

**Estudi d'obtenció de formes d'un llaüt de fibra,  
estudi del seu aparell òptim,  
estudi hidroestàtic i d'estabilitat,  
càlcul de l'hèlix òptima i  
estudi de la implantació d'un motor intraborda  
elèctric.**

**Treball Fi de Grau**



**Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya**

Treball realitzat per:

**Antoni Colom Nicolau,  
Andreu Torres Guasch**

Dirigit per:

**Dr. Agustí Martín i Mallofré**

**Doble titulació de Grau en Tecnologies Marines i  
Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia  
Naval**

Barcelona, 10 de octubre de 2021

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques

*Full de cortesia,*

---

“Sé una rústica badia  
solitària dia i nit;  
sembla el sojorn escollit  
de la pau i l’harmonia.  
Sols la barca pescadora  
la solca, vinclant l’antena,  
o s’ajau damunt l’arena  
de la cala protectora.”

***En la badia de Pollença – Joan Alcover***

# Agraïments

Les següents paraules d'agraïment van dirigides en primer lloc, al tutor d'aquest treball, Agustí Martín Mallofré qui, tot i no haver estat docent nostre, ha rebut la nostra proposta de treball amb els braços oberts i ens ha encaminat fins a la fi del projecte. A Inmaculada Ortigosa Barragan qui ens ha donat una forta empenta a l'hora de realitzar els càlculs d'estabilitat del vaixell. També a la Marcel·la Castells Sanabra qui no ha dubtat en contestar ràpidament les nostres sol·licituds d'ajut. A Eric Pascual Soldevilla qui, a més de mostrar-nos tot el necessari per a la realització del projecte d'un vaixell, ens va aconsellar per realitzar el millor plantejament del treball. A tots els professors de la Facultat de Nàutica de Barcelona per depositar en nosaltres els seus coneixements.

Per altra banda també volem fer arribar la nostra gratitud, de tot cor, al mestre d'aixa Sebastià Bennasar, fill, per tantes converses que ens permeteren copsar la importància de la cultura nàutica tradicional, per haver-nos explicat les tècniques i procediments del seu ofici, per les anècdotes i per haver-hi estat sempre que l'hem hagut de menester

Al nostre company i estimat amic Javier Calbet Roig qui ens ha donat el seu suport per realitzar aquest projecte.

A tots els familiars, amigues i amics que han fet possible que la nostra formació o aquest treball siguin possibles.

I, finalment volem expressar que, gràcies a aquest treball de fi de grau, els autors del mateix hem pogut consolidar una amistat que s'inicià en els primers moments compartits a les aules de la Facultat de Nàutica de Barcelona i que ara albiram ferma cara al futur.

# Resum

El treball comença assenyalant que el llaüt és una embarcació amb una llarga història a les Illes Balears i que, durant segles, s'ha anat transformant en funció de les necessitats de cada moment.

Prenent com a punt de partida la necessitat ineludible d'una transició ecològica del sector nàutic d'esbarjo, aquest treball estudia la viabilitat d'instal·lar a un llaüt balear de 5,11 m un sistema de propulsió 100% elèctric i d'aparellar-lo amb vela llatina.

Després d'haver elaborat el plànol de forma del llaüt objecte d'estudi, es realitza el seu model virtual amb el programari *Rhinoceros 3D*. Un cop obtingut el model, s'obté la resistència a l'avanç del buc per mitjà de diversos mètodes de càlcul, sent el seu valor aproximat de 15 kW. Es duen a terme els càlculs per dimensionar el motor elèctric i bateries a instal·lar, en base als quals, s'opta pel motor *E-TECH 20 WG* i les bateries *Growatt ARK 20.4L*. També es calcula l'hèlix òptima, donant com a resultat un propulsor de tres pales amb un diàmetre de 12 in i 17 in de pas.

A més, després de fer un repàs de la història de la vela llatina, dels elements de l'aparell i de les seves maniobres bàsiques, es calcula l'arborament del llaüt amb aquest tipus de vela.

Es conclou que el projectat és viable en termes legals, estético-històrics i d'estabilitat estàtica, però els elevats costos del sistema de propulsió elèctrica, fan perillar la seva viabilitat econòmica.

## **Paraules clau**

Llaüt, vela llatina, navegació tradicional, Mestres d'Aixa, obtenció de formes, càlculs hidroestàtics, motor elèctric, hèlix òptima, Illes Balears, Mar Mediterrani.

# Abstract

This work starts by pointing out that the llaüt is a vessel with a long history in Balearic Islands, that throughout the centuries has been adapted to fit the needs of the moment. Taking as starting point the inescapable need of an ecological transition of the recreation craft sector, this work studies the viability of installing, on a 5.11 m balearic llaüt, a 100% electrical power system and equip it with a lateen sail.

Having obtained the vessel plans of the studied llaüt, with Rhinoceros 3D software, a virtual model is obtained. Once the model is obtained, different calculation methods are used to get the drag resistance, being 15 kW its approximate result. After that, the calculations for the electric engine and batteries are done, as a result of which an E-TECH 20 WG engine and a Growatt ARK 20.4L batteries are chosen.

The optimum propeller is also calculated: a 17 in pitch, 12 in diameter, 3 blades propeller. Besides that, after an overlook of history, manoeuvrings, lateen sail rig, the llaüt's rigging is calculated.

The conclusion is that the project, despite being viable in legal and stability terms, may not be viable in economic terms due to the high cost of the electric power system.

## **Key words**

Lute, Latin sail, traditional navigation, Masters of Aixa, taking shape, hydrostatic calculations, electric motor, optimal helix, Balearic Islands, Mediterranean Sea.

# Hipòtesi i objectius

La hipòtesi d'aquest treball és: l'equipament d'un llaüt, amb un motor elèctric i una vela llatina, és una manera viable estètic-històrica, econòmica, legal i pel que fa a l'estabilitat, d'adaptar aquest tipus d'embarcació, a les exigències mediambientals del segle XXI.

A partir de dita hipòtesi l'objectiu general és comprovar si realment tot plegat és viable en els sentits esmentats.

Els objectius específics del present treball són els següents:

1. Estudiar quin paper ha jugat el llaüt dins la cultura illenca, conèixer el seu context socio-històric, la seva evolució, els seus elements identificadors i el procés constructiu i d'obtenció de formes utilitzats tradicionalment.
2. Demostrar l'eficàcia del mètode utilitzat per a l'obtenció de les formes del vaixell.
3. Obtenir la resistència a l'avenç del vaixell mitjançant dos mètodes de càlcul diferents i reduir-ne el marge d'error.
4. Realitzar els càlculs pertinents per triar el motor elèctric i bateries a instal·lar.
5. Determinar el nombre de pales, diàmetre i pas de l'hèlix òptima per a l'embarcació.
6. Dur a terme el càlcul d'un aparell de vela llatina amb tot el que això comporta.
7. Valorar la viabilitat de la proposta de remotorització i arborament des d'un punt de vista estètic-històric.
8. Valorar la viabilitat legal del projecte deixant constància, de manera clara i concisa, de les regulacions normatives a les que estan subjectes les modificacions esmentades.
9. Valorar la viabilitat econòmica del projecte per mitjà de l'estimació dels costos de les modificacions suggerides.

# Metodologia

El present treball requereix de la capacitat de raonament i coneixements característics de l'àmbit de l'enginyeria naval. Es per això, que la base del desenvolupament del projecte se centra en l'obtenció d'informació tècnica a partir de fonts reconegudes científicament.

El projecte comença amb la investigació del paper del llaüt dins la cultura illenca. A continuació es tria un llaüt que compleixi els requisits desitjats i se n'obté el plànol de formes combinant la tècnica de la plomada amb el model virtual tridimensional, dut a terme amb *el Rhinoceros 3D*.

També s'obtenen els valors hidroestàtics del buc amb el *MAXSURF Modeler* i es calcula la resistència a l'avanç per mitjà de dos mètodes estadístics de càlcul, l'expressió de l'*Almirallat* i el mètode de *Wyman*, per tal de poder obtenir la potència requerida i dimensionar el motor elèctric i les bateries a instal·lar. Tot seguit es calcula l'hèlix òptima aplicant la sèrie *B de Wageningen*.

Per altra banda es du a terme un estudi de l'origen de la vela llatina i de la seva història, s'expliquen els diferents elements de l'aparell llatí i les seves maniobres. També es porten a terme els càlculs per arborar el llaüt d'estudi amb vela llatina seguint el procediment explicat al llibre *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006).

El treball conclou valorant la viabilitat de les modificacions suggerides estètico-històricament, on s'analitza si el projecte de remotorització i arborament són compatibles amb els trets essencials que defineixen un llaüt; pel que fa a l'estabilitat, valorant si la nova distribució de pesos compromet l'estabilitat estàtica de la barca; legalment, recollint les homologacions i expedicions a les que s'hauria de sotmetre el projecte, i econòmicament, realitzant un pressupost en base als preus obtingut dels diferents proveïdors



# Índex

TREBALL FI DE GRAU .....	1
AGRAÏMENTS .....	I
RESUM .....	II
<i>Paraules clau</i> .....	II
ABSTRACT .....	III
<i>Key words</i> .....	III
HIPÒTESI I OBJECTIUS .....	IV
METODOLOGIA .....	V
ÍNDEX .....	VI
IL·LUSTRACIONS.....	IX
FÓRMULES.....	XI
TAULES .....	XII
GRÀFICS .....	XII
ABREVIATURES .....	XIII
<b>CAPITOL 1: EL LLAÜT, LES FORMES I ELS CÀLCULS HIDROESTÀTICS .....</b>	<b>1</b>
1.1.    UNA MICA DE CONTEXT .....	1
1.1.1. <i>Introducció</i> .....	1
1.1.2. <i>Els mestres d'aixa</i> .....	3
1.1.3. <i>Les drassana i tallers</i> .....	6
1.1.4. <i>Les matèries primeres</i> .....	8
1.1.4.1.    Fustes .....	8
1.1.4.2.    Aram i llautó .....	11
1.1.4.3.    Estopa i brea .....	11
1.2.    EL PROCÉS CONSTRUCTIU.....	12
1.2.1. <i>El procés de construcció tradicional d'un bastiment.</i> .....	13
1.2.2. <i>El procediment constructiu</i> .....	14
1.3 EL LLAÜT.....	23
1.3.1. <i>El llaüt tradicional</i> .....	24
1.3.2. <i>El llaüt illenc</i> .....	26
1.3.3. <i>El llaüt de fibra</i> .....	29

1.4.	DE MODEL FÍSIC A MODEL DIGITAL .....	32
1.4.1.	<i>Mètodes d'obtenció de formes</i> .....	33
1.4.1.1.	La plomada .....	33
1.4.1.2.	L'esbós .....	33
1.4.1.3.	Fotogrametria .....	34
1.4.2.	<i>El procés d'obtenció de les formes</i> .....	34
1.4.3.	<i>Del paper al model digital</i> .....	36
<b>CAPÍTOL 2: SISTEMES DE PROPULSIÓ .....</b>		<b>41</b>
2.1.	CÀLCULS HIDROESTÀTICS .....	42
2.2.	RESISTÈNCIA A L'AVENÇ .....	45
2.2.2.	<i>Càlcul de la resistència a l'avanç segons mètodes estadístics</i> .....	48
2.2.2.1.	Càlcul mitjançant MAXSURF Resistance .....	48
2.2.2.1.1.	Elecció del mètode de càlcul .....	48
2.2.2.1.2.	Càlcul mitjançant el mètode Wyman .....	51
2.2.2.2.	Càlcul mitjançant l'expressió de l'Almirallat .....	52
2.3.	PROJECTE DEL MOTOR ELÈCTRIC .....	54
2.3.1.	<i>Història dels motors elèctrics als vaixells</i> .....	54
2.3.2.	<i>L'electrificació de les embarcacions d'esbarjo a l'actualitat</i> .....	56
2.3.3.	<i>Càlcul de la potència propulsora</i> .....	58
2.3.4.	<i>Elecció del motor</i> .....	59
2.3.5.	<i>Elecció de les bateries d'alimentació</i> .....	61
2.3.6.	<i>Disseny de l'hèlix</i> .....	64
2.3.6.1.	Càlcul dels paràmetres de l'hèlix .....	66
2.3.6.2.	Modelatge de l'hèlix .....	72
2.3.6.3.	Elecció de l'hèlix comercial .....	74
2.3.7.	<i>Instal·lació del nou sistema de propulsió</i> .....	76
2.4.	PROJECTE DE VELA LLATINA .....	79
2.4.1.	<i>La vela</i> .....	79
2.4.2.	<i>Principi físic de la vela</i> .....	80
2.4.3.	<i>Origen de la vela llatina</i> .....	82
2.4.4.	<i>Història de la vela llatina</i> .....	83
2.4.5.	<i>L'aparell llatí</i> .....	84
2.4.6.	<i>Els aparells de maniobra</i> .....	85
2.4.7.	<i>Càlculs per arborar una llaüt amb vela llatina</i> .....	88
2.4.7.1.	Llast.....	88
2.4.7.2.	Centres geomètrics .....	89
2.4.7.3.	Càlcul .....	90

---

<b>CAPÍTOL 3: VIABILITAT: ESTÈTICA-HISTÒRICA, ESTABILITAT ESTÀTICA, HOMOLOGACIONS, EXPEDICIONS I PRESSUPOST .....</b>	<b>105</b>
3.1. VIABILITAT ESTÈTICO-HISTÒRICA .....	105
3.2. ESTABILITAT ESTÀTICA .....	106
3.3. HOMOLOGACIONS I EXPEDICIONS .....	107
3.4. PRESUPOST .....	110
<b>CAPÍTOL 4: CONCLUSIONS .....</b>	<b>111</b>
<b>WEBGRAFIA .....</b>	<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>116</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>119</b>
ANNEX I. DISTRIBUCIÓ ESPAIS INTERIORS .....	120
ANNEX II. PLÀNOL DE FORMES .....	121
ANNEX III. DISPOSICIÓ INTERIOR.....	122
ANNEX IV. VISTES MODEL 3D.....	123
ANNEX V. VISTES LLAÛT AMB L'ARBRE CALCULAT.....	124

# Il·lustracions

IL·LUSTRACIÓ 1:LLAÜTS DE PESCA ARTESANAL DAVANT LA LLOTJA DE PALMA 1950-1960. FONT: BIBLIOTECA LLUÍS ALEMANY	2
IL·LUSTRACIÓ 2:DRASSANA DEL CONSELL DE MALLORCA. FONT: JOSEP FLORIT	7
IL·LUSTRACIÓ 3:EL MESTRE D'AIXA JOAN CIFRE A L'ALTELL ON HI GUARDA MULTITUD DE JOCS DE PLANTILLES. FONT: PERE BOTA	14
IL·LUSTRACIÓ 4:DETALL D'UN LLAÜT EN CONSTRUCCIÓ A LA DRASSANA DELS MARCH. FONT: ARXIU FAMILIAR MARCH	20
IL·LUSTRACIÓ 5:EL MESTRE D'AIXA ANTONI MUNAR BOLIQUET EN LA CONSTRUCCIÓ D'UN LLAÜT. FONT: ARXIU D'ANTONI MUNAR	20
IL·LUSTRACIÓ 6: NOMENCLATURA PERFIL LLAÜT MALLORQUÍ. FONT: BARQUES I NANSES, LA MENORCA MARINERA, PER CENTRE D'ESTUDIS LOCALS D'ALAIOR, 2010	23
IL·LUSTRACIÓ 7: NOMENCLATURA SECCIÓ LLAÜT ILLENC. FONT: BARQUES I NANSES, LA MENORCA MARINERA, PER CENTRE D'ESTUDIS LOCALS D'ALAIOR, 2010	23
IL·LUSTRACIÓ 8: COMPARATIVA NOMENCLATURA SECCIÓ LLAÜT CATALÀ (DRETA) I LLAÜT ILLENC (ESQUERRA). FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006)	24
IL·LUSTRACIÓ 9: EL LLAÜT ILO-ILO. FONT: JAVIER CALBET	26
IL·LUSTRACIÓ 10: LLAÜT ILLENC AMB DIFERENTS CONFIGURACIONS DE VELES. FONT: BOTS I BARQUES (P.93), PER F.OLLER, 1995	28
IL·LUSTRACIÓ 11: LLAÜT SANT BARTOMEU APARELLAT AMB UN ARBRE A UN QUART I FLOC. FONT: ANTONI JOVER	29
IL·LUSTRACIÓ 12: LA BEATA. FONT: PRÒPIA	32
IL·LUSTRACIÓ 13. PRENENT MESURES D'UN PUNT 3D. FONT: PRÒPIA	36
IL·LUSTRACIÓ 14. DIBUIX GRÀFIC DE LA INCLINACIÓ DEL VAIXELL. FONT: PRÒPIA	37
IL·LUSTRACIÓ 15: EL MODEL 3D DE LA BEATA. FONT: PRÒPIA	38
IL·LUSTRACIÓ 16: ALÇAT DEL MODEL 3D DE LA BEATA. FONT: PRÒPIA	38
IL·LUSTRACIÓ 17: PLANTA DEL MODEL 3D DE LA BEATA. FONT: PRÒPIA	39
IL·LUSTRACIÓ 18: PERFIL DEL MODEL 3D DE LA BEATA. FONT: PRÒPIA	39
IL·LUSTRACIÓ 19: PLÀNOL DE FORMES DE LA BEATA. FONT: PRÒPIA	40
IL·LUSTRACIÓ 20. DESCOMPOSICIÓ RESISTÈNCIA. FONT: MAYOR (2009)	46
IL·LUSTRACIÓ 21. TAULA DE RESULTATS CÀLCUL DE POTÈNCIA. FONT: MAXSURF RESISTANCE.	52
IL·LUSTRACIÓ 22. MOTOR ELÈCTRIC DE JACOBI. FONT: WWW.WIKIPEDIA.COM	55
IL·LUSTRACIÓ 23. MOTOR ELÈCTRIC AMB SISTEMA HIDRO GENERATOR. FONT: WWW.OCEANVOLT.COM	57
IL·LUSTRACIÓ 24. MOTOR ELÈCTRIC. FONT: NAUTICEXPO.ES	60
IL·LUSTRACIÓ 25. FERRAMENTA "SOLVER". FONT: PRÒPIA	70
IL·LUSTRACIÓ 26. MODEL HÈLIX SERIE B DE WEGENINGAN. FONT: <a href="https://www.wageningen-b-series-propeller.com/">HTTPS://WWW.WAGENINGEN-B-SERIES-PROPELLER.COM/</a>	73

IL·LUSTRACIÓ 27. MODEL HÈLIX SERIE B DE WEGENINGAN. FONT: <a href="https://www.wageningen-b-series-propeller.com/">HTTPS://WWW.WAGENINGEN-B-SERIES-PROPELLER.COM/</a> .....	73
IL·LUSTRACIÓ 28. ANCORATGES MOTOR DE COMBUSTIÓ. FONT: PRÒPIA.....	76
IL·LUSTRACIÓ 29. SUPORT MOTOR ELÈCTRIC. FONT: <a href="http://www.nauticexpo.es">WWW.NAUTICEXPO.ES</a> .....	77
IL·LUSTRACIÓ 30. MORSE I UNITAT DE CONTROL DEL MOTOR. FONT: PRÒPIA.....	78
IL·LUSTRACIÓ 31: TIPUS DE VELES. A, B, C I D, QUADRILÀTERS (A, AURICA; B, GÀBIA; C, AL TERÇ; D, MÍSTICA); E, F I G, TRIANGULARS (E, LLATINA; F, BERMUDIANA; G, GUAIRA). FONT: FOTOTECA.CAT.....	80
IL·LUSTRACIÓ 32. PRINCIPI DE BERNOULLI.....	81
IL·LUSTRACIÓ 33. MOSAIC D'AYDINCIK. FONT: <a href="https://es.wikipedia.org">HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG</a> .....	82
IL·LUSTRACIÓ 34. GLOSARI DE L'APRELL LLATÍ. FONT: L'ART DE NAVEGAR A VELA LLATINA I VELA AL TERZO (P.7), MMB, 2020 .....	84
IL·LUSTRACIÓ 35: LLAÛT AMB ARBRE I MESSANA. FONT: JAVIER CALBET.....	88
IL·LUSTRACIÓ 36: POSICIÓ DELS CENTRES GEOMÈTRICS DE LA PALA DEL TIMÓ I DEL BUC. FONT: PRÒPIA.....	91
IL·LUSTRACIÓ 37: COTES RESPECTE A LA RECTA DE REFERÈNCIA I POSICIÓ DEL CDL. FONT: PRÒPIA.....	92
IL·LUSTRACIÓ 38: DETALL DE LA POSICIÓ DEL PUNY DEL CAR. FONT: PRÒPIA.....	93
IL·LUSTRACIÓ 39: POSICIÓ DEL PUNY D'ESCOTA I TRAÇAT DE L.GRÀTIL. FONT: PRÒPIA.....	95
IL·LUSTRACIÓ 40: UBICACIÓ DEL PUNY DE LA PENA I DEL CV. FONT: PRÒPIA.....	97
IL·LUSTRACIÓ 41: DIMENSIONS DEL PAL I DE L'ANTENA. FONT: PRÒPIA.....	100
IL·LUSTRACIÓ 42: DETALL DE LES MESURES DE L'EXTREM DEL PAL. FONT: PRÒPIA.....	101
IL·LUSTRACIÓ 43: DETALL DE LES MESURES I ELEMENTS DE L'ANTENA. FONT: PRÒPIA.....	102
IL·LUSTRACIÓ 44: LLAÛT AMB L'APARELL CALCULAT. FONT: PRÒPIA.....	103
IL·LUSTRACIÓ 45. CERTIFICAT DE NAVEGABILITAT. FONT: ITB SURVEYORS.....	108

# Fórmules

EQUACIÓ 1. COEFICIENT PRISMÀTIC. FONT: PRÒPIA. ....	43
EQUACIÓ 2. COEFICIENT DE BLOC. FONT: PRÒPIA. ....	44
EQUACIÓ 3. NOMBRE DE FROUDE. FONT WWW.HIDRAULICAFACIL.COM .....	46
EQUACIÓ 4. NOMBRE DE REYNOLDS. FONT: WWW.HIDRAULICAFACIL.COM .....	47
EQUACIÓ 5. NOMBRE DE FROUDE. FONT WWW.HIDRAULICAFACIL.COM .....	50
EQUACIÓ 6. NOMBRE DE FROUDE. FONT WWW.HIDRAULICAFACIL.COM .....	51
EQUACIÓ 7. ALMIRALLAT. FONT:WWW.SECTORMARITIMO.ES .....	53
EQUACIÓ 8. RELACIÓ ÀREA EXPANDIDA-ÀREA DISC. FONT: PRÒPIA. ....	66
EQUACIÓ 9. COEFICIENT D'EMPENTA. FONT: PRÒPIA.....	67
EQUACIÓ 10. COEFICIENT DE PAS. FONT: PRÒPIA. ....	67
EQUACIÓ 11. PARELL ABSORBIT PER L'HÈLIX (Q). FONT: PRÒPIA. ....	68
EQUACIÓ 12. GRAU D'AVANÇ (J). FONT: PRÒPIA .....	68
EQUACIÓ 13. RENDIMENT EN AIGÜES LLIURES. FONT: PRÒPIA.....	68
EQUACIÓ 14. POTÈNCIA AL FRE. FONT: PRÒPIA.....	69
EQUACIÓ 15. NOMBRE DE REYNOLDS. FONT: WWW.HIDRAULICAFACIL.COM .....	69
EQUACIÓ 16. EXPRESSIÓ DE BERNOULLI. ....	81
EQUACIÓ 17. CÀLCUL CENTRE GEOMÈTRIC. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006). ....	91
EQUACIÓ 18. LONGITUD DEL GRÀTIL. FONT:NUESTRA VELA LATINA, PER F.OLLER I V.GARCIA-DELGADO. ....	94
EQUACIÓ 19. POSICIÓ PUNY D'ESCOTA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006). ....	94
EQUACIÓ 20. LONGITUD DE LA BALUMA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006).....	95
EQUACIÓ 21. VALOR LONGITUD BALUMA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	96
EQUACIÓ 22. LONGITUD ANTENA I FLETXA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	97
EQUACIÓ 23. POSICIÓ DEL PAL. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	98
EQUACIÓ 24. LONGITUD DE TREBALL DEL PAL .FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	98
EQUACIÓ 25. LONGITUD ÚTIL DE TRABALL DEL PAL. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	98
EQUACIÓ 26. DISTÀNCIA AFOGAMENT, COLL I METXA .FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) ..	99
EQUACIÓ 27. LONGITUD CALCÉS, ESPIGÓ I GALETA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	99
EQUACIÓ 28. CARACTERÍSTIQUES DIFERENTS ELEMENTS. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	102
EQUACIÓ 29. MESURES D'ELEMENTS. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006).....	103
EQUACIÓ 30. MESURES CARLINGA DEL PAL. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	103

# Taules

TAULA 1: INVENTARI D'EMBARCACIONS MENORS DE MALLORCA DEL 1990 FINS AL 2010. FONT: EL LLAÛT. LA BARCA DE LA MEDITERRÀNIA (P.157), PER B. OLIVER FONT I B.R. HOMAR BESTARD, 2016 .....	3
TAULA 2. HIDROESTÀTIQUES. FONT: MAXSURF MODELER .....	42
TAULA 3.PARÀMETRES ELECCIÓ MÈTODE CÀLCUL. FONT: MAXSURF RESISTANCE .....	49
TAULA 4.PARÀMETRES ELECCIÓ MÈTODE CÀLCUL. FONT: MAXSURF RESISTANCE .....	49
TAULA 5. TAULA DE POTÈNCIA. FONT: PRÒPIA. ....	59
TAULA 6.CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL MOTOR. FONT: PRÒPIA. ....	60
TAULA 7. BALANÇ DE POTÈNCIA A VELOCITAT DE CREUER. FONT: PRÒPIA. ....	61
TAULA 8. BALANÇ DE POTÈNCIA A VELOCITAT MÀXIMA. FONT: PRÒPIA .....	62
TAULA 9.ESPECIFICACIONS BATERIES. FONT: ECOFENER.COM.....	62
TAULA 10. DADES DE L'HÈLIX. FONT: PRÒPIA .....	66
TAULA 11. RESULTATS CÀLCUL HÈLIX 2 PALES. FONT: PRÒPIA. ....	71
TAULA 12. RESULTATS CÀLCUL HÈLIX 3 PALES. FONT: PRÒPIA. ....	71
TAULA 13. RESULTATS CÀLCUL HÈLIX 4 PALES. FONT: PRÒPIA. ....	72
TAULA 14. CONVERSIÓ DE METRES A POLZADES. FONT: PRÒPIA .....	74
TAULA 15. CARACTERÍSTIQUES HÈLIX. FONT: BARCELONAPROPELLERS.....	75
TAULA 16: OBTENCIÓ DE G A PARTIR DE LA RELACIÓ ESLORA/MÀNEGA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006).....	93
TAULA 17: OBTENCIÓ DE B EN FUNCIÓ DE LA RELACIÓ CENTRE VÈLIC/CENTRE DERIVA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006) .....	95
TAULA 18: OBTENCIÓ DE M A PARTIR DE LA RELACIÓ ESLORA/MANEGA. FONT: NUESTRA VELA LATINA, (OLLER I GARCÍA-DELGADO, 2006).....	98
TAULA 19. DISTRIBUCIÓ DE PESOS. FONT: PRÒPIA. ....	106
TAULA 20. PLÀNOL DISPOSICIÓ ELEMENTS. FONT: PRÒPIA. ....	106
TAULA 21. ISO 12217 (2015). FONT: PRÒPIA.....	109
TAULA 22. CRITERIS ISO 12217, VAIXELLS AMB PROPULSIÓ MECÀNICA. FONT: PRÒPIA. ....	109
TAULA 23. CRITERIS ISO 12217, VAIXELLS AMB PROPULSIÓ A VELA. FONT: PRÒPIA.....	109
TAULA 24.PRESUPOST. FONT:PRÒPIA .....	110
<b>Gràfics</b>	
GRÀFIC 1:ACTIVITATS DELS MESTRES D'AIXA A LES BALEARS. FONT: ELS MESTRES D'AIXA A MALLORCA (P.131), PER B. OLIVER FONT I B. TOMÀS FERRUTXER, 2020 .....	5
GRÀFIC 2: DISTRIBUCIÓ DELS MESTRES D'AIXA PER EDATS. FONT : ELS MESTRES D'AIXA A MALLORCA (P.132), PER B. OLIVER FONT I B. TOMÀS FERRUTXER, 2020 .....	6

# Abreviatures

**Kts:** unitat de mesura de velocitat utilitzada en el sector marítim. Un Kts equival a 1,852 km/h

**C<sub>f</sub>:** coeficient de fricció del vaixell

**C<sub>w</sub>:** coeficient de fricció per formació d'ones

**kW:** kilowatts

**kWh:** kilowat hora

**t:** tones, unitat de massa utilitzada en el Sistema Internacional que equival a 1000 quilograms

**Kg:** kilograms

**cv:** unitat de mesura de potència anomenat cavall de vapor. Un cv equival a 745,7 vats.

**EHP:** potència efectiva o de remolc

**BHP:** potència al fren un cop aplicat el rendiment propulsiu

**PHP:** potencial a l'hèlix

**Z:** nombre de pales de l'hèlix

**D:** diàmetre nominal de l'hèlix

**P:** pas de l'hèlix

**P/D:** relació pas-diàmetre

**Ae/Ao:** relació àrea expandida-àrea del disc

**n:** revolucions per minut a les que gira l'hèlix

**R:** resistència total del vaixell

**T:** coeficient de succió

**w:** coeficient d'estela

**$\eta_{rr}$ :** rendiment rotatiu relatiu

**$\eta_m$ :** rendiment mecànic de línia d'eixos

**V:** velocitat d'avanç del vaixell

**T:** empenta generada per l'hèlix

**$\rho$ :** densitat de l'aigua de mar

**$\eta_o$ :** rendiment en aigües lliures

**in:** polzades com unitat de mesura

**L<sub>pp</sub>:** eslora entre perpendiculars

**L:** eslora màxima



**T:** calat del vaixell  
**B:** màniga del vaixell  
**m:** metres  
**°C:** graus centígrads  
**Ampopa:** amplada mirall de popa  
**Hmpopa:** altura mirall de popa  
**Hrproa:** altura roda de proa  
**3D:** tridimensional  
**2D:** bidimensional  
**°:** graus  
**sin():** sinus  
**cos():** cosinus  
**Cp:** coeficient prismàtic  
**Cb:** coeficient de bloc  
**Fn:** nombre de Froude  
**Rn:** nombre de Reynolds  
**S1:** superfície de l'obra viva del timó  
**S2:** superfície de l'obra viva del buc  
**Cg1:** centre de gravetat de l'obra viva del timó  
**Cg2:** centre de gravetat de l'obra viva del buc  
**AA':** recte de referència  
**Cdl:** centre de deriva lateral  
**Cgv:** centre geomètric de la vela  
**CV:** centre vèlic  
**L.:** longitud  
**Dist.:** distància  
**D.:** diàmetre  
**s.:** segle

# CAPITOL 1: EL LLAÜT, LES FORMES I ELS CÀLCULS HIDROESTÀTICS

## 1.1. Una mica de context

### 1.1.1. Introducció

*Les Balears han viscut d'esquena al mar.* Tot hi que es habitual haver sentit aquesta expressió, nosaltres discrepem. Com és pot dir tal cosa essent un arxipèlag situat al bel mig de la Mediterrània occidental, cruïlla en els fluxos comercials, culturals i sociopolítics des de l'antiguitat. Abans de l'aviació, les autopistes i la Internet, les zones marítimes representaven els espais d'ebullició social, i el Mare Nostrum n'era l'epicentre mundial.

Encara que la majoria de la població es dedicà a la pagesia fins ben entrat el s. XX, bona part d'aquella producció es feia mirant a la mar. Dels ports Illencs sortien productes cap a totes direccions, cap als ports de les illes veïnades o ports més propers de la Península fins als més llunyans a l'altre costat de l'Atlàntic.

I és per tot això que afirmem amb rotunditat que a les Balears, la cultura marinera ha estat ben viva i arrelada, anant des dels mestres d'aixa, mariners, pescadors fins a contrabandistes i corsaris.

Al Mediterrani, mar que, a diferència de l'oceà, és molt més capritxos i canviant, l'art de la navegació arribà a grans solucions tecnològiques que permeteren enfortir el vincle, entre el poble i el mar. La construcció naval, fou el resultat d'un procés evolutiu i del treball col·laboratiu, fruit de l'experiència acumulada d'aquells que fien del mar la seva casa. El fet de que els materials i les eines utilitzades eren accessibles i manejables, i que no requerien d'un gran coneixement per poder-ne fer ús, feien de la construcció naval un procés viu, de reformulació permanent (Oliver i Bestard, 2016).

Fins no fa tant, l'única manera d'accedir a les Illes era per via marítima. El tràfic comercial el protagonitzaven els grans vaixell a vela que entraven i sortien dels nostres ports

per connectar les illes amb el món i el món amb les illes. Una marina de vela comercial tan poderosa i important com fràgil i caduca.

Fragates, bergantins, pailebots, xabecs, llaüts viatgers., l'evolució dels motors de combustió i l'aviació comercial en provocaren la seva desaparició. El que ens queda de la construcció naval tradicional, del saber dels mestres d'aixa, del coneixement oral... es redueix a la flota artesana d'embarcacions menors: els llaüts, els bots, els gussis, i les pasteres. D'aquesta flota, el llaüt, embarcació de la classe popular, de la llibertat i l'autonomia, n'és el seu màxim representant (Oller, 1995).



*Il·lustració 1: Llaüts de pesca artesanal davant la Llotja de Palma 1950-1960. Font: Biblioteca Lluís Alemany*

Just després de la Segona Guerra Mundial, l'ús dels combustibles fòssils i el motor de combustió s'imposà en els mitjans de transport. Malgrat la comoditat que ha suposat la introducció del motor de combustió en els llaüts a l'hora de fer feina, i sobretot la seguretat en cas de mal temps, la seva normalització anà lligada a la introducció dels valors del capitalisme.

A més, la indústria petroquímica inundà el mercat amb nous materials sintètics que han anat substituint progressivament els materials de procedència orgànica. Fustes, veles, cordes... són ara de materials polimèrics. A poc a poc, amb la introducció d'aquests materials de darrera generació, els llaüts de fusta han estat substituïts per llaüts de fusta amb recobriments de fibra, i

llaüts de fibra. I amb això, la figura del mestre d'aixà a quedada relegada a un segon pla, la restauració d'embarcacions històriques. Aquesta “evolució” en el sector marítim, ha suposat la desaparició d'una tecnologia evolutiva, col·laborativa i democràtica, essent substituïda per una altra, de tipus homogeneïtzadora i elitista.

