

Disseny d'una plataforma d'observació submarina fixa

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Guillem Valls Aluja

Dirigit per:
Antonio Isalgue Buxeda

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 08/05/2017



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

“Sabem molt més de la superfície lunar o de Mart
que del fons dels nostres propis oceans.”

Agraïments

Dedicat a tota la gent que m'ha ajudat, m'ha donat suport durant el procés i que ha contribuït d'alguna manera, per petita que sigui, a que el projecte es pogués realitzar amb èxit.

Primer de tot, m'agradaria agrair especialment al meu tutor, Toni Isalgue, per haver-me acollit al seu despatx quan necessitava la seva ajuda per continuar en moments de saturació i haver-me animat en tot moment.

Per una banda, també voldria agrair a la Maria Piñas, que m'ha acompanyat en la part més pràctica del projecte, m'ha donat suport en les primeres preses de decisions i m'ha ajudat quan no sabia per on seguir.

Per l'altre banda, vull donar un reconeixement a dos membres de la meva família, el meu pare que m'ha pressionat en tot moment i m'ha fet espavilar perquè tirés endavant el treball i a la meva germana per la seva ajuda en la revisió ortogràfica del redactat.

Per últim, agrair a en Marc, enginyer de l'empresa on he realitzat pràctiques extracurriculars, per la seva ajuda en el tram final del projecte.

Resum

Aquest document inclou el procés de disseny de una plataforma d'observació fixa, amb la finalitat de crear una zona marítima protegida, dedicada a la observació de les espècies marines de les costes catalanes. Aquest espai, pretén afavorir la reproducció de les espècies de la zona, permeten la seva observació enfocada a un punt de vista tan científic com educatiu.

Aquest treball presenta les diferents parts del disseny que s'han pogut aprendre en les assignatures donades al llarg del Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval. S'han posat en pràctica els conceptes adquirits al llarg de quatre anys d'estudi.

Inicialment s'ha buscat la ubicació idònia en les costes catalanes per a la instal·lació de la plataforma. Aquesta ubicació ha de fer possible la finalitat per a la qual es dissenya la plataforma d'observació. Un cop es realitza un estudi de la ubicació, es proposa un esquema de formes i possibles aspectes que pot assolir la plataforma i tot el seu disseny respectiu, incloent la estructura, els materials i les forces que ha de resistir.

Finalment es precisen els acabats de l'estructura, les instal·lacions i possibles temes de seguretat que cal tenir present en qualsevol projecte d'aquestes dimensions.

Abstract

This document includes the design process of a fixed observation platform, to create a marine protected area dedicated to the observation of marine species in the Catalan coast. This space aims to promote the reproduction of the species in the area, allowing the observation focuses on a scientific and learning point of view.

This project presents the different parts of the design that have been learned in the classes during the Degree in Naval Systems and Technology. It has been put into practice the obtained concepts during four years of study.

In first place it has been searched the ideal location in the Catalan coast for the installation of the platform. This location has enabled the purpose for which this observation platform is designed. Once the study of the location is done, the project continues with an outline of possible forms and aspects that the platform can reach and its respective design, including structure, materials and forces it can absorb.

Finally, must be shown the final steps of the structure, facilities and potential safety issues that must be present in any project of this size.

Taula de continguts

Agraïments	iii
Resum	iv
Abstract.....	v
Taula de continguts.....	vi
Llistat de figures memòria.....	x
Llistat de taules	xiv
Llistat d'equacions.....	xvi
1. Introducció	1
1.1. Objectius del projecte	2
1.1.1. Objectiu principal.....	2
1.1.2. Objectius específics.....	3
1.2. Metodologia de treball	4
1.3. Límits	5
2. Antecedents moderns d'estructures submarines	6
2.1. Poseidón Undersea Resorts, Fiyi	6
2.2. The Water Discus Hotel, Dubái	7
2.3. Conrad Maldives Rangali Island, Maldives.....	8
3. Ubicació de l'emplaçament	10
3.1. Aspectes a considerar.....	10
3.2. Possibles ubicacions	16
3.2.1. Port Salvi.....	16
3.2.2. Cala Aiguafreda.....	18
3.2.3. Platja de Sa Tuna.....	20
3.3. Ubicació seleccionada.....	22
3.3.1. Dades físiques	24
3.3.2. Estudi d'onatge.....	25
3.3.3. Estudi meteorològic.....	28

4. Premisses de disseny general.....	31
4.1. Idea del projecte.....	31
4.2. Predisseny provisional.....	32
4.2.1. Definició inicials de l'estructura.....	35
5. Materials.....	37
5.1. Estructura.....	37
5.1.1. EH-36.....	38
5.1.2. HY-80.....	39
5.1.3. HY-100.....	39
5.1.4. Aliatge de titani.....	40
5.2. Cúpula transparent.....	40
5.2.1. Vidre.....	41
5.2.2. Metacrilat.....	41
5.3. Elecció del material de fabricació.....	42
5.3.1. Elecció del material de les parts estructurals.....	43
5.3.2. Elecció del material de la cúpula transparent.....	43
6. Càrregues mecàniques.....	45
6.1. Pressió hidrostàtica.....	45
6.2. Impacte de les onades.....	45
6.2.1. Valor de les forces.....	46
6.2.2. Zona d'impacte.....	47
6.2.3. Temps d'impacte.....	48
6.2.4. Força d'arrossegament i inèrcia.....	49
7. Disseny de formes.....	51
7.1. Disseny exterior.....	51
7.2. Disseny interior.....	52
8. Disseny estructural.....	54
8.1. Estructura d'acer.....	54
8.2. Cúpula de metacrilat.....	57
8.3. Quadernes.....	60
8.3.1. Dimensionament de quadernes.....	60
8.3.2. Requisits de les quadernes.....	63
8.3.3. Disposició de les quadernes.....	66

