

# Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

---

PROJECTE FINAL DE CARRERA  
ENGINYERIA TÈCNICA NAVAL DE  
PROPULSIÓ I SERVEIS DEL VAIXELL

5 de setembre del 2012

**Autor:**

Ferran Guarga Solé

**Director:**

Dr. Ricard Bosch Tous



## Agraïments

---

En primer lloc, el meu agraïment al Dr. Ricard Bosch Tous, director d'aquest projecte, pel seu assessorament i orientació durant el curs d'aquest.

En segon lloc agraeixo també al Dr. Ramón Macià el seu assessorament matemàtic i estadístic, al Dr. Xavier Martínez, per la seva ajuda en l'intent de simulació de l'Imoca 60 i al Dr. Antoni Isalgué, per l'orientació en conceptes físics del funcionament i energia de l'onatge i de recursos.

També vull agrair l'ajuda i el compartiment d'informació amb els estudiants de màster de la ETSEIB-UPC Carlos Conde i Francisco Ripoll.

Finalment recordar a la família, per totes les facilitats i possibilitats a tots els nivells, per la realització d'aquest projecte, i en especial, als meus pares.

## Resum

---

Els mars i els oceans conformen una gran reserva energètica, amb un moviment irregular i una complexitat notable. Com a conseqüència de la gran extensió, existeixen molts tipus d'onatge que encara dificulta més la seva modelització. Avui en dia l'aprofitament d'energia de les onades, ja sigui per centrals de terra o a bord d'embarcacions, és un tema poc explotat i molt costós.

Primerament, aquest projecte, ha fet un estudi del moviment de les ones dins de diferents descripcions, i del potencial energètic en funció dels paràmetres característics.

En segon lloc, s'ha fet una tipificació de les característiques de l'onatge d'una part del recorregut de la Barcelona World Race (BWR), a fi de poder fer un atlas energètic de les diferents zones.

Seguidament s'ha modelitzat de forma primària el moviment vertical d'una embarcació amb l'objectiu de expressar l'energia que hi ha al desfasament cinètic entre l'acció de la onada i la reacció de l'embarcació, en funció de les seves característiques.

Finalment s'han avaluat els factors que participen a la idea d'aprofitar el moviment de les onades per l'avançament de l'embarcació, posant en sincronisme aquests dos, de forma que es poden observar, a diferents nivells de la força propulsora, els resultats de l'equilibri del sincronisme i el resultat de la força resultant que ajuda a l'avançament.

Amb això es vol demostrar la possibilitat i viabilitat d'aprofitar el potencial que tenen les onades per navegar ecològicament.



## ÍNDEX GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>14</b>
1.1. MOTIVACIÓ	14
1.2. OBJECTE	14
1.3. OBJECTIU	14
1.4. ABAST	14
<b>2. TEORIA D'ONES</b>	<b>15</b>
2.1. DEFINICIÓ	15
2.2. GENERACIÓ D'ONADES	15
2.3. TIPUS D'ONES	17
2.4. PARÀMETRES D'ONES	20
2.5. POTENCIAL ENERGÈTIC	21
2.6. COMPORTAMENT DE LES PARTÍCULES DE L'AIGUA	22
2.7. POTENCIAL ENERGÈTIC - DESCRIPCIONS D'ONES	24
2.7.1. Càlcul de l'onatge regular	25
2.7.1.1 Teoria lineal d'ones o teoria d'Airy	28
2.7.1.2. Teoria no lineal de Stokes de 2n ordre	38
2.7.2. Càlcul de l'onatge irregular	41
2.7.2.1. Descripció estadística-geomètrica	42
2.7.2.2. Descripció espectral de l'onatge	46
<b>3. TIPIFICACIÓ D'ONADES</b>	<b>56</b>
3.1. INTRODUCCIÓ	56
3.2. FONTS D'INFORMACIÓ DE L'ONATGE	58
3.2.1. Dades instrumentals	58
3.2.2. Dades visuals	58
3.2.3. Dades procedents de simulacions numèriques	59
3.3. MÈTODE DE CÀLCUL	59
3.3.1. Atlàntic Nord	59
3.3.1.1. Formulació del problema	59
3.3.1.2. Obtenció d'informació sobre el problema	59
3.3.1.3. Disseny d'un experiment	59
3.3.1.4. Dades a recollir	60
3.3.1.5. Recollida de dades	60
3.3.1.6. Anàlisi de les dades	61
3.3.1.7. Construcció d'un model estadístic	61
3.3.1.8. Obtenció de resposta a la qüestió plantejada segons model considerat	63
3.3.1.9. Validació de la solució obtinguda	64
3.3.1.10. Resposta definitiva de la qüestió plantejada	67
3.3.2. Mediterrani Canàries	68

3.3.2.1.	Dades estadístiques anuals de boies puntuals amb valors en intervals i percentatges.....	69
3.3.2.1.1.	Mediterrani .....	69
3.3.2.1.2.	Estret-canàries .....	70
3.3.2.2.	Dades de les característiques meteorològiques i oceanogràfiques, diàries i per hores. ....	71
3.3.2.3.	Dades de l'estat del mar temporals, procedent de boies. ....	73
3.4.	RESULTATS CARACTERÍSTIQUES.....	74
3.4.1.	<i>Atlàntic Nord</i> .....	74
3.4.2.	<i>Mediterrani Estret-Canàries</i> .....	74
3.4.2.1.	Mètode 1 .....	74
3.4.2.2.	Mètode 2 .....	75
3.4.2.3.	Mètode 3 .....	75
3.5.	RESULTATS DEL POTENCIAL ENERGÈTIC .....	77
3.5.1.	<i>Segons la teoria de Airy</i> .....	77
3.5.2.	<i>Segons la descripció espectral</i> .....	78
3.5.3.	<i>Segons la descripció estadístico-geomètrica</i> .....	80
<b>4.</b>	<b>MOVIMENT OSCIL·LATORI DE L'EMBARCACIÓ .....</b>	<b>82</b>
4.1.	RAONAMENT .....	82
4.2.	HIPÒTESIS.....	82
4.3.	DESCRIPCIÓ DEL MOVIMENT .....	83
<b>5.</b>	<b>MÈTODE SINCRON.....</b>	<b>87</b>
5.1.	ZONES APTES.....	87
5.2.	EQUACIÓ DE NAVEGACIÓ .....	88
5.3.	CÀLCUL DE LES PARTS DE L'EQUACIÓ.....	90
5.3.1.	<i>Posició de l'onada</i> .....	90
5.3.2.	<i>Velocitat de l'onada</i> .....	92
5.3.3.	<i>Empenta de l'onada</i> .....	92
5.3.4.	<i>Força de l'onada ascendent</i> .....	93
5.3.5.	<i>Força de fricció</i> .....	93
5.3.5.1.	Disseny del casc.....	94
5.3.5.2.	Càlcul de la resistència .....	96
5.3.5.3.	Paràmetres .....	99
5.3.5.4.	Resultats.....	105
5.3.6.	<i>Força creada per les partícules en moviment circular</i> .....	106
5.3.7.	<i>Força propulsora</i> .....	107
5.3.8.	<i>Pes</i> .....	107
5.3.9.	<i>Força vàlica i eòlica</i> .....	107
5.3.9.1.	Vent amb contacte amb les veles .....	107
5.3.9.2.	Vent amb contacte amb el casc .....	110
5.4.	RESOLUCIÓ DE L'EQUACIÓ .....	114
5.4.1.	<i>Equació horitzontal</i> .....	114

5 de setembre del 2012

5.4.2. Equació vertical .....	116
<b>6. CONCLUSIONS.....</b>	<b>119</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>121</b>
<b>8. ANNEXOS.....</b>	<b>125</b>



## TAULA DE FIGURES/TAULES

### INTRODUCCIÓ

### TEORIA D'ONES

1. Esquema de l'origen de l'energia de l'onatge
2. Esquema del Model de Jeffrey
3. Esquematització del problema.
4. Generació de l'onatge
5. Distribució energètica de les onades de superfície
6. Taula de tipus d'onatge
7. Perfil vertical de dues ones successives
8. Moviment de les partícules d'aigua en una onada
9. Influència del fons al desplaçament vertical de les òrbites
10. Moviment de la superfície i les partícules al aproximar-se a la costa.
11. Trajectòria de les partícules de les onades en funció de la profunditat del fons marí.
12. Diagrama de Méhauté
13. Diferència entre fluid rotacional i irrotacional
14. Perfil d'ona lineal
15. Esquema de grup d'onades
16. Taula d'expressions de la teoria d'Airy
17. Representació d'una ona Airy
18. Esquema per la deducció de l'energia potencial d'una ona.
19. Esquema per la deducció de l'energia cinètica d'una ona.
20. Perfil d'ona no lineal (Stokes)
21. Esquema del moviment de les molècules d'aigua segons la teoria de Stokes
22. Perfil d'ona solitària o tsunami
23. Descomposició de l'onatge. Registre de les altures de la ona i períodes entre el desembre del 1999 i el novembre del 2000 per la boia de Gran Canaria. Font: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)
24. Exemple d'un estat de mar. Superfície lliure en funció del temps.
25. Criteri del pas ascendent per zero
26. Espectre d'energia discreta tipus pinte.
27. Descomposició en onatges regulars, de l'onatge irregular. Font: [www.carbontrust.co.uk](http://www.carbontrust.co.uk)
28. Exemple d'un espectre compost d'onatges: dos onatges tipus SWELL o un onatge tipus SEA, tret a partir del retroanàlisi de l'onatge de "puertos del estado". Font: "Vidal Pascual, C 2005"
29. Gràfica dels valors de la potencia en kW/m (Equació de Pierson-Moskowitz), en funció de la altura i el període de la ona.
30. Espectre Bretchneider-Mitsuyasu
31. Comparació dels espectres Jonswap i Pierson-Moskowitz.
32. Espectre de mar tipus SEA contra espectre de mar tipus SWELL

## TIPIFICACIÓ D'ONADES

33. Taula de paràmetres de les teories i descripcions energètiques.
34. Boia de "puertos del estado"
35. Divisió de les zones d'estudi de l'Atlàntic Nord
36. Taula Excel de freqüències de l'altura de les onades de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord
37. Taula Excel d'estadístics de altures de les onades de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord
38. Gràfica de freqüències absolutes de les altures de les onades de la zona 1 de l'Atlàntic Nord
39. Gràfica de freqüències absolutes acumulada de les altures de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord
40. Distribució normal amb els intervals de confiança marcats.
41. Taula Excel dels intervals de confiança de les altures de les ones de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord
42. Taula Excel dels resultats estadístics de la subdivisió de la mostra de altures d'ona de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord
43. Mapa de les 7 zones de l'Atlàntic Nord analitzades amb els seus resultats dibuixats
44. Mapa de Google Earth amb les boies utilitzades marcades
45. Taula Excel del repartiment de boies per les 10 zones, juntament amb els resultats de cada zona. Dades anuals.
46. Mapa de Google Earth amb la col·locació de les 8 boies de l'Atlàntic de les dades anuals.
47. Mapa Google Earth de la posició de les boies o el centre de zones de les boies de característiques meteorològiques i oceanogràfiques.
48. Mapa de Google Earth amb la posició de les boies d'informació puntual del Mediterrani i Estret-Canàries
49. Taula Excel dels resultats de característiques de les 7 zones de l'Atlàntic Nord
50. Taula Excel de les característiques (altura i període) de la zona mediterrani i Canàries pel mètode de dades estadístiques anuals.
51. Taula Excel de totes les característiques meteorològiques i oceanogràfiques del Mediterrani i Canàries.
52. Taula Excel de les característiques de l'onatge per registres temporals del Mediterrani i Canàries.
53. Mapa Google Earth amb els resultats del mètode 3 de la zona del Mediterrani
54. Mapa Google Earth amb els resultats del mètode 3 de la zona de les Canàries
55. Taula Excel de resultats del potencial energètic segons la teoria d'Airy
56. Taula Excel de resultats del potencial energètic de l'Atlàntic Nord segons la descripció espectral
57. Taula Excel de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 1-
58. Taula Excel de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 2-
59. Taula Excel de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 3-

60. Taula Excel de resultats del potencial energètic segons la descripció estadístico-geomètrica

## MOVIMENT OSCIL·LATORI DE L'EMBARCACIÓ

61. Gràfica representativa de la diferència entre la solució general i la solució homogènia.

## MÈTODE SINCRON

62. Esquema de les velocitats de l'onada i l'Imoca 60
63. Esquema de forces que actuen sobre l'embarcació en sincronisme
64. Perfil d'ona segons la teoria d'Airy.
65. Esquema de l'angle entre la tangent a l'onada i la horitzontal (linia de mar en calma)
66. Taula de l'angle d'acció sobre l'onada de les diferents zones d'estudi.
67. Taula de velocitats de grup de les tres zones
68. Taula de l'empenta que rep l'embarcació a cada zona.
69. Plànol de formes d'un Imoca 60.
70. Disseny 3D del casc de l'embarcació Imoca 60
71. Pantalla d'eixos de referència del Maxsurf Pro
72. Renderitzat del disseny 3D del casc de l'embarcació Imoca 60.
73. Disseny del casc de l'Imoca 60 al programa Maxsurf Pro.
74. Taula dels valors dels paràmetres de la sèrie de Delft.
75. Taula de condicions per entrar a la sèrie de Delft.
76. Taula Excel del càlcul de volum, pes i coeficients de l'Imoca 60.
77. Taula Excel del càlcul del LCB.
78. Taula Excel del càlcul del LCF.
79. Figura del disseny CAD posionat sobre una onada.
80. Figura del disseny CAD posionat sobre una onada II
81. Taula Excel del càlcul de la resistència total d'avançament de l'embarcació.
82. Taula del resultat de les resistències totals a l'avançament, a les 3 zones d'estudi.
83. Taula dels valors de les velocitats horitzontal i vertical de les partícules a cada zona.
84. Taula de la velocitat tangencial a la onada de les partícules.
85. Taula dels resultats de cada zona de la resistència suposada per les partícules en moviment.
86. Figura amb la posició de les veles en navegació de vent a través o per llarg.
87. Figura de la posició de les veles en navegació amb vent de popa o d'amura.
88. Plànol de la disposició i mida del velam de l'embarcació.
89. Taula dels valors i del càlcul de la pressió exercida sobre les veles de l'embarcació.
90. Figura il·lustrativa del gradient de velocitats del vent a la superfície marina, amb el mar en calma.
91. Imatge de la secció eficaç del vent projectada a un pla.
92. Imatge de la secció eficaç projectada sobre un pla.
93. Secció eficaç del casc projectada sobre un pla.
94. Taula de les resistències per la força del vent contra el casc de les 3 zones d'estudi.

5 de setembre del 2012

95. Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 4
96. Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 2M
97. Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 8M
98. Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 4
99. Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 2M
100. Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 8M



## 1. INTRODUCCIÓ

---

### 1.1. Motivació

Davant del projecte de final de carrera, he volgut aplicar els coneixements de matemàtiques a un cas complex del moviment periòdic com és el de l'onatge. D'aquesta forma se m'obria la oportunitat de fer un estudi matemàtic de temàtica naval. La justificació d'aquest treball és l'exploració del potencial d'aprofitament energètic undimotriu a bord d'una embarcació.

### 1.2. Objecte

Per poder centrar l'estudi dins una embarcació, s'ha decidit utilitzar un Imoca 60, com els que corren a la Barcelona World Race (BWR). La seva eslora permet entrar dins de la majoria d'onades, per intentar el seu aprofitament. A més a més, la filosofia de la competició no descarta l'aprofitament undimotriu, i les zones per on transcorre, tenen un potencial energètic important.

### 1.3. Objectiu

Determinar el potencial energètic de les onades dins d'aquest tipus d'embarcacions, per poder definir a posteriori les millors tecnologies per aprofitar-lo.

### 1.4. Abast

L'estudi no abasta cap mesura ni desenvolupament experimental, fora de l'anàlisi de dades reals i la determinació del comportament de l'embarcació sobre les onades. S'ha considerat prou complex l'estudi de les diferents teories, per a determinar els potencials disponibles. Aquest estudi resulta imprescindible per a posteriors desenvolupaments experimentals, com alguns que estan en marxa al mateix grup de treball

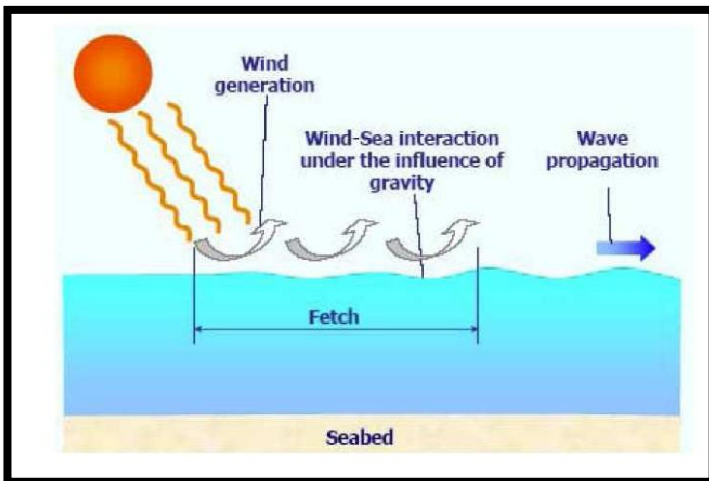
## 2. TEORIA D'ONES

### 2.1. Definició

S'entén com a ones, les oscil·lacions periòdiques de la interfície entre l'aigua i l'aire. Les ones són conseqüència d'una pertorbació (normalment no uniforme). Les partícules d'aigua, responen a aquesta pertorbació, són desplaçades de la seva posició d'equilibri. Existeix també una força restauradora, que conjuntament amb la pertorbació, fan oscil·lar les partícules, creant el moviment conegut de les ones, de forma sinusoidal o semblant (conegut també com a ona harmònica). En el cas dels mars i els oceans aquestes oscil·lacions són provocades per diferents agents com el vent, la atracció gravitatòria de la lluna i del Sol, sismes submarins, etc.

### 2.2. Generació d'onades

De la radiació incident sobre la superfície de la Terra, una fracció, i concretament, sobre els oceans, s'inverteix en l'escalfament de l'aire. Aquest fenomen es distribueix de forma desigual, de forma que dóna lloc a una variació de la temperatura de l'atmosfera generant, d'aquesta manera, unes diferències de pressió atmosfèrica que causen un desplaçament de la massa d'aire, conegut com a vent.



1. Esquema de l'origen de l'energia de l'onatge.

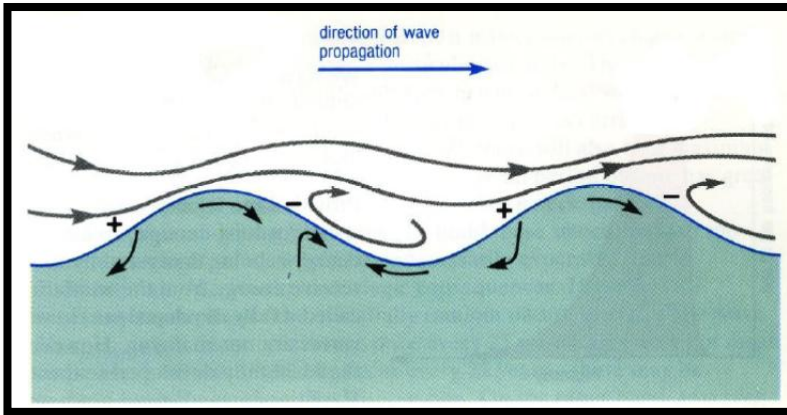
Quan el vent bufa sobre la superfície del mar, les molècules de l'aire interactuen amb les molècules de l'aigua, generant un conjunt de forces.

La turbulència de la corrent del vent, es pot assimilar com un conjunt d'oscil·lacions de la pressió atmosfèrica que actuen a un pla vertical ortogonalment a

la direcció del vent. Aquestes ondulacions, que poden superar l'amplitud d'1mbar, arriben a tenir períodes de l'ordre de un a varis segons, i corresponen a cops significatius amb accions de reflux, que es desplacen amb l'avançament del vent pel que la superfície queda agitada.

Aquestes agitacions, son petites ondulacions irregulars i forçades, conegudes com a onades de capil·laritat. La generació d'aquestes petites ondulacions (augmentant la superfície efectiva de contacte) juntament amb el desequilibri d'un moviment lineal de les masses d'aire, incrementa la fricció entre l'aire i el vent. El creixement d'aquestes onades augmenta ja que cada cop la

pressió del vent sobre elles és més directa, fins que arriben a un equilibri. Aquest equilibri està definit pel moment en que l'energia que rep la onada, és la que perd, donant el límit de trencament de l'onada.



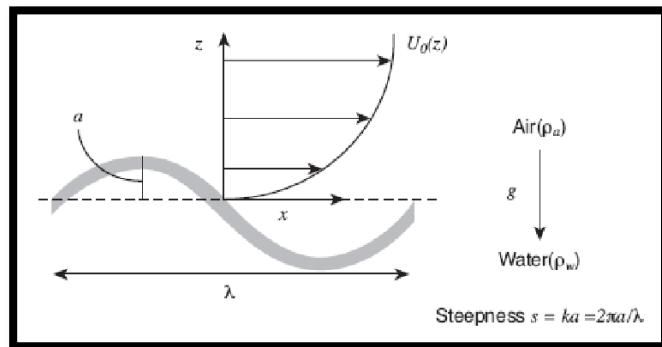
2. Esquema del Model de Jeffrey

Existeixen diferents teories que expliquen la generació de les onades. Una d'elles afirma que les onades obtenen energia del vent degut a la diferència de pressió causada per l'efecte bloqueig exercit per les crestes (Jeffrey 1925).

El model de Jeffrey funciona en el cas en que la

velocitat del vent sigui superior a la velocitat de l'onatge, i a un 1m/s. S'ha de tenir en compte

que el bloqueig a de ser suficient perquè sigui efectiu. També cal remarcar que, degut a la baixa densitat de l'aire amb relació a la de l'aigua, existeix una baixa transferència d'energia i de moment entre el vent i el mar, per tant, són necessaris molts períodes per obtenir una transferència energètica apreciable.

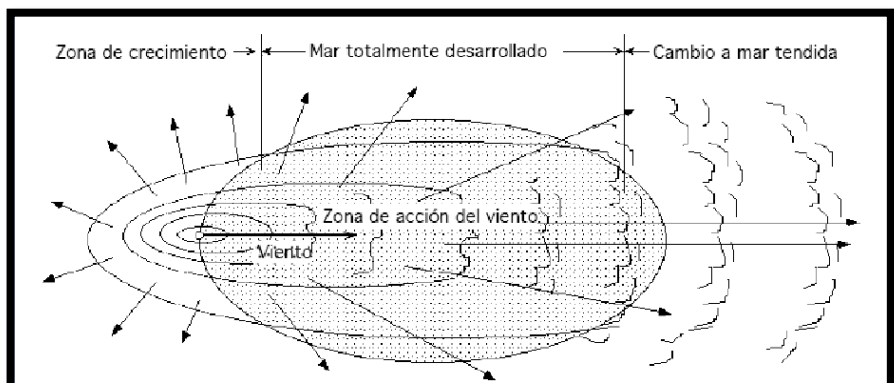


3. Esquematització del problema.

La mida de les onades generades per un camp de vent depèn de tres factors:

- La intensitat: Velocitat del vent
- La duració: El temps durant el qual el vent està actuant
- El fetch: La distància o fins a on l'energia del vent es transfereix al oceà.

L'onatge que es presenta a la zona de generació es denomina "mar de vent". Es caracteritza per ser irregular, amb crestes de petita longitud i gran varietat de direccions d'avanç, donant lloc a una superfície líquida



4. Generació de l'onatge



caòtica sense fronts definits ni cap mena de periodicitat.

A mida que les onades s'allunyen d'aquesta zona, van perdent energia, una dispersió angular i radial, de manera que l'onatge es va fent cada cop més regular. Es formen fronts de crestes, que van agafant una periodicitat i ritme fins que agafen el nom de "mar de fons".

### 2.3. Tipus d'ones

Als oceans i als mars, podem trobar una gran varietat de tipus d'onades que posen de manifest l'energia mecànica al llarg de la interfase aigua-atmòsfera. Com a conseqüència de la variabilitat d'agents generadors, restauradors, condicions climatològiques, etc. la classificació queda dependent del paràmetre a tenir en compte.

Les classificacions més usuals són les següents:

#### Segons la regularitat

La superfície del mar presenta un comportament irregular molt complex, existint una certa regularitat de forma aproximada.

-Ones regulars: són aquelles que marquen un patró de similitud, és a dir, que cada ona es casi igual que la que la precedeix.

-Ones irregulars: són aquelles que no segueixen un patró, molts cops són conseqüència de la superposició de diferents trens d'ones regulars

#### Segons la duració

-Ones de llarg període (5min a 24h): Són aquelles ones altrament conegudes com a mareas, tsunamis i d'altre provocades per sismes o per tempestes.

-Ones de gravetat (1s a 30s): Són aquelles ones la força restauradora de les quals acostuma a ser la gravetat. Aquestes són els ones típiques, i poden propagar-se fins a llargues distàncies des del seu punt d'origen fins al seu trencament.

-Ones capil·lars (menys de 0.1s): Són aquelles ones la força restauradores de les quals és la tensió superficial. Tenen un paper important a la transferència d'energia de l'aire a l'aigua per formar corrents superficials, però no representant una energia significativa.

#### Segons l'agent extern que els genera

-Ones generades pel vent o altres agents atmosfèrics: Les ones generades pel vent són les que tenen una quantitat d'energia superior i períodes de l'ordre de segons a minuts. Altres ones d'aquest grup són aquelles generades per

turmentes o canvis de pressió atmosfèrica que produeix una agitació en ressonància de l'aigua.

-Ones generades per l'atracció dels astres: La força de gravetat de la lluna i del Sol, genera unes ones de períodes entre 12 i 24 hores, conegudes com a mareas.

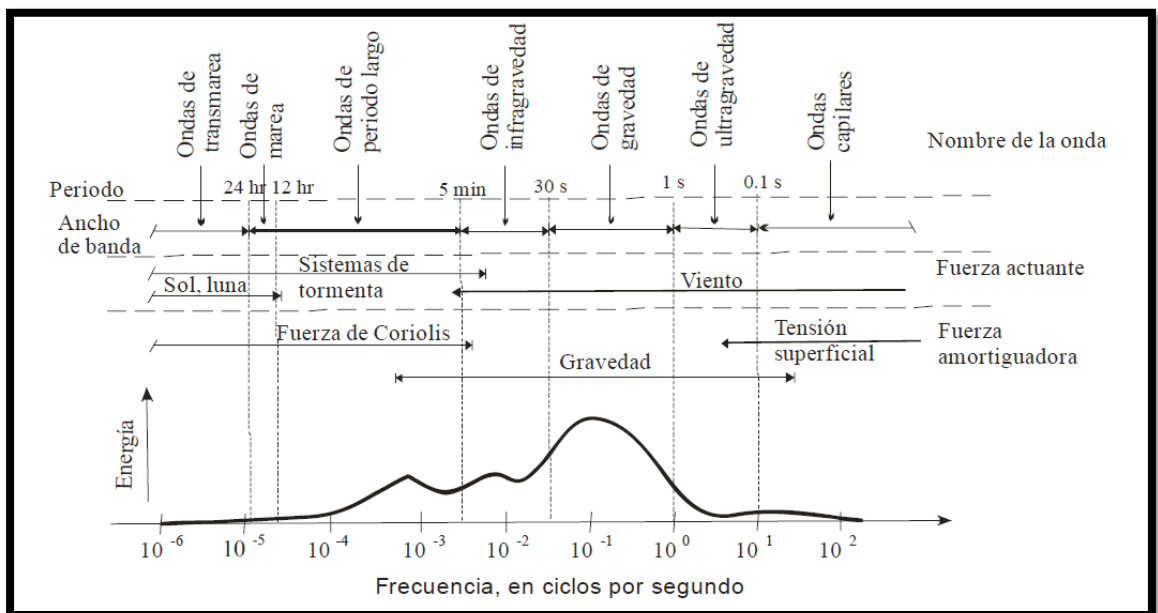
-Ones generades per terratrèmols o tsunamis: Són ones de períodes llargs i progressius, que es propaguen del seu epicentre.

### Segons la profunditat

-Ones d'aigües profundes: Segueixen la condició  $\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2}$

-Ones d'aigües intermèdies: Segueixen la condició  $\frac{1}{20} < \frac{h}{\lambda} < \frac{1}{2}$

-Ones d'aigües poc profundes: Segueixen la condició  $\frac{1}{20} > \frac{h}{\lambda}$



5. Distribució energètica de les onades de superfície

### Segons la força restauradora predominant

-Força de Coriolis: El seu efecte és efectiu només a les ones de període superior a 5 min, com les mareas.

-Força de Gravetat: Actua de forma vertical. Té efecte significatiu a les ones de períodes entre segons i minuts. Son les ones que contenen la major part de l'energia

-Tensió superficial: Actua sobre les ones que es formen primerament, amb l'acció del vent. Són ones de curt període i longitud.

Segons el temps d'aplicació de l'agent extern (força pertorbadora)

-Ones lliures: Son aquelles generades a l'àrea denominada "fetch", és a dir, a l'àrea on s'aplica la força generadora (p. ex. vent). Generalment és un onatge caòtic de períodes curts i longituds d'ona curtes, superfície irregular i múltiples direccions. Aquest grup d'onades és conegut com a onatge "SEA".

En termes més generals es pot dir que són aquelles onades generades per una aplicació instantània de l'agent extern que els forma, i que aquest desapareix al moment, deixant que la onada evolucioni lliurament

-Ones forçades: Es presenten quan surten de l'àrea de generació (el vent ja no té tanta influència). Poden presentar longituds d'ona molt grans, amb períodes i altures irregulars, però direcció definida. Aquest grup d'onades són conegudes com a onatge "SWELL".

En termes generals són aquelles onades generades per una aplicació continua, que participa al manteniment i evolució de la ona.

A la següent taula es poden observar els diferents tipus d'onatge amb els seus mecanismes de generació, períodes, longituds característiques, així com les forces de control.

Moviment	Període o longitud	Força generadora	Força de control	Exemples
Corrents oceàniques	$10^6$ m	Gradient de densitat i vents	Fricció, Coriolis, gravetat	Corrent del golf
Corrents costeres	$10^5$ m	Vents i corrents oceàniques	Fricció, Coriolis, gravetat	Afloraments
Corrents de trencament	$10^2$ m	Onades gravitatòries	Fricció, gravetat	Corrents de retorn
Corrents de marea	$10^3$ m	Marea astronòmica	Fricció gravetat	Badies i estuaris
Onades capil·lars	$0.1s / 10^{-2}$ m	Vent	Tensió superficial, gravetat	Arriacades del vent
Onades utragravitatòries	$0.1-1s / 100$ m	Vent	Gravetat	Onades de vent d'un toll
Onades gravitatòries	$0.1-30s / 1-10^3$ m	Vent i onatge de vent	Fricció, gravetat	SEA i SWELL
Onades infragravitatòries	$30s-5min / 10^3-10^5$ m	Vent i onades gravitatòries	Fricció, coriolis i gravetat	Onades de vora
Onades llargues	$5min / 10^5-10^6$ m	Borrasques i terratrèmols	Fricció, coriolis, gravetat	Tsunamis
Onades de	$12-24h /$	Atracció de la	Fricció,	Marea

<b>marea astronòmica</b>	$10^7\text{m}$	Terra / Atracció lluna sol	coriolis, gravetat	astronòmica
<b>Onades transmareals</b>	$24\text{h} / 10^7\text{m}$	Òrbita solar, gravitacional	Fricció, coriolis, gravetat	Marea meteorològica
<b>Onades inernes</b>	$4\text{min}-25\text{h} / 10-10^5\text{m}$	Borrasques, onades de gravetat	Fricció, coriolis, gravetat	Onades de densitat

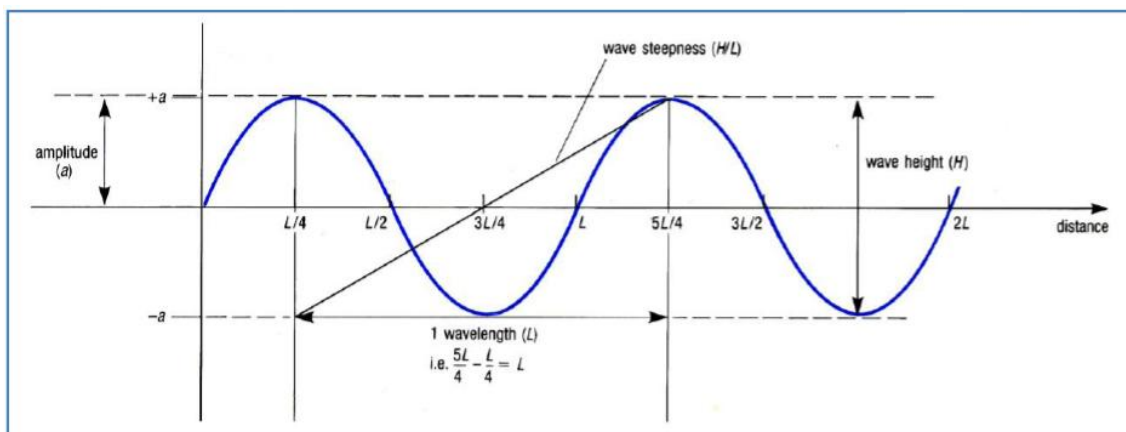
6. Taula de diferents tipus d'onatge amb els seus mecanismes de generació, períodes, longituds característiques, així com les forces de control.

### Segons el desplaçament

- Onades de translació: són aquelles en que el desplaçament de les partícules a qualsevol instant es produeix a la direcció d'avançament de la onada
- Onades de oscil·lació: Són aquelles en que el desplaçament de les partícules segueixen trajectòries tancades o casi tancades.

## 2.4. Paràmetres d'ones

A la figura següent, es pot observar una idealització d'una ona, per representar els paràmetres més significatius:



### 7. Perfil vertical de dues ones successives

Els paràmetres principals són:

**Altura de la ona:** Distància vertical entre una vall i una cresta successives

**Amplitud:** Màxima desviació des del nivell mig

5 de setembre del 2012

**Longitud d'ona:** Distància horitzontal entre dos crestes successives

**Període:** Temps que tarden a passar dos crestes successives pel mateix punt

**Freqüència:** Número de crestes que passen cada segon per un punt fix ( $f=1/T$ )

Altres paràmetres importants són:

$$\text{Freqüència angular } (\omega): \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{Número d'ona } (k): k = \frac{2\pi}{L}$$

$$\text{Celeritat } (c): c = \frac{L}{T}$$

$$\text{Peralt } (\epsilon): \epsilon = \frac{H}{L}$$

$$\text{Profunditat relativa: } \frac{d}{L}$$

$$\text{Altura d'ona relativa: } \frac{H}{d}$$

## 2.5. Potencial energètic

Segons el projecte GCEP<sup>1</sup> de la Universitat de Stanford, la potencia solar absorbida per la Terra es de 375W/m<sup>2</sup>, de la qual un 75% genera vents, que transmeten un 40% de la seva energia a les masses oceàniques.

Per tant, l'energia del sol que transmet a l'onatge, es pot aproximar de la següent manera:

$$E_{\text{sol-onatge}} = 0.75 \cdot 0.4 \cdot 375 = 1 \text{ W/m}^2$$

Al igual que els diferents tipus d'onatges, aquesta energia queda repartida de forma desigual per tot el planeta.

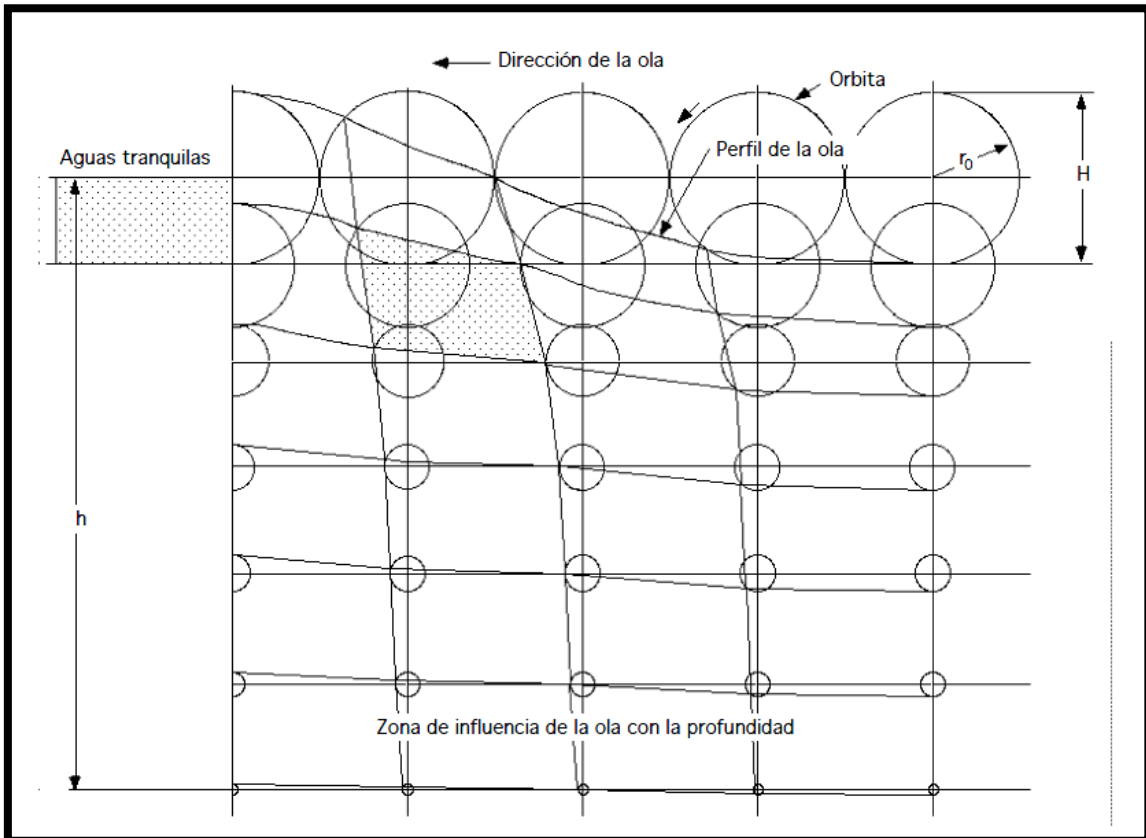
Les zones oceàniques exposades als vents regulars son les que presenten un major potencial energètic: entre 50-100 kW per metre de front d'ona i es troben a latituds entre 40° i 65° dels oceans Atlàntic i Pacífic. Pel contrari, les zones tropicals son les que presenten un potencial energètic menor, que oscil·la entre els 10 i els 20 kW/m. La mitja aproximada és de 8 kW/m.

---

<sup>1</sup> GCEP: Global Change Environment Project. Projecte sobre el canvi climàtic

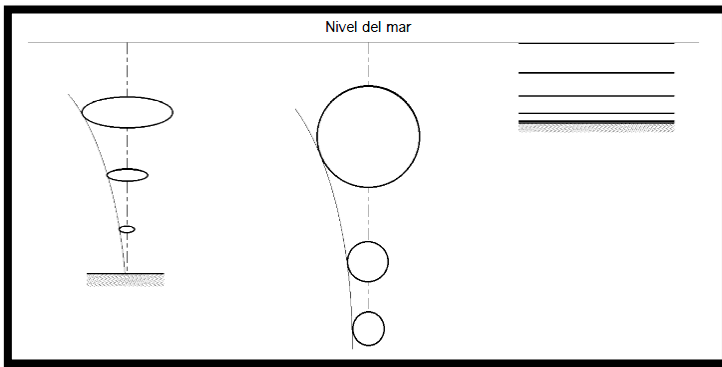
## 2.6. Comportament de les partícules de l'aigua

Una onada representa un flux d'energia, des de que es forma, fins que trenca l'onada. D'aquesta manera, una onada es propaga a través del fluid, però no desplaça massa. Les partícules del fluid descriuen un moviment orbital sincronitzat de tal manera que coordinen la posició en funció del moment de l'ona on es trobin, fet que descriu la onada a la seva forma genèrica.



### 8. Moviment de les partícules d'aigua en una onada

Per tant, el desplaçament horitzontal de les partícules d'una onada, situades a la mateixa horitzontal, és el mateix ja que la seva trajectòria circular té el mateix radi, però estan desfasades. En canvi, el desplaçament de partícules situades a la mateixa vertical, varia per la variació geomètrica de la seva trajectòria, tot i estar a la mateixa fase, ja que com més profunditat, més disminueix el radi orbital.

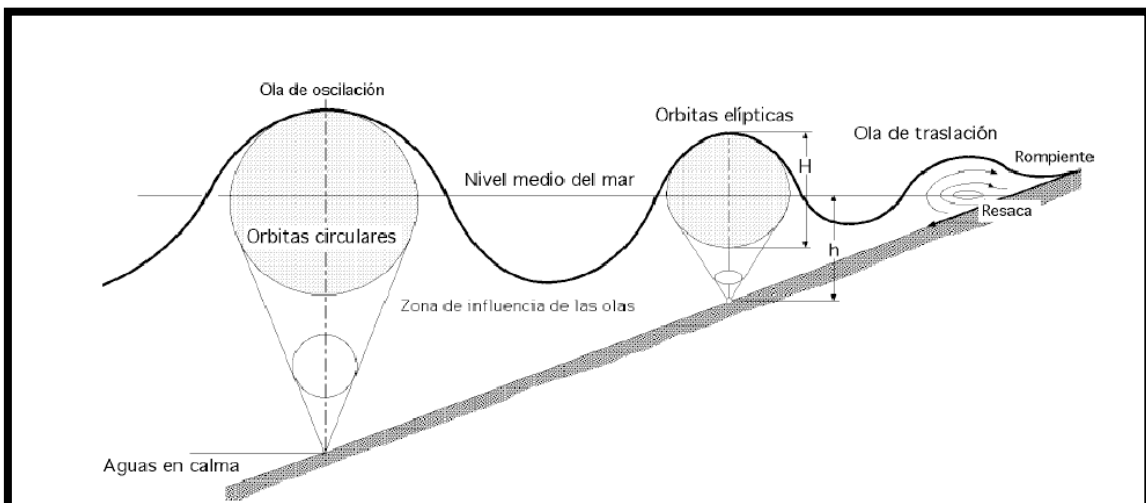


### 9. Influència del fons al desplaçament vertical de les òrbites

Les onades que es propaguen en aigües profundes, descriuen un moviment casi circular, ja que el fons queda a una distància que no afecta al moviment. El radi orbital en aquest tipus d'aigües es pot definir (coneixent el radi de la òrbita superior  $r_0$ , la longitud d'ona  $\lambda$  i la profunditat  $h$ ) mitjançant l'equació:

$$r = r_0 e^{\frac{-2\pi}{\lambda}h}$$

A aigües intermèdies, les òrbites sofreixen un procés d'aixafament, convertint-se en moviments el·líptics. Finalment, en aigües poc profundes el moviment es va tornant pràcticament longitudinal.



### 10. Moviment de la superfície i les partícules al aproximar-se a la costa.

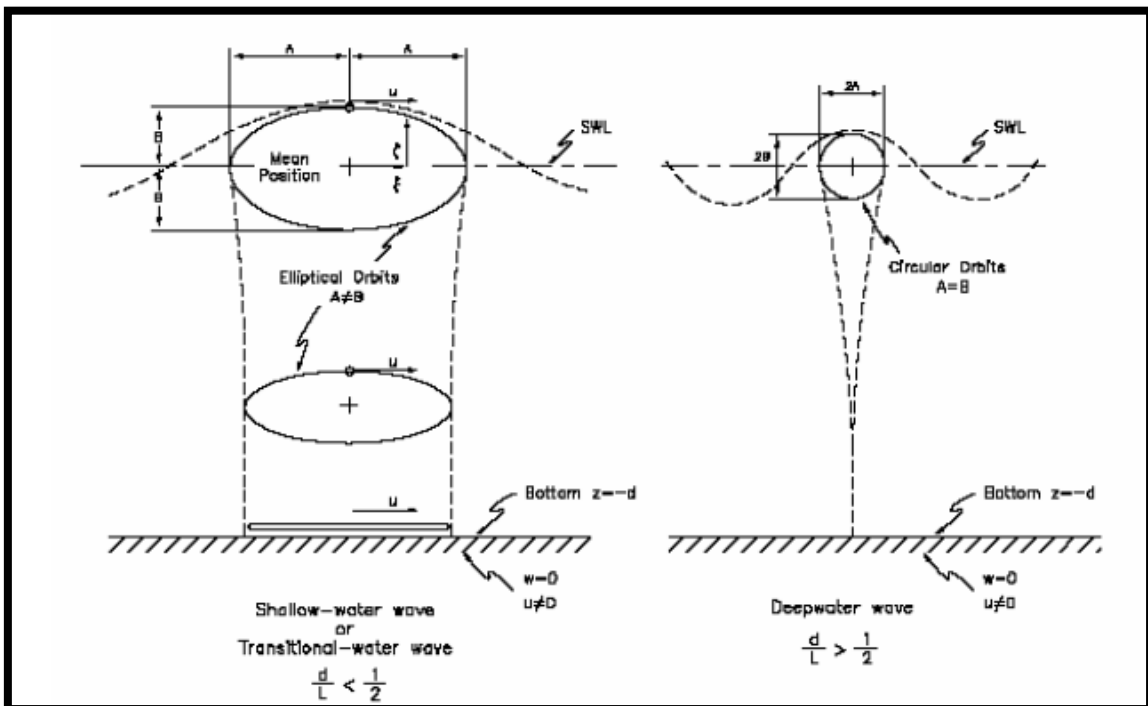
## 2.7. Potencial energètic - descripcions d'ones

Per poder saber de les magnituds d'energia aprofitable de les onades, és interessant conèixer el flux mig d'energia per unitat d'amplada, que travessa un pla vertical perpendicular a la direcció de propagació de la onada, és a dir, la velocitat en que es transmet la energia a través d'una superfície i a través del temps.