Amb la progressiva substitució del llaüt va arribar la desaparició de tota una cultura. Al seu lloc s'hi ha imposat una nova cultura de la mar, cultura participada principalment per la classe privilegiada on la velocitat, l'ostentositat, la falta de respecte i la manca de bon gust hi predomina.

Per acabar, es mostren els resultats dels 5 inventaris d'embarcacions menors de Mallorca realitzats des de l'any 1990 fins al 2010. Estudis que permeten veure com evoluciona la flota i deixen de manifest la imminent desaparició de determinades tipologies d'embarcacions a no ser que es comencin a implementar polítiques de protecció del patrimoni marítim contundents (Oliver i Bestard, 2016).

Tipologia	1996	2001	2010
Llaüts	1.020	-	653
Bots coberts	223	-	80
Bots descoberts	66	30	26
Gussis	21	12	6
Pasteres	77	35	17

Taula 1: Inventari d'embarcacions menors de Mallorca del 1990 fins al 2010. Font: *El llaüt. La barca de la Mediterrània* (p.157), per B. Oliver Font i B.R. Homar Bestard, 2016

### 1.1.2. Els mestres d'aixa

Fa un temps, en la gran majoria de pobles de la costa hi havia un artesà especialitzat en la reparació i construcció de barques pescadores, se'l coneixia com a mestre d'aixa.

L'ofici demanava molts d'anys d'aprenentatge, en els quals el futur mestre d'aixa consolidava des de les feines més bàsiques a les més complexes i rigoroses. Eren anys dedicats a conèixer la fusta, les eines pròpies de l'ofici, dibuixar plans i fer projeccions a escala.

El mestre d'aixa solia emprar el terra d'unes golfes, cotxera, església del poble o drassana, per delinear les quadernes d'una embarcació en dimensions reals i comprovar-ne les formes.

D'aquesta manera, poder estimar la quantitat de fusta per bastir el costellam<sup>1</sup>, i, per tant, les formes que havien de tenir els troncs d'arbres.

Un cop traçades les quadernes, aprofitant despulles de taulons, feia un gàlib<sup>2</sup> basto de les corbes principals. Amb un carretó, on hi carregaven les plantilles, se n'anava al bosc i, un cop allà, les presentava als troncs dels arbres per escollir-ne els que més li convenien. Marcaven els troncs seleccionats i els llenyataires feien la seva feina.

Els arbres s'havien de tallar amb la lluna plena de gener i agost i es deixaven apilats un cert temps al mateix bosc perquè comencessin a assecar-se i perdessin quelcom de reïna.

Un cop complet l'encàrrec, la fusta es duia fins a vorera de mar on es deixava en remull en zones de poca profunditat i protegides dels temporals durant un o dos anys. D'aquesta manera la fusta perdia la reïna i es curava, fent-la més resistent al corc i més flexibles. Un cop passat aquest temps la matèria primera s'acabava d'assecar a l'aire lliure, sempre a recer del sol, que la podia malmetre.

Aquest ofici requeria invertir una important suma de diners en matèria primera i mà d'obra, ja que, des de que es confirmava l'encàrrec d'un nou vaixell, fins que es col·locava la quilla, passava gairebé més d'un any, i encara dos més fins acabar del nou buc totalment bastit, a l'espera de les veles i aparell.

La construcció d'una nova embarcació podia trigar quasi cinc anys, i per aquesta raó cada mestrança s'especialitzava en la construcció de determinats tipus d'embarcacions.

Els mestre d'aixa també es buscaven la vida d'altres maneres. Els velers que feien la ruta de l'Atlàntic, sempre n'embarcaven un per fer els adobs de les averies que els cops de mar produïen al llarg del viatge.

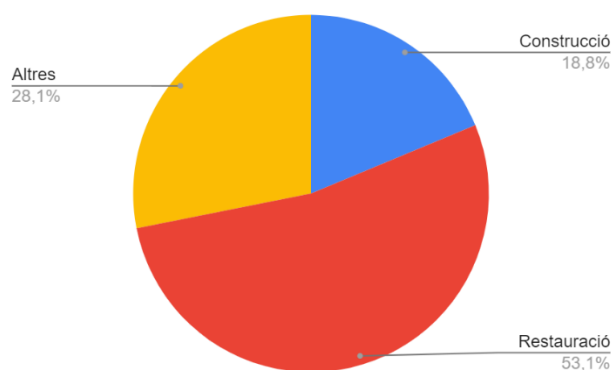
---

<sup>1</sup>Enramada, conjunt de peces que formen l'esquelet del buc d'una embarcació. Està format per l'eix longitudinal (carena i rodes de proa i de popa), pels elements transversals (quadernes) i pels elements longitudinals interiors (paramitjal, sobrescoes, contubal, trencanell) i exteriors (escoes i cintes).

<sup>2</sup>Plantilla utilitzada pels mestres de ribera i els mestres d'aixa per construir totes les quadernes i altres peces d'una nau.

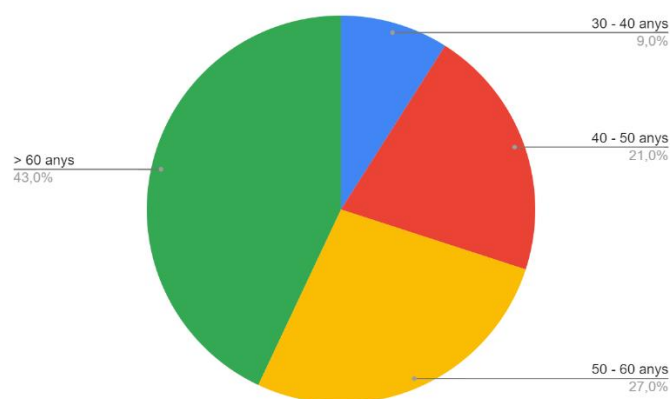
Com ja s'ha comentat, la feina del mestre d'aixa no es limitava a construir noves embarcacions tradicionals, també és garantir-ne la bona conservació al llarg dels anys d'activitat. Tant és així que el manteniment i la reparació de la barca representa la principal activitat dels mestres d'aixa d'avui, molt per sobre de la construcció, ja gairebé desapareguda (Alegret et al, 2009).

Actualment, només un 19% dels mestres actius a les Balears han construït barques els darrers anys. El gruix de les comandes són de restauracions a excepció de la construcció solta d'algun llaüt d'esbarjo. Quasi un 30% dels mestres fan altres feines, com construir amb fibra, treballar en fusteria de mobles i portes, maquetes per comerços, etc (Oliver i Tomàs, 2020).



Gràfic 1: Activitats dels mestres d'aixa a les Balears. Font: ELS MESTRES D'AIXA A MALLORCA, p.131, per B. Oliver Font i B. Tomàs Ferrutxer, 2020

Altres dades més positives, sobre la realitat actual de l'ofici és que, fins l'any 2000 era un ofici envellit, però en els darrers vint anys sembla que s'hagi reactivat gràcies a una nova generació de mestres d'aixa. Molts d'aquest professionals provenen de l'Escola-Taller de Mestres d'aixa del Consell de Mallorca (Oliver i Tomàs2020).



Gràfic 2: Distribució dels mestres d'aixa per edats. Font : *ELS MESTRES D'AIXA A MALLORCA* (p.132), per B. Oliver Font i B. Tomàs Ferrutxer, 2020

### 1.1.3. Les drassana i tallers

Els mestres d'aixa s'han localitzat històricament a zones costeres. El seu treball es realitzava a l'interior de les drassanes, però també construïen barques en petits tallers, a la intempèrie...

Degut a la desaparició gradual de la demanda de construcció, els mestres deixaren de construir, motiu pel qual avui és més encertat parlar de tallers i obradors, on es restauren i reparen i mantenen embarcacions de fusta. Tot hi que aquests tallers s'organitzen segons els criteris dels propietaris, se'n poden extreure característiques comunes: són edificis amples de planta baixa, coberts i amb zones exteriors per poder treballar amb les barques que no caben a l'interior; disposen de magatzem de materials, com la fusta que s'ha de protegir del sol; i són accessibles, grans portes d'accés i localització ben connectada amb carreteres principals, evitant camins estrets, rotondes i passos a nivell.



*Il·lustració 2: Drassana del Consell de Mallorca. Font: Josep Florit*

Pel que fa a l'organització interna del taller, tradicionalment hi treballaven fins a tres categories professionals: els mestres d'aixa, els oficials i els aprenents o mossets. Aquests tres grups podien variar en nombre, segons el volum de feina i les capacitats econòmiques de les drassanes. Fins ben entrat el s. XX, aquesta estructura jeràrquica es trobava a cada drassana, a dia d'avui ja ha desaparegut.

El mestre d'aixa: normalment era el propietari del taller. S'ocupava dels treballs que requerien més experiència, com el disseny dels dibuixos i maquetes per fer les barques, ja que era la persona experta en la seva construcció i la que tenia més experiència. També s'encarregava de coordinar, assignar i controlar els processos i activitats d'oficials i mossets.

L'oficial: realitzava les tasques primordials per acabar d'enllestir les barques: tallar les peces, muntar-les, ajustar-les... Els oficials sovint es convertien en mestres d'aixa si tenien accés a aprendre el procés de construcció, és a dir, a fer les maquetes i conèixer com treure les plantilles i plànols de les barques. En aquest mateix nivell també se situava el calafat, persona que té per ofici calafatar, és a dir, tancar amb estopa els coments de les posts o taules dels vaixells i de les embarcacions menors de fusta i cobrir-los després amb una capa de brea a fi d'impedir el pas de l'aigua.

Aprenent: els mossets eren el darrer estament dins la drassana, i la conformaven infants o joves que feien els treballs més elementals per aprendre l'ofici, com polir, clavar, pintar, netejar... Anys després estaven preparats per assumir responsabilitats fins a arribar a participar



activament en la feina, convertint-se en oficials i finalment encarregar-se de la projecció i construcció, si és que havien tingut l'oportunitat d'aprendre-los.

Avui dia, l'organització dels tallers de mestre d'aixa el conformen poques persones. En quasi tots els casos el mestre d'aixa treballa tot sol i en èpoques de més feina contracta mossos, altres mestres d'aixes o professionals autònoms com pintors i mecànics. Per tant, els mestres d'aixa d'ara assumeixen les tasques dels tres esglaons comentats, essent els responsables de les activitats que requereixen de major coneixement i experiència fins a les més senzilles i bastes.

## 1.1.4. Les matèries primeres

### 1.1.4.1. Fustes

En la elaboració d'embarcacions tradicionals, la fusta és la matèria primera fonamental. Cada llenya té unes característiques que les fan òptimes per diferents finalitats, unes per la seva duresa, altres per la seva flexibilitat, pes, residència al desgast...

Per tal d'aconseguir les millors fustes, els mestres d'aixa, s'han hagut d'adaptar als condicionants de cada situació socio-econòmica de cada context històric determinat.

La fusta més utilitzada era l'autòctona (pi i alzina) tot i que la d'importació prengué importància, a mesura que transcorria el s. XIX. Per altra banda, la reutilització de fustes d'embarcacions de desfeta o bé inservibles fou una font primordial de matèria primera en els moments de crisi.

Tot seguit, es passarà a descriure les diferents fustes emprades a les Balears, i es comentaran les seves característiques i utilització.

### **Alzina**

Gènere: *Quercus Lepidobalamis*

Espècie: *Crispa*, *fastigiata*, etc.

Família: Fagaceae

Origen: Europa

Característiques: Arbre d'escorça esquerpada i fulles perennes de peciol curt i espinoses. Pot arribar als 12 m d'altura.

Clima: Propi de les zones càlides i d'alguns països tropicals.

Fusta: Llenya de color clara amb dibuixos d'anells de creixement. És una fusta molt dura i difícil de treballar, utilitzada per elaborar les parts més resistents de la barca: quilla, peça, soleta, roda de proa i popa...

## Pi

Gènere: Pinus

Espècie: Silvestre, marítim, larici, pinyoner...

Família: Pinàcies

Origen: Europa, Àsia i E.E.U.U.

Característiques: Arbre sempre verd i resinós

Clima: Resisteix el fred i la calor, prefereix espais lluminosos.

Fusta: De color groc clar, fibra molt recta, elàstica i resinosa que es treballa molt bé, molt resistent al corc i al banyarriquer.

Dins el prop de 70 espècies de pi, aquest apartat parlarà dels tipus més utilitzats pels mestres d'aixa.

Pi comú (*Pinus alepensis*): Aquest pi és de poca alçada i per tant, no se'n poden treure taulons grossos. Només utilitzada per la medissada<sup>3</sup>.

Pi gallec (*Pinus Pinea*): Pi gros d'on se'n extreuen taulons, emprat majoritàriament per fer el folre de la barca. Aquest arbre es diferencia dels seus germans pel color obscur de la seva fusta.

Pi de flandes o nòrdic (*Pinus Pinaster*): Pi de gran dimensions, permet un gran aprofitament de la seva fusta. D'ell neix la major part de la embarcació.

---

<sup>3</sup> Conjunt de medissos, part inferior de cada costella d'un buc.

## **Teca**

Gènere: Tectona

Espècie: Tectona grandis

Família: Verbenàcies

Origen: Asiàtic

Característiques: De color verdós i tacte untuós

Clima: Propi de les zones càlides i d'alguns països tropicals.

Fusta: Llenya dura, elàstica i resistent. Molt apreciada a la construcció naval pel seu bon comportament davant l'exposició a l'aigua. S'empra per fer la soleta i els adornaments de la barca.

## **Roure**

Gènere: Quercus

Espècie: Roure àlber, roure born i roure negral

Família: Caducifòlies

Origen: Centre i Oest d'Europa

Característiques: Arbre de fulles lobulades i caduques amb el tronc gairebé recte.

Clima: Humit

Fusta: De color terrós groguenc, molt dura i compacte. S'empra a la construcció naval per la seva duresa i resistència a la intempèrie.

## **Faig**

Gènere: Fagus sylbatica

Espècie: *Fagus sylbàtica* (Europea) i *Fagus orientalis* (Asiàtica)

Família: Fagàcies

Origen: Zones temperades de l'hemisferi nord

Característiques: Tronc recte amb escorça llisa. Les fulles són caduques amb el contorn lleugerament dentat .

Clima: Zones amb d'entre 16 i 18 °C, un 70 % d'humitat relativa i 250 mm de pluja durant el període vegetatiu.

Fusta: Blanca, presenta dibuixos ratllats o favats. Pesada, elàstica i resistent. Resisteix poc la sequedat. És emprada ocasionalment en la construcció naval, especialment en la elaboració de rems.

#### **1.1.4.2. Aram i llautó**

L'ajustatge i unió de les taules de la barca, es duia a terme per mitja d'elements d'aram i llautó. Materials amb un bon comportament davant la corrosió i bona mal·leabilitat, ductilitat i flexibilitat.

L'aram és el nom que rep el coure batut laminat o forjat. És un metall lenitiu a la corrosió, presenta una bona solidesa mecànica i és bo de treballar. Actualment ha estat substituït per l'acer inoxidable.

El llautó és el resultat de la combinació de coure i zinc. Té característiques semblants a l'aram tot hi que, una vegada polit, treu molta lluentor, fet que s'aprofita en les parts ornamentals de la embarcació.

Antigament els mestres fabricaven ells mateixos les tatxes, claus i estris que clavaven i ajustaven a les barques, avui dia es compren a les botigues especialitzades.

#### **1.1.4.3. Estopa i brea**

El material utilitzat per a segellar les esclotxes entre els taulons de la barca són l'estopa i la brea.

L'estopa són les fibres més bastes que s'obtenen en el procés del pentinat del lli o cànem. S'utilitza per omplir els forats entre taules.

La brea és la pasta resultant de mesclar oli de llinosa amb blanc d'Espanya. S'aplica a sobre l'estopa un cop ja s'ha introduït en les escletxes.

## 1.2. El procés constructiu

En primer lloc el client encarregava la barca i especificava el que volia i, sobretot, per a què la volia, quina funció havia de tenir. Davant l'encàrrec d'un client, es feia un dibuix amb el perfil de la barca i s'hi posava l'eslora la mànega, el puntal i tots els gruixos i tipus de les fustes. El dibuix se signava per les dues parts, s'anava a la Comandància Marítima i es demanava des de allí el permís de construcció. Normalment, quan aquest permís arribava, ja s'havia acabat el bastiment, ja que era habitual començar la construcció abans de tenir el permís.

Quan s'encarregava la barca es feia un pagat i senyal, tot era de paraula, no es signava cap paper a l'inici. Es treballava amb pressupostos justos i s'anava fent. En acabar cada fase de la construcció es pagava i es donava un rebut, la dita *barca acabada barca pagada*, en fa referència.

Pel que fa a la normativa i als permisos per a embarcacions de mitjana i gran eslora, abans de l'arribada de la democràcia, quan es construïa un bastiment es presentava a la Comandància Militar de Marina una sol·licitud i un plànol senzill. Normalment la Comandància ho acceptava, hi posava un segell i li deia que ja vindria el pèrit.

En aquest plànol s'havia de posar els materials que s'hi emprarien. Llavors, quan el pèrit venia, comprovava que les mides quadressin i intuïa el preu que costava la construcció i el preu pel qual s'havia de vendre.

Amb l'arribada de la democràcia els tràmits canviaren i els plànols dels bastiments que s'han de construir de nou han de passar a estar validats per un enginyer naval.

Això té un cost elevat, en molts de casos inassolibles per moltes drassanes, fent que la necessitat de validació d'un enginyer malmeti la relació client-mestre d'aixa, marcada per petits marges de benefici.

En molts casos, aquest factor ha provocat el final de l'activitat constructiva d'una drassana i l'adopció del paper de treballador especialitzat en la restauració i el manteniment de construccions de fusta, en lloc de constructor de bastiments. Deixant patent que la irrupció del

nou protagonisme adquirit per l'enginyer en el procés trenca tota una tradició, ferint l'orgull dels mestres d'aixa tradicionals veient la figura de l'enginyer com un intrús en la seva feina.

### **1.2.1. El procés de construcció tradicional d'un bastiment.**

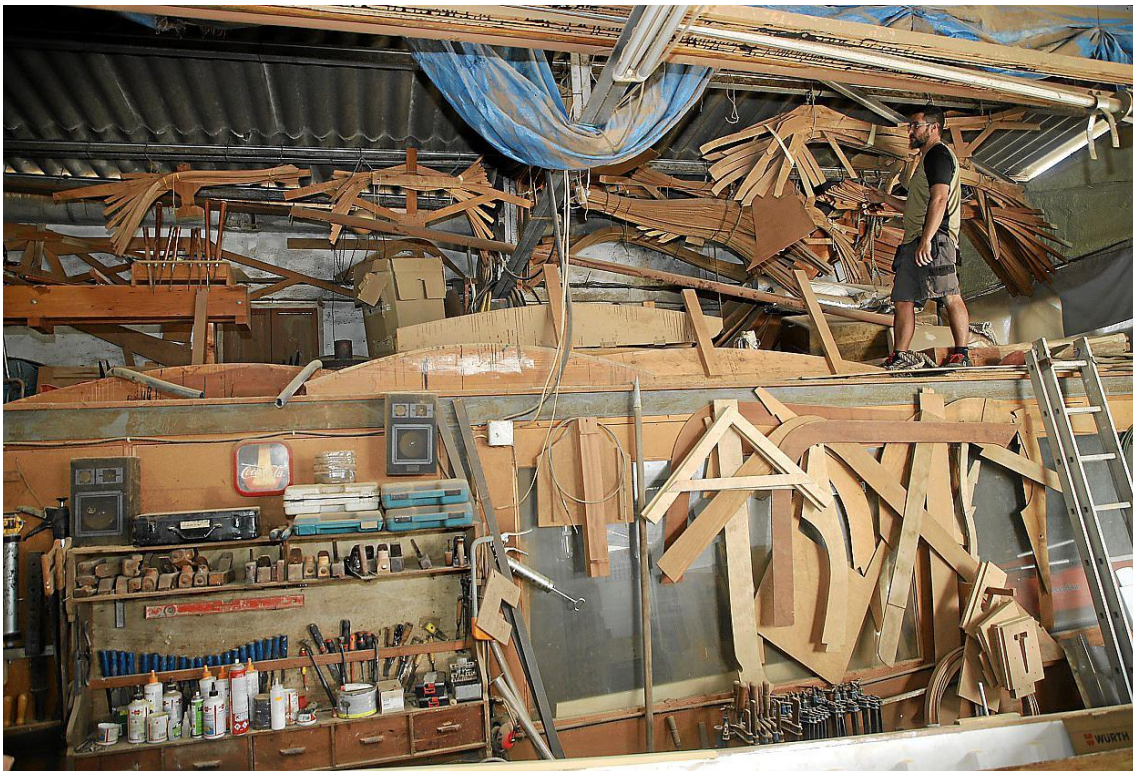
Durant segles, la morfologia de les embarcacions de la costa illenca va ser gairebé inalterable. Només petits canvis en els materials emprats i en les necessitats dels usuaris van modificar de manera puntual la tasca constructiva, sense alterar-ne l'essència.

L'estructura i morfologia de la barca, eren fruit de l'experiència acumulada per la successió de generacions de mestres d'aixa de les diferents poblacions marineres, aprenent a entendre com era la mar a la zona on treballaven les embarcacions bastides per ells i a la qual es van haver d'adaptar, així com al tipus de pesca a la que es dedicaven.

Quan un client volia un tipus de bastiment diferent del que habitualment es construïen en la drassana i del qual no hi havia plantilles fetes, llavors se n'havia de fer un model, un mig buc, tant acurat com fos possible, i d'allà sortien les mides per a l'escala real.

En cas que el client volgués un bastiment ja treballat per la drassana, el procés s'agilitzava ja que es reutilitzaven les plantilles existents i s'estalviava la tasca de passar els punts del mig buc a escala real.

Les plantilles juntament amb les eines, eren uns dels elements de l'activitat constructiva més valorats per cada mestre d'aixa i s'acostumaven a guardar i passar de generació en generació.



Il·lustració 3: El mestre d'aixa Joan Cifre a l'altell on hi guarda multitud de jocs de plantilles. Font: Pere Bota

## 1.2.2. El procediment constructiu

El procés descrit en aquest apartat es basa en la primera, segona part i capítol tercer del *Manual del aprendiz del carpintero de rivera* (Bonet, 2005), i també en el capítol titulat *El procediment de construcció i calafat d'un bastiment de De quilla a perilla* de Joan Lluís Alegret i altres.

Tot hi ser una tasca complicada, descriure el procés de construcció d'un bastiment del que no es disposen ni de plantilles ni de plànols, es procurarà fer de la manera més clara i entenedora.

El primer que s'ha de tenir clar, és a quina labor es dedicarà l'embarcació i per tant definir les característiques general d'aquesta. Per exemple, si es desitja una barca molt estable, es donaran formes molt plenes als extrems, el fons pla i un mirall de popa ample; en canvi, si es desitja una barca caminadora, serà quillada, s'afinaran les formes de proa i se li farà un mirall de popa amb línies fines. A més s'ha d'estimar una eslora ( $L$ ), una mànega ( $B$ ) i un puntal ( $T$ ) per al projecte.

També és recomanable dur a terme un petit estudi analitzant les formes d'embarcacions de la mateixa tipologia que la barca a elaborar i parlar amb els patrons d'aquestes, entenent quines mancances i virtuts tenen, i d'aquesta manera poder suggerir millores.

Un cop definides les característiques generals de l'embarcació, ja es pot passar a fer el model a escala, usualment 1/10, la més emprada per la simplicitat del seu càlcul.

Per calcular el volum escalat de la meitat de buc de la barca, serà necessari un bloc de fusta de  $\frac{L}{10}$  de llarg per  $\frac{B}{20}$  d'ample per  $\frac{T}{10}$  d'altura. Per facilitar la confecció de la peça, es pot sobre dimensionar, donant com a resultat un bloc de fusta de  $\frac{L^*}{10}$  de llarg per  $\frac{B^*}{20}$  d'ample per  $\frac{T^*}{10}$  d'altura.

La següent passa és tallar set llistons de  $\frac{L^*}{10}$  de llarg per  $\frac{B^*}{20}$  d'ample per  $\frac{T^*}{70}$  d'altura, quatre d'aquests de fusta clara (pi sense nusos i en el sentit de les fibres) i tres de fusta obscura (alzina o garrover). S'ha de ser escrupolós en anivellar les superfícies dels llistons per garantir una bona superposició, després s'han d'encolar intercalant els llistons de fusta obscura entre els llistons de fusta clara.

S'ha de tenir en compte que les dimensions de la peça corresponen a les del buc i per tant no contempla l'altura de la quilla ni els sortints de proa i popa.

Un cop elaborat el bloc del projecte, s'ha de rectificar una de les cares de  $\frac{L^*}{10}$  de llarg per  $\frac{T^*}{70} \times 7$  d'altura, fent que els costats estiguin a escaire i la superfície el més llisa possible. Aquesta cara del bloc servirà com a pla de simetria i l'aresta inferior d'aquest serà la quilla.

A continuació s'han d'acabar de perfilar les mesures de la barca determinant l'ampla del mirall de popa (*Ampopa*), l'altura del mirall de popa (*Hmpopa*) i altura de la roda de proa (*Hrproa*). Aquestes mesures s'han d'escalar, donant coma a resultat *Ampopa\**, *Hmpopa\** i *Hrproa\**.

Per traçar la proa, el que s'ha de fer és marcar una perpendicular a la quilla sobre el pla de simetria i sobre aquesta recta marcar *Hrproa\**. Un cop sabuda l'altura de la roda de proa, es dibuixa el seu contorn i s'enllaça amb la quilla. D'aquesta manera el perfil de proa queda completament determinat i ja es pot tallar, aquest tall ha de ser ben perpendicular al pla de simetria.



Aprofitant la perpendicular on s'ha marcat  $Hrproa^*$ , s'hi marca  $Hmpopa^*$ . Per determinar la inclinació del mirall de popa, a partir del peu de la perpendicular es marca la distància desitjada sobre la quilla cap a proa. Unint aquest punt amb  $Hmpopa^*$ , s'obté el perfil del mirall de popa, aquest s'ha de traslladar fins a que el vèrtex superior del mirall quedi a  $\frac{L}{10}^*$  de la roda de proa.

Tot seguint es traça el contorn seguint la peça de claus. En aquest punt, les característiques escollides per a la nova embarcació, determinades al principi del procés, prenen forma. El primer es determinar la posició de la quaderna mestra, es a dir, la secció de màxima manega, sobre la cara superior del prisma de fusta. Després, sobre aquesta mateixa cara, es marca una perpendicular a la quilla amb origen a la projecció en el pla del vèrtex superior del mirall de popa. Sobre aquesta perpendicular s'hi marca  $Ampopa^*$ . Amb l'ajut d'un regle flexible, unint la projecció del vèrtex superior de la roda de proa amb el punt de la quaderna mestra i el vèrtex superior del mirall de popa més allunyats del pla de simetria, s'obté una primera referència del contorn de la peça de claus. Amb base a l'estudi d'embarcacions de la mateixa tipologia i de la seva navegabilitat, aquest primer contorn de referència és susceptible a modificacions.

Un cop traçat el perfil definitiu sobre la cara superior, es pot retallar. El tall ha de ser ben perpendicular a la cara superior per tal d'evitar eliminar més fusta de la imprescindible.

La següent passa és marcar les quadernes projectades sobre la cara de simetria i la cara superior del bloc de fusta.

En el cas que la barca no sigui de quilla plana, és quan es poden fer modificacions en el seu traçat. És en aquest punt que també es talla, perpendicular a la cara de simetria, el perfil de la popa.

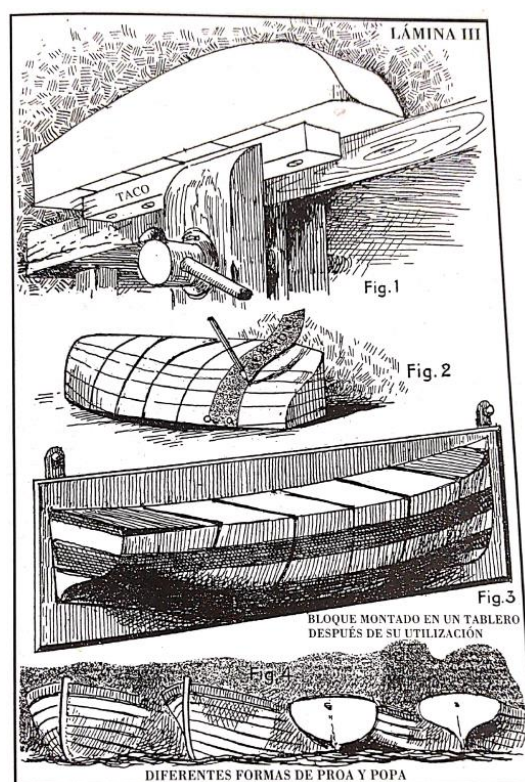
Es continua amb el traçat, sobre el pla de simetria, i posterior tallat de la rufa. Amb l'ajut del regle flexible s'uneix l'extrem superior de la roda de proa amb el del mirall de popa i se li dona la curvatura desitjada. Una vegada més es tallarà el seu perfil el més perpendicular possible al pla de simetria. Finalitzada aquesta operació, amb l'ajut d'una esquadra es perllonguen, sobre aquesta superfície, el traçat de les quadernes que ja estan dibuixades sobre el pla de simetria.

Arribats a aquest punt, la peça de fusta hauria de tenir tres cares planes, cara de simetria, la cara inferior del bloc i la cara del mirall de popa; i tres corbes, la cara oposada a la de simetria, la cara superior i la cara oposada a la del mirall de popa.

A partir d'ara, entren en joc factors que s'escapen de la matemàtica i dels patrons establerts. La mà executora ha d'inspirar-se amb les formes aconseguides i ha de visualitzar les

formes a aconseguir deixant-se guiar per les seves intuïcions, tangent present les característiques preestablertes per al nou navili

Pel modelat del buc s'ha de subjectar sòlidament el bloc, per tal de facilitar-ho es recomanable gramponar un llistó de fusta, a la cara de simetria, per on se subjectarà la peça amb l'ajut d'un cargol de banc. Amb l'ajut de la gúbia es comença a esbossar la popa i la proa de l'embarcació amb forma de mitja V. De forma lenta i progressiva es va buidant fusta del bloc; passant la mà repetides vegades per sobre les superfícies és més senzill identificar els reguixos. Arribats a aquest punt, la llima és el millor mitjà per aproximar-se a les formes del model projectat. Amb el paper de vidre s'acabaran allisant les formes del buc.



Il·lustració 4: Làmina III, elaboració del mig buc. Font: Manual del aprendizaje de carpintero de rivera, P.23, C.Bonnet.

Un cop es té el bloc completament modelat, es tornen perllongar les projeccions de les quadernes sobre les cares corbes amb l'ajut del regle flexible.

Les diferents línies d'aigua venen donades pels llistons que s'han superposat per conformar la peça de fusta.

Les diferents mesures del bloc acabat, multiplicades pel factor d'escala, donen tota la informació necessària per poder fer el traçat a mida real.

Un cop acabat el mig buc a escala, s'han de separar els 7 llistons del model de fusta. Col·locant els llistons sobre una superfície plana i fent coincidir la línia de crugia en tots, només cal resseguir amb un llapis el perfil del buc, per així aconseguir un plànol de les línies d'aigua a escala reduïda. Un cop acabat aquest primer plànol, es tornen a encolar el llistons, ara el bloc de fusta s'ha de tallar per les quadernes prèviament marcades. Col·locant les seccions de les quadernes sobre una superfície plana i fent coincidir la línia de cruixia en totes, resseguit el seu contorn s'obté el plànol de quadernes a escala reduïda.

A partir d'aquest dos plànols se'n pot extreure el perfil de l'embarcació, un cop es tenen les tres vistes de la barca, aplicant el factor d'escala ja es té tota la informació de la barca a mida real.

La següent passa és la d'elaborar un esbós a mida real de les quadernes a sobre d'una post de fusta, del perfil de la popa i de la proa, partint del plano de formes elabora . Aquest serveix per obtenir la plantilla que s'utilitzarà per escollir els llistons de fusta que formaran l'estructura de la barca.

Un cop acabats els preliminars, es pot començar l'estepa, una peça de fusta, normalment un o més taulons posats de costat, fixats al terra del taller i on es colla la quilla. És imprescindible dotar de fermesa i estabilitat a aquest element, ja que sustentará la quilla, element estructural vital del bastiment.

La quilla, fusta de secció rectangular formada per fins a quatre peces, en funció de l'eslora de l'embarcació, és subjectada per l'estepa. És de gran importància que aquesta estigui molt ben alineada i perfectament anivellada ja que és la columna vertebral de la barca.

Quan es té la quilla col·locada i ferma a l'estepa, s'hi munta la roda de popa, la roda de proa i les contrarodes. La roda de popa i la de proa formen les parts posteriors i anteriors, respectivament, del bastiment, mentre que les contrarodes són els seus reforços per la part interior, reforçant també el punt d'unió entre la roda i la quilla. Tots aquest elements es fixen a la quilla per mitja de perns.

A les illes és usual reforçar la quilla amb la peça, conjunt de peces juxtaposades que descansen sobre la quilla i sobre la qual descansen les quadernes.

Un cop l'estructura longitudinal del bastiment està ben lligat, s'hi practica la gresa, escotadura llarga que corre pels costats i al llarg de la quilla, i es perllonga per les rodes, fins a

l'alçada de la cinta, i serveix per allotjar-hi els extrems de les taules del folre que descansen sobre ella.

Les rodes i la quilla acostumen a tenir el mateix gruix.

Un cop bastits la quilla, les rodes i el codast, es divideix la longitud total amb tantes parts iguals com quadernes s'han marcat al model a escala reduïda.

Les quadernes, també conegudes com a costelles, juntament amb els elements longitudinals ja esmentats, conformen l'estructura del bastiment i són la base de la consistència de la barca i defineixen les seves formes.

Aquestes, s'elaboren a partir de les plantilles ja elaborades, i estan formades per dues peces: el medís i l'estamera. La primera, és la part inferior de la costella i va empernada a la quilla. La segona, és cadascuna de les peces de fusta que van empernades als medissos i allarguen la quaderna fins a la coberta.

És important l'anivellat de les quadernes, garantint d'aquesta manera la simetria de la barca i per tant el seu bon comportament a la mar.

Per reforçar la unió dels medissos a la quilla, es disposa el paramitjal, conjunt de peces juxtaposades encastades sobre els medissos de proa a popa i empernades a la quilla.

Un cop col·locades totes les quadernes es comprova la seva simetria. Per tal de mantenir-les ben subjectes per la part alta, es col·loca la cinta, peces de fusta disposades al llarg de bastiment de tal manera que agafen les quadernes per la part alta. Tot hi semblar una trac més de folre ?, és més gruixada i dóna rigidesa a l'estructura del bastiment.