8.4. Unió casc i metacrilat	70
8.5. Estructura exterior.....	71
8.6. Plataforma d'accés	72
8.6.1. Fixació al litoral	73
8.6.2. Passarel·la.....	75
8.6.3. Encaix mòdul principal-passarel·la-entrada.....	77
9. Mètode d'amarratge.....	79
9.1. Disseny del bloc.....	79
9.2. Fixament del mòdul	80
9.3. Fixament del bloc.....	81
9.4. Disseny del sistema de suports	82
10. Sistemes.....	84
10.1. Sistema de inundació i buidatge	84
10.2. Sistema de contra incendis.....	87
10.3. Sistema de buidatge d'aigües condensades	91
10.4. Sistema de ventilació	92
10.5. Sistema de climatització	93
10.6. Sistema elèctric	94
11. Instal·lació	98
11.1. Instal·lació del sistema d'emplaçament.....	98
11.2. Instal·lació del mòdul principal	99
11.3. Instal·lació de l'accés.....	100
12. Acabats	101
12.1. Acabats d'utilitat i comoditat.....	101
12.2. Acabats per la millora de l'impacte mediambiental	103
13. Plans de contingència	105
13.1. Fissura del mòdul de metacrilat	105
13.2. Penetració d'aigua.....	105
13.3. Incendi	106
13.4. Ruptura d'un cable de suport	106
13.5. Falla del sistema ventilació.....	107
13.6. Falla del sistema elèctric	107
13.7. Previsió de fort onatge	107

13.8. Malmesa de l'estructura d'accés	107
13.9. Situació de evacuació.....	108
13.10. Inundació del mòdul	109
14. Aproximació de pressupost	110
15. Conclusions	116
16. Bibliografia.....	119
16.1. Llibres, projectes i documents	119
16.2. Normatives.....	122
16.3. Pàgines web	122
16.4. Programes utilitzats.....	123
17. Annexos	124
I. Ubicació	125
II. Estudi d'onatge	131
III. Estudi meteorològic.....	145
IV. Forces	154
V. Formes	159
VI. Estructura.....	167
VII. Sistemes	180

Llistat de figures memòria

Figura 1 Poseidón Undersea Resorts	6
Figura 2 The Water Discus Hotel	7
Figura 3 Ithaa Undersea Restaurant	8
Figura 4 Esquema del fons marí de Port Salvi	17
Figura 5 Vista aèria de la costa de Port Salvi	18
Figura 6 Esquema del fons marí de la Cala d'Aiguafreda.....	19
Figura 7 Vista aèria de la Cala d'Aiguafreda	20
Figura 8 Esquema del fons marí de la Platja de Sa Tuna	21
Figura 9 Vista aèria de la Platja de Sa Tuna.....	22
Figura 10 Vista aèria de la posició de la ubicació d'emplaçament	24
Figura 11 Mapa de part de les costes banyades pel Mediterrani	26
Figura 12 Esquema del primer disseny de formes de la plataforma.....	32
Figura 13 Esquema del segon disseny de formes de la plataforma.....	33
Figura 14 Esquema del tercer disseny de formes de la plataforma	34
Figura 15 Representació gràfica de la força d'impacte en funció del temps.....	48
Figura 16 Esquema de l'actuació de les forces de Morison	50
Figura 17 Esquema acotat de l'estructura submergida.....	51
Figura 18 Esquema acotat de la primera planta.....	52
Figura 19 Esquema acotat de la zona d'observació.....	53
Figura 20 Imatge del disseny interior de la zona d'observació en el model 3D del projecte..	53
Figura 21 Imatge del la estructura d'acer en el model 3D del projecte.....	57
Figura 22 Imatge del la estructura de metracrilat en el model 3D del projecte.....	60
Figura 23 Esquema i característiques de quadernes lleugeres en R1	61
Figura 24 Esquema i característiques de quadernes lleugeres en R2	62
Figura 25 Esquema i característiques de les quadernes pesades en R2.....	63
Figura 26 Imatge de la estructura de quadernes de la zona d'observació en el model 3D del projecte.	68
Figura 27 Imatge de la estructura de quadernes de la zona d'e descens en el model 3D del projecte	69

Figura 28 Esquema de l'encaix entre metacrilat i marc	70
Figura 30 Esquema del plànol de l'entrada a la plataforma	73
Figura 31 Esquema del tipus de fixació de la passarel·la al litoral	74
Figura 32 Esquema acotat de la fixació de la passarel·la al litoral.....	74
Figura 33 Esquema acotat de la passarel·la.....	75
Figura 34 Esquema acotat de la posició de reforços a la passarel·la.....	76
Figura 35 Dibuix sobre el disseny de la passarel·la	76
Figura 36 Imatge de la vista general exterior de la passarel·la en el model 3D del projecte.	77
Figura 37 Imatge de la estructura de quadernes de passarel·la en el model 3D del projecte	78
Figura 38 Esquema acotat del llast de formigó	80
Figura 39 Esquema del sistema Monopod de fixament al fons marí	82
Figura 40 Imatge del sistema de emplaçament en el model 3D del projecte	83
Figura 41 Corba de característiques del model de bomba AM50EM2T50 del sistema de buidatge.	86
Figura 42 Sistema de cinc ampolles de gas inert d'un sistema de contra incendis.	87
Figura 43 Firemaster Alu 607 Blanket 64kg/m ³	88
Figura 44 Corba de característiques del model de bomba PC25EM4T50 del sistema de buidatge.	89
Figura 45 Ubicació dels elements contra incendis en zona d'observació	90
Figura 46 Ubicació dels elements contra incendis en la planta 1 i passarel·la.....	91
Figura 47 Corba de característiques del model de bomba PC25EMT50 del sistema de buidatge.	91
Figura 48 Model de ventilador ELL de Gianneschi.	93
Figura 49 Aire acondicionat model CASSETTE MUCSR-60-H6t.....	94
Figura 50 Generador Insonoritzat Kaiser Silent Bull PRO	97
Figura 51 Controlador per a grups electrògens en instal·lacions d'emergència, SAE 822	97
Figura 52 Models de llums escollits per a l'interior de l'estructura.	101
Figura 53 Prototip de sofà per a la zona d'observació.	102
Figura 54 Tauló de fusta iroko.	103