Per poder entendre l'energia que transmet l'onada, cal estudiar el perfil de la superfície dels oceans i els mars i la naturalesa de la part submergida.

Les onades són ones entre transversals<sup>2</sup> i longitudinals<sup>3</sup>, ja que comparteixen ambdós moviments.

Les onades es mouen longitudinalment a una velocitat de translació denominada celeritat. Al mateix temps, com s'ha dit anteriorment, les molècules d'aigua tenen unes trajectòries circulars o el·líptiques, en funció de la relació existent entre el tampany de l'altura i la profunditat del fons.



11. trajectòria de les partícules de les onades en funció de la profunditat del fons marí.

<sup>2</sup> Ones transversals: Són aquelles en les que la direcció de la perturbació o elongació és perpendicular a la direcció de propagació

<sup>3</sup> Ones longitudinals: Són aquelles en les que la direcció de la perturbació o elongació és la mateixa que la direcció de propagació



Per tant, una onada no representa un flux de massa, sinó un flux d'energia, com s'ha descrit anteriorment. Aquesta energia es pot dividir en dos tipus:

1. Energia potencial, degut a l'elevació que experimenten les molècules d'aigua per sobre de la línia del mar en repòs.
2. Energia cinètica, degut al moviment constant de les molècules d'aigua al llarg de la columna d'aigua.

Per poder fer un estudi del flux d'energia, es pot recórrer a les quatre descripcions del perfil d'onatge més acceptades, cada una amb un grau d'aplicació, de complexitat i de tipus d'onatge:

1. Onatge Regular
  - a. Descripció lineal d'onatge: teoria lineal d'ones o teoria d'Airy
  - b. Descripció no lineal d'onatge: teoria de Stokes de 2n ordre
  - c. Descripció no lineal d'onatge: teoria de la onada solitària
2. Onatge Irregular
  - a. Descripció geomètrico-estadística de l'onatge
  - b. Descripció espectral de l'onatge

Un detall a tenir en compte és que el flux mig d'energia de l'onatge, pot ser denominat també com a potencial mig de l'onatge, que és el que entenem de manera genèrica com a potencial energètic.

### 2.7.1. Càlcul de l'onatge regular

L'onatge es pot descriure com a un fenomen regular que suposa el moviment periòdic de les seves aigües, és a dir, els paràmetres característics d'un mateix punt es mantenen constants. Aquesta regularitat pot expressar-se de forma lineal, o no lineal, en funció de la forma del perfil de la superfície del mar que s'esculli.

Existeixen varies teories per descriure l'onatge regular, tot i que no totes funcionen bé a tots els tipus d'onatge.

A aigües profundes les onades tenen una altura molt petita, en comparació amb la longitud d'ona, i el seu moviment es pot aproximar a un moviment sinusoidal (teoria lineal d'ones, o teoria d'Airy)

A mida que l'onada s'acosta a la costa (aigües intermèdies), el fons modifica la seva forma, de tal manera que deixa de ser sinusoidal per ser asimètrica. A més a més l'altura de la onada incrementa amb la profunditat (teoria no lineal o d'amplitud finita: teoria de Stokes, teoria cnoïdal i teoria d'ones solitàries).

Per tant, per poder analitzar bé el potencial energètic, s'ha de definir prèviament les característiques de la zona de treball.

Per ubicacions a alta mar, el domini pertany a aigües profundes, i la teoria que més s'adequa és la teoria d'Airy, que descriu un fenomen regular i lineal.

Per ubicacions a aigües properes a la costa, el domini pertany a aigües intermèdies. En aquest cas la teoria més adequada és la teoria de Stokes, que descriu un fenomen regular i no lineal.

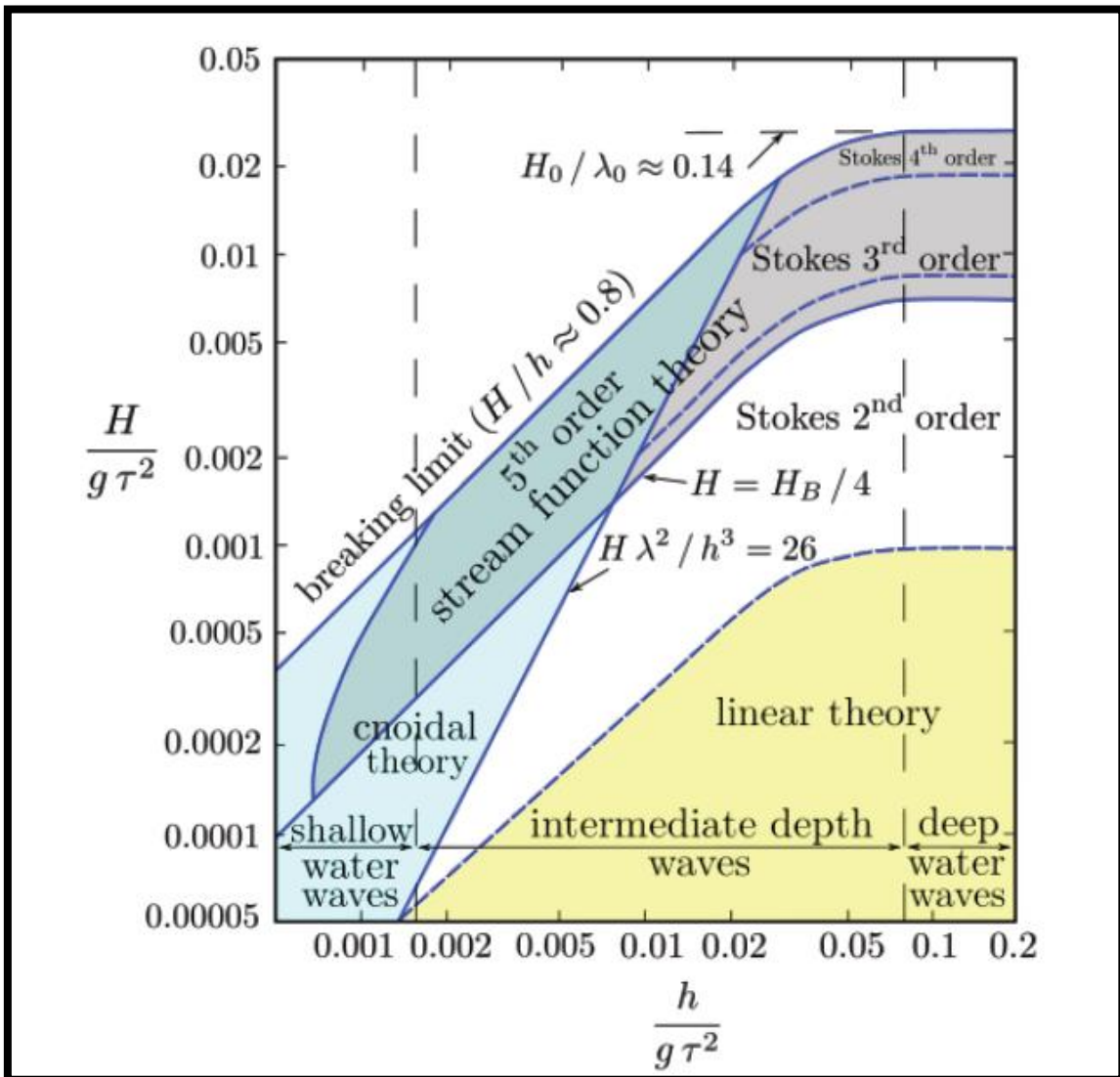
Finalment, per ubicacions a aigües de la costa, el domini pertany a aigües poc profundes, i les teories més adequades són la teoria cnoidal i la teoria d'onada solitària.

S'ha de tenir en comte que l'energia que transporten les onades, disminueix en funció de la profunditat, i aquesta energia es pot perdre més per causa dels objectes que interfereixen a l'avançament de l'onada (cosa molt probable a zones costeres). Per aquest motiu, l'estudi del potencial a aigües costeres, no té molt sentit, perquè l'energia aprofitable és molt petita, a més a més del fet de que les onades al incidir a la costa, tenen la tendència natural de trencar-se, fet que provoca una gran pèrdua de la seva energia.

Per tal de saber quina teoria és la més adequada, es pot utilitzar el gràfic de Méhauté (1976). Aquest gràfic és una relació entre els paràmetres d'altura de la ona i la profunditat amb el quadrat del període per la gravetat. Amb aquestes relacions s'obté un punt que segons la zona on estigui, indica quina teoria s'adapta millor a les característiques de l'onatge<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>En aquest gràfic, no apareix la teoria de Fenton, ja que és posterior a la seva confecció



## 12. Diagrama de Méhauté

Un paràmetre adimensional utilitzat per definir el rang d'aplicació de les diferents teories és el número de Ursell ( $Ur$ ) i es defineix com:

$$Ur = \frac{H\lambda^2}{h^3}$$

Donada aquesta definició la interpretació dels seus resultats és:

-S'aplica la teoria de Stokes si:  $Ur < 21.6$

-S'apliquen altres teories com la Cnoidal o la de Boussinesq si:  $Ur > 21.6$

Com es pot apreciar aquest número es una mesura de rang de "no linealitat" de l'onatge, és a dir, dins de l'onatge regular no lineal, classifica les teories que hi ha.

S'ha de tenir en compte que aquest número també pot estar definit en funció del període o el número de onada, però conceptualment el significat del paràmetre és el mateix (varien numèricament els resultats).

Un cop definits els criteris de triatge de teories, es poden definir els càlculs de les diferents teories:

### 2.7.1.1 Teoria lineal d'ones o teoria d'Airy

La teoria lineal és el resultat d'una simplificació de l'anàlisi físic i matemàtic de la propagació de l'onatge a un fluid.

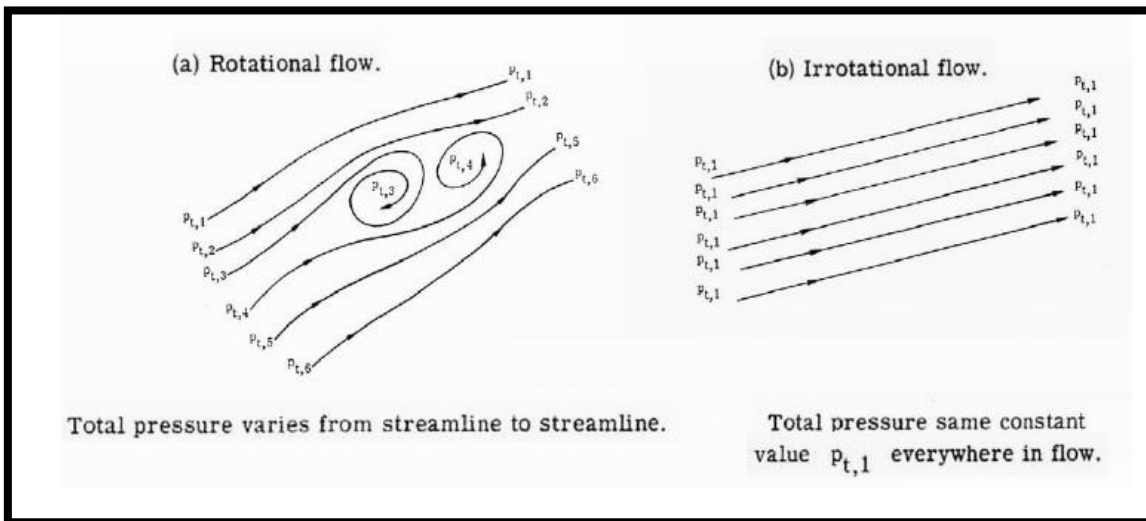
La simplificació es basa en algunes consideracions com:

-Es considera que les forces principals són les de la gravetat, i les produïdes per la diferència de pressió, suposant que el fluid és no viscos i que poden despreciar-se les tensions tangencials.

-Es suposa que l'aigua és un fluid incompressible

-S'accepta que el moviment, que realment és tridimensional, es redueix a una component vertical "w" i una component horitzontal "u".

-Es suposa que és un moviment irrotacional  $\nabla \times \vec{u} = 0$  i que es podrà, per tant, definir un potencial de velocitats tal que  $\nabla \phi = \vec{u}$



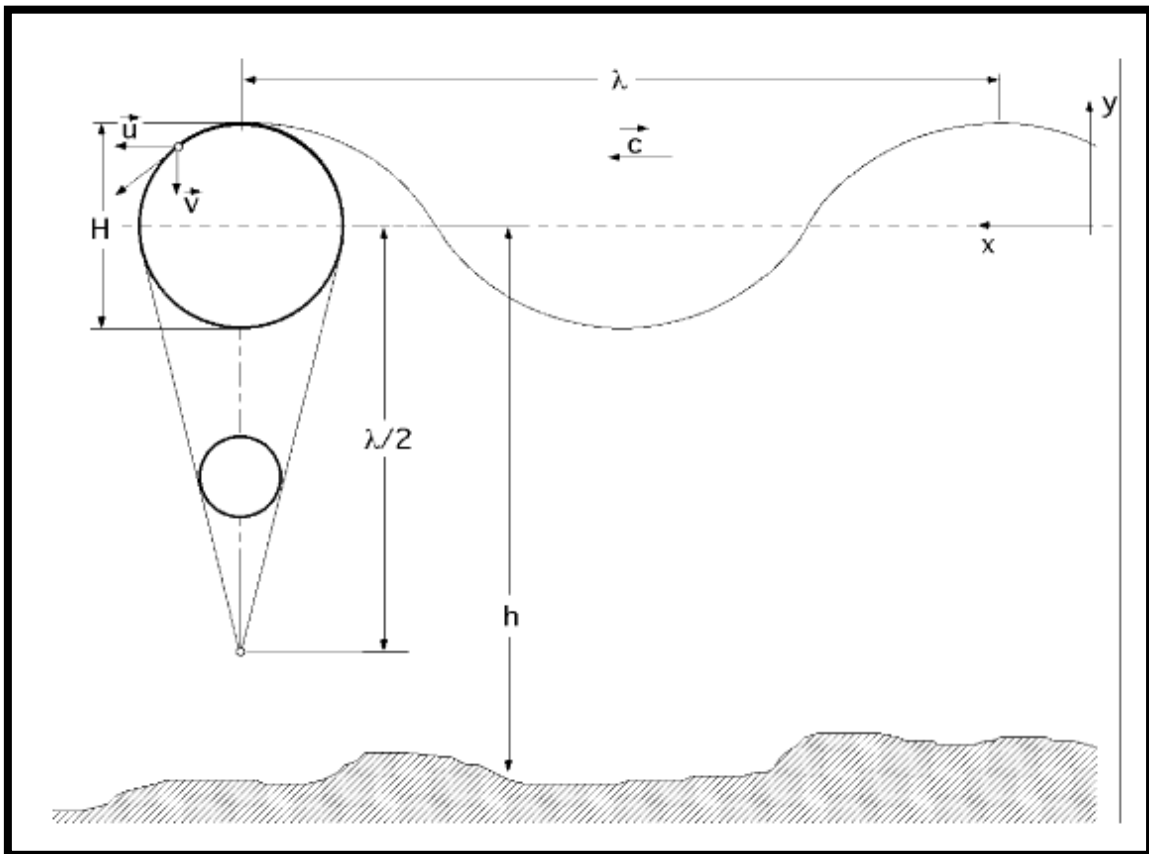
### 13. Diferència entre fluid rotacional i irrotacional

-El fons es considera un límit horitzontal, fix i impermeable.

-Se suposa que és una onada periòdica i regular, que la única força exterior que té efecte sobre el fluid és la gravetat terrestre. La tensió superficial també es considera nul·la.

-L'efecte de Coriolis i les pèrdues d'energia per trencament de la onada són despreciables.

A més a més, per fer de les equacions del moviment del fluid, una dinàmica enfocada a la enginyeria marítima, la teoria lineal suposa que el perfil de la superfície és una ona sinusoidal que es descriu mitjançant una funció progressiva cosinus amb una amplitud igual a la meitat de la altura de la onada.

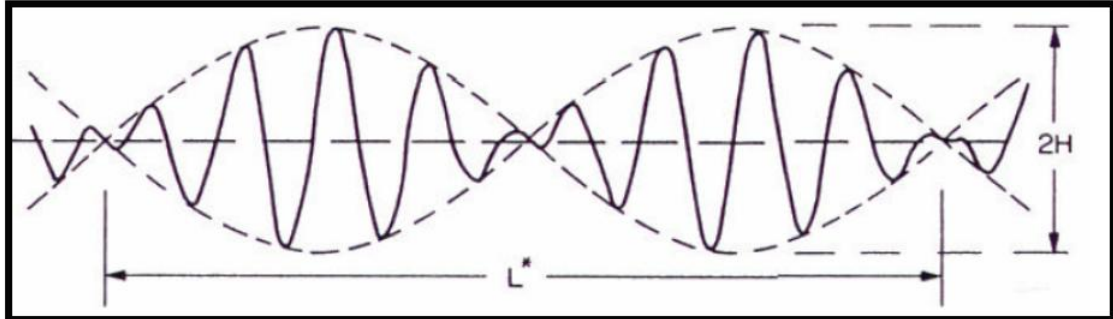


#### 14. Perfil d'ona lineal

Respecta el moviment del fluid per sota la superfície, es considera que els trajectòries de les partícules d'aigua són òrbites circulars tancades, deduint d'aquesta manera que no existeix transport de massa.

Un aspecte a tenir en compte de cara al càlcul del potencial energètic és el concepte de velocitat de grup, que explica que la teoria en qüestió queda descrita a partir de la

caracterització d'una sola onada individual. Tot i això, quan s'observa l'onatge al mar, és evident que el que s'aprecia com a ona completa realment és una superposició d'onades i que cada una d'aquestes onades té els seus propis paràmetres.



### 15. Esquema de grup d'onades

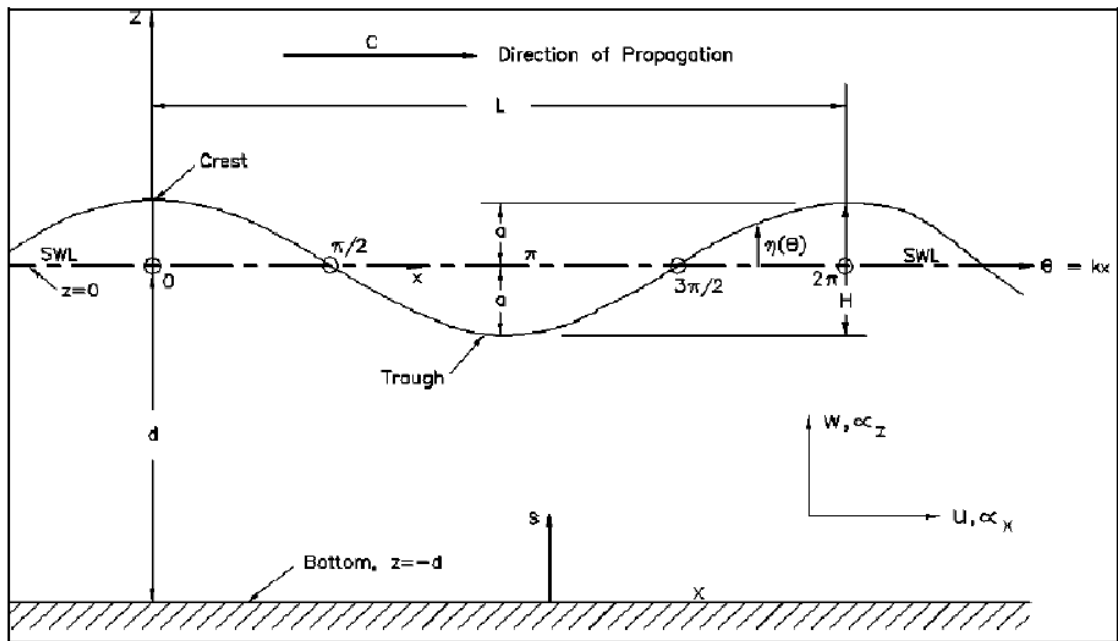
Per tant, cal remarcar que existeixen dos velocitats importants: la celeritat o velocitat de fase (C) que correspon a l'avançament d'una ona individual; i la velocitat de grup (Cg) que correspon a l'avançament del grup d'onades. La velocitat de grup és realment la que s'aprecia al observar l'onatge. A aigües profundes es diu que la evolvent va alentida respecte a les onades individuals i que les ones viatgen en paquets d'energia.

Amb aquestes condicions s'obtenen les següents expressions que defineixen l'onatge segons la teoria d'Airy:

Profunditat relativa	Aigües poc profundes	Aigües intermèdies	Aigües profundes	
	$\frac{1}{20} > \frac{h}{\lambda}$	$\frac{1}{20} < \frac{h}{\lambda} < \frac{1}{2}$	$\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2}$	
Perfil $\eta$	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right]$	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right]$	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right]$	
Celeritat C	$C = \sqrt{gT}$	$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left[ \frac{2\pi h}{\lambda} \right]$	$C = C_0 = \frac{gT}{2\pi}$	
Longitud d'ona $\lambda$	$\lambda = T\sqrt{gh}$	$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left[ \frac{2\pi h}{\lambda} \right]$	$\lambda = \lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$	
Velocitat de grup Cg	$Cg = C = \sqrt{gh}$	$Cg = \frac{C}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h/\lambda}{\sinh(4\pi h/\lambda)} \right]$	$Cg = \frac{C}{2} = \frac{gT}{4\pi}$	
Velocitat de la partícula d'aigua	Horitzontal, u	$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \cos \theta$	$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{\lambda} \frac{\cosh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \cos \theta$	$u = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{\lambda}} \cos \theta$
	Vertical, w	$w = \frac{H\pi}{T} \left[ 1 + \frac{z}{h} \right] \sin \theta$	$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{\lambda} \frac{\sinh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \sin \theta$	$w = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{\lambda}} \sin \theta$

16. Taula d'expressions de la teoria d'Airy.

A continuació es mostra una representació d'una ona Airy, amb els seus característics:



### 17. Representació d'una ona Airy

SLW: Nivell mig del mar

$\eta$ : perfil d'ona

$\theta$ : fase

a: amplitud

z: distància entre el centre de gravetat de l'onada o nivell del mar i el punt que es defineixi

d: profunditat del fons marí

u: velocitat horitzontal

w: velocitat vertical

H: altura de la ona

C: velocitat de la ona

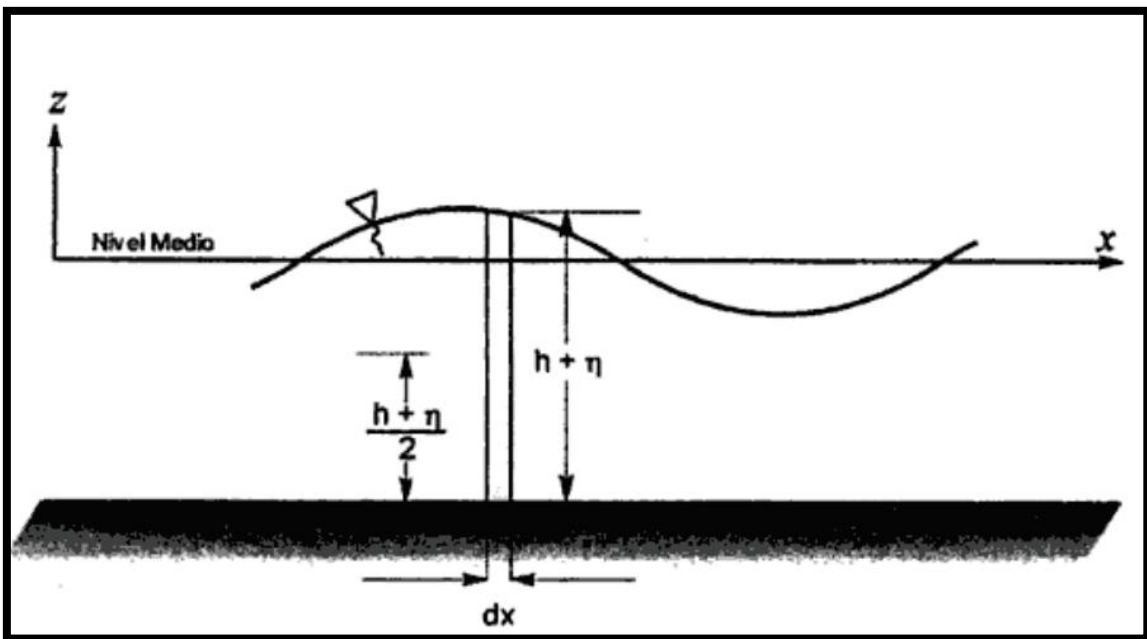
Per poder formular el potencial energètic s'ha de definir la expressió d'energia d'una ona individual, tenint en compte que es divideix en energia potencial i energia cinètica.

### 1. Energia potencial

L'energia potencial d'una columna d'aigua es defineix com a:

$$dE_p = dmgz = \rho(h + \eta)dx \cdot g \frac{(h + \eta)}{2}$$

dm: es el diferencial de massa format per la altura del nivell mig del mar més la variació d'altura de la superfície del mar multiplicat per la densitat al llarg d'un diferencial de posició longitudinal  $dm = \rho(h + \eta)dx$



18. Esquema per la deducció de l'energia potencial d'una ona.

z: és la altura des del centre de gravetat de la massa corresponent a la columna d'aigua

$$\begin{aligned}
 E_p &= \frac{1}{\lambda} \int_x^{x+\lambda} dE_p = \\
 &= \frac{1}{\lambda} \int_x^{x+\lambda} \rho g \frac{(h + \eta)^2}{2} dx = \\
 &= \frac{\rho g}{2\lambda} \int_x^{x+\lambda} (h + \eta)^2 dx = \\
 &= \frac{\rho g}{2\lambda} \int_x^{x+\lambda} (h^2 + 2h\eta + \eta^2) dx = \\
 &= \frac{\rho g}{2\lambda} \left[ \int_x^{x+\lambda} h^2 dx + 2 \int_x^{x+\lambda} h\eta dx + \int_x^{x+\lambda} \eta^2 dx \right] =
 \end{aligned}$$

a                      b                      c



$$\begin{aligned}
 &= \frac{\rho g}{2\lambda} h^2 \lambda + \frac{\rho g}{2\lambda} 0 + \frac{\rho g}{2\lambda} \cdot \frac{H^2}{8} \lambda = \\
 &= \frac{\rho g}{2} h^2 + \frac{\rho g H^2}{16}
 \end{aligned}$$

Posat que del total de l'Ep el primer terme fa referència a l'Ep en estat de repòs, només s'agafa el segon terme, ja que és el que fa referència a l'Ep de l'onada

$$E_{p,onada} = \frac{\rho g H^2}{16}$$

a.  $\int_x^{x+\lambda} h^2 dx = h^2 \lambda$

b.  $2 \int_x^{x+\lambda} h \eta dx = 2h \int_x^{x+\lambda} \eta dx = 2h \int_x^{x+\lambda} \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right] dx =$   
 $hH \int_x^{x+\lambda} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right] dx = hH \sin(2\pi - 2\pi) = 0$

c.  $\int_x^{x+\lambda} \eta^2 dx = \int_x^{x+\lambda} \left[ \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right] \right]^2 dx = \frac{H^2}{4} \int_x^{x+\lambda} \left[ \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right) \right]^2 dx =$   
 $\frac{H^2}{4} \int_x^{x+\lambda} \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right) \right] dx = \frac{H^2}{8} \int_x^{x+\lambda} \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right) \right] dx =$   
 $\frac{H^2}{8} \left[ \int_x^{x+\lambda} dx + \int_x^{x+\lambda} \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right) dx \right] = \frac{H^2}{8} \lambda + \frac{H^2}{8} \sin(2\pi - 2\pi) = \frac{H^2}{8} \lambda$

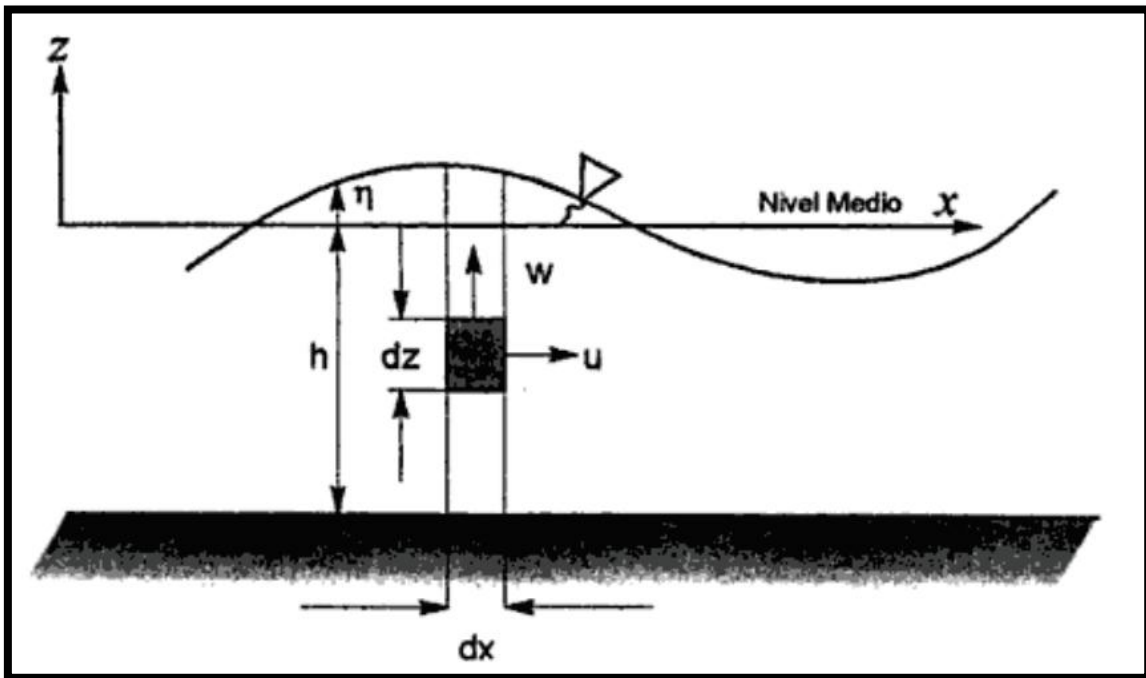
## 2. Energia cinètica

L'energia cinètica relativa al moviment de les partícules es defineix de forma diferencial en funció d'un diferencial de massa.

$$dE_c = dm \frac{u^2 + w^2}{2} = \rho dz dx \frac{u^2 + w^2}{2}$$

On:

dm: és el diferencial de massa format per la superfície que es defineix mitjançant el moviment vertical i longitudinal descrits pel diferencial de z i pel diferencial de x.



19. Esquema per la deducció de l'energia cinètica d'una ona.

Ja que :

$$u = \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{\cosh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \cos \theta \quad i \quad w = \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{\sinh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \sin \theta$$

Queda com:

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{1}{\lambda} \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \rho \frac{u^2+w^2}{2} dz dx \\ &= \frac{1}{\lambda} \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \rho \frac{\left[ \left( \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{\cosh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \right)^2 + \left( \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{\sinh[2\pi(h+z)/\lambda]}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \sin \theta \right)^2 \right]}{2} dz dx \\ &= \frac{\rho}{2\lambda} \left[ \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{1}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \right]^2 \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \left[ [\cosh[2\pi(h+z)/\lambda] \cos \theta]^2 \right. \\ &\quad \left. + [\sinh[2\pi(h+z)/\lambda] \sin \theta]^2 \right] dz dx \\ &= \frac{\rho}{2\lambda} \left[ \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{1}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \right]^2 \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \frac{1}{2} [\cosh 2[2\pi(h+z)/\lambda] + \cos 2\theta] dz dx \\ &= \frac{\rho}{2\lambda} \left[ \frac{H g T}{2 \lambda} \frac{1}{\cosh[2\pi h/\lambda]} \right]^2 \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \frac{1}{2} [\cosh 2[2\pi(h+z)/\lambda]] dz dx \quad a \\ &\quad + \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta}^{\eta} \frac{1}{2} (\cos 2\theta) dz dx \quad b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a. } & \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta/2}^{\eta/2} [\cosh 2[2\pi(h+z)/\lambda]] dz dx = \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta/2}^{\eta/2} \left[ \cosh \frac{4\pi}{\lambda}(h+z) \right] dz dx = \\ & \frac{\sinh(4\pi h\lambda)}{8\pi\lambda} \\ \text{b. } & \int_x^{x+\lambda} \int_{-\eta/2}^{\eta/2} (\cos 2\theta) dz dx = \frac{1}{2} [\cos 2(kx - wt)] dz dx = \frac{\sin 2(2\pi - 2\pi)}{2} = 0 \end{aligned}$$

Finalment l'Ec queda:

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{\rho}{2\lambda} \left[ \frac{H g T}{2 \lambda \cosh[2\pi h/\lambda]} \right]^2 \left( \frac{\sinh(2kh)}{4k} + 0 \right) \\ &= \frac{\rho H^2 g^2 T^2}{8 \lambda^2} \left[ \frac{1}{\cosh(kh)} \right]^2 \frac{\sinh(2kh)}{4k} \\ &= \frac{\rho H^2 g^2 k^2 \tanh(kh)}{8 w^2 2k} \\ &= \frac{\rho H^2 g^2 k}{16 w^2} \tanh(kh) \end{aligned}$$

Aplicant la relació de dispersió: 
$$\begin{cases} c = \frac{\lambda}{T} = \frac{w}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kh)} \\ \left(\frac{w}{k}\right)^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) \\ \frac{gk}{w^2} \tanh(kh) = 1 \end{cases}$$

S'obté:

$$E_c = \frac{\rho g H^2}{16}$$

### 3. Energia total

Finalment l'energia total que transporta l'onada és el resultat de la suma de la energia cinètica i la energia potencial:

$$E_{total} = E_p + E_c = \frac{\rho g H^2}{16} + \frac{\rho g H^2}{16} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

El treball que realitza l'onada es determina plantejant en primer lloc l'esquema de forces en el que s'observa que la única força no balancejada és la pressió dinàmica, ja que la pressió estàtica es compensa als dos costats de la superfície vertical considerada.

D'aquesta manera es pot definir de forma diferencial el flux d'energia o potencia que la onada transfereix a l'aigua quieta com:

$$dP = \frac{T}{t} = P_d u dz$$

Que si es canvia la funció diferencial a integral queda:

$$P = \frac{1}{LT} \int_{-\eta}^{\eta} \int_t^T \int_x^{x+\lambda} P_D u dx dt dz$$

Per definir la pressió dinàmica s'ha de recórrer a l'expressió del camp de pressions d'una ona progressiva. Aquest camp es determina a partir de l'Equació de Bernouilli particularitzada per cas d'un fluid ideal i amb la velocitat potencial adequada:

$$\Phi = \frac{Hg \cosh k(h+z)}{2w \cosh kh} \sin(kx - wt)$$

$$p = -\rho g z + \rho g \frac{H \cosh k(h+z)}{2 \cosh kh} \cos(kx - wt)$$

El primer sumant fa referència a la pressió hidrostàtica i el segon a la pressió hidrodinàmica, per tant:

$$p_D = -\rho \frac{\delta \Phi}{\delta t} = -\rho g \frac{H \cosh k(h+z)}{2 \cosh kh} \cos(kx - wt)$$

Substituint la pressió dinàmica i la component horitzontal de la velocitat orbital a l'expressió genèrica, queda com:

$$P = \frac{1}{LT} \int_{-\eta}^{\eta} \int_t^T \int_x^{x+\lambda} \left[ \rho \frac{Hg \cosh k(h+z)}{2 \cosh kh} \cos(kx - wt) \right] \left[ \frac{H}{2} w \frac{\cosh(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - wt) \right] dx dt dz$$

$$P = \frac{\rho g w}{4k} \left( \frac{H}{2} \right)^2 \frac{(2kh + \sinh(2kh))}{\sinh(2kh)}$$

$$P = \left( \frac{1}{8} \rho g H^2 \right) \frac{w}{k} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \right]$$

Substituint el número d'ona pel seu valor ( $k=2\pi/\lambda$ ), la freqüència pel seu valor ( $w=2\pi/T$ )

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} \frac{2\pi}{T} \frac{\lambda}{2\pi} \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h/\lambda}{\sinh[4\pi h/\lambda]} \right]$$

I substituint la longitud d'ona pel seu valor dins la taula de característiques d'ona de la teoria d'Airy s'obté:

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} \frac{g T}{4\pi} \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h / \lambda}{\sinh[4\pi h / \lambda]} \right]$$

I finalment s'obté:

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} \frac{C}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h / \lambda}{\sinh[4\pi h / \lambda]} \right] = \frac{\rho g H^2}{8} C_g = E C_g$$

D'aquesta última expressió es dedueix que el potencial mig és igual a la energia total mitja d'una onada individual per la seva velocitat de grup. És a dir, que queda demostrat que la energia es transporta amb la velocitat de grup i no amb la velocitat de fase.

En aigües profundes, l'energia es transporta a la meitat de la velocitat a la que ho fan les onades individuals:

$$C_g = \frac{C_0}{2}$$

I s'obté:

$$P = E \frac{C_0}{2}$$

Coneixent també:

$$C_0 = \frac{g T}{2\pi}$$

Es dedueix que:

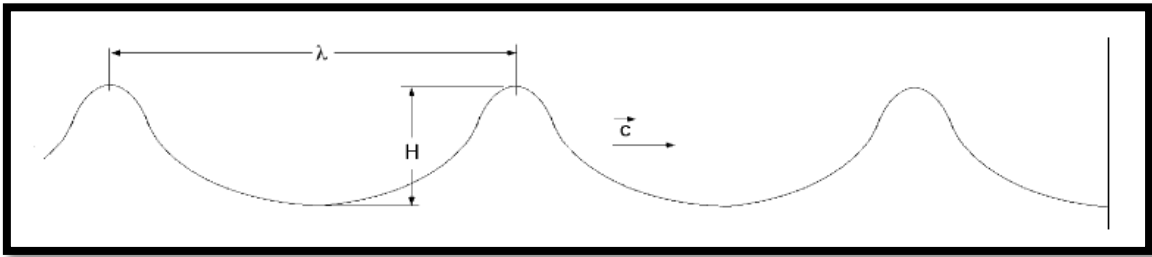
$$P = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T$$

Es a dir, que el potencial mig d'energia d'una onada individual idealitzada (ona sinusoidal de amplitud constant i període i longitud de ona definides) varia amb el quadrat de la altura de la ona (H) i amb el període del moviment (T). Per tant, la disminució de la seva altura amb la profunditat (h), és important a l'estudi de la distribució energètica amb onades de profunditat limitada.

2.7.1.2. Teoria no lineal de Stokes de 2n ordre

La teoria de Stokes desenvolupa solucions en series de segon, tercer i ordres superiors. Donada la seva forma particular, l'equació de la forma del perfil de la superfície del mar es:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - wt) + \frac{\pi H^2}{2L} \frac{\cosh(kh) [2 + \cosh(2kh)]}{[\sin(kh)]^3} \cos[2(kx - wt)]$$



**20. Perfil d'ona no lineal (Stokes)**

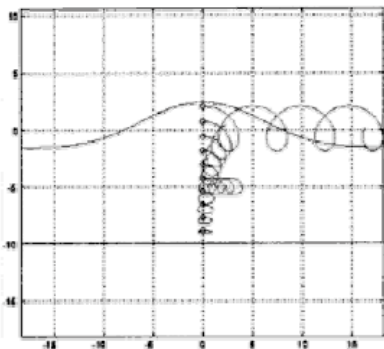
Aquest perfil és un perfil amb crestes més altes i primes i sinus més plans i amples, aproximant-se a la forma que té el perfil d'onades quan entra a aigües intermèdies i poc profundes

En quant al moviment de les molècules de l'aigua, les trajectòries orbitals a les que es trobe sotmeses, es consideren obertes, de manera que es té en compte el transport net de les molècules cap a la direcció de propagació de l'onatge.

Les components horitzontal i vertical de la velocitat orbital son:

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - wt) + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) C \frac{\cosh 2k(h+z)}{(\sinh kh)^4} \cos 2(kx - wt)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh} \sin(kx - wt) + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) C \frac{\sinh 2k(h+z)}{(\sinh kh)^4} \sin 2(kx - wt)$$



**21. Esquema del moviment de les molècules d'aigua segons la teoria de Stokes**

I el transport net de la partícula d'aigua amb la direcció de propagació de l'onatge es descriu mitjançant la velocitat de deriva de Stokes:

$$U_z = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi H}{L} \right)^2 C \frac{\cosh 2k(h+z)}{2(\sinh kh)^2}$$

Per la deducció del potencial mig d'energia d'una onada individual es procedeix com a la teoria lineal, tenint en compte que aquesta teoria s'ajusta més a la realitat del perfil de la superfície del mar a les zones poc profundes.

A continuació es troba l'equació de l'energia obtinguda a la teoria d'Airy, amb un factor de correcció que està en funció de la profunditat (h). Aquesta energia serà igual o major que la de Airy.

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \left( 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{\left(\frac{2\pi}{L}\right)^4 h^6} \right)$$

D'aquesta manera es pot definir el flux d'energia o potència que la onada transfereix a l'aigua quieta per la velocitat de grup.

$$P = C_g \bar{E} = C_g \frac{1}{8} \rho g H^2 \left( 1 + \frac{9}{64} \frac{H^2}{\left(\frac{2\pi}{L}\right)^4 h^6} \right)$$

La definició de velocitat de grup concorda amb la teoria d'Airy, de la mateixa manera que ho van la Celeritat (C) i la longitud d'ona ( $\lambda$ ).

$$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{[4\pi h/\lambda]}{\sinh[4\pi h/\lambda]} \right]$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi h}{\lambda}\right]$$

A la expressió de la velocitat de grup s'observa que el número d'ona (n) es una variable que depèn de la profunditat a la que es treballi (h), dins de l'interval d'aigües intermèdies  $\left(\frac{1}{25} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}\right)$ .

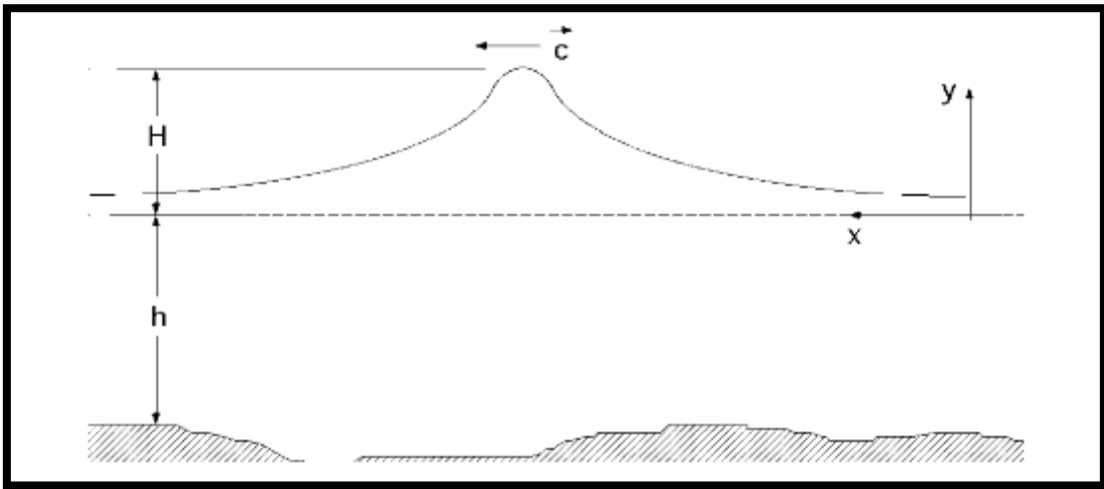
2.7.1.3. Descripció no lineal d'onatge: Teoria de la onada solitària

La característica principal de la onada descrita amb aquesta teoria es que la seva superfície està, a cada instant, per sobre del nivell normal del mar a la zona considerada.

El perfil de la onada ve donat pel desplaçament vertical i per cada posició "x" i cada temps "t", resultant de la següent forma:

$$\eta = H \left( \operatorname{sech} \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - ct) \right)^2$$

Essent el valor de la celeritat:  $c = \sqrt{gH \left( 1 + \frac{H}{h} \right)}$



**22. Perfil d'ona solitària o tsunami**

La component horitzontal de la velocitat de les partícules d'aigua es defineix com a :

$$u = \sqrt{\frac{g}{h}} y = \sqrt{\frac{g}{h}} H \left[ \operatorname{sech} \left( \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - ct) \right) \right]^2$$

I la condició de trencament d'onada és que:  $H_r = 0.714h_r$

L'energia de la onada a la zona d'aigües poc profundes s'expressa mitjançant la següent expressió:

$$E = 1.54\gamma\sqrt{(Hh)^3}b$$

On

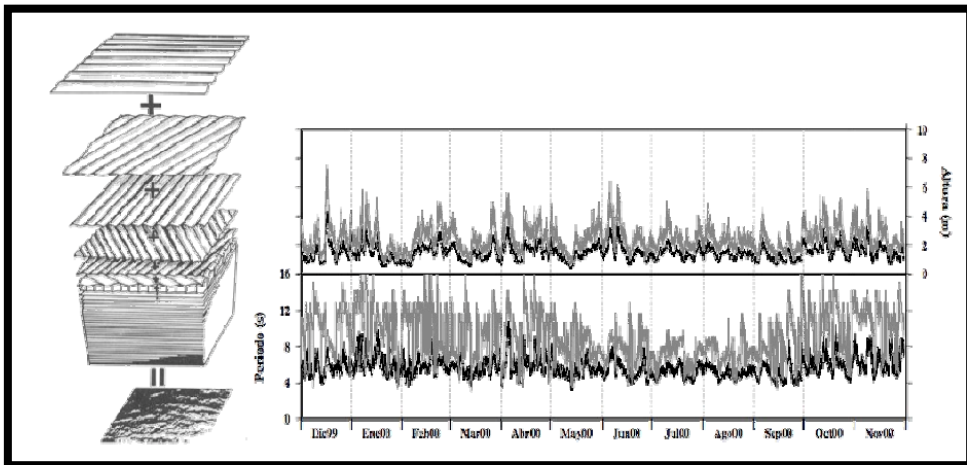
b: és la amplada de la cresta o longitud del front d'onades.