Tot seguit es col·loca la sotacinta, peça de la mateixa gruixa que la cinta i que va per sota d'aquesta, i la taula bocal, equivalent a la cinta però per l'interior del bastiment. Posteriorment es clava el trancanell, taula del folre de la coberta més perifèrica, dóna consistència a tot el conjunt, agafant des de sobre la cinta, les quadernes i la taula bocal.

Els baus, que suporten la coberta transversalment, descansen sobre la taula bocal, en uns encaixos practicats sobre aquesta.

Per acabar de lligar tota l'estructura, a popa i a proa, es col·loquen els jaïents, que s'ajusten a la cinta agafant-la tant per la banda de babord com per la d'estribord, així com les rodes.

Per acabar de donar consistència la buc, i abans de folrar l'embarcació, es posen les traques, reforços que van de popa a proa per la part de dins del buc a l'alçada del pantoc, agafant per la part de dalt les quadernes. Aquestes van fixades amb perns de cabota plana.



*Il·lustració 4: Detall d'un llaüt en construcció a la drassana dels March. Font: Arxiu familiar March*



*Il·lustració 5: El mestre d'aixa Antoni Munar Boliquet en la construcció d'un llaüt. Font: Arxiu d'Antoni Munar*

Totes les peces citades fins a les hores, conformen l'estructura, l'esquelet de la nau. Un cop està ben collat, és moment de cobrir el buc amb les taules, el folre. És necessari que la fusta escollida sigui tractada amb vapor per tal que arribi a la forma i la corba idònia per adaptar-se a les superfícies arrodonides dels bastiments.

Però abans, cal desclavar la barca de l'estepa i tombar la barca per treballar amb més comoditat.

Per aconseguir la forma de la taula cal fer les plantilles. El procés és el següent: amb un guix es marca cada medís en el punt on hi ha d'anar la taula. És clava la plantilla sobre els medissos i amb el compàs és va marcant la forma que haurà de tenir la taula. Després es treia la plantilla i es posava damunt d'una taula de pi i es passa la forma de la taula a sobre. Un cop la taula de pi s'ha tallat es clava a les costelles.

Es folre des de baix fins a la panxa del buc i des de baixa de la cinta fins a completar el folre. És molt important que en la col·locació de les taules s'aconsegueixi donar-los volta i revirament. Entenent per volta, l'adaptació a la corba longitudinal que va de popa a proa; per revirament, adaptar-se a la vertical que va de coberta a quilla.

Aquestes taules van clavades al bastiment i als extrems encastades mitjançant una escotadura anomenada gresa.

La paraia és el tauló o filada de taulons del folre inferior, immediat a la quilla, i que va encastada dins la gressa<sup>4</sup>. A continuació s'hi troba la sobreparaia i a sobre la taula d'arrambar escoes. Començant per la part de dalt després de la cinta i la sotacinta, hi ha la tercera tirada.

Aquestes són les tres primeres peces que formen el folre del buc, començant de la part baixa més propera a la quilla o començant per la part alta. A partir d'aquestes es va completant el folre en funció de les característiques de l'embarcació i del mestre d'aixa que la basteix.

El romball, és la darrera de les taules del folre i tanca el procés. Aquesta s'ha d'adaptar a les taules ja clavades i per tant sol ser afuada, acabada en punta.

Per poder donar la forma buscada a les taules del folre, tradicionalment, hi ha hagut dues maneres diferent:

Estufa: aquest mètode aplica vapor a la fusta fent que s'estovi, llavors ràpidament es treu i se li dona la forma desitjada, normalment col·locant-la directament sobre les quadernes.

---

<sup>4</sup>Ranura longitudinal que serveix per unir les traques del folre amb la quilla i rodes.

Foc: S'aplica la calor de la flama directament sobre la post. Cal tenir en compte que només s'hi ha de donar el foc necessari, perquè si rep massa calor, s'esquerda i s'obri.

Un altre element a tenir en compte a l'hora de folrar són les escoes, peces encastades dins la sobreparaia que serveixen per mantenir dreta l'embarcació quan es treu a terra.

Amb la taula bocal col·locada es reparteixen els baus, que són peces de fusta col·locades transversalment a la part superior del buc i que aguanten la coberta. El trancanell és la primera taula perifèrica de la coberta. Està format per tres peces de popa a proa i es posa abans dels escalemots<sup>5</sup>. Un cop es té el trancanell posat, llavors ja es pot cobertar.

A l'hora de fer la coberta s'ha d'evitar que faci aigua, ja que és la part del bastiment que més pateix l'acció del clima.

Els redons o rodó, és una peça gruixada i massissa de fusta que va acoblada i ajustada a sobre dels escalemots, fent de cinturó, donant rigidesa a l'estructura.

La peça llarguera formada per diferents trossos de fusta acoblada entre ells i clavats al voltant de tota l'orla damunt els redons, s'anomena tapa de regala o soleta. És la que defineix el contorn de l'acabat de la part superior de la barca.

Tot seguit s'instal·len les bites o bitons<sup>6</sup>. Són dues peces de fusta esbiaixades que sobresurten uns 10 o 12 *cm* per sobre de la coberta. Van clavades als laterals dels escalemots de proa a babord i a estribord. Aquestes serveixen per fermar les amarres.

En el cas dels llaüts, faltarien les paramoles, peces de fusta que van fixades i clavades horitzontalment a sobre dels escalemots a proa i a popa, cadascuna amb un forat per on passar-hi el pal triquet i el de la mitjana respectivament.

Quan la barca està acabada, llavors és el moment de calafatar. Abans s'ha de preparar la superfície desbastant-la, fent que totes les arestes de les taules quedin ben anivellades. Tot seguit ja es pot calafatar, procés que consisteix en omplir d'estopa i posteriorment de brea, les juntes que hi ha entre les taules del folre i de la coberta per tal de garantir la estanqueïtat de la barca.

Per aquesta tasca s'utilitza l'escarpa<sup>7</sup> ampla, que juntament amb un mall<sup>8</sup> de calafat

---

<sup>5</sup>Peça de fusta fermada a l'estamenera, que puja arran de la coberta i que té per objecte sostenir l'orla sense arribar més amunt de la meitat de la seva alçada i sense tocar la regala.

<sup>6</sup>Cilindre de fusta o de metall, disposat per parells a bord, on s'afermen caps de maniobra, com ara les amarres

<sup>7</sup>Eina de ferro. Per un cap fa doble bisell i per l'altre té cabota, a la qual es pega cops amb un martell. Serveix per fer forats i per separar la fusta.

<sup>8</sup>Martell gros i de mànec llarg que serveix per a picar els caps i fer estopa.

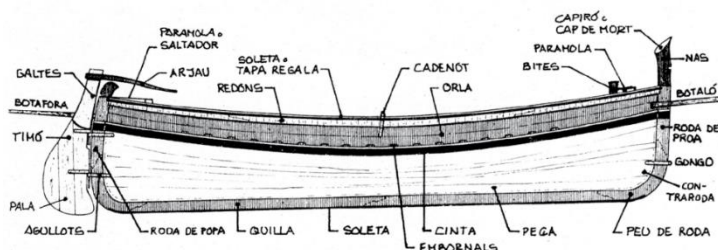
permeten treure l'estopa vella o posar-ne de nova. La brea que es posa amb l'estopa, normalment va barrejada amb quitrà i ben calenta, ja que així es torna més escampadissa.

Cal tenir present que en un bastiment nou, només es calafaten els escalemots durant el procés constructiu. La resta es calafata un cop el bastiment està enllestit.

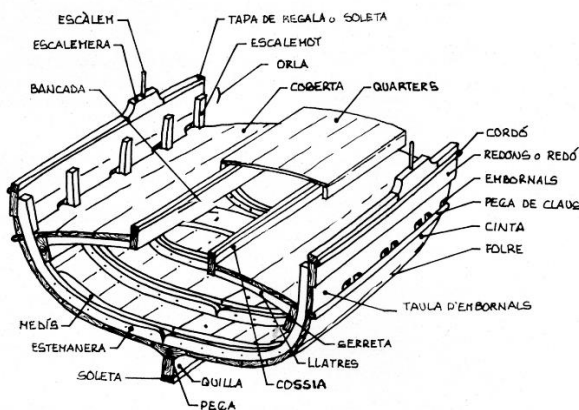
Un cop acabat el calafat, es poleix. El polit no es du a terme abans perquè és inevitable que les taules del bastiment es moguin, entrin o surtin i deixin rebaves. Per acabar el procés, es pinta la barca.

### 1.3 El llaüt

En aquest apartat es pretén definir el llaüt, aquestes definicions són tècniques i fan constants referències a les parts de la barca en terminologia illenca. Per tal de facilitar al lector la comprensió de les definicions, a continuació s'adjunten un seguit d'imatges on es poden diferenciar les diferents parts d'un llaüt.

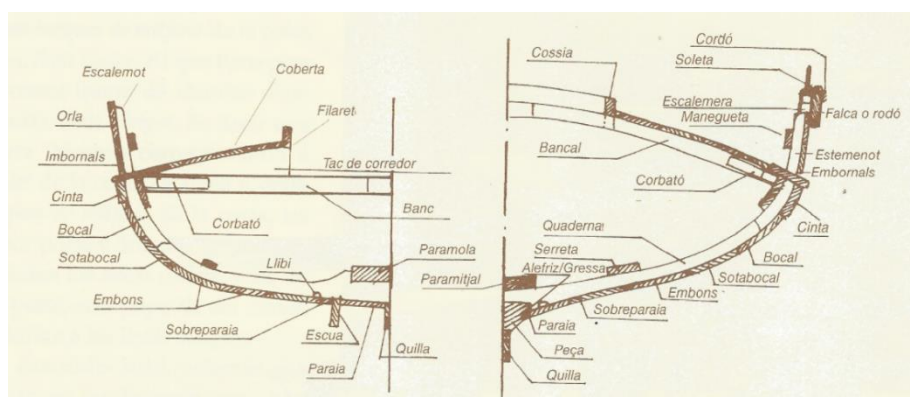


Il·lustració 6: Nomenclatura perfil llaüt mallorquí. Font: Barques i nanses, la Menorca marinera, per Centre d'Estudis Locals d'Alaior, 2010.



Il·lustració 7: Nomenclatura secció llaüt illenc. Font: Barques i nanses, la Menorca marinera, per Centre d'Estudis Locals d'Alaior, 2010





**Il·lustració 8: Comparativa nomenclatura secció llaüt català (dreta) i llaüt illenc (esquerra). Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**

### 1.3.1. El llaüt tradicional

Fins a les darreries del s. XX, el terme Llaüt, s'aplicava a tota mena de barca, pescadora o no, que armés vela llatina. També rebien aquesta denominació les barques de mitjana, les quals a les Balears rebien el nom de llaüts viatgers.

El motiu pel que s'acabés denominant cada barca segons el seu ormeig fou tan sols funcional, era més pràctic designar un llaüt palangrer<sup>9</sup> s'anomenava només per la seva especialitat, és a dir, palangrera, i així amb el sardinal i d'altres casos. Arrel d'aquest fet, el mot llaüt s'acabà usant exclusivament per denominar un tipus en concret de barca dedicades a tot tipus de pesca prop del litoral.

Deponent del mestre d'aixa, les formes del seu buc tenien lleugeres peculiaritats. Els trets comuns eren que tant la roda de proa com la de popa eren llançades, la de proa tenia el nas alt i sobresortint, era i guarnida amb el típic capiró al seu capdamunt. De llaüt en podíem trobar tant de descoberts com de coberts.

Els primers eren oberts i armaven quatre bancs de voga, el primer per proa rebia el nom de proer, el segon arborà, on s'hi recolzava l'arbre, el tercer era conegut com el terç i el quart com el banc de popa. Tot hi ser obertes, a proa i a popa tenien una petita coberta delimitada pels tàlems. Com no podia ser d'altra manera, els llaüts duïen arbre i vela, amb un caient a proa 1,5 cops més que l'eslora

<sup>9</sup>Embarcació dedicada i construïda per anar lluny, mar endins, a la pesca del palangre.

entre perpendiculars, i, com la resta de barques d'aquell moment, duia l'arbre lleugerament estintolat cap a proa.

Els segons armaven una coberta correguda. Per accedir a l'interior del buc tenien un parell d'escotilles, la més gran era l'oberta, que s'estenia una mica més de de l'eslora i, al centre de la coberta, aquesta escotilla quedava limitada per quatre taules: a proa una taula arquejada anomenada talem de proa; a popa, la taula que cloïa l'oberta rebia el nom de barra de senó; i les taules que la tancaven pels costats es denominaven filaretes. La resta de coberta oberta es cobria amb quatre tapadores anomenades quarters. L'escotilla de popa, en es ficava el patró per governar l'embarcació, es deia forat de popa (Oller, 1995).

La coberta era corbada perquè quan la barca prenia escora la part de sobrevent de la coberta quedés horitzontal. Aquesta característica forma de les cobertes de les embarcacions a vela llatina s'anomena esquena d'ase.

La resta de la barca i les dimensions eren com les de les seves germanes obertes.

Les mides més comunes eren:

	Pams	Metres
Eslora	Do 20 fins a 34	De 4 fins a 6,80
Mànega	De 4,4 fins a 7,5	De 0,88 fins a 1,50
Puntal	De 1,2 fins a 2,06	De 0,24 fins a 0,420

Taula 2: Les mides del llaüt tradicional. Font: Bots i barques, F.Oller, 1995.

### 1.3.2. El llaüt illenc



Il·lustració 9: El llaüt ILO-ILO. Font: Javier Calbet

L'eslora entre perpendiculars dels llaüts illencs oscil·la entre els 4 i 22 m. L'actual llaüt té la roda de proa i la de popa rectes i gairebé verticals respecte la línia de flotació. En els antics eren lleugerament corbades.

La roda de proa té un pinyol coronat pel característic capiró de les barques que naveguen a vela llatina.

El calat a proa és inferior al de popa i en general el llaüt cala més que les barques platgeres.

A partir dels anys 40 del segle passat, els mestres d'aixa, per tal de reforçar l'estructura, començaren a armar al fons de la cala un fort tauló que l'assentaven sobre el fons de la barca. Damunt d'aquest tauló, anomenat la peça, fixaven les quadernes, també conegudes com a *maderos*. Així es guanyava en seguretat, ja que en cas d'investir qualche baix de roques, si es perdia la quilla no es perdia l'estanqueïtat de la barca.

Aquesta tipologia de llaüts, tenen una relació eslora/mànega compresa entre 3 i 3,5.

Tot i que l'estabilitat, la navegabilitat, el perfil i les formes dels llaüts illencs els distingeixen de les barques platgeres peninsular, guarden una certa semblança amb els quillats blanencs i els més grans del Delta de l'Ebre.

Els llaüt de l'arxipèlag presenten petites diferències entre ells que permet identificar llur procedència, l'illa, la drassana i el mestre d'aixa que el va bastir.

Els llaüts felanitxers tenen la proa de violí i escoes com els de la zona nord de Menorca. Allà on bufa la tramuntana, el llaüts no porten escues ja que la particular orografia de la costa ofereix refugi segur i no cal avarar les embarcacions. Els de Formentera calaven menys per passar pels baixos de sorra (Oliver i Bestard, 2016).

Pel que fa a la seva eslora, els llaüts es podien classificar en, embarcacions que feien de 4 a 6 m, dedicats a la pesca artesanal o com a auxiliars d'embarcacions majors; els llaüts de 6 a 11 m, dedicats a altres tipus de pesca, la sardina, la palangre o la llagosta; barques amb eslores compreses entre els 11 i els 16 m, dedicades a la pesca amb l'art del bou o el cabotatge i eren coneguts com a llaüts costers; i finalment, els llaüts viatgers, amb eslores compreses entre els 16 fins als 22 m, es dedicaven al transport de mercaderies i passatge entre les illes de l'arxipèlag, el continent europeu o la costa nord-africana.

No fou fins al 1779, quan la Corona permeté als habitants del regne d'Aragó el comerç amb les províncies d'ultramar, fins a aquell moment reservat al regne de Castella, que els llaüts viatgers mallorquins i les barques de mitjana catalanes i valencianes creuaren l'Atlàntica en el seu viatge cap al continent americà (Oliver i Bestard, 2016).

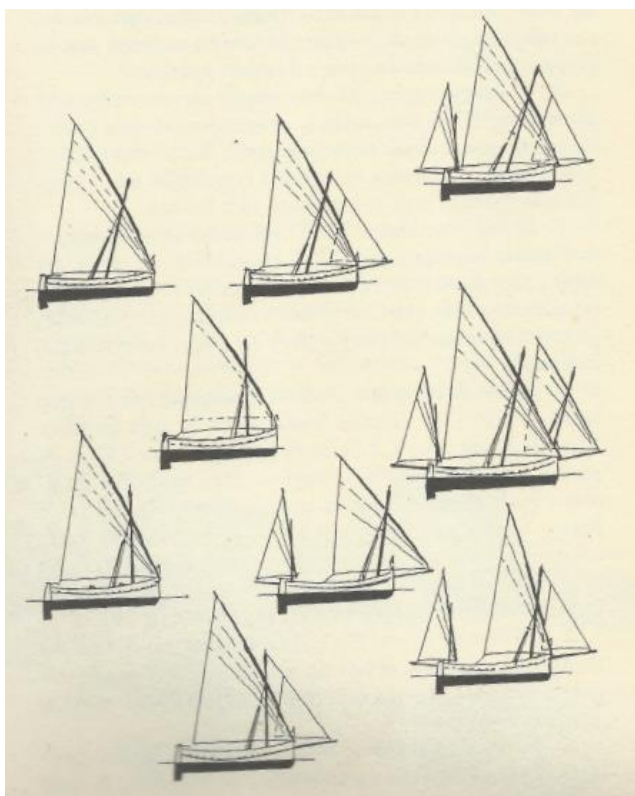
Degut a que els vents a les Illes són quelcom més forts, els mestres velers i d'aixa, cercant un centre vèlic més baix, solien fer particions de la quantitat de drap que podia dur la barca. És per això que el llaüt a les balears portaven més d'una vela i per tant, es podien classificar en funció del nombre de veles i de la posició del pal (Oller i García-Delgado, 1996):

- 1) Una sola vela llatina i pal inclinat a proa, com els catalans. Aquest tipus de vela de tres punys era usualment utilitzats pels llaüts de petites eslores com pels costers.
- 2) Una sola vela llatina i pal vertical situat al primer quart de l'eslora.
- 3) Dues veles llatines, una situada a proa, la major; i l'altre a popa, la de messana. Aquest tipus de partició, molt utilitzat en barques de 5 i 6 m d'eslora, deixava molt d'espai disponible a coberta. El pal de la major estava lleugerament inclinat a proa i com que el puny del car quedava molt avançat, el davant de la major es caçava des de davant del botaló, fent que la vela fos similar a un floc. La forma de la major era casi la d'un triangle rectangle amb el pujament i la baluma amb longituds molt similars i el puny d'escota amb un angle proper al recte.

A la vela de messana, l'angle format pel gràtil i el pujament era casi recte, i el pal es situava proper a la popa i desalineat respecta a la cruixia del buc. L'antena quedava

casi vertical i l'escota es caçava des del botafora. Una variació d'aquesta, a més a més, muntava un floc. El puny del car es trobés propera a la roda de proa i el pujament de la vela havia de ser curt, donant com a resultat una major molt espigada.

- 4) Major amb el pal central amb caiguda cap a proa, un floc amb botaló i una vela de messana alineada amb la cruixia del buc. Aquest tipus de partició era utilitzada per les embarcacions de major tonatge.
- 5) Major, trinqueta i messana. Era la combinació més inusual, amb el pal de trinqueta molt a proa, el pal de la major amb caiguda a proa i ubicat a mitjan eslora i el pal de la messana popa. Es llaüts costers i viatgers eren els que podien portar aquesta tercera vela central si muntaven dues veles molt separades, lo més propers a proa i popa possible, caçades des del botaló i botafora. D'aquesta forma quedava espai suficient per muntar una tercera vela.



Il·lustració 10: Llaüt illenc amb diferents configuracions de veles. Font: *Bots i barques* (p.93), per F.Oller, 1995



*Il·lustració 11: Llaüt Sant Bartomeu aparellat amb un arbre a un quart i floc. Font: Antoni Jover*

Entre les Illes, i tal com passa amb el mot llaüt a la costa catalana, els noms de les barques es confonen i la terminologia usada per definir-les no és clara. Un exemple n'és que a Eivissa, del llaüt amb floc i una sola vela se'n diu falutx, i a l'aparell amb floc i mitjana se'n diu llaüt coster. Al que té popa de dos cossos, se'n diu llaüt viatger.

### 1.3.3. El llaüt de fibra

Durant centenars d'anys, el llaüt seguí un camí segur i lent, fins que es va trencar al final del s. XIX i, sobretot de manera progressiva, un cop entrat en el s. XX, com a conseqüència de tres canvis.

El primer vengué de la mà de la mecanització, primer amb d'implementació del motor de vapor i posteriorment la del motor d'explosió. Aquest fet suposà que les formes utilitzades fins aquell moment donessin pas a noves formes donant com a resultat barques més amples que poguessin encaixar la màquina i les dues mares de fusta sobre les quals descansa, i que tinguessin més ronyó, per evitar que es clavés de popa quan es dones motor. A banda del buc, la motorització va implicar altres canvis estructurals, en l'aparell, en la distribució d'interiors i de la coberta (Oliver i Bestard, 2016).

Un segon canvi, el va protagonitzar l'arribada de l'electricitat i les eines modernes, que acabaren per desterrar les eines manuals.

Finalment, l'arribada dels materials sintètics derivats de petroli juntament amb els altres dos canvis, donaren pas a una nova manera de construir, sorprenentment ràpida que, a més, no requeria els coneixements d'un mestre d'aixa.

Aquella conjuntura d'innovacions tècniques donà pas a la construcció seriada.

A partir dels anys seixanta del s. XX, es consolidà el procés que va acabar amb centenars d'anys de tradició, i s'obrí la imaginació en el disseny de nous models de llaüts.

Tot seguit es fa un repàs de les primeres drassanes de les Illes que s'aventuraren en l'aplicació de resines i fibres sintètiques en la construcció naval. Aquest apartat està redactat en base a les converses que tinguérem amb el mestre d'aixa Sebastià Bennàsar i el llibre *El llaüt. La barca de la Mediterrània (P.125-126)* redactat per B. Homar i B. Oliver 2016.

Joan Comas (Palma 1934-2009), cofundador de *COPINO*, fou el pioner a les Balears de l'aplicació de fibres i resines sintètiques a la construcció naval. Comas es desplaçà fins a Barcelona per aprendre una tècnica incipient que aplicava el polièster a la construcció de vaixells. En acabar la formació, tornà a Mallorca i començà el procés amb un bot de 15 pams. A l'any 1965, fou la primera embarcació de polièster registrada a la Comandància de Marina de Balears. D'aquest mateix model se n'arribaren a construir 1.665 unitats (Oliver i Bestard, 2016).

Veient el bon resultat del seu primer projecte amb nous materials, al 1969 es llençà a la construcció del primer llaüt de fibra, basant-se amb el *Grumete*, un llaüt de 25 pams. A partir d'aquell model, que va tenir una gran acollida, continuà amb la construcció de models amb eslores superiors. Al *COPINO 25* el succeí el 30, el 36 i el 44, tots basats en llaüts de fusta. El *COPINO 45* va ser el primer del qual en va traçar les línies sense un model de fusta.

Al cap de poc temps, altres drassanes seguiren les passes de *COPINO*. Aquest és el cas de *Majoni*, comença la construcció l'any 1970 construint els seus populars llaüts en polièster estratificat compacte.

*Construcciones Sebastià Bennàsar*, també n'és un bon exemple, Amb una tradició de més de 100 anys construint llaüts de fusta, es va passar a la construcció en fibra amb vuit models de llaüts amb eslores compreses entre els 5,18 m i 10,60 m (Oliver i Bestard, 2016).

Al port de Pollença, a finals dels anys seixanta, *MYABCA* començà la construcció amb *composite*.

Acabant aquesta relació, tanmateix incompleta, volem destacar la drassana *Menorquin Yachts*, fundada al 1978. L'empresa fabricant de llaüts més moderna i sofisticada del panorama ja abasta l'àmbit internacional (Oliver i Bestard, 2016).

A més, l'arribada de la fibra no només va afectar la construcció, també va irrompre en força en el manteniment de bastiments de fusta amb l'opció de l'enfibrament o plastificació d'embarcacions en mal estat, una pràctica econòmica però amb risc, tant des d'un punt de vista legal com per la mateixa embarcació. Plastificant un embarcació amb poques possibilitats, és pot allargar la seva vida 3 o 4 anys, però la legislació actual no permet les reparacions del plastificat sobre fusta. Enfibrar, és l'aplicació de plàstic reforçat amb fibra de vidre a zones del buc de fusta en mal estat o a tot el buc. Quan es du a terme aquest procés, la superfície exterior enfibrada no permet veure el mal estat i deteriorament de la fusta de l'interior. A més, la manca de transpiració acaba podrint la fusta (Alegret et al., 2009).



## 1.4. De model físic a model digital

Les tècniques utilitzades per obtenir les formes d'una barca existent han anat evolucionant amb el temps. Els mestre d'aixa d'un temps recorrien a la plomada o a l'esbós per treure els plànols d'una barca feta, avui en dia amb l'aparició de programaris de disseny assistit i gràfics amb ordinador com el *Rhinoceros 3D*, utilitzat en aquest treball, o amb els *softwer* de repliques 3D a partir d'imatges 2D, aquesta tasca s'ha simplificat considerablement.

En aquest apartat, s'expliquen tres mètodes diferents per a l'obtenció de formes i posteriorment s'explica el procés escollit per portar a terme el model digital, partint d'un llaüt.

El llaüt escollit és de polièster, de 5,11 m d'eslora màxima, 2,02 m de mànega màxima i un puntal màxim de 0,53 m . S'anomena *Beata* i fou construïda l'any 1975 a la drassana *Joan Petus Marques*.

S'ha escollit aquesta barca ja que escau a les necessitats que teníem: dimensions assumibles, que es trobés fora de l'aigua i sobretot perquè coneixem a la propietària i perquè el llaüt es troba al port de Valldemossa, poble de residència d'un dels autors d'aquest treball.



Il·lustració 12: La Beata. Font: Pròpia

## 1.4.1. Mètodes d'obtenció de formes

En aquest punt s'expliquen tres tècniques diferents per a obtenir el plànol de formes, les dues primeres són tècniques utilitzades de forma habituals pels mestres d'aixa, la tercera utilitza tecnologies en vies de desenvolupament que requereixen de coneixements tècnics que escapen del coneixements de molts dels mestres d'aixa actuals.

### 1.4.1.1. La plomada

Aquest mètode, utilitzat tradicionalment pels mestres d'aixa, permet obtenir les formes d'una barca convertint el model real en un núvol de punts. De cada un d'aquests se n'extreuen les seves coordenades per ser analitzades i processades per extreure'n les formes .

Aquest procés consisteix en marcar sobre la barca seccions longitudinal, transversals i horitzontals formant una malla. En cada punt d'intersecció de les seccions se n'extreu la seva posició respecte a un eix de coordenades prèviament establert. La posició vertical s'obté per mitja de l'estri que dona nom al mètode, la plomada<sup>10</sup>; i les altres dues posicions s'obtenen a partir de la cinta mètrica.

Unint tots els punts d'una mateixa secció amb una recta suau, s'obté el plànol de formes. Com més punts tinguin les seccions, el plànol serà més fidel al model.

Avui dia, la telemetria ha substituït la plomada i la cinta mètrica, permetent prendre mesures de forma més ràpida i precisa.

### 1.4.1.2. L'esbós

Aquesta tècnica s'explica amb gran detall al llibre *Manual del aprendiz del carpintero de rivera* (Bonet, 2005).

Ha estat utilitzada pels mestre d'aixa més experts i destres amb el paper i el llapis, consisteix en treure les principals mesures de la barca; eslora màxima, mànega màxima puntal màxima..., i a partir d'allà, guiats per la seva intuïció, realitzar un model de mitja barca a escala.

D'aquest model extreure'n el plànol de formes és senzill, basta en tallar-lo en seccions longitudinals i calcar les formes de les seccions. Tot seguit encolar-lo de nou i tallar el model

---

<sup>10</sup>Instrument que consisteix en un tros de material pesant disposat a l'extrem d'un cordill, emprat per a comprovar la verticalitat d'algun element

a escala en seccions transversals, calcant el seu perfil. I acabar encolant de nou la mitja barca i tallant-lo en seccions horitzontals repetint el procés de calcat de seccions. Superposant les seccions de cada tipus s'obté el plànol de formes.

#### 1.4.1.3. Fotogrametria

El tercer mètode consisteix en l'obtenció de les formes del vaixell mitjançant fotogrametria.<sup>11</sup> Aquesta tècnica permet obtenir un model tridimensional a escala real del buc de l'embarcació. Per a fer-ho, cal realitzar el màxim nombre de fotografies cobrint el màxim de punts de vista del vaixell. A partir de les fotografies, utilitzant un software específic, es construeix un model 3D. Un cop obtingut el model, s'exporta a un modelador 3D i s'obtenen els plànols de formes.

Un dels softwares més coneguts és el *ReCap Photo d'Autodes*

### 1.4.2. El procés d'obtenció de les formes

Per a l'elaboració d'aquest treball, s'ha decidit combinar els mètodes tradicionals amb el més moderns per aconseguir un model 3D i el plànol de les seves formes del llaüt a estudiar. És per això que s'ha començat el procés aplicant la tècnica de la plomada i tot seguit s'ha introduït el núvol de punts dins el programa de modelat *Rhinoceros 3D*, d'on se n'ha extret un model tridimensional a escala de la barca escollida. Un cop fet el model, s'ha exportat al software *MAXSURF* des d'on s'han extret els plànols de formes i s'han realitzat tota una sèrie de càlculs.

Per tant a continuació s'explica el procediment de la plomada aplicat a la *Beata*.

Aquesta barca descansa directament sobre el terra i aquest no és horitzontal, té pendent ja que serveix de rampa per treure i entrar el llaüt de l'aigua. Per això s'ha calculat la seva inclinació amb l'ajuda d'un nivell electrònic (12°). A més s'ha de comprovar que no tingui escora ni seient<sup>12</sup>, amb el nivell, en cas afirmatiu s'ha de aconseguir que es trobi en una posició neutral (0°). Com que corregir els 12° de seient modificant la inclinació de la barca no és tasca senzilla, s'ha optat per fer les correccions adients de forma matemàtica.

---

<sup>11</sup>És la ciència que estudia la realització de plànols digitals tant en 2D com en 3D a partir de fotos del model real.

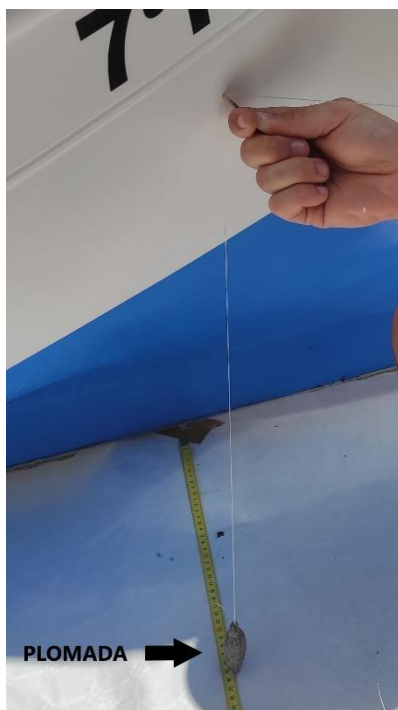
<sup>12</sup>Es defineix com la diferència entre el calat de proa i el calat de popa.

Tot seguit s'ha establert el sistema de referència, s'ha aprofitat que el perfil de la proa és perpendicular a la quilla per situar-hi l'eix Z, la quilla ha servit d'eix X i la recta perpendicular a aquestes dues que passa per la seva intersecció ha estat batiada com a eix Y.

Abans de començar a prendre mesures, s'ha estès un paper blanc de mesures eslora per semi-mànega fent coincidir un dels seus costats més llargs amb l'eix X i un dels costats curts amb l'eix Y. Es mesura l'eslora total i es divideix entre el número de seccions transversals desitjades, en aquest cas 16. Es divideix el foli blanc amb 16 seccions transversal espaiades per la mateixa distància i es marquen punts a sobre de cada una a 5 cm de distància. Cada punt d'aquest representa la projecció d'un punt del buc sobre del pla base. Per obtenir tota la informació necessària per poder generar el model 3D, cal saber la posició respecte als tres eixos de cada punt. Obtenir les distàncies respecte a l'eix X i Y és senzill, basta amb mesurar-les sobre el paper, però per trobar la seva altura, cal utilitzar la plomada, col·locant-la de tal manera que el pes es trobi sobre el punt marcat en el paper i l'extrem superior toqui el buc. La distància cordill emprat ? més pes dona l'altura del punt.

Degut que hi ha zones del buc amb corbateres més pronunciades, s'ha dividit en més seccions transversals el foli per tal d'obtenir un major nombre de punts en la zona conflictiva i obtenir més informació d'aquell redol.

Per altra banda, es marquen sobre el paper les projeccions de la soleta, sobre cada secció, i se n'extreu l'altura. També es treuen dos punts de la línia de flotació.



Il·lustració 13. Prenent mesures d'un punt 3D. Font: Pròpia

Les mesures de l'obertura de l'hèlix en el codast i de les escoes es prenen per separat.

Com a resultat de tot aquest procés s'han obtingut 139 punts amb les seves corresponents coordenades, és per això que disposar d'una bona graella on apuntar cada mediació és imprescindible.

### 1.4.3. Del paper al model digital

Un cop obtinguts tots els punts ja es pot passar a realitzar el model digital de la *Beata*. Per fer-ho s'introdueix cada punt en el programari *Rhinoceros 3D* i es genera la superfície que passa per tot els punts. Per acabar s'exporta el model al *MAXSURF Modeler*; d'on es trauen els plànols de formes.

Abans d'introduir cap punt al programa de modelatge s'han de fer les correccions derivades del seient de 12° de la barca. Aquesta correcció s'ha d'aplicar a la coordenada X i a la Z.