Figura 55 Imatge general del projecte en el model 3D de Rhinoceros.....	118
Figura Annex 1 Port Salví 1	125
Figura Annex 2 Port Salví 2	125
Figura Annex 3 Port Salví 3	126
Figura Annex 4 Port Salví 4	126
Figura Annex 5 Port Salví 5	126
Figura Annex 6 Cala Aiguafreda 1	127
Figura Annex 7 Cala Aiguafreda 2.....	127
Figura Annex 8 Cala Aiguafreda 3.....	127
Figura Annex 9 Cala Aiguafreda 4.....	128
Figura Annex 10 Cala Aiguafreda 5.....	128
Figura Annex 11 Platja de Sa Tuna 1	128
Figura Annex 12 Platja de Sa Tuna 2	129
Figura Annex 13 Platja de Sa Tuna 3	129
Figura Annex 14 Platja de Sa Tuna 4.....	129
Figura Annex 15 Platja de Sa Tuna 5	130
Figura Annex 16 Temporals registrats per la boia del Cap de Tortosa (1990-2006) ...	132
Figura Annex 17 Representació gràfica d'alçada d'ona significant.....	133
Figura Annex 18 Probabilitat de temporal	134
Figura Annex 19 Probabilitat altura d'ona < 50 en funció del mes.....	135
Figura Annex 20 Probabilitat altura d'ona < 100 en funció del mes.....	135
Figura Annex 21 Probabilitat altura d'ona < 150 en funció del mes.....	135
Figura Annex 22 Probabilitat altura d'ona < 200 en funció del mes.....	136
Figura Annex 23 Probabilitat altura d'ona < 250 en funció del mes.....	136
Figura Annex 24 Probabilitat altura d'ona < 300 en funció del mes.....	136
Figura Annex 25 Probabilitat altura d'ona < 350 en funció del mes.....	137
Figura Annex 26 Probabilitat altura d'ona < 400 en funció del mes.....	137
Figura Annex 27 Probabilitat altura d'ona < 450 en funció del mes.....	137
Figura Annex 28 Probabilitat altura d'ona < 500 en funció del mes.....	138
Figura Annex 29 Probabilitat altura d'ona > 500 en funció del mes.....	138
Figura Annex 30 Direccions amb els seus vents corresponents	139

Figura Annex 31 Probabilitat de la direcció d'onatge segons AnaTorBo (1990-2006)	140
Figura Annex 32 Probabilitat de la direcció d'onatge segons Wafo (1991-2006)	141
Figura Annex 33 Comparativa probabilitats de direcció d'onatge AnaTorBo i Wafo.	142
Figura Annex 34 Representació gràfica d'alçada d'ona significativa en temporal	144
Figura Annex 35 Representació gràfica de les temperatures en funció del mes	145
Figura Annex 36 Representació gràfica de les precipitacions (l/m ²) en funció del mes	147
Figura Annex 37 Representació gràfica del percentatge d'humitat en funció del mes	148
Figura Annex 38 Representació gràfica de les condicions climàtiques	149
Figura Annex 39 Representació gràfica del percentatge de condicions climàtiques per any	150
Figura Annex 40 Representació gràfica de les 10 precipitacions màximes registrades	151
Figura Annex 41 Representació gràfica de les 10 temperatures màximes registrades.	152
Figura Annex 42 Representació gràfica de les 10 ratxes màximes de vent registrades	153

Llistat de taules

Taula 1	Profunditats de les possibles ubicacions del projecte.....	23
Taula 2	Característiques de la boia del Cap de Tortosa	27
Taula 3	Dimensions inicials generals de la plataforma	36
Taula 4	Propietats mecàniques del EH-36.....	38
Taula 5	Propietats mecàniques del HY-80	39
Taula 6	Propietats mecàniques del HY-100	40
Taula 7	Propietats mecàniques dels aliatges de titani	40
Taula 8	Propietats mecàniques del Metacrilat.....	42
Taula 10	Dimensions de les quadernes en R1	61
Taula 11	Dimensions de les quadernes en R2	62
Taula 12	Posició de quadernes lleugeres horitzontals en R1.....	67
Taula 13	Posició de quadernes pesades horitzontals en R1.....	67
Taula 14	Posició de quadernes transversals en R1	67
Taula 15	Posició de quadernes pesades horitzontals en R2.....	68
Taula 16	Posició de quadernes lleugeres horitzontals en R2.....	69
Taula 17	Posició de quadernes transversals en R2	69
Taula 18	Característiques de les quadernes de la passarel·la	77
Taula 19	Elements que formen part de la instal·lació contra incendis.....	90
Taula 20	Taula de característiques principals del ascensor model MP1005H de MP....	95
Taula Annex 1	Temporals registrats per la boia del Cap de Tortosa (1990-2006)	132
Taula Annex 2	Dades d'alçada d'ona significant.....	133
Taula Annex 3	Dades d'alçada d'ona significant en funció del mes.....	134
Taula Annex 4	Direcció d'onatges registrats per AnaTorBo (1990-2006)	140
Taula Annex 5	Direcció d'onatge registrats per Wafo (1991-2006).....	141
Taula Annex 6	Comparativa probabilitats de direcció d'onatge AnaTorBo i Wafo....	142
Taula Annex 7	Dades d'alçada d'ona significativa en temporal.....	143
Taula Annex 8	Dades de les temperatures en funció del mes	145
Taula Annex 9	Dades de les precipitacions en funció del mes	146

Taula Annex 10 Dades del percentatge d'humitat en funció del mes	148
Taula Annex 11 Dades de les condicions climàtiques registrades en un any.....	149
Taula Annex 12 Percentatge de les condicions climàtiques registrades en un any.....	150
Taula Annex 13 Dades de les precipitacions màximes registrades (l/m ²)	151
Taula Annex 14 Dades de les 10 temperatures màximes registrades.....	152
Taula Annex 15 Dades de les 10 ratxes màximes de vent registrades (km/h)	153