D'aquesta equació s'observa que l'energia disminueix considerablement com més s'acosta a la costa, és a dir, com menys profunditat té. Això fa que no sigui un bon objectiu d'estudi d'energia pel seu aprofitament.

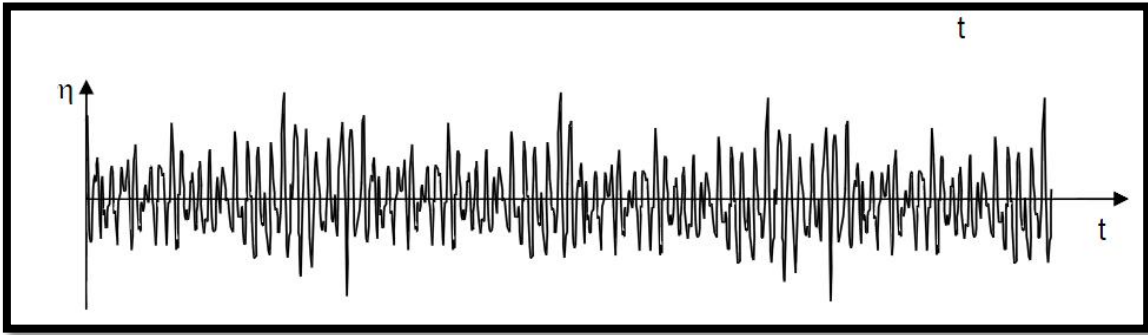
### 2.7.2. Càlcul de l'onatge irregular

A la realitat, l'onatge és un fenomen complex i aleatori, tant a l'espai com al temps. Si es realitza un registre dels desplaçaments del mar a un mateix punt, al llarg d'un cert temps, es pot observar un esquema com el de la figura següent, molt allunyat de l'esquema que presenta l'onatge regular, on es mantenen constants totes les seves variables.



23. Descomposició de l'onatge. Registre de les altures de la ona i períodes entre el desembre del 1999 i el novembre del 2000 per la boia de Gran Canaria. Font: [www.puertos.es](http://www.puertos.es)

És a dir, l'onatge real és una superposició de diferents trens d'ones amb diferents valors de períodes i altures que donen com a resultat registres complexos de superfície lliure.



24. Exemple d'un estat de mar. Superfície lliure en funció del temps.

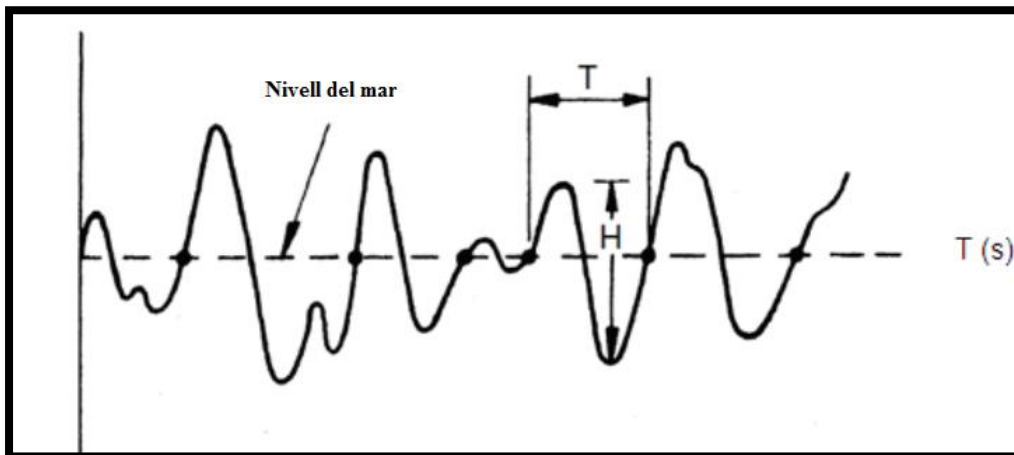
A més a més, si es comparen dos registres de dos punts relativament propers, es pot observar que les ones només s'assemblen en les seves propietats estadístiques mitges, és a dir, l'onatge es desenvolupa al temps d'una forma controlada per les lleis probabilístiques.

L'onatge real s'estudia a partir de dos tècniques diferents: mitjançant la **descripció estadística** dels paràmetres; o bé, mitjançant l'ús d'una **funció de densitat espectral**

#### 2.7.2.1. Descripció estadística-geomètrica

Aquesta descripció consisteix en la caracterització de l'onatge a partir d'una sèrie de variables anomenades *paràmetres estadístics*.

Per l'obtenció d'aquests paràmetres es descomposa un registre d'onades successives, a ones individuals, que es poden definir a partir del criteri "pas ascendent per zero": partint d'un nivell de referència zero, es defineix una ona com la situada entre dos passos ascents que passen per zero.



25. Criteri del pas ascendent per zero

Per cada onada individual s'obté una lectura de la seva altura  $H_i$  i del seu període  $T_i$ . El perfil de la superfície del mar d'una onada individual es descriu mitjançant la teoria lineal de onades, o de Airy, com:

$$\eta(t) = \frac{H}{2} \cos(kx - wt)$$

De tal manera que en un registre de  $N$  onades s'obté una sèrie d'altures d'ona ( $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ ) i de períodes d'ona ( $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ ). I el perfil de la superfície del mar de tots els camps d'onatge es descriu per la suma dels seus termes sinusoidals, amb sèrie de Fourier, com:

$$\eta_N(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(k_i x - w_i t) \text{ on l'amplitud de les ones és } 1/2 H_i$$

A partir dels  $N$  valors d'altures d'ona i dels períodes registrats, s'obté els següents paràmetres estadístics que caracteritzen un registre qualsevol d'onatge:

**-Hrms                      Altura de la ona mitja quadràtica**

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$$

**-Hs                              Altura d'ona significant**

És el promig del terç major de les altures d'ona a un registre de  $N$  onades.

**-Hmax                        Altura d'ona màxima**

El major valor de les  $H_i$

**-Tz                              Període estadístic**

$$T_z = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}$$

**-Ts                              Període significant**

És la mitja aritmètica dels períodes associats al terç de les onades més altes d'un registre d'onatge.

**-Tc                              Període entre crestes**

És l'interval de temps que passa entre dos crestes consecutives

**-r                                Paràmetre de irregularitat del registre**

$$r = \frac{T_c}{T_z}$$

Per la deducció del potencial mig d'energia segons la descripció geomètrico-estadística de l'onatge, es parteix de la expressió:

$$\bar{P} = C_g \bar{E}$$

En aquest cas l'energia total mitja i la velocitat de grup seran els valors promitjos per un registre de N onades.

Per l'estimació de l'energia total mitja associada a un registre de N onades, es parteix de l'expressió obtinguda per la teoria lineal d'ones o de Airy, referent a una onada individual i ideal:

$$\bar{E} = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

A un registre de N onades, l'energia total mitja associada és:

$$\bar{E}_N = \frac{1}{N} \bar{E}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{8} \rho g H_i^2 = \frac{1}{N} \frac{1}{8} \sum_{i=1}^N H_i^2 = \frac{1}{8} \rho g \frac{\sum_{i=1}^N H_i^2}{N} = \frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2$$

La celeritat de grup promig d'un registre de N onades, particularitzada pel domini d'aigües profundes, és:

$$\bar{C}_{gN} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{g T_i}{4\pi}}{N} = \frac{g}{4\pi} \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} = \frac{g T_z}{4\pi}$$

Per tant, per un estat concret, caracteritzat per N registres d'altures de ones (Hi) i períodes (Ti), el potencial mig energètic per unitat de superfície es calcula com:

$$\bar{P} = \bar{E}_N \bar{C}_{gN} = \frac{\rho g^2}{32\pi} H_{rms}^2 T_z$$

És a dir, el potencial mig energètic (per unitat d'amplada) es proporcional al quadrat a l'altura de la ona mitja quadràtica i al període mig estadístic. I es dedueix que el quadrat de l'altura mitja quadràtica ( $H_{rms}^2$ ) es una mesura de l'energia mitja del registre d'onades.

Tenint en compte que aquesta altura ( $H_{rms}^2$ ) es mesura en metres, el període mig estadístic es mesura en segons, i agafant els valors de  $\rho=1.028\text{kg/m}^3$  i  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ , queda la següent expressió:

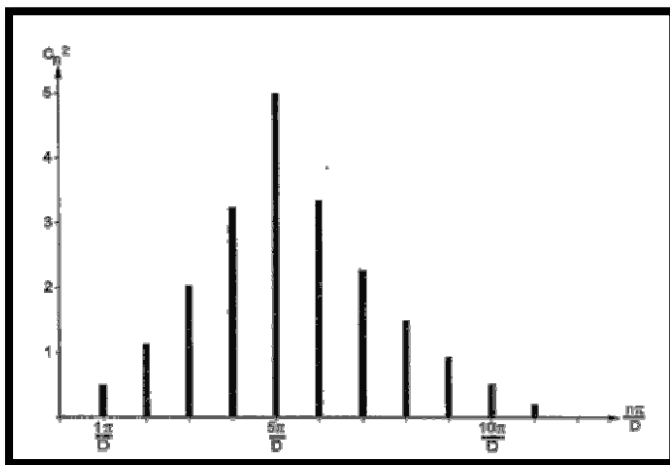
$$\bar{P} = 0.985 H_{rms}^2 T_z \quad [kW/m]$$

S'observa que l'expressió del potencial mig energètic a partir de la descripció geomètrica estadística de l'onatge, és similar a l'expressió obtinguda a partir de la descripció lineal de l'onatge, amb la diferència que en aquest cas l'altura i el període representen un registre de N onades reals, i no una ona individual.

A més a més de la quantificació energètica d'un registre d'onades, una altra dada d'interès pot ésser com queda distribuïda l'energia al llarg de la longitud d'aquest registre (domini temporal).

Tenint en compte que segons la descripció estadístico-geomètrica de l'onatge, l'expansió del registre d'onades es amb sèrie de Fourier i que l'energia mitja d'un tren d'onades es

proporcional al quadrat de l'altura mitja quadràtica del registre, s'obté una distribució discreta dels resultats, coneguda vulgarment com a "tipus pinte", per la seva forma. A la figura 24 es mostra un espectre d'energia de les onades, on a l'eix de les absises es troben les freqüències determinades a que es distribueix la energia, com a submúltiples de la longitud del registre D.



## 26. Espectre d'energia discreta tipus pinte.

Aquest tipus suposa l'inconvenient d'establir una distribució discreta de les freqüències quan, realment, les onades que componen un estat del mar posseeixen períodes que varien de forma continuada.

Si l'objectiu es treballar amb tota la informació, per obtenir els resultats més pròxims a la realitat possible, és més convenient utilitzar un altre tipus de funció, que descriu la superfície lliure, agafant l'onatge com un fenomen continu.

Aleshores, en canvi d'expandir el registre d'onades amb sèrie de Fourier, s'expandeix mitjançant la integral de Fourier, de manera que la variació de la superfície del perfil de la superfície del mar a través del temps es descriu com a:

$$\eta(t) = \int_0^{\infty} A(w)e^{iwt} dw$$

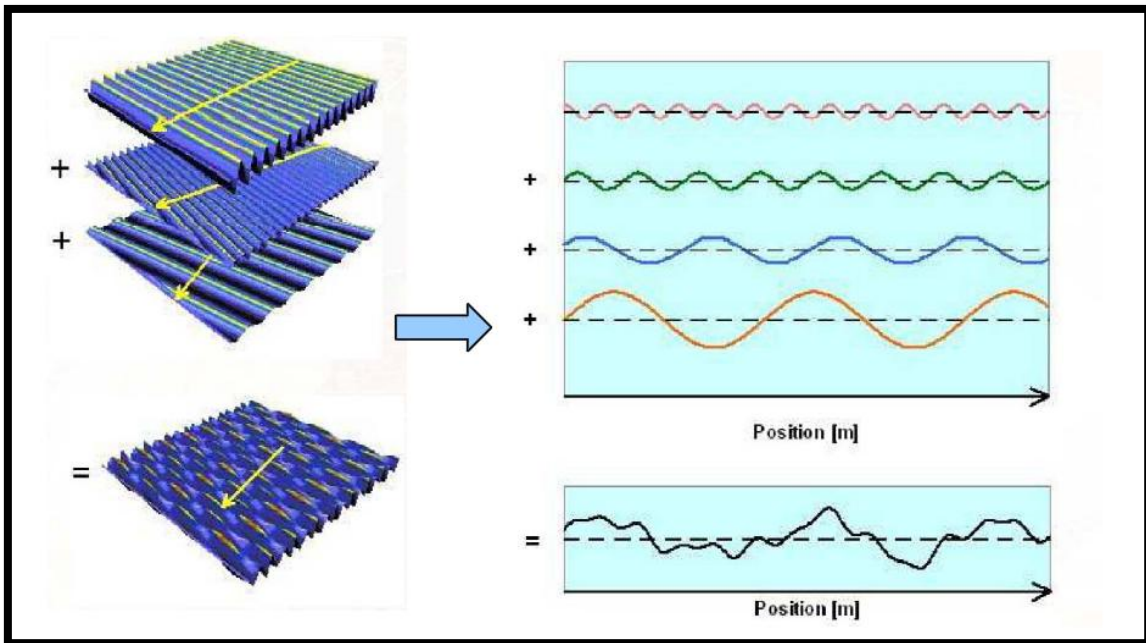
On  $A(w)$  representa la funció continua de les altures de les ones que formen part del registre, per unitat de freqüència.

Això és el que es coneix com a la distribució espectral de l'onatge.

### 2.7.2.2. Descripció espectral de l'onatge

La superfície del mar és una superposició complexa de freqüències d'ones amb períodes, altures i direccions diferents.

En aquest cas es considera l'ona com una senyal complexa (com el soroll) .L'energia continguda en cada onada és proporcional al quadrat de la altura de la ona i del període, i la seva distribució sobre les freqüències d'onatge es pot representar en forma d'espectre d'energia.



#### 27. Descomposició en onatges regulars, de l'onatge irregular. Font: "www.carbontrust.co.uk"

Aquest espectre representa la distribució de l'energia en diferents freqüències i s'obté a partir del càlcul dels coeficients de la sèrie de Fourier. Si es tracta d'un espectre direccional, dependrà de dos variables (freqüència angular i direcció).

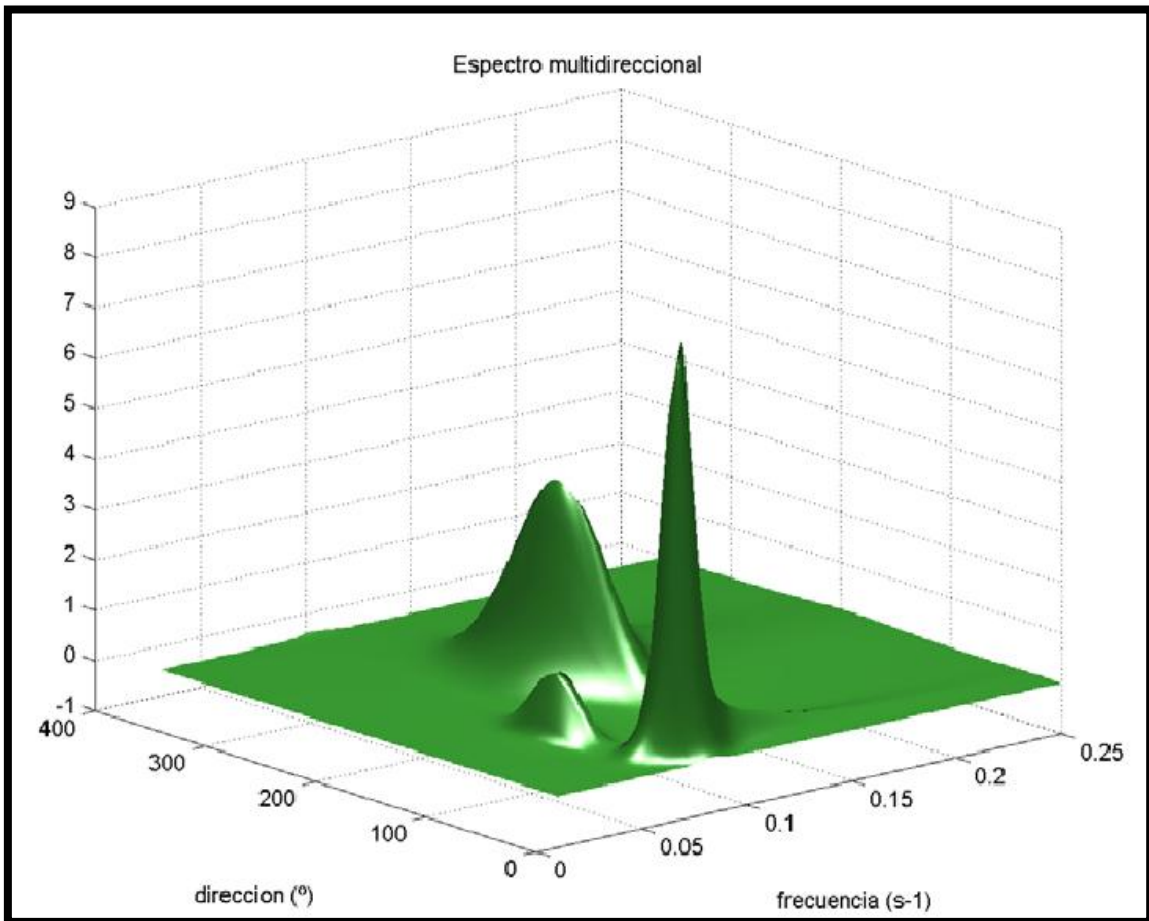
En funció del domini en el que es treballi, es té:

-Funció de densitat espectral escalar  $S(w)$  de la superfície lliure del mar:

Representa l'energia total promitja de l'onatge en el temps, existent a cada interval de freqüència  $\Delta w$ . S'obté a partir del registre i anàlisi d'un sol paràmetre.

-Funció de densitat espectral direccional  $S(w,\theta)$  de la superfície lliure del mar:

Representa el promig de l'energia total en el temps, existent en cada interval de freqüència  $\Delta w$  i en cada direcció.



28. Exemple d'un espectre compost d'onatges: dos onatges tipus SWELL o un onatge tipus SEA, tret a partir del retroanàlisi de l'onatge de "puertos del estado". Font: "Vidal Pascual, C 2005"

La relació entre les dues funcions s'obté integrant la funció de densitat espectral direccional en tot el ventall de direccions.

$$S(w) = \int_{-\pi}^{\pi} S(w, \theta) d\theta$$

La representació de l'espectre, a part de permetre veure com es distribueixen l'energia, representa els tipus d'onatge existents (mar de vent o mar de fons), així com els valors de pic del període. Si s'ha pogut determinar l'espectre que correspon a un estat del mar, és possible obtindre a partir de moments espectrals ( $m_i$ ) les altures i períodes. És a dir, a partir de les funcions de densitat espectral es poden obtindre els paràmetres espectrals, que ens donen la informació de les característiques del registre analitzat.

Es defineix el moment espectral "i" com a:

$$m_{(i)} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} w^i S(w, \theta) dw d\theta$$

$S(w, \theta)$ : funció de densitat espectral

$W^i$ : freqüència i-enèsima

$\Theta$ : direcció

Els més utilitzats són:

$$m_{(0)} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} w^0 S(w, \theta) dw d\theta$$

$$m_{(-1)} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} w^{-1} S(w, \theta) dw d\theta$$

$$m_{(2)} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} w^2 S(w, \theta) dw d\theta$$

Cartwright i Longuet-Higgins van proposar al 1956 un paràmetre per descriure l'amplada espectral. Si l'espectre es de banda estreta, el valor tendeix a "0" i si és de banda ampla, tendeix a "1".

$$\varepsilon = 1 - \left[ \frac{m_2^2}{m_0 m_4} \right]^{1/2}$$

Ja que aquesta formulació presenta un moment de quart ordre que pot ser difícil d'evaluar, Longuet-Higgins van proposar un altre paràmetre d'amplada que depenia de moments de ordre inferior:

$$v = \left[ \frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1 \right]^2$$

Fent servir els moments anteriorment definits, podem establir les següents equivalències:

-Altura de ona significant:  $H_s = 4.004 \sqrt{m_0}$

-Període mig de pas per "0":  $T_z = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$

-Període energètic : Període associat a una ona que conté tota l'energia d'un estat de mar. Sorgeix arrel d'estudis relacionats amb el flux d'energia de l'onatge, ja que relaciona el



moment  $m_{-1}$ , que depèn de les freqüències més baixes de l'espectre, és a dir, amb els períodes més llargs, amb el moment d'ordre 0.

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0}$$

-Període de pic espectral:

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} = \frac{m_{-2}m_1}{m_0^2}$$

-Període mig espectral:

$$T_m = \frac{m_0}{m_1}$$

-Freqüència mitja:

$$\bar{\omega} = \frac{m_1}{m_0}$$

-Altres relacions a destacar:

Valor mig de les relacions entre paràmetres

	$T_{1/3}/T_p$	$T_z/T_p$	$T_{m(0,1)}/T_p$	$T_{m(0,2)}/T_p$	$T_{max}/T_{1/3}$	$T_{1/3}/T_z$	$T_{m(0,2)}/T_z$
<b>Valor mig</b>	0.93	0.76	0.78	0.7	1	1.23	0.93

El flux mig d'energia per metre d'amplada, dins de l'espectre direccional, s'expressa com a:

$$\bar{F} = \gamma \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{g}{4\pi w} S(w, \theta) dw d\theta = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{S(w, \theta)}{w} dw d\theta$$

Si s'expressa en forma de moment espectral es té que:

$$\bar{F} = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{(-1)} = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^\infty \frac{S(w)}{w} dw$$

Resolent la integral s'aconsegueix una expressió tipus:

$$\bar{F} = \alpha H_s^2 T_p \quad [kW/m]$$

On "α" és un paràmetre el valor del qual depèn de la forma de l'espectre i oscil·la entre 0.45 i 0.65 [Hagerman, 2001]. El flux d'energia es pot expressar en funció dels períodes  $T_z$ ,  $T_e$  o  $T_p$ , gràcies a les relacions descrites anteriorment. El valor que agafi "α", vindrà condicionat pel període que es vagi servir a la formulació i pel tipus d'espectre amb el que es modela.

De cara a un ús més habitual, s'empra la funció densitat espectral escalar  $S(w)$ , ja que la major part d'informació instrumental existent a la actualitat pertany a les boies escalars.

Pel càlcul del potencial mig d'energia d'un estat de mar concret, es parteix de l'energia total continguda en ell mitjançant la funció de densitat espectral.

La energia mitja total per unitat d'àrea s'obté integrant la funció densitat espectral escalar a tot el domini de freqüències.

$$\bar{E} = \rho g \int_0^{\infty} S(w) dw$$

L'expressió de la celeritat de grup pel domini d'aigües profundes:

$$C_{gi} = \frac{gT_i}{4\pi}$$

Aleshores, per definició, el potencial mig d'energia d'un estat de mar queda com:

$$\bar{P} = \bar{E} C_{gi,j} = \rho g \int_0^{\infty} S(w) C_{gi} dw = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{S(w)}{w} dw$$

Per la resolució de l'equació anterior es pot recórrer a la definició dels paràmetres: període energètic i altura de la ona significant ( $H_{m0}$ ), mitjançant els moments espectrals:

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad ; \quad H_{m0}^2 = (4.004\sqrt{m_0})^2 \approx 16m_0 = 16 \int_0^{\infty} S(w) dw$$

A continuació es substitueixen les dos expressions a l'equació genèrica obtinguda pel potencial mig d'energia:

$$\bar{P} = \frac{\rho g^2}{4\pi} \int_0^{\infty} \frac{S(w)}{w} dw = \frac{\rho g^2}{4\pi} m_{-1} = \frac{\rho g^2}{4\pi} \frac{1}{16} \frac{m_{-1}}{m_0} 16m_0 = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_{m0}^2$$

L'altura de la ona significant estadística es pot estimar a partir dels moments espectrals, quan les altures de la ona segueixen la distribució de Rayleigh com:

$$H_s = 4.004\sqrt{m_0} = H_{m0}$$

Aleshores:

$$\bar{P} = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

Tenint en compte que les altures de les ones significants ( $H_s$ ) es mesuren en metres, el període energètic ( $T_e$ ) es mesura en segons, i agafant els valors de  $\rho=1.028\text{kg/m}^3$  i  $g=9.81\text{m/s}^2$ , queda la següent expressió:

$$\bar{P} = 0.493 H_s^2 T_e \left[ \frac{\text{kW}}{\text{m}} \right]$$

El període energètic d'un estat del mar representa el període que tindria una ona sinusoidal individual amb un contingut energètic igual a l'estat del mar.

Aquest període no es determina fàcilment mitjançant les mesures directes de l'onatge, sinó que es calcula a partir de les expressions amb les mesures d'altres períodes:

$$T_e \approx \alpha' T_z \quad T_e \approx \beta' T_p$$

La relació existent a cada cas depèn del model espectral que millor descriu l'estat del mar amb el que es treballa.

Un model espectral és una funció de densitat espectral que s'ha generat a partir de la predicció d'un determinat estat del mar, de manera que representa una situació meteorològica i hidrodinàmica concreta. A més a més, a partir d'aquest es pot obtenir el potencial mig d'energia en funció del període mig ( $T_z$ ) o el període de pic ( $T_p$ ) espectrals.

Existeixen diversos models espectrals, denominats amb el nom del seu autor, que descriuen situacions diferents. A continuació es presenten quatre dels models més utilitzats per descriure l'estat del mar real i que millor s'aproximen.

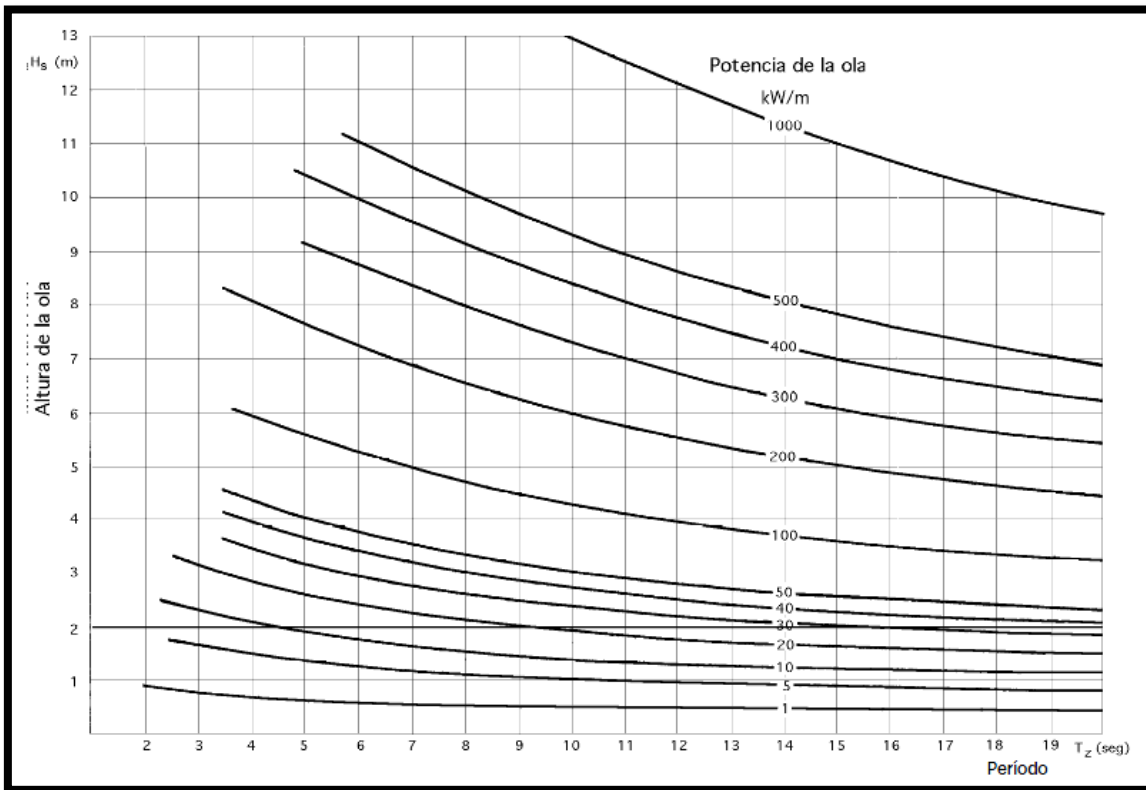
Per cada un d'ells, s'indica la funció de densitat espectral escalar i les relacions existents entre P-Tz-Tp:

#### -Espectre de Pierson Moscowitz (1964)

Pierson i Moscowitz van desenvolupar un espectre a partir de l'estudi dels espectres d'onatge de l'Atlàntic Nord, per representar estats del mar completament desenvolupats generats pel vent. El fletch i la duració es consideren infinits. Per poder aplicar-lo es necessari que el vent bufi durant varies hores sobre una àrea gran amb una velocitat relativament constant abans que la senyal d'onatge es registri.

$$S(w) = 0.0004991 \frac{1}{f^5} \exp \left[ -1.25 (T_p f)^{-4} \right]$$

$$\bar{P} = 0.549 H_s^2 T_z \quad [kW/m]$$



**29. Valors de la potència en kW/m (Equació de Pierson-Moskowitz), en funció de l'altura i el període de la ona.**

En aquest gràfic es pot observar com es distribueix la potència en funció dels paràmetres dels que depèn (altura i període). Aquesta distribució no difereix excessivament del altres espectres, i és per donar una idea dels valors amb els que es treballen.

-Espectre ISSC<sup>5</sup>(1964)

Espectre resultant d'una petita modificació de l'espectre proposat per Bretchneider.

$$S(f) = 0.313H_s^2 \frac{f_p^4}{f^5} \exp \left[ -1.25(T_p f)^{-4} \right]$$

$$\bar{P} = 0.595H_s^2 T_z \quad [kW/m]$$

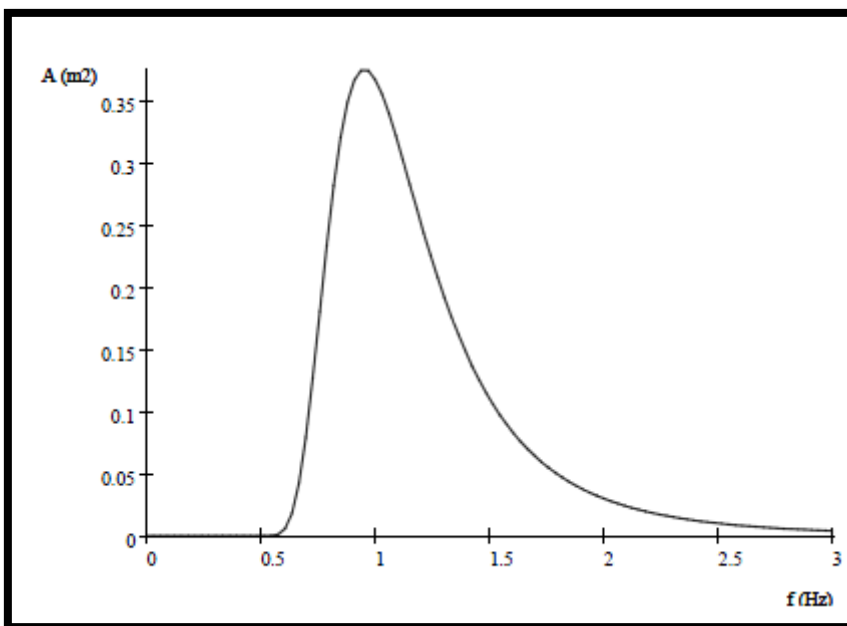
<sup>5</sup> ISSC: International Ship Structure Committee.

-Espectre de Bretchneider-Mitsuyasu (1970)

Bretchneider va proposar una formulació d'espectre de banda estreta i on les altures i els períodes segueixen la distribució de Rayleigh. Més tard Mitsuyasu va fer una rectificació de coeficients, aprofitant les onades generades pel vent d'un laboratori i d'una badia per representar un espectre de fletch limitat.

$$S(f) = 0.257H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp \left[ -1.03 \left( T_{1/3} f \right)^{-4} \right]$$

$$\bar{P} = 0.441H_s^2 T_z \quad [kW/m]$$



**30. Espectre Bretchneider-Mitsuyasu**

-Espectre de Jonswap (1973)

Espectre caracteritzat per presentar pics aguts, que representen les onades desenvolupades a un fletch limitat sota forts vents.

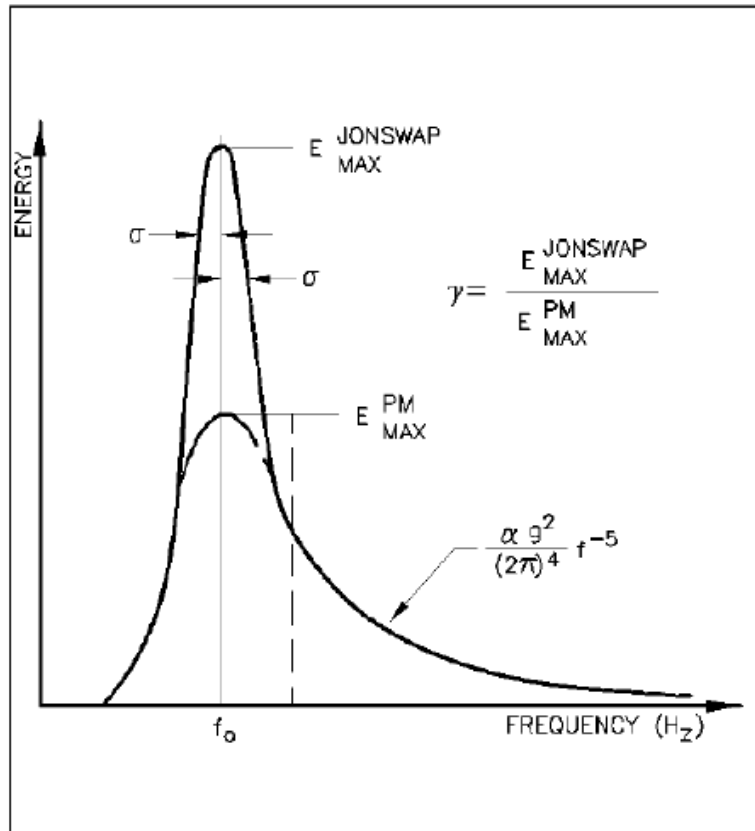
$$S(f) = \beta_J H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( T_p f \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ \frac{-(T_p f - 1)^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$\beta_J = \frac{0.06238 \cdot [1.094 - 0.01915 \ln \gamma]}{0.23 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)}$$

$$\sigma = 0.07 : f \leq f_p$$

$$\sigma = 0.09 : f > f_p$$

$$\bar{P} = 0.458H_s^2T_z \quad [kW/m]$$



31. Comparació dels espectres Jonswap i Pierson-Moskowitz.

Per tant, de manera general, el potencial mig d'energia d'un estat de mar en concret, es calcula a partir de les dades de l'espectre particular a produir, de la següent manera:

$$\bar{P} = \alpha H_s^2 T_z \quad [kW/m]$$

On:

$\alpha$ : constant que depèn del tipus d'espectre (Pierson-Moskowitz, Jonswap, etc.) i oscil·la entre 0.4-0.6

$H_s$ : Altura significat de l'onatge, definida pels moments espectrals

$T_z$ : Període mig de pas ascendent per zero, definit pels moments espectrals.

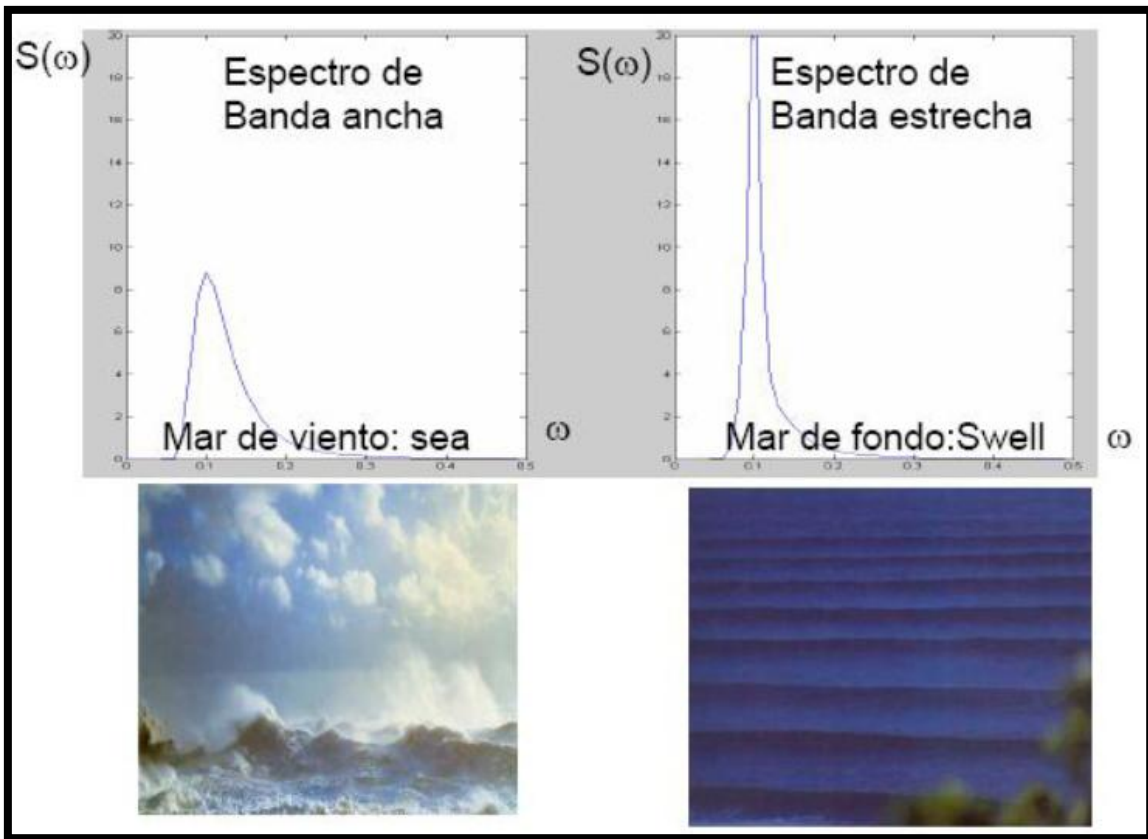
Igualment, en el cas que es tingui la informació del període de la freqüència de pic de la distribució d'energia, es pot utilitzar la següent relació:

$$\bar{P} = \beta H_s^2 T_p \quad [kW/m]$$

On:

$\beta$ : constant que depèn del tipus d'espectre (Pierson Moskowitz, Jonswap, etc.) i oscil·la entre 0.41-0.43

Finalment a la figura següent es mostra la diferència entre el mar de fons i el mar de vent, amb el seu espectre.



### 32. Espectre de mar tipus SEA contra espectre de mar tipus SWELL

Aquesta diferència recorda a la imatge anterior que comparava l'espectre de Pierson-Moskowitz amb l'espectre Jonswap. Això demostra que cada espectre està formulat per tal de ser aplicat en cada tipologia de mar, és a dir, a l'hora d'emprar un espectre de cara a calcular el potencial energètic d'un registre, cal identificar bé quin tipus de registre s'està estudiant, per triar bé el més adequat.

### 3. TIPIFICACIÓ D'ONADES

---

#### 3.1. INTRODUCCIÓ

A l'apartat anterior s'ha fet una presentació de la energia de l'onatge i el potencial energètic a través de les seves definicions i característiques. S'ha conclòs que cada descripció serveix per ser aplicada quan les condicions ho requereixin, és a dir, que en funció de la tipologia d'onatge, de la proximitat a la costa i dels paràmetres instrumentals que es tinguin, s'aplica una teoria o una altra.

Aquest apartat intenta, tant fiablement com les dades disponibles ho permetin, tipificar els onatges d'una part del recorregut de la BWR utilitzant les descripcions d'onatges i diferents fonts de dades.

A l'Annex I s'hi pot trobar el recorregut de la BWR il·lustrat

El fet d'utilitzar diferents fonts i diferents mètodes de càlcul és per aprofitar i fer una comparativa dels resultats (ja sigui entre teories reals i ideals, boies d'informació diària, i setmanal, etc.)

Per poder fer una bona tipificació cal tenir en compte el tipus de informació disponible i les característiques que facilita.



Les dades que es necessiten recollir són les següents:

Teoria/Descripció	Paràmetres
<b>Teoria d'Airy</b>	1.Densitat de l'aigua 2.Gravetat 3.Altura de la onada
<b>Teoria Stokes</b>	1.Profunditat 2.Densitat de l'aigua 3.Gravetat 4.Altura de la onada 5.Longitud onada
<b>Descripció espectral senzilla</b>	1.Gravetat 2.Període energètic ( $T_e$ ) 3.Altura de la onada significant ( $H_s$ ) 4.Període mig estadístic ( $T_z$ )
<b>Descripció espectral complexa</b>	1.Densitat 2.Gravetat 3.Freqüència 4.Període de pic ( $T_p$ ) 5.Altura tèrcia ( $H_{1/3}$ ) 6.Període terç ( $T_{1/3}$ ) 7.Freqüència de pic ( $f_p$ ) 8.Constant $\sigma$ (en funció de $f$ i $f_p$ ) 9.Període energètic ( $T_e$ ) 10.Període mig estadístic ( $T_z$ ) 11.Constant $\gamma$
<b>Descripció geomètrico-estadística</b>	1.Número d'onades 2.Densitat 3.Gravetat 4.Altura de la onada quadràtica ( $H_{rms}$ )

**33. Taula de paràmetres de cada teoria o descripció**

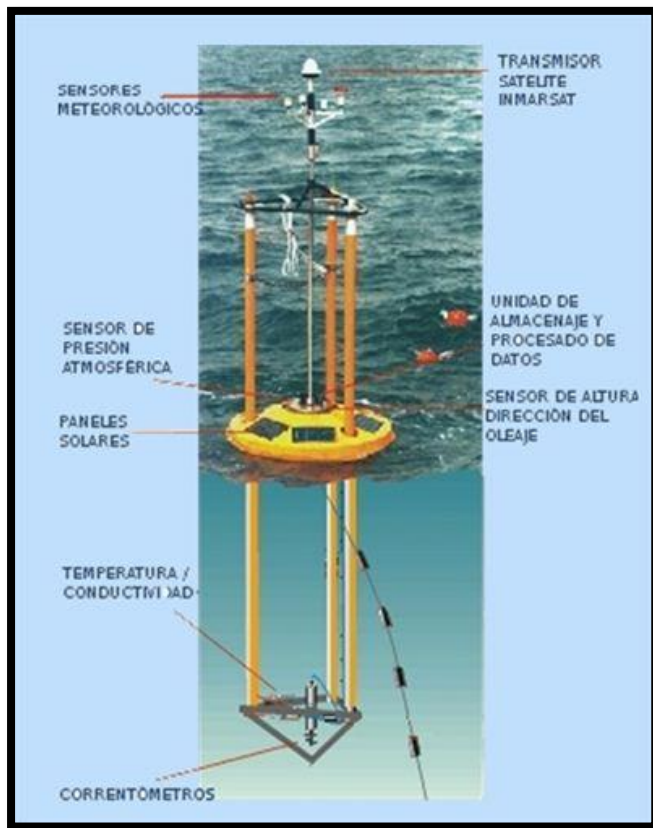
Al cas de descripció espectral la diferència entre senzilla i complexa recau en que la senzilla utilitza un dels espectres definits, i la complexa intenta llistar les necessitats per crear un espectre.

Tot i això, per fer el càlcul i anàlisi d'aquest projecte, s'utilitzarà la descripció espectral senzilla, perquè per la complexa no es disposa de totes les dades necessàries.

### 3.2. Fonts d'informació de l'onatge

Existeixen diferents fonts de dades sobre les que podem realitzar l'anàlisi, i poden agrupar-se en tres categories:

#### 3.2.1. Dades instrumentals



34. Boia de "puertos del estado"

Son adquirides per sensors, principalment boies d'onatge. Aquestes boies d'onatge, segons la informació que recullen, poden subclassificar-se en dos grups:

- i. Direccional s: informen sobre altures, períodes i direccions. També poden donar altre tipus d'informació adjunta.
- ii. Escalars: només obtenen informació sobre la altura i el període

#### 3.2.2. Dades visuals

Provenen d'observacions realitzades per vaixells en ruta al llarg de totes les costes i oceans del món i són obtingudes de forma sistemàtica des de fa 50 anys, de tal manera que l'informador recull altures períodes i direccions de les ones. L'avantatge d'aquest mètode és la gran quantitat d'observacions i la completa caracterització (altura, període i direcció) existents, tot i que el mètode d'observació visual és pobre i poc precís de cara a saber exactament les zones i les fluctuacions energètiques de diferents trens d'onades.

### 3.2.3. Dades procedents de simulacions numèriques

Quan no es possible aconseguir informació visual o instrumental, és possible reproduir l'onatge mitjançant models numèrics de predicció de l'onatge. L'inconvenient d'aquest mètode és la necessitat de calibrar els models utilitzats i el cost computacional que suposen. Tot i això són un dels més utilitzats, ja que abarquen totes les aigües i tenen un registre històric de varis anys.