II-lustració 14. Dibuix gràfic de la inclinació del vaixell. Font: Pròpia

En les mesures preses, la distància que correspon a l'altura són la  $b$  al dibuix superior. El valor desitjat és el de  $z$ , és per això que s'aplica la següent fórmula:

Per fer la correcció, es procedeix de la següent manera:

$$\cos 12 = \frac{z}{b}$$

Com que volem trobar  $z$  i la  $b$  la coneixem, l'expressió anterior dona:

$$z = \cos 12 \times b$$

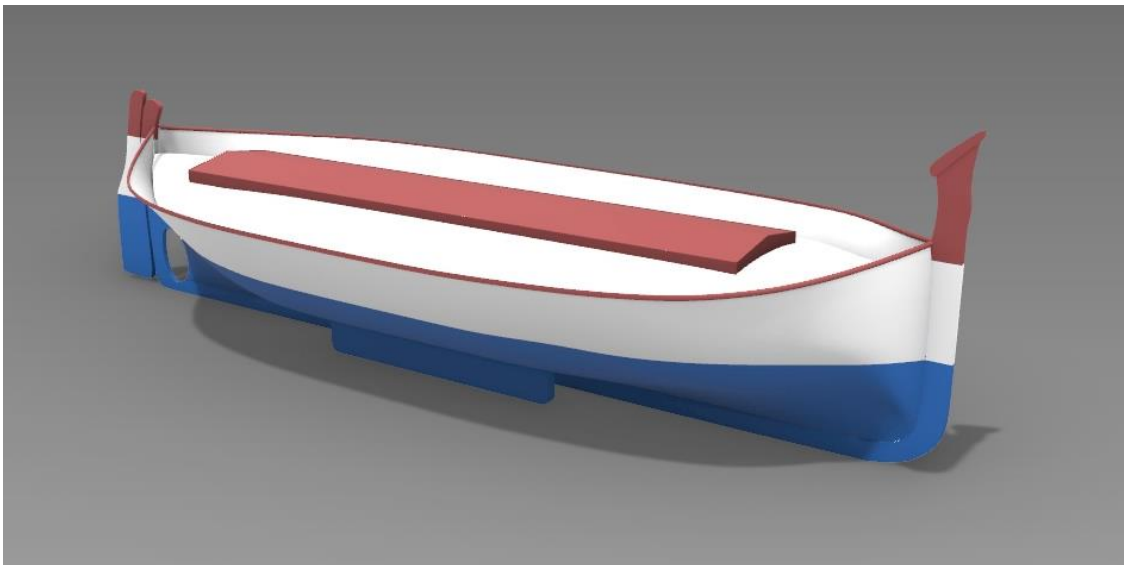
Pel que fa a cada coordenada  $X$  se li ha de sumar el valor  $a$ . Aquest valor es troba de la següent manera:

$$\sin 12 = \frac{a}{b}$$

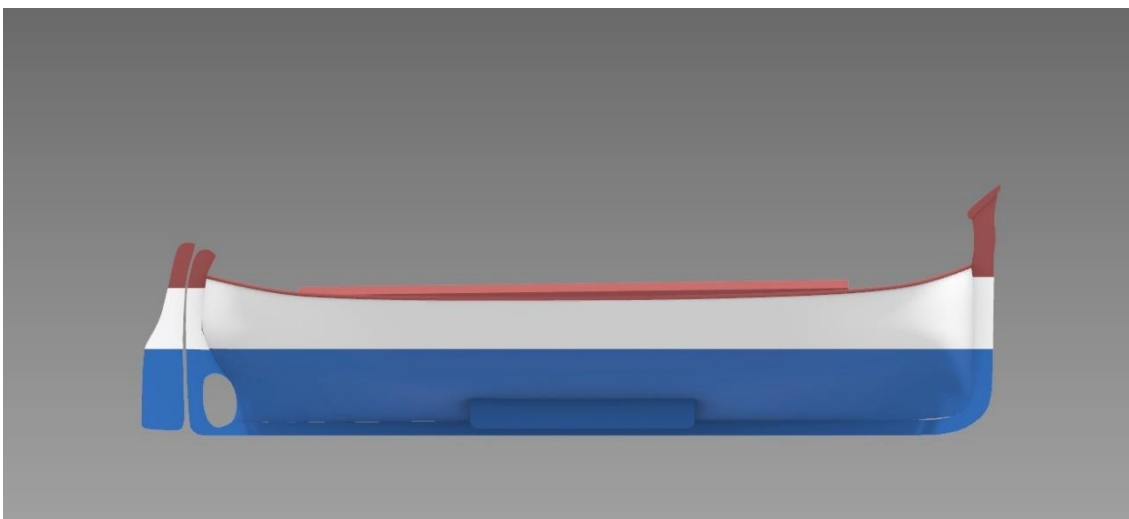
$$a = \sin 12 \times b$$

Un cop les coordenades dels punts s'han corregit, s'introdueixen al *Rhinoceros 3D*. Tot seguit es traça la quilla i s'uneixen tots els punts que pertanyin a la mateixa secció transversal amb una línia fins la quilla. Els punts que corresponen a la soleta també s'uneixen amb una recta i unint els extrems d'aquesta amb els extrems de la quilla s'obté el contorn de mig llaüt. Per mitja de la funció *transició*, es genera la superfície del buc. Per obtenir un buc sencer, s'aplica la funció *simetria*.

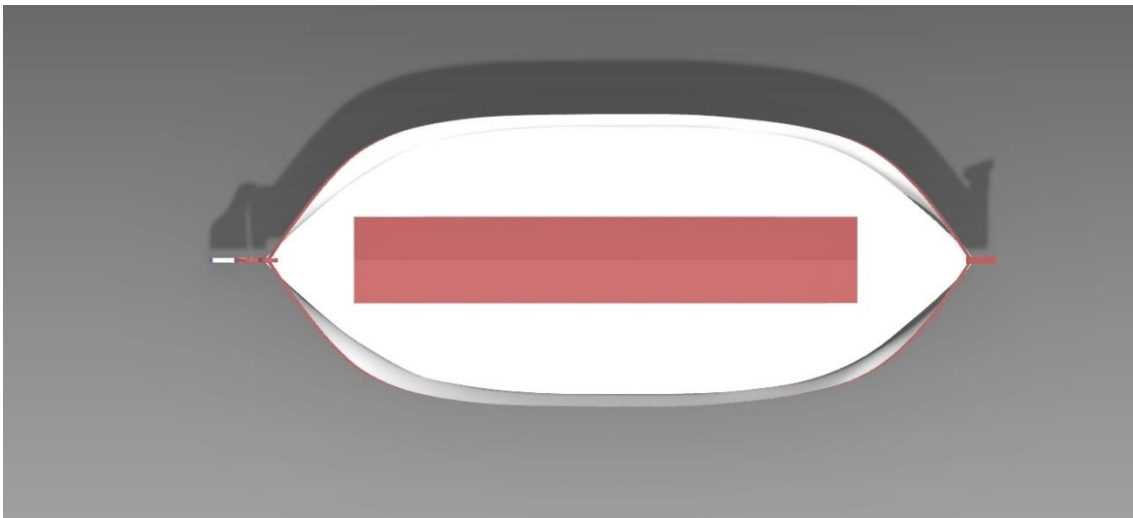
Després d'afegir elements i retocar el model s'obté el següent:



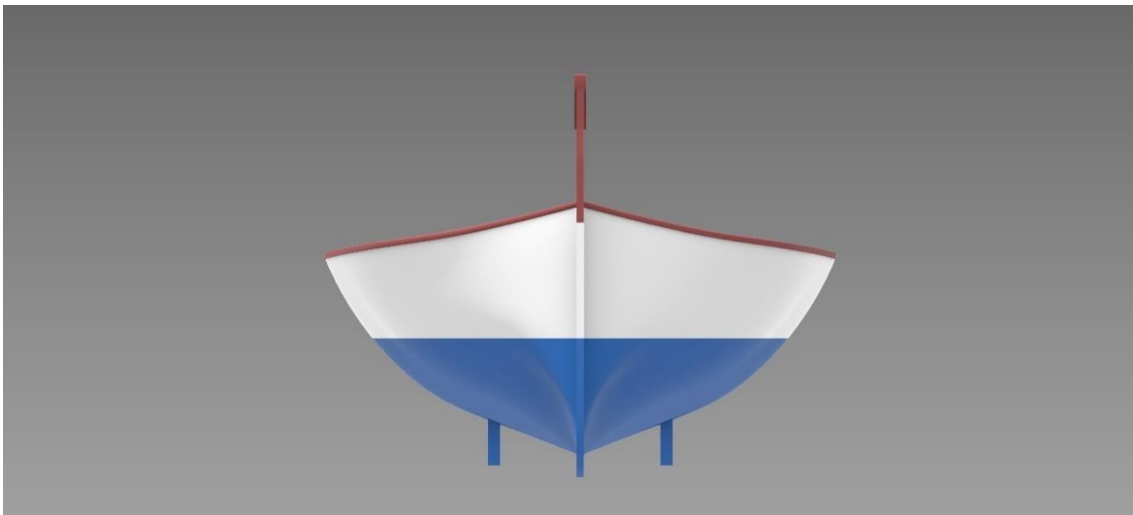
*Il·lustració 15: El model 3D de la Beata. Font: Pròpia*



*Il·lustració 16: Alçat del model 3D de la Beata. Font: Pròpia*



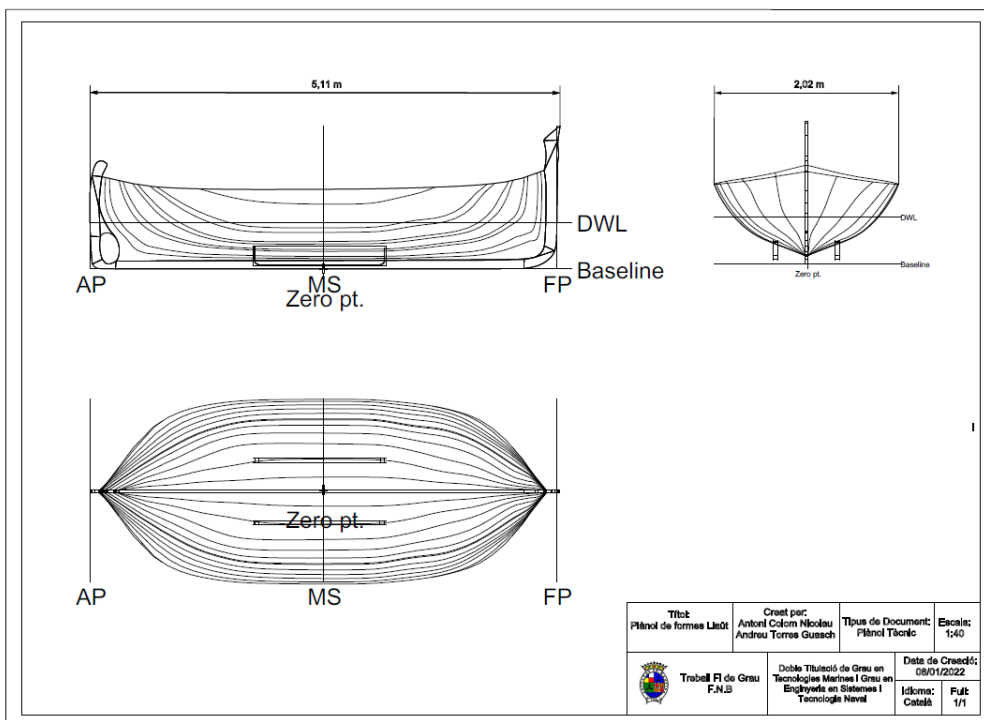
*Il·lustració 17: Planta del model 3D de la Beata. Font: Pròpia*



*Il·lustració 18: Perfil del model 3D de la Beata. Font: Pròpia*

Una vegada el model està acabat s'exporta al *MAXSURF Modeler* des d'on s'estableixen les perpendiculars de proa i popa, la línia de flotació i les quadernes. D'aquesta manera ja es pot obtenir el plànol de formes de la *Beata*.





Il·lustració 19: Plànol de formes de la Beata. Font: Pròpia

# CAPÍTOL 2: Sistemes de Propulsió

En aquest capítol és duen a terme els càlculs pertinent per equipar el llaüt amb un sistema de propulsió elèctric i vela llatina.

Per tal d'aconseguir-ho, el capítol comença analitzant la taula hidrostàtica obtinguda per mitjà del *MAXSURF Modeler* i calculant la resistència a l'avanç del model 3D, els càlculs que serveixen com a fonament per al dimensionament dels nous sistemes de propulsió.

A continuació comença el bloc que estudia la implementació del sistema de propulsió elèctric. Aquest comença fent un breu repàs de la història del motor elèctric en l'àmbit naval. Seguidament es calcula la potència propulsora necessària i a partir d'aquests resultat s'escull el motor elèctric i sistema de bateries adient. Concloent l'estudi amb el disseny de l'hèlix òptima.

El tercer i últim bloc d'aquest capítol fa referència a la vela llatina. Aquest comença amb un repàs de l'evolució de la vela i la seva història. Tot seguit es defineixen els diferents aparells de maniobra i s'acaba realitzat tots els càlculs necessaris per arborar un llaüt amb vela llatina.

## 2.1. Càlculs hidroestàtics

Un cop exportat el model 3D al *MAXSURF Modeler* i definides les perpendiculars de proa i popa, la línia de flotació i les quadernes, el programa permet obtenir la fitxa hidroestàtica del buc. Aquesta recull els paràmetres més importants del model dins l'aigua i en repòs, que depenen de la geometria del buc, el volum submergit, el centre de gravetat i centre de carena<sup>13</sup>. En el cas de la *Beata*, els valors són els següent:

Measurement	Value	Unit
Displacement	1,145	t
Volume (displaced)	1,118	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	0,508	m
Immersed depth	0,508	m
WL Length	5,1	m
Beam max extents on WL	1,568	m
Wetted Area	9,913	m <sup>2</sup>
Max sect. area	0,416	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	4,441	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,526	
Block coeff. (Cb)	0,275	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,523	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,555	
LCB length	0,333	m
LCF length	0,413	m
LCB %	6,536	% Lwl
LCF %	8,098	% Lwl
KB	0,352	m
KG fluid	0	m
BMt	0,712	m
BML	3,636	m
GMt corrected	1,065	m
GML	3,988	m
KMt	1,065	m
KML	3,988	m
Immersion (TPc)	0,046	tonne/cm

Taula 2. Hidroestàtiques. Font: Maxsurf Modeler

<sup>13</sup>Centre de gravetat de volum d'aigua submergit, per una condició de càrrega donada.

A continuació, es comenten els conceptes més rellevants de la taula hidroestàtica.

**Desplaçament:** es defineix com la quantitat d'aigua que desplaça el volum submergit del vaixell. El valor obtingut és de 1.145t, el que és força semblant a desplaçaments de vaixells semblants. Aquest desplaçament és el del vaixell preparat per navegar, és a dir, inclou el pes del motor, el tanc de combustible ple, la bateria, tot l'equipament de seguretat...

**Volum desplaçat:** s'entén com el volum del vaixell que es troba per sota la flotació. Aquest multiplicat per la densitat de l'aigua salada dóna com a resultat el desplaçament explicat anteriorment.

**Calat en el centre del vaixell:** es defineix com el calat del vaixell mesurat al centre del mateix. El seu valor de 0,508 m és l'obtingut en la presa de mesures del vaixell.

**Eslora en la flotació:** fa referència a l'eslora del vaixell mesurada en la línia de flotació per a una condició de càrrega donada. El seu valor es de 5,1m, que difereix 0,01m de l'eslora màxima del vaixell.

**Màniga màxima en la flotació:** s'entén com la màniga màxima del vaixell mesurada en la línia de flotació del mateix. El seu valor és de 1,568 inferior al valor de màniga màxima per la geometria del buc.

**Superfície mullada:** és la superfície del buc compresa sota la línia de flotació. Aquesta àrea es troba directament relacionada amb el volum desplaçat. A l'hora de pintar l'obra viva<sup>14</sup> d'una nau aquest valor és determinant.

**Coefficient prismàtic ( $C_p$ ):** és la relació entre el volum de carena i el volum del prisma les bases del qual tenen una àrea igual a la secció mestre y de longitud igual a l'eslora del vaixell.

$$C_p = \frac{V_{carena}}{V_{cilindre}}$$

*Equació 1. Coeficient prismàtic. Font: Pròpia.*

El seu valor és de 0,526, un valor pròxim al d'aquest tipus d'embarcacions, que oscil·len entre el 0,50-0,60. Si es compara aquest valor amb un vaixell mercant, s'observa que aquest

---

<sup>14</sup>Part del buc d'un vaixell, que en condicions de càrrega màxima es troba sumergida.

oscil·len entre els 0,67-0,99. Això és degut a que la superfície de la secció mestre en relació a l'eslora del vaixell és molt superior a la d'una embarcació d'esbarjo.

**Coefficient de bloc ( $C_b$ ):** és la relació entre els volums de la carena del vaixell y el del paral·lelepípede, de costats eslora per màniga per calat, que el conté.

$$C_b = \frac{V_{carena}}{V_{paralelepípede}}$$

*Equació 2. Coeficient de bloc. Font: Pròpia.*

A major  $C_b$  major capacitat de càrrega i alhora major resistència a l'avanç tindrà. Els llaüts, al no tractar-se de vaixells de càrrega, tenen valors força petits, el seu interval oscil·la entre el 0,20-0,30. Aquest és força més petit que el  $C_b$  d'una llanxa d'esbarjo que sol rondar el 0,50. Això és degut a la naturalesa del buc, les barques de desplaçament, el cas del llaüt, posseeixen  $C_b$  més petits, en canvi, les barques de semi-desplaçament o planeig, el cas de la llanxa, tenen majors valors de coeficient prismàtic.

S'entén per embarcació de desplaçament aquella dissenyada per treballar a baixes velocitats en la que la quantitat d'aigua desplaçada en navegació no varia respecte a l'aigua desplaçada amb el vaixell en repòs. En canvi la baraca de semi-desplaçament és aquella dissenyada per operar a velocitats mitges. La geometria quillada del buc afavoreix que la obra viva es redueixi a valors propers al 50% quan es navega a la velocitat de disseny.

**LCB:** posició longitudinal del centre de carena del vaixell per una condició sense seient. Es pren respecte a la secció mitja i pren valors positius cap a proa i negatius cap a popa.

**LCF:** posició longitudinal del centre de flotació<sup>15</sup> mesurat en la secció mitjana del vaixell per una condició de seient de 0°.

**KB:** altura vertical de la quilla fins al centre de flotació mesurat en la secció mitjana.

**BMT:** distància del radi metacèntric<sup>16</sup> transversal.

---

<sup>15</sup>És el punt al voltant del qual es consideren els canvis de seient del vaixell. Es troba en el centre geomètric de l'àrea del plànol de flotació.

<sup>16</sup>Distància entre el centre de carena i el metacentre. Sent el metacentre el punt d'intersecció de les línies de forces ascendents amb la línia d'equilibri en repòs quan s'escora un vaixell a petits.

**BML:** distància del radi metacèntric longitudinal.

**GM:** distància entre el centre de gravetat i el metacentre<sup>17</sup>. Aquest valor ha de ser sempre positiu, ja que de no ser-ho, es diu que el vaixell té estabilitat inicial negativa i pot sotsobrar<sup>18</sup>. Col·loquialment es diu que un vaixell és dur quan l'altura metacèntrica és elevada.

**KMt:** distància transversal entre el metacentre i el centre de carena.

**KML:** distància longitudinal entre el metacentre i el centre de carena.

**TCP:** són les tones per centímetre d'immersió. Aquest valor fa referència a les tones que s'han d'afegir sobre el centre de gravetat per aconseguir un augment del calat mitjà de 1 cm.

## 2.2. Resistència a l'avenç

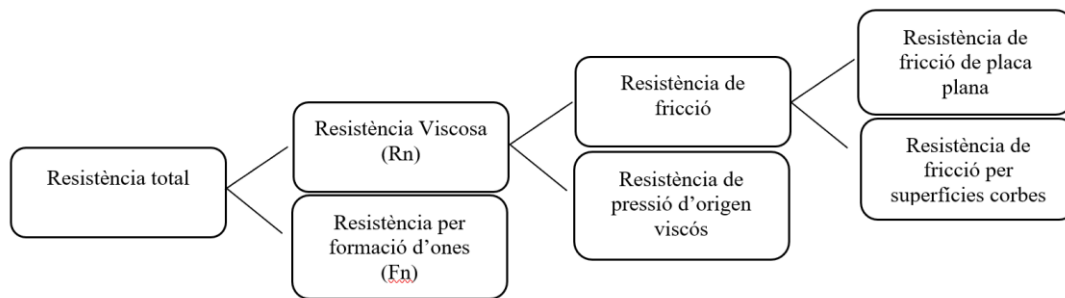
A l'hora de realitzar el projecte de motorització d'un vaixell, una de les fases més rellevants és la del càlcul de la resistència a l'avenç. Aquest valor ens permet determinar la potència necessària per a propulsar el vaixell a una velocitat determinada.

All llarg dels anys, s'han desenvolupat diverses maneres per definir la resistència a l'avenç, que a dia d'avui, encara no s'han unificat. La definició més senzilla i entenedora es basa en la descomposició de les components de resistència en funció dels paràmetres adimensionals dels que depèn, nombre de Froude ( $F_n$ ) i nombre de Reynolds ( $R_n$ ). És important tenir present que aquest mètode es basa en un cas ideal en el que el buc no té apèndix ni rugositats i es navega per aigües tranquil·les i sens efecte del vent aparent. En la figura següent, es mostra de forma esquemàtica la descomposició de la resistència.

---

<sup>17</sup>Punt d'intersecció entre les línies de força ascendents al escorar el vaixell un petit angle amb la línia d'equilibri normal.

<sup>18</sup>Escora que sofreix un vaixell fins al punt de bolcar.



Il·lustració 20. Descomposició resistència. Font: Mayor (2009)

De la il·lustració superior se n'extreu que la resistència total es descompon en resistència per formació d'ones, lligada al nombre de Froude, i en la resistència viscosa, lligada al nombre de Reynolds.

La resistència per formació d'ones, es produeix quan un cos en moviment, sura en una superfície lliure, depèn del  $Fn$ . Aquest nombre relaciona les forces d'inèrcia i les de gravetat que actuen sobre un fluid. La seva expressió és la següent:

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$$

Equació 3. Nombre de Froude. Font [www.hidraulicafacil.com](http://www.hidraulicafacil.com)

**On:**

**V** és la velocitat del vaixell.

**g** és l'acceleració de la gravetat

**L** és l'eslora del vaixell.

La resistència viscosa depèn del  $Rn$  i indica el comportament del fluid. Si aquest nombre és menor a 2100 el flux és laminar, si  $Rn$  es troba entre 2100 i 4000 el flux es troba en transició, mentre que, si aquest nombre és major a 4000 el flux és turbulent. L'expressió del nombre de Reynolds és la següent:

$$R_n = \frac{\rho \times D \times v}{\eta}$$

Equació 4. Nombre de Reynolds. Font: [www.hidraulicafacil.com](http://www.hidraulicafacil.com)

**On:**

$\rho$  és la densitat del fluid.

$D$  és el diàmetre del conducte

$V$  és la velocitat del flux.

$\eta$  és la viscositat del flux.

La resistència de fricció es descompon en resistència de fricció de placa plana i en resistència de fricció per superfícies corbes. La primera consisteix en aproximar la geometria d'un vaixell a una placa plana. Això permet observar el comportament de la capa límit i en conseqüència, quantificar els efectes que tindrà en la resistència a l'avanç.

La resistència de fricció per superfícies corbes es produeix per la curvatura característica de l'obra viva de qualsevol embarcació i la viscositat inherent de l'aigua. Els seus orígens i els seus efectes es diferencien en funció de l'orientació de la curvatura, podent ser transversal o longitudinal.

La resistència de pressió d'origen viscos, es produeix degut al fenomen de la capa límit. L'espessor d'aquesta capa augmenta de maner exponencial de proa a popa. Això provoca que en les línies de corrent, el flux augmenti la velocitat, provocant que, degut al principi de *Bernoulli*, la pressió a popa sigui menor a la de proa. El fet que la resultant/el resultat? global de les pressions en el buc sigui diferent a zero, incrementa la residència a l'avanç (Castañé Bellver, 2018).

Tot i això, s'han desenvolupat mètodes alternatius per calcular la resistència a l'avanç com poden ser els mètodes estadístics. En aquest treball, es comparà la resistència obtinguda aplicant la *Fórmula de l'Almirallat* (Crespo, 1941) i els mètodes estadístics suggerits pel *MAXSURF Resistance*.



## 2.2.2. Càlcul de la resistència a l'avanç segons mètodes estadístics

Els mètodes estadístics s'apliquen a partir de les dades obtingudes de models assajats en canals i vaixells reals. Utilitzant els resultats obtinguts, es fan regressions lineals de les que se'n extreuen una sèrie d'expressions que permeten descriure el comportament de la resistència del vaixell. En funció de paràmetres bàsics de l'embarcació i del fluid, es pot calcular de manera aproximada la resistència que tindrà una embarcació.

### 2.2.2.1. Càlcul mitjançant MAXSURF Resistance

El software *MAXSURF Resistance* permet calcular la resistència a l'avanç utilitzant sis mètodes estadístics diferents: *Savitsky Preplaning*, *Savitsky Planing*, *Blount and Fox Planing*, *Lahtiharju*, *Holtrop* i *Van Oorterssen*.

Els mètodes estadístics no tenen validesa per a tot tipus d'embarcacions ni rangs de velocitats, sinó que hi sol haver un rang d'aplicació determinat per a cada mètode. És per això que s'ha hagut d'escollir quin dels sis mètodes és el més adient per al buc a estudiar.

#### 2.2.2.1.1. Elecció del mètode de càlcul

El programari realitza una primera selecció de tots els paràmetres que es troben entre els rangs de treball de cada mètode. Com s'observa a les taules 3 i 4, el *software* mostra de color verd (*high*) si el valor supera l'interval, o de color vermell (*low*) si el valor es inferior. Els valors que entren dins el rang del mètode són els marcats amb un *ok*.

La primera selecció deixa 6 mètodes de càlcul.

Item	Value	Units	Savitsky Preplaning	Savitsky Planing	Blount and Fox Planing	Lahtiharju	Holtrop	Van Oorterssen
LWL	5,102	m	ok	ok	ok	ok	low	low
Beam	1,638	m	ok	ok	ok	low	high	high
Draft	0,549	m	-	-	-	high	ok	high
Displaced volume	1,295	m <sup>3</sup>	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Wetted area	11,57	m <sup>2</sup>	ok	-	-	ok	ok	ok
Prismatic Coeff	0,552		-	-	-	-	low	ok
Waterpl. Area coeff	0,552		-	-	-	-	ok	-
1/2 Angle of entrance	34,5	deg	ok	-	-	-	ok	ok
LCG from midships	0,35	m	-	ok	ok	-	ok	high
Transom area	0	m <sup>2</sup>	-	-	-	low	ok	-
Transom wl beam	0,03	m	-	-	-	-	-	-
Transom draft	0	m	-	-	-	-	-	-
Max section area	0,482	m <sup>2</sup>	ok	-	-	high	-	low
Draft at FP	0,549	m	-	-	-	-	-	-

Taula 3. Paràmetres elecció mètode càlcul. Font: MAXSURF Resistance

Item	Value	Units	Series60	Delft I,II, Sail	Compton	Fung	Wyman	KR Barge
LWL	5,102	m	high	low	low	ok	ok	-
Beam	1,638	m	high	ok	high	high	-	-
Draft	0,549	m	high	ok	ok	high	-	-
Displaced volume	1,295	m <sup>3</sup>	low	ok	high	ok	ok	-
Wetted area	11,57	m <sup>2</sup>	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Prismatic Coeff	0,552		-	ok	-	ok	-	-
Waterpl. Area coeff	0,552		-	ok	-	-	-	-
1/2 Angle of entrance	34,5	deg	-	-	-	high	-	-
LCG from midships	0,35	m	-	high	high	-	-	-
Transom area	0	m <sup>2</sup>	-	-	-	ok	-	-
Transom wl beam	0,03	m	-	-	-	ok	-	-
Transom draft	0	m	-	-	-	ok	-	-
Max section area	0,482	m <sup>2</sup>	-	-	-	low	-	ok
Draft at FP	0,549	m	-	-	-	ok	-	-

Taula 4. Paràmetres elecció mètode càlcul. Font: MAXSURF Resistance

**Savitsky planing:** És tracta d'un dels mètodes matemàtics per al càlcul de resistència a l'avenç per a embarcacions en règim de planeig. Aquest tipus de buc es caracteritza per les seves formes esveltes i planes. A mesura que s'augmenta la seva velocitat, degut a la geometria de l'obra viva es genera empenta hidrostàtica, és a dir, efecte de sustentació, provocant l'elevació del buc damunt l'aigua, disminuint la superfície mullada i la resistència a l'avenç.

Aquest mètode es aplicable en bucs de planeig a partir de velocitats superiors al 8 nusos. Degut a que la velocitat de disseny de la *Beata* es de 7.5 nusos, aquest mètode queda descartat (Castañé, 2018)

**Savitsky pre-planing:** Es tracta d'un mètode matemàtic per al càlcul de la resistència a l'avenç mitjançant mètodes numèrics aplicable en situacions de pre-planeig. És aplicable a partir dels 7 nusos i per  $Fn$  superiors a 0,7; per tant, es comprova si es factible el seu us (Alourdas, 2016). Per saber-ho, es calcula el nombre de Froude per a la velocitat de disseny:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{(g \times L)}}$$

**Equació 5. Nombre de Froude. Font [www.hidraulicafacil.com](http://www.hidraulicafacil.com)**

On:

V: velocitat de disseny en (m/s)

g: Acceleració de la gravetat en (m/s)

L: Eslora en (m)

Per a una velocitat de disseny de 7.5 nusos ( 3.86 m/s) s'obté un valor de  $Fn = 0,55$ .

Degut a que el  $Fn$  de la *Beata* no entra dins el rang d'aplicació del mètode, aquest queda descartat.

**Blount and Fox Planing:** S'utilitza per estimar la resistència al avenç en bucs de planeig en règim de velocitat de planeig. L'algoritme es basa en el mètode *Savitsky planing* amb millores notables pel que fa a les velocitats a les que s'inicia el planeig.

A partir del nombre de Froude, es calcula la velocitat a la que el vaixell comença a planejar.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{(g \times L)}}$$

**Equació 6.** Nombre de Froude. Font [www.hidraulicafacil.com](http://www.hidraulicafacil.com)

Aïllant la  $V$  per a un nombre de Froude de 0.7 s'obté:

$$V = 4,96 \text{ m/s} = 9.63 \text{ nusos}$$

La velocitat de disseny del llaut es troba un 20% per sota la seva velocitat de planeig, és per això que es descarta el mètode.

**Wyman:** Es tracta d'una expressió utilitzada bucs en règim de planeig o règim de desplaçament. Aquest mètode dona com a resultat el càlcul de la potència necessària per desplaçar un vaixell a una velocitat donada. Un cop realitzats els càlculs, MAXSURF Resistance prediu la resistència del buc sempre que el centre de gravetat longitudinal i el coeficient prismàtic es trobin dins els rangs establerts. Com que el model compleix els dos requisits, es conclou que aquest mètode pot ser aplicat (Bentley Systems, 2021).

**Kr Barge:** Aquest mètode s'ha desenvolupat per vaixells tipus barcasses i remolcadors que són embarcacions que només treballen en regim de desplaçament. Per aquest motiu, es descarta la seva aplicació.

Un cop valorat quins mètodes són aplicables a la *Beata*, s'ha obtingut que l'únic que compleix tots els requisits és el *Wyman*.

#### 2.2.2.1.2. Càlcul mitjançant el mètode *Wyman*

Un cop determinat el mètode a aplicar, ja es pot obtenir la resistència a l'avanç. S'ha dimportat el model 3D al *software MAXSURF Resistance*, havent definit prèviament el calat, l'escora i el seient al *MAXSURF Modeler*. Un cop importat, s'escull el mètode de càlcul i un interval de

velocitats. Fet això, ja es pot obtenir la resistència a l'avanç i per tant la potència requerida.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Slender body Resist. (kN)	Slender body Power (kW)	Wyman Resist. (kN)	Wyman Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	calc.	calc.	--	--
2	0,250	0,018	0,039	calc.	calc.	0,0	0,001
3	0,500	0,036	0,079	calc.	calc.	0,0	0,004
4	0,750	0,055	0,118	calc.	calc.	0,0	0,014
5	1,000	0,073	0,157	calc.	calc.	0,1	0,034
6	1,250	0,091	0,197	calc.	calc.	0,1	0,066
7	1,500	0,109	0,236	calc.	calc.	0,1	0,113
8	1,750	0,127	0,275	calc.	calc.	0,2	0,180
9	2,000	0,145	0,315	calc.	calc.	0,3	0,269
10	2,250	0,164	0,354	calc.	calc.	0,3	0,382
11	2,500	0,182	0,393	calc.	calc.	0,4	0,525
12	2,750	0,200	0,433	calc.	calc.	0,5	0,698
13	3,000	0,218	0,472	calc.	calc.	0,6	0,907
14	3,250	0,236	0,511	calc.	calc.	0,7	1,153
15	3,500	0,255	0,551	calc.	calc.	0,8	1,440
16	3,750	0,273	0,590	calc.	calc.	0,9	1,771
17	4,000	0,291	0,629	calc.	calc.	1,0	2,149
18	4,250	0,309	0,669	calc.	calc.	1,2	2,578
19	4,500	0,327	0,708	calc.	calc.	1,3	3,060
20	4,750	0,345	0,747	calc.	calc.	1,5	3,599
21	5,000	0,364	0,787	calc.	calc.	1,6	4,197
22	5,250	0,382	0,826	calc.	calc.	1,8	4,859
23	5,500	0,400	0,865	calc.	calc.	2,0	5,587
24	5,750	0,418	0,905	calc.	calc.	2,2	6,384
25	6,000	0,436	0,944	calc.	calc.	2,3	7,253
26	6,250	0,455	0,983	calc.	calc.	2,5	8,198
27	6,500	0,473	1,023	calc.	calc.	2,8	9,222
28	6,750	0,491	1,062	calc.	calc.	3,0	10,327
29	7,000	0,509	1,101	calc.	calc.	3,2	11,517
30	7,250	0,527	1,141	calc.	calc.	3,4	12,796
31	7,500	0,545	1,180	calc.	calc.	3,7	14,166
32	7,750	0,564	1,219	calc.	calc.	3,9	15,630
33	8,000	0,582	1,259	calc.	calc.	4,2	17,192
34	8,250	0,600	1,298	calc.	calc.	4,4	18,678
35	8,500	0,618	1,337	calc.	calc.	4,5	19,735
36	8,750	0,636	1,377	calc.	calc.	4,6	20,805
37	9,000	0,655	1,416	calc.	calc.	4,7	21,889
38	9,250	0,673	1,455	calc.	calc.	4,8	22,984
39	9,500	0,691	1,495	calc.	calc.	4,9	24,090
40	9,750	0,709	1,534	calc.	calc.	5,0	25,206
41	10,000	0,727	1,573	calc.	calc.	5,1	26,331

II-lustració 21. Taula de resultats càlcul de potència. Font: MAXSURF Resistance.

$$P = 14,17 \text{ kw} = 19 \text{ cv}$$

Per mitjà del mètode de càlcul estadístic de Wyman, s'obté que la resistència a l'avanç és de 3,7 kN i que la potència requerida és de 19 cv.