Llistat d'equacions

Equació 1 Pressió hidrostàtica.....	45
Equació 2 Força d'impacte (Equació de Wienke i Oumeraci)	47
Equació 3 Zona d'impacte.....	47
Equació 4 Temps d'impacte	48
Equació 5 Força d'arrossegament de Morison	49
Equació 6 Força d'inèrcia de Morison	49
Equació 7 Pressions de treball	55
Equació 8 Superfície d'impacte.....	56
Equació 9 Pressió crítica de treball.....	56
Equació 10 Equació de tensió proposada per la ABS	63
Equació 11 Equació del càlcul de canonades proposada per GL	84

1. Introducció

Les profunditats del mar sempre han sigut un gran interrogant per a l'ésser humà. Aquest fet s'ha vist afavorit per la dificultat d'observació i exploració a causa de l'hostilitat del medi. Crear artefactes preparats per resistir a les fortes pressions a que són sotmesos sempre comporta un gran desafiament d'enginyeria.

Mentre que per una banda l'estudi de la superfície marina, fins la profunditat de les plataformes continentals, ha sigut analitzada i en tenim un coneixement bastant detallat, per l'altra banda no sabem gairebé res pel que fa a les profunditats per sota els 2000 o 3000 metres. Una evidència flagrant és el continu descobriment de espècies animals marines i la poca exploració del fons marí. No només es descobreixen espècies noves, sinó que també se'n extingeixen. És difícil calcular el nombre d'animals extints i la xifra real sempre és més alta que el nombre estimat. El més complex d'aquest tema, és que l'extinció no és un problema històric, sinó un tema contemporani.

El mar és la font més rica d'espècies animals de la qual disposa el nostre planeta. Es pot dir que és un territori verge on l'ésser humà encara no ha aconseguit deixar-hi la seva empremta tan profunda com ha fet amb la resta del territori. L'observació i exploració del fons marí és una de les experiències naturals més espectaculars.

Actualment no s'inverteix massa en l'exploració del fons marí amb finalitats científiques, educatives i amb un caràcter responsable de cara a les espècies que hi habiten. Personalment, opino que s'hauria de profunditzar en la exploració dels oceans, però sempre respectant la vida dels seus habitants i afavorint-ne la seva protecció, motiu per el qual he decidit enfocar-me en aquest projecte.

Per tal de donar suport a la investigació de les costes catalanes s'ha pensat en una manera de facilitar l'observació de les profunditats marines i el seu ecosistema. S'ha pensat en un espai on es pugui accedir qualsevol persona i que permeti una visió del fons sense la necessitat de realitzar immersions.

1.1. Objectius del projecte

En aquesta secció es presentaran els objectius pels quals s'ha decidit desenvolupar aquest projecte, tan principals com específics. Així doncs, durant la lectura d'aquest projecte de final de grau es podrà comprovar com s'ha treballat per assolir cadascun dels objectius plantejats en aquest apartat.

1.1.1. Objectiu principal

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en el disseny d'una plataforma d'observació submarina fixa. Això compren la realització del projecte de l'estructura considerant tot el que comporta com la ubicació, la realització de plànols, càlculs de forces i veure la viabilitat del projecte.

La finalitat de la instal·lació de la estructura en les costes catalanes és tan la investigació, com la observació de la fauna i flora marina de la zona. Per definir les activitats que es realitzarien en aquestes instal·lacions ens hem basat en altres observatoris actius que busquen objectius similars com per exemple el dels aiguamolls de l'Empordà.

Els aiguamolls de l'Empordà és un parc natural que en els últims anys s'ha dedicat principalment a la recuperació de la fauna de la zona. La seva activitat es centra en la recuperació dels exemplars ingressats i s'aprofiten les visites d'escoles i els alliberaments de fauna per fer tasques d'educació ambiental. El Parc Natural també disposa d'un departament destinat a realitzar tasques pericials i forenses dels animals que ho necessitin. Un punt fort és la part destinada a recerca amb estudis propis i també col·laborant amb projectes d'investigació d'altres entitats. Com a última activitat a destacar estan les activitats de educació i sensibilització ambiental que es basen en visites guiades al Centre de Fauna, xerrades, docència, etc.

Per tant, les activitats que es proposen en aquesta projecte de instal·lació de submarina són semblants a les del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà, però dedicat a la fauna i flora marina. El propòsit principal del nostre projecte no és el de recuperació de la fauna com és el cas prèviament explicat dels Aiguamolls, tot i que es pot treballar en part per l'ampliació i protecció de la biodiversitat de l'ecosistema de la zona. Per aquest

motiu, el departament destinat a tasques pericials i forenses queda descartada. Les activitats principals que es volen instaurar en un principi són les següents:

- Investigació de la fauna i flora de la zona, així com afavorir l'augment i protecció d'aquesta.
- Observació de la fauna i flora com a fins turístics i científics. La observació es podrà realitzar des de l'interior de la estructura i també a través de immersions que actualment ja es fan en la ubicació proposada.
- Promoure, col·laboració i permetre projectes d'investigació amb altres entitats, així com projectes propis.
- Activitats educatives i sensibilització ambiental mitjançant visites guiades pel recinte.

Per satisfer les activitats que estan previstes realitzar, l'estructura haurà de complir una sèrie de requisits:

- Visibilitat del fons marí des de l'interior de la estructura. Per tant s'hauran de utilitzar finestres o parets transparents els quals recorden a un aqüari.
- Estructura ha d'estar preparada per suportar la presència d'un nombre més o menys elevat de persones en el mateix moment per facilitar la fluïdesa de les activitats.
- Zones destinades només a investigació amb els equips i condicions ambientals que aquest necessita.