## 3.3. Mètode de càlcul

Per poder fer una anàlisi i explicar el procés de càlcul, és necessari fer una divisió geogràfica de dos zones, ja que el mètode i les fonts són independents.

Les zones analitzades es poden subdividir en :

1. Mediterrani i estret-canàries
2. Atlàntic nord

### 3.3.1. Atlàntic Nord

El procés segueix uns passos de càlcul estadístic:

#### 3.3.1.1. Formulació del problema

L'objectiu d'aquest apartat és aconseguir marcar zones amb un mateix tipus d'onatge, i aconseguir les característiques d'aquesta zona, per tal de poder satisfer els paràmetres que necessiten les teories energètiques . Posat que no és possible l'estudi de tot el conjunt d'elements (totes les onades en cada instant) que tenen la característica que es vol estudiar, es farà a partir d'una mostra significativa.

#### 3.3.1.2. Obtenció d'informació sobre el problema

Aquest apartat és un dels més importants, ja que és la base del resultat final, per tant, cal plantejar degudament el que es necessita i el que s'ha de buscar.

#### 3.3.1.3. Disseny d'un experiment

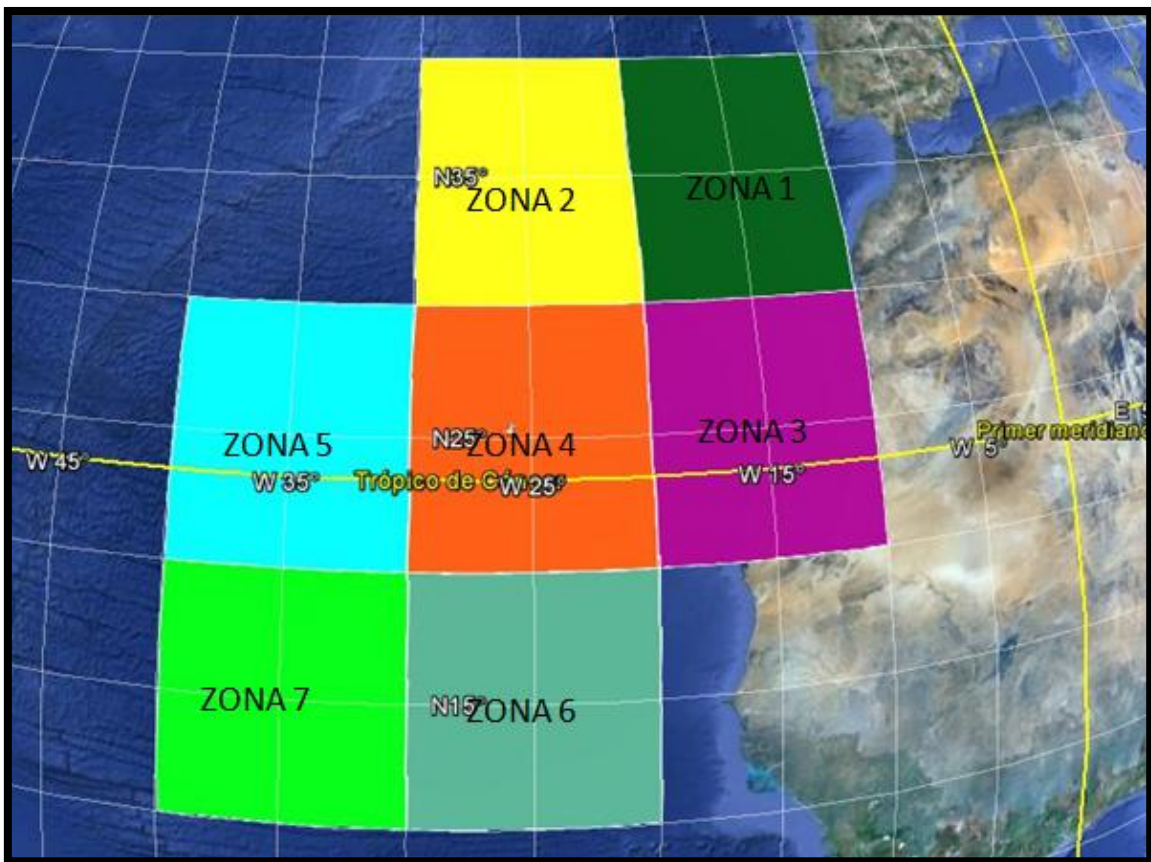
S'entén com a disseny d'un experiment, la preparació amb un objectiu del que es vol fer. Aquest experiment consta de recollir un seguit de dades per tal de poder trobar un valor mitjà que representi les característiques de la zona, així podent tenir l'estat del mar i meteorològic més probable de la zona.

#### 3.3.1.4. Dades a recollir

En aquest cas, es vol aconseguir, d'unes zones establertes del Oceà Atlàntic Nord, les dades mitges de altures de les onades, períodes de les onades, direccions de les onades, velocitat del vent i direcció del vent.

#### 3.3.1.5. Recollida de dades

Sobre l'extensió a estudiar de l'Atlàntic Nord no es disposa de dades instrumentals, per tant, es farà a partir de les dades de predicció meteorològica mitjançant simulació de mapes característics. S'obtindrà un mostreig aleatori simple de 7 regions que es defineixen a la imatge següent:



35. divisió de les zones d'estudi de l'Atlàntic Nord

- Zona 1: latitud (30-40° N) longitud (10-20° O)
- Zona 2 : latitud (30-40° N) longitud (20-30° O)
- Zona 3 : latitud (20-30° N) longitud (10-20° O)
- Zona 4 : latitud (20-30° N) longitud (20-30° O)

**-Zona 5: latitud (20-30° N) longitud (30-40° O)**

**-Zona 6: latitud (10-20° N) longitud (20-30° O)**

**-Zona 7: latitud (10-20° N) longitud (30-40° O)**

De cada zona s'han agafat 23 mapes característics de 23 dies diferents entre els mesos de febrer i maig. A partir dels mapes (que són de la mateixa data per cada zona) s'ha extret el percentatge de cada rang d'altures, períodes i velocitats de cada zona. A més a més, de cada característica, s'ha agafat la direcció predominant.

A l'Annex V es poden observar els mapes meteorològics característics.

### 3.3.1.6. Anàlisi de les dades

Un cop recollides les dades al llarg del temps, s'ha fet una taula de freqüències de cada zona. Per exemple de la zona 1 de les altures de les onades:

ZONA	ALTURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	freq abs	freq rel	punt mig	
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01087	2,5
	3	4	0	0	0	0	0	0,1	0,25	0	0	0	0,1	0,4	0	0	0,1	0,75	0,15	0,15	0,5	0,4	0	0	0	2,9	0,12609	3,5
	4	5	0	0	0	0	0	0,2	0,15	0	0,25	0	0,65	0,25	0	0	0,45	0,15	0,2	0,15	0,4	0,1	0,75	0,45	4,15	0,18043	4,5	
	5	7	0,4	0,05	0,1	0	0,25	0,7	0,25	0,85	0,25	0,25	0,6	0,25	0,15	0,05	0,3	0,45	0,1	0,25	0,6	0,1	0,2	0,25	0,2	6,6	0,28696	6
	7	9	0,35	0,05	0,2	0,25	0,75	0	0,15	0,15	0,25	0,25	0,4	0	0,1	0,5	0,7	0	0	0,1	0,1	0	0,15	0	0,2	4,65	0,20217	8
	9	12	0,15	0,45	0,5	0,75	0	0,15	0	0,25	0,25	0	0	0,45	0	0	0	0,15	0	0,15	0	0,15	0,15	0	3,4	0,14783	10,5	
	12	15	0,1	0,45	0,2	0	0	0,05	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,05	0,04565	13,5
	15	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,5
			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
direcció			180	158	158	180	180	135	135	113	158	180	158	135	135	158	113	113	123	90	90	90	45	135	158	135,4348		

### 36. Taula de freqüències de l'altura de les onades de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord

#### 3.3.1.7. Construcció d'un model estadístic

Seguidament s'ha trobat els estadístics de cada zona, sabent que es tracta d'una variable contínua<sup>6</sup> (es continua posant l'exemple de la Zona 1 amb altura de les onades):

- Estadística de localització:
  - Moda (Valor que més vegades apareix a la mostra)
  - Mediana (divideix la mostra, ordenada, en dues meitats)

- mitjana aritmètica:  $\bar{x} \equiv \frac{1}{n} \sum_i x_i$

<sup>6</sup> S'entén per variable contínua aquella que el registre de dades no es dona amb valors exactes, sinó rangs de densitat o percentatge.

5 de setembre del 2012

- mitjana geomètrica:  $G_x \equiv \sqrt[n]{\prod_1 \cdot x_i}$
- mitjana harmònica:  $\frac{1}{H_x} \equiv \frac{1}{n} \sum_l \frac{1}{x_l}$
- Estadística de dispersió:
  - Rang:  $x_{max} - x_{min}$
  - Variança:  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
  - Desviació típica:  $\sqrt{\text{variança}}$
  - $C.V. = \frac{\text{Desv.Típica}}{\text{Mitj.Aritm}}$
- Estadística d'asimetria:  $\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$
- $Ca = \frac{\text{Estadistic}_d \text{ Assimetria}}{(\text{variança})^3}$
- Estadístic d'apuntament:  $\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$
- $Cap = \frac{\text{Estadistic}_d \text{ Apuntament}}{(\text{Variança})^4}$

3.3.1.8. Obtenció de resposta a la qüestió plantejada segons model considerat

MODE	5	7			
MITJANA ARITM.	6,78804348	peus	2,068995652	m	
Rang	18				
Variança	7,07627009				
Desviació típica	2,66012595				
CV	0,39188405	CV<1,5	mostra significativa	CV<0,5	bastant significativa
Est. D'assimetria	14,0838353				
Ca	0,03974731		simetrica		cua a la dreta
Est. D'apuntament	144,621817				
Cap	0,0576788		poc punxeguda		
H^2	4,93815001				

**37. Taula d'estadístics de altures de les onades de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord**

CV: coeficient de variació

Ca: coeficient d'asimetria

Cap: coeficient d'apuntament

Apareix també la Altura mitja quadràtica, ja que és una valor necessari a posteriori.

Un cop calculats tots els estadístics, es pot observar, a partir del coeficient de variació<sup>7</sup> que la mostra és significativa, ja que aquest valor no supera el 1.5.

A partir del coeficient d'asimetria<sup>8</sup>, podem veure que la mostra és simètrica amb cua per la dreta.

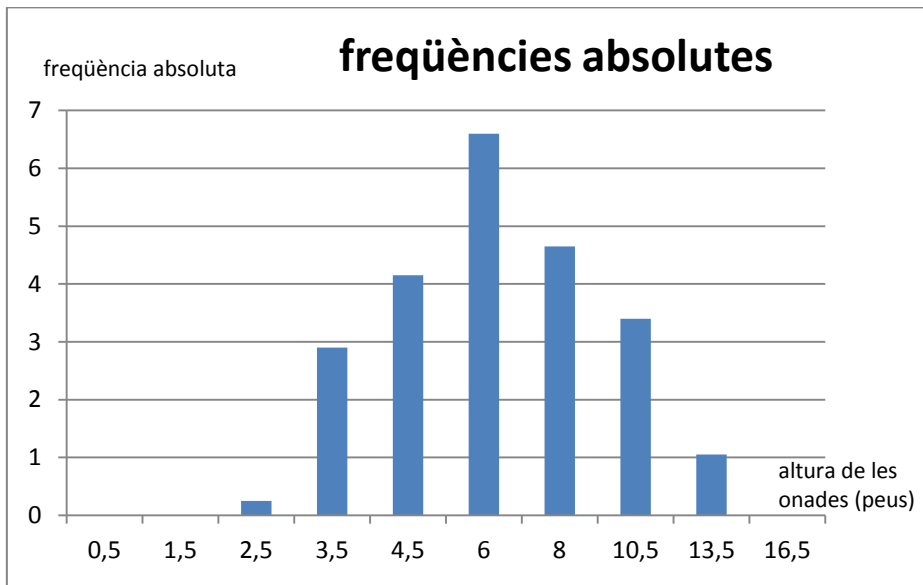
També es veu que la distribució de la mostra és poc punxeguda, és a dir, el pendent de la gràfica disminueix contínuament d'un valor positiu fins a un negatiu.

<sup>7</sup> Si el CV<50% la mostra és significativa ; i si el CV>150% la mostra no és homogènia i s'ha de subdividir)

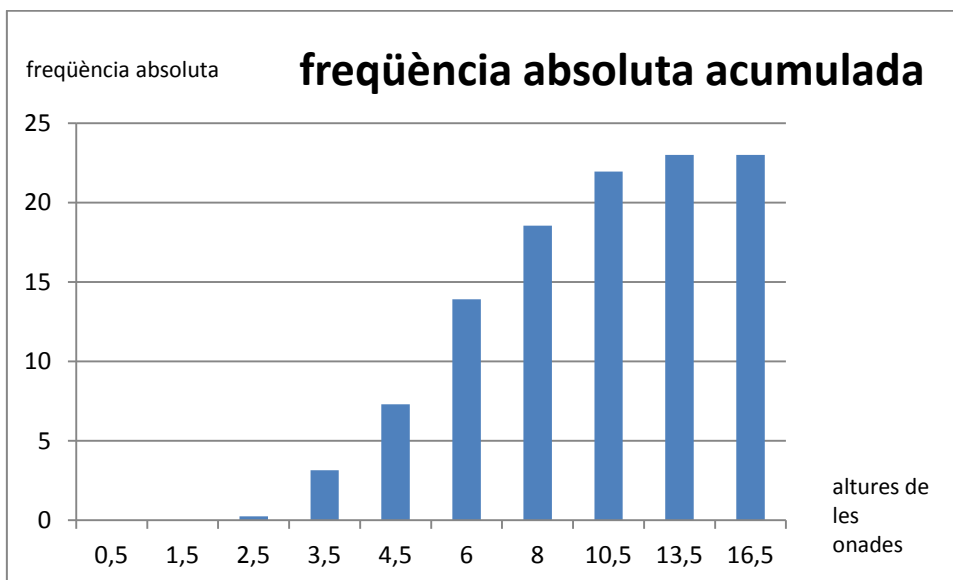
<sup>8</sup> Si Ca=0 la mostra és simètrica; si Ca>0 asimètrica amb cua per la dreta ; i si Ca<0 asimètrica amb cua per l'esquerra. Tot i que s'ha de tenir en compte que la asimetria es considera a partir de 0.4 més o menys

3.3.1.9. Validació de la solució obtinguda

Això ho podem comprovar amb les gràfiques de continuació:



38. Gràfica de freqüències absolutes de les altures de les onades de la zona 1 de l'Atlàntic Nord



39. Gràfica de freqüències absolutes acumulada de les altures de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord



La gràfica de les freqüències absolutes acumulada ens indica que es tracta d'una distribució normal<sup>9</sup> la que descriu la mostra, i les eines que s'hauran d'emprar per treballar-la.

Amb aquest procés d'inferència estadística<sup>10</sup> es té un resultat fiable de la població, però per més seguretat, pot ser adient construir un interval estimat, o interval de confiança.

Aquest interval ve definit per:

$$\mu = \bar{x} \pm \text{error de mostreig}$$

Aquest interval ens defineix que el valor esperat de tota la població ( $\mu$ ) pot diferir de la mitja de la mostra ( $\bar{x}$ ) dins del rang que defineix.

Per tal de trobar l'interval cal seguir un procés:

1. S'ha de decidir quanta confiança s'ha de tenir per l'estimació de l'interval.

Normalment en aquest tipus de anàlisis s'agafa el 95% de confiança (19 correctes de cada 20)

2. De la gràfica de freqüències s'agafa el 95% central, i s'exclouen les dos cues de 2.5%

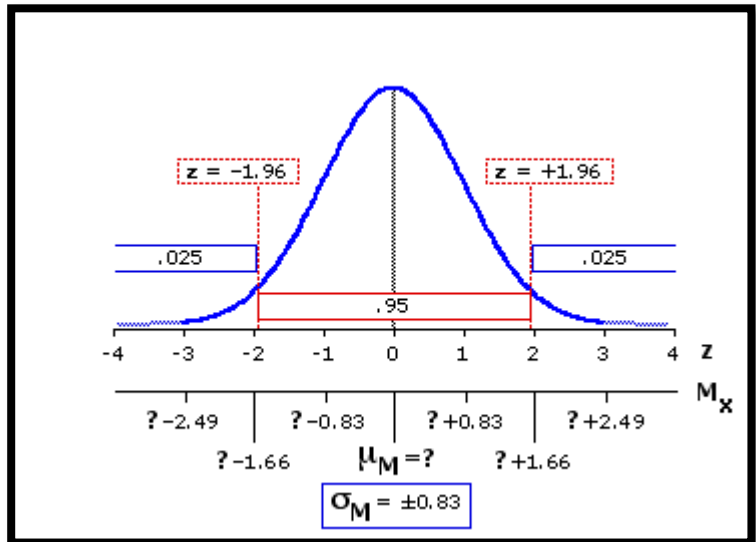
3. Per poder fer el càlcul cal recórrer a la taula normal estàndard de l'Annex II, entrant amb la probabilitat del 0.25. Un cop aconseguit el valor de  $Z_{0.25}=1.96$ ,

4. Es pot escriure l'interval, quedant de la següent manera:

$$\Pr(\bar{x} - 1.96EE < \mu < \bar{x} + 1.96EE) = 95\%$$

que és la manera algebraica de dir que "hi ha un 95% de probabilitats de que la variable aleatòria es trobi entre  $\bar{x} - 1.96EE$  i  $\bar{x} + 1.96EE$ .

5. Seguidament s'ha de resoldre la desigualtat de la probabilitat de la variable per  $\mu$



40. Distribució normal amb els intervals de confiança marcats.

<sup>9</sup> També anomenada distribució de Gauss o distribució Gaussiana. És la distribució de probabilitats laiable continua més habitual. Es regeix per la gràfica "campana de Gauss".

<sup>10</sup> És una part de l'estadística que compren els mètodes i procediments per deduir propietats d'una població estadística a partir d'una mostra d'aquesta.

6. Un cop es té la següent expressió :

$$\mu = \bar{x} \pm Z_{0,25} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

On:

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  : és l'error estàndar « EE »

$\sigma$  : desviació típica de la població

$s$ : desviació típica de la mostra

$n$ :tamanys de la mostra

$Z_{0,25}$ : El paràmetre del 95% de probabilitat de la població

S'han de trobar els paràmetres que la defineixen.

És legítim agafar  $\sigma=s$  en aquest tipus d'estudi.

En aquest cas, com que treballem amb una mostra petita (Mostra<100), cal que es tingui en compte el tamany de la mostra al moment d'agafar el paràmetre del 95%.

En aquest cas s'ha de buscar a una altra taula, la taula de la t Student de l'Annex II, entrant amb el mateix nombre, però a la zona de 23 com a tamany de la mostra ( $t_{0,25}=2.069$ )

Finalment es resol l'equació. Els resultats donen la informació amb intervals. Per exemple la zona 1 de l'Atlàntic Nord d'altures de les ones:

$\mu$			
5,70088125	7,8752057	$z(0,25)$	1,96
5,64042172	7,93566523	$t(0,25)$	2,069

#### 41. Intervals de confiança de les altures de les ones de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord

Per fer una comprovació de que d'interval de confiança es subdivideix la mostra en tres mostres. Més ben dir, es faran tres mitges amb submostres de 7 dades de les 23 totals.

D'aquesta manera es troben tres intervals de confiança, amb menys significatius, però es pot comprovar que la intersecció dels tres conjunts és més o menys l'interval de confiança de la mostra total

$$\mu \approx \mu_1 \cap \mu_2 \cap \mu_3$$

També, amb intervals de diferents mostres, es poden trobar les seves diferències, que també són una característica interessant i que demostren que entre elles sempre hi ha una diferència semblant. Aquesta diferència és l'espai que pot diferir com a màxim entre la mitja poblacional d'una i de l'altra.

$$(\mu_1 - \mu_2) = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm z_{0.25} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

En el cas de no conèixer la variança s'ha d'aplicar:

$$(\mu_1 - \mu_2) = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{0.25} s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$s_p^2 = \frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}{gl}$$

$$gl = n - 1, \text{ en aquest cas, } gl = (n_1 - 1) + (n_2 - 1)$$

On:

Sp: variança unida

X<sub>1</sub> i X<sub>2</sub>: observació típica (valors de la freqüència)

μ1	μ2	μ3	μ1-μ2	μ2-μ3	μ3-μ1	X1i	X2i
11,117109	9,2252608	7,21609863	5,12810277	4,48552676	0,17887463	0	0
5,76860528	4,5247392	3,53390137	-1,99238848	-1,48552676	-6,31458892	0	0
						0	0,1
X1	X2	X3	t			0,35	0,5
8,44285714	6,875	5,375	2,365			0,35	1,15
						1,75	2,4
gl1	gl2	gl3	n1	n2	n3		
6	6	6	7	7	7	2	0,95
						0,8	0,25
						0	0

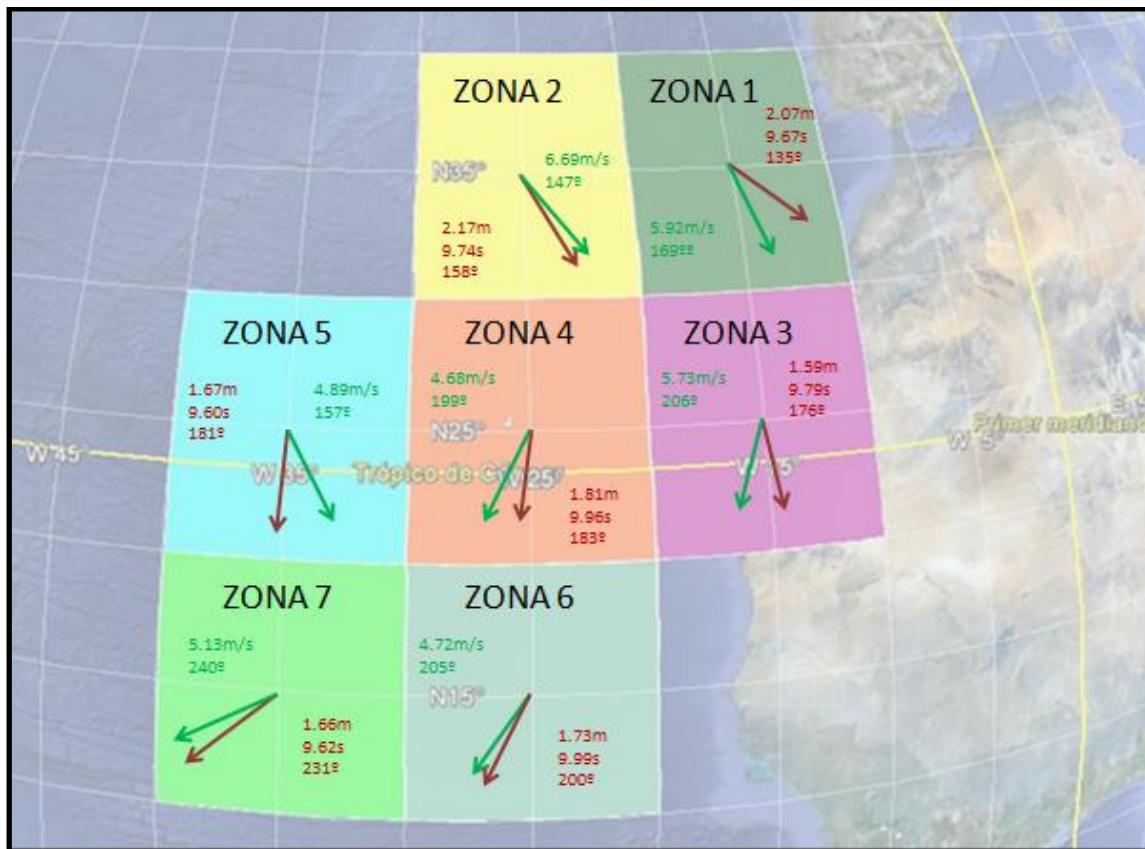
#### 42. Resultats estadístics de la subdivisió de la mostra de altures d'ona de la Zona 1 de l'Atlàntic Nord

##### 3.3.1.10. Resposta definitiva de la qüestió plantejada

Finalment concloure que, la mitjana de la mostra és significativa, però tenir en compte que existeix un error de mitja de població<sup>11</sup> de més o menys un peu, que cal tenir en compte per les variacions energètiques que provocaran. Tot i així, després de les anteriors comprovacions, es pot fer un càlcul sobre aquestes dades.

El resultat de les 7 zones de l'Atlàntic Nord queda dibuixat de la següent manera:

<sup>11</sup> Conjunt total dels objectes o persones que es volen estudiar



43. Mapa de les 7 zones de l'Atlàntic Nord analitzades amb els seus resultats dibuixats

### 3.3.2. Mediterrani Canàries

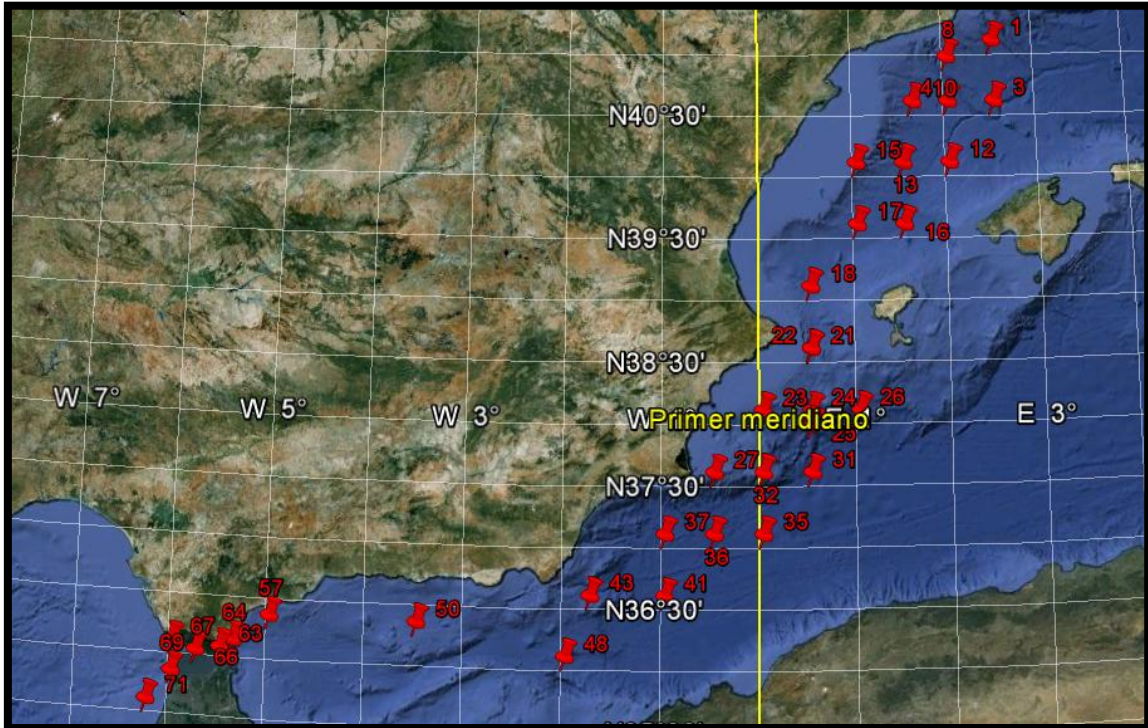
Per tipificar la zona del Mediterrani i de l'estret a les illes canàries, s'han utilitzat dades instrumentals procedents de les boies.

S'han agafat 3 tipus de fonts:

3.3.2.1. Dades estadístiques anuals de boies puntuals amb valors en intervals i percentatges

3.3.2.1.1. Mediterrani

71 boies del 2000 tipus SIMAR-44 repartides de la manera següent:



**44. Mapa de Google Earth amb les boies utilitzades marcades**

A l'Annex IV es pot veure el recull de totes les boies i el seu mapa que s'han registrat, abans de fer la tria de zones.

Un cop s'ha tingut el resultat de la mitja de cada boia s'ha subdividit el Mediterrani en zones per on passa la BWR, agrupant cada zona un seguit de boies que li donen la tipificació de la zona. A la següent taula es pot veure com estan dividides les boies del mapa en zones, i quins son els resultats.

Zona	Boia	H1		T1		H2		T1		H	T
		min	max	min	max	min	max	min	max		
		0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4		
1	1	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	3	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	4	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	8	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	10	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4		
2	12	0	0,5	2	4	0,5	1	3,6	5,6	0,45	3,54
	13	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4		
	15	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4		
	16	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4		
	17	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4		
3	18	0	0,5	2	4	0,5	1	2	4	0,45	3
	21	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	22	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
4	23	0	0,5	2	4	0,5	1	3,33333333	5,33333333	0,45	3,83333333
	24	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	25	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	26	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	27	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	32	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	31	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
5	37	0,428571429	0,92857143	3,71428571	5,71428571	0,07142857	0,57142857	2,28571429	4,28571429	0,53571429	4,14285714
	36	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	35	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	41	0,5	1	4	6	0	0,5	2	4		
	43	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
6	44	0,4	0,9	3,6	5,6	0,1	0,6	2,4	4,4	0,53	4,12
	48	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
	50	0	0,5	2	4	0,5	1	4	6		
7	57	0	0,5	2	4	-	-	-	-		
	64	0	0,5	2	4	0,33333333	0,83333333	3,33333333	5,33333333	0,48333333	3,33333333
	63	0,5	1	4	6	0,5	1	2	4		
	66	0,5	1	4	6	0,5	1	6	8		
8	67	0,33333333	0,83333333	3,33333333	5,33333333	0,5	1	3,33333333	5,33333333	0,45	4,33333333
	69	0,5	1	4	6	0,5	1	6	8		
	71	0,5	1	8	10	1	1,5	10	12		
	70	0,5	1	8,66666667	8,66666667	0,66666667	1,16666667	8,66666667	10,66666667	0,81666667	8,46666667
9	1A	1	1,5	10	12	1	1,5	8	10		
	2A	1	1,5	10	12	1	1,5	8	10		
	3A	1	1,5	8	10	1	1,5	10	12		
	4A	1,5	2	10	12	1	1,5	8	10		
10	5A	1,125	1,625	9,5	11,5	1	1,5	8,5	10,5	1,325	10,1
	6A	1,5	2	10	12	1	1,5	8	10		
	7A	1,5	2	10	12	1	1,5	8	10		
	7A	1,5	2	10	12	1,5	2	12	14		
	8A	1,5	2	10	12	-	-	-	-		
9A	1,5	2	10	12	1,25	1,75	9,5	11,5	1,45	10,8	

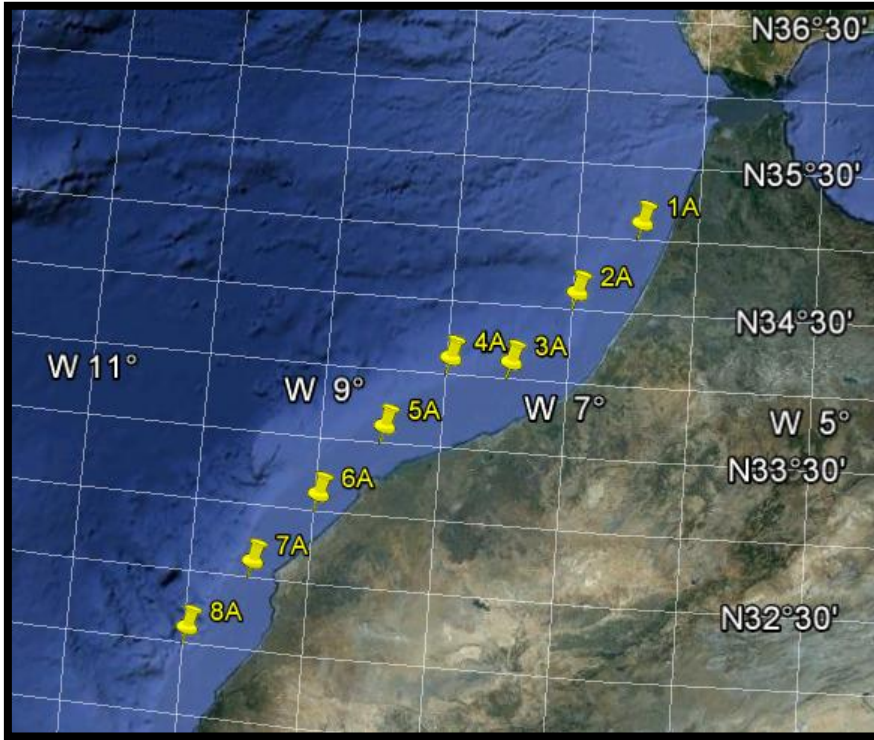
45. Taula del repartiment de boies per les 10 zones, juntament amb els resultats de cada zona. Dades anuals.

### 3.3.2.1.2. Estret-canàries

8 boies del 2000 del tipus SIMAR-44

Aquest apartat té la mateixa explicació que l'anterior. El repartiment de les boies per les zones és pot apreciar a la taula anterior, així com els seus resultats.

A continuació es mostra un mapa de com estan repartides les boies al llarg de la costa africana:



46. Mapa de Google Earth amb la col·locació de les 8 boies de l'Atlàntic de les dades anuals.

### 3.3.2.2. Dades de les característiques meteorològiques i oceanogràfiques, diàries i per hores.

En aquest apartat s'ha agafat el registre d'unes boies del 2012 que emmagatzemaven informació de les característiques meteorològiques i oceanogràfiques de diferents punts, tenint d'aquesta manera una base de diferents punts de l'estat del mar. Les dades subministrades són 15 mostres (per hores o fraccions d'hora) per 7 dies diferents (entre febrer i març), per 6 boies per zona.

A l'Annex V hi ha algunes de les fitxes característiques de l'onatge amb aquest mètode.

La informació que subministren és:

**-Altura significant de l'onatge**

**-Nivell del mar**

**-Onada llarga**

**-Període mig**

- Període de pic
- Direcció del període de pic de procedència
- Direcció del període mig de procedència
- Velocitat del vent
- Direcció del vent de procedència
- Pressió atmosfèrica
- Temperatura de l'aire
- Velocitat de la corrent
- Direcció de procedència de la corrent
- Temperatura de l'aigua
- Salinitat

Aquestes boies, estan repartides per punts tàctics del mediterrani, i a continuació es mostra el centre de les zones que s'ha escollit per aquesta informació, molt coincident amb la posició de les boies:



47. Mapa Google Earth de la posició de les boies o el centre de zones de les boies de característiques meteorològiques i oceanogràfiques



### 3.3.2.3. Dades de l'estat del mar temporals, procedent de boies.

En aquest cas la informació de les dades és a partir d'unes boies posicionades en diferents punts del Mediterrani i Estret-Canàries de la manera següent:



48. Mapa de Google Earth amb la posició de les boies d'informació puntual del Mediterrani i Estret-Canàries

Aquestes boies subministren un registre de 3 dies, hora per hora, de l'estat del mar. Altura significat, Període mig, Període de pic, Direcció del període mig, Velocitat del Vent, Direcció del vent són les dades que es poden obtenir.

També informen més detalladament de la tipologia d'onades que hi ha i de les característiques particulars de l'onatge de vent i els onatges de fons que hi ha.

A l'annex V hi ha uns exemples de les taules informatives de l'estat del mar.

El resultat final de l'estat del mar, s'ha fet amb les dades agafades de 4 registres entre febrer i abril del 2012, de tres dies cada registre, per tant, de 576 dades de cada característica de cada punt.

### 3.4. Resultats característiques

Els resultats de l'anàlisi tant de l'Atlàntic Nord com del mediterrani estan resumits a les següents taules :

#### 3.4.1. Atlàntic Nord

	Sign. Wave (H)	Direcció	Període	Direcció	Vent	direcció	H <sup>2</sup>
	metres	graus	segons	graus	metres/seg	graus	metres <sup>2</sup>
zona 1	2,06899565	135,434783	9,67608696	138,913043	5,92223033	169,285714	4,93815
zona 2	2,16904957	158,478261	9,74130435	150,652174	6,687772	147,857143	5,2635
zona 3	1,59754957	176,086957	9,78913043	159,456522	5,732376	206,785714	2,8455
zona 4	1,81289739	183,913043	9,96304348	167,282609	4,67899067	199,285714	3,5753
zona 5	1,67474348	181,956522	9,60543478	180,978261	4,89028017	157,619048	3,15199
zona 6	1,73636609	200,543478	9,98913043	169,23913	4,72798533	205,714286	3,1714
zona 7	1,66016609	231,847826	9,62282609	221,195652	5,13219133	240	2,8858

49. Taula de resultats de característiques de les 7 zones de l'Atlàntic Nord

#### 3.4.2. Mediterrani Estret-Canàries

##### 3.4.2.1. Mètode 1

Zona		1	2	3	4	5	6	7	8	9A	10A
Altura	metres	0,45	0,45	0,45	0,536	0,53	0,383	0,65	0,817	1,325	1,65
Període	segons	3,64	3	3,533	4,143	4,12	3,533	4,333	8,467	10,1	10,8

50. Taula de les característiques (altura i període) de la zona mediterrani i Canàries pel mètode de dades estadístiques anuals.

3.4.2.2. Mètode 2

num	lat	long	Altura significant	Nivell del mar	Onada llarga	Període mig	Període de pic	Direcció període de pic	Direcció Període mig	Velocitat del vent
1	39,52N	0,21E	0,66	0,0168	-0,00320667	4,042995	5,299995	-	148,23	2,4711
2	40,80N	1,35E	0,5883325	0,2726965	0,0006739	4,0043	6,5678	-	90,066	6,9
3	36,60N	2,35E	1,188825	0,4658665	-0,00669785	4,401333	5,901965	-	230,33	7,744
4	36,50N	6,96W	0,96	3,1822	0,0086	5,3226	14,038	-	270,8	6,3398
5	36,10N	5,50W	0,4064	0,98575	0,00201017	3,710533333	6,537533333	201,866	123,3986667	2,5266
6	28,40N	16,00W	0,74665	2,111941	0,00027096	6,156	11,2633	-	7,2666	5,43
7a	27,78M	17,90W	0,12	1,815765	0,000991	-	-	-	-	-
7b	27,99N	16,58W	0,75033	-	-	5,1416	10,6775	-	198,7315	-
8	37,65N	0,33W	0,826965	-	-	3,964	4,99995	-	327,73	4,356575
9	39,56N	2,1E	0,19	0,475733	-0,0035714	-	-	-	-	-
10	38,73N	1,42E	0,7026	-	-	4,6873	5,806	-	68,4	2,13315

num	lat	long	Direcció del vent	ressió atmosfèrica	temperatura a	velocitat corrent	Direcció corrent	Temperatura aigua	Salinitat
1	39,52N	0,21E	183,2866667	1010,333333	17,1442	8,87	185,333	16,726	37,811
2	40,80N	1,35E	182,663	1010,4995	15,0533	25,453	206,795	15,7133	37,811
3	36,60N	2,35E	231,4176667	1011,2	17,0286667	49,046	114,198	19,553	37,087
4	36,50N	6,96W	322,6	1014,4	16,57315	6,71315	202,098	17,836	36,225
5	36,10N	5,50W	155,46	1013,64	-	-	-	-	-
6	28,40N	16,00W	158,2	1014,4665	19,8798	136,38	200,333	19,0333	28,628
7a	27,78M	17,90W	-	-	-	-	-	-	-
7b	27,99N	16,58W	-	-	-	-	-	-	-
8	37,65N	0,33W	176,764	1010,2315	16,671475	9,5333	312,8	15,2266	37,678
9	39,56N	2,1E	-	-	-	-	-	-	-
10	38,73N	1,42E	106,666	1007,263	18,86	11,96	306,066	19,28	37,625

51. Taula de totes les característiques meteorològiques i oceanogràfiques del Mediterrani i Canàries

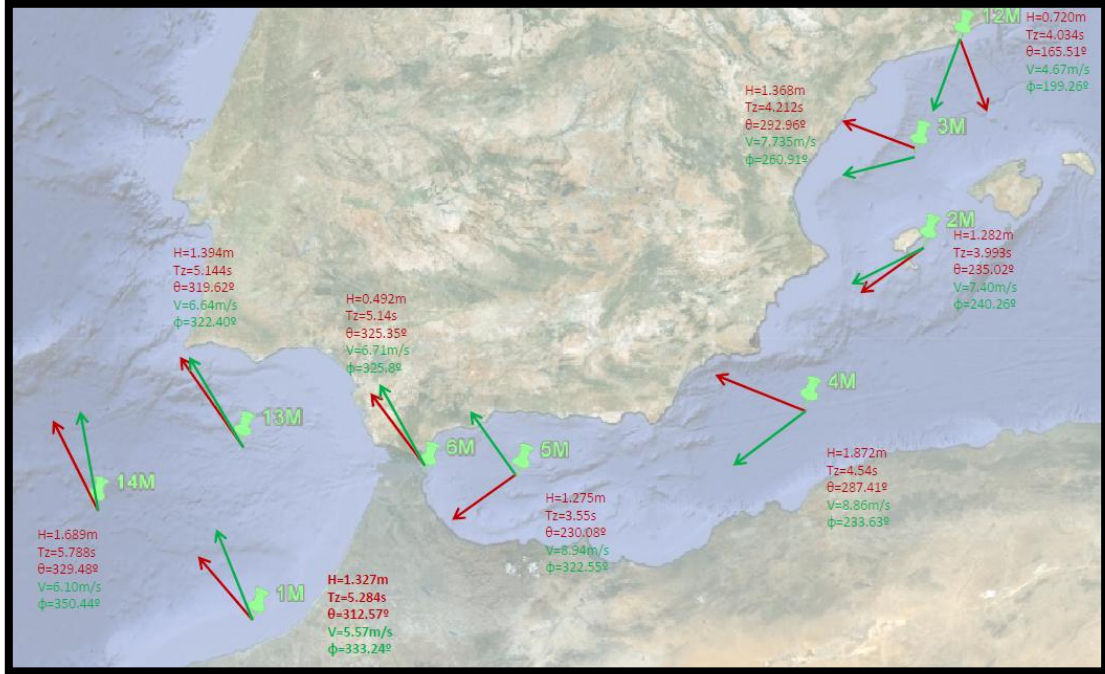
3.4.2.3. Mètode 3

MAR					VENT	
Altura	Període p	Període z	direcció	Altura quadràtica	velocitat	direcció
1,32702703	9,66891892	5,28378378	312,567568	1,8728	5,57094595	333,2432432
1,28219178	6,02739726	3,99315068	235,017123	1,9887	7,40273937	240,256849
1,36780822	6,05479452	4,21232877	292,962329	2,138	7,73493151	260,9075342
1,87191781	7,11643836	4,54109589	287,414384	4,9955	8,86027397	233,630137
1,27465753	4,96575342	3,54794521	230,085616	2,3166	8,94109589	322,5513699
1,15136986	7,9109589	5,36986301	325,35	0,0911	6,14041096	325,8
1,57054795	9,0890411	5,5	5,54194511	2,6054	6,81232877	15,4109589
1,76506849	9,67123288	5,94520548	5,23972603	3,2475	6,60821918	40,9931507
1,46506849	9,38356164	5,28767123	2,46575343	2,2464	5,64931507	29,7431507
1,65753425	9,95890411	5,45890411	356,455479	2,8545	6,58356164	351,9863014
1,65684932	10,5273973	5,7960274	0,30821918	2,8492	5,85958904	27,5856164
0,71986301	6,34931507	4,03424658	165,513699	0,561	4,67205479	199,263699
1,39452055	9,38356164	5,14383562	319,623288	2,1227	6,64178082	322,3972603
1,6890411	9,73972603	5,78767123	329,486301	2,9796	6,10479452	350,4452055
metres	segons	segons	graus	metres	metres/seg	graus

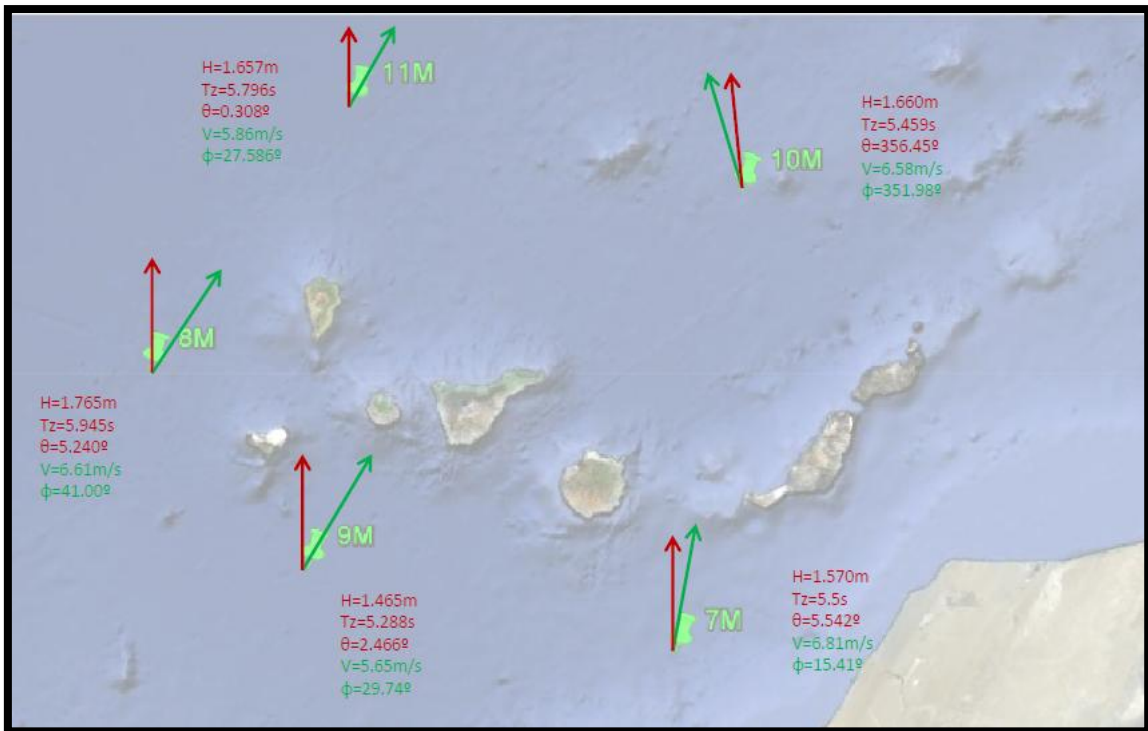
52. Taula de les característiques de l'onatge per registres temporals del Mediterrani i Canàries.