### 2.2.2.2. Càlcul mitjançant l'expressió de l'Almirallat

En aquest apartat, es realitza el càlcul de la potència mitjançant l'expressió de l'Almirallat. Es tracta d'una expressió matemàtica en la que a partir de 3 termes, s'obté un valor aproximat de la potència necessària per desplaçar el vaixell a una velocitat concreta.

La fórmula de l'Almirallat és la següent:

$$P = \frac{D^{2/3} \times V^3}{C}$$

Equació 7. Almirallat. Font:www.sectormarítimo.es

On:

$D$  = Desplaçament del vaixell

$V$  = Velocitat del vaixell

$C$  = Constant d'Almirallat. Es tracta d'un valor adimensional propi de les formes del vaixell. Acosta a trobar-se tabulat per a vaixells tipus, com poden ser portacontenidors, petrolers, granelers...

Com que no es troben valors tabulats del coeficients  $C$  per a un vaixells tipus llaüt, s'ha procedit a la seva obtenció de manera empírica (Crespo,1941).

Això ha estat possible gràcies a la possibilitat de realitzar proves de mar amb la *Beata*. En aquestes s'ha observat que una velocitat de 5 nusos desenvolupa una potència de 6 cv. Si s'aïlla la constant  $C$  de l'expressió de l'Almirallat s'obté:

$$C_{llaüt} = \frac{1,336^{2/3} \times 5^3}{6} = 25,3$$

Un cop obtingut  $C_{llaüt}$ , s'ha procedit al càlcul de la potència per a la velocitat de disseny de 7,5 nusos:

$$P = \frac{1.336^{2/3} \times 7,5^3}{25,3} = 20,22 \text{ cv} = 15,08 \text{ kW}$$

S'obté, per tant, un valor de 15,08 kW de potència per a desplaçar el vaixell a una velocitat de 7,5 nusos.

Si es compara la potència obtinguda en el punt 4.1.1.2. amb l'obtingut en aquest, disten en 0,91 kW. Aquesta diferència de potència és deu a que els mètodes emprats per calcular la residència a

l'avanç són aproximats, tot i això no són suficientment diferents com per donar peu a pensar que el mètode o el càlcul és errat.

## 2.3. Projecte del motor elèctric

El canvi climàtic és el major repte mediambiental en l'actualitat, i la preocupació social al respecte va en augment cada any. L'acord de París<sup>19</sup> de l'any 2015 va marcar un abans i un després en el procés de la descarbonització. S'aprovà limitar l'increment de la temperatura global en 2 °C a finals de segle. La OMI<sup>20</sup> per la seva part, va aprovar en 2018 un paquet de mesures destinades al compliment de l'estratègia inicial, reduir en al menys un 40% d'aquí a 2030 en comparació a 2008, les emissions de CO<sub>2</sub>.

En un context mundial que cerca la reducció de les emissions contaminants, s'ha decidit que el millor per remotoritzar una embarcació d'aquesta eslora, era fer-ho mitjançant un sistema de propulsió que no produeixi emissions contaminants directament.

Els motors elèctric presenten fortes avantatges davant els tradicionals motors de combustió interna, com són la reducció d'emissions contaminants, la reducció en gran mesura de soroll i vibracions, la reducció de residus com poden ser olis i filtres. També es redueix en gran mesura el manteniment a realitzar ja que els motor elèctrics, pràcticament no necessiten manteniment. També destaca el cost econòmic del combustible enfront al cost de l'electricitat.

Totes aquestes raons ens han portat a realitzar un projecte de remotorització mitjançant un motor completament elèctric.

### 2.3.1. Història dels motors elèctrics als vaixells

Tot i que avui dia parlar d'un vaixell propulsat per un motor elèctric pareix avantguardista, cal remuntar-se a mitjans del segle XIX per trobar les primeres evidències d'aquests motors, més concretament al 1839.

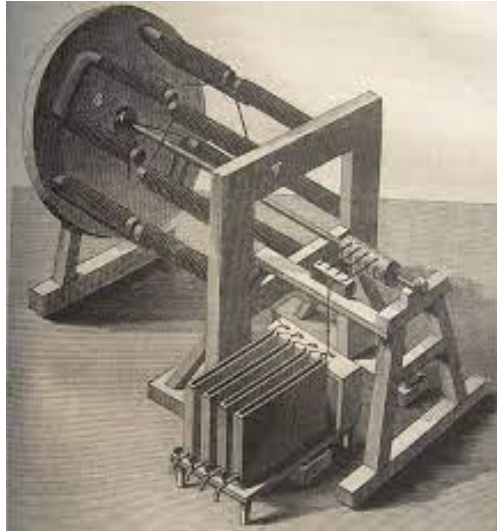
El rus Moritz Herman von Jacobi, fou el pioner en dissenyar i construir un motor elèctric, d'aproximadament 1 cv de potencia, per instal·lar-lo en una embarcació de 38 peus d'eslora. Aquest

---

<sup>19</sup>Acord en el marc de la Convenció de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic que estableix mesures per a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle.

<sup>20</sup>Organització Marítima Internacional

motor es basà en la màquina dissenyada per Willian Ritchie en 1833. Era alimentat per corrent continua procedent de bateries i accionava dues rodes de paletes que propulsaven l'embarcació. El model va ser provat per primera vegada al riu Neva (Rússia) obtenint una velocitat de 2.25 nusos amb una càrrega de 14 persones.



*Il·lustració 22. Motor elèctric de Jacobi. Font: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)*

Cal esperar 41 anys fins a la següent patent; fou al 1880 quan Gustave Trouvé patenta un petit motor elèctric y proposa la seva instal·lació per duplicat, cada un accionava una roda de paletes per a propulsar un vaixell. En pocs anys, Trouvé construeix el que avui dia es coneix com a motor fora borda, és a dir, un bloc mòbil que unifica timó, una hèlix y un propulsor.

Al 1858 l'exèrcit americà implanta propulsió mixta a un dels seus submarins, aquest utilitzava màquines de vapor per a la navegació en superfície i motors elèctrics alimentats per bancs de bateries per a la navegació en immersió.

En el 1904, es produeix un important avenç en els sistemes de propulsió elèctrica. Es dissenyen i es construeixen per primer cop motors dièsel acoblats a generadors elèctrics per alimentar tant els propulsors elèctrics com els sistemes elèctrics dels vaixells. Aquest sistema va ser instal·lat en petits petrolers de 1100 tones destinats a operar en el Mar Caspi. Els motors elèctrics podien variar la velocitat de gir del seu eix, de 30 fins a 300 RPM, un fenomen innovador fins a l'època. Tot i això, els sistemes no van ser gaire exitosos degut al seu elevat preu.



A partir d'aquí, hi va haver una aturada en la innovació de les tecnologies de propulsió elèctrica en vaixells degut a la gran evolució del motor dièsel així com dels motors foraborda a gasolina. No fou fins a finals del segle XX quan l'empresa ABB creà els propulsors AZIPOD <sup>21</sup>. Aquest model era un digna rival per als motor tradicionals que impulsà l'interès per a aquesta tecnologia. Els propulsors AZIPOD començaren a ser instal·lats en vaixells de grans eslores de forma estesa al segle XXI.

### 2.3.2. L'electrificació de les embarcacions d'esbarjo a l'actualitat.

Cada cop és més freqüent veure embarcacions de petites eslores propulsades per motors elèctrics. Autonomies limitades, velocitats baixes, desplaçaments limitats, costos elevats, són algunes de les desavantatges que presenten aquests vaixells davant les tradicionals embarcacions de propulsió mitjançant combustibles fòssils; si més no, l'atractiu d'aquesta tecnologia és l'eficiència energètica i la petjada ecològica que genera.

És sabut que el sector de la nàutica d'esbarjo, pel que fa a les noves tecnologies, segueix el camí del sector de l'automòbil, amb un desfasament d'alguns anys. La gran varietat de models de vehicles elèctrics que es troben en el mercat és simptomàtic de que el sector naval d'aquí a uns anys prendrà el mateix rumb.

Avui dia, ja es poden trobar fabricants que ofereixen sistemes de propulsió elèctrica en alguns dels seus models, marques com *Azimut*, *Rand*, *Mako Marine* i *Say* en són un exemple. La majoria d'embarcacions elèctriques són de nova construcció, mentre que un 20% del les embarcacions propulsades per sistemes 100% elèctrics són navilis remotoritzats.

Els sistemes de propulsió elèctrica que es troben a la venda són paquets que inclouen: banc de bateries, motor elèctric i sistema de control i recàrrega. Alguns d'aquests van més enllà, i amb el mateix paquet s'inclou el sistema de recàrrega mitjançant plaques solars.

Una alternativa a les plaques solars, en el cas del velers, és l'*Hidro Generator*. És un sistema de captació d'energia dissenyat per la marca Finlandesa *OceanVolt*, que permet desplegar una turbina durant la navegació a vela, que recarrega les bateries. Aquest sistema està equipat amb un software

---

<sup>21</sup>Propulsor elèctric capaç de girar 360° sobre un dels seu eixos.

avantguardista que permet analitzar variables com són els nivells de càrrega de les bateries, velocitat del vaixell... per establir l'angle d'atac i pas més eficient de les pales de la turbina. Un cop les bateries es troben al 100%, la turbina es plega automàticament disminuint la resistència a l'avanç de la nau.



*Il·lustració 23. Motor elèctric amb sistema Hidro Generator. Font: [www.oceanvolt.com](http://www.oceanvolt.com)*

### 2.3.3. Càlcul de la potència propulsora

Arribats han aquest punt és precís deixar clar els diversos tipus de potència que es troben en un vaixell. El sistema propulsor està compost per motor, eix i hèlix. En cada un d'aquests elements presenta pèrdues, el que fa que la potència entregada a cada element sigui diferent. Per tant, es defineix *EHP* (*Effective Horse Power*) com la potència efectiva, de remolc o requerida, aquesta és la potència necessària per impulsar el vaixell a una velocitat donada i s'obté de manera analítica. La potència *BHP* (*Brak Horse Power*), també anomenada potència al fre, es la potència del motor mesurada a l'acoblament de l'eix, i aquesta té un valor superior a la potència *EHP*. La potència entregada a l'hèlix s'anomena *PHP* (*Propeller Horse Power*) i es la resultant de restar les pèrdues de l'eix a la *BHP*. Com en aquest cas d'estudi, l'eix acobla directament el motor i a l'hèlix, es a dir, sense coixinets de suport, la *PHP* s'igual a *BHP*.

A continuació, es procedeix al càlcul de la potència:

Les potències requerides calculades a l'apartat 2.2. són 14.17 kW mitjançant el mètode de l'expressió de l'*Almirallat* i 15.08 kW obtinguts per mitjà dels càlcul estadístics proposats pel *MAXSURF Resistance*. Com ja s'ha comentat anteriorment, la proximitat dels resultats obtinguts, amb un 6% d'error, permet donar els resultats com a vàlids. Per al càlcul de la potència propulsora, s'utilitza el valor més elevat, corresponent a 15.08 kW.

Per determinar la potència del motor, s'han de considerar els marges de pèrdues de potència del conjunt del sistema de propulsió i de factors externs com temperatura, ones, vents... La potència que s'ha obtingut per mitjà del *MAXSURF Resistance*, és la potència *EHP*, és a dir, la potència necessària per vèncer la resistència a l'avanç del buc en condicions ideals. El seu valor s'ha d'augmentar un 10 % per compensar les pèrdues degudes a factors externs i un 10% més per compensar les perdudes dels sistema de propulsió. El còmput total de pèrdues pren un valor del 20%.

Per tant:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta} = 15,71 \text{ kW} \quad BHP(20\%) = 1,2 \times BHP = 18.85 \text{ kW}$$

*BHP* és la potència al fre assumint el rendiment propulsiu.

*EHP* és la potència efectiva o de remolc.

$\eta$  és el rendiment propulsiu del motor elèctric. Per aquest tipus de motor és de 96%.

Aplicant el 20% de pèrdues s'obté que:

$$BHP(20\%) = 1,2 \times BHP = 18.85 \text{ kW}$$

En la següent taula s'observen les diferents potències per a diferents velocitats de disseny.

Velocitat (kts)	EHP	BHP	BHP (20%)
6,50	9,82	10,23	12,27
7,00	12,26	12,77	15,33
<b>7,50</b>	<b>15,08</b>	<b>15,71</b>	<b>18,85</b>
8,00	18,31	19,07	22,88
8,50	21,96	22,87	27,45

Taula 5. Taula de potència. Font: Pròpia.

#### 2.3.4. Elecció del motor.

Amb la potència calculada, s'ha procedit a fer una recerca de motors 100% elèctrics. El motor escollit és *E-TECH 20 WG* (StarBoats, 2021b). Les característiques tècniques del motor es detallen a la següent taula.

Motor	E-TECH 20 WG
Potencia (Kw)	21,3
Tipus de motor	Sense escombretes
Voltatge (Vdc)	96
Pes aproximat (kg)	60
Dimensions (cm)	53X20X25
Material del folre	Alumini
RPM	1600
Refrigeració	Per aigua

Taula 6. Característiques tècniques del motor. Font: Pròpia.



Il·lustració 24. Motor elèctric. Font: NauticExpo.es

Es tracta d'un motor de fabricació polonesa d'última generació. Aquest motor no disposa d'escombretes que requereixin manteniment, sinó que està equipat amb imants permanents. Segons

el fabricant, “aquest motor no requereix de cap tipus de manteniment al llarg de la seva vida útil ja que, ha estat fabricat mitjançant materials d’última generació”.

El motor es distribueix amb un paquet que inclou:

- Controlador de potencia del motor. El controlador permet rebre i enviar les senyals necessàries en relació a les ordres de comandament que es desitgen.
- Pantalla per al monitoreig de la potència desenvolupada així com l’estat de les bateries.
- *Joystick* amb muntatge lateral o superior (en el nostre cas s’utilitzarà el muntatge lateral) per al control del motor.
- Bombeta de refrigeració per al motor.
- Interruptor principal, per connectar i desconnectar les bateries.
- Fusible de protecció en cas de una sobreintensitat del motor.
- Instal·lació elèctrica preparada amb totes les connexions necessàries per al control del motor.

### 2.3.5. Elecció de les bateries d’alimentació

Per a l’elecció de les bateries d’alimentació del motor, s’ha dut a terme un senzill càlcul de potència. En aquest s’han tingut en compte dues situacions de navegació. La primera a una velocitat màxima de 7,5 *kts*, y la segona a una velocitat de creure de 6.5 *kts*. També s’han tingut en compte el consum d’una bomba de buidatge i de les llums de navegació.

Consumidor	Potencia Nominal (w)	Temps (h)	Consum Wh	Consum kWh
Llums Navegació	1,5	3	4,5	0,005
Bomba buidatge	36	1	36	0,036
Motor propulsor	13000	1,5	19500	19,500
<b>Suma</b>				<b>19,54</b>

Taula 7. Balanç de potència a velocitat de creuer. Font: Pròpia.

Consumidor	Potencia Nominal (w)	Temps (h)	Consum Wh	Consum kWh
Llums Navegació	1,5	3	4,5	0,005
Bomba buidatge	36	1	36	0,036
Motor propulsor	19000	1	19000	19,000
<b>Suma</b>				<b>19,04</b>

Taula 8. Balanç de potència a velocitat màxima. Font: Pròpia

Com s'observa en les taules superiors se'n extreu que el cas més desfavorable és a la velocitat de creuer de 6,5 *kts*. A banda, s'observa que consumint una potència de 13 *kWh* s'obté una autonomia de 1.5 hores, equivalent a una distància recorreguda de 9,75 milles nàutiques. D'altra banda, augmentant el consum a la potència nominal de 19 *kWh*, s'obté una autonomia de 1 hora, equivalent a una distància de 7,5 milles nàutiques. A velocitats inferiors l'autonomia del vaixell augmenta.

Model	ARK 20.4L
Nombre de mòduls	8
Energia utilitzable (kWh)	20
Dimensions (cm)	146 x 64 x 30
Pes (kg)	244
Tipus cel·la	Ferrosfosfat de liti (LFP)
Voltatge (V)	48

Taula 9. Especificacions bateries. Font: Ecofener.com

En el cas més desfavorable, s'arriba al consum de 19,54 kWh, per això, s'ha seleccionat un paquet de bateries de liti amb una capacitat nominal de 20 kWh. Es tracta de la *Growatt ARK 20.4L* de 8 mòduls elèctrics (*ARKLVBatterySystem*). Les característiques tècniques es detallen a la següent taula:

Les bateries de ferrofosfat de liti són bateries que presenten una durabilitat superior a les bateries de ió de liti. A més, mantenen un voltatge constant durant tota la descàrrega, fent prescindible l'ús d'un regulador de voltatge. Una desavantatge important, és que les cel·les no es poden descarregar per sota dels 2 V., fent que el propi banc de bateries hagi de portar una protecció que talli el subministrament elèctric si el voltatge per cel·la arriba al valor crític.

El fabricant realitza la següent estimació de la vida útil de les bateries.

La capacitat de les bateries disminueix al 71% després de 8000 cicles amb el 100% de profunditat de descàrrega.

Suposant que l'embarcació surt a navegar un cop a la setmana, y que en aquesta navegació s'arriba a la completa descàrrega de la bateria, s'estima una vida útil del sistema de

$$Vida \text{ útil} = \frac{\text{cicles}}{\text{semanes/any}} = \frac{8000}{53} = 15 \text{ anys}$$

Pel que fa al carregador de bateries s'ha escollit un carregador d'alt rendiment de la marca *Wallbox* amb una capacitat de 7,4 kWh (*Wallbox, 2021*). Es tracta d'un carregador de 230v preparat per a connectar a les torretes dels ports esportius.

El temps necessari per a una càrrega completa de les bateries és:

$$\text{temps de càrrega} = \frac{\text{capacitat de les bateries}}{\text{velocitat de càrrega}} = 2,7 \text{ hores}$$

On:

Velocitat de càrrega: 7,4 kWh que subministra el carregador

Capacitat de les bateries: 20 kW



### 2.3.6. Disseny de l'hèlix

L'objectiu d'aquest apartat és fer una estimació de l'hèlix òptima per al motor elegit. El rendiment de l'hèlix és el que defineix quina és la millor, i aquest va en funció del nombre de pales que disposi.

Els paràmetres a tenir en compte a l'hora de dissenyar una hèlix són: el diàmetre, el nombre de pales, i el pas de les mateixes. En el cas que ens ocupa, aquest disseny no té en compte el diàmetre òptim, ja que aquest ve definit per les formes del vaixell. Per això, es parteix del diàmetre de l'hèlix actual.

El càlcul es centra en l'obtenció del nombre de pales òptim així com el pas i les relacions que l'engloben.

Els càlculs per al dimensionament de l'hèlix es basen en la sèrie sistemàtica *B* de *Wageningen*. Avui dia, s'utilitzen dues metodologies per a aquests càlculs, les sèries sistemàtiques i la Teoria de circulació, sent la primera la més utilitzada, donada la senzillesa de la seva aplicació. Dins les sèries sistemàtiques també en trobem gran varietat, com són les *KCA-series* o les *Gawn-series*.

#### La sèrie sistemàtica *B* de *Wageningen*

L'aplicació de les sèries *B* comporta tota una sèrie de restriccions que s'han de tenir en compte abans de la seva aplicació (Bellver, 2018).

- Nombre de pales (*Z*): La sèrie *B* de *Wageningen* permet la seva aplicació en hèlixs on el nombre de pales oscil·li entre 2 i 7. En aquest cas, es realitza el càlcul per a 2,3 i 4 pales. Aquesta elecció es fa tenint en compte les hèlix més habituals en aquest tipus de vaixells. Es coneix també, que a menor nombre de pales, major rendiment tindrà el propulsor en aigües obertes. Un altre factor important en l'elecció del nombre de pales, es que aquest no pot ser múltiple del nombre de cilindres que disposi el motor, això per evitar vibracions. En el nostre cas, al tractar-se d'un motor elèctric, aquesta restricció no és aplicable.

$$2 \leq Z \leq 7$$

- La relació Pas-Diàmetre ( $P/D$ ): La sèrie  $B$  de *Wageningen* ha estat assajada en hèlixs de relacions  $P/D$  compreses entre 0,5 i 1,4.

$$0,5 \leq \frac{P}{D} \leq 1,4$$

- Relació Àrea expandida-Àrea del disc ( $Ae/Ao$ ): En aquest cas, la sèrie  $B$  de *Wageningen* es d'aplicació per a valors de  $Ae/Ao$  compresos entre 0,3 i 1,05. És defineix aquesta relació com el quocient entre l'àrea real de la superfície de les pales sense tenir en compte el nucli i l'àrea formada pel disc de radi igual al radi de l'hèlix.

$$0,3 \leq \frac{Ae}{Ao} \leq 1,05$$

- Grau d'avanç ( $J$ ): es tracta d'un nombre adimensional que relaciona la velocitat de gir de l'hèlix amb la velocitat d'avanç del vaixell. El seu interval es troba entre 0 i 1,6.

$$0 \leq J \leq 1,6$$

La sèrie  $B$ , també disposa d'una nomenclatura específica alhora de nombrar una família d'hèlixs. Aquesta ve donada per 3 termes correlatius:

**$B.X,YY$**

On:

**$B$**  defineix que es tracta d'una hèlix de la Sèrie  $B$ .

**$X$**  fa referència al nombre de pales de l'hèlix.

**$YY$**  fa referència a la relació de l'àrea expandida que té l'hèlix.

### 2.3.6.1. Càlcul dels paràmetres de l'hèlix

Per al càlcul de l'hèlix es parteix d'un model de fulla de càlcul utilitzat en l'assignatura de Projectes Navals on es troben incorporades totes les expressions necessàries per a l'aplicació de la sèrie *B* de *Wageningen*. En la següent taula, es mostra l'anomenada fulla de càlcul.

<b>Dades de l'hèlix</b>		<b>Dades del vaixell</b>	
AE/AO	0,900	R	2,250 kN
Z	3	t	0,25
D	0,3 m	w	0,000
P/D	3,162	$\eta_m$	0,990
n	599,5 rpm	$\eta_{rr}$	0,920
$K_T$	4,4684	V	7,5 kn
T	3,7 kN	T	3,7 kN
$K_Q$	0,0000	<b>Propietats físiques</b>	
Q	0,0 KN·m	$\rho$	1024,000 kg/m <sup>3</sup>
J	1,287	$\mu$	0,0012 Pa·s
$\eta_0$	1,0000		
$C_{0.75}$	0,1933 m		
$V_{0.75}$	8,0 m/s		
Rn	1,33E+06		
BHP	0,0 kW		

Taula 10. Dades de l'hèlix. Font: Pròpia

Com es pot observar, per a la utilització d'aquesta fulla es requereixen una sèrie de paràmetres. Alguns són obtinguts directament del programari *MAXSURF*, mentre que d'altres s'obtenen a partir de càlculs previs mitjançant una altra fulla de càlcul facilitada també en l'assignatura de Projectes Navals. A continuació, es defineixen els paràmetres més rellevants de la taula 10.

- **Relació àrea expandida-àrea disc (AE/AO)**

$$\frac{Ae}{Ao} = \frac{(1,3 + 0,3 \times Z) \times T}{(Po - Pv) \times D^2}$$

Equació 8. Relació àrea expandida-àrea disc. Font: pròpia.

On:

*Z* és el nombre de pales de l'hèlix

*T* és l'empenta generada per l'hèlix.

$P_o$  és la pressió estàtica en l'eix

$P_v$  és la pressió de vapor de l'aigua

$D$  és el diàmetre de l'hèlix

$K$  és un coeficient corresponent al nombre de hèlix que disposa el vaixell, sent el seu valor de 0,15 per a vaixells d'una sola hèlix.

- **Relació pas-diàmetre ( $P/D$ )**

Es tracta del quocient entre el valor del pas i el valor del diàmetre del propulsor.

- **Coeficient d'empenta ( $K_t$ )**

$$K_t = \frac{T}{\rho \times n^2 \times D^4}$$

*Equació 9. Coeficient d'empenta. Font: Pròpia*

On:

$T$  és l'empenta generada per l'hèlix.

$\rho$  és la densitat de l'aigua de mar.

$n$  són les revolucions de l'eix

$D$  és el diàmetre de l'hèlix.

- **Coeficient de pas ( $K_Q$ )**

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5}$$

*Equació 10. Coeficient de pas. Font: Pròpia.*

On:

$Q$  és el parell absorbit en la línia d'eixos.

$\rho$  és la densitat de l'aigua de mar.

$n$  son les revolucions de l'eix

$D$  és el diàmetre de l'hèlix.

- **Parell absorbit per l'hèlix ( $Q$ )**

Aïllant l'expressió anterior s'obté que:

$$Q = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$$

*Equació 11. Parell absorbit per l'hèlix ( $Q$ ). Font: Pròpia.*

On:

$Q$  és el parell absorbit en la línia d'eixos.

$\rho$  és la densitat de l'aigua de mar.

$n$  són les revolucions de l'eix

$D$  és el diàmetre de l'hèlix.

- **Grau d'avanç ( $J$ )**

$$J = \frac{V}{n \times D}$$

*Equació 12. Grau d'avanç ( $J$ ). Font: Pròpia*

On:

$V$  és la velocitat del vaixell.

$n$  són el nombre de revolucions de l'eix.

$D$  és el diàmetre de l'hèlix.

- **Rendiment en aigües lliures ( $\eta_o$ )**

$$\eta_o = \frac{T \times V}{2 \times n \times \pi \times Q_o}$$

*Equació 13. Rendiment en aigües lliures. Font: Pròpia*

On:

$T$  és l'empenta generada per l'hèlix.

$V$  és la velocitat del vaixell.

$n$  són el nombre de revolucions de l'eix.

$Q_o$  és el parell entregat a l'eix.

- **Potència al fre (BHP)**

$$\text{BHP} = \frac{2 \times \pi \times q \times n}{75}$$

*Equació 14. Potència al fre. Font: Pròpia*

On:

$Q$  és el parell mesurat al fren.

$n$  és el nombre de revolucions de l'eix.

- **Nombre de Reynolds (Rn)**

$$Rn = \frac{V \times D}{\mu}$$

*Equació 15. Nombre de Reynolds. Font: [www.hidraulicafacil.com](http://www.hidraulicafacil.com)*

On:

$V$  és la velocitat del vaixell.

$D$  és el diàmetre de l'hèlix.

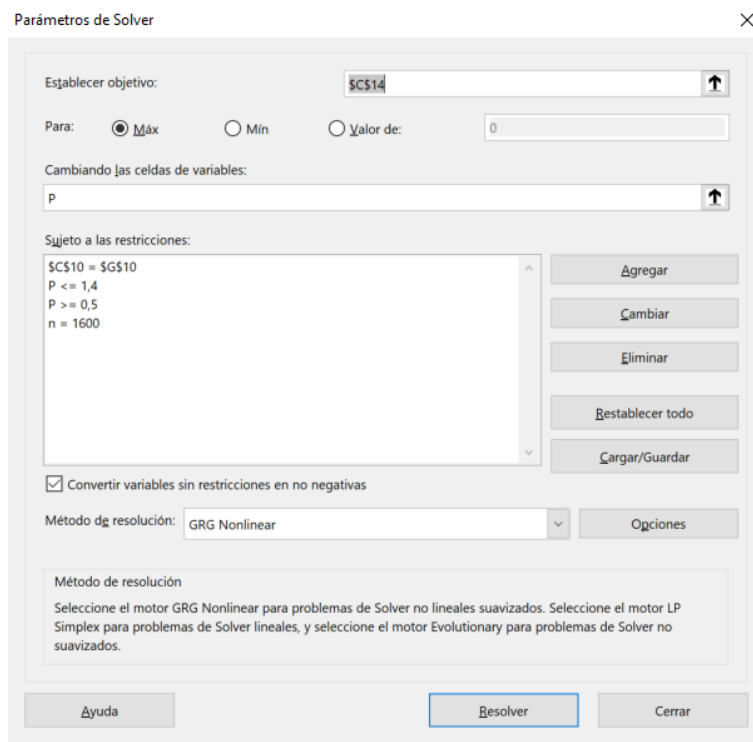
$\mu$  és la viscositat dinàmica de l'aigua. Pren un valor de  $0,0012 \text{ Pa}\cdot\text{S}$

Un cop definides les expressions necessàries per a l'aplicació de la Serie  $B$  de *Wegeningen* es procedeix al càlcul del rendiment en aigües obertes per a les tres hèlix plantejades.

L'objectiu d'aquest apartat és el de determinar l'eficiència de l'hèlix en flux laminar ( $\eta_o$ ). Per obtenir el valor del màxim rendiment en aigües obertes s'ha utilitzat l'eina de Microsoft Excel, *Solver*. Aquesta està basada en un algoritme *simplex*<sup>22</sup> que permet maximitzar el valor del  $\eta_o$  partint d'un seguit de restriccions (Castañé, 2018).

---

<sup>22</sup>Conjunt de mètodes matemàtics utilitzats per obtenir el màxim d'una funció lineal satisfent una serie de condicions.



II-lustració 25. Ferramenta "Solver". Font: Pròpia

En primer lloc, s'estableix l'objectiu de la funció, en aquest cas el  $\eta_o$  i es selecciona la funció maximitza. Després, es seleccionen els paràmetre variables amb els que el programa jugarà per tal maximitzar el  $\eta_o$ , aquesta és la relació  $P/D$ .

A continuació, es procedeix a definir les restriccions de la funció:

- L'empenta generada de l'hèlix ha de ser igual a l'empenta del vaixell.
- La relació  $P/D$  s'ha de trobar entre l'interval d'aplicació de la Serie  $B$  de *Wegeningen*.
- El nombre de revolucions per minut ha de ser el nominal del motor.

Un cop definides totes les condicions es procedeix a executar l'algoritme per a 2,3, i 4 pales.

Els resultats obtinguts son els següents:

### Hèlix de 2 pales

AE/AO	0,810
Z	2
D	0,3 m
P/D	1,400
n	1600,0 rpm
$K_T$	0,4927
T	2,9 kN
$K_Q$	0,1042
Q	0,2 kN·m
J	0,477
$\eta_0$	0,3591
$C_{0.75}$	0,2499 m
$V_{0.75}$	19,2 m/s
Rn	4,10E+06
BHP	33,9 kW

R	2,250 kN
t	0,25
w	0,010
$\eta_m$	0,990
$\eta_{rr}$	0,920
V	7,5 kn
T	3,7 kN

**Propietats físiques**

$\rho$	1024,000 kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	0,0012 Pa·s

Taula 11. Resultats càlcul hèlix 2 pales. Font: Pròpia.

**Hèlix de 3 pales.**

**Dades de l'hèlix**

AE/AO	0,900
Z	3
D	0,3 m
P/D	1,400
n	1600,0 rpm
$K_T$	0,5109
T	3,0 kN
$K_Q$	0,1074
Q	0,2 kN·m
J	0,477
$\eta_0$	0,3616
$C_{0.75}$	0,1933 m
$V_{0.75}$	19,2 m/s
Rn	3,17E+06
BHP	34,9 kW

**Dades del vaixell**

R	2,250 kN
t	0,25
w	0,010
$\eta_m$	0,990
$\eta_{rr}$	0,920
V	7,5 kn
T	3,7 kN

**Propietats físiques**

$\rho$	1024,000 kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	0,0012 Pa·s

Taula 12. Resultats càlcul hèlix 3 pales. Font: Pròpia.

**Hèlix de 4 pales.**



**Dades de l'hèlix**

AE/AO	1,000
Z	4
D	0,3 m
P/D	1,400
n	1600,0 rpm
$K_T$	0,5245
T	3,1 kN
$K_Q$	0,1109
Q	0,2 kN·m
J	0,477
$\eta_0$	0,3592
$C_{0.75}$	0,1543 m
$V_{0.75}$	19,2 m/s
Rn	2,53E+06
BHP	36,5 kW

**Dades del vaixell**

R	2,250 kN
t	0,25
w	0,010
$\eta_m$	0,990
$\eta_{rr}$	0,910
V	7,5 kn
T	3,7 kN

**Propietats físiques**

$\rho$	1024,000 kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	0,0012 Pa·s

Taula 13. Resultats càlcul hèlix 4 pales. Font: Pròpia.

De les anteriors taules se'n extreu que els rendiments per a l'hèlix de 2,3 i 4 pales són, respectivament 0.3591, 0.3616 i 0.3592, sent l'hèlix de 3 pales la que major rendiment té.

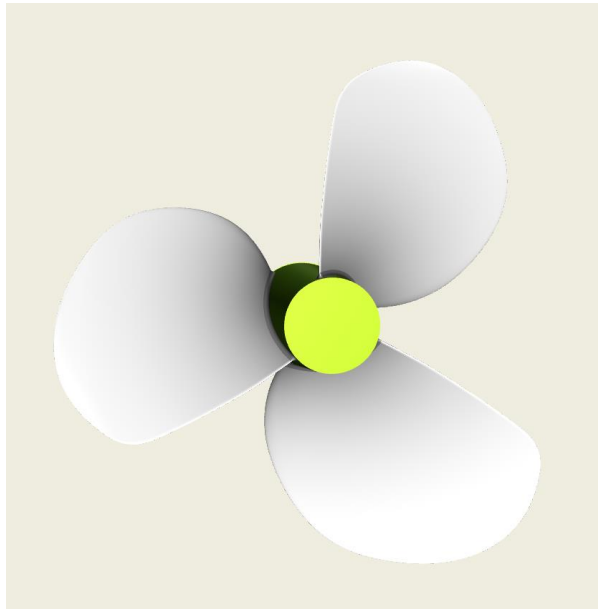
Un cop determinada l'hèlix amb la que s'obté major rendiment, la resta de càlculs es faran respecte a aquest.

**2.3.6.2. Modelatge de l'hèlix.**

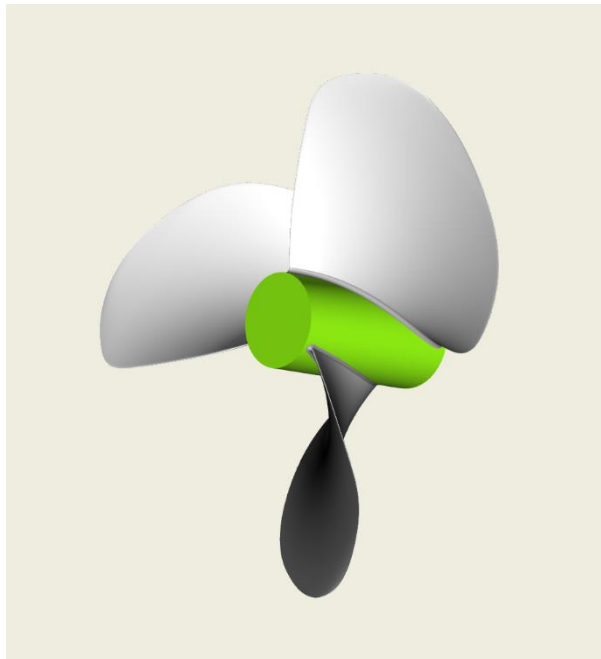
Un cop determinada l'hèlix amb la que s'obté major rendiment, es procedeix a fer el seu modelatge mitjançant el *software B-Series Propeller Generator* de la companyia alemanya *FRIENDSHIP SYSTEMS AG*.

