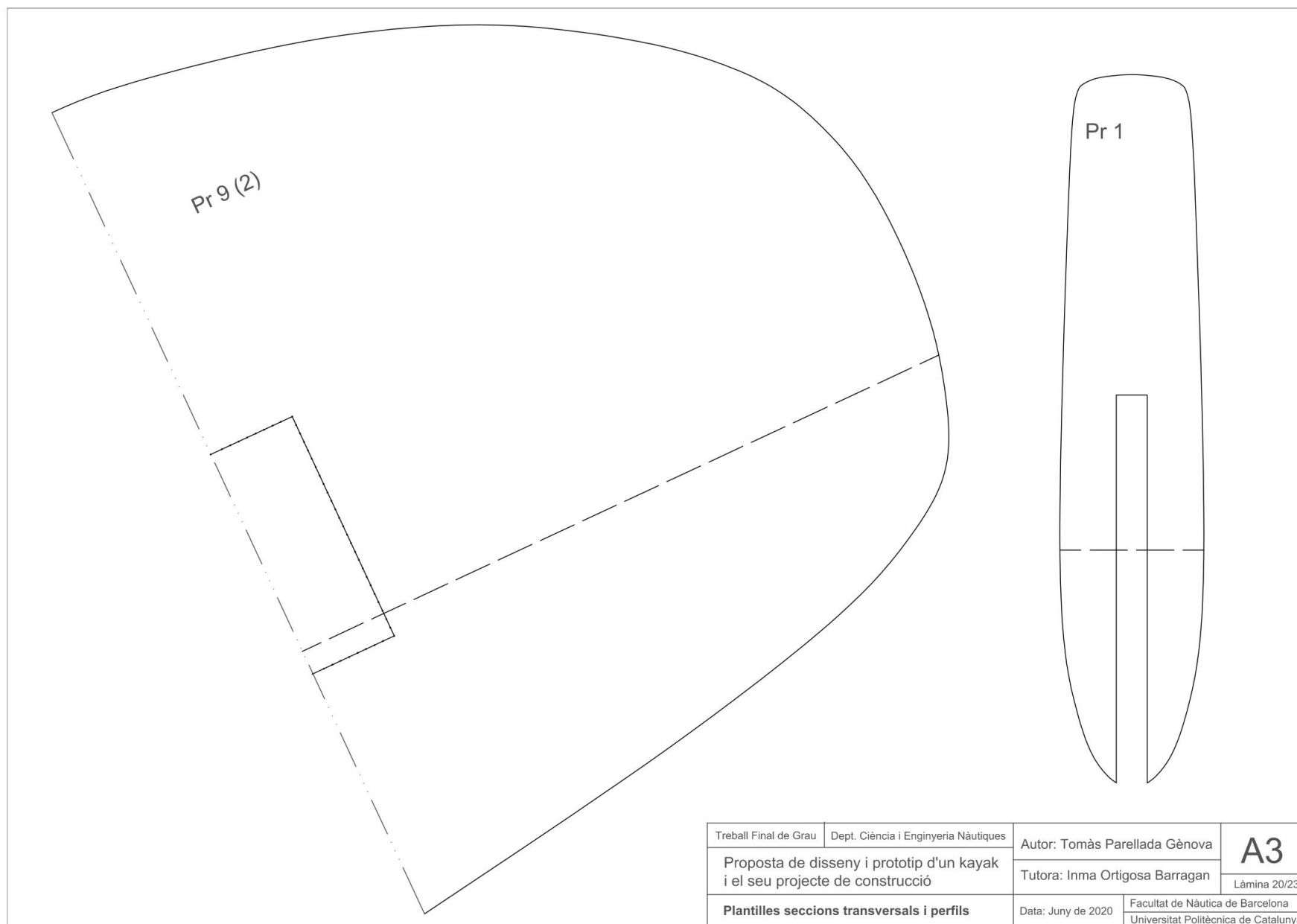
Annex 4. Plantilles de les seccions transversals i perfils



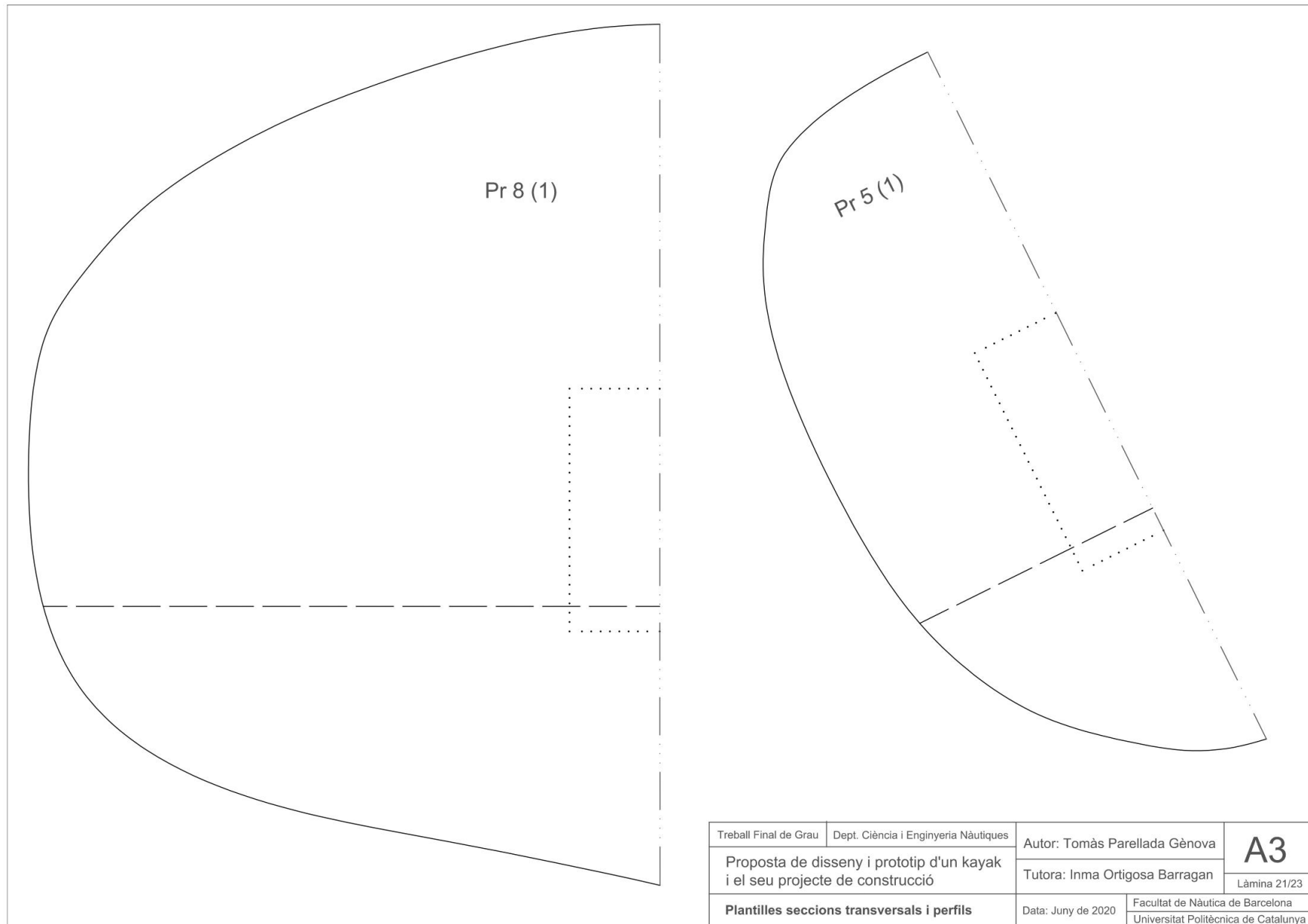
Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b> Làmina 18/23
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



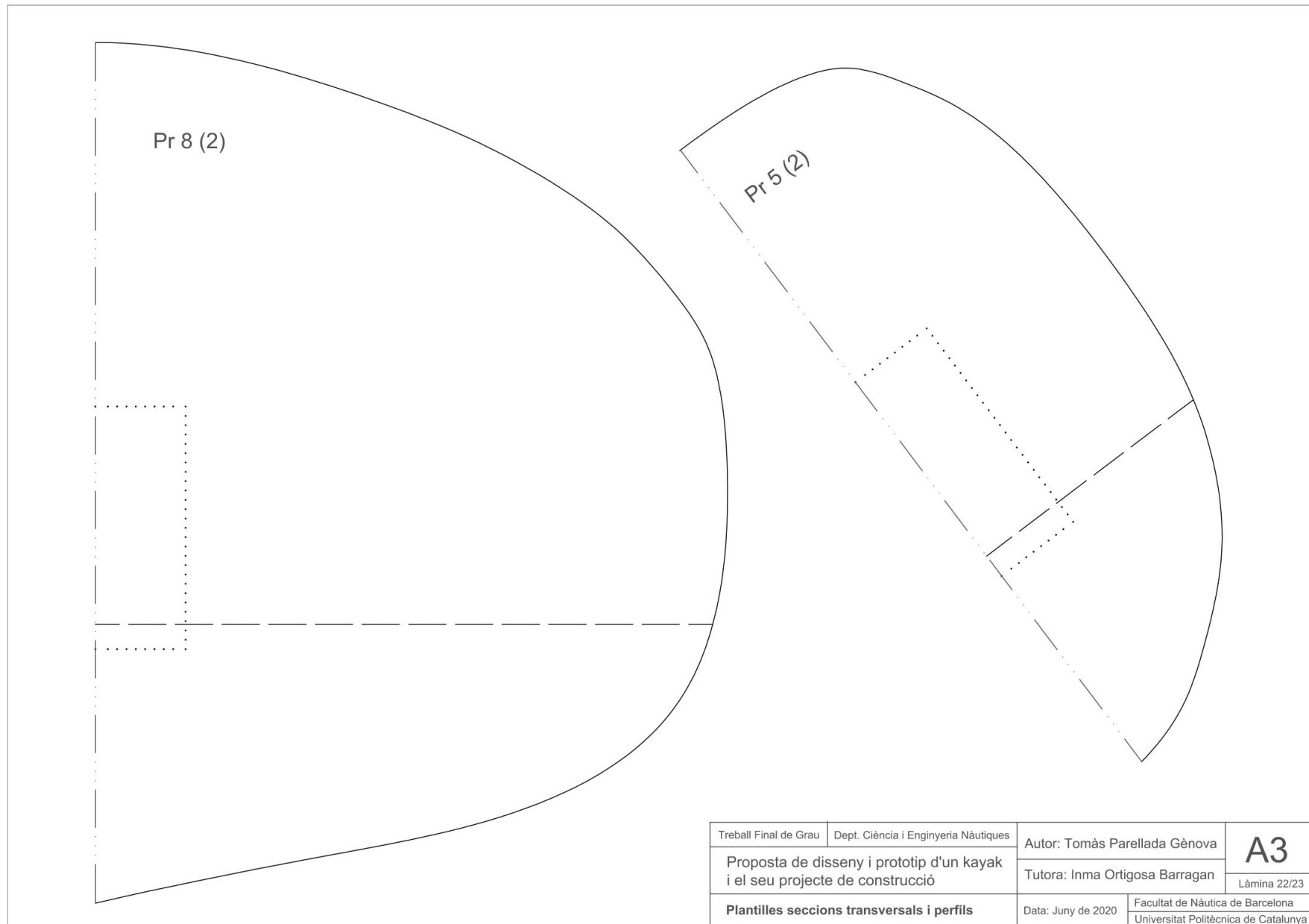
Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
Plantilles seccions transversals i perfils		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b>
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b> Làmina 21/23
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya



Treball Final de Grau	Dept. Ciència i Enginyeria Nàutiques	Autor: Tomàs Parellada Gènova	<b>A3</b> Làmina 22/23
Proposta de disseny i prototip d'un kayak i el seu projecte de construcció		Tutora: Inma Ortigosa Barragan	
<b>Plantilles seccions transversals i perfils</b>		Data: Juny de 2020	Facultat de Nàutica de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