Com es pot apreciar els resultats pels 3 mètodes difereixen els uns dels altres. Amb el mètode 1, la mostra més fiable, pot vindre donat ja que analitza tot un any sencer, contant també les èpoques de menys onatge. Al cas 2 i 3 poden diferir per la diferència de dies en que s'ha pres la mostra.

Dir també que el registre del mètode 3 és més gran que el 2, i més actual que l'1, per tant, es podria dir que és el més fiable, i és amb el que es treballarà, quedant els resultats il·lustrats a la següent imatge:



53. Mapa Google Earth amb els resultats del mètode 3 de la zona del Mediterrani



54. Mapa Google Earth amb els resultats del mètode 3 de la zona de les Canàries

### 3.5. Resultats del potencial energètic

Amb aquesta caracterització de les característiques de l'onatge, ja podem donar un perfil energètic de les zones:

#### 3.5.1. Segons la teoria de Airy

Teories	(J/m <sup>2</sup> )	(kW/m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s)	H (m)	T(s)
Teoria Airy	E total	Potencial	densitat	gravetat	altura	període
<b>Atlàntic Nord</b>						
1	5,381	40,643	1,025	9,81	2,069	9,67608696
2	5,913	44,967	1,025	9,81	2,169	9,74130435
3	3,206	24,497	1,025	9,81	1,597	9,78913043
4	4,131	32,133	1,025	9,81	1,813	9,96304348
5	3,526	26,443	1,025	9,81	1,675	9,60543478
6	3,788	29,539	1,025	9,81	1,736	9,98913043
7	3,464	26,018	1,025	9,81	1,66	9,62282609
<b>Mètode 3</b>						
T1	2,213	9,130	1,025	9,81	1,327	5,28378378
T2	2,066	6,440	1,025	9,81	1,282	3,99315068
T3	2,352	7,735	1,025	9,81	1,368	4,21232877
T4	4,405	15,615	1,025	9,81	1,872	4,54109589
T5	2,043	5,659	1,025	9,81	1,275	3,54794521
T6	1,665	6,980	1,025	9,81	1,151	5,36986301
T7	3,102	13,319	1,025	9,81	1,571	5,5
T8	3,916	18,173	1,025	9,81	1,765	5,94520548
T9	2,698	11,135	1,025	9,81	1,465	5,28767123
T10	3,455	14,724	1,025	9,81	1,658	5,45890411
T11	3,451	15,615	1,025	9,81	1,657	5,7960274
T12	0,652	2,052	1,025	9,81	0,72	4,03424658
T13	2,446	9,822	1,025	9,81	1,395	5,14383562
T14	3,586	16,200	1,025	9,81	1,689	5,78767123
<b>Mètode 2</b>						
1	0,548	1,728	1,025	9,81	0,66	4,042995
2	0,435	1,360	1,025	9,81	0,5883325	4,0043
3	1,776	6,104	1,025	9,81	1,188825	4,401333
4	1,158	4,813	1,025	9,81	0,96	5,3226
5	0,208	0,601	1,025	9,81	0,4064	3,71053333
6	0,701	3,367	1,025	9,81	0,74665	6,156
7a	0,018		1,025	9,81	0,12	-
7b	0,708	2,840	1,025	9,81	0,75033	5,1416
8	0,860	2,660	1,025	9,81	0,826965	3,964
9	0,045		1,025	9,81	0,19	-
10	0,620	2,270	1,025	9,81	0,7026	4,6873
<b>Mètode 1</b>						
1	0,255	0,723	1,025	9,81	0,45	3,64
2	0,255	0,596	1,025	9,81	0,45	3
3	0,255	0,702	1,025	9,81	0,45	3,533
4	0,361	1,167	1,025	9,81	0,5357	4,1428
5	0,353	1,136	1,025	9,81	0,53	4,12
6	0,185	0,509	1,025	9,81	0,3833	3,53
7	0,531	1,795	1,025	9,81	0,65	4,33
8	0,838	5,539	1,025	9,81	0,8166	8,466
9A	2,207	17,399	1,025	9,81	1,325	10,1
10A	3,422	28,851	1,025	9,81	1,65	10,8

55. Taula de resultats del potencial energètic segons la teoria d'Airy

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

3.5.2. Segons la descripció espectral

Descripció								
Espectral senzilla	Pierson Moscoetz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap	Pierson Moscoetz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap
	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kW/m	kW/m	kW/m	kW/m
	E PM	E ISSC	E B-M	E J	Pot PM	Pot ISSC	Pot B-M	Pot J
Atlàntic N.								
1	6,521777011	7,068228273	5,238804484	5,440753864	22,74013761	24,6455043	18,26666792	18,9708252
2	7,167440036	7,767990568	5,757451833	5,97939442	25,15987973	27,2679935	20,2103952	20,9894807
3	3,88557053	4,211137459	3,121195999	3,241514212	13,70649121	14,8549404	11,01013228	11,4345591
4	5,007726164	5,427317063	4,022599705	4,177665907	17,97877007	19,485188	14,44196284	14,9986825
5	4,274394349	4,632540323	3,433529887	3,565888182	14,79513713	16,0348025	11,88461835	12,3427556
6	4,591392346	4,976099173	3,688167622	3,830341885	16,52720713	17,9120004	13,27595327	13,7877247
7	4,198180822	4,549940963	3,372309185	3,502307498	14,55764611	15,7774124	11,69384687	12,1446301
	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m		s	s	s	
	p	g	Hs	π	Te	Tz	Tp	
	densitat	gravetat	altura de la onada significan	num. Pi	periode energètic	ode mig estad	periode de pic	
1	1025	9,81	2,069	3,14159	8,933006056	9,67608696	-	
2	1025	9,81	2,169	3,14159	8,993215038	9,74130435	-	
3	1025	9,81	1,597	3,14159	9,037368285	9,78913043	-	
4	1025	9,81	1,813	3,14159	9,197925578	9,96304348	-	
5	1025	9,81	1,675	3,14159	8,867779653	9,60543478	-	
6	1025	9,81	1,736	3,14159	9,222009165	9,98913043	-	
7	1025	9,81	1,66	3,14159	8,883835387	9,62282609	-	

56. Taula de resultats del potencial energètic de l'Atlàntic Nord segons la descripció espectral

Descripció								
Espectral senzilla	Pierson Moscoetz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap	Pierson Moscoetz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap
	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kJs/m <sup>2</sup>	kW/m	kW/m	kW/m	kW/m
	E PM	E ISSC	E B-M	E J	Pot PM	Pot ISSC	Pot B-M	Pot J
Mètode 1								
1	0,309	0,334	0,248	0,257	0,405	0,439	0,325	0,338
2	0,309	0,334	0,248	0,257	0,334	0,361	0,268	0,278
3	0,309	0,334	0,248	0,257	0,393	0,426	0,316	0,328
4	0,437	0,474	0,351	0,365	0,653	0,707	0,524	0,545
5	0,428	0,464	0,344	0,357	0,635	0,689	0,510	0,530
6	0,224	0,243	0,180	0,187	0,285	0,309	0,229	0,238
7	0,644	0,698	0,517	0,537	1,004	1,089	0,807	0,838
8	1,016	1,101	0,816	0,848	3,099	3,359	2,490	2,586
9A	2,675	2,899	2,149	2,231	9,735	10,550	7,820	8,121
10A	4,148	4,495	3,332	3,460	16,142	17,495	12,967	13,467
	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m		s	s	s	
	p	g	Hs	π	Te	Tz	Tp	
	densitat	gravetat	altura de la onada significan	num. Pi	periode energètic	periode mig estadistic	periode de pic	
1	1,025	9,81	0,45	3,14159	3,360	3,64	-	
2	1,025	9,81	0,45	3,14159	2,770	3	-	
3	1,025	9,81	0,45	3,14159	3,262	3,533	-	
4	1,025	9,81	0,5357	3,14159	3,825	4,1428	-	
5	1,025	9,81	0,53	3,14159	3,804	4,12	-	
6	1,025	9,81	0,3833	3,14159	3,259	3,53	-	
7	1,025	9,81	0,65	3,14159	3,997	4,33	-	
8	1,025	9,81	0,8166	3,14159	7,816	8,466	-	
9A	1,025	9,81	1,325	3,14159	9,324	10,1	-	
10A	1,025	9,81	1,65	3,14159	9,971	10,8	-	

57. Taula de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 1-

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Descripció								
Espectral	Pierson Moscoelitz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap	Pierson Moscoelitz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap
senzilla	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kW/m	kW/m	kW/m	kW/m
	E PM	E ISSC	E B-M	E J	Pot PM	Pot ISSC	Pot B-M	Pot J
<b>Mètode 2</b>								
1	0,545	0,591	0,438	0,455	0,967	1,048	0,777	0,807
2	0,346	0,375	0,278	0,289	0,761	0,825	0,611	0,635
3	1,729	1,874	1,389	1,443	3,415	3,701	2,743	2,849
4	0,573	0,621	0,461	0,478	2,693	2,919	2,163	2,247
5	0,154	0,167	0,124	0,128	0,336	0,365	0,270	0,281
6	0,500	0,542	0,402	0,417	1,884	2,042	1,513	1,572
7a	-	-	-	-	-	-	-	-
7b	0,445	0,482	0,357	0,371	1,589	1,722	1,277	1,326
8	0,890	0,964	0,715	0,742	1,488	1,613	1,195	1,242
9	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,654	0,709	0,525	0,546	1,270	1,377	1,020	1,060
	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m		s	s	s	
	p	g	Hs	π	Te	Tz	Tp	
	densitat	gravetat	Altura de la onada significan	num. Pi	període energètic	període mig estadístic	període de pic	
1	1,025	9,81	0,66	3,14159	4,543	4,043	5,300	
2	1,025	9,81	0,5883325	3,14159	5,630	4,004	6,568	
3	1,025	9,81	1,188825	3,14159	5,059	4,401	5,902	
4	1,025	9,81	0,96	3,14159	12,033	5,323	14,038	
5	1,025	9,81	0,4064	3,14159	5,604	3,711	6,538	
6	1,025	9,81	0,74665	3,14159	9,655	6,156	11,263	
7a	1,025	9,81	0,12	3,14159	-	-	-	
7b	1,025	9,81	0,75033	3,14159	9,153	5,142	10,678	
8	1,025	9,81	0,826965	3,14159	4,286	3,964	5,000	
9	1,025	9,81	0,19	3,14159	-	-	-	
10	1,025	9,81	0,7026	3,14159	4,977	4,687	5,806	

58. Taula de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 2-

Descripció								
Espectral	Pierson Moscoelitz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap	Pierson Moscoelitz	ISSC	Bretchneider-Mitsuyasu	Jonswap
senzilla	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kjs/m <sup>2</sup>	kW/m	kW/m	kW/m	kW/m
	E PM	E ISSC	E B-M	E J	Pot PM	Pot ISSC	Pot B-M	Pot J
<b>Mètode 3</b>								
T1	1,579	1,711	1,268	1,317	5,108	5,536	4,103	4,261
T2	1,787	1,936	1,435	1,490	3,603	3,905	2,894	3,006
T3	2,136	2,315	1,716	1,782	4,328	4,690	3,476	3,610
T4	3,669	3,977	2,947	3,061	8,737	9,469	7,018	7,288
T5	1,906	2,065	1,531	1,590	3,166	3,432	2,544	2,642
T6	1,476	1,599	1,185	1,231	3,906	4,233	3,137	3,258
T7	2,451	2,656	1,968	2,044	7,452	8,077	5,986	6,217
T8	3,142	3,405	2,524	2,621	10,168	11,020	8,168	8,482
T9	1,984	2,151	1,594	1,655	6,230	6,752	5,005	5,198
T10	2,472	2,680	1,986	2,063	8,238	8,929	6,618	6,873
T11	2,480	2,688	1,992	2,069	8,737	9,469	7,018	7,289
T12	0,540	0,586	0,434	0,451	1,148	1,244	0,922	0,958
T13	1,750	1,897	1,406	1,460	5,496	5,956	4,414	4,585
T14	2,781	3,015	2,234	2,320	9,064	9,824	7,281	7,562
	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m		s	s	s	
	p	g	Hs	π	Te	Tz	Tp	
	densitat	gravetat	Altura de la onada significan	num. Pi	període energètic	període mig estadístic	període de pic	
T1	1,025	9,81	1,327	3,14159	8,288	5,284	9,669	
T2	1,025	9,81	1,282	3,14159	5,167	3,993	6,027	
T3	1,025	9,81	1,368	3,14159	5,190	4,212	6,055	
T4	1,025	9,81	1,872	3,14159	6,100	4,541	7,116	
T5	1,025	9,81	1,275	3,14159	4,257	3,548	4,966	
T6	1,025	9,81	1,151	3,14159	6,781	5,370	7,911	
T7	1,025	9,81	1,571	3,14159	7,791	5,500	9,089	
T8	1,025	9,81	1,765	3,14159	8,290	5,945	9,671	
T9	1,025	9,81	1,465	3,14159	8,044	5,288	9,384	
T10	1,025	9,81	1,658	3,14159	8,537	5,459	9,959	
T11	1,025	9,81	1,657	3,14159	9,024	5,796	10,527	
T12	1,025	9,81	0,72	3,14159	5,443	4,034	6,349	
T13	1,025	9,81	1,395	3,14159	8,044	5,144	9,384	
T14	1,025	9,81	1,689	3,14159	8,349	5,788	9,740	

59. Taula de resultats del potencial energètic del Mediterrani segons la descripció espectral. -Mètode 3-

3.5.3. Segons la descripció estadístico-geomètrica

Descripció						
Estadístico-geomètrica	Energia	Potencial	$\rho$	$g$	Hrms	Tz
Atlàntic Nord	(J/m <sup>2</sup> )	(kW/m)	(kg/m <sup>3</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	(m)	s
<b>AN</b>						
1	6,2067916	46,8841921	1,025	9,81	2,22219486	9,67608696
2	6,61572605	50,3099789	1,025	9,81	2,2942319	9,74130435
3	3,57652673	27,3316028	1,025	9,81	1,68686099	9,78913043
4	4,49381692	34,9515878	1,025	9,81	1,89084637	9,96304348
5	3,96175593	29,7073734	1,025	9,81	1,77538447	9,60543478
6	3,98615248	31,0843007	1,025	9,81	1,7808425	9,98913043
7	3,62718006	27,2477887	1,025	9,81	1,69876426	9,62282609
<b>Mètode 3</b>						
T1	2,35393403	9,709544	1,025	9,81	1,36850283	5,28378378
T2	2,49960946	7,79197173	1,025	9,81	1,41021275	3,99315068
T3	2,68726556	8,8367457	1,025	9,81	1,46219014	4,21232877
T4	6,27887517	22,2588146	1,025	9,81	2,23506152	4,54109589
T5	2,91174902	8,06473966	1,025	9,81	1,52203811	3,54794521
T6	0,11450416	0,48000303	1,025	9,81	0,30182777	5,36986301
T7	3,27474354	14,0604589	1,025	9,81	1,61412515	5,5
T8	4,08180305	18,944294	1,025	9,81	1,80208213	5,94520548
T9	2,8235142	11,6550444	1,025	9,81	1,49879952	5,28767123
T10	3,58783889	15,2896629	1,025	9,81	1,68952656	5,45890411
T11	3,58117729	16,2037585	1,025	9,81	1,68795735	5,7960274
T12	0,70512441	2,22068877	1,025	9,81	0,74899933	4,03424658
T13	2,6680349	10,7136659	1,025	9,81	1,45694887	5,14383562
T14	3,74507786	16,9209294	1,025	9,81	1,72615179	5,78767123
<b>Mètode 2</b>						
1	0,57661831	1,81991517	1,025	9,81	0,67731824	4,042995
2	1,16509553	3,64206468	1,025	9,81	0,96278502	4,0043
3	4,42473735	15,2030679	1,025	9,81	1,87625691	4,401333
4	1,16997861	4,86139895	1,025	9,81	0,9648005	5,3226
5	0,26093374	0,75583341	1,025	9,81	0,45563143	3,71053333
6	2,42381801	11,6481815	1,025	9,81	1,38866843	6,156
7a	-	-	1,025	9,81	-	-
7b	0,73315342	2,9427452	1,025	9,81	0,76374079	5,1416
8	0,89156131	2,75895343	1,025	9,81	0,84221731	3,964
9	0,62945865	-	1,025	9,81	0,70767224	-
10	-	-	1,025	9,81	-	4,6873

60. Taula de resultats del potencial energètic segons la descripció estadístico-geomètrica

Com es pot apreciar, els resultats a les mateixes zones per diferents teories no varien notablement, en excepció de la descripció espectral. Això és degut a que les tres formes de càlcul són correctes, però cada una està preparada per un tipus de registre de dades i cada una té una precisió diferent.

Un bon exemple és que amb la descripció geomètrico-estadística no es pot calcular l'onatge del Mediterrani pel mètode 1, posat que les dades que donava sobre l'altura de l'onatge eren ja la mitjana anual, i no es pot crear la  $H_{rms}$ .

S'ha de ressaltar que a aquesta taula, les zones anomenades T i un número, corresponen a les M i un número del mapa.



5 de setembre del 2012

Ara s'ha de veure si serà suficient energia per fer una instal·lació, o variació de la navegació, etc. és a dir, si és viable aprofitar aquesta energia, i per quins mètodes es podria fer.

## 4. MOVIMENT OSCIL·LATORI DE L'EMBARCACIÓ

Un cop conegudes les característiques principals de les onades d'una part del recorregut de la BWR, i les definicions del moviment i l'energia d'aquestes, ja es pot analitzar el moviment que té l'embarcació sobre les onades, i quin aspecte transmet energia de la onada a l'IMOCA 60<sup>12</sup>.

Aquest apartat es centra en fer l'estudi del moviment vertical de l'embarcació, i sobretot, la diferència entre la sinusoide descrita per l'oscil·lació de l'onada, i la descrita per l'embarcació, juntament amb el seu retard de reacció.

### 4.1. Raonament

Quan l'onada arriba a l'embarcació, l'àrea mullada d'aquesta augmenta més del que demana el seu desplaçament. Això fa que creixi una força ascendent, ja que en aquest moment hi ha més volum desplaçat que pes. Aquesta força és igual al nivell de l'aigua augmentat. La resposta en moviment de l'embarcació davant d'aquesta força no és immediata, tot i que la força sí que ho és.

Aquesta acceleració que s'ha provocat, es mantindrà fins a la part alta de l'ona, on l'embarcació arrossegada per la inèrcia sortirà de l'aigua més del que li tocaria.

L'embarcació, per tant, descriu un moviment una mica diferent al de la onada.

El vaixell pot ser que es comporti com un moviment harmònic simple (MHS) desfasat i possiblement amb una amplitud major. S'ha d'estudiar en cada instant crític per veure si compleix la equació del MHS.

### 4.2. Hipòtesis

Per poder fer un estudi de l'aspecte vertical, cal marcar unes hipòtesis de treball per simplificar el problema:

- a. L'embarcació no té moviments de capbússeig ni balanceig
- b. L'estudi es farà en dos dimensions, i la velocitat de l'embarcació té sentit contrari a la de la onada.
- c. Es considera que l'onada puja equitativament a totes les parts de l'embarcació, com si l'embarcació fos un sol punt.
- d. La força del vent es considera nul·la

---

<sup>12</sup> Embarcació corredora de la BWR, amb unes formes innovadores de navegació que millora molt la hidrodinàmica del vaixell. A l'Annex VI, hi ha un conjunt de fotografies per poder conèixer les formes de l'embarcació.

### 4.3. Descripció del moviment

Principi d'Arquímedes: Un cos submergit a un fluid experimenta una força ascendent equivalent al pes del fluid desplaçat.

La condició de flotabilitat és que el pes sigui igual a l'empenta del fluid:

$$P = E$$

$$P = V_c \rho_f g$$

P: pes del cos

E: empenta del fluid

V<sub>c</sub>: Volum submergit del cos

ρ<sub>f</sub>: densitat del fluid

g: gravetat

Quan s'altera l'equilibri de l'equació, es provoca un moviment.

Per poder definir i regularitzar el moviment un cop s'altera l'equilibri, cal classificar la tipologia del moviment de l'embarcació.

La descripció que s'adapta millor per explicar el moviment de l'embarcació és el Moviment Oscil·latori Esmorteït Forçat, ja que es considera que l'embarcació descriu oscil·lacions, amb un cert retard (característic de les oscil·lacions esmorteïdes) i que, a més a més, l'amplitud es manté, donant a entendre una oscil·lació constant, per tant, hi ha d'haver una força externa.

El moviment oscil·latori Esmorteït es descriu de la següent manera:

$$\sum \vec{F} = -\vec{F}_h - \vec{F}_f$$

F<sub>h</sub>: Força elàstica (Llei de Hooke) = -kx

F<sub>f</sub>: Força de fricció / esmorteïment (Llei de Stokes) = -bv

∑F: Força resultant (segona llei de Newton) = m $\vec{a}$

Traduint-ho als paràmetres típics d'aquest moviment:

$$-bv - kx = ma$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$$

Com que:

$$\gamma = \frac{b}{2m} \quad i \quad w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad i \quad \frac{F(t)}{m} = f(t)$$

Tenim que:

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + w_0^2x = 0$$

Introduint la força externa:

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + w_0^2x = F_{ext}$$

$F_{ext}$ =Força externa

I considerant que la força externa és:

$F_{ext} \neq 0$  diferent a zero

$F_{ext} = F \cos wt$  vibració harmònica (mòdul i freqüència angular)

Un cop obtingut el model matemàtic, s'ha de classificar en quin tipus d'equació és per poder trobar la seva solució:

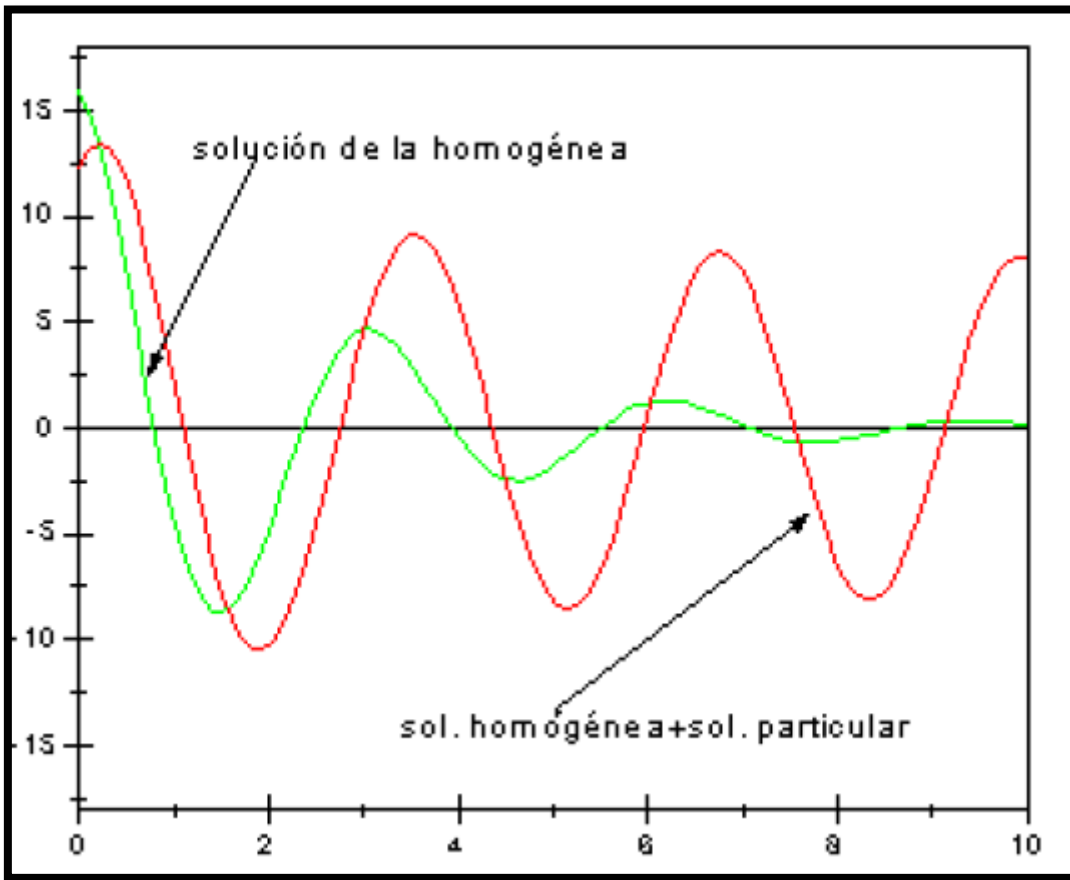
Model:  $\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + w_0^2x = F_{ext}(t)$  Equació Diferencial Ordinària (EDO) lineal (no homogènia)

Les solucions de les EDOs no homogènies es separen en dos factors: la solució homogènia i la solució particular

Solució:  $x(t) = x_h(t) + x_p(t)$

La solució homogènia tendeix a zero quan augmenta el temps de la següent manera:

$x_h(t) = Re^{-\gamma t} \cos(w_0t - \Phi)$  oscil·lador lliure



61. Gràfica representativa de la diferència entre la solució general i la solució homogènia.

La solució particular és la que després d'un temps, defineix completament el moviment oscil·latori. Al buscar la solució particular, cal remarcar que aquesta tindrà la mateixa freqüència que la de la força externa i quedarà d'una forma com:

$$x_p(t) = A \cos(\omega t - \theta)$$

Substituint la força externa i la solució particular a l'equació general:

$$-\omega^2 \cos(\omega t + \theta) - 2\gamma\omega \sin(\omega t + \theta) + \omega_0^2 \cos(\omega t + \theta) = \frac{F}{A} \cos(\omega t)$$

Aïllant l'Amplitud a partir d'identitats trigonomètriques, s'obté :

$$A = \frac{F}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2]^{1/2}}$$

I sabent el valor del desfasament:

$$\tan \theta = \frac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

Solució completa:  $x(t) = Re^{-\gamma t} \cos(\omega_0 t - \Phi) + A \cos(\omega t - \theta)$

Per  $t \gg 1 \rightarrow x(t) = A \cos(\omega t + \theta) = x_p(t)$  Oscil·lació forçada

$x_{est}(t) = x_p(t)$  règim permanent o estacionari (depèn només de  $F_{ext}$ )

$x_t(t) = x_h(t) + x_p(t)$  règim transitori (depèn de sistema i  $F_{ext}$ )

La navegació de l'Imoca 60 es considera règim estacionari, per tant la seva descripció finalment quedarà com a:

$$x(t) = A \cos(\omega t - \theta)$$

$$x(t) = \frac{F}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2 \omega^2]^{1/2}} \cos\left(\omega t - \tan^{-1} \frac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right)$$

On:

F: es l'Amplitud de les onades (H/2)

W: la freqüència de les onades

W<sub>0</sub>: la freqüència natural de l'oscil·lació de l'IMOCA 60

Aquesta és l'equació bàsica del moviment. També es pot expressar més específicament per onatge de fons introduint el perfil d'onada de la teoria d'Airy com a força externa.

Finalment, per saber l'Energia que agafa l'embarcació, objectiu principal d'aquest apartat, és necessari saber les seves característiques d'oscil·lació, i això només es pot fer de manera experimental.

Se sap que tant potencialment, com per desfasament cinètic, existeix una transmissió energètica. Amb aquesta aproximació de moviment s'ha expressat d'una forma teòrica els paràmetres necessaris per fer el càlcul energètic. Però per saber si es tracta d'una energia aprofitable o no, i a quin nivell, cal experimentar el moviment real de l'embarcació per tindre dades reals a posar a l'equació.

El que si que es pot deduir de l'equació és que, ja que com més gran sigui l'Amplitud més energia té el cos, com més gran sigui l'Alçada de la Onada o més petita sigui la diferència  $\omega_0^2 - \omega^2$ , més energia potencial donarà, i com que el desfasament, també es pot llegir com energia, també interessa que la diferència entre freqüències no sigui molt gran.

## 5. Mètode Sincron

Basats en el funcionament d'una màquina síncron, aquest apartat explica les condicions necessàries per poder navegar amb un règim síncron amb la onada, d'aquesta manera aprofitar la seva energia i el seu moviment a l'hora de desplaçar l'embarcació.

Aquest és un segon mètode per aprofitar l'energia i, sobretot, el moviment de les onades.

El funcionament és similar al del surfeig. Tracta de posar en sincronisme l'onada i l'embarcació per d'aquesta manera que sigui l'onada qui participi en la propulsió de l'embarcació. Per això cal analitzar detalladament tots els factors que hi intervenen.

També s'ha de buscar la zona que permet fer servir aquest mètode. La condició és que la direcció de l'IMOCA 60 sigui la mateixa que la de l'onada, per tant, s'ha de trobar un onatge que vagi a una direcció semblant al recorregut de la BWR per no desviar molt l'embarcació. També s'ha d'intentar que el vent segueixi aquesta direcció al nivell que sigui possible.

### 5.1. Zones aptes

Les zones que s'adeqüen més a les necessitats del sincronisme son varies, però les més òptimes, que utilitzarem per fer l'estudi, són :

#### A l'Atlàntic Nord : zona 4

Onatge	Vent
H=1.81m	V=4.68 m/s
T=9.96s	$\Phi=199^\circ$
$\Theta=183^\circ$	
V=7.77m/s	

#### Al Mediterrani : 2M

Onatge	Vent
H=1.282m	V=7.4 m/s
T=3.993s	$\Phi=240.26^\circ$
$\Theta=235.02^\circ$	
V=3.117m/s	

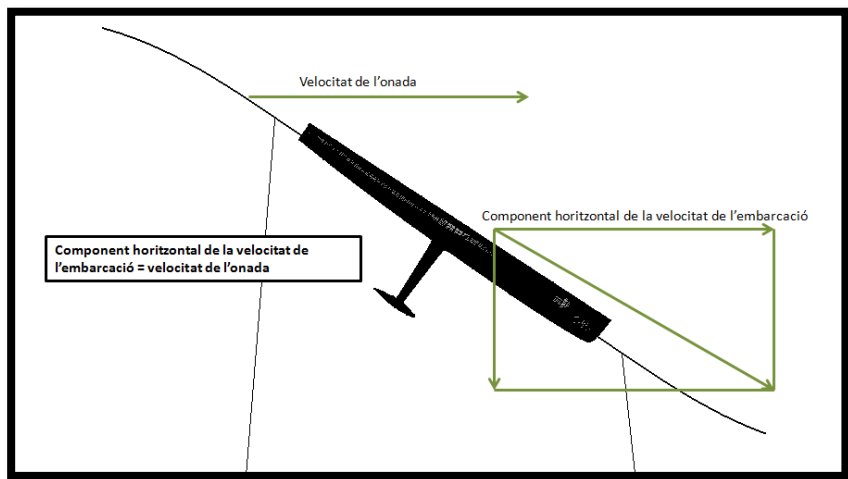
**A les canàries: 8M**

Onatge	Vent
H=1.765m	V=6.61m/s
T=5.945s	$\Phi=41.0^\circ$
$\Theta=5.24^\circ$	
V=4.64m/s	

## 5.2. Equació de navegació

Per posar en sincronisme l'onada i l'embarcació, cal igualar les velocitats. A partir d'aquí ja es pot descriure amb una equació quines han de ser les característiques dels moviments.

El règim síncron es basa en la igualació de les velocitats dels dos elements:



62. Esquema de les velocitats de l'onada i l'Imoca 60

**Síncron:**  $v_{\text{Imoca 60}} = v_{\text{onada}}$

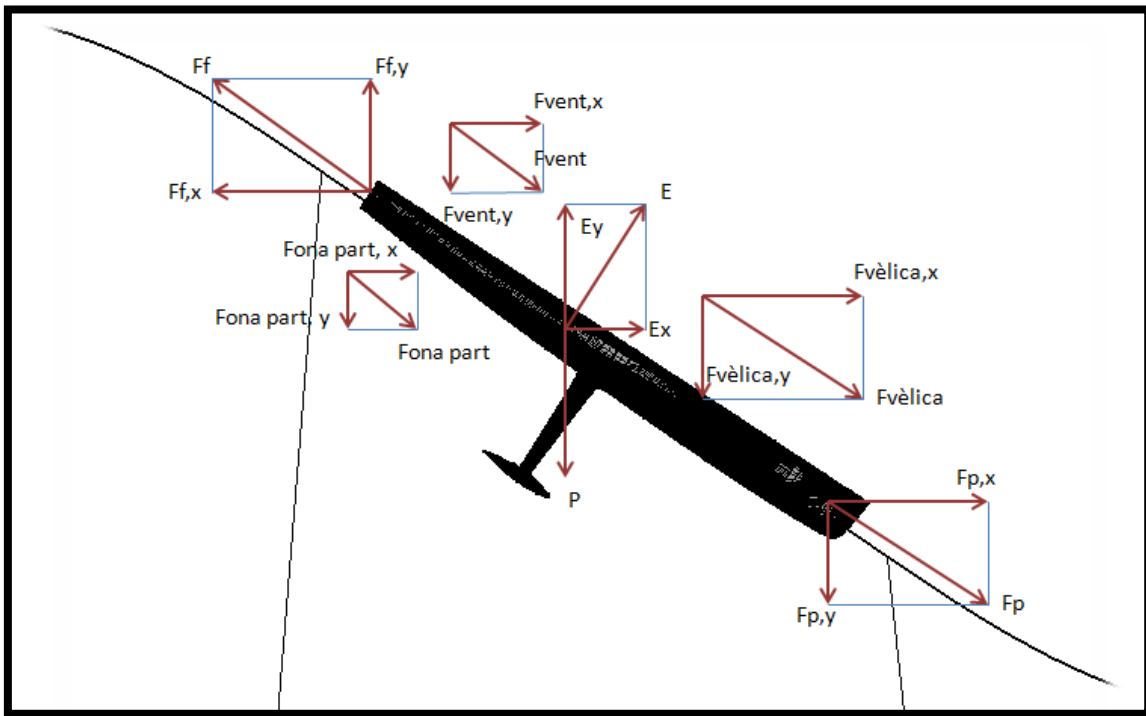
**Subsíncron:**  $v_{\text{Imoca 60}} < v_{\text{onada}}$

**Supersíncron:**  $v_{\text{Imoca 60}} > v_{\text{onada}}$

Es posa la velocitat total tot i que se sap que han de ser igual les components horitzontals, però a l'hora de posar-se en sincronisme es fa des de la cresta i aleshores component horitzontal i mòdul total són iguals.

D'aquesta manera es pot fer un esquema dels factors que hi intervenen:





**63. Esquema de forces que actuen sobre l'embarcació en sincronisme**

Quedant com a resultat les següents igualacions :

$$X \rightarrow \sum F_x = ma_x = E_x + F_{p,x} + F_{ona\ part,x} + F_{velica,x} + F_{vent,x} - F_{f,x}$$

$$Y \rightarrow \sum F_y = ma_y = F_{ona,k} + F_{f,y} + E_y - F_{ona\ part,y} - F_{p,y} - P - F_{velica,y} - F_{vent,y}$$

On :

$F_x$ : component horitzontal de la força resultant

$F_y$ : component vertical de la força resultant

$E_x$ : component horitzontal de la força d'empenta

$E_y$ : component vertical de la força d'empenta

$F_{p,x}$ : component horitzontal de la força propulsiva

$F_{p,y}$ : component vertical de la força propulsiva

$F_{ona\ part, x}$ : component horitzontal de la força de les partícules en moviment circular

$F_{ona\ part, y}$ : component vertical de la força de les partícules en moviment circular

$F_{f, x}$ : component horitzontal de la força de fricció

$F_{f, y}$ : component vertical de la força de fricció

$F_{\text{ona},k}$ : força natural dels moviments oscil·latoris

$F_{\text{velica},x}$ : component horitzontal de la força creada per la pressió del vent sobre les veles

$F_{\text{velica},y}$ : component vertical de la força creada per la pressió del vent sobre les veles

$F_{\text{vent},x}$ : component horitzontal de la força creada per la pressió del vent sobre el casc

$F_{\text{vent},y}$ : component vertical de la força creada per la pressió del vent sobre el casc

P: pes

Com que l'onada puja, puja l'empenta de lona (E). La velocitat de l'onada és igual a la velocitat de l'embarcació, així el factor  $K_{\text{ona},k}$  es constant i queda implícit a l'empenta. També s'ha de tenir en compte que les partícules de les onades tenen un moviment circular, per tant, existeix una força,  $F_{\text{ona,part}}$  que ataca a l'embarcació de forma tangencial a la onada.

### 5.3. Càlcul de les parts de l'equació

En aquest apartat es veuran detalladament els càlculs i hipòtesis per poder aproximar les condicions de "surfeig", per parts de cada paràmetre:

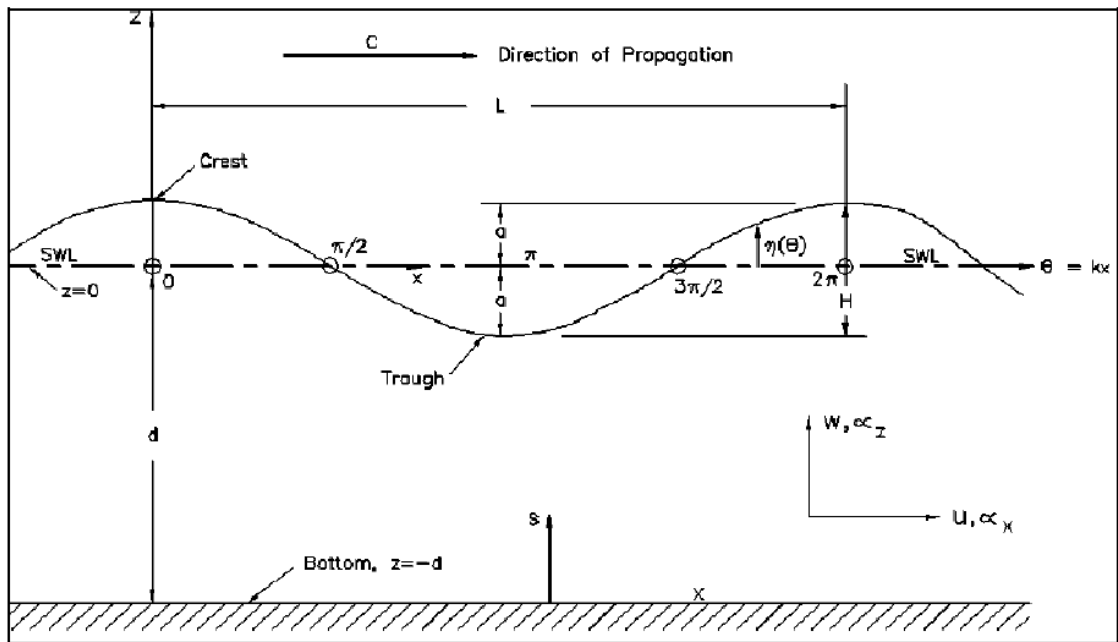
#### 5.3.1. Posició de l'onada

El perfil de les onades és més complex que el d'una sinusoide, però és necessari trobar la pendent per poder integrar tots els paràmetres a les dos equacions.

Es farà servir el perfil de la teoria d'Airy ja que és el més adequat perquè s'està parlant d'una ona simple.

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos (\theta)$$

$$\left[ \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \theta$$



64. Perfil d'ona segons la teoria d'Airy.

La zona d'estudi està entre l'angle 0 rad i l'angle  $\pi$  rad, és a dir, entre la cresta i la vall de l'onada. Posat que necessitem un bon potencial podríem assegurar que l'embarcació es trobarà per sobre de la línia central però no molt allunyada, ja que necessitem una certa pendent.

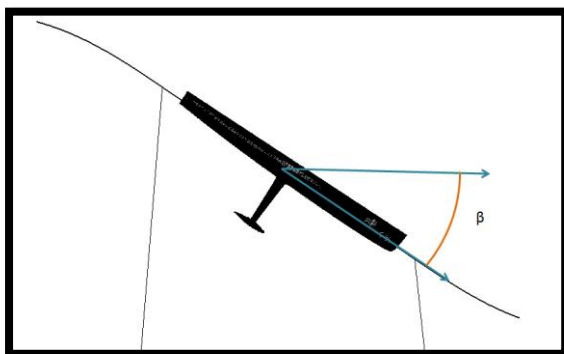
Un bon punt seria amb l'angle  $2\pi/5$ , quedant aleshores la següent expressió :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left[\frac{2\pi}{5}\right]$$

I el pendent vindrà descrit per la derivada en funció de l'angle:

$$\eta' = -\frac{H}{2} \sin \theta$$

$$\eta'\left(\frac{2\pi}{5}\right) = -\frac{H}{2} \sin\left[\frac{2\pi}{5}\right]$$



65. Esquema de l'angle entre la tangent a l'onada i la horitzontal (línia de mar en calma)

I se sap que l'angle entre la pendent i el pla horitzontal és:

$$\beta = \tan^{-1} \frac{m_{ona} - m_{horitzontal}}{1 - m_{ona} m_{horitzontal}}$$

I sabent que el pendent del pla horitzontal té un valor de  $m_{horitzontal} = 0$  es simplifica:

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{m_{ona} - 0}{1 - m_{ona} \cdot 0} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{m_{ona}}{1} \right) = \tan^{-1}(m_{ona})$$

Quedant les següents pendents en funció de la zona escollida:

Zones	H	m	$\beta$ (radians)	$\beta$ ( graus)
Zona 4	1.813	-0.862	-0.7115	-40.76
2M	1.282	-0.610	-0.5474	-31.37
8M	1.765	-0.839	-0.6982	-40.01

66. Taula de l'angle d'acció sobre l'onada de les diferents zones d'estudi.

### 5.3.2. Velocitat de l'onada

La velocitat de l'onada, tot i no estar directament exposada a l'equació, és important, ja sigui perquè està implícita dins alguns paràmetres, o per saber la velocitat de sincronisme de l'embarcació, concepte bàsic de l'apartat.

Com ja s'ha dit anteriorment, l'onada es subdivideix en dos règims de velocitats: la celeritat, i la velocitat de grup. La celeritat és la velocitat de les onades que van al paquet de la segona onada o evolvent, que és la efectiva. Per tant, amb això és vol justificar que la velocitat que s'agafa és la del grup d'ones.

$$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$$

Zona	Velocitat (m/s)
Z4	7.77
2M	3.12
8M	4.64

67. Taula de velocitats de grup de les tres zones.

A l'Annex III hi ha la taula amb tots els resultats de les velocitats tant de la onada com de les partícules.

### 5.3.3. Empenta de l'onada

L'empenta és la força ascendent que fa l'onada a l'embarcació, per tal d'igualar el seu pes. A aquest cas, dinàmic, l'empenta es considera la força perpendicular a la superfície del mar.

A diferència de l'estat estàtic, posada la situació de navegació, l'empenta quedarà radicada per una part del Pes, i l'altre part anirà en contra de la Resistència a l'avançament.

Si que existeix una component horitzontal que ajuda a l'avançament de l'embarcació, que seria justificada per l'avançament de l'onada que tira l'embarcació a la seva direcció

Si el moviment comencés des de velocitat nul·la si que existiria una immersió de l'embarcació i apareixeria una component horitzontal més gran de l'Empenta, però com que la situació està

en equilibri, aquesta component horitzontal és la natural. En cas real, com que l'equilibri no és constant, les fluctuacions d'endarreriment de l'embarcació seria ajudades per una empenta horitzontal.

$$P \cos(\beta) = E$$

$\beta$ : angle entre la horitzontal (línea de mar) i la pendent descendent de l'onada.

Els resultats de l'empenta de cada zona amb el seu angle de pendent estan reflexats a la següent taula:

Zona	$\beta$	P (N)	E (N)
Zona 4	-40.76	81602.4249	61804.55
2M	-31.37	81602.4249	69675.83
8M	-40.01	81602.4249	62504.70

68. Empenta que rep l'embarcació a cada zona.

#### 5.3.4. Força de l'onada ascendent

Amb força d'onada ascendent es vol dir la força del propi moviment oscil·latori de l'onada

$$F = -kx$$

On:

K: constant elàstica natural del moviment oscil·latori

X: posició de l'objecte del punt d'equilibri

Aquesta força és la que té el moviment propi, però es considera implícita dins l'empenta, ja que sí que existeix una força oscil·latòria cap amunt, però com que la posició vertical és constant, doncs no afecta a l'esquema de forces, i el que fa és que a mida que avança continuï existint una empenta on si l'onada estigués quieta aquesta desapareixeria.