1.1.2. Objectius específics

Un cop definit l'objectiu principal del treball de fi de grau i també la finalitat que busquem amb el disseny d'aquesta plataforma submarina, es definiran objectius específics que es volen assolir. Aquests objectius secundaris que es plantejaran a continuació són altres punts que s'han de assolir al llarg del desenvolupament del projecte per aconseguir satisfactòriament l'objectiu principal. Aquests objectius són els següents:

El primer objectiu específic que s'ha d'assolir és definir la ubicació on es vol realitzar la plataforma submarina per poder treballar en l'estructura en si.

Per una altra banda un altre objectiu és realitzar el disseny de formes que la plataforma tindrà. Es necessitarà invertir molt temps en programes de 2D i 3D, millorant la habilitat per poder aconseguir les formes desitjades. Això requerirà un autoaprenentatge en programes com *Autocad*, *Solidworks* i *Rhinoceros 5.0*. En els Annex V i VI es presenten els plànols del projecte estructural.

Un altre punt clau és trobar un sistema d'emplaçament del projecte, és a dir, un mètode de mantenir l'estructura dissenyada fixa al fons marí, contemplant els fenòmens que poden atacar l'estructura i ocasionar problemes per tenir-la submergida a la profunditat de la ubicació estudiada.

Es pretén realitzar un estudi dels possibles materials que s'hagin d'utilitzar per a la creació del projecte. Aquest estudi inclou l'elecció del material en concret per a l'estructura i una justificació de perquè és el més idoni en cada cas. Per poder assolir tal objectiu, l'estudi es basarà en antecedents de casos similars amb els quals es pugui realitzar una comparació i l'ajuda d'un programa anomenat *CES EduPack 2013*, que inclou una base de dades de materials amb les seves propietats i que ens pot ajudar a definir el material adequat.

Finalment, un objectiu específic és fer que la plataforma assoleixi un grau de seguretat elevat per tal de que el projecte sigui viable i habitable per a persones. Per tant, es pretén crear un pla de contingència i disseny dels diferents sistemes que ha de tenir la instal·lació.

1.2. Metodologia de treball

La metodologia d'aquest treball està basada en la posada en comú de les diferents fonts d'informació utilitzades. En el transcurs de la realització del projecte s'ha utilitzat un enfocament metodològic teòric, posant en pràctica de forma matemàtica per obtenir els resultats necessaris.

L'estudi de la ubicació ha requerit un metodologia basada en la investigació personal de les diferents localitzacions. Per a l'estudi també s'ha consultat a la base de dades de certes plataformes de investigació per obtenir els gràfics i conclusions resultants.

Les fonts d'informació més importants que s'han posat en comú, sense dubte han sigut la consulta de projectes realitzats per altres universitats o empreses. Assolint la teoria utilitzada en el seus projectes s'han obtingut la forma d'aplicar els desenvolupaments matemàtics al nostre projecte. La consulta de normatives aplicada a vehicles i plataformes submergides ha aportat molta informació, sobretot en l'aspecte estructural.

Per últim destacar l'aplicació de la teoria i dels coneixements adquirits durant els anys d'estudi a la Facultat de Nàutica, compaginada amb la consulta a experts en la matèria, com professors i enginyers.

1.3. Límits

El disseny de l'observatori submarí busca satisfer les necessitats tant dels visitants com dels animals en qüestions de funció i volumetria arquitectònica. Els espais dins del mòdul seran destinats l'aprenentatge i recreació dels seus visitants i es tindrà en compte les àrees necessàries per al funcionament ideal del projecte des dels espais destinats als sistemes d'instal·lació fins a la sala d'observació.

Es dissenyarà fins a nivell avantprojecte amb plànols de arquitectura, és a dir, plantes, perfils, esquemes, seccions i vistes volumètrica de l'interior i l'exterior dels edificis.

Aquest projecte limita als coneixements adquirits en la universitat, i tot el que s'hagi pogut assolir personalment en hores no lectives.

2. Antecedents moderns d'estructures submarines

El disseny d'estructures submarines habitables és una proposta molt innovadora. Actualment no existeix cap estructura construïda que presenti les característiques que busca el projecte. Tots els projectes d'estructures submarines habitables que s'han arribat a dissenyar estan en procés de construcció o encara són prototips de projecte. La majoria d'aquests estan enfocats de cara a l'hostaleria de luxe.

A continuació es presenten tres projectes que mirats des de un punt de vista estructural, i no pas funcional, s'aproximen a l'idea que aquest projecte vol arribar a aconseguir. La recerca d'informació sobre aquests projectes, tot haver estat exhaustiva, no proporciona informació detallada dels projectes més enllà d'una visió general i externa.

2.1. Poseidón Undersea Resorts, Fiyi

Tot i que encara és un Projecte, Posidó Undersea Resorts vol ser la primera estructura en el fons marí amb una atmosfera permanent. Ubicat a Fiyi, tindrà 22 habitacions de 51 metres quadrats, un restaurant sota el mar, un bar, una biblioteca, una sala de conferències, una capella, un spa i una suite de luxe de 110 metres quadrats.



Figura 1 Poseidón Undersea Resorts

És potser el projecte de grans dimensions més avançat segons diferents fonts ja que es troba en procés de construcció. El grup *US Submarines* porta treballant amb aquest projecte des del 2001.

El disseny de formes consta d'un accés vertical tubular, fins al nivell del fons marí on s'estenen diferents mòduls a partir de dos mòduls principals en forma de T.

La proposta implica d'instal·lació a 12 metres per sota la superfície del mar, al costat d'una zona de corals que es podran apreciar degut a que l'estructura estarà formada un 70% de vidre acrílic.

2.2. The Water Discus Hotel, Dubái

El *Water Discus Hotel*, ubicat a Dubái és un projecte impulsat per *Deep Ocean Technology*. Encara no està en construcció i es tracta d'una estructura semi submergida ja que part d'ella es troba sobre la superfície del mar. No hi ha gaire informació respecte aquest projecte, a part de imatges de l'aspecte extern i intern que aquest adquirirà com el que es pot veure en la imatge.