Per a obtenir el model de l'hèlix, es parteix dels paràmetres obtinguts en l'apartat anterior. Aquests s'introdueixen al *software* juntament amb variables com la velocitat i el material de l'hèlix. El material seleccionat és el bronze al manganès, també conegut com HTB1 (Fondear, 2021). Aquest aliatge s'ha escollit ja que es dels millors materials resistent a la flexió, a la ruptura i als problemes de picades derivats de la cavitació. A més a més, es tracta de l'aliatge més utilitzat pels fabricant d'hèlixs en embarcacions semblants.

Un cop definits tots els paràmetres necessaris per al modelatge de l'hèlix, es renderitza el model.



*Il·lustració 26. Model hèlix Serie B de Wegeningan. Font: <https://www.wageningen-b-series-propeller.com/>*



*Il·lustració 27. Model hèlix Serie B de Wegeningan. Font: <https://www.wageningen-b-series-propeller.com/>*

### 2.3.6.3. Elecció de l'hèlix comercial

Un cop acabat el dimensionament del propulsor, s'escull l'hèlix comercial que encaixi millor amb les necessitats de la *Beata*.

Per seleccionar una hèlix de catàleg, és necessari obtenir el pas de la mateixa. En els càlculs anteriors, s'utilitza la relació pas-diàmetre. En cap moment ha fet falta saber el pas. Per això, coneixent el valor del diàmetre i de la relació, se n'obté el pas de l'hèlix.

$$1.4 = \frac{P}{D} \rightarrow P = 1.4 \times D = 0,42 \text{ m}$$

On  $D$  pren el valor de  $0.3 \text{ m}$ .

A continuació, es converteixen les mesures de diàmetre i pas de metres a polzades ja que la majoria de catàlegs es troben en sistema anglès.

A la taula següent, es mostren les conversions d'unitats de mesura.

Mesura	Metres (m)	Polzades (in)
Diàmetre	0,3	11,81
Pas	0,42	16,54

Taula 14. Conversió de metres a polzades. Font: Pròpia

L'hèlix seleccionada és de la serie *B* de *Wegeningan*, subministrada pel distribuïdor espanyol *Propellers & Propulsion Specialists*. Les característiques de la mateixa es detallen en la taula següent. Per a la selecció, s'aproximen els valors de diàmetre i pas, sent aquests 12 in i 17 in respectivament. Al catàleg no es troben hèlix amb el pas desitjat així que s'ha escollit l'hèlix amb el pas immediatament inferior.

L'hèlix escollida és la següent.

Diàmetre (in)	Pas (in)	Gir	Referència
12"	16"	RH	3B-12x16-R

*Taula 15. Característiques hèlix. Font: BarcelonaPropellers.*

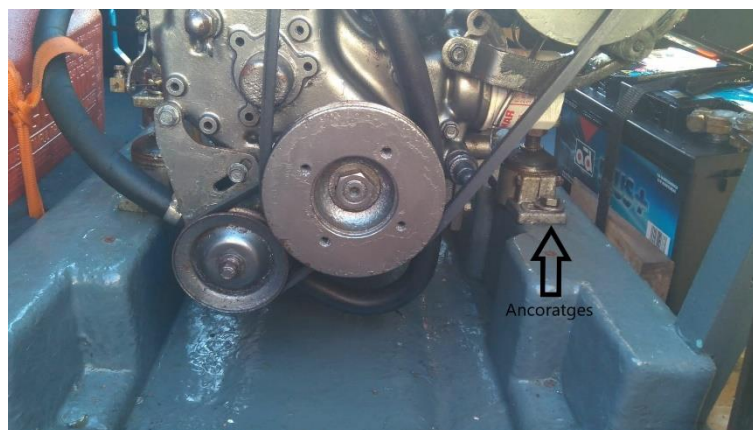
### 2.3.7. Instal·lació del nou sistema de propulsió.

Un cop escollit el nou sistema de propulsió, es plantegen les adaptacions que s'han de fer al vaixell per tal d'encaixar-hi la nova màquina. Aquests canvis han de tenir en compte tota una sèrie de ítems. Per això, s'analitzaran per separat.

#### Instal·lació del motor elèctric

La instal·lació del nou motor requereix haver extret prèviament el motor antic.

Les passes per a l'extracció del motor vell són les següents. En primer lloc es desconnecten totes les connexions elèctriques, tant les dels comandaments de control com les de la bateria. A continuació, es desconnecta l'alimentació de combustible i es buida el circuit del motor per evitar vessaments. La següent passa és desconnectar la canonada de refrigeració d'aigua salada i l'eix de gir de l'hèlix. Finalment, es descargolen els ancoratges del motor i s'extreu amb l'ajuda d'una grua.



Il·lustració 28. Ancoratges motor de combustió. Font: Pròpia.

A la il·lustració superior es mostra com el motor descansa sobre els ancoratges, *silentblocks*, i aquests es subjecten a les mitjanes. Degut a que el motor elèctric és més estret, és necessari modificar la bancada perquè s'hi puguï assentar correctament o estendre els braços del motor per a què descansin sobre la bancada. El motor nou ja incorpora els *silentblocks*.



Il·lustració 29. Suport motor elèctric. Font: [www.nauticexpo.es](http://www.nauticexpo.es)

Un cop adaptat l'ancoratge i cargolat el motor a la bancada, s'ha d'engranar l'eix de l'hèlix al motor i s'ha d'alinear el conjunt. Un cop fet, es connecta la canonada de refrigeració mitjançant el sistema *Quick-Click*<sup>23</sup>. Per acabar, es realitzen les connexions amb les bateries d'alimentació i el sistema de control de la propulsió.

### Instal·lació del banc de bateries

El banc de bateries es situa a proa del motor, centrat sobre la línia de cruixia per mantenir l'escora el més pròxim a 0°. Les seves dimensions són 146 x 64 x 30 cm, dimensions que s'avenen amb els reforços longitudinals existents al llaüt. Les bateries han d'estar sòlidament subjectes a la barca i és per això que es fixen mitjançant cargols.

### Extracció del tanc de combustible i bateria d'arrencada

La bateria d'arrencada i el tanc de combustible ja no són necessaris per al nou sistema de propulsió, és per això que s'han d'extreure. Primer es descargolen els seus ancoratges i tot seguit es segellen els orificis mitjançant segellador plàstic aïllant.

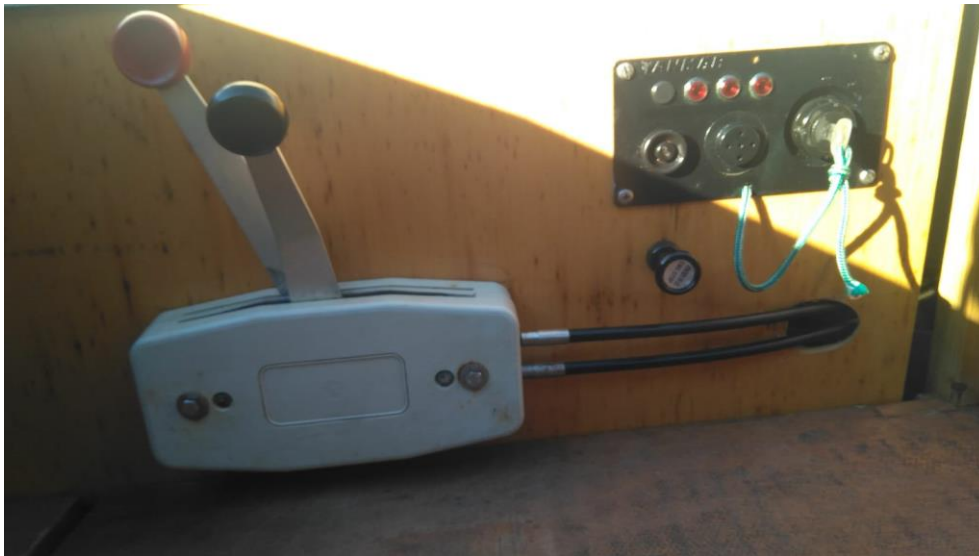
---

<sup>23</sup>Sistema d'acoblements per canonades amb unió ràpida.

### Instal·lació del sistema de control de propulsió

El nou sistema de control per a la propulsió s'instal·la al mateix lloc on hi havia el vell *morse*<sup>24</sup>. El nou sistema porta incorporat el suport d'ancoratge.

De la mateixa manera, es fixa la nova pantalla de control del motor, on es disposava la vella.



*Il·lustració 30. Morse i unitat de control del motor. Font: Pròpia.*

---

<sup>24</sup>Palanca per al control del propulsor. Permet invertir el sentit de gir, així com modificar les rpm de l'eix.

## 2.4. Projecte de vela llatina

En aquest tercer bloc, es du a terme l'estudi per a la implementació d'aparell llatí a la *Beata*. Abans de començar amb els càlculs per a arborar una barca amb aquest aparell, s'introdueix el concepte de vela i el principi físic que permet a una embarcació ser propulsada pel vent. També es fa un repàs als orígens i a la història de la vela llatina, es defineix l'aparell llatí i les seves maniobres i s'acaba realitzant els càlculs d'arborament.

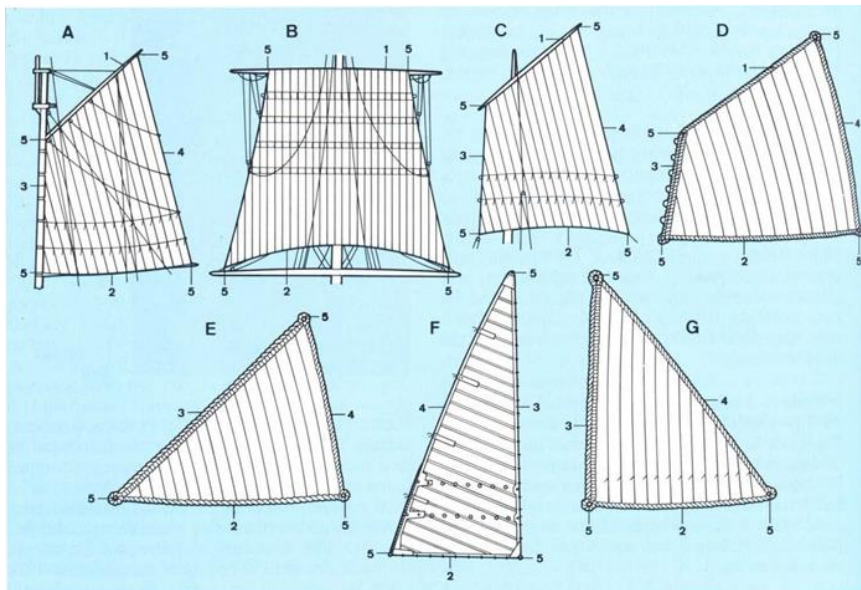
### 2.4.1. La vela

Una vela és cadascun dels elements de tela forta, que envergats en un arbre, en una antena, en una verga o en un estai d'una embarcació, serveixen per impulsar-la per mitjà del vent que incideix en elles. El conjunt de veles que una embarcació o un arbre porta desplegadas rep el nom de velam.

Les veles, tradicionalment han estat classificades segons la seva forma en veles triangulars o veles de tres punys, i veles quadrilàteres o de quatre punys, siguin rectangulars, trapezials o trapezoidals.

Són veles triangulars les veles llatines, les bermudianes, les guaires i els flocs, els estais i les escandaloses. Per altre banda, són veles quadrilàteres les auriques, les gàbies, les veles al terç, les veles místiques i alguns estais, escandaloses i flocs de quatre punys.





**Il·lustració 31: Tipus de veles. A, B, C i D, quadrilàters (A, aurica; B, gàbia; C, al terç; D, mística); E, F i G, triangulars (E, llatina; F, bermudiana; G, guaira). Font: FOTOTECA.CAT**

En aquest treball profunditzarem en la vela llatina, aparell amb el que tradicionalment els llaüts han estat equipats.

La vela llatina, com ja s'ha esmentat anteriorment pertany a la família de veles de tres punys i es caracteritza per ser una vela de tall<sup>25</sup>, dissenyada per navegar en zones de vents canvians. Permet navegar de cenyida<sup>26</sup> sense haver d'emprar rem.

## 2.4.2. Principi físic de la vela

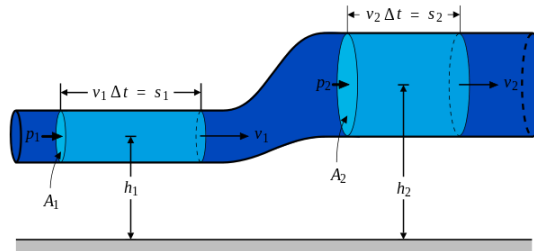
L'ús de les veles com a mitjà de propulsió es basa en el mateix principi físic que permet volar als avions, el Principi de Bernoulli

El Principi estableix que l'energia d'un fluid no viscos roman constant al llarg del seu recorregut per un conducte tancat. Aquesta energia ve determinada per tres components: l'energia cinètica,

<sup>25</sup>Vela triangular o trapezoidal que, quan és caçada al màxim, corre en sentit de proa a popa.

<sup>26</sup>Contra el vent.

energia deguda al moviment del fluid; l'energia potencial, energia deguda a l'altura del fluid; i la seva pressió.



Il·lustració 32. Principi de Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Equació 16. Expressió de Bernoulli.

Les variables  $P$ ,  $v$  i  $h$  fan referència a la pressió, velocitat i altura respectivament, per tant, analitzant l'equació, obtenim que si es consideren dos punts diferents (1 i 2), on les variables  $P$ ,  $v$  i  $h$  són diferents, el resultat de l'equació es manté constant. Això implica que l'augment o disminució de les variables al punt 1 implicarà ajustaments en el punt 2 per mantenir el mateix resultat. Traslladant-ho a una embarcació, l'energia potencial és sempre la mateixa ja que no hi ha diferència d'altura entre els punts, sent la pressió i la velocitat els components que es modificaran.

Quan es caça una vela, aquesta, a causa de la incidència d'aire sobre ella, comença a corbar-se, fent que la cara de la vela de sobrevent sigui cònca i la de sotavent sigui convexa. Aquesta curvatura provoca un gradient diferencial de velocitat, és a dir, el flux d'aire agafa major velocitat a la cara convexa i menys velocitat a la cara cònca. Com que els punts es troben a la mateixa altura, la diferència de velocitat implica que la pressió també varii. Donant com a resultat un augment de la pressió a la cara de la vela de sobrevent i una disminució d'aquesta a la cara de sotavent, provocant una acreixement de la curvatura de la vela i de la diferència de velocitat, augmentant encara més la pressió en la cara de sobrevent. La pressió resultant és la causant de l'empenta que impulsa l'embarcació (Kimball, 2009)

La quilla i en el cas de llaüt l'obra viva i la pala del timó, permeten que la barca no es desplaci en la direcció del vent sinó en la direcció desitjada.

### 2.4.3. Origen de la vela llatina

Tot hi que l'origen de la vela llatina no es coneix amb certesa, fins ben entrada la segona meitat del s. XX, era comunament acceptat que els inicis de la vela llatina tingueren lloc a l'Oceà Índic o el Mar Roig i que els navegants àrabs introduïren aquest tipus de vela a la Mediterrània després de la conquesta musulmana de tota la riba sud i la península Ibèrica (Oller i García-Delgado, 1996).

Fins a l'arribada dels àrabs musulmans a la Mediterrània no hi ha constància inqüestionable de l'existència de naus de grans dimensions aparellades amb vela llatina, a diferència dels daus àrabs<sup>27</sup>, naus tradicionals de l'Oceà Índic (Oller i García-Delgado, 1996).

Sí que hi ha constància, encara que molt discutida, de l'existència de vaixells de petites eslores amb aparell de vela llatina. Un baix relleu en una làpida trobada en una necròpolis grega datada al s. II d.C mostra el que sembla una barca equipada amb aquest aparell i a un mosaic trobat a Kelenderis (Turquia), datat al s.V, es representa el que també sembla una nau amb vela llatina (Oller i García-Delgado, 1996).



Il·lustració 33. Mosaic d'Aydincik. Font: <https://es.wikipedia.org>

<sup>27</sup>És un tipus de vaixell de vela tradicional dels països àrabs amb una o més veles llatines. Tradicionalment s'ha utilitzat a l'Oceà Índic, sobretot al llarg de la costa de la península Aràbiga, el Pakistan, l'Índia i l'Àfrica Oriental. El seu origen data d'entorn al 600 d.C.

Aquesta segona evidència és la més interessant, l'aparell representat dona peu a dues interpretacions. Es pot tractar d'una vela llatina o podria ser una vela quadrada que s'ha recollit per un dels costats i amb un dels extrems de la perxa lleugerament més baix que l'altre.

La segona lectura podria indicar-nos un possible origen de la vela llatina, un desenvolupament tecnològic propiciat per l'experiència dels mariners basat en la modificació del sistema vàlic utilitzat fins aquell moment, per tal d'aconseguir una navegació més eficient, la navegació de cenyida (Oller i García-Delgado, 1996).

#### **2.4.4. Història de la vela llatina**

Com ja s'ha comentat a l'apartat anterior, no és fins a finals del s. II a.C, a Grècia, que es troben les primeres representacions de la vela llatina. A partir d'aquesta primera evidència, es troben nombroses representacions que mostren que la vela va ser utilitzada per grecs i romans, aparellant embarcacions lleugeres, ajudada ocasionalment per rem.

No fou fins a l'Imperi Romà d'Orient, que apareixeran les primeres grans embarcacions amb més de quaranta metres d'eslora, arborats amb un, dos i fins i tot tres pals amb vela llatina.

A partir del s. VII, els àrabs adoptaren aquest tipus de vela i en perfeccionaren la tècnica. No fou fins al s. XI, arran de les Croades, que la vela llatina prengué un paper hegemònic en la Mediterrània (Oller i García-Delgado, 1996).

Entre els s. XV i XVII la galera, nau de guerra per excel·lència, combinava vela llatina amb rem. Posteriorment apareixerien els xabecs, que prioritzaven la vela sobre els rem. Caravel·les, carraques, coques i altres grans navilis feren servir veles llatines fins que a la segona meitat del s. XVIII foren substituïdes pel tipus de vela de ganivet cangrea, vela introduïda pels holandesos.

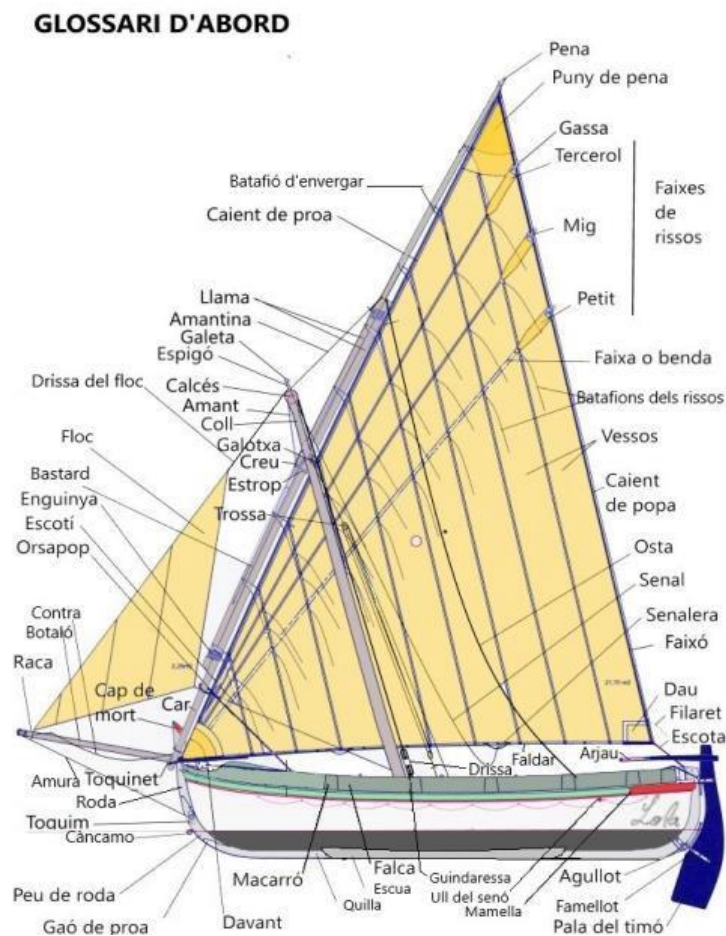
A partir del s. XV a la conca hanseàtica, s'inicià una nova etapa d'evolució tècnica de les embarcacions que donà com a resultat l'augment del nombre de pals, la combinació de veles quadres amb llatines i de la seva superfície. Exemples d'això són les naus i caravel·les, amb les que es va explorar la costa africana i es va descobrir Amèrica. A mesura que apareixien noves

combinacions de vels i nous tipus d'aparells, la vela llatina començà a adoptar un paper secundari en la navegació (Oller i García-Delgado, 1996).

A partir de la consolidació del vaixell a vapor al s. XIX i a mesura de la millora de les vies de comunicació terrestres, la vela llatina a poc a poc veurà reduïda la seva utilització a les embarcacions lleugeres de cabotatge de la costa mediterrània. En aquests territoris la vela llatina romandrà fins a la desaparició de la societat tradicional, quedant un ús testimonial en l'àmbit dels esports.

### 2.4.5. L'aparell llatí

A continuació, s'utilitza la terminologia específica per definir l'aparell llatí. Per tal de simplificar la tasca al lector no expert en la matèria, s'adjunta un dibuix on s'indiquen els noms de tots els elements de l'aparell llatí.



Il·lustració 34. Glosari de l'aparell llatí. Font: *L'art de navegar a vela llatina i vela al terzo* (p.7), MMB, 2020  
Pàgina 84 de 142

L'aparell llatí consta d'arboradura, eixàrcia i velam específics. Està format per un arbre i l'antena que el creua, generalment formada per dues peces, el car i la pena. De l'antena se suspèn la vela triangular, característica d'aquest aparell.

Gràcies a l'encertada morfologia de la vela, es possible orientar l'antena prenent qualsevol posició o inclinació respecte de l'eix de cruixia. L'antena queda suspesa per un sol punt, la creu, i el pal no té obencs ni estais pel que l'antena pot pivotar lliurement.

La majoria d'embarcacions també utilitzen una vela de proa que pot ser el foc<sup>28</sup>, la pollacra<sup>29</sup> i el pollacrí o menjavents<sup>30</sup>; que va muntada entre l'arbre i el botaló<sup>31</sup>.

Les embarcacions més grans també arboren un pal de mitjana que suporta una altra vela llatina que sobresurt per la popa amb l'ajut d'un altre pal, el botafora.

Les veles, tradicionalment de cotó, lli ò cànem, es fan amb bandes verticals, vessos, i se'ls afegeix reforços: la ralinga, corda de cànem al caient de proa; el faldar, corda amb gasses de mà per aquarterar en virar per avant; i el filaret o barnilla, al caient de popa. Les zones exposades al fregament com les gasses del puny de car i del puny d'escota, es folren de cuir.

Per reduir la superfície vèlica, les veles porten dues o tres faixes de rissos, que poden ser lligades fent que quedi més petita. D'això se'n diu agafar rissos.

Abans de la incorporació de motor de combustió a la nàutica, s'acostumava a tenir tres veles: la d'estiu, amb major superfície vèlica; la bastarda i la d'hivern, amb la menor superfícies.

## 2.4.6. Els aparells de maniobra

Per navegar amb aparell de vela llatina són necessaris només set maniobres, cinc de principals i dues que es poden considerar auxiliars. Les principals són: la drissa, l'orsapop, la

---

<sup>28</sup>Vela de tallant de forma triangular que va envergada a un estai de proa

<sup>29</sup>Vela triangular que va a proa d'alguns llaüts i barques

<sup>30</sup>Vela de petites dimensions emprada en les embarcacions de pesca per a accelerar la marxa.

<sup>31</sup>Pal que sobresurt de l'embarcació per davant de la proa, bauprès en velers més grans.

trossa, el davant i l'escota; les auxiliars, també coneguts com aparellats, són: l'osta i l'amantina (Oller i García-Delgado, 1996).

La drissa i la trossa s'usen per assegurar i hissar la vela. La primera és un simple cap que se subjecta a l'estrop<sup>32</sup> de la creu de l'antena amb una lligada de pardal, passa pel calcés, de popa a proa, i es fa ferma a una cornamusa del pal. Per a embarcacions menors als sis metres, aquesta té el doble de longitud que l'arbre i per a embarcacions de major eslora el conjunt format per l'antena i vela requereix d'una drissa més potent formada per un cap que en un dels seus extrems forma l'estrop de l'antena, el segueix l'amant que passa pel calcés i fina afirmada a un bossell fermat a la carlinga.

La segona té dues parts ben diferenciades, les menes i la drissa de la trossa, i dues funcions específiques: la primera la d'assegurar l'antena contra el pal i la segona, reforçar l'arbre contra els embats del vent i del mar, actuant com a obenc de sobrevent d'una vela convencional. Les menes és la part de la maniobra que manté units l'arbre i l'antena. Està format per una corda doble i del mateix diàmetre que l'utilitzat per elaborar la drissa. Aquesta corda en un dels seus extrems té el trauc de les menes, una gassa, i a l'altre té muntat un guardacaps de fusta. Les menes abraça l'antena i el pal fent passar la gassa pel guardacaps. La drissa de la trossa, en un dels seus extrems té una gassa per la que es passa el trauc de les menes i es passa un passador, el cassanell. A l'altre extrem hi ha un guardacaps d'un sol pas d'on parteix la tira, una corda que ha de tenir una longitud mínima equivalent a tres vegades la de l'arbre. La tira passa per un bossell fermat a la carlinga (Oller i García-Delgado, 1996).

La maniobra del davant és de vital importància en totes les embarcacions de vela llatina ja que fixa la inclinació de l'antena. En cas de deixar-lo lliure, l'antena bascularia, inclinant-se cap a popa, ja que el pes del tros d'antena que queda a popa de la creu és major que el de proa. El davant és un cap que en un dels seus extrems hi té una gassa de dimissions suficients per poder-hi passar el penol del car de l'antena, a continuació passa per la garlopa i finalment es fa ferma a sotavent en la cornamusa de l'orla situada més a proa.

A la maniobra de la orsapop, en un dels seus extrems hi té una gassa que es mou lliurement per l'extrem inferior del car, tot seguir passa per un guardacaps i acaba fent-se ferma en un cornamusa, aquesta depèn d'on rebí el vent la vela (Oller i García-Delgado, 1996).

---

<sup>32</sup>Tros de corda entollat pels dos caps.

L'acció combinada del davant i de l'orsapop serveixen per bracejar l'antena, el primer gradua la seva inclinació i el segon l'angle que forma amb la cruïxa de la barca.

Gràcies a l'escota es pot graduar la bossa de la vela i per tant la posició del centre vèlic. Aquesta és una corda gruixada lleugerament més llarga que l'antena. És feta a la gassa del puny d'escota de la vela, es du fins a popa per darrera de la roda, es passa per l'escotera de la roda de popa i finalment es fa ferma a la cornamusa de l'orla de sobrevent de popa.

Les maniobres auxiliars no són imprescindibles per a la navegació, són utilitzades en casos puntuals per tal de que l'aparell no sofreixi tant.

La maniobra de l'osta, per un dels seus extrems abraça la pena de l'antena a l'altura que es solapa amb el car, i per l'altre extrem es fa ferma a una de les cornamuses de l'orla de popa. Aquesta maniobra és utilitzada per reforçar l'antena i per tant, només és utilitzada quan és navegant amb vents frescos que obliguen a navegar al llarg, per l'aleta o d'empopada, ja que la força del vent pot sotmetre l'antena a esforços considerables.

L'amantina, també maniobra auxiliar, s'utilitza només quan hi ha mar i l'antena capoteja. En aquests casos també ajuda al davant en la tasca de mantenir l'antena inclinada. En un dels seus caps hi té una gassa que abraça el car en el punt en que se solapa amb la pena, l'altre extrem es fa ferma a una de les cornamuses de l'orla de proa.



## 2.4.7. Càlculs per arborar una llaüt amb vela llatina

Els càlculs que es mostren a continuació són els pertinenent per arborar un llaüt qualsevol a vela llatina.



Il·lustració 35: Llaüt amb arbre i messana. Font: Javier Calbet

El procediment que es descriu es basa en els apèndixs *Cálculo para arborar una barca con vela latina* (P.199), del llibre *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006).

Abans de començar s'ha de tenir clar a quin fi es vol dedicar l'embarcació, nàutica d'esbarjo, de treball o de regat, ja que aquest determina les característiques de l'aparell. En aquest cas, la barca es destinarà a la navegació d'esbarjo.

### 2.4.7.1. Llast

Per a navegar a vela, disposi de motor o no, es recomanable llastar l'embarcació. El llast ha d'estar compost per dos tipus diferents de pesos, el llast fix i el mòbil. El fix ha d'estar format per barres de plom o de fosa, col·locats el més pròxim possible de la quilla, per tal de baixar el centre de gravetat, i proper a la quaderna mestre, evitant modificar el seient de l'embarcació. El pes a afegir correspon a 45/50 Kg per metre d'eslora, descomptant el pes del motor, que també compta com a llast fix. El mòbil, es compon per sacs d'arena que es col·locaran segons convinguin. En cas de navegar molt a motor o amb poc vent, es pot prescindir d'ell (Oller i García-Delgado, 1996).

El desplaçament ideal per a una embarcació de 5 metres que navegui a vela es troba entorn als 130 Kg/ m. eslora. Cal remarcar que la quantitat de llast necessari per a una embarcació va en funció de les formes del buc, a una barca de 4 metres n'és suficient amb dues persones i a una barca de 10 metres, fan falta 3,5 tones de llast.

#### **2.4.7.2. Centres geomètrics**

Gràcies al coneixement de la mecànica vectorial, és sabut que el sumatori dels petits esforços que incideixen en una superfície qualsevol, dona lloc a una força resultant que té el seu punt d'aplicació en el centre geomètric de la superfície en qüestió.

Una embarcació impulsada a vela, és un sistema dinàmic de forces i per tant té un seguit de centres geomètrics: el centre de gravetat, el centre de carena, el centre de deriva lateral i el centre vèlic. Els tres primers corresponen al buc i el darrer a la vela.

En funció de la posició relativa de la projecció vertical del centre vèlic sobre la línia de flotació, respecte a les projeccions del centre de carena i deriva lateral del buc, la barca serà apta per navegar amb suaus brises o forts vents, cenyirà bé o navegarà bé amb vents portants, serà ardent o tendirà a mantenir el rumb.

Es per això que el primer que s'ha de conèixer són les ubicacions exactes dels diferent centres per poder calcular la vela.

Per tal que l'embarcació sigui estable i escori poc quan navegui amb vents contraris, s'ha de procurar que el centre de gravetat se situï el més a baix possible.

En el cas de situar el centre de carena, de deriva lateral i vèlic en la mateixa vertical, s'aconsegueix una embarcació neutre, de fàcil maniobra i ardent. Si se situa el centre vèlic per davant dels altres dos, serà bona navegant amb vents portants. En canvi, en una posició entre el centre de carena i de deriva, serà bona per navegar en tots els rumbos.

Per tal de dotar al llaüt amb l'aparell més òptim, és recomanable situar el centre vèlic per davant del centre de deriva lateral i una mica atraçat respecte al centre de carena del buc.

Al nostre llaüt, dissenyat per ser propulsat a motor, l'empenyiment de l'hèlix provoca que la proa s'aixequi i que la popa es clavi. Per aquest motiu, el buc té la popa plena provocant que el centre de carena estigui a popa de la quaderna mestra.

El centre de gravetat, com ja s'ha comentat amb anterioritat, ha d'estar situat el més a baix possible, aquesta disposició atorga major estabilitat a la barca.

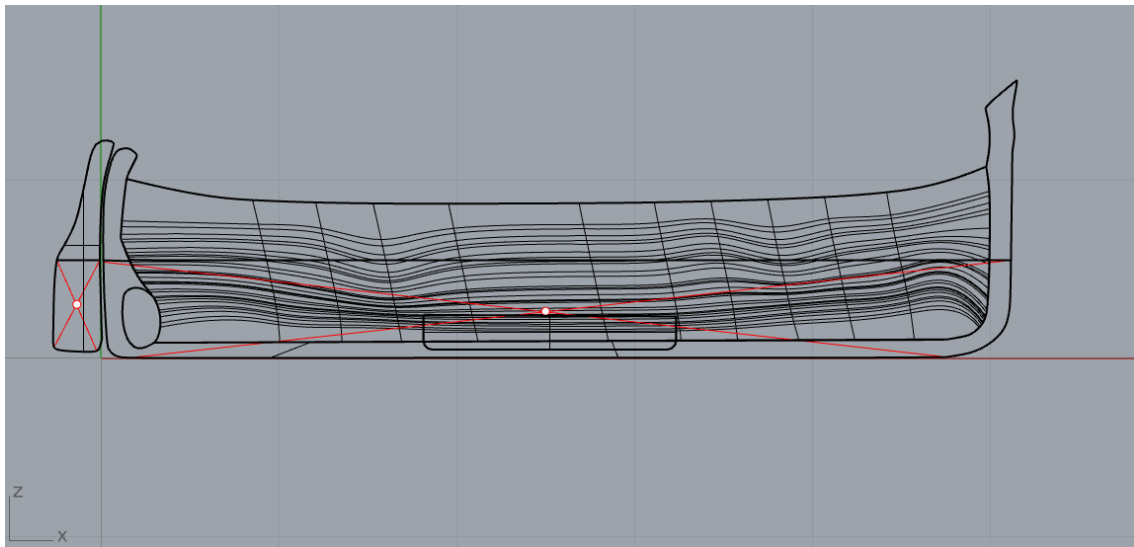
Amb el llaüt en repòs, el centre de gravetat ha d'estar en la mateixa vertical que el centre de carena. Tot hi això, en navegació es pot jugar amb el llast mòbil per tal de desplaçar lleugerament el centre de gravetat i d'aquesta manera poder fer petites correccions.

Pel que fa a la ubicació del centre de deriva lateral, és la més rellevant a l'hora de determinar la posició relativa del centre vàlic i la forma de la vela. Per norma general, una embarcació tradicional, té el centre de deriva lateral a uns 7,5 % de l'eslora entre perpendiculars, per darrere de la quaderna mestre.