#### 5.3.5. Força de fricció

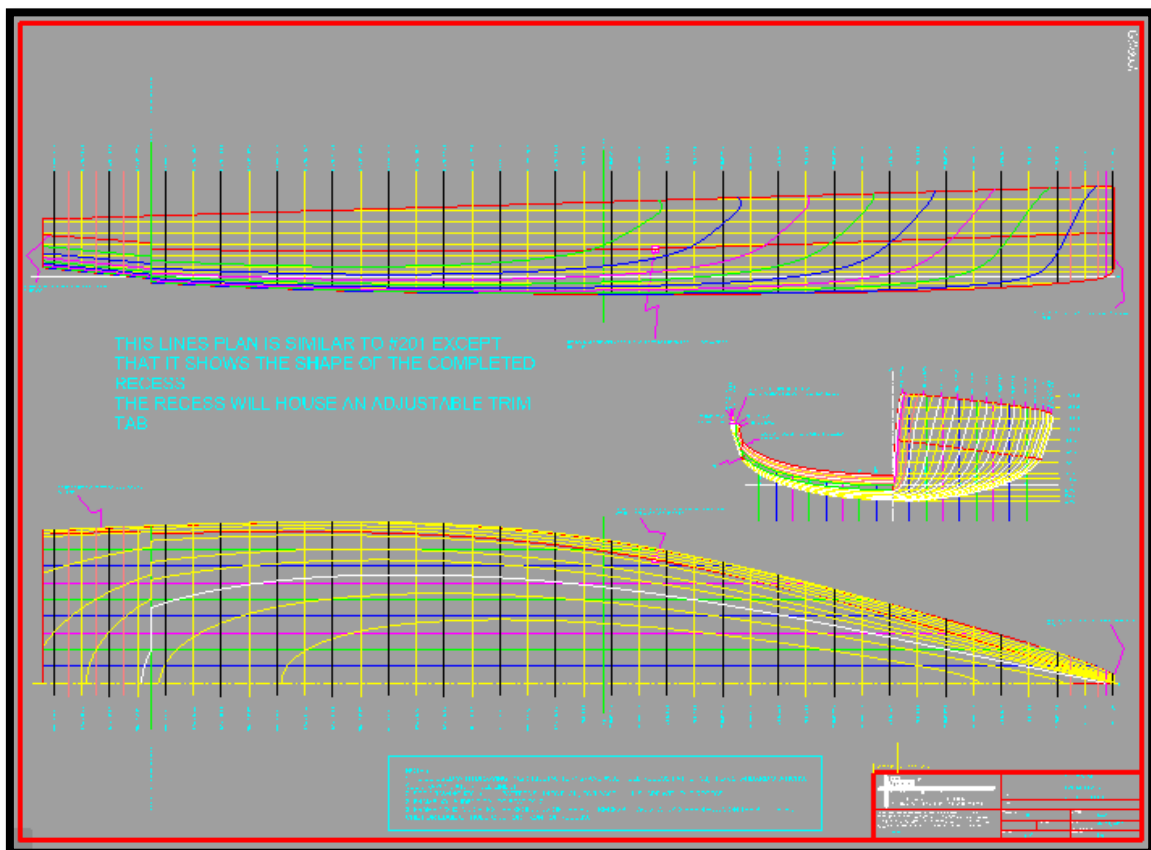
La força de fricció és aquella creada per la resistència a l'avanç d'un cos en un fluid. Posat que la velocitat relativa entre l'onada i l'embarcació és nul·la, no hi hauria d'haver resistència. Però com s'ha dit al principi, l'onada no és una transferència de massa sinó d'energia, per tant, si

que existeix moviment entre l'aigua i l'embarcació. Aquesta fricció es creada tangencialment a la forma de l'onada

Per fer el càlcul de la resistència a l'avançament s'ha de seguir els passos següents:

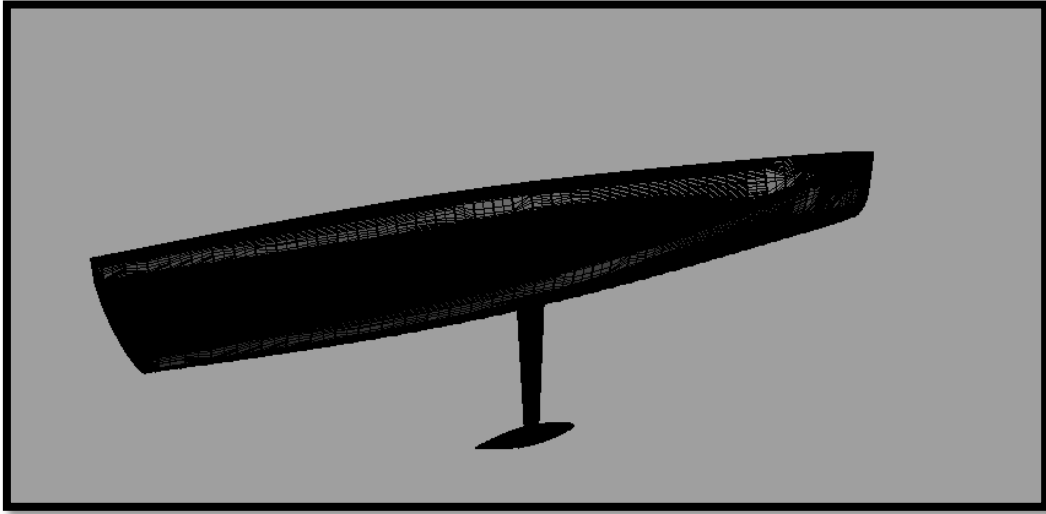
#### 5.3.5.1. Disseny del casc

Per fer el disseny del casc, es va aconseguir els plànols de formes oficials d'un Imoca 60 participant de la última BWR, amb caràcter no divulgatiu.



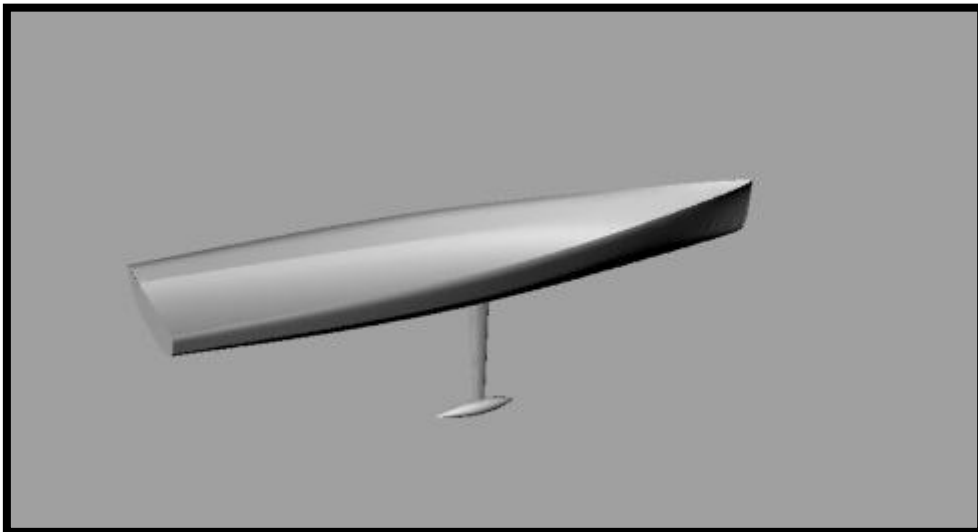
69. Plànol de formes d'un Imoca 60.

A partir d'aquests plànols s'ha fet el disseny en 3D amb el programa CAD Rhinoceros 4.0.



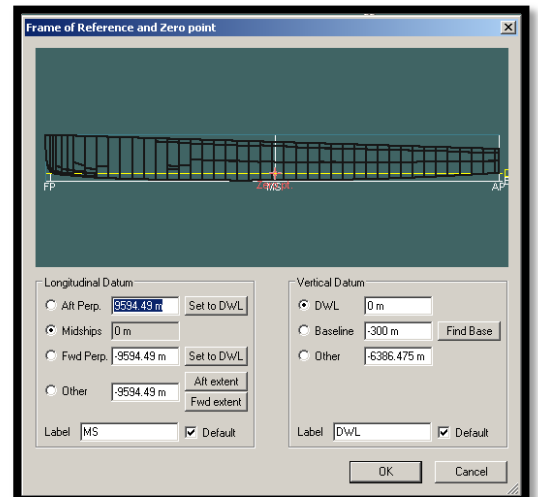
70. Disseny 3D del casc de l'embarcació Imoca 60

Quedant:



71. Renderitzat del disseny 3D del casc de l'embarcació Imoca 60.

Un cop es té el disseny, amb el programa de càlcul d'estructures marines, Maxsurf Professional, juntament amb els seus adherits Hullspeed i Hidromax, es va intentar trobar la resistència a l'avançament, de forma computacional, però el programa no va acceptar la imposició dels paràmetres i, a més a més, els valors trets diferien molt d'una possible realitat. Per aquest motiu es va optar per fer els càlculs a mà, d'una forma menys precisa, però segura i significativa.



72. Pantalla d'eixos de referència del Maxsurf Pro

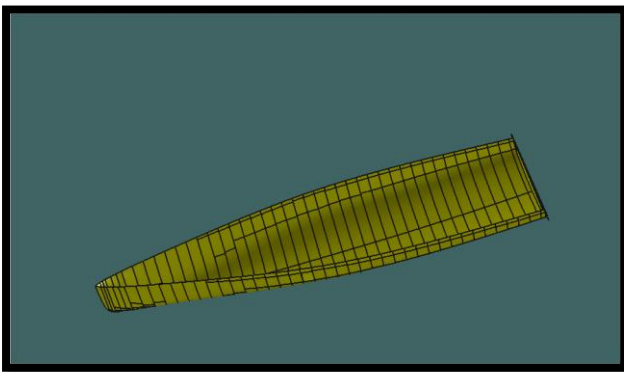
### 5.3.5.2. Càlcul de la resistència

Per calcular la força resistent a l'avançament s'ha de trobar la resistència a l'avançament. Aquesta resistència es pot trobar a partir de la suma de la resistència per fricció més la resistència residual.

$$R_t = R_f + R_r$$

On la resistència per fricció es pot trobar a partir de la corba de la ITTC<sup>13</sup>:

$$R_f = \frac{1}{2} C_f S \rho V^2$$



71. Disseny del casc de l'Imoca 60 al programa Maxsurf Pro.

On:

$C_f$ : Coeficient de resistència de fricció

$S$ : Superfície mullada del casc

$\rho$ : Densitat de l'aigua

$V$ : Velocitat de l'embarcació

Com es pot observar, la resistència és directament proporcional al quadrat de la velocitat, ja que aquesta és la definició general de resistència de fricció en un fluid.

El coeficient de resistència de fricció ve definit per la següent relació:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

I l'aproximació del número de Reynolds ( $R_n$ ) del casc i l'aigua és:

$$R_n = \frac{V \cdot 0.7 \cdot Lwl}{\nu_{aigua}}$$

On:

$Lwl$ : Eslora de flotació

$V$ : Velocitat

$\nu$ : viscositat de l'aigua

<sup>13</sup> Es diu línia de fricció ITTC perquè va ser estandarditzada per la "International Towing Tank Conference" al 1957.



La resistència residual es troba a partir de la sèrie de Delft seguint la següent expressió:

$$\frac{Rrh}{\nabla_c \rho g} = a_0 + \left[ a_1 \frac{LCB_{fpp}}{Lwl} + a_2 C_p + a_3 \frac{\nabla_c^{2/3}}{A_w} + a_4 \frac{Bwl}{Lwl} \right] \frac{\nabla_c^{1/3}}{Lwl} + \left[ a_5 \frac{\nabla_c^{2/3}}{S_c} + a_6 \frac{LCB_{fpp}}{LCF_{fpp}} + a_7 \left( \frac{LCB_{fpp}}{Lwl} \right)^2 + a_8 C_p^2 \right] \frac{\nabla_c^{1/3}}{Lwl}$$

On:

Rrh: Resistència residual

$\nabla_c$ : Volum de la carena

$LCB_{fpp}$ : Distància entre la perpendicular de proa i el centre de carena

$\rho$ : densitat de l'aigua

Lwl: Eslora de flotació

$C_p$ : Coeficient prismàtic

$A_w$ : Area de flotació

Bwl: Manga de flotació

$S_c$ : Superfície de la carena

$LCF_{fpp}$ : Distància entre la perpendicular de proa i el centre de flotació

Els coeficients del polinomi, "a<sub>i</sub>", van en funció del número de Froude (Fn)

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

On:

V: Velocitat

g: Gravetat

L: Eslora

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Fn	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
A <sub>0</sub>	-0.0014	0.0004	0.0014	0.0027	0.0056	0.0032	-0.0064	-0.0171	-0.0201	0.0495	0.0808
A <sub>1</sub>	0.0403	-0.1808	-0.1071	0.0463	-0.8005	-0.1011	2.3095	3.4017	7.1576	1.5618	-5.3233
A <sub>2</sub>	0.0470	0.1793	0.0637	-0.1263	0.4891	-0.0813	-1.5152	-1.9862	-6.3304	-6.0661	-1.1513
A <sub>3</sub>	-0.0227	-0.0004	0.0090	0.0150	0.0269	-0.0382	0.0751	0.3242	0.5829	0.8641	0.9663
A <sub>4</sub>	-0.0119	0.0097	0.0153	0.0274	0.0519	0.0320	-0.0858	-0.1450	0.1630	1.1702	1.6084
A <sub>5</sub>	0.0061	0.0118	0.0011	-0.0299	-0.0313	-0.1481	-0.5349	-0.8043	-0.3966	1.7610	2.7459
A <sub>6</sub>	-0.0086	-0.0055	0.0012	0.0110	0.0292	0.0837	0.1715	0.2952	0.5023	0.9176	0.8491
A <sub>7</sub>	-0.0307	0.1721	0.1021	-0.0595	0.7314	0.0223	-2.4550	-3.5284	-7.1579	-2.1191	4.7129
A <sub>8</sub>	-0.0553	-0.1728	-0.0648	0.1220	-0.3619	0.1587	1.1865	1.3575	5.2534	5.4281	1.1089

72. Taula dels valors dels paràmetres de la serie de Delft.

Per poder aplicar la sèrie de Delft, abans hem de comprovar que alguns dels paràmetres del casc a analitzar, estiguin dins d'un rang establert. Els paràmetres són:

		Rang	
		Min	Màx
Eslora-Manga	$\frac{Lwl}{Bwl}$	2.73	5.00
Manga-Calat	$\frac{Bwl}{Tc}$	2.46	19.38
Centre de carena longitudinal	LCB	0.0%	-8.2%
Centre de flotació longitudinal	LCF	-1.8%	-9.5%
Coefficient prismàtic	$C_p$	0.52	0.60
Area de la quaderna central	$C_m$	0.65	0.78
Factor dimensional	$\frac{Aw}{V_c^{2/3}}$	3.78	12.67

73. Taula de condicions per entrar a la serie de Delft.

### 5.3.5.3. Paràmetres

Hi ha dos tipus de paràmetres: els que es poden extreure directament del pla de formes, i els que necessiten un càlcul.

Els primers, els que es poden extreure directament (del disseny CAD o de les especificacions de navegació) són:

**L: Eslora = 18.688 m**

**B: Manga = 3.774 m**

**T: Calat = 0.3 m**

**Aw: Àrea de flotació = 49.196 m<sup>2</sup>**

**V: velocitat = 20 nusos = 10.28m/s**

Els que necessiten un càlcul són:

**Cb: Coeficient de bloc**

**Cm: Coeficient de la quaderna mestra**

**Cp: Coeficient prismàtic**

**Vc: Volum de l'obra viva**

**Mc: Massa de l'obra viva**

**LCB: Centre longitudinal de la carena**

**BMt: distancia entre centre de carena i punt metacèntric transversal**

**SWA: Superfície mullada**

Després també tenim els que necessiten altres paràmetres :

**Rn: número de Reynolds**

**Fn: número de Froud**

Els càlculs realitzats per trobar els paràmetres són:

Coeficient de boc / Coeficient prismàtic / Coeficient de la quaderna mestra / massa / Volum de la carena

El **Coeficient de bloc (Cb)** és aquell que relaciona el volum de la carena amb un quadrilàter de costats eslora, manga i calat:

$$C_b = \frac{\nabla}{LBT}$$

El **Coeficient prismàtic (Cp)** és aquell que relaciona El volum de la carena, amb un "semi cilindre" irregular de forma la quaderna mestra, i altura la eslora, o també el coeficient de bloc i el coeficient de la quaderna mestra:

$$C_p = \frac{\nabla}{LA_m} = \frac{\nabla}{LBT C_m} = \frac{C_b}{C_m}$$

On:

Am: Àrea de la quaderna mestra

Aquest coeficient indica la distribució del volum al llarg de la eslora. Si el Cp és gran, vol dir que el volum està repartit pels extrems. Si el Cp és petit, vol dir que el volum es concentra al centre, i que els extrems estan afinats.

El Cp té bastanta influència a la resistència per formació de onades

El **Coeficient de la quaderna mestra (Cm)** relaciona l'àrea de la quaderna mestra amb un rectangle de costats el calat i la manga.

$$C_m = \frac{A_m}{BT}$$

Els valors de L, B, T i Am són coneguts, però el volum no, caldrà trobar-lo, i es fa a partir de la regla de Simpson.

La regla de Simpson és una manera de càlcul d'àrees irregular son no es coneix la funció per integrar-la. Es tracta d'un sumatori de les ordenades (en un eix de coordenades cartesianes) que divideixen l'àrea a calcular en parts iguals, multiplicades per l'espai entre aquestes . És semblant a la regla del trapezi però ho aproxima més a una paràbola que integra de manera més exacta.

Quan hi ha un nombre d'ordenades Imparell, queda de la següent manera:

$$A = \frac{1}{3}h(y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + 4y_6 + 2y_7 + \dots + y_n)$$

Quan es tracta d'un nombre d'ordenades parell:

$$A = \frac{3}{8}h(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + 2y_4 + 3y_5 + 3y_6 + 2y_7 + \dots + y_n)$$

A la següent taula es poden trobar les dades preses i els resultats obtinguts:

DADA	VALOR
distància entre quadernes	h 913
àrea quadernes obra viva	0 0
	0,5 11603
	1 41933
	1,5 82098
	2 127022
	2,5 174014
	3 220642
	3,5 264518
	4 301743
	4,5 333088
	5 357620
	5,5 374864
	6 38073
	6,5 375714
	7 357807
	7,5 325463
	8 278328
	8,5 217947
	9 148665
	9,5 77750
	10 19273
	10,5 0

Volum		Pes	
semicasc	casc		
4057703876	8115407751	mm <sup>3</sup>	
4,05770388	8,11540775	m <sup>3</sup>	8318,29294 kg

Cb	0,3835521
Cp	0,58055841
Cm	0,66066066

Eslora	18,688	m
Manga	3,774	m
Calat	0,3	m
A mestre	0,748	m <sup>2</sup>

#### 74. Taula del càlcul de volum, pes i coeficients de l'Imoca 60.

Els valors típics d'una embarcació d'aquestes característiques, (competició) ronden al voltant de  $C_b \cong 0.374$ , el  $C_m \cong 0.680$  i  $C_p \cong 0.550$  i els valors obtinguts són molt similars, per tant, es pot assegurar que el càlcul és raonable.

#### Longitudinal Centre of Bouyance (LCB)

La distància longitudinal del centre de la carena es calcula de la següent manera:

$$LCB = \frac{M_x}{\nabla} = \frac{1}{\nabla} \int_0^L x A_s dx = \frac{1}{\nabla} \sum (x A_s) h$$

Quedant des de la perpendicular de proa a 9.436m cap a popa:

Semiarea	area	distància	eslora (cte)	Moment area	Moment volum
0	0	0	913	0	0
11603	23206	913	913	21187078	19343802214
41933	83866	1826	913	153139316	1,39816E+11
82098	164196	2739	913	449732844	4,10606E+11
127022	254044	3652	913	927768688	8,47053E+11
174014	348028	4565	913	1588747820	1,45053E+12
220642	441284	5478	913	2417353752	2,20704E+12
264518	529036	6391	913	3381069076	3,08692E+12
301743	603486	7304	913	4407861744	4,02438E+12
333088	666176	8217	913	5473968192	4,99773E+12
357620	715240	9130	913	6530141200	5,96202E+12
374864	749728	10043	913	7529518304	6,87445E+12
38073	76146	10956	913	834255576	7,61675E+11
375714	751428	11869	913	8918698932	8,14277E+12
357807	715614	12782	913	9146978148	8,35119E+12
325463	650926	13695	913	8914431570	8,13888E+12
278328	556656	14608	913	8131630848	7,42418E+12
217947	435894	15521	913	6765510774	6,17691E+12
148665	297330	16434	913	4886321220	4,46121E+12
77750	155500	17347	913	2697458500	2,46278E+12
19273	38546	18260	913	703849960	6,42615E+11
0	0	19173	913	0	0

m^4	76,5820963	Sumatori (Mx)	7,65821E+13	mm^4
m^3	8,11540775	Volum	8115407751	mm^3
m	9,43662951	LCB	9436,629513	mm

#### 75. Taula del càlcul del LCB.

S'han extret del disseny CAD les semiàrees<sup>14</sup> de les quadernes, obtenint aleshores les àrees. Després s'ha calculat el moment de cada quaderna a la perpendicular de proa. Finalment s'ha aproximat el moment de volums, expandint l'àrea mitja semieslora i mitja semieslora<sup>15</sup>. Un cop obtingut el moment de volums només s'havia de dividir pel volum total.

I des de la quaderna mestra:

$$LCB = \frac{9.344 - (9.436)}{18.688/100} = -0.5\%$$

(El negatiu és cap a popa)

<sup>14</sup> Es considera semiàrea a la meitat de l'àrea de la quaderna, corresponent a un dels dos cantons de la simetria.

<sup>15</sup> Es considera semieslora a la distància entre quaderna i quaderna.

Que entra dins els paràmetres de Delft.

Longitudinal Centre of Flotation (LCF)

El la distància longitudinal del centre de flotació es calcula:

$$LCF = \frac{1}{A_w} \int_0^L x dA = \frac{1}{A_w} \int_0^L xy dx = \frac{1}{A_w} \sum_{i=0}^N xyh$$

Quedant des de proa a 11,003m cap a popa :

Semimanga	Manga	Eslora (cte)	distancia	dA	Moment Area
0	0	913	0	0	0
165	330	913	913	301290	275077770
358	716	913	1826	653708	1193670808
554	1108	913	2739	1011604	2770783356
750	1500	913	3652	1369500	5001414000
944	1888	913	4565	1723744	7868891360
1130	2260	913	5478	2063380	11303195640
1305	2610	913	6391	2382930	15229305630
1464	2928	913	7304	2673264	19525520256
1606	3212	913	8217	2932556	24096812652
1726	3452	913	9130	3151676	28774801880
1823	3646	913	10043	3328798	33431118314
1894	3788	913	10956	3458444	37890712464
1938	3876	913	11869	3538788	42001874772
1952	3904	913	12782	3564352	45559547264
1933	3866	913	13695	3529658	48338666310
1875	3750	913	14608	3423750	50014140000
1770	3540	913	15521	3232020	50164182420
1599	3198	913	16434	2919774	47983565916
1321	2642	913	17347	2412146	41843496662
842	1684	913	18260	1537492	28074603920
0	0	913	19173	0	0

Sumatori (dMx)	5,41341E+11	mm^3
Area Flotació	49195790	mm^2
Semiarea	24597895	mm^2
LCF	11003,81519	mm
LCF	11,00381519	m

76. Taula del càlcul del LCF.

S'han extret les semimangues<sup>16</sup> de totes les quadernes, obtenint aleshores les mangues. Un cop tabulitzades les mangues, s'han multiplicat per una semieslora, ja que és la més fiable aproximació a obtenir una semiàrea<sup>17</sup> de flotació. Un cop obtingudes les semiàrees, s'han multiplicat per la distància a la perpendicular de proa, obtenint el moment d'àrea. Amb el moment d'àrea, només s'havia de dividir per l'àrea de flotació, obtenint el LCF.

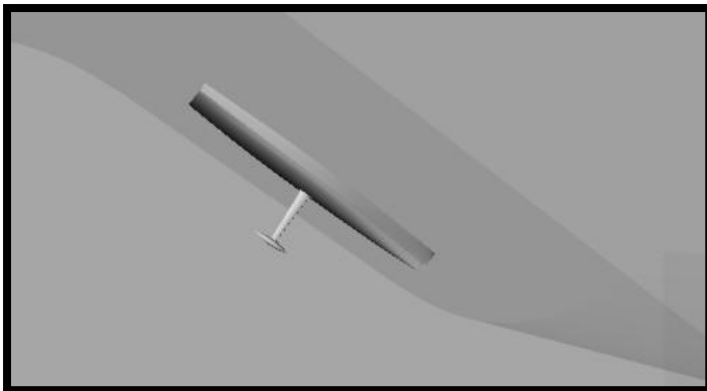
I des de la quaderna mestra :

$$LCF = \frac{9.344 - (11.003)}{\frac{18.688}{100}} = -8.877\%$$

(negatiu és cap a popa)

Entra dins dels paràmetres de Delft.

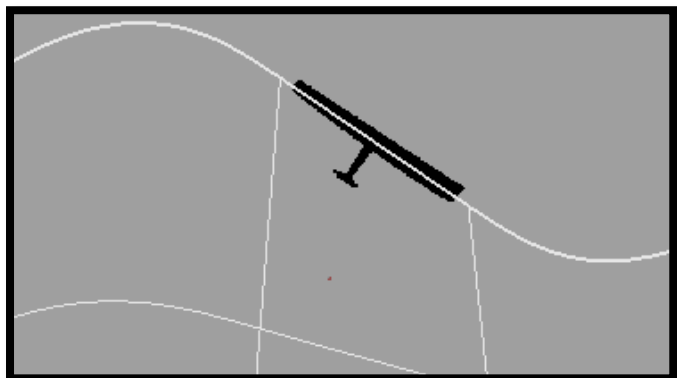
#### Superfície mullada o superfície de la carena (SWA)



77.Figura del disseny CAD posicionat sobre una onada.

La superfície mullada s'ha extret directament del disseny 3D CAD del casc

SWA=50.20m<sup>2</sup>



78.Figura del disseny CAD posicionat sobre una onada II

<sup>16</sup> La manga de la meitat simètrica del casc

<sup>17</sup> Petites àrees de flotació amb centre la manga de la quaderna



5.3.5.4. Resultats

Un cop aconseguits els paràmetres necessaris per comprovar si s'entra a la sèrie sistemàtica de Delft o més coneguda com a "Delft Systematic Yacht Hull Series" (DSYHS) i per fer els càlculs, ja es pot trobar la resistència obtenint els següents resultats:

Paràmetres serie Delft		VALORS		RELACIONS				
Lwl/Bwl	[2.76 - 5.00]	Lwl(m)	18,688	L/B=	4,9517753			
Bwl/T	[2.46 - 19.32]	B(m)	3,774	B/T=	12,58			
LCB	0-(-8,2)	T (m)	0,3	Aw/V^2/3	12,1821284			
LCF	-1,8 to -9,5	Aw (m^2)	49,196					
Cm	0,65-0,78	Cb	0,3835					
Aw/V^2/3	3,78 to 12,67	SWA (m^2)	50,2	V(Fn=0,35)	19,9898037			
Cp	[0.52 - 0.6]	V (m/s)	10,28					
		V (kn)	20					
		Cp	0,5806					
		LCB (m)	9,436	-0,5	pr (+)			
		Volum (m^3)	8,1154					
		Fn ( crucero)	0,325					
		Fn ( punta)	1,47711422					
		Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06					
		BMt ( m )	5,36185					
		mc (kg)	8318,29					
		Cm	0,6607					
		LCF (m)	11,00381	-8,88	pp (-)			
		Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft		Resistència de Fricció				
a0	89,20382	(Rr/g*mc) * 10^3=		29,2625174	Cf=	0,000567345	Rf (N)=	5832,59959
a1	-393,0127	Rr (N)=		243,414106	Rn=	3,14479E+11		
a2	0,617466	Rt (N)=		6105,22339				
a3	0,460472							
a4	11,54327							
a5	331,1197							
a6	8,598136							
a7	0,104073							
a8	-2,815203							
a9	0,15596							

79. Càlcul de la resistència total d'avançament de l'embarcació.

El resultat final de resistència total a la velocitat de 20 nusos té el valor de:

$$R_{Total} = 6105.223339N$$

Cal recordar que el resultat s'ha trobat amb la velocitat de 20 nusos. Per cada zona existeix una velocitat diferent, és a dir, una resistència diferent, aleshores quedarà de la següent forma:

Zona	Velocitat (m/s)	Resistència (N)
Zona 4	7.77	3676.32
2M	3.12	861.76
8M	4.64	1443.16

80.Taula del resultat de les resistències totals a l'avançament, a les 3 zones d'estudi.

A l'Annex VI es poden trobar les taules del càlcul de resistència per les diferents velocitats.

### 5.3.6. Força creada per les partícules en moviment circular

La força creada per les partícules en moviment circular és aquella creada per la velocitat de les partícules dins l'onada, en contacte amb el casc de l'embarcació.

S'ha de tenir en compte també el punt on es troba l'embarcació, ja que pot ser que es trobi al node dels dos moviments circulars (del descendent després de cresta de l'onada o a l'ascendent abans de vall). Cal saber també, que el valor de velocitat de partícules és petit, i pot ser que la seva contribució a l'equació afecti poc, però això no el fa insignificant.

El mètode per trobar el seu valor compleix el mateix que la resistència, ja que les variables són les mateixes, ja que és una resistència i és el mateix casc. L'únic valor que varia és la velocitat de les partícules i la velocitat relativa de la partícula i l'embarcació:

Zona	U (m/s)	W (m/s)
Zona 4	0.5486	-0.4729
2M	0.9890	-0.6028
8M	0.7716	-0.6475

81. Taula dels valors de les velocitats horitzontal i vertical de les partícules a cada zona.

Però interessa saber la velocitat tangencial. Per aquest motiu s'ha de fer la suma vectorial, quedant:

Zones	Velocitat total (m/s)	$\beta$ (graus)
Zona 4	0.7243	-40.76
2M	1.1583	-31.37
8M	1.0073	-40.01

82. Taula de la velocitat tangencial a la onada de les partícules.

Finalment, amb la velocitat tangencial, es pot calcular la resistència per cada zona:

Zona	Resistència (N)
Zona 4	308.38
2M	360.58
8M	339.91

83. Taula dels resultats de cada zona de la resistència suposada per les partícules en moviment.

A l'Annex VI hi ha la taula de càlcul de cada resistència

### 5.3.7. Força propulsora

La força propulsora és un dels objectius, per tant, a l'equació es quedarà com a incògnita.

### 5.3.8. Pes

El pes es pot treure de la massa que s'ha calculat anteriorment per la resistència a l'avançament amb un valor de 8318.29kg:

$$P = mg = 8318,29 \cdot 9.81 = 81602.4249N$$

### 5.3.9. Força vèlica i eòlica

La força vèlica és aquella que provoca el vent en contacte amb les veles de l'IMOCA 60, que la traslladen al casc, o directament amb el casc.

La força eòlica es considera a aquella força que fa el vent sobre el casc i que afecta a la navegació.

Per fer aquests càlculs és necessari saber l'angle d'incidència del vent sobre l'embarcació, ja que això canvia notablement l'àrea efectiva. (Es calcula a l'apartat 5.3.9.2.)

Per fer aquests càlculs separarem l'efecte del vent sobre dos Superfícies:

#### 5.3.9.1. Vent amb contacte amb les veles

Per calcular la força de contacte del vent amb les veles, es fa servir la següent fórmula:

$$P = \frac{Cd \cdot Ro \cdot V^2}{2}$$

On:

P: pressió del vent (N/m<sup>2</sup>)

Ro: densitat de l'aire: 1.223 kg/m<sup>3</sup> (1atm i 15°C)

V: velocitat del vent (m/s)

Cd : coeficient aerodinàmic de resistència a l'avançament

=0.05 superfícies aerodinàmiques

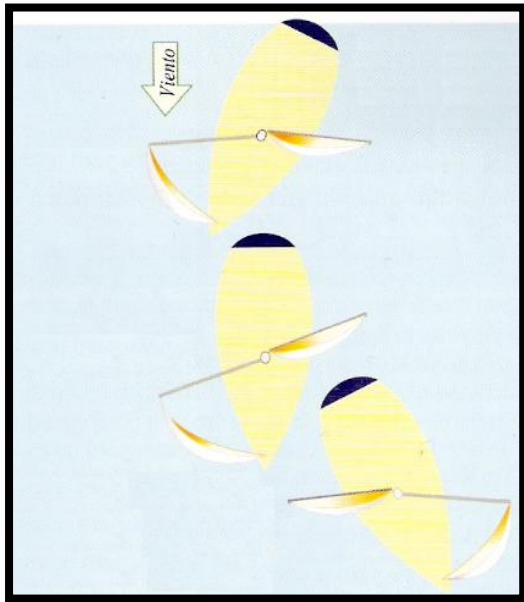
=0.5 esfera

=1.17 plaques planes

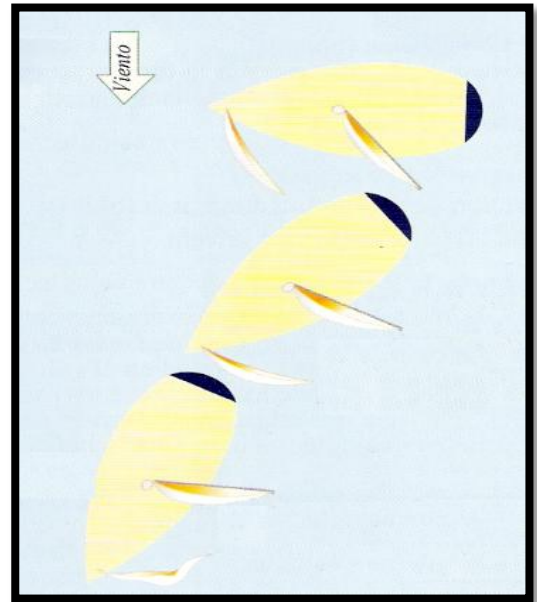
=1.50 superfícies corbes no aerodinàmiques

Posat que la vela té una superfície poc aerodinàmica per poder aprofitar més la força que dóna el vent, s'usa el  $C_d=1.50$

A la primera il·lustració es mostra com estan col·locades les veles amb aquest tipus de navegació de la Zona 4 i de la 2M, a la segona il·lustració es mostra la posició del velam de la zona 8M.

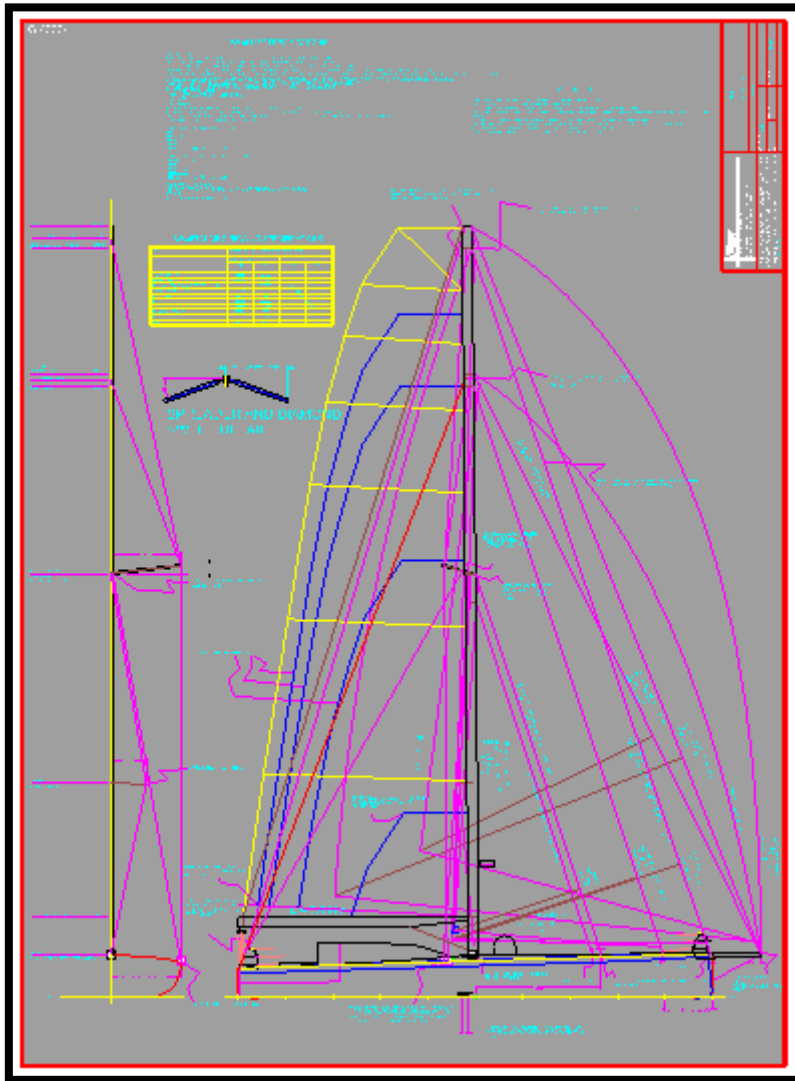


86. Figura de la posició de les veles en navegació amb vent de popa o d'amura.



87. Figura amb la posició de les veles en navegació de vent a través o per llarg.

Per poder aplicar la formula anterior, s'ha de trobar, entre d'altres, l'àrea vèlica de l'Imoca 60:



84. Plànol de la disposició i mida del velam de l'embarcació.

Vela	Velocitat (m/s)			Area (m <sup>2</sup> )	Pressió (N)			Ro (kg/m <sup>3</sup> )	Cd
	Z4	2M	8M		Z4	2M	8M		
<b>Major</b>	3.52	4.3054	3.93	168	1909,34	2856,43	1904,02	1.223	1.50
<b>Genoa</b>	3.52	4.3054	3.93	130	1473,84	2209,63	1469,74	1.223	1.50
<b>Gennaker</b>	3.52	4.3054	3.93	240	2720,93	4079,31	2713,36	1.223	1.50
<b>Spinnaker</b>	3.52	4.3054	3.93	380	4308,14	6458,91	4296,15	1.223	1.50
<b>Staysail</b>	3.52	4.3054	3.93	37	419,48	628,89	418,31	1.223	1.50
<b>Stolent</b>	3.52	4.3054	3.93	80.30	912,62	1368,23	910,08	1.223	1.50

85. Taula dels valors i del càlcul de la pressió exercida sobre les velas de l'embarcació.

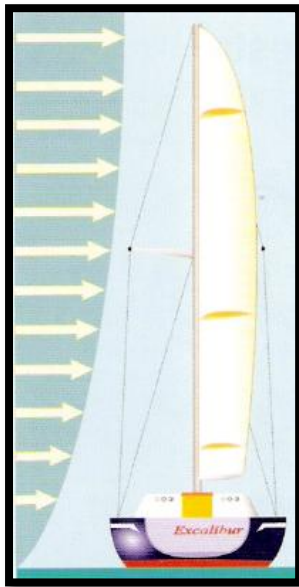
Al navegar entre través i d'un llarg, al càlcul de la Zona 4 se li posarà un factor de correcció del 0.8, per assegurar un resultat més just.

S'ha de saber que la navegació usual, és la vela major amb una altra a proa, normalment genoa, i amb bons vents apopats, gennaker i spinnaker. Per tant, per donar una idea, els càlculs es faran amb la gennaker, ja que és una intermèdia amb les tres veles nombrades, per aquests vents.

$$\text{Zona 4} = \text{major} + \text{gennaker} = 1909.34 + 2720.93 = 4630.27\text{N}$$

$$2\text{M} = \text{major} + \text{gennaker} = 2856.43 + 4079.31 = 6335.74\text{N}$$

$$8\text{M} = \text{major} + \text{gennaker} = 1904.02 + 2713.36 = 4617.38\text{N}$$



També pot haver-hi variació posat que entre la cresta i la vall de l'onada, el vent pot perdre intensitat, o variar el gradient de velocitats normal de mar en calma, etc.

Aquesta força es considera tangencial a la onada.

86. Figura il·lustrativa del gradient de velocitats del vent a la superfície marina, amb el mar en calma.

### 5.3.9.2. Vent amb contacte amb el casc

Per fer aquest càlcul es recórrer a una fórmula de la resistència anterior, però per plaques planes

$$P = \frac{CdRoV^2A}{2}$$

Per calcular la velocitat d'avançament s'ha de diferenciar vectorialment la velocitat del vent i la velocitat de l'embarcació per tal de saber el vent aparent i l'Àrea de projecció:

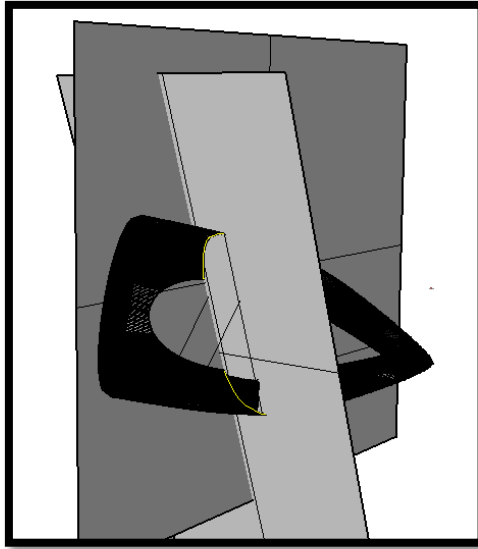
-Zona Z4:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{Imoca} - \vec{v}_{vent} &= \left| \overrightarrow{(v_{Im})} \right| (\cos\theta, \sin\theta) - \left| \overrightarrow{(v_v)} \right| (\cos\Phi, \sin\Phi) \\ &= 7.77(\cos 183, \sin 183) - 4.68(\cos 199, \sin 199) = \end{aligned}$$

$$= (-7.7593; -0.4066) - (-4.4250; -1.5326) = (-3.3343; 1.126)$$

S'ha de tenir en compte que el vent aparent és de signe contrari. Extraient el mòdul i graus queda:

$$v = 3.52 \frac{m}{s} \text{ i } \alpha = 161.34^\circ$$



87. Imatge de la secció eficaç del vent projectada a un pla.

S'ha projectat l'obra morta del disseny de l'Imoca 60 a un pla amb l'angle de la diferencia entre posició i velocitat aparent, i s'ha pogut trobar l'àrea efectiva:

$$A = 8.28 \text{ m}^2$$

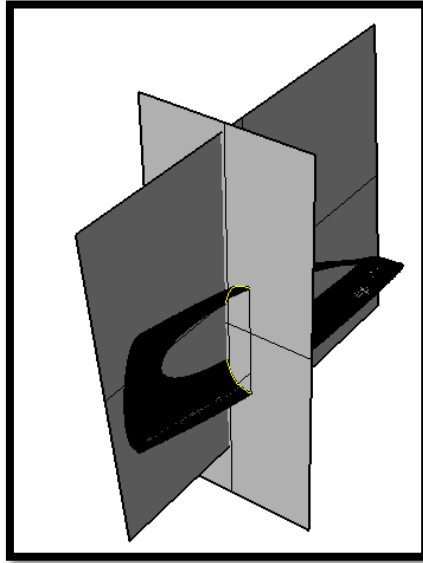
-Zona 2M:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{Imoca} - \vec{v}_{vent} &= |\vec{v}_{Im}|(\cos\theta, \sin\theta) - |\vec{v}_v|(\cos\Phi, \sin\Phi) \\ &= 3.117(\cos 235.02, \sin 235.02) - 7.4(\cos 240.26, \sin 240.26) = \\ &= (-1.7869; -2.5539) - (3.6709; -6.4253) = (1.8839; 3.8714) \end{aligned}$$

S'ha de tenir en compte que el vent aparent és de signe contrari. Extraient mòdul i graus queda :

$$v = 4.3054 \text{ m/s} \text{ i } \alpha = 244.05^\circ$$

S'ha projectat l'obra morta de l'embarcació a un pla amb l'angle de la diferencia entre posició i velocitat aparent, i s'ha pogut trobar l'àrea efectiva:



88. Imatge de la secció eficaç projectada sobre un pla.

$$A = 7.15 \text{ m}^2$$

-Zona 8M :

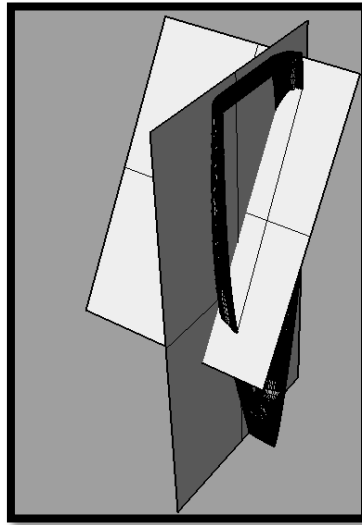
$$\begin{aligned} \vec{v}_{Imoca} - \vec{v}_{vent} &= |\vec{v}_{Im}|(\cos\theta, \sin\theta) - |\vec{v}_v|(\cos\Phi, \sin\Phi) \\ &= 4.64(\cos 5.24; \sin 5.24) - 6.61(\cos 41.0; \sin 41.0) = \\ &= (4.6206; 0.4237) - (4.9886; 4.3365) = (-0.3680; -3.912) \end{aligned}$$

S'ha de tenir en compte que el vent aparent és de signe contrari. Extraient mòdul i graus queda :

$$v = 3.93 \frac{m}{s} \quad \alpha = 80.63^\circ$$

S'ha projectat l'obra morta del disseny CAD del casc de l'embarcació a fi de trobar l'àrea efectiva de contacte.