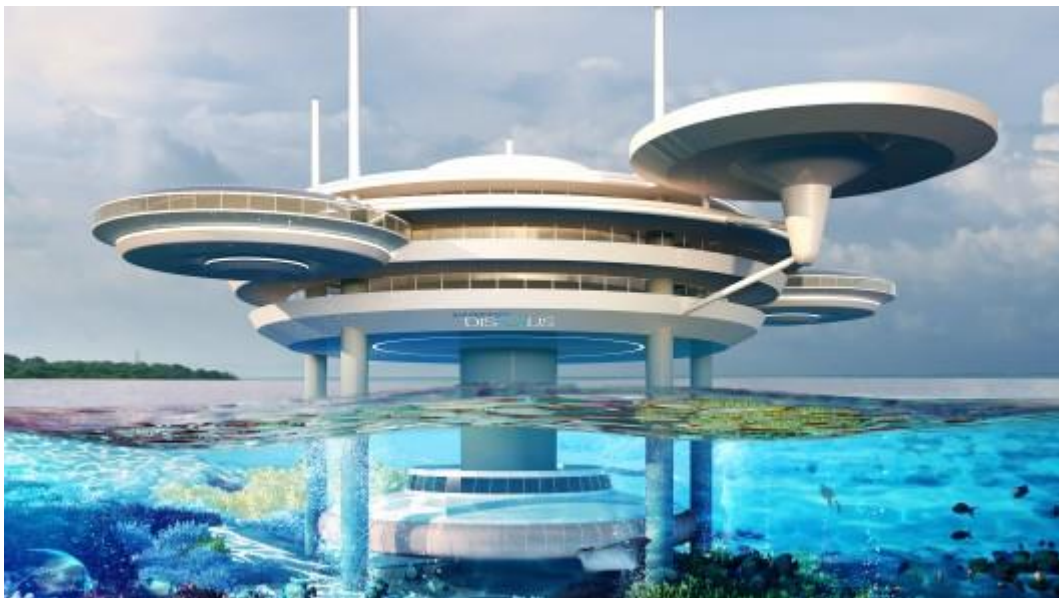


Figura 2 The Water Discus Hotel

És una estructura independent amb una superfície útil d'aproximadament 1000 m² totalment equipada per garantir un alt nivell de seguretat i confort. Pot servir com un mòdul individual o un component d'un complex més gran. Pot formar part d'un

complex més gran que constaria de diverses estructures similars unides per una de central.

Segons les dades de *Deep Ocean Techonlogy*, el complex anteriorment esmentat pot ser construït en qualsevol part del món. Cada disseny serà feta a mida per adaptar als seus futurs usuaris i les condicions locals, com ara la forma de la línia costera i la profunditat de l'aigua en l'escull de corall. A més a més, les instal·lacions permeten gran mobilitat en cas de que sigui necessari el trasllat o substitució de l'estructura o part d'ella.

2.3. Conrad Maldives Rangali Island, Maldives

Conrad Maldives Rangali Island és tracta d'un resort d'hotels de luxe ubicat a les Maldives. Està format per una gran quantitat de casetes sobre l'aigua, en general un resort totalment normal, però el que ens interessa d'aquestes instal·lacions és el *Ithaa Undersea restaurant*, que forma part del resort. Aquesta petita part del projecte és la més ambiciosa pel que fa a la seva estructura.



Figura 3 Ithaa Undersea Restaurant

El *Ithaa Undersea restaurant* consisteix en un restaurant submergit que està inspirat en un model d'aquari tubular. És considerada l'estructura fixe més àmplia situada sota l'aigua en el moment de la construcció amb una longitud de 9 metres, una amplada de 5 metres i una altura de 3 metres. La forma tubular, feta de vidre presenta un espessor de

125 mil·límetres, que permeten gaudir del color i la claredat de l'oceà índic, així com les criatures que rodegen l'estructura.

Aquest projecte roman sobre quatre “potes” que l'aguanten a 4 metres per sobre del fons del mar i per una banda a 1 metre en per sota el nivell de l'aigua del mar en marea baixa i 5 metres en marea alta. És l'únic dels tres projectes presentats que està construït i totalment operatiu.

3. Ubicació de l'emplaçament

Una de les finalitats d'aquest projecte, com s'ha comentat anteriorment, es que es pugui realitzar satisfactòriament i que serveixi com a centre de estudi i observació de la fauna i flora. Un punt important es que s'hi s'ha de desenvolupar que sigui en una ubicació propera, de manera que serveixi com un centre de estudi on les universitats i altres organitzacions puguin prendre part en la recerca i realització d'estudis.

S'entén ubicació propera com a localització a la costa catalana, és a dir, al Mar Mediterrani. Aquesta zona en la que es vol implantar l'estructura, a més, permetrà un estudi dels ecosistemes marí de les costes de la terra.

Tot i que el projecte es base en trobar una zona particular òptima per l'emplaçament de l'estructura, això no vol dir que no es pugui realitzar el mateix projecte en altres ubicacions que es troben en altres oceans on fins i tot les condicions són molt més favorables en gairebé tots els aspectes.

3.1. Aspectes a considerar

Abans de tractar sobre com ha de ser la estructura que volem construir es primordial ubicar la zona en que col·locarem la estructura. Per veure la ubicació hi ha molts factors que s'han de tenir en compte:

- Accés i proximitat a la costa
- Fauna i flora marina
- Profunditat
- Claredat de les aigües
- Condicions meteorològiques
- Onades i corrents submarines
- Terreny al que s'ha de fixar
- Temperatures de les aigües

Es molt complicat assolir les condicions ideals per cada una de les característiques descrites, però es important que algunes d'elles es compleixin obligatòriament igual que

d'algunes altres se'n pot prescindir ja que no són tan importants o que es poden solucionar per una altra banda.

A continuació es descriuran les condicions ideals per a la viabilitat del projecte per poder trobar un lloc que compleixi la majoria d'elles o les més importants.