#### **2.4.7.3. Càlcul**

El punt de partida per poder calcular aquest apartat és la vista de perfil del nostre model de llaüt.

Per tal de poder calcular el centre de deriva, és necessari trobar els centres geomètrics de l'obra viva del buc i pala del timó a més de les seves superfícies. El centre geomètric es torba en les interseccions de les diagonals dels rectangles irregulars inscrits en la part submergida del timó i buc. Un cop trobats, se'ls s'anomena  $Cg_1$  i  $Cg_2$  respectivament.



Il·lustració 36: Posició dels centres geomètrics de la pala del timó i del buc. Font: Pròpia

Per mitja del comandament *Área*, havent seleccionat les superfícies que ens interessin prèviament, s'obtenen les àrees de la meitat de l'obra viva de l'embarcació.

$$\text{Superfície de l'obra viva del timó } (S_1) = 0.1339 \text{ m}^2$$

$$\text{Superfície de l'obra viva del buc } (S_2) = 4.3471 \text{ m}^2$$

Coneguts  $Cg1$ ,  $Cg2$ ,  $S1$  i  $S2$ , es traça la recta que uneix els dos centres geomètrics.

Seguidament es traça una recta de referència qualsevol  $A$ ,  $A'$  paral·lela a la línia de flotació, i és mesura la distància entre aquesta i  $Cg1$  i  $Cg2$ . Distància que es nombraran  $d1$  i  $d2$  respectivament.

$$\text{Distància } A, A' \text{ a } Cg1 (d1) = 2.3108 \text{ m}$$

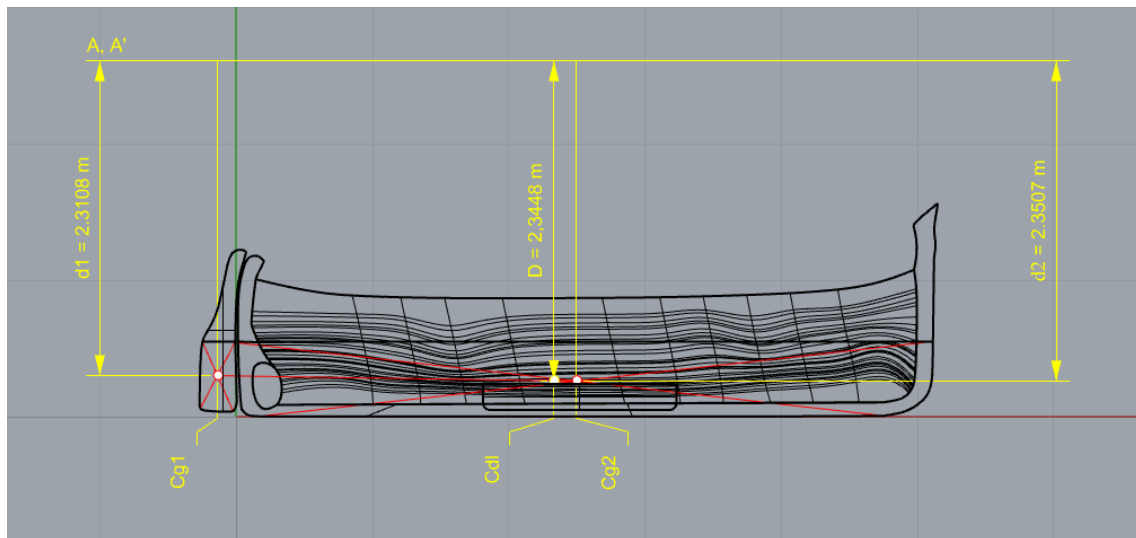
$$\text{Distància } A, A' \text{ a } Cg2 (d2) = 2.3507 \text{ m}$$

Aplicant la següent fórmula es calcula  $D$ , distància a la que es troba el centre geomètric total de l'embarcació respecte a la recta de referència  $A$ ,  $A'$ .

$$D = \frac{(S_1 \times d_1) + (S_2 \times d_2)}{S_1 + S_2} = 2,3488 \text{ m}$$

Equació 17. Càlcul centre geomètric. Font: *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006).

Es traça una recta paral·lela a  $A, A'$  a la distància  $D$ . La intersecció entre aquesta recta i la recta que uneix  $Cg1$  i  $Cg2$  correspon al centre de deriva lateral ( $Cdl$ ) de la nau.

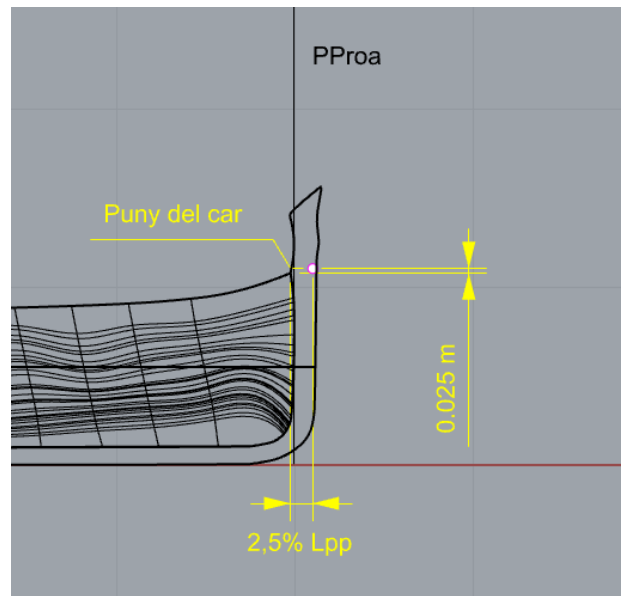


Il·lustració 37: Cotes respecte a la recta de referència i posició del Cdl. Font: Pròpia

Una vegada coneguts els diferents centres geomètrics del llautí es passa a calcular el centre geomètric de la vela ( $CgV$ ). Aquest centre correspon al baricentre<sup>33</sup> de la vela a aparellar. Per aquest motiu el primer que s'ha de fer és calcular la posició dels vèrtex de la vela, els punys.

La posició del puny del car és el punt de partida del càlcul de la posició de la resta de punys. Aquesta determina les condicions marineres de l'embarcació de vela llatina. Aquest vèrtex se situa a 2,5 cm per sobre de la regala de proa i ha de sobresortir un 2,5 % de l'eslora entre perpendiculars ( $Lpp$ ).

<sup>33</sup>El baricentre d'un triangle és el punt que es troba a la intersecció de les mitjanes, línies que uneixen els vèrtexs i el punt mitjà del costat oposat.



Il·lustració 38: Detall de la posició del puny del car. Font: Pròpia

Un cop ubicat el puny del car es passa a calcular el puny d'escota. L'altura d'aquest segon vèrtex ve donada per la següent expressió:

$$\text{Alt. puny d'escota} = \text{Alt. puny del car} \times 1,02 = 1,1040 \times 1,02 = 1,1261 \text{ m}$$

El següent a calcular és la longitud del gràtil, aquest es coneix de la següent manera:

$$L. \text{ gràtil} = L_{pp} \times G$$

On :

$$L_{pp} = 4,885$$

I  $G$  s'obté de la següent taula:

Eslora / Manega (L/B)	Coef. G
2,5	2,1
2,7	2
2,9	1,9
3,05	1,8
3,2	1,7
3,4	1,6
3,6	1,5

Taula 16: Obtenció de  $G$  a partir de la relació Eslora/Mànega. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)

La relació L/B del nostre llaüt és de 3,129; interpolant s'obté que el coeficient G és 1,747.

A coeficient G fa referència a la guinda de l'embarcació, a major G major guinda.

Retornant a la fórmula de la longitud del gràtil, ens queda:

$$L. \text{ gràtil} = 4,885 \times 1,747 = 8,534 \text{ m}$$

**Equació 18. Longitud del gràtil. Font: nuestra vela latina, per F.Oller i V.Garcia-Delgado.**

Un cop sabut el Gràtil es calcula dues quintes parts d'aquest:

$$\frac{2}{5} \text{ del gràtil} = 3,414 \text{ m}$$

A continuació es traça un nou sistema de referència ortogonal prenent la línia de flotació com a eix d'abscisses i com a eix d'ordenades la recta que passa pel puny del car, sent el (0,0) la intersecció dels dos eixos.

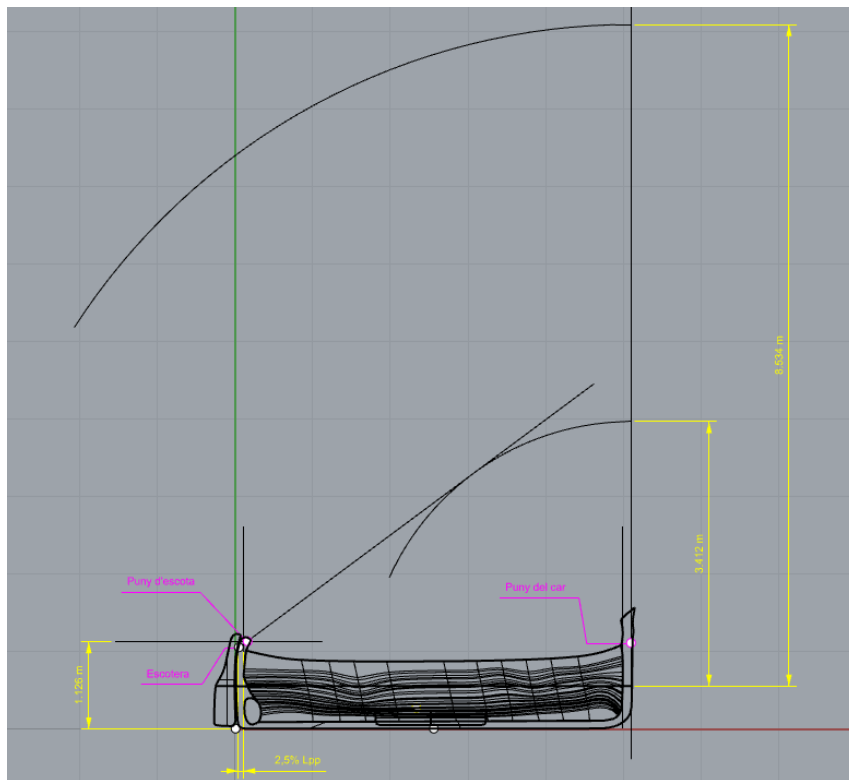
A l'eix vertical, partint de l'origen, es fan dos arcs de quart de circumferència amb radis de  $L. \text{ gràtil}$  i, començant a l'eix vertical i continuant cap a popa del llaüt.

Ara ja es pot obtenir la posició del puny d'escota. La seva altura, respecte a la quilla, ha d'estar un 2% de la  $L_{pp}$  per sobre del puny del car.

$$A. \text{ puny d'escota} = 1,02 \times A. \text{ puny del car} = 1,02 \times 1,104 = 1,126 \text{ m}$$

**Equació 19. Posició puny d'escota. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006).**

Una vegada coneguda l'altura, es traça una paral·lela a la línia de flotació per aquest punt. Saber la posició de l'escotera és necessari per trobar el puny d'escota, aquesta es troba a 2,5% de la  $L_{pp}$  des de la perpendicular de popa ( $PPopa$ ) cap al més a popa possible. Un cop ubicada, des d'aquest punt es dibuixa una tangent a l'arc amb radi de ?. La intersecció d'aquesta tangent amb la recta de l'altura del puny d'escota, és la ubicació del segon vèrtex de la vela.



Il·lustració 39: Posició del puny d'escota i traçat de L.gràtil. Font: Pròpia

Per poder saber la ubicació del darrer vèrtex, el puny de pena, és necessari calcular la longitud de la baluma.

$$L. baluma = L. gràtil - (L. gràtil \times \frac{B}{27})$$

Equació 20. Longitud de la baluma. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)

On B s'obté de la següent taula:

Coef. B	C.vel/C.der m(%Lpp)
1,5	8,23
1,6	8,02
1,7	7,8
1,8	7,59
1,9	7,38
2	7,18
2,1	6,78

Taula 17: Obtenció de B en funció de la relació Centre vèlic/Centre deriva. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)



El criteri d'elecció de coeficient és el següent, s'escull el valor que situï la projecció del  $CV$  entre  $Cdl$  i el  $Cg2$  a ser possible a una distància d'1% de la  $Lpp$  del centre de carena del buc.

Per trobar el  $CV$  es fa el següent, s'escull un valor de  $B$  i es calcula la longitud de la baluma.

De la mateixa manera que s'ha fet amb el gràtil es dibuixa un nou sistema de referència ortogonal prenent la línia de flotació com a eix d'abscisses i com a eix d'ordenades la recta que passa pel puny d'escota, sent el  $(0,0)$  la intersecció dels dos eixos. A l'eix vertical, partint de l'origen, es fa un arc de circumferència fins a tallar amb l'arc que té com a radi  $L.baluma$ . La intersecció entre els dos arcs correspon al tercer vèrtex de la vela, el puny de pena.

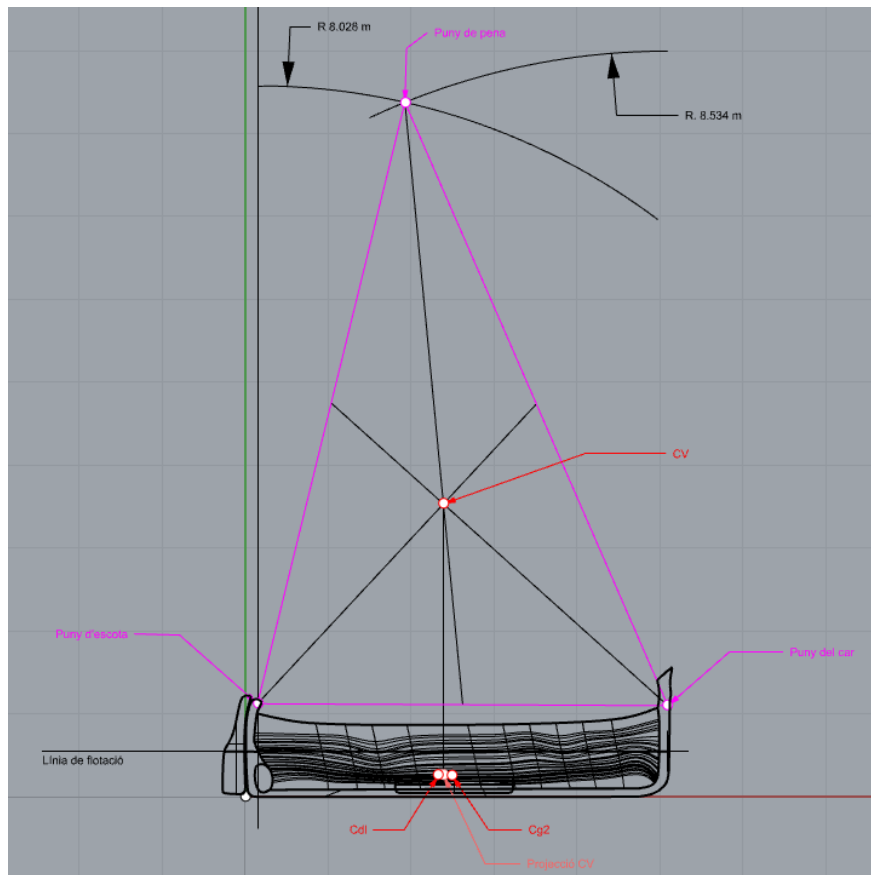
Un cop sabuda la ubicació dels tres punys, es traça el triangle que els uneix i es calcula el seu baricentre, centre vàlic de l'embarcació. Fent la projecció d'aquest sobre la recta que uneix  $Cdl$  i  $Cg2$ , es pot valorar si la  $B$  escollida compleix els criteris establerts.

En aquest cas, per  $B = 1,5$  i  $1,6$  el primer criteri es compleix, en canvi el segon només és dóna per a  $B = 1,6$ .

D'aquesta manera el valor de la longitud de la baluma ens queda:

$$L.baluma = L.gràtil - \left( L.gràtil \times \frac{B}{27} \right) = 8,534 - \left( 8,534 \times \frac{1,6}{27} \right) = 8,028 \text{ m}$$

**Equació 21. Valor longitud baluma. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**



**Il·lustració 40: Ubicació del puny de la pena i del CV. Font: Pròpia**

Arribats a aquest punt, s’ha de calcular la posició, inclinació i longitud del pal. Per poder-ho trobar el que primer s’ha de calcular és la longitud de l’antena i de la fletxa de l’antena.

$$L. \text{ antena} = L_{pp} \times G \times 1,030 = 8,790 \text{ m}$$

$$L. \text{ fletxa} = L. \text{ antena} \times 0,0265 = 0,233 \text{ m}$$

**Equació 22. Longitud antena i fletxa. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**

Partint del mut mitja del gràtil es traça una perpendicular i amb aquesta intersecció com a origen es marca la distància  $L_{fletxa}$  sobre la perpendicular. Amb l’eina Corba: interpolar punts del programa CAD s’uneixen el puny de pena amb el puny del car passant pel punt trobat a la perpendicular de la mediatriu del gràtil. La corba resultant és l’antena i la seva creu es troba en la intersecció de l’arc amb radi amb ella.

Ara ja es pot passar a calcular la posició del pal. El punt d’ancoratge del pal sobre el fons del buc prenent com a punt de referència , ve donat per aquesta expressió:

$$\text{Dist. cap a proa} = \frac{L_{pp}}{2} \times 0,031 = 0,076 \text{ m}$$

**Equació 23. Posició del pal.** Font: *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006)

Tot seguit, es calcula la longitud del pal, aquesta és el resultat de la suma de la longitud útil de treball del pal, la del calcés, la de l'espigó i la de la galeta.

$$L. \text{útil de treball del pal} = L_{pp} \times M$$

**Equació 24. Longitud de treball del pal.** Font: *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006)

On  $M$  s'extreu de la següent taula:

Eslora / Manega (L/B)	Coef. M
2,9	0,96
3,05	0,92
3,2	0,89
3,4	0,85
3,6	0,82
3,9	0,79
4,25	0,76

**Taula 18: Obtenció de  $M$  a partir de la relació Eslora /Manega.** Font: *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006)

Sabent que la L/B del llaüt és 3,129; interpolant s'obté que el coeficient  $M$  és 0,904.

Per tant:

$$L. \text{útil de treball del pal} = L_{pp} \times M = 4,885 \times 0,904 = 4,417 \text{ m}$$

**Equació 25. Longitud útil de treball del pal.** Font: *Nuestra vela latina*, (Oller i García-Delgado, 2006)

Per calcular la resta de longituds és necessari calcular els diferents diàmetres del pal.

$$D. \text{afogament} = \frac{L. \text{útil de treball del pal}}{40} = 0,110 \text{ m}$$

$$D. coll = \frac{D. afogament}{1,9} = 0,058 m$$

$$D. metxa = D. afogament \times \frac{4}{5} = 0,046 m$$

**Equació 26. Distància afogament, coll i metxa .Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**

Un cop sabuts els diferents diàmetres del pal, es pot seguir calculant la longitud d'aquest.

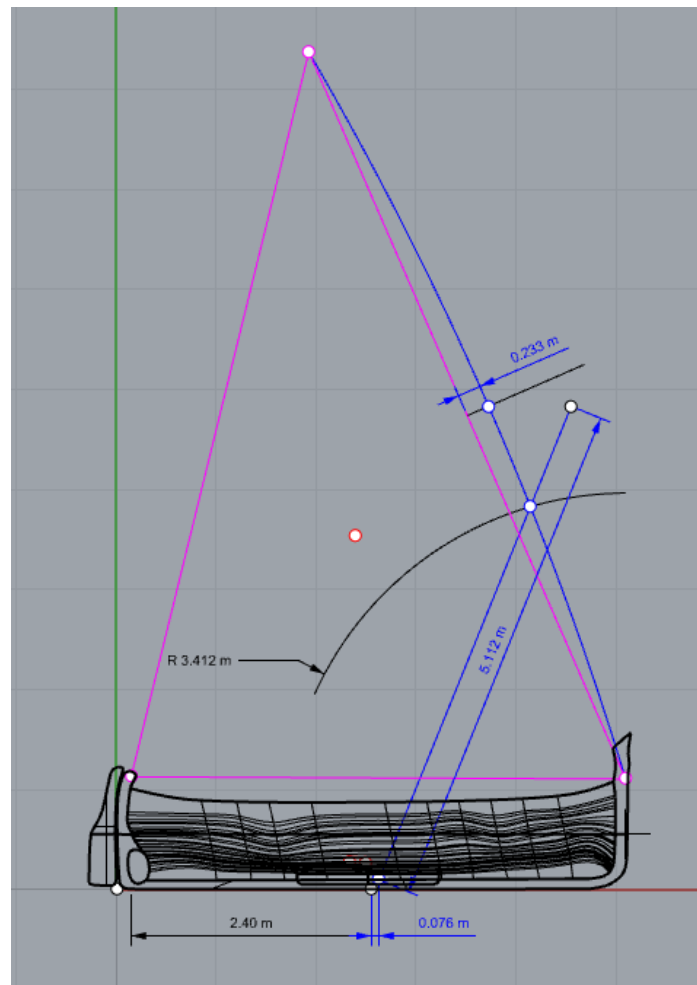
$$L. calcés = D. coll \times 4 = 0,058 \times 4 = 0,232 m$$

$$L. espigó = D. coll \times 0,66 = 0,058 \times 0,66 = 0,087 m$$

$$L. galeta = \frac{D. coll}{3} = \frac{0,058}{3} = 0,019 m$$

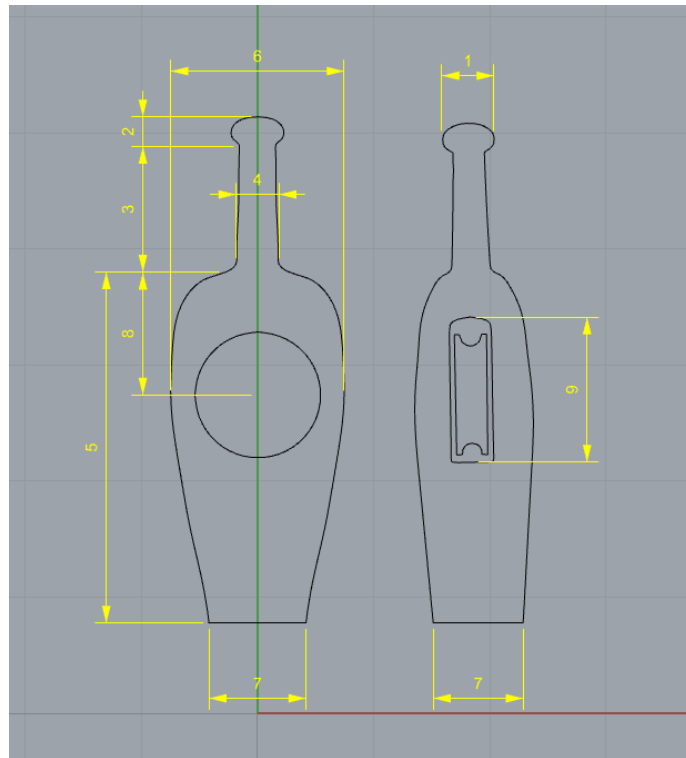
**Equació 27. Longitud calcés, espigó i galeta. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**

Sumant aquestes quatre longituds s'obté que el pal ha de fer 5,112 m



Il·lustració 41: Dimensions del pal i de l'antena. Font: Pròpia

Un cop trobades les dimensions generals del pal, es passa a calcular les característiques dels diferents elements que el forment.



Il·lustració 42: Detall de les mesures de l'extrem del pal. Font: Pròpia

$$1) D. galeta = D. coll \times 0,066 = 0,058 \times 0,066 = 0,0383 \text{ m}$$

$$2) L. galeta = \frac{D. coll}{3} = \frac{0,058}{3} = 0,019 \text{ m}$$

$$3) L. espigó = D. coll \times 0,66 = 0,058 \times 0,66 = 0,087 \text{ m}$$

$$4) D. espigó = D. coll \times 1,5 = 0,058 \times 1,5 = 0,087 \text{ m}$$

$$5) L. calcés = D. coll \times 4 = 0,058 \times 4 = 0,232 \text{ m}$$

$$6) \text{Amplada cruixia calcés} = D. coll \times 2 = 0,058 \times 2 = 0,116 \text{ m}$$

$$7) \text{Ample traves calcés} = D. coll = 0,058 \text{ m}$$

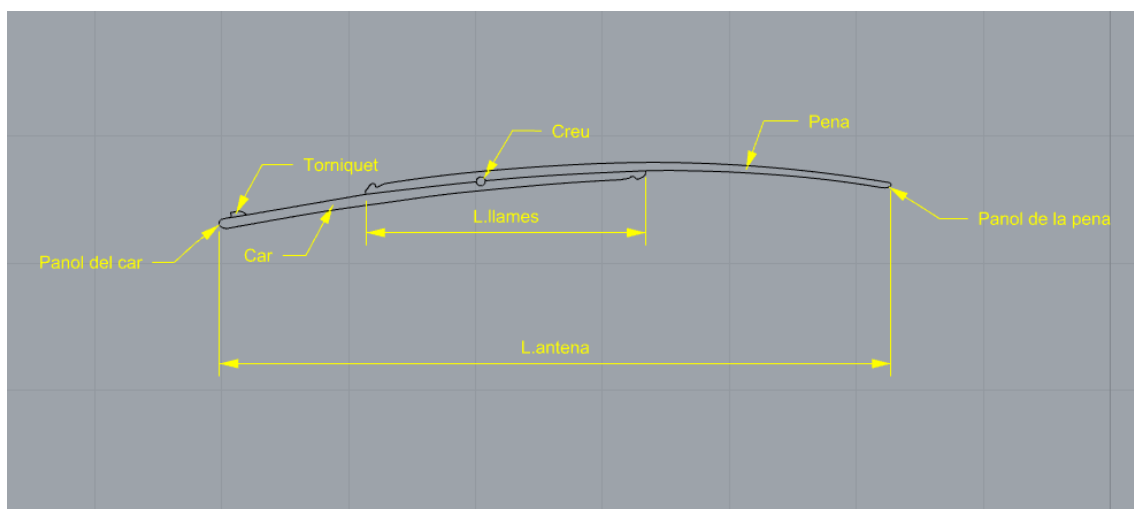
$$8) \text{Eix topall pal} = L. calcés \times \frac{2}{5} = 0,232 \times \frac{2}{5} = 0,093 \text{ m}$$

$$9) \text{Altura granera} = L. calcés \times 0,55 = 0,232 \times 0,55 = 0,128 \text{ m}$$

$$10) \text{Amplada granera} = \frac{D. \text{coll}}{3} = \frac{0,058}{3} = 0,019 \text{ m}$$

**Equació 28. Característiques diferents elements. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)**

A continuació es repetirà el procés però aplicat als elements de l'antena. Aquesta esta composta per dues perxes, el car i la pena, unides entre elles per dues lligada de cap. Les dues perxes són cilíndriques menys a la part en que se solapen, anomenada llames.



**Il·lustració 43: Detall de les mesures i elements de l'antena. Font: Pròpia**

$$L. \text{ antena real} = 7,950 \text{ m}$$

$$L. \text{ fletxa} = 0,233 \text{ m}$$

$$L. \text{ llames} = L. \text{ antena} \times \frac{2}{5} = 7,950 \times \frac{2}{5} = 3,180 \text{ m}$$

$$\text{Creu desde el penol del car} = L. \text{ llames} = 3,180 \text{ m}$$

$$L. \text{ car} = L. \text{ antena} \times \frac{3}{5} = 7,950 \times \frac{3}{5} = 4,770 \text{ m}$$

$$D. \text{ del car a la creu} = \frac{L. \text{ antena}}{150} = \frac{7,950}{150} = 0,053 \text{ m}$$

$$D. \text{ del car en el penol} = D. \text{ del car a la creu} \times \frac{3}{4} = 0,053 \times \frac{3}{4} = 0,039 \text{ m}$$

$$\text{Distància del torniquet al car} = L. \text{ car} \times 0,01 = 4,770 \times 0,01 = 0,048 \text{ m}$$

$$L. \text{pena} = L. \text{antena} \times \frac{4}{5} = 7,950 \times \frac{4}{5} = 6,360 \text{ m}$$

$$D. \text{ de la pena a la creu} = D. \text{ del car a la creu} = 0,053 \text{ m}$$

$$D. \text{ en el penol de la pena} = D. \text{ de la pena a la creu} \times \frac{3}{5} = 0,053 \times \frac{3}{5} = 0,032 \text{ m}$$

*Equació 29. Mesures d'elements. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)*

Per acabar aquest apartat, el darrer que s'ha de calcular és la carlinga del pal. La seva mida ve determinada per la de l'arbre i ha d'abraçar 6 quadernes.

$$L. \text{ carlinga} = \text{Dist. entre quadernes} \times 6 = 0,364 \times 6 = 2,184 \text{ m}$$

$$\text{Ample carlinga} = \frac{L. \text{ pal}}{40} = \frac{5,112}{40} = 0,128 \text{ m}$$

$$\text{Altura carlinga} = \frac{D. \text{ afogament pal}}{3} = \frac{0,110}{3} = 0,037 \text{ m}$$

*Equació 30. Mesures carlinga del pal. Font: Nuestra vela latina, (Oller i García-Delgado, 2006)*



*Il·lustració 44: Llaüt amb l'aparell calculat. Font: Pròpia*





# CAPÍTOL 3: Viabilitat: Estètico-Històrica, Estabilitat Estàtica, Homologacions, Expedicions i Pressupost

## 3.1. Viabilitat estètico-històrica

Com ja s'ha explicat, pel fet de ser el llaüt una embarcació amb una llarga història, existeix un ampli consens de quins són els elements que el defineixen: barca pescadora de mitjana eslora amb la roda de proa i popa llançades, la de proa amb el nas alt i sobresortint guarnida amb el típic capiró al seu capdamunt, embarcació de la classe popular, de la llibertat i l'autonomia present a la cultura illenca des de segles enrere...

A l'hora de proposar l'evolució del llaüt és important tenir en compte si és compatible amb els tret essencials que fan d'aquesta barca un llaüt. No es tracta de proposar unes modificacions que semblin interessants però que desvirtuïn els elements definitoris d'un llaüt. Considerem que la instal·lació d'un motor elèctric i vela llatina, és viable en termes estètics i històrics. Pel que fa a l'arborament no suposa grans dificultats ja que tradicionalment els llaüts han estat impulsats així. Respecte a la remotorització elèctrica la qüestió podria ser més controvertida, però, tenint en compte que des dels anys 20 del segle passat els llaüts substituïren les veles per motors de combustió interna, la transició de motors d'aquest tipus a motors elèctric no hauria de plantejar dificultats. Els motors elèctrics en termes estètics no tenen major impacte que els motors d'explosió, i a més presenten la avantatge de tenir un impacte acústic molt menor. Si a això s'hi afegeix el fet que les emissions contaminants es redueixen es pot concloure que la instal·lació d'un motor elèctric és una operació respectuosa amb l'essència del llaüt, fins al punt que de recuperar algunes característiques que durant segles havien definit aquest tipus d'embarcació i havien estat oblidades com a conseqüència de la introducció del motor de combustió.

## 3.2. Estabilitat estàtica

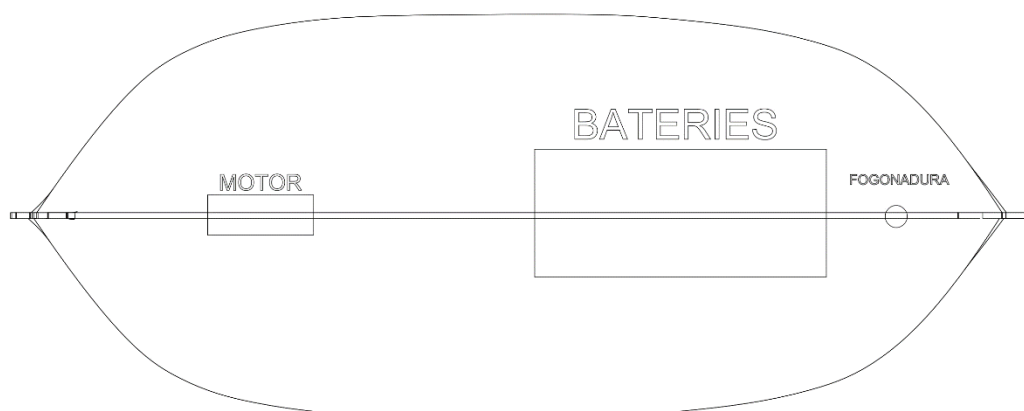
Un cop plantejades les modificacions del sistema de propulsió i de l'aparell de vela llatina, es procedeix a realitzar la distribució dels nous elements del vaixell, per tal de que compleixin els criteris d'estabilitat.

A la següent taula s'observen les coordenades dels centres de gravetat dels diferents elements a instal·lar i del buc.

Element	Massa (kg)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Buc	1145	2,905	0	0,3
Motor Elèctric	60	1,25	0	2,755
Bateries	244	3,355	0	2,805
Arbre	30	4,43	0	2
	<b>1479</b>			

Taula 19. Distribució de pesos. Font: pròpia.

Per facilitar la comprensió de la distribució d'elements, es realitza un plànol de la planta del vaixell amb la disposició a escala del motor elèctric, del banc de bateries i de l'enfognament.



Taula 20. Plànol disposició elements. Font: Pròpia.

De la taula i imatges superiors s'observa que la posició de l'enfognament s'ha avançat i en el seu lloc s'hi ha instal·lat el banc de bateries. Aquesta operació s'ha portat a terme per tal de

distribuir els pesos de manera que el seient de la barca no es comprometés. El desplaçament de l'enfognament és possible sempre hi quan l'arbre, pel costat de popa, no prengui angles negatius i la creu no es desplaça.

Per tot això es pot concloure que el projecte de modificació del sistema de propulsió no compromet la estabilitat estàtica de la barca.

### 3.3. Homologacions i expedicions

A l'hora de realitzar les modificacions suggerides, s'ha de tenir en compte si obeeixen les normatives reguladores. En aquest cas, tots els elements del sistema de propulsió mecànic, han de complir el *Real Decret 98/2016 del 11 de Març*<sup>34</sup> pel que es regula el marcat CE en embarcacions d'esbarjo compreses entre els 2,5 i 24 metres d'eslora.

Per això, la *Beata* hauria de realitzar una inspecció de tipus Addicional per part d'una de les entitats col·laboradores d'inspecció reconegudes en el territori espanyol.

A més a més, el taller encarregat de la instal·lació dels nous sistemes de propulsió hauria de realitzar un informe de muntatge on s'exposàs que el procediment dut a terme s'han fet d'acord a les indicacions<sup>35</sup> de la normativa.

Aquesta inspecció, queda reflexada en el certificat de navegabilitat<sup>36</sup>

---

<sup>34</sup>(“Marcado CE | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana” n.d.)