89. Secció eficaç del casc projectada sobre un pla.

$$A = 19.61m^2$$

Finalment s'obtenen els resultats:

Zona	Resistència (N)
Zona 4	73.40
2M	94.82
8M	216.69

90. Taula de les resistències per la força del vent contra el casc de les 3 zones d'estudi.

## 5.4. Resolució de l'equació

### 5.4.1. Equació horitzontal

L'equació horitzontal queda:

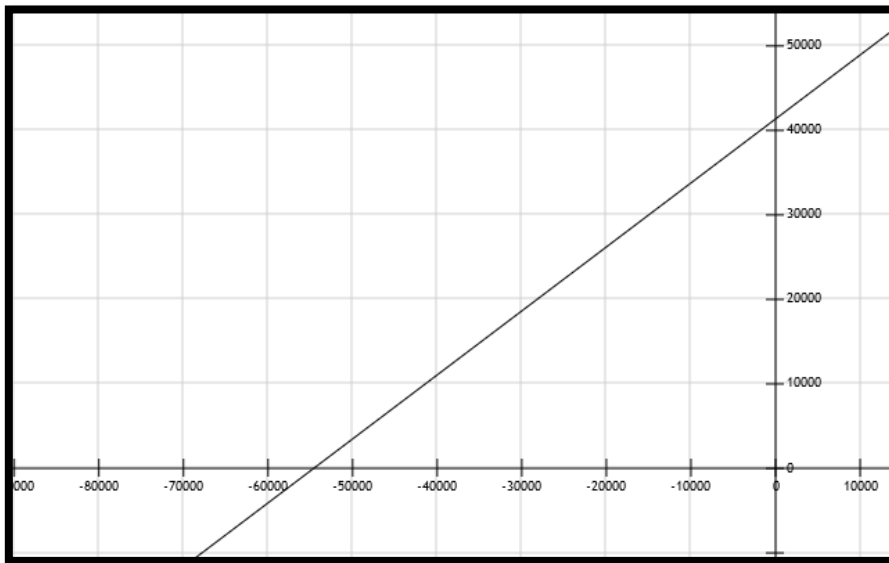
$$\sum F_x = E_x + F_{p,x} + F_{ona\ part,x} + F_{velica,x} + F_{vent,x} - F_{f,x}$$

$$\sum F_x = E \cos(90 - \beta) + F_p \cos \beta + F_{ona,part} \cos \beta + F_{velica} \cos \beta + F_{vent} \cos \beta - F_f \cos \beta$$

#### Zona 4

$$\sum F_x = 61804.55 \cos(90 - 40.76) + F_p \cos(40.76) + 308.38 \cos(40.76) + 4630.27 \cos(40.76) + 73.40 \cos(40.76) - 3676.32 \cos(40.76)$$

$$\sum F_x = 41363.47 + 0.7574F_p$$

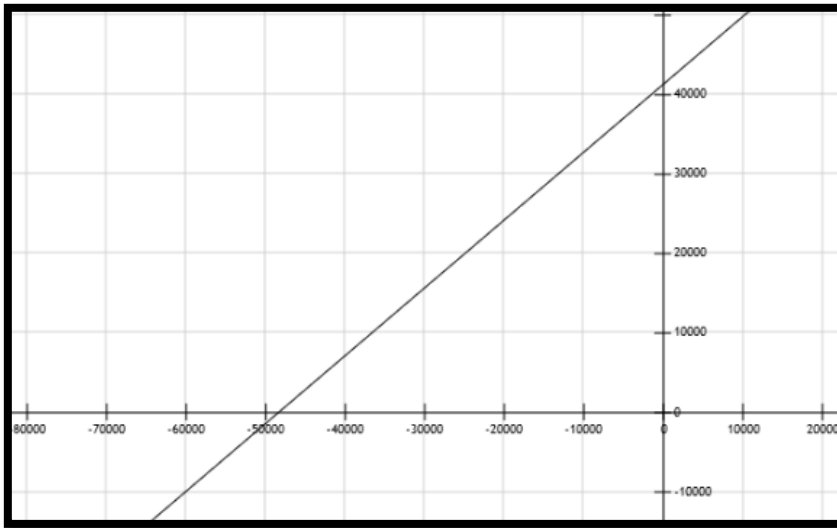


91. Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 4

2M

$$\sum F_x = 69675.8357 \cos(90 - 31.37) + F_p \cos(31.37) + 360.58 \cos(31.37) \\ + 6335.74 \cos(31.37) + 94.82 \cos(31.37) - 861.76 \cos(31.37)$$

$$\sum F_x = 41333.3339 + 0.8538F_p$$

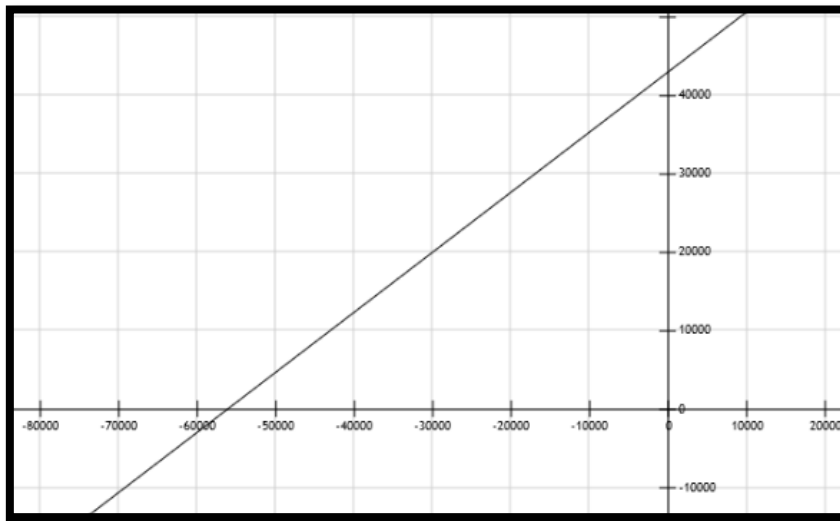


92.Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 2M

8M

$$\sum F_x = 62504.6987 \cos(90 - 40.01) + F_p \cos(40.01) + 339.91 \cos(40.01) \\ + 4617.38 \cos(40.01) + 216.69 \cos(40.01) - 1443.16 \cos(40.01)$$

$$\sum F_x = 43043.1942 + 0.7659F_p$$



93.Gràfica de la força horitzontal vertical en funció de la força propulsora de la zona 8M

#### 5.4.2. Equació vertical

L'equació vertical queda:

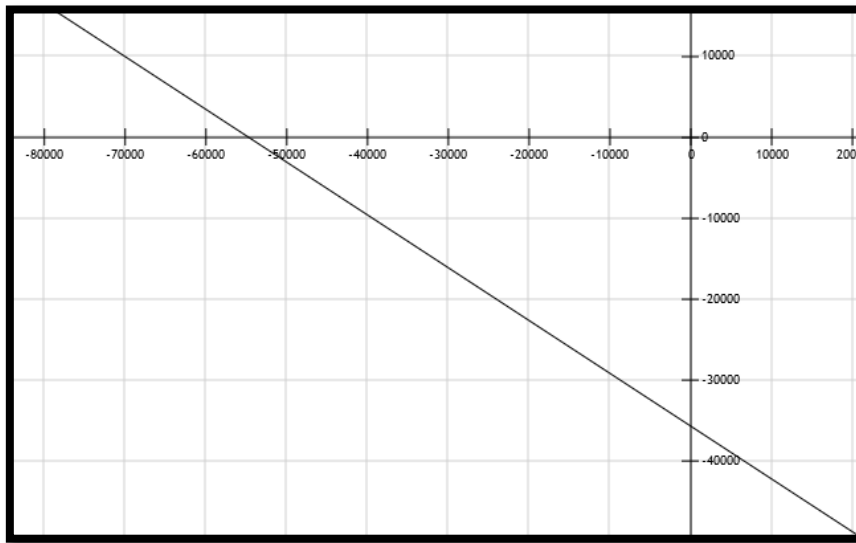
$$\sum F_y = F_{ona,y} + F_{f,y} + E_y - F_{ona\ part,y} - F_{p,y} - P - F_{velica,y} - F_{vent,y}$$

$$\sum F_y = F_{ona,k} + F_f \sin \beta + E \sin(90 - \beta) - F_{ona\ part} \sin \beta - F_p \sin \beta - P - F_{velica} \sin \beta - F_{vent} \sin \beta$$

#### Zona 4

$$\sum F_y = 0 + 3676.32 \sin(40.76) + 61804.5495 \sin(90 - 40.76) - 308.38 \sin(40.76) - F_p \sin(40.76) - 81602.4249 - 4690.27 \sin(40.76) - 73.40 \sin(40.76)$$

$$\sum F_y = -35699.7939 - 0.6529F_p$$

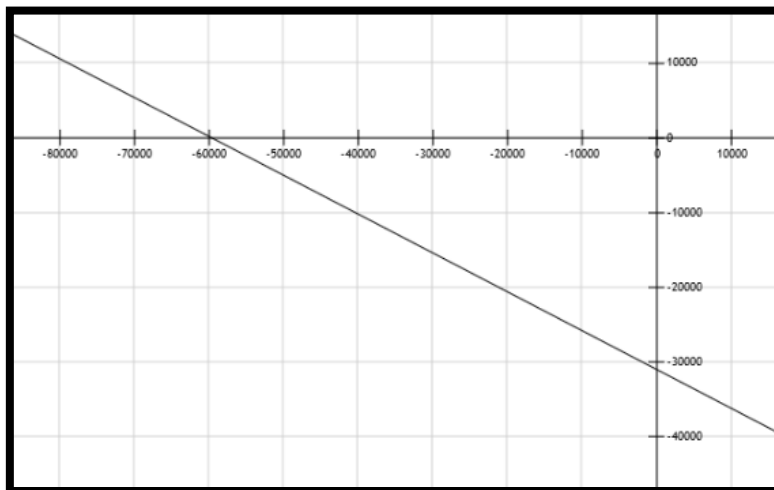


94.Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 4

2M

$$\sum F_y = 0 + 861.76 \sin(34.37) + 69675.8357 \sin(90 - 31.37) - 360.58 \sin(31.37) - F_p \sin(31.37) - 81602.4249 - 6335.74 \sin(31.37) - 94.82 \sin(31.37)$$

$$\sum F_y = -31023.9952 - 0.5206F_p$$

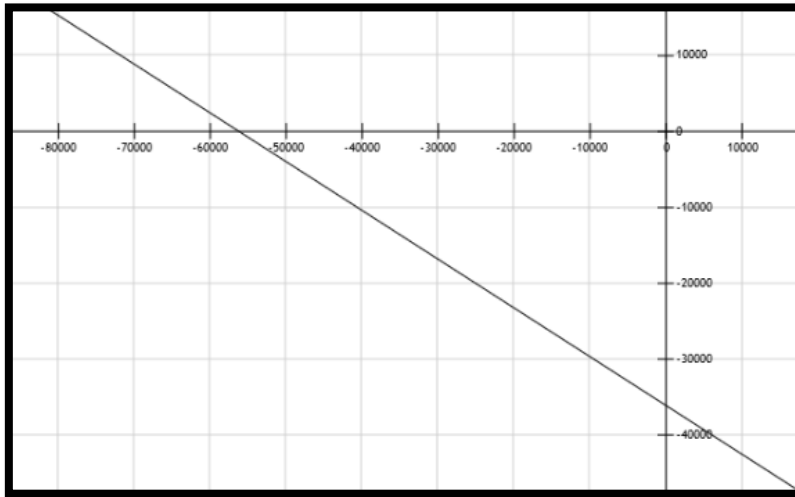


95.Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 2M

8M

$$\sum F_y = 0 + 1443.16 \sin(40.01) + 62504.6987 \sin(90 - 40.01) - 339.91 \sin(40.01) - F_p \sin(40.01) - 81602.4249 - 4617.38 \sin(40.01) - 216.69 \sin(40.01)$$

$$\sum F_y = -36126.7123 - 0.6429F_p$$



96. Gràfica de la força vertical en funció de la força propulsora de la zona 8M

Com es pot observar els valors de les forces resultants estan en funció de la força propulsiva, formant una relació lineal.

## 6. Conclusions

---

L'estudi del potencial de les onades per la generació d'energia aprofitable és una qüestió recent, que tot just està en creixement. Per aquest motiu, és interessant endinsar-s'hi, per poder conèixer les possibilitats que pot oferir.

En primer lloc, s'ha analitzat el comportament de l'onatge, les seves característiques i com es calcula el potencial energètic. D'aquest apartat s'ha pogut classificar cada teoria i descripció a les zones on s'aplica i les dades necessàries per la seva interpretació. També a aquest apartat, s'han estudiat les diferents formes de l'onatge i, com canvia en funció dels diferents factors oceanogràfics i meteorològics.

En segon lloc, s'ha realitzat un estudi estadístic d'una part de la BWR, caracteritzant l'onatge i el vent de diferents zones i extraient les dades necessàries per poder aplicar les teories energètiques. Un cop obtinguda la informació s'ha calculat el potencial amb les diferents teories per poder fer una comparativa de resultats. D'aquesta manera s'ha obtingut un atlas energètic que reflexa les variacions d'energia entre zones. També s'ha pogut il·lustrar les condicions de navegació per poder marcar les millors zones per aplicar els sistemes d'extracció i/o aprofitament energètic.

Seguidament, coneixent l'energia i la descripció de cada zona s'ha fet un model de moviment relatiu de l'embarcació que competeix a la BWR, sobre l'eix vertical, de cara a descobrir quanta energia hi havia al desfasament cinètic entre l'acció de l'onada i la reacció de l'embarcació.

A continuació s'han calculat tots els agents que interactuen a la navegació, en condicions de sincronisme entre l'embarcació i l'onada, de cara a mirar si a la posició entre la cresta i la vall es pot aprofitar la força de l'onada pel moviment de l'embarcació. Resultant d'aquesta avaluació la força que se'n pot extreure per ajudar a l'avançament, en funció de la força propulsiva que se li doni. Com a conclusió d'aquest apartat, la força neta sense propulsió indica que l'embarcació rep una força en direcció cap a la seva proa, de valors molt atractius, significant que en posició de sincronisme, amb tots els agents que hi interactuen, l'embarcació pot aprofitar la força de l'onada pel seu avançament.

Amb això queda demostrat que, amb les condicions d'onatge i meteorològiques de la part analitzada de la BWR, és possible aprofitar la energia de les onades per propulsar un Imoca 60 en condicions de sincronisme, responent així, al títol d'aquest projecte.

D'altra banda cal ressaltar que, a aquest projecte, no s'inclouen els resultats pràctics, ja que és un estudi teòric d'una hipòtesi.

Finalment, és important destacar que, més enllà de presentar les condicions de dos metodologies d'aprofitament energètic, aquest projecte explica el funcionament de l'onatge i, sobretot, caracteritza unes zones o més ben dit, construeix un atlas energètic i característic d'una part del recorregut de la BWR que, juntament amb el disseny en 3D d'un IMOCA 60,

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

---

5 de setembre del 2012

ajudarà a futurs estudis sobre la temàtica i ajuda a estudis pràctics dins del mateix grup de treball.



## 7. Bibliografia

---

- ABAD, A., SERVIN, L.A. *Introducción al muestreo*. Ed. Limusa.
- BAQUERO AZOFRA, A., LOSADA RODRIGUEZ, M.A., LOPEZ RODRIGUEZ M. *Fundamentos del movimiento oscilatorio*. Universidad de Granada Ediciones.
- BOCQUET, J. A. *Manual de mecánica aplicada*. Ed. G. Gili.
- BONIFACIO FERNANDEZ, L. *Introducción a la mecánica de fluidos*. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C.V.
- BRUN, E. A., MARTINOT-LAGARDE, A., MATHIEN, S. *Mecánica de fluidos /2*. Labor, S.A.
- CAVIA DEL OLMO, B. *Explotación del potencial de energía del oleaje en función del rango de trabajo de prototipos captadores*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, juny 2009.
- CORDOBA, D. *Las ecuaciones de Navier-Stokes*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Ciencias Matemáticas.
- DA COSTA GONZALEZ, D. *Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puertos*. Porto: Universidade do Porto, setembre 2006.
- DEAN, R.G., DALRYMPLE, R.A. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Series Editor-in-Chief. Philip L-F Liu. Cornell University USA.
- DEDEKAM, I. *Velas y aparejo*. Manuales náuticos ilustrados, Dedekam Design.
- FENTON, J. *Coastal and Ocean Engineering*. Viena: Instituto de ingeniería Hidráulica, Viena 2010.
- GARCIA TAPIA, N. *Ingeniería fluidomecánica*. Segunda edición. Universidad de Valladolid 2002.
- GARNICA MIRANDA, R. *Modelo matemático de los fenómenos que modifican el oleaje. Aplicado a las obras de protección de la central nuclear eléctrica Laguna Verde*. Méxic: Instituto Politécnico Nacional, maig 2008.
- GIANCOLI, D. *Física, principios con aplicaciones*. Pearson Ediciones.
- HERREROS SIERRA, M.A. *Respuesta dinámica de los momentos verticales del buque, a las variaciones topográficas de los fondos de las vías de navegación. Aportaciones al estudio del fenómeno SQUAT*. Madrid: Universidad de Madrid.
- HIDALGO OLEA, L. *Análisis del potencial energético del oleaje. Aplicación a la isla de Lanzarote*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, maig 2009.

KANTHA, L.H., CLAYSON, C.A. *Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes*. Academic Press.

LARSSON, L., ELIASSON, R. *Principles of Yacht Design*. Adlard Coles Nautical, London.

LIZANO, O.G. *Ondas superficiales*. Universidad de Costa Rica.

LOSADA, I., LIU, P. *El modelado matemático de la propagación del oleaje en ingeniería de costas*. Santander: Universidad de Cantabria, y New York: Cornell University, 2000.

LOSADA, I., LIU, P. *Modelos matemáticos y numéricos para el estudio de ña agitación portuaria*. Santander: Universidad de Cantabria, y New York: Cornell University, 2000.

MEDINA, J.M. *Ingeniería Marítima y Costera*. Madrid: Universidad Europea de Madrid, 2009.

OLIVELLA PUIG, J. *Teoría del buque. Ola trocoidal, movimientos y esfuerzos*. Edicions UPC 1998.

OLIVELLA PUIG, J. *Teoría del buque. Flotabilidad y estabilidad*. Edicions UPC 1994.

RILEY, W. F., STURGES, C. D. *Ingeniería mecánica. DINAMICA*. Ed. Reverté S.A.

ROSS, S.M. *Introducción a la estadística*. Ed. Reverté.

SEARS, F.W., ZEMANSKY, M.W., YOUNG, H.D., FREEDMAN, R.A. *Física Universitaria*. Pearson Ediciones.

SORENSEN, R. *Basic Coastal Engineering*. Bethlem: Springer, 2006.

VIRTO ALBERT, L. *Mecànica de fluids. Fonaments I*. Edicions UPC 1993.

WONNACOTT, R.J., WONNACOTT, T.H. *Estadística básica y práctica. Su utilidad y múltiples aplicaciones*. Ed. Limusa.

WONNACOTT, R.J., WONNACOTT, T.H. *Introducción a la estadística*. Ed. Limusa.

YARÍN ACHACHAGUA, A.J., YARÍN ACHACHAGUA, Y.H. *Análisis del comportamiento dinámico de una embarcación pequeña en el mar peruano*. Universidad Nacional de Ingeniería.

- [En línia]<[www.myroms.org](http://www.myroms.org)> [Consulta: 25 Feb. 2012]
- [En línia]<[www.nodc.noaa.gov](http://www.nodc.noaa.gov)> [Consulta: 27 Feb.-15 Maig 2012]
- [En línia]<[ocean-modeling.org](http://ocean-modeling.org)>[Consulta: 27 Feb. – 6 Abr. 2012]
- [En línia]<[fnmoc.navy.mil/public/](http://fnmoc.navy.mil/public/)>[Consulta: 27 Feb.-25 Maig 2012]
- [En línia]<[www.ndbc.noaa.org](http://www.ndbc.noaa.org)>[Consulta: 27 Feb.- 15 Maig 2012]
- [En línia]<[www.puertos.es](http://www.puertos.es)>[Consulta:10 Dec. 2011-25 Maig 2012]
- [En línia]<[www.oceanweather.com](http://www.oceanweather.com)>[Consulta: 27 Feb.-15 Maig 2012]
- [En línia]<[www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)>[Consulta: 27 Feb.-15 Maig 2012]
- [En línia]<[www.stormsurf.com](http://www.stormsurf.com)>[Consulta: 27 Feb. -15 Maig 2012]
- [En línia]<[www.usno.navy.mil](http://www.usno.navy.mil)>[Consulta: 27 Feb.-15 Maig 2012]
- [En línia]<[www.energies-renovables.com](http://www.energies-renovables.com)> [Consulta: 13 Gen. 2012]
- [En línia]<[www.gencat.es/servmet/mar/boies.htm](http://www.gencat.es/servmet/mar/boies.htm)> [Consulta: 8 Feb. 2012]
- [En línia]<[www.compassis.com](http://www.compassis.com)> [Consulta: 17 Març. 2012]
- [En línia]<[fooplot.com](http://fooplot.com)> [Consulta: 20 Ago. 2012]
- [En línia]<[www.carbontrust.co.uk](http://www.carbontrust.co.uk)> [Consulta: 28 Gen. 2012]
- [En línia]<[www.fnob.org](http://www.fnob.org)> [Consulta: 5 Dec 2011 i 9 Jul 2012]



## 8. Annexos

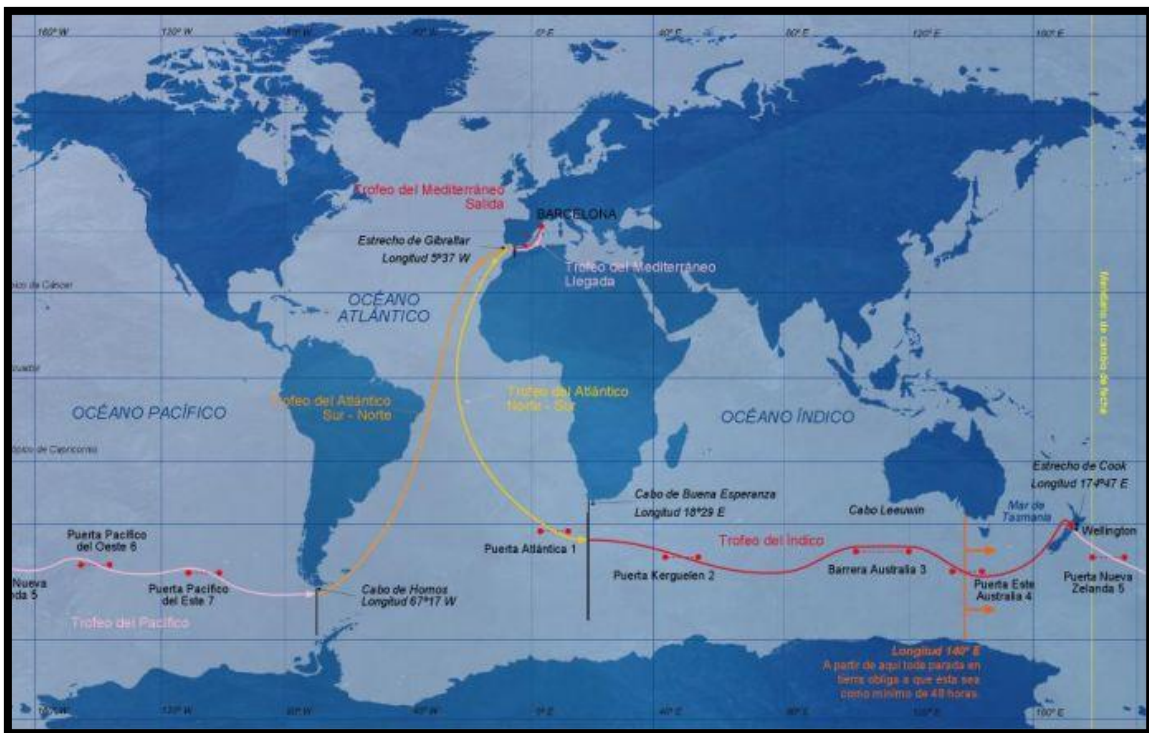
---

## Annex I

### Recorregut de la Barcelona World Race

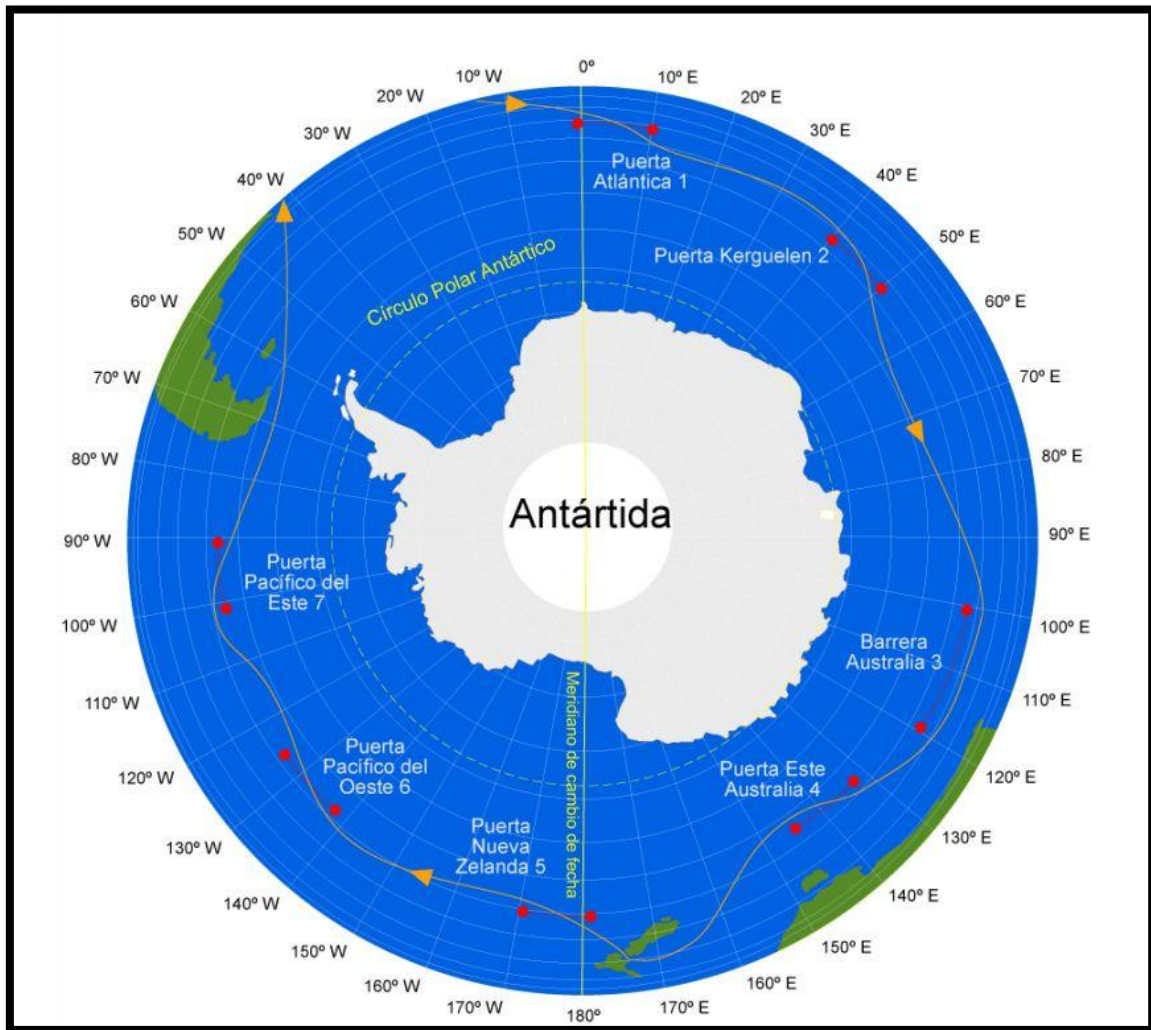
La Barcelona World Race és una regata que dóna la volta al món, de Barcelona a Barcelona, per la ruta denominada "dels tres caps". És a dir, en haver salpat de Barcelona els vaixells travessen l'estret de Gibraltar i després de baixar per l'oceà Atlàntic, deixen els caps de Bona Esperança, Leeuwin i Hornos per babord i el continent de l'Antàrtida per estribord. El reglament de la regata obliga a passar per l'estret de Cook, a Nova Zelanda, i per unes portes de seguretat.

La longitud aproximada del recorregut és de 25.000 milles nàutiques (46.300 km) per l'ortodròmica, la ruta més curta sobre la superfície de la Terra. El guanyador de la primera edició, el Paprec-Virbac 2 de Jean-Pierre Dick i Damian Foxall, va emprar 92 dies, 9 hores, 49 minuts i 49 segons en cobrir el recorregut, cosa que significa una velocitat mitjana d'11,13 nusos.



Mapa mundi amb el recorregut de la BWR

També cal remarcar l'existència de portes de seguretat, punts pels quals s'ha de passar, aconseguint d'aquesta manera mantenir-se a una distància de seguretat de la zona Sud (Antàrtida), ja sigui pel perill de gels flotants o per allunyar-se molt dels recursos de salvament marítim dels països australers.



Esfera del sud de la Terra amb les portes de seguretat de la BWR

Finalment s'exposa un seguit d'imatges de l'empremta que han deixat les embarcacions de la última edició de la zona analitzada en aquest projecte, per tindre una visió més real de les aigües que naveguen:

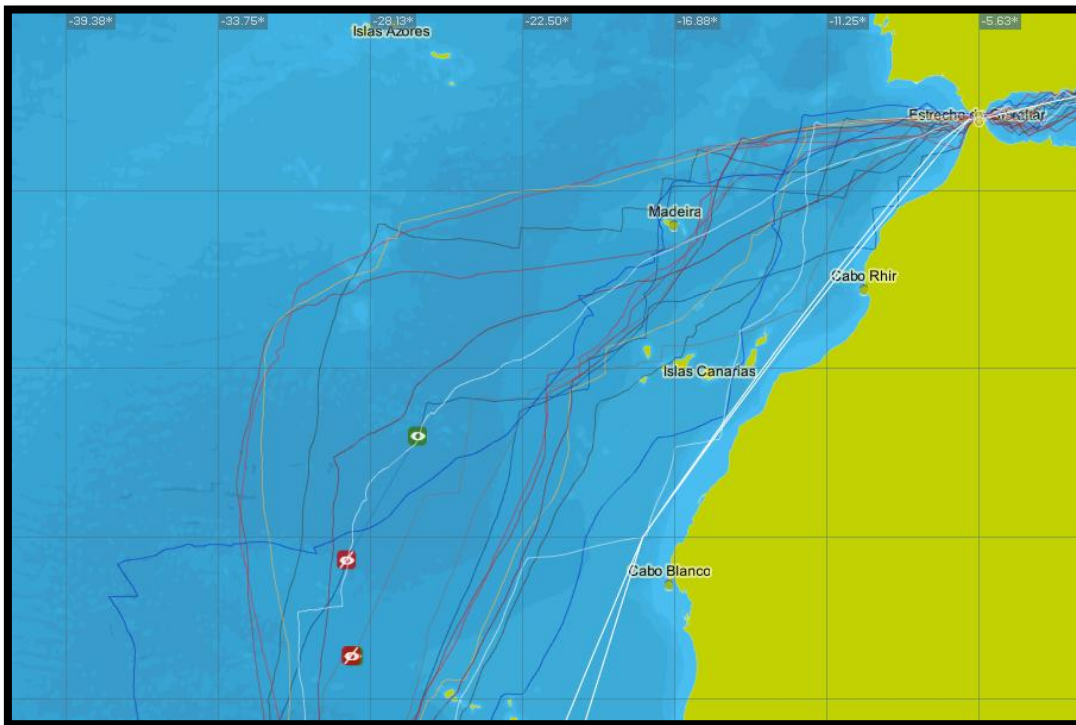


Imatge de l'empremta de les embarcacions de la última edició de la BWR -Mediterrani-

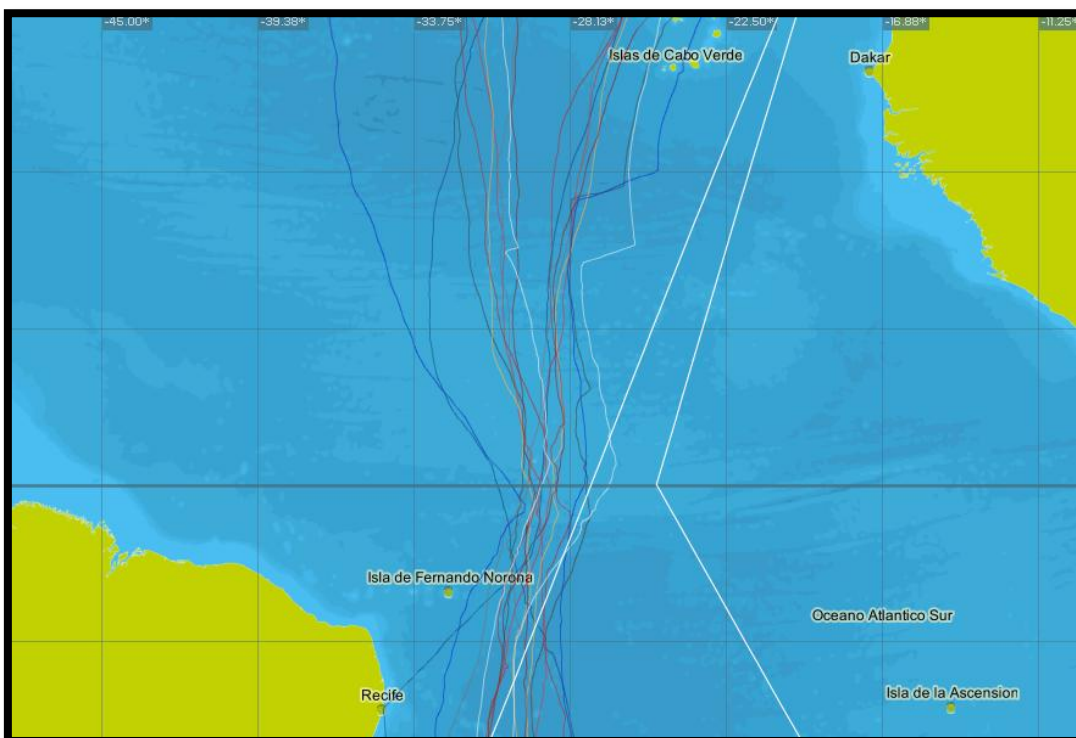


Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012



Imatge de l'empremta de les embarcacions de la última edició de la BWR –Canàries-



Imatge de l'empremta de les embarcacions de la última edició de la BWR –Atlàntic Nord-

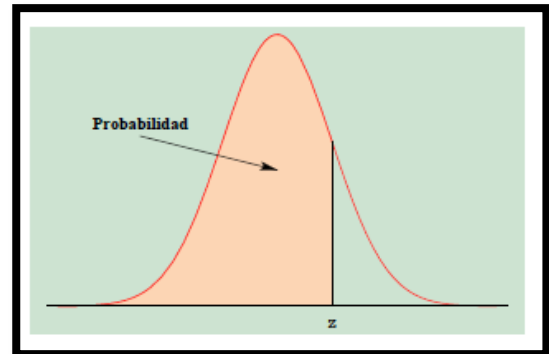
Cal tenir en compte que a aquestes imatges s'estan sobreposant les esteles de anada i les de tornada.

Annex II

Taules estadístiques

Taula Norma Estàndar

Taula dels valors de la probabilitat d'una normal estàndar.



Imatge de la distribució normal, amb el significat del valor de probabilitat "z"

TABLA Probabilidades de una Normal Estándar										
z	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990

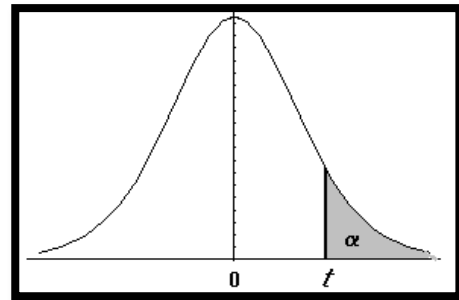
Taula dels valors de la probabilitat de la distribució normal

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Taula de la t Student

Conté els valors de t, tals que  $p[T > t] = \alpha$ , on "n" són els graus de llibertat.



Significat gràfic de la t Student sobre una distribució normal

n \ $\alpha$	0,30	0,25	0,20	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	0,7265	1,0000	1,3764	3,0777	6,3137	12,7062	31,8210	63,6559	127,3213	318,3088	636,6192
2	0,6172	0,8165	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9645	9,9250	14,0890	22,3271	31,5991
3	0,5844	0,7649	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8408	7,4533	10,2145	12,9240
4	0,5686	0,7407	0,9410	1,5332	2,1318	2,7765	3,7469	4,6041	5,5976	7,1732	8,6103
5	0,5594	0,7267	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	4,7733	5,8934	6,8688
6	0,5534	0,7176	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	4,3168	5,2076	5,9588
7	0,5491	0,7111	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9979	3,4995	4,0293	4,7853	5,4079
8	0,5459	0,7064	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	3,8325	4,5008	5,0413
9	0,5435	0,7027	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	3,6897	4,2968	4,7809
10	0,5415	0,6998	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	3,5814	4,1437	4,5869
11	0,5399	0,6974	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	3,4966	4,0247	4,4370
12	0,5386	0,6955	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	3,4284	3,9296	4,3178
13	0,5375	0,6938	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	3,3725	3,8520	4,2208
14	0,5366	0,6924	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	3,3257	3,7874	4,1405
15	0,5357	0,6912	0,8662	1,3406	1,7531	2,1315	2,6025	2,9467	3,2860	3,7328	4,0728
16	0,5350	0,6901	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	3,2520	3,6862	4,0150
17	0,5344	0,6892	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,2224	3,6458	3,9651
18	0,5338	0,6884	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,1966	3,6105	3,9216
19	0,5333	0,6876	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,1737	3,5794	3,8834
20	0,5329	0,6870	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,1534	3,5518	3,8495
21	0,5325	0,6864	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,1352	3,5272	3,8193
22	0,5321	0,6858	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,1188	3,5050	3,7921
23	0,5317	0,6853	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,1040	3,4850	3,7676
24	0,5314	0,6848	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7970	3,0905	3,4668	3,7454
25	0,5312	0,6844	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,0782	3,4502	3,7251
26	0,5309	0,6840	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,0669	3,4350	3,7066
27	0,5306	0,6837	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,0565	3,4210	3,6896
28	0,5304	0,6834	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,0469	3,4082	3,6739
29	0,5302	0,6830	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,0380	3,3962	3,6594
30	0,5300	0,6828	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,0298	3,3852	3,6460
40	0,5286	0,6807	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	2,9712	3,3069	3,5510
80	0,5265	0,6776	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387	2,8870	3,1953	3,4163
120	0,5258	0,6765	0,8446	1,2886	1,6576	1,9799	2,3578	2,6174	2,8599	3,1595	3,3735
$\infty$	0,5244	0,6745	0,8416	1,2816	1,6449	1,9600	2,3263	2,5758	2,8070	3,0902	3,2905

Taula dels valors de la t Student

Annex III

Taula de velocitats de les onades i de les seves partícules

	Velocitat de grup	Velocitat de la partícula d'aigua		Celeritat	Longitud d'ona	Període	$\Pi$	Alçada	distància	Angle	gravetat
	$C_g$	$u$	$w$	$C$	$\lambda_2$	$T$	$\pi$	$H$	$z$	$\theta$	$g$
<b>Ati. Nord</b>											
1	7,554	0,575	-0,393	15,107	73,090	9,676	3,1416	2,069	0,427	-0,6	9,81
2	7,605	0,549	-0,473	15,209	74,079	9,741	3,1416	2,169	0,411	-0,7115	9,81
3	7,642	0,435	-0,298	15,284	74,808	9,789	3,1416	1,598	0,330	-0,6	9,81
4	7,778	0,486	-0,333	15,555	77,489	9,963	3,1416	1,813	0,374	-0,6	9,81
5	7,499	0,466	-0,319	14,997	72,026	9,605	3,1416	1,675	0,346	-0,6	9,81
6	7,798	0,464	-0,317	15,596	77,896	9,989	3,1416	1,736	0,358	-0,6	9,81
7	7,512	0,461	-0,315	15,024	72,288	9,623	3,1416	1,660	0,343	-0,6	9,81
<b>Mètode 3</b>											
1M	4,125	0,705	-0,482	8,250	21,795	5,284	3,1416	1,327	0,274	-0,6	9,81
2M	3,117	0,989	-0,603	6,235	12,448	3,993	3,1416	1,282	0,274	-0,5474	9,81
3M	3,288	0,957	-0,655	6,577	13,852	4,212	3,1416	1,368	0,282	-0,6	9,81
4M	3,545	1,243	-0,850	7,090	16,098	4,541	3,1416	1,872	0,386	-0,6	9,81
5M	2,770	1,102	-0,754	5,539	9,827	3,548	3,1416	1,275	0,263	-0,6	9,81
6M	4,192	0,594	-0,406	8,384	22,510	5,370	3,1416	1,151	0,238	-0,6	9,81
7M	4,294	0,807	-0,552	8,587	23,615	5,5	3,1416	1,571	0,324	-0,6	9,81
8M	4,641	0,772	-0,648	9,282	27,593	5,945	3,1416	1,765	0,338	-0,6982	9,81
9M	4,128	0,784	-0,536	8,256	21,827	5,288	3,1416	1,465	0,302	-0,6	9,81
10M	4,262	0,863	-0,591	8,523	23,263	5,459	3,1416	1,658	0,342	-0,6	9,81
11M	4,525	0,804	-0,550	9,049	26,225	5,796	3,1416	1,657	0,342	-0,6	9,81
12M	3,149	0,498	-0,341	6,299	12,705	4,034	3,1416	0,720	0,149	-0,6	9,81
13M	4,016	0,767	-0,525	8,031	20,655	5,144	3,1416	1,395	0,288	-0,6	9,81
14M	4,518	0,823	-0,563	9,036	26,150	5,788	3,1416	1,689	0,349	-0,6	9,81
<b>Mètode 2</b>											
1	3,156	0,453	-0,310	6,312	12,760	4,043	3,1416	0,66	0,136	-0,6	9,81
2	3,126	0,405	-0,277	6,252	12,517	4,004	3,1416	0,588	0,121	-0,6	9,81
3	3,436	0,775	-0,531	6,872	15,123	4,401	3,1416	1,189	0,245	-0,6	9,81
4	4,155	0,495	-0,338	8,310	22,116	5,323	3,1416	0,96	0,198	-0,6	9,81
5	2,897	0,298	-0,204	5,793	10,748	3,711	3,1416	0,406	0,084	-0,6	9,81
6	4,806	0,325	-0,222	9,611	29,584	6,156	3,1416	0,747	0,154	-0,6	9,81
7a	-	-	-	-	-	-	3,1416	0,12	0,025	-0,6	9,81
7b	4,014	0,397	-0,271	8,028	20,637	5,142	3,1416	0,750	0,155	-0,6	9,81
8	3,095	0,590	-0,404	6,189	12,267	3,964	3,1416	0,827	0,171	-0,6	9,81
9	-	-	-	-	-	-	3,1416	0,19	0,039	-0,6	9,81
10	3,659	0,410	-0,280	7,318	17,152	4,6873	3,1416	0,703	0,145	-0,6	9,81
<b>Mètode 1</b>											
1	2,842	0,339	-0,232	5,683	10,343	3,64	3,1416	0,45	0,093	-0,6	9,81
2	2,342	0,423	-0,289	4,684	7,026	3,0	3,1416	0,45	0,093	-0,6	9,81
3	2,758	0,351	-0,240	5,516	9,744	3,533	3,1416	0,45	0,093	-0,6	9,81
4	3,234	0,353	-0,242	6,468	13,398	4,143	3,1416	0,536	0,111	-0,6	9,81
5	3,216	0,351	-0,240	6,433	13,251	4,12	3,1416	0,53	0,109	-0,6	9,81
6	2,756	0,296	-0,203	5,511	9,728	3,53	3,1416	0,383	0,079	-0,6	9,81
7	3,380	0,412	-0,282	6,760	14,636	4,33	3,1416	0,65	0,134	-0,6	9,81
8	6,609	0,255	-0,174	13,218	55,952	8,466	3,1416	0,817	0,168	-0,6	9,81
9A	7,885	0,348	-0,238	15,769	79,634	10,1	3,1416	1,325	0,273	-0,6	9,81
10A	8,431	0,406	-0,277	16,862	91,055	10,8	3,1416	1,65	0,340	-0,6	9,81

Cal evidenciar que apart de les 3 zones estudiades, amb les altres el càlcul de la velocitat de les partícules s'ha fet suposant que l'angle entre la tangent a l'onada i la horitzontal és -0.6rad, ja que és un angle acceptable i semblant als tres estudiants, com per donar una idea del resultat que sortiria.