Accés i proximitat a la costa:

És una de les condicions més importants ja que si aquesta no es compleix el projecte es complica molt. Poder tenir un accés fàcil a la instal·lació submarina es tan important com la estructura subaquàtica en si, ja que si no es pot accedir no compleix les seves finalitats. L'accés s'hauria de trobar en una zona de terreny pública i que es pogués habilitar amb més o menys mesura. En el cas que no hi hagi un accés viable en cap de les zones es pot crear artificialment, però no és la millor opció. En aquest cas s'entrarien en temes urbanístics de modificació visual de la superfície.

La proximitat a la costa també facilita la dificultat del disseny de l'estructura. Com més a prop es troba, les dimensions de l'entrada són menors i s'han de vèncer menys forces i per tant hi haurà menys problemes estructurals. La entrada que va des de l'accés a la estructura emplaçada al fons marí, és potser una de les parts més dèbils de l'estructura i com a menys dificultats estructurals estigui sotmesa millor. Un altre punt a favor que ens proporciona una bona proximitat és la facilitat de donar a l'estructura el servei de corrent des de terra.

Fauna i flora marina

Aquest tema és una mica complicat ja que el punt principal de l'observatori és que existeixin aquestes dues coses en abundància i a les costes catalanes hi ha poques zones que coincideixin aquests termes. Les poques ubicacions on hi ha una gran quantitat i que siguin propers a la costa es tracten de reserves marines naturals com les Illes Medes i això fa que estigui prohibit cap tipus d'edificació com aquesta que pugui malmetre la biodiversitat que existeix en l'espai que aquest ocupa.

Tot i així es poden trobar zones on la fauna marina és prou important com per proposar el disseny d'un observatori. També hi ha la possibilitat de la creació de la biodiversitat mitjançant esculls artificials, tot i que es tracta d'una alternativa molt poc viable degut al temps que es necessita per crear un ecosistema marí i també l'impacte econòmic que suposa. Per una altra banda, ecològicament parlant té molts punts a favor la realització d'un projecte conjunt d'un escull i una estructura submarina d'observació que permeti el control i desenvolupament d'aquest.

Profunditat

No ens interessa ubicar l'estructura a gran profunditat ja que al tractar-se d'un observatori volem que es pugui distingir bé les aigües i que no es tornin fosques ràpidament al descendir. Que no es tracti de profunditats elevades també ens afavorirà en temes de pressió a la qual la estructura estarà sotmesa. La profunditat també és un tema important de cara al mètode de emplaçament que es vulgui realitzar.

Els inconvenients d'una gran profunditat són bàsicament quatre:

- Com a més fondària es vulgui ubicar la estructura més serà la pressió que haurà de suportar la estructura. Aquesta pressió són unes forces que es poden calcular i que un cop es tenen la magnitud es pot decidir la forma de la estructura, els materials més adients i el gruix.
- Com més s'hagi de baixar sota el nivell del mar més difícil i llarg serà el descens a les instal·lacions. També s'hauria de mirar la resistència de l'estructura d'accés.
- La construcció de la instal·lació també serà més complicada si s'ha d'operar a més profunditat. En general és proporcional la profunditat i la dificultat de construcció de la instal·lació.
- Com a més profunditat es troba l'observatori més fosques són les aigües i menys visibilitat.
- La profunditat també condiciona el tipus de emplaçament que es realitzi i com a més profunditat s'haurà d'utilitzar un mètode o un altre. Com menys profunditat més senzill és el mètode.

Els inconvenients es podrien solucionar de diferents maneres tot i que incrementaria els costos del projecte. Algunes solucions serien les següents:

- Pel que fa al tema de les forces de pressió que exerceix el mar sobre la estructura el mòdul i també de l'accés només es pot solucionar reforçant l'estructura.
- Amb el tema de la visibilitat del fons marí es podria utilitzar uns focus col·locats al fons marí per il·luminar la zona d'observació.

Claredat de les aigües

Pel que fa a la claredat de les aigües, és a dir, a la absència de partícules en l'aigua del mar és un tema important que cal preveure ja que el que ens interessa es poder veure el fons marí, la fauna i la flora que hi habiten. La claredat i visibilitat va molt lligada a la profunditat ja que ens interessa que la llum arribi mínimament a les zones de observació.

Condicions meteorològiques

S'hauria de trobar una ubicació que no estigues castigada per forts temporals habituals, condicions meteorològics i condicions extremes que poguessin posar en perill constant la estructura tot i que es suposa que hi haurà una seguretat que tindrà en compte aquets fenòmens. Un cop seleccionada la ubicació final, es farà un estudi meteorològic de la zona que contingui un mínim de informació que permeti determinar les condicions meteorològiques bàsiques i amb quina freqüència es produeixen.

Onades i corrents submarines

Un dels punts més importants és trobar una zona d'aigües tranquil·les. Com és obvi la absència de corrents submarines i fort onatge en la zona on es planifica realitzar el projecte és un tema que cal tenir en compte, ja que la força de les onades és el principal fenomen que ataca l'estructura, sobretot en situació de temporal quan la força del seu impacte augmenta considerablement durant un període de temps constant. Per aquest

motiu, es vol realitzar un estudi de l'onatge de la zona on finalment s'esculli emplaçar l'estructura.

Terreny al que s'ha de fixar

El més important del terreny del fons marí es que es pugui fixar i que no hi hagi un gran corriment de partícules que podrien malmetre l'estructura com per exemple rocs o pedres de petites dimensions. La profunditat es una dada important que s'ha de tenir en compte que es parlarà en un punt posterior.