<sup>35</sup>(González. 2021)

<sup>36</sup>(“Inspección Técnica de Barcos, ITB. Certificado de Navegabilidad” n.d.)

ESPAÑA  
SPAIN



Ministerio de Fomento  
Dirección General de la Marina Mercante

CERTIFICADO DE NAVEGABILIDAD PARA EMBARCACIONES DE RECREO  
DE ESLORA MENOR O IGUAL DE 24 METROS

NIB	Marca		Arqueo (Regla 2ª)	
Modelo			Año de construcción	
Nº de Homologación			Material del casco	
Número CIN			Manga (m)	
Eslora ISO (m)	Eslora C 7/95 (m)		Carga máxima (kg)	
Potencia Máxima (kW)				
Categoría de diseño / Nº max. personas a bordo (pax / trip.)	A <input type="checkbox"/> / ( / )		B <input type="checkbox"/> / ( / )	
Tipo de motores (IB/Mixto)	Marca Motores		Modelo Motores	
Potencia total motores (kW)	Números de serie motores			

El funcionario que suscribe,  
**CERTIFICA:**  
1.- Que la documentación de la embarcación refleja las características que se indican en los apartados anteriores.  
2.- Que la embarcación queda sometida a los reconocimientos intermedios, periódicos o extraordinarios establecidos en el Anexo II del Real Decreto 1434/1999, de 10 de Septiembre.  
Expedido en \_\_\_\_\_, a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.  
(Firma del funcionario)

Categoría de diseño	Zona de navegación Máxima
A	1 (Zona de navegación ilimitada)
B	2 (Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 60 millas)
C	4 (Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 12 millas)
D	7 (Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, bahías abrigadas y aguas protegidas en general)

El patrón será responsable de navegar dentro de la zona permitida en función de la categoría de diseño, el equipo de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación, prevención de vertidos por aguas sucias, equipo de radiocomunicaciones, seguros de responsabilidad civil y de la titulación que posea para el gobierno de embarcaciones según la legislación vigente.

La entidad de Inspección que suscribe, designada conforme al Real Decreto 1434/1999, de 10 de septiembre, **CERTIFICA** que la presente embarcación ha sido reconocida de acuerdo a lo establecido en el Anexo II del citado Real Decreto y que dicha embarcación, como también su equipo, han sido encontrados aceptables para el tipo de navegación asignada.

Nombre de la Entidad y sello:	Reconocimiento realizado <sup>2</sup>	Próximo reconocimiento:	Observaciones:
Nombre y firma del inspector:	Tipo: Fecha:	Tipo: Fecha:	
Nombre de la Entidad y sello:	Reconocimiento realizado <sup>2</sup>	Próximo reconocimiento:	Observaciones:
Nombre y firma del inspector:	Tipo: Fecha:	Tipo: Fecha:	
Nombre de la Entidad y sello:	Reconocimiento realizado <sup>2</sup>	Próximo reconocimiento:	Observaciones:
Nombre y firma del inspector:	Tipo: Fecha:	Tipo: Fecha:	

[1] Es la máxima anchura del casco en su proyección horizontal y medida en la cara exterior del forro.  
[2] Reconocimiento: intermedio, periódico, extraordinario

**II-lustració 45. Certificat de navegabilitat. Font: ITB Surveyors**

Tot hi que la normativa no ho demana, no estaria de més comprovar si la barca compleix amb els criteris d'estabilitat per a vaixells de nova construcció, la ISO 12217:2015.

Les comprovacions d'estabilitat s'han realitzat mitjançant el programari *MAXSURF Stability* i la seva funció *Criteria*.

La ISO 12217:2015 consta de tres parts i no totes elles són aplicables a la nostra embarcació.

ISO 12217 (2015)	Aplica
Part 1: Embarcacions no propulsades a vela d'eslora igual o superior a 6 m.	No
Part 2: Embarcacions propulsades a vela d'eslora igual o superior a 6 m.	No
Part 3: Embarcacions d'eslora inferior a 6 m	Sí

Taula 21. ISO 12217 (2015). Font: Pròpia.

La Part 3: *Embarcacions d'eslora inferior a 6 m* és l'única que s'aplicaria a la *Beata*. S'ha fet un cribatge dels criteris que estableix aquesta part i que interessin en aquest treball. Es mostren a la següent taula.

ISO 12217-3 Vaixells amb propulsió mecànica	Criteri
6.2.2	Altura d'inundació
6.3.2.10	Assaig de càrrega. Francbord requerit.
6.3.2.11	Assaig de càrrega Escora màxima.

Taula 22. Criteris ISO 12217, vaixells amb propulsió mecànica. Font: pròpia.

ISO 12217-3 Vaixells amb propulsió a vela	Criteri
7.2	Altura d'inundació
7.5	Angle límit d'estabilitat positiva
7.6.6	Angle d'equilibri donat un braç escorant.

Taula 23. Criteris ISO 12217, vaixells amb propulsió a vela. Font: Pròpia.

Les homologacions i expedicions necessàries per aquest tipus de modificacions no són moltes i tampoc complexes. És per això que es pot concloure que des d'un punt de vista de la normativa legal, si que és viable el projecte.

### 3.4. Pressupost

A continuació es realitza l'estimació del cost econòmic que suposa portar a terme les modificacions plantejades al llarg del treball.

Concepte	Quantitat	Preu Unitat (€)	Import (€)
<b>Logística</b>			
Moviments Travellift	2	70	140
Desplaçament port-taller	2	35	70
<b>Extracció antics elements</b>			
Extracció motor (hores)	2	37	74
Extracció hèlix (hores)	0,5	37	18,5
Extracció altres elements (hores)	0,5	37	18,5
<b>Nous sistemes</b>			
Motor elèctric "E-TECH 20 WG"	1	10470	10470
Pack "Battery-Box LVS 20.0"	1	9256	9256
Carregador "Walbox 74"	1	702	702
Pals fusta vela llatina	1	2000	2000
Vela tèxtil	1	700	700
Hèlix 12",16"	1	289	289
<b>Instal·lació nous sistemes</b>			
Instal·lació motor elèctric (hores)	8	37	296
Instal·lació Bateria (hores)	3	37	111
Instal·lació Hèlix (hores)	1	37	37
Instal·lació Aparell vela llatina (hores)	5	37	185
<b>Proves de mar</b>			
Proves de mar (hores)	2	37	74
<b>BASE IMPOSABLE</b>			<b>24.441</b>
<b>21% DE IVA</b>			<b>5.132,61</b>
<b>TOTAL (€)</b>			<b>29.573,61</b>

Taula 24.Pressupost. Font:pròpia

Els elevats costos del sistema de propulsió i emmagatzematge elèctric, fan perillar la seva viabilitat econòmica d'aquest projecte.

## CAPÍTOL 4: Conclusions

Com a cloenda del present treball, gràcies als coneixements adquirits al llarg del doble grau i la seva posada en pràctica en el desenvolupament d'aquest projecte, s'ha arribat a les següents conclusions, que ordenarem d'acord als set objectius plantejats inicialment, lligats a la definició de la hipòtesi amb la que començavem el projecte: *L'equipament d'un llaüt, amb un motor elèctric i una vela llatina, és una manera viable estètico-històrica, econòmica, legal i pel que fa a l'estabilitat, d'adaptar aquest tipus d'embarcació, a les exigències mediambientals del segle XXI.*

L'objectiu 1 (*Estudiar quin paper ha jugat el llaüt dins la cultura illenca, conèixer el seu context sócio-històric, la seva evolució, els seus elements identificadors i el procés constructiu i d'obtenció de formes utilitzats tradicionalment*) ha estat assolit.

A la conclusió a la que s'ha arribat és que el llaüt és l'element identitari per excel·lència de la cultura nàutica illenca i és per això que s'ha d'evitar la seva desaparició, essent necessàries polítiques de protecció de patrimoni marítim, contundents. No només s'ha d'evitar la seva extinció, també s'ha de seguir adaptant a les necessitats d'avui dia, en especial a la sostenibilitat mediambiental, i aconseguir que la propulsió no contaminant, sigui una opció atractiva per al navegant del nostre temps.

L'objectiu 2 (*Demostrar l'eficàcia del mètode utilitzat per a l'obtenció de les formes del vaixell*) també s'ha assolit.

La combinació de tradició i modernitat empasta a la perfecció. El modelat 3D del llaüt amb el *software Rhinoceros 3D* ha simplificat i agilitzat el procés d'obtenció de formes del vaixell.

S'ha assolit l'objectiu 3 (*Obtenir la resistència a l'avanç del vaixell mitjançant dos mètodes càlcul diferents i reduir-ne el marge d'error*).

La resistència a l'avanç d'un buc, és un concepte primordial a l'hora de triar i dimensionar els sistemes de propulsió del mateix. En aquest treball s'ha contrastat que per mitjà de l'expressió de l'*Almirallat* i dels càlculs estadístics proposats pel *MAXSURF Resistance* s'obtenen valors de la resistència a l'avanç que disten un 6%. S'ha de tenir en compte que els mètodes estadístics es



realitzen a partir de les dades obtingudes de models assajats en canals i vaixells reals, això fa que no siguin vàlids per a totes les embarcacions i rangs de velocitat. El llaüt, a dia d'avui, encara no s'ha estudiat en canals d'assajos; en cas que s'arribés a fer, el càlcul de la seva resistència guanyaria en precisió, mentrestant s'ha de calcular amb els mètodes més genèrics. Per altra banda, la possibilitat de calcular el valor  $K$  de l'expressió de l'Almirallat de forma experimental pel cas d'estudi, ha permès obtenir un valor de resistència a l'avanç més fidel al de la realitat.

L'objectiu 4 (*Realitzar els càlculs pertinents per triar el motor elèctric i bateries a instal·lar*) s'ha assolit satisfactòriament.

Partint de la resistència a l'avanç obtinguda més elevada i sobredimensionant-la, s'ha arribat a la conclusió que el motor i bateries que s'escau millor a les necessitats de la *Beata* són l'*E-TECH 20 WG* i *Growatt ARK 20.4L* respectivament. Avui dia l'oferta d'aquest sistema de propulsió es troba enfora de la dels sistemes de combustió interna. S'espera que, en un futur pròxim, per tal de complir amb els objectius de descarbonització de la OMI<sup>37</sup>, la tecnologia millori i s'abarateixi, fent augmentar l'interès del comprador i per tant de l'oferta d'aquest producte.

L'objectiu 5 (*Determinar el nombre de pales, diàmetre i pas de l'hèlix òptima per a l'embarcació*) s'ha assolit.

L'obtenció dels paràmetres característics de l'hèlix òptima s'han aconseguit aplicant la sèrie *B* de *Wageningen*, mètode utilitzat a l'assignatura de Propulsors. Aquest són tres pales, un diàmetre de 12 in i 17 in de pas.

L'objectiu 6 (*Dur a terme el càlcul d'un aparell de vela llatina amb tot el que això comport*), s'ha assolit.

Seguint el procediment recollit al llibre *Nuestra vela latina*, redactat per F. Oller i V. García-Delgado editat l'any 2006, s'ha dimensionat l'arboradura òptima per a la *Beata*. Aquest procediment és el resultat de centenars d'anys d'experiència empírica modificant i refinant l'aparell a vela fins a aconseguir les seves dimensions òptimes.

L'objectiu 7 (*Valorar la viabilitat de la proposta de remotorització i arborament des de un punt de vista estètic-històric*) s'ha assolit.

El projecte de remotorització i arborament és viable en termes estètics i històrics ja que no desvirtua els elements definitoris d'un llaüt. L'arborament amb vela llatina recupera el sistema de propulsió utilitzat durant segles en aquesta barca i substituint el motor de combustió interna per el

---

<sup>37</sup>Organització Marítima Internacional.

100% elèctric es recuperen característiques que durant segles havien definit aquest tipus d'embarcació com el silenci, el respecte mediambiental, la connexió amb l'entorn...

L'objectiu 8 (*Valorar la viabilitat legal del projecte deixant constància, de manera clara i concisa, de les regulacions normatives a les que estan subjectes les modificacions esmentades*), s'ha assolit.

L'estabilitat en un una barca d'aquestes característiques no és un tema conflictiu. Factors com la seva gran estabilitat han fet d'aquesta embarcació, la barca pescadora per excel·lència. Tot i això, la distribució de pesos és de suma importància per garantir el seu bon comportament a la mar, ubicant els elements pesats el més a baix possible i a la vertical del centre de gravetat de la nau. El projecte suggerit és viable pel que fa a l'estabilitat estàtica. L'estabilitat dinàmica no s'ha estudiat ja que no és un del requisits de la normativa a aplicar per aquest tipus de projectes per a embarcacions amb les característiques del llaüt d'estudi.

Finalment, l'objectiu 9 (*Valorar la viabilitat econòmica del projecte per mitjà de l'estimació dels costos de les modificacions suggerides*), s'ha assolit parcialment. L'elevat cost econòmic que suposa realitzar actualment una instal·lació de motor elèctric i aparellar el llaüt amb vela llatina, fan perillar la seva viabilitat, i és l'únic inconvenient per validar totalment la hipòtesi inicial. A mesura que la tecnologia per a la motorització elèctrica d'embarcacions evolucioni i s'estengui la seva aplicació pràctica, és d'esperar que s'abarateixin els preus i sigui una opció viable econòmicament. D'aquesta manera s'assolirien completament tots els objectius del treball, podent donar per vàlida la hipòtesi que hem formulat com a origen d'aquest treball.

# Webgrafia

“ARKLVBatterySystem.” n.d. Consultat el 18/12/2021: [www.ginverter.com](http://www.ginverter.com)

“B-Series Propeller Generator.” Consultat el 13/12/2021: <https://www.wageningen-b-series-propeller.com>

EcoFener. (2021) *Batería de Litio BYD B-BOX PREMIUM LVS 20.0 de 48V y 20kWh*. Consultat el 17/10/2021: <https://ecofener.com/baterias-de-litio-para-sistemas-solares/1796-bateria-de-litio-byd-b-box-premium-lvs-200-de-48v-y-20kwh.html>

Electric Yacht. (2021) “QuietTorque™ 20.0 Electric Motor ” Consultat el 22/11/2021: <http://electricyacht.com/product/quiettorque-20-electric-motor/>

Fondear. (24 de març de 2021). *El mejor bronce*. Consultat el 12/11/2021:

[http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Diseno\\_Construccion/Bronce\\_Material/Bronce\\_Material.asp](http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Diseno_Construccion/Bronce_Material/Bronce_Material.asp)

Green Boat Solutions. (2021) “E-Tech 20 WG.” Consultat el 17/10/2021:

<https://www.greenboatsolutions.com/shop/motor/inboard/e-tech-20-wg>

HiSoUR Arte Cultura Historia . (15 de febrer de 2019). *Barco Eléctrico*. Consultat el 19/11/2021: <https://www.hisour.com/es/electric-boat-39897/>

Inspección Técnica de Barcos, ITB. (2021). “Certificado de Navegabilidad.” Consultat el 14/11/2021: <https://www.inspecciontecnicadebarcos.es>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2021). *Marcado CE*. Consultat el 12/12/2021: <https://www.mitma.gob.es/marina-mercante/nautica-de-recreo/documentacion-administrativa/marcado-ce/el-marcado-ce-de-las-embarcaciones-de-recreo>

Nautic Expo. (2021a). “Motor Intraborda - WGH - Star Investments - Eléctrico / Para Embarcación de Recreo / Brushless.” Consultat el 25/11/2021:

<https://www.nauticexpo.es/prod/star-investments/product-38118-566357.html>

Nautic Expo. (2021b).“ “Propellers 3 Blades - B Type - Hélices y Suministros Navales. Brochure Nautismo.” Consultat el 25/11/2021:<https://pdf.nauticexpo.es/pdf-en/helices-suministros-navales/propellers-3-blades-b-type/25344-87542.html>

Pérez, Alberto.(25 de setembre de 2021).“Aumenta Significativamente La Demanda de Barcos Eléctricos”. A *Navegación Sostenible - Híbridos y Eléctricos*. Consultat el 17/10/2021: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/navegacion-sostenible/aumenta-significativamente-demanda-barcos-electricos/20210924145307049569.html>

Sánchez, Norberto. (28 de novembre de 2008). *Máquinas de Barcos: Propulsión Eléctrica En Los Buques* (I). Consultat el 18/11/2021: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2008/11/propulsin-elctrica-en-los-buques-i.html>

StarBoats. (2021a) “Schematy Silników E-Tech - StarBoats - Silniki Elektryczne, Produkcja Łodzi, Ubezpieczenia Jachtów.” n.d. Accessed January 10, 2022. Consultat el 11/11/2021: <https://starboats.eu/schematy-silnikow-e-tech/>

StarBoats. (2021b). “E-TECH WG INBOARD ENGINES - StarBoats - Electric Drives, Custom Boats, Yacht Insurance.” Consultat el 25/11/2021: <https://starboats.eu/electric-drives/e-tech-wg-inboard-engines/>

Wallbox. (2021)“Copper SB 7,4/22kW.” Consultat el 12/10/2021.

# Bibliografia

Alegret, J. L., Badias, J., & Mata, R. (2009). De quilla a perilla. L'ofici dels Mestres d'aixa a la Costa Brava.

Alourdas, P. G. (2016). Planing Hull Resistance Calculation The CAHI Method. In *Presented to the Society of Naval Architects and Marine Engineers* (p. 17). Greek Section Athens, Greece. Consultat el 16/11/2021: <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/a09ed13c-b8c0-4897-9e87-eb86f500359b/UploadedImages/2016-2017/Alourdas%27%20Complimentary%20Notes.pdf>

Bentley Systems. (2021). *Maxsurf* 20.00 V23. Consultat el 23/9/2021: <https://communities.bentley.com/products/offshore/w/wiki/14169/maxsurf-20-00-v8i-release-notes>

Bonnet. (2005). Manual del aprendiz de carpintero de rivera. Editorial Tanais ediciones.

Boris, L. i Guerrero, B. (2011a). Equilibrio de los Cuerpos Flotantes. *Humboldt Marine Training*. Consultat el 7/10/2021: [https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d1/02\\_Equilibrio.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d1/02_Equilibrio.pdf)

Boris, L. i Guerrero, B. (2011b). Curvas Hidrostáticas. Valparaíso, Chile. Consultat el 14/10/2021: [https://wiki.ead.pucv.cl/images/b/ba/03\\_Curvas\\_Hidrostaticas.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/b/ba/03_Curvas_Hidrostaticas.pdf)

Bricbarca, A. (2005). El Llaüt quillat Sant Ramon: recuperació i restauració d'una embarcació clàssica. *Drassana: revista del Museu Marítim*, (13), 78-83. Consultat el 02/10/21 <https://www.raco.cat/index.php/Drassana/article/download/106098/132587>.

Bruguera Castillo, C. (2017). Pla de restauració d'una "mallorquina" i disseny del seu aparell (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat 22/10/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106438>

Calbet, A. P. (1981). Vocabulari il·lustrat de l'aparell del llaüt a Eivissa. *Eivissa*, 34-36. Consultat el 16/09/2021: <https://www.raco.cat/index.php/Eivissa/article/download/112806/140479>

Calbet Roig, J. (2020). Conservación del patrimonio marítimo flotante: marco normativo europeo y español. Especial referencia al patrimonio marítimo de Ibiza y Formentera (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 06/11/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/332526>

Castañé Bellver, C. (2018). *Estudio y diseño de una hélice para el yate Viudes 45* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 10/11/2021:

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/119369/136766\\_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/119369/136766_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Crespo, Rafael. (1941). “Stukas y bombardeos”. Madrid. *Ingeniería Naval*. Consultat el 9/10/2021: <https://sectormaritimo.es/wp-content/uploads/1941/194112.pdf>

Ferrer Betorz, M. (2019). Metodología para emplear hojas de cálculo en la resolución de cálculos de carga y estabilidad en buques graneleros: Una aplicación al cálculo de carga en el buque “Spar Scopio”. Consultat el 18/11/2021:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/16129/Ferrer%20Betorz%2c%20Marc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Florit Bosch, A. (2020). Estudi comparatiu de la construcció naval tradicional. Tipus d'embarcacions, processos de construcció, disseny, aparells i patrimoni marítim (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat 04/10/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/328647>

Gracia Molina, M., & Bisquerra Llompart, X. (2018). Diseño de un llaüt mallorquíu eléctrico (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 17/8/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/123607>

Montoya Galiana, F. (2012). Digitalización y documentación histórico-técnica de barcos tradicionales del Mediterráneo. Consultat 01/11/2021: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/2945>

Oller, F. (1995). Bots i barques. Noray.

Oller, F. i García-Delgado, V. (1996). Nuestra vela latina. Editorial Juventud.

Oliver, B. i Bestard, B. R. H. (2016). El llaüt: la barca de la Mediterrània. Edicions Documenta Balear.

Oliver, B. i Tomàs, B. (2020). *Els mestre d'aixa a Mallorca*. Editorial Documenta Balear.

Kimball, J. (2009). Physics of sailing. CRC Press. Consultat el 23/09/2021: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Xe\\_i23UL4sAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=the+sailing+physics&ots=k1pcaUBiRt&sig=CbcTbM3CFjVXtrVFY59moMuUq0M#v=onepage&q=the%20sailing%20physics&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Xe_i23UL4sAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=the+sailing+physics&ots=k1pcaUBiRt&sig=CbcTbM3CFjVXtrVFY59moMuUq0M#v=onepage&q=the%20sailing%20physics&f=false)

Passaret Valls, G. (2021). Proyecto constructivo del llaut de foc" La Lola" (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 15/10/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/356294>

Pérez Alonso, C. (2016). *Naval Composites: Los materiales compuestos y la industria naval* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 17/10/2021: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88326/111451\\_FNB%20-%20Naval%20Composites%20-%20Los%20materiales%20compuestos%20y%20la%20industria%20naval.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88326/111451_FNB%20-%20Naval%20Composites%20-%20Los%20materiales%20compuestos%20y%20la%20industria%20naval.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rivas Santandreu, J. M. (2019). Estudi per a la construcció d'una rèplica d'una barca de pesca de vela llatina (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Consultat el 16/11/2021: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/170879>

Sanjaime Pina, A. (2021). Análisis de requerimientos, diseño y simulación de un timón de llaüt mediterráneo (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). Consultat el 21/10/2021: <https://riunet.upv.es/handle/10251/174100>

Tur Riera, A. (2003). La construcción naval y los carpinteros de ribera en las Pitusas. Consultat 08/10/2021: [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/8649/46219\\_8.pdf?sequence=1](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/8649/46219_8.pdf?sequence=1)

“UNE-EN ISO 12217-1:2017 Pequeñas Embarcaciones. Evaluación y c...” n.d. Consultat 6/01/2022

“UNE-EN ISO 12217-2:2017 Pequeñas Embarcaciones. Evaluación y c...” n.d. Consultat 6/01/2022

“UNE-EN ISO 12217-3:2017 Pequeñas Embarcaciones. Evaluación y c...” n.d. Consultat 6/01/2022

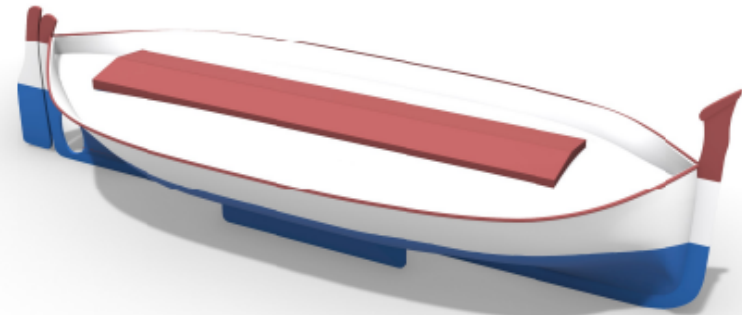
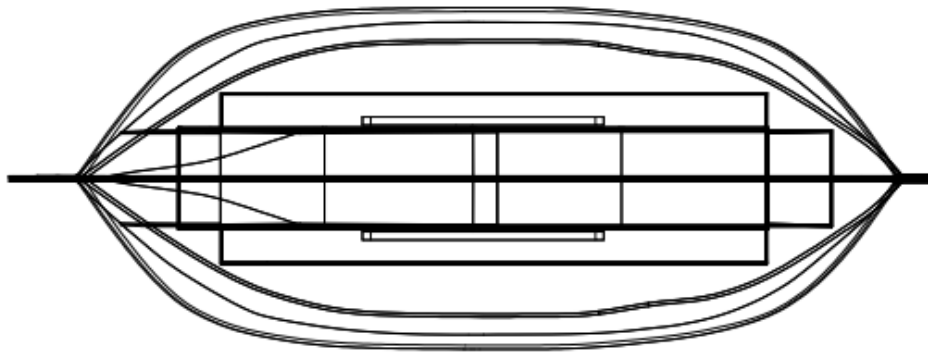
“VI. Resistencia Hidrodinámica Del Buque.” n.d. Consultat 6/10/2022

Ward, W. H. (1967). The sailing ship effect. *Physics Bulletin*, 18(6), 169. Consultat el 21/09/2021: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9112/18/6/004/meta>

# ANNEXOS

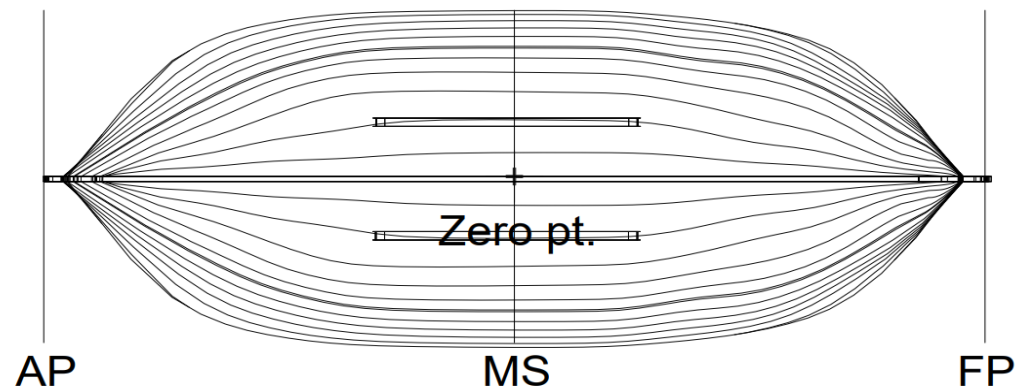
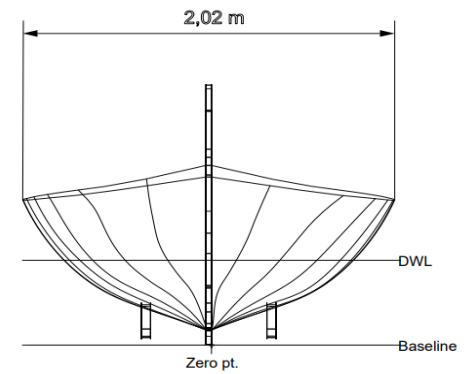
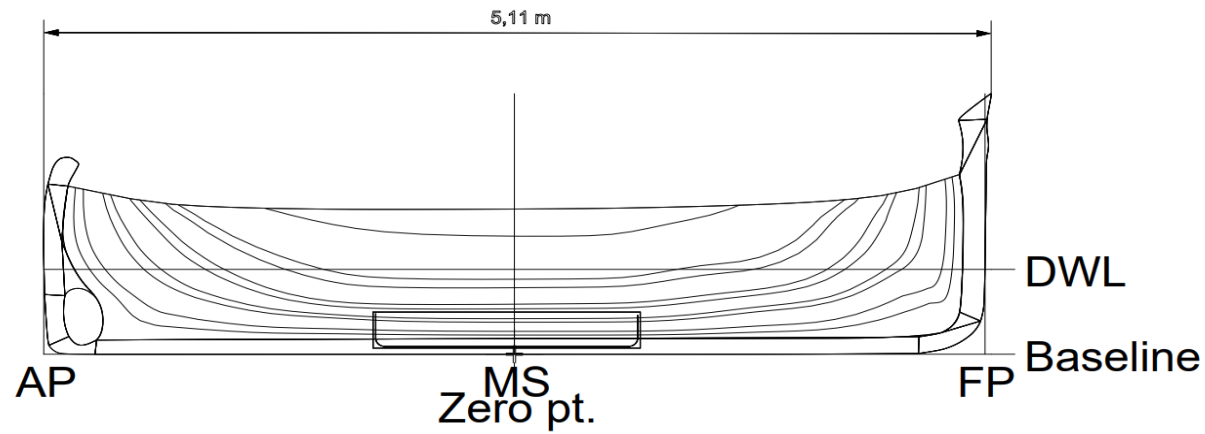



## ANNEX I. DISTRIBUCIÓ ESPAIS INTERIORS



 FNB 250 1789-2019 TREBALL DE FINAL DE GRAU GTM I GESTN	TÍTOL: DISTRIBUCIÓ ESPAIS INTERIORS	
		DATA D'EDICIÓ 08/01/22

## ANNEX II. PLÀNOL DE FORMES

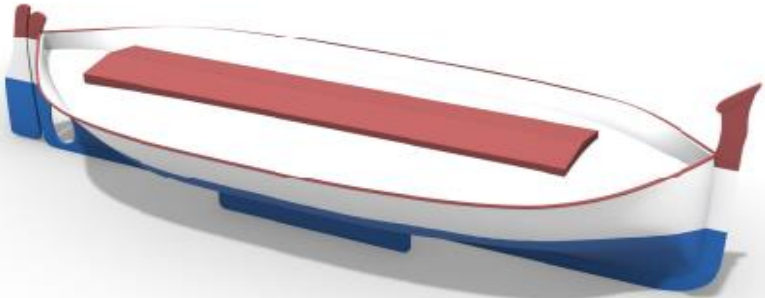
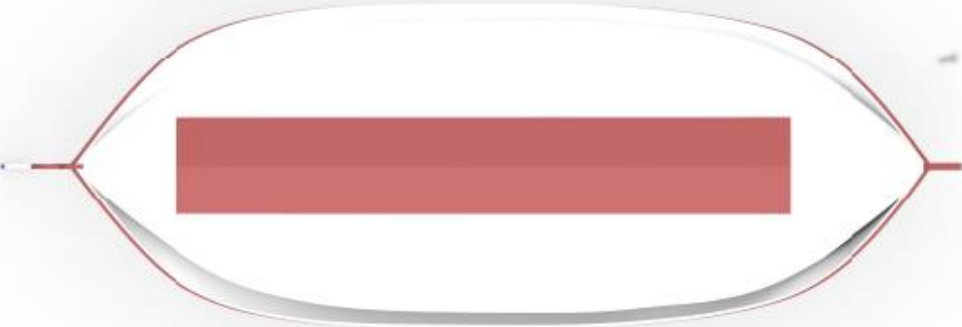


Títol: Plànol de formes Llaüt	Creat per: Antoni Colom Nicolau Andreu Torres Guasch	Tipus de Document: Plànol Tècnic	Escala: 1:40
 Treball Fi de Grau F.N.B	Doble Titulació de Grau en Tecnologies Marines i Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval	Data de Creació: 08/01/2022	Idioma: Català
		Full: 1/1	

## ANNEX III. DISPOSICIÓ INTERIOR

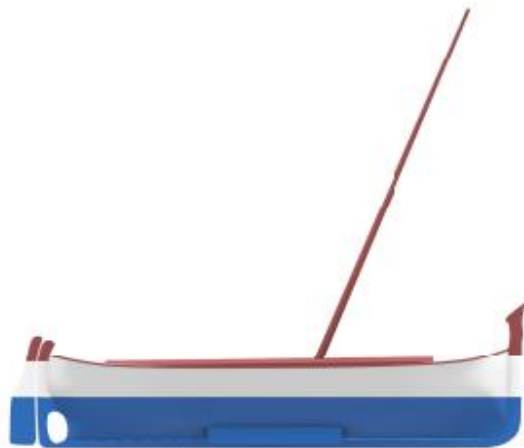
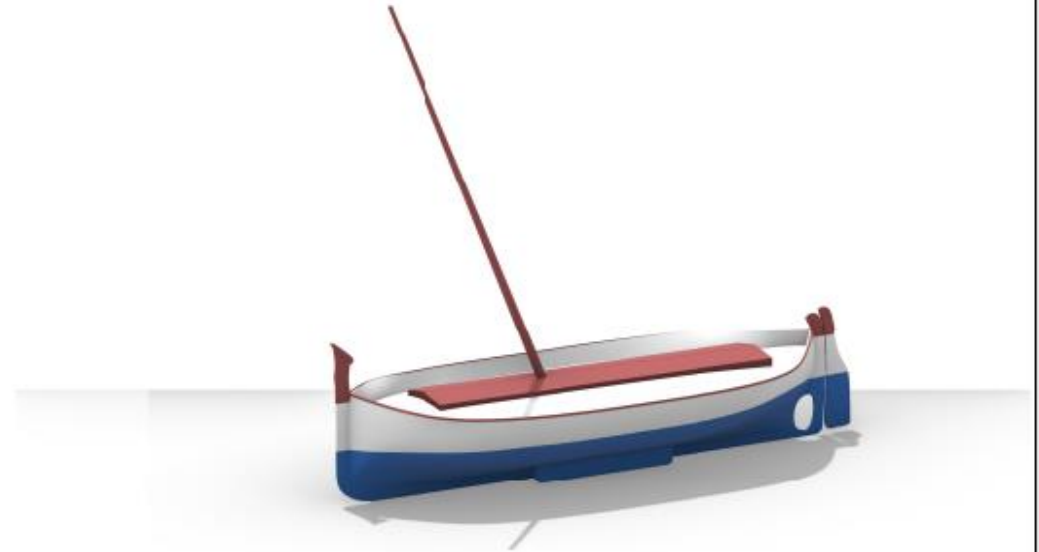
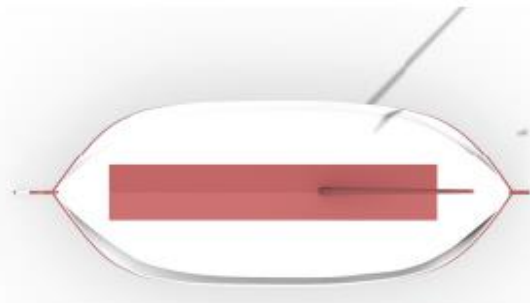



# ANNEX IV. VISTES MODEL 3D



	TÍTOL: VISTES LLAÛT EXISTENT	
		DATA D'EDICIÓ 08/01/22

## ANNEX V. VISTES LLAÛT AMB L'ARBRE CALCULAT



 <p>TREBALL DE FINAL DE GRAU GTM I GESTN</p>	TÍTOL: VISTES LLAÛT AMB L'ARBRE CALCULAT	
		DATA D'EDICIÓ 08/01/22

## ANNEX VI. FOTO LLAÛT AMB VELA