Annex IV

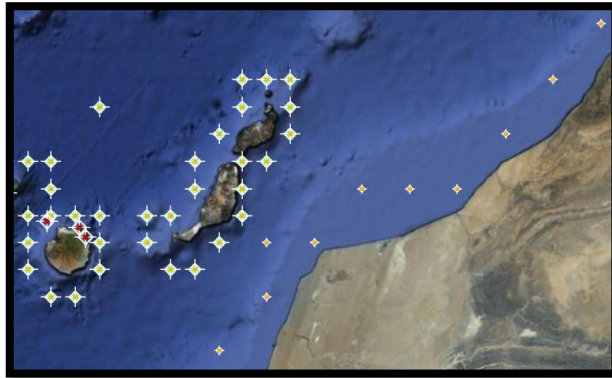
Boies Mediterrani i Canàries



Mapa amb la posició de les boies del Mediterrani [puertos del estado]



Mapa amb la posició de les boies Canàries 1 [puertos del estado]



Mapa amb la posició de les boies Canàries 2 [puertos del estado]

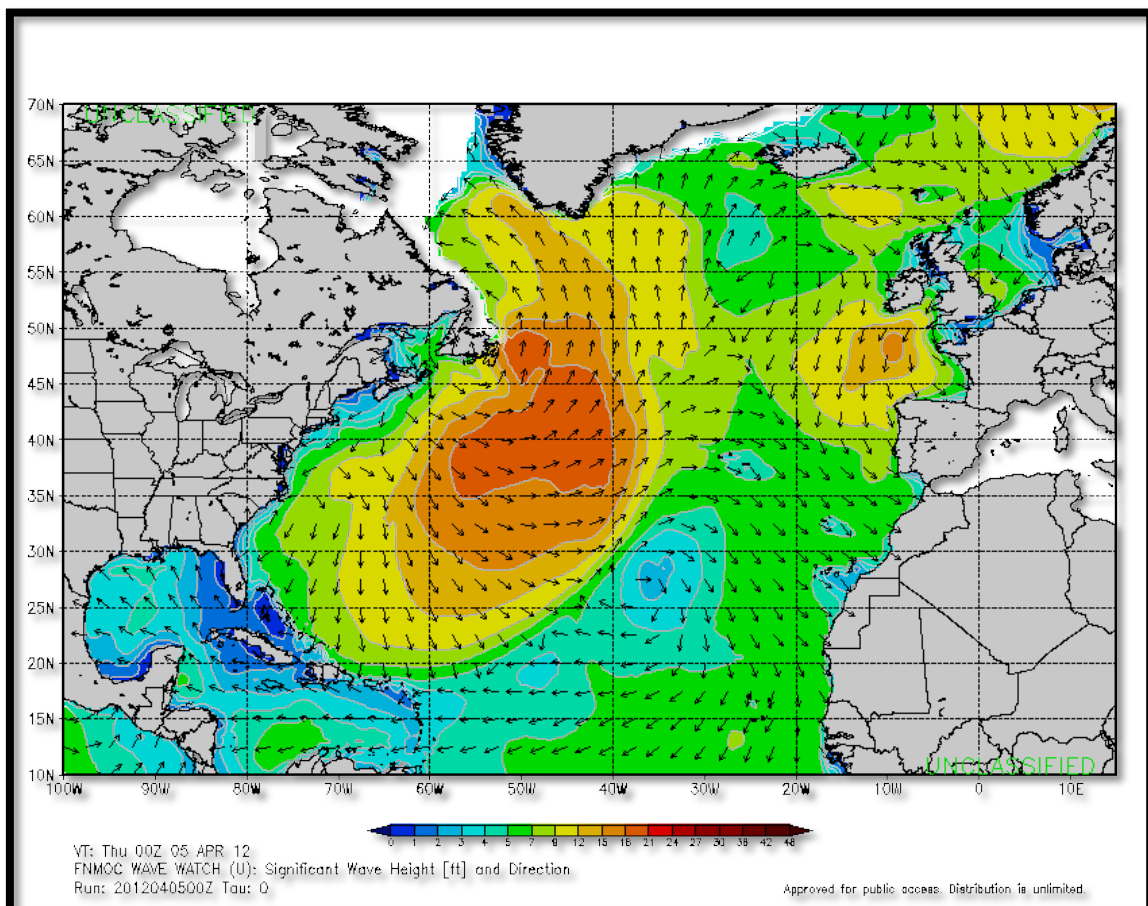


Mapa amb la posició de les boies Canàries 3 [puertos del estado]

## Annex V

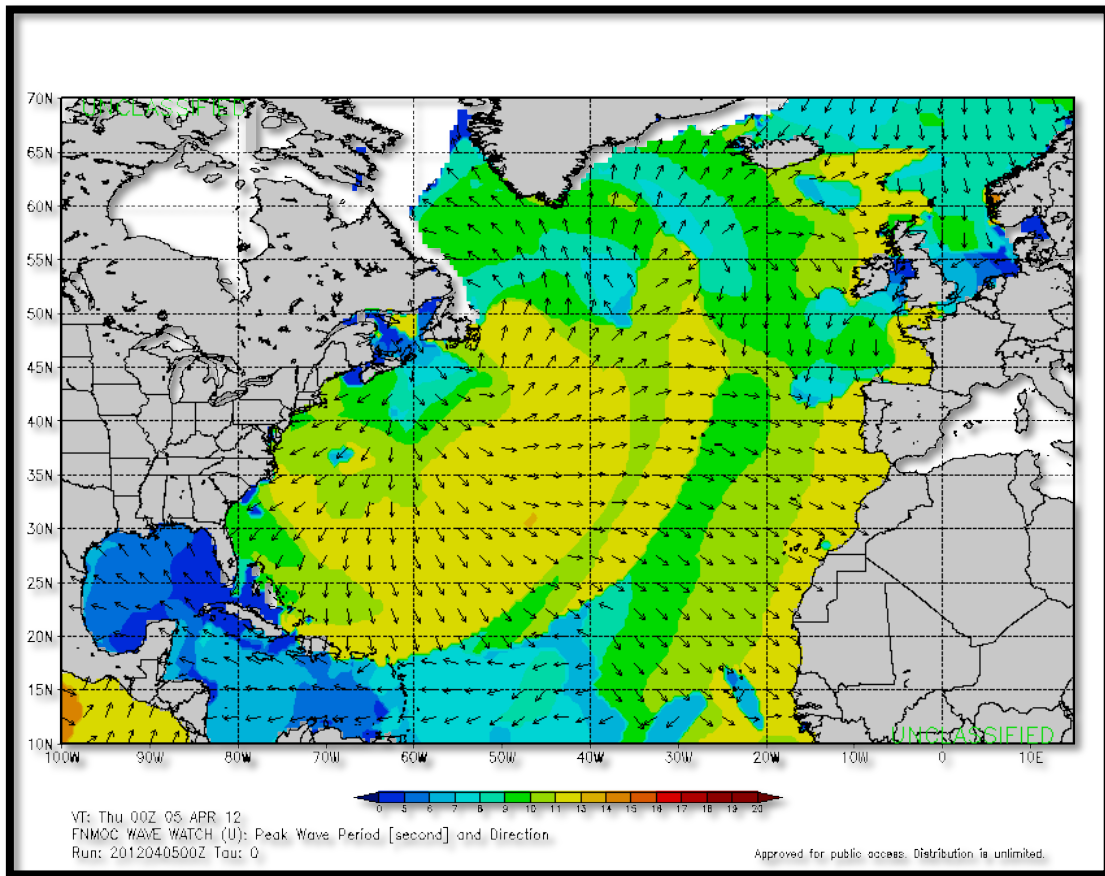
### Mapes i taules de dades

Primerament es presenten els mapes de predicció meteorològica del dia 5 d'Abril, com a exemple tipus:



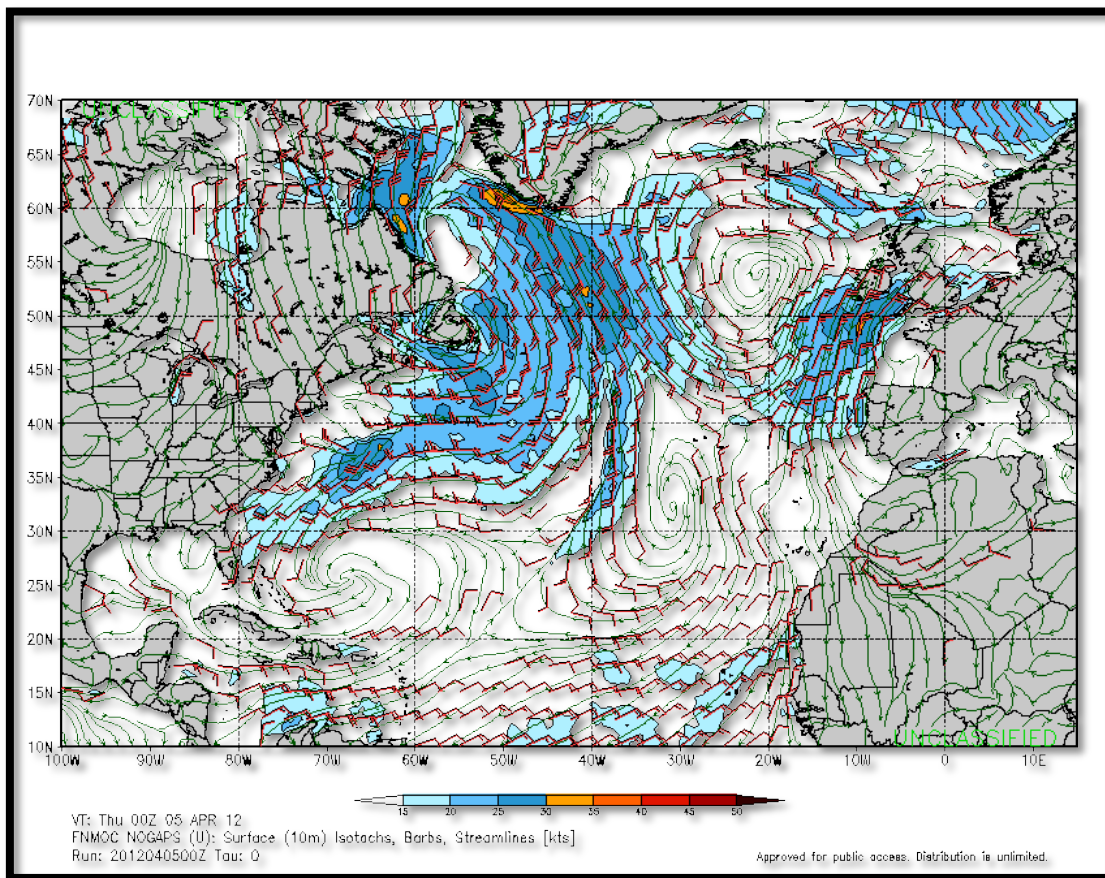
Mapa de predicció meteorològica de la altura de les onades significants i la direcció [FNMOC]

5 de setembre del 2012



Mapa de predicció meteorològica del període i la direcció de les onades [FNMOG]

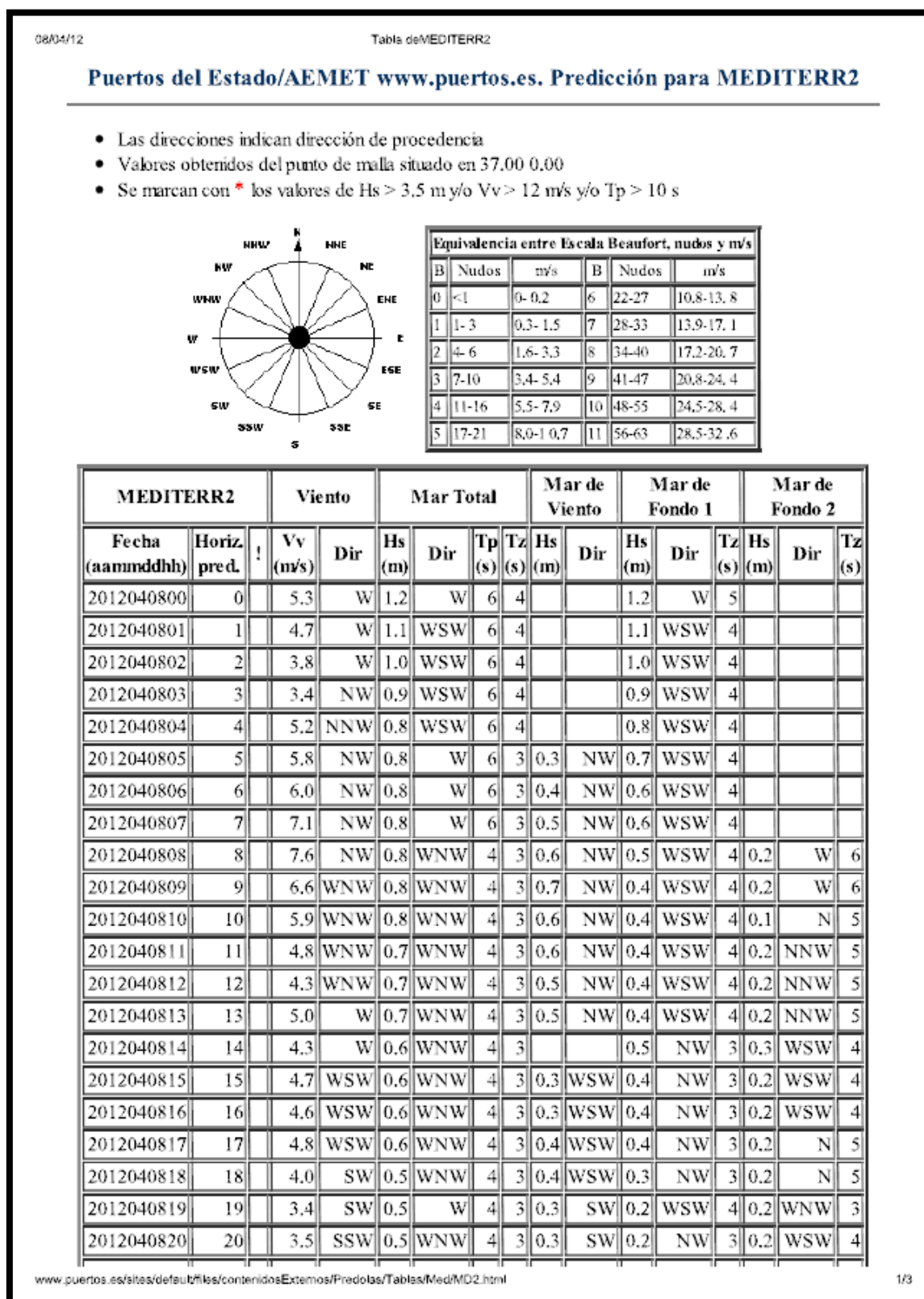




97 Mapa de predicció meteorològica de la velocitat i la direcció del vent a 10m de la superfície del mar. [FNMOC]

5 de setembre del 2012

En segon lloc es presenta un dels 6 llibrets d'una zona per donar l'exemple del tipus de dades del mètode 3 del Mediterrani:



Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

09/04/12

Tabla deMEDJTERR2

2012040821	21	2.8	S	0.5	WNW	8	3	0.1	S	0.2	NW	3	0.2	NNE	8
2012040822	22	2.7	S	0.5	NW	8	3			0.3	NNE	6	0.2	SW	2
2012040823	23	2.0	SSW	0.5	NW	8	3			0.3	NNE	6	0.3	SW	3
2012040900	24	1.4	WSW	0.5	NNW	8	3			0.3	NNE	6	0.2	SW	3
2012040901	25	1.1	WSW	0.5	NNW	8	3			0.3	NNE	6	0.2	WSW	3
2012040902	26	0.7	S	0.5	NNW	8	4			0.4	NNE	6	0.2	WSW	3
2012040903	27	1.8	SSW	0.5	NNW	7	4			0.4	NNE	6	0.2	WNW	3
2012040904	28	1.7	SSW	0.5	NNW	7	4			0.3	NNE	6	0.2	WNW	3
2012040905	29	2.2	S	0.5	N	7	4			0.3	NNE	6	0.2	WNW	3
2012040906	30	2.0	S	0.5	N	8	4			0.3	NNE	6	0.2	W	3
2012040907	31	2.9	SSE	0.5	N	8	4			0.3	NNE	5	0.2	WNW	3
2012040908	32	3.3	SSE	0.4	N	8	4			0.3	NNE	5	0.2	NNE	9
2012040909	33	3.6	S	0.4	N	8	4			0.3	NNE	5	0.2	NNE	8
2012040910	34	3.5	S	0.4	N	8	4			0.2	NNE	5	0.2	NNE	8
2012040911	35	3.3	S	0.4	N	8	3			0.2	NNE	5	0.2	NNE	8
2012040912	36	2.2	SSW	0.4	NNW	8	3	0.1	SSW	0.2	NNE	5	0.2	NNE	8
2012040913	37	1.9	ESE	0.4	NNW	8	3			0.2	NNE	8	0.2	W	3
2012040914	38	2.5	E	0.4	NNW	9	3			0.2	W	3	0.2	NNE	8
2012040915	39	3.0	E	0.4	NNW	9	3			0.2	WSW	3	0.2	NNE	8
2012040916	40	3.7	E	0.3	NNW	9	3			0.2	W	3	0.2	NNE	8
2012040917	41	4.3	E	0.3	NNW	9	3			0.2	NNE	8	0.2	W	3
2012040918	42	4.6	E	0.3	NNW	9	3			0.2	NNE	8	0.2	W	3
2012040919	43	5.5	ESE	0.3	N	9	3			0.2	NNE	8	0.2	W	3
2012040920	44	5.1	ESE	0.4	NE	9	2	0.2	E	0.2	NNE	8	0.2	W	3
2012040921	45	4.6	ESE	0.5	ENE	3	2	0.4	ENE	0.2	NNE	8	0.1	W	3
2012040922	46	3.8	ESE	0.6	ENE	3	3	0.5	E	0.2	NNE	8	0.1	W	3
2012040923	47	3.2	ESE	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NE	9	0.1	NNE	6
2012041000	48	3.4	E	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	9	0.2	NNE	6
2012041001	49	3.7	E	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	9	0.2	NNE	6
2012041002	50	3.9	E	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	9	0.2	NNE	6
2012041003	51	4.5	ESE	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	8	0.2	NNE	6
2012041004	52	4.0	ESE	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	8	0.2	NNE	5
2012041005	53	1.0	ESE	0.6	E	4	3	0.6	E	0.2	NNE	8	0.2	NNE	5
2012041006	54	2.2	NNW	0.6	E	4	3			0.5	E	3	0.2	NNE	6
2012041007	55	3.2	NNW	0.6	E	4	3			0.5	E	3	0.2	NNE	6
2012041008	56	3.8	NW	0.6	E	4	3			0.5	E	3	0.2	NNE	6
2012041009	57	4.4	WSW	0.6	E	4	3			0.4	E	3	0.3	NNE	6

www.puertos.es/sites/default/files/contenidosExternos/Predolas/Tablas/Med/MD2.html

2/3

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

08/04/12 Taula deMEDJTERR2

2012041010	58 *	12.8	WSW	0.8	SSE	4	3	0.5	SSW	0.4	ESE	4	0.2	NNE	6
2012041011	59 *	12.8	WSW	0.8	SSE	4	3	0.5	SSW	0.4	ESE	4	0.2	NNE	6
2012041012	60 *	14.2	WSW	1.4	SSW	4	3	1.3	SSW	0.2	E	4	0.2	NNE	6
2012041013	61 *	14.8	WSW	2.2	SW	6	4	2.1	SW	0.2	NNE	6	0.1	E	4
2012041014	62 *	14.5	WSW	2.7	SW	7	5	2.7	SW	0.1	NNE	7			
2012041015	63 *	14.4	WSW	3.1	SW	7	5	3.1	SW	0.1	NNE	7			
2012041016	64 *	14.7	WSW	3.4	WSW	8	6	3.4	WSW						
2012041017	65 *	15.1	WSW	3.6	WSW	8	6	3.6	WSW						
2012041018	66 *	15.2	WSW	3.8	WSW	9	6	3.8	WSW						
2012041019	67 *	14.9	WSW	3.9	WSW	9	6	3.8	WSW						
2012041020	68 *	14.6	WSW	3.8	WSW	9	6	3.8	WSW						
2012041021	69 *	14.1	WSW	3.8	WSW	9	6	3.8	WSW						
2012041022	70 *	13.7	WSW	3.7	WSW	9	6	3.7	WSW						
2012041023	71 *	12.9	WSW	3.5	WSW	9	6	3.5	WSW						
2012041100	72 *	12.0	WSW	3.3	WSW	9	6	3.3	WSW	0.3	WNW	11			

[www.puertos.es/sites/default/files/contenidosExternos/Predolas/Tablas/Med/MD2.html](http://www.puertos.es/sites/default/files/contenidosExternos/Predolas/Tablas/Med/MD2.html) 3/3

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

En tercer lloc es presenten quatre taules de característiques meteorològiques i oceàniques que han servit de dades pel mètode 2 del Mediterrani. Són d'una boia cada una i d'un dia per donar l'exemple de la tipologia d'informació subministrada:

Fecha (GMT)	Velocidad de la corriente...	Dir. de prop. de la corrie...	Temperatura del agua (°C)	Salinidad (psu)
2012-04-08 15:00:00	18.8	42	15.5	37.63
2012-04-08 14:00:00	16.4	25	15.5	37.68
2012-04-08 13:00:00	8.2	11	15.5	37.68
2012-04-08 12:00:00	2.3	25	15.5	37.63
2012-04-08 11:00:00	1.2	121	15.4	37.69
2012-04-08 10:00:00	2.3	346	15.3	37.7
2012-04-08 09:00:00	5.9	0	15.3	37.7
2012-04-08 08:00:00	4.7	321	15.3	37.64
2012-04-08 07:00:00	8.2	346	15.1	37.65
2012-04-08 06:00:00	4.7	335	15.1	37.71
2012-04-08 05:00:00	12.9	304	15.0	37.66
2012-04-08 04:00:00	12.9	281	15.0	37.66
2012-04-08 03:00:00	14.1	248	15.0	37.66
2012-04-08 02:00:00	15.2	248	15.0	37.71
2012-04-08 01:00:00	15.2	239	14.9	37.77

Fecha (GMT)	Altura signif. del oleaje (m)	Nivel del Mar (m)	Onda Larga (m)
2012-04-08 16:36:00		1.893	
2012-04-08 16:35:00		1.882	-0.0181
2012-04-08 16:34:00		1.891	-0.0169
2012-04-08 16:33:00		1.918	0.0033
2012-04-08 16:32:00		1.919	-0.0025
2012-04-08 16:31:00		1.916	-0.0125
2012-04-08 16:30:00		1.924	-0.0127
2012-04-08 16:29:00		1.948	0.0049
2012-04-08 16:28:00		1.962	0.0136
2012-04-08 16:27:00		1.938	-0.0187
2012-04-08 16:26:00		1.949	-0.0154
2012-04-08 16:25:00		1.979	0.0082
2012-04-08 16:24:00		1.981	0.0027
2012-04-08 16:23:00		1.975	-0.0116
2012-04-08 16:22:00		1.988	-0.0065

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Fecha (GMT)	Altura signif. del oleaje (m)	Periodo medio (s)	Periodo de pico (s)	Direcc. de pico de proce...	Direcc. media de proced...
2012-04-08 16:00:00	0.59	5.16	6.64		233
2012-04-08 15:00:00	0.59	5.0	7.23		239
2012-04-08 14:00:00	0.7	5.16	7.23		236
2012-04-08 13:00:00	0.7	4.84	7.23		228
2012-04-08 12:00:00	0.7	5.0	5.86		200
2012-04-08 11:00:00	0.82	5.31	5.66		188
2012-04-08 10:00:00	0.94	5.31	6.05		200
2012-04-08 09:00:00	0.82	5.16	6.25		200
2012-04-08 08:00:00	0.94	5.0	5.86		219
2012-04-08 07:00:00	0.94	5.16	5.86		194
2012-04-08 06:00:00	0.94	5.16	5.86		183
2012-04-08 05:00:00	1.05	5.16	6.05		197
2012-04-08 04:00:00	1.05	5.0	6.25		180
2012-04-08 03:00:00	0.82	5.16	6.05		194
2012-04-08 02:00:00	0.82	5.47	6.05		183

Fecha (GMT)	Velocidad del Viento (m/s)	Direc. de proced. del vie...	Presion atmosférica (mb)	Temperatura del aire (°C)
2012-04-08 16:00:00	1.4	323	1015	17.2
2012-04-08 15:00:00	2.1	11	1016	16.9
2012-04-08 14:00:00	4.0	37	1016	16.6
2012-04-08 13:00:00	4.7	42	1017	16.2
2012-04-08 12:00:00	6.1	45	1017	15.5
2012-04-08 11:00:00	6.1	45	1017	14.8
2012-04-08 10:00:00	6.3	48	1017	14.5
2012-04-08 09:00:00	6.1	39	1017	14.0
2012-04-08 08:00:00	6.1	39	1017	14.2
2012-04-08 07:00:00	5.2	42	1017	14.5
2012-04-08 06:00:00	5.9	39	1016	15.0
2012-04-08 05:00:00	4.9	39	1016	15.0
2012-04-08 04:00:00	4.7	20	1016	15.0
2012-04-08 03:00:00	4.9	20	1016	15.0
2012-04-08 02:00:00	4.9	6	1016	15.0

I per finalitzar, es presenta una taula d'altures i períodes creuats d'una boia de les 71 del Mediterrani, per donar l'exemple de com està exposada la informació estadística anual:

EFICACIA: 99.76% AÑO/YEAR: 2000		Tp (s)											TOTAL
		<=1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	>10.0	
Hs (m)	<=0.5	---	---	5.580	15.200	6.025	2.362	0.822	0.205	0.171	0.103	---	30.469
	1.0	---	---	0.514	11.298	12.598	13.180	4.930	0.685	0.856	0.753	0.240	45.053
	1.5	---	---	---	0.171	2.636	5.033	5.135	1.130	0.650	0.137	0.034	14.926
	2.0	---	---	---	---	0.034	1.301	3.013	0.959	0.445	0.103	---	5.854
	2.5	---	---	---	---	---	0.205	1.301	0.924	0.240	---	---	2.670
	3.0	---	---	---	---	---	---	0.445	0.308	0.068	---	---	0.822
	3.5	---	---	---	---	---	---	---	0.068	0.068	---	---	0.137
	4.0	---	---	---	---	---	---	---	---	0.068	---	---	0.068
	4.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
	> 5.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.000
TOTAL	---	---	6.094	26.669	21.294	22.081	15.645	4.279	2.568	1.096	0.274	100%	

Annex VI

Càlcul de resistències

Resistència a l'avançament Zona 4

Paràmetres serie Delft		VALORS		RELACIONS	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Lwl(m)	18,688	L/B=	4,9517753
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	B(m)	3,774	B/T=	12,58
LCB	0-(-8,2)	T (m)	0,3	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284
LCF	-1,8 to -9,5	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196		
Cm	0,65-0,78	Cb	0,3835		
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2	V(Fn=0,35)	15,1090248
Cp	[0.52 -- 0.6]	V (m/s)	7,77		
		V (kn)	15,1167315		
		Cp	0,5806		
		LCB (m)	9,436	-0,5	pr (+)
		Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154		
		Fn ( crucero)	-		
		Fn ( punta)	1,11645695		
		Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06		
		BMT ( m )	5,36185		
		mc (kg)	8318,29		
		Cm	0,6607		
		LCF (m)	11,00381	-8,88	pp (-)

a0	89,20382	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Cf=	0,000579536	Rf (N)=	3403,69841
a1	-393,0127	Rr (N)=	243,414106	Rn=	2,37695E+11		
a2	0,617466						
a3	0,460472						
a4	11,54327						
a5	331,1197						
a6	8,598136						
a7	0,104073						
a8	-2,815203						
a9	0,15596						

Rt (N)=	3676,32221
---------	------------

Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft

Resistència de Fricció

Resistència a l'avançament Zona 2M

Paràmetres serie Delft		VALORS		RELACIONS	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Lwl(m)	18,688	L/B=	4,9517753
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	B(m)	3,774	B/T=	12,58
LCB	0-(-8,2)	T (m)	0,3	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284
LCF	-1,8 to -9,5	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196		
Cm	0,65-0,78	Cb	0,3835		
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2	V(Fn=0,35)	6,06694432
Cp	[0.52 -- 0.6]	V (m/s)	3,12		
		V (kn)	6,07003891		
		Cp	0,5806		
		LCB (m)	9,436	-0,5	pr (+)
		Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154		
		Fn ( crucero)	-		
		Fn ( punta)	0,44830704		
		Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06		
		BMT ( m )	5,36185		
		mc (kg)	8318,29		
		Cm	0,6607		
		LCF (m)	11,00381	-8,88	pp (-)

a0	89,20382	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Cf=	0,000622123	Rf (N)=	589,133517
a1	-393,0127	Rr (N)=	243,414106	Rn=	95444949450		
a2	0,617466						
a3	0,460472						
a4	11,54327						
a5	331,1197						
a6	8,598136						
a7	0,104073						
a8	-2,815203						
a9	0,15596						

Rt (N)=	861,757316
---------	------------

Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft

Resistència de Fricció

Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Resistència a l'avançament Zona 8M

VALORS		RELACIONS																																																																
<table border="1"> <caption>Paràmetres serie Delft</caption> <tr><td>Lwl/Bwl</td><td>[2.76 -- 5.00]</td></tr> <tr><td>Bwl/T</td><td>[2.46 -- 19.32]</td></tr> <tr><td>LCB</td><td>0 (-8,2)</td></tr> <tr><td>LCF</td><td>-1,8 to -9,5</td></tr> <tr><td>Cm</td><td>0,65-0,78</td></tr> <tr><td>Aw/V<sup>2</sup>/3</td><td>3,78 to 12,67</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>[0,52 -- 0,6]</td></tr> </table>		Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	LCB	0 (-8,2)	LCF	-1,8 to -9,5	Cm	0,65-0,78	Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	Cp	[0,52 -- 0,6]	<table border="1"> <tr><td>Lwl(m)</td><td>18,688</td></tr> <tr><td>B(m)</td><td>3,774</td></tr> <tr><td>T (m)</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>Aw (m<sup>2</sup>)</td><td>49,196</td></tr> <tr><td>Cb</td><td>0,3835</td></tr> <tr><td>SWA (m<sup>2</sup>)</td><td>50,2</td></tr> <tr><td>V (m/s)</td><td>4,64</td></tr> <tr><td>V (kn)</td><td>9,02723735</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>0,5806</td></tr> <tr><td>LCB (m)</td><td>9,436</td></tr> <tr><td>Volum (m<sup>3</sup>)</td><td>8,1154</td></tr> <tr><td>Fn ( crucero)</td><td>-</td></tr> <tr><td>Fn ( punta)</td><td>0,66671303</td></tr> <tr><td>Viscositat(kg/ms)</td><td>1,1879E-06</td></tr> <tr><td>BMT ( m )</td><td>5,36185</td></tr> <tr><td>mc (kg)</td><td>8318,29</td></tr> <tr><td>Cm</td><td>0,6607</td></tr> <tr><td>LCF (m)</td><td>11,00381</td></tr> </table>	Lwl(m)	18,688	B(m)	3,774	T (m)	0,3	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196	Cb	0,3835	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2	V (m/s)	4,64	V (kn)	9,02723735	Cp	0,5806	LCB (m)	9,436	Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154	Fn ( crucero)	-	Fn ( punta)	0,66671303	Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06	BMT ( m )	5,36185	mc (kg)	8318,29	Cm	0,6607	LCF (m)	11,00381	<table border="1"> <tr><td>L/B=</td><td>4,9517753</td></tr> <tr><td>B/T=</td><td>12,58</td></tr> <tr><td>Aw/V<sup>2</sup>/3</td><td>12,1821284</td></tr> <tr><td>V(Fn=0,35)</td><td>9,02263514</td></tr> <tr><td>pr (+)</td><td>-0,5</td></tr> <tr><td>pp (-)</td><td>-8,88</td></tr> </table>	L/B=	4,9517753	B/T=	12,58	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284	V(Fn=0,35)	9,02263514	pr (+)	-0,5	pp (-)	-8,88	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]																																																																	
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]																																																																	
LCB	0 (-8,2)																																																																	
LCF	-1,8 to -9,5																																																																	
Cm	0,65-0,78																																																																	
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67																																																																	
Cp	[0,52 -- 0,6]																																																																	
Lwl(m)	18,688																																																																	
B(m)	3,774																																																																	
T (m)	0,3																																																																	
Aw (m <sup>2</sup> )	49,196																																																																	
Cb	0,3835																																																																	
SWA (m <sup>2</sup> )	50,2																																																																	
V (m/s)	4,64																																																																	
V (kn)	9,02723735																																																																	
Cp	0,5806																																																																	
LCB (m)	9,436																																																																	
Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154																																																																	
Fn ( crucero)	-																																																																	
Fn ( punta)	0,66671303																																																																	
Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06																																																																	
BMT ( m )	5,36185																																																																	
mc (kg)	8318,29																																																																	
Cm	0,6607																																																																	
LCF (m)	11,00381																																																																	
L/B=	4,9517753																																																																	
B/T=	12,58																																																																	
Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284																																																																	
V(Fn=0,35)	9,02263514																																																																	
pr (+)	-0,5																																																																	
pp (-)	-8,88																																																																	
<table border="1"> <tr><td>a0</td><td>89,20382</td></tr> <tr><td>a1</td><td>-393,0127</td></tr> <tr><td>a2</td><td>0,617466</td></tr> <tr><td>a3</td><td>0,460472</td></tr> <tr><td>a4</td><td>11,54327</td></tr> <tr><td>a5</td><td>331,1197</td></tr> <tr><td>a6</td><td>8,598136</td></tr> <tr><td>a7</td><td>0,104073</td></tr> <tr><td>a8</td><td>-2,815203</td></tr> <tr><td>a9</td><td>0,15596</td></tr> </table>		a0	89,20382	a1	-393,0127	a2	0,617466	a3	0,460472	a4	11,54327	a5	331,1197	a6	8,598136	a7	0,104073	a8	-2,815203	a9	0,15596	<table border="1"> <tr><td>(Rr/g*mc) * 10<sup>3</sup>=</td><td>29,2625174</td></tr> <tr><td>Rr (N)=</td><td>243,414106</td></tr> <tr><td>Rt (N)=</td><td>1535,64622</td></tr> </table>	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Rr (N)=	243,414106	Rt (N)=	1535,64622	<table border="1"> <tr><td>CF=</td><td>0,000603041</td><td>Rf (N)=</td><td>1263,02242</td></tr> <tr><td>Rn=</td><td>1,41944E+11</td><td></td><td></td></tr> </table>	CF=	0,000603041	Rf (N)=	1263,02242	Rn=	1,41944E+11																															
a0	89,20382																																																																	
a1	-393,0127																																																																	
a2	0,617466																																																																	
a3	0,460472																																																																	
a4	11,54327																																																																	
a5	331,1197																																																																	
a6	8,598136																																																																	
a7	0,104073																																																																	
a8	-2,815203																																																																	
a9	0,15596																																																																	
(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174																																																																	
Rr (N)=	243,414106																																																																	
Rt (N)=	1535,64622																																																																	
CF=	0,000603041	Rf (N)=	1263,02242																																																															
Rn=	1,41944E+11																																																																	

Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft

Resistència de Fricció

Resistència provocada per les partícules en rotació Zona 4

VALORS		RELACIONS																																																																
<table border="1"> <caption>Paràmetres serie Delft</caption> <tr><td>Lwl/Bwl</td><td>[2.76 -- 5.00]</td></tr> <tr><td>Bwl/T</td><td>[2.46 -- 19.32]</td></tr> <tr><td>LCB</td><td>0 (-8,2)</td></tr> <tr><td>LCF</td><td>-1,8 to -9,5</td></tr> <tr><td>Cm</td><td>0,65-0,78</td></tr> <tr><td>Aw/V<sup>2</sup>/3</td><td>3,78 to 12,67</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>[0,52 -- 0,6]</td></tr> </table>		Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	LCB	0 (-8,2)	LCF	-1,8 to -9,5	Cm	0,65-0,78	Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	Cp	[0,52 -- 0,6]	<table border="1"> <tr><td>Lwl(m)</td><td>18,688</td></tr> <tr><td>B(m)</td><td>3,774</td></tr> <tr><td>T (m)</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>Aw (m<sup>2</sup>)</td><td>49,196</td></tr> <tr><td>Cb</td><td>0,3835</td></tr> <tr><td>SWA (m<sup>2</sup>)</td><td>50,2</td></tr> <tr><td>V (m/s)</td><td>0,7243</td></tr> <tr><td>V (kn)</td><td>1,40914397</td></tr> <tr><td>Cp</td><td>0,5806</td></tr> <tr><td>LCB (m)</td><td>9,436</td></tr> <tr><td>Volum (m<sup>3</sup>)</td><td>8,1154</td></tr> <tr><td>Fn ( crucero)</td><td>-</td></tr> <tr><td>Fn ( punta)</td><td>0,10407333</td></tr> <tr><td>Viscositat(kg/ms)</td><td>1,1879E-06</td></tr> <tr><td>BMT ( m )</td><td>5,36185</td></tr> <tr><td>mc (kg)</td><td>8318,29</td></tr> <tr><td>Cm</td><td>0,6607</td></tr> <tr><td>LCF (m)</td><td>11,00381</td></tr> </table>	Lwl(m)	18,688	B(m)	3,774	T (m)	0,3	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196	Cb	0,3835	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2	V (m/s)	0,7243	V (kn)	1,40914397	Cp	0,5806	LCB (m)	9,436	Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154	Fn ( crucero)	-	Fn ( punta)	0,10407333	Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06	BMT ( m )	5,36185	mc (kg)	8318,29	Cm	0,6607	LCF (m)	11,00381	<table border="1"> <tr><td>L/B=</td><td>4,9517753</td></tr> <tr><td>B/T=</td><td>12,58</td></tr> <tr><td>Aw/V<sup>2</sup>/3</td><td>12,1821284</td></tr> <tr><td>V(Fn=0,35)</td><td>1,40842557</td></tr> <tr><td>pr (+)</td><td>-0,5</td></tr> <tr><td>pp (-)</td><td>-8,88</td></tr> </table>	L/B=	4,9517753	B/T=	12,58	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284	V(Fn=0,35)	1,40842557	pr (+)	-0,5	pp (-)	-8,88	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]																																																																	
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]																																																																	
LCB	0 (-8,2)																																																																	
LCF	-1,8 to -9,5																																																																	
Cm	0,65-0,78																																																																	
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67																																																																	
Cp	[0,52 -- 0,6]																																																																	
Lwl(m)	18,688																																																																	
B(m)	3,774																																																																	
T (m)	0,3																																																																	
Aw (m <sup>2</sup> )	49,196																																																																	
Cb	0,3835																																																																	
SWA (m <sup>2</sup> )	50,2																																																																	
V (m/s)	0,7243																																																																	
V (kn)	1,40914397																																																																	
Cp	0,5806																																																																	
LCB (m)	9,436																																																																	
Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154																																																																	
Fn ( crucero)	-																																																																	
Fn ( punta)	0,10407333																																																																	
Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06																																																																	
BMT ( m )	5,36185																																																																	
mc (kg)	8318,29																																																																	
Cm	0,6607																																																																	
LCF (m)	11,00381																																																																	
L/B=	4,9517753																																																																	
B/T=	12,58																																																																	
Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284																																																																	
V(Fn=0,35)	1,40842557																																																																	
pr (+)	-0,5																																																																	
pp (-)	-8,88																																																																	
<table border="1"> <tr><td>a0</td><td>89,20382</td></tr> <tr><td>a1</td><td>-393,0127</td></tr> <tr><td>a2</td><td>0,617466</td></tr> <tr><td>a3</td><td>0,460472</td></tr> <tr><td>a4</td><td>11,54327</td></tr> <tr><td>a5</td><td>331,1197</td></tr> <tr><td>a6</td><td>8,598136</td></tr> <tr><td>a7</td><td>0,104073</td></tr> <tr><td>a8</td><td>-2,815203</td></tr> <tr><td>a9</td><td>0,15596</td></tr> </table>		a0	89,20382	a1	-393,0127	a2	0,617466	a3	0,460472	a4	11,54327	a5	331,1197	a6	8,598136	a7	0,104073	a8	-2,815203	a9	0,15596	<table border="1"> <tr><td>(Rr/g*mc) * 10<sup>3</sup>=</td><td>29,2625174</td></tr> <tr><td>Rr (N)=</td><td>243,414106</td></tr> <tr><td>Rt (N)=</td><td>308,385837</td></tr> </table>	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Rr (N)=	243,414106	Rt (N)=	308,385837	<table border="1"> <tr><td>CF=</td><td>0,00070074</td><td>Rf (N)=</td><td>35,7620385</td></tr> <tr><td>Rn=</td><td>22157300284</td><td></td><td></td></tr> </table>	CF=	0,00070074	Rf (N)=	35,7620385	Rn=	22157300284																															
a0	89,20382																																																																	
a1	-393,0127																																																																	
a2	0,617466																																																																	
a3	0,460472																																																																	
a4	11,54327																																																																	
a5	331,1197																																																																	
a6	8,598136																																																																	
a7	0,104073																																																																	
a8	-2,815203																																																																	
a9	0,15596																																																																	
(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174																																																																	
Rr (N)=	243,414106																																																																	
Rt (N)=	308,385837																																																																	
CF=	0,00070074	Rf (N)=	35,7620385																																																															
Rn=	22157300284																																																																	

Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft

Resistència de Fricció



Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

Resistència provocada per les partícules en rotació Zona 2M

Paràmetres serie Delft		VALORS		RELACIONS	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Lwl(m)	18,688	L/B=	4,9517753
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	B(m)	3,774	B/T=	12,58
LCB	0-(-8,2)	T (m)	0,3	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284
LCF	-1,8 to -9,5	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196		
Cm	0,65-0,78	Cb	0,3835		
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2		
Cp	[0.52 -- 0.6]	V (m/s)	1,1583		
		V (kn)	2,25350195	V(Fn=0,35)	2,25235308
		Cp	0,5806		
		LCB (m)	9,436	-0,5	pr (+)
		Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154		
		Fn ( crucero)	-		
		Fn ( punta)	0,16643399		
		Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06		
		BMT ( m )	5,36185		
		mc (kg)	8318,29		
		Cm	0,6607		
		LCF (m)	11,00381	-8,88	pp (-)
a0	89,20382	Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft			
a1	-393,0127	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Resistència de Fricció	
a2	0,617466			Cf=	0,000673913
a3	0,460472	Rr (N)=	243,414106	Rf (N)=	87,9578642
a4	11,54327			Rn=	35433937483
a5	331,1197				
a6	8,598136				
a7	0,104073				
a8	-2,815203				
a9	0,15596				
				Rt (N)=	360,581663

Resistència provocada per les partícules en rotació Zona 8M

Paràmetres serie Delft		VALORS		RELACIONS	
Lwl/Bwl	[2.76 -- 5.00]	Lwl(m)	18,688	L/B=	4,9517753
Bwl/T	[2.46 -- 19.32]	B(m)	3,774	B/T=	12,58
LCB	0-(-8,2)	T (m)	0,3	Aw/V <sup>2</sup> /3	12,1821284
LCF	-1,8 to -9,5	Aw (m <sup>2</sup> )	49,196		
Cm	0,65-0,78	Cb	0,3835		
Aw/V <sup>2</sup> /3	3,78 to 12,67	SWA (m <sup>2</sup> )	50,2		
Cp	[0.52 -- 0.6]	V (m/s)	1,0073		
		V (kn)	1,95972763	V(Fn=0,35)	1,95872853
		Cp	0,5806		
		LCB (m)	9,436	-0,5	pr (+)
		Volum (m <sup>3</sup> )	8,1154		
		Fn ( crucero)	-		
		Fn ( punta)	0,14473708		
		Viscositat(kg/ms)	1,1879E-06		
		BMT ( m )	5,36185		
		mc (kg)	8318,29		
		Cm	0,6607		
		LCF (m)	11,00381	-8,88	pp (-)
a0	89,20382	Resistència residual mitjançant la sèrie de Delft			
a1	-393,0127	(Rr/g*mc) * 10 <sup>3</sup> =	29,2625174	Resistència de Fricció	
a2	0,617466			Cf=	0,000681731
a3	0,460472	Rr (N)=	243,414106	Rf (N)=	67,2913567
a4	11,54327			Rn=	30814646661
a5	331,1197				
a6	8,598136				
a7	0,104073				
a8	-2,815203				
a9	0,15596				
				Rt (N)=	339,915156

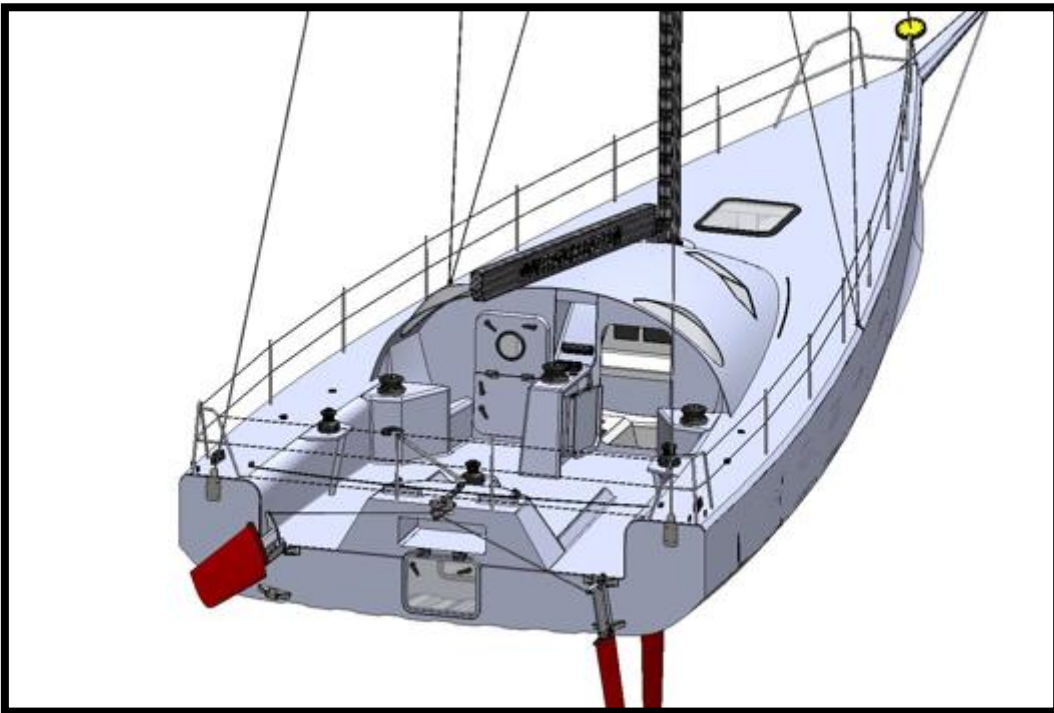
## Annex VI

### Imoca 60

Seguidament es presenten varies fotos i imatges d'Imoca 60, per donar una idea de les seves formes, aparença real, velam i forma de navegar.



5 de setembre del 2012





Anàlisi teòrica i descriptiva de l'onatge per determinar si és possible l'aprofitament energètic a un Imoca 60 de la BWR

5 de setembre del 2012