Segons la profunditat el sistema d'emplaçament és més adequat fer-ho amb un o altre sistema. Alguns dels sistemes empleats per realitzar emplaçaments són els següents:

- Base fixa: és el sistema més utilitzat actualment i gairebé únic. En casos de emplaçament com un aerogenerador en que l'altura de la torre fot arribar els 70 metres fora l'aigua, són necessaris 22 metres de torre sota l'aigua i 20 metres més enterrada en el subsòl marí. A més a més s'han de emplaçar com a mínim a 3 km de la costa. En el nostra cas totes aquestes condicions no són tan necessàries ja que en cap moment el mòdul surt de l'aigua i encara menys té aquestes dimensions tant grans.
- Sistema flotant: és un sistema d'emplaçament que està en fase d'estudi, encara que les simulacions realitzades sobre funcionament e impacte ambiental confirmen que seria possible el seu desenvolupament. És molt útil per a profunditats de 20 a 50 metres i consisteix en uns flotadors ancorats mitjançant cables que mantenen l'estructura a la superfície del mar. Aquets cables es fixen a uns blocs de formigó i acer ubicats al fons del mar. En el nostre cas aquest sistema de emplaçament no és viable ja que la nostra estructura no ha de flotar sinó que s'ha de mantenir fixa i submarina. Un altra inconvenient és que no ens interessa treballar a grans profunditats on aquest sistema és idoni.
- Sistema buoying: és un sistema que també es troba en fase d'estudi tot i que no s'han trobat inconvenients tècnics. Consisteix en fixar al fons marí mitjançant cables subjectes a estructures de formigó i acer. Està dissenyat per grans profunditats de entre uns 150 i 700 metres. En el cas de un aerogenerador,

aquest es pot elevar fins a 80 metres per damunt de la secció que serveix com a flotador de la estructura s'ha de submergir fins a uns 100 metres. En resum es tracte d'un sistema de flotació com si es tractés d'una boia que en el nostre cas tampoc és viable.

Resumint, el primer sistema de emplaçament és el més adequat per les característiques de la nostra estructura i no només perquè els altres no siguin viables sinó també per temes de profunditat i dimensions de la estructura.

Temperatures de les aigües

La temperatura de les aigües no és un tema molt important per a la viabilitat del projecte ja que la diferencia entre temperatura de les estació més càlida i més freda no afecta massa al projecte. Es podria considerar la temperatura un tema important si l'increment d'aquesta fos molt gran i això pogués afectar als materials que s'utilitzaran per a la construcció de la estructura externa que està en contacte amb l'aigua.

Fet un resum breu de les condicions que hauria de complir la ubicació on es vol realitzar el emplaçament de l'estructura d'observació submarina podem contemplar la importància i rellevància de cada una d'aquestes condicions.

Per una banda, la proximitat i l'existència de flora i fauna son imprescindibles, és a dir que no es poden ubicar en llocs que no compleixin aquestes condicions.

Per l'altre banda, la profunditat i la claredat són importants però en el cas que fossin una mica desfavorables es podrien admetre si les altres condicions es complissin amb un alt nivell de satisfacció.

Pel que fa a les altres condicions són temes que tot i no ser favorables en la nostre ubicació, si no són amb un grau molt rellevància es poden compensar d'alguna manera ja sigui utilitzant proteccions, materials més resistents o reforçant els mètodes de fixació al fons marí.

3.2. Possibles ubicacions

Com hem vist en el punt anterior és difícil satisfer tots els aspectes a considerar, de manera que hi ha pocs llocs que puguin ser adients per ubicar el projecte. A part del fet que trobar un emplaçament viable es complica, també ho es valorar cada un dels factors, ja que no és gens fàcil trobar informació sobre els punts de la costa catalana.

Després de treballar molt en aquest punt i no aconseguir les dades necessàries, s'ha arribat a la conclusió que una manera més senzilla de buscar un punt de la costa adequat és centrar-se en la cerca de zones on es realitzin activitats que també necessitin les mateixes condicions per poder-se realitzar. Així doncs, s'ha buscat zones es realitzin immersions submarines per a l'exploració de la fauna i flora a la costa catalana. La costa brava és sense cap mena de dubte la zona on aquestes activitats destaquen més, motiu pel qual la recerca de la ubicació s'ha centrat en indrets d'aquesta zona. S'han valorat tots els punts més importants d'immersions de la costa brava i a partir d'aquí s'han escollit tres ubicacions possibles que s'estudiaran amb detall.

En el Annex I es poden trobar un recull d'imatges de cada una de les possibles ubicacions realitzades el dia 22 de març del 2016.

3.2.1. Port Salvi

La Cala de Port Salvi està situada en la península de la punta de Garbí, la que tanca la platja de Sant Feliu de Guíxols per l'extrem Sud-Oest. El litoral de la península es molt abrupte i rocós, la qual cosa fa que sigui inaccessible des de terra excepte en la zona de la cala. Pel que fa a l'exposició als vents, es pot dir que és elevada ja que la península està molt oberta al sud i per aquest motiu rep l'acció de gairebé tots els vents.

L'accés a la cala de Port Salví no és fàcil. Per arribar des de la platja de Sant Feliu de Guíxols, s'ha de seguir el litoral en direcció Garbí fins arribar a la mateixa península on es troba l'entrada de l'Hotel Eden Roc, punt fins el qual es pot accedir amb vehicle. A partir d'aquí baixa caminant uns 5 minuts aproximadament amb un desnivell pronunciat fins a la cala, situada a l'altre banda de l'hotel. Tot i que sembli una zona privada degut a les instal·lacions de l'hotel no ho és.

La cala de Port Salvi es petita, sense gairebé sorra i la poca que hi ha sol estar ocupada pels clients de l'hotel que es troba a la península. La resta de la cala està vorejada per roca, excepte una zona on hi ha una rampa que s'utilitzava antigament per pujar i baixar embarcacions i que actualment es utilitza per banyistes i submarinistes.

A poca distància de la península emergeix de la superfície de l'aigua dos illes rocoses. La més menuda de les dos anomenada roca S'Adolix, les profunditats de la qual són molt interessants des d'un punt de vista d'observació biològica. La Illa de Freu, la més gran, de forma allargada i molt propera a la península no presenta un fons marí amb tanta biodiversitat ni profunditat com l'anteriorment esmentada. A part de les dos illes emergents, també hi ha tres túnels submarins de fàcil accés, els quals són el principal atractiu de la cala i els punts on es troba més vida marina de la zona, tan a dins com al voltant. Aquesta zona es troba entre 25 i 27 metres de profunditat.

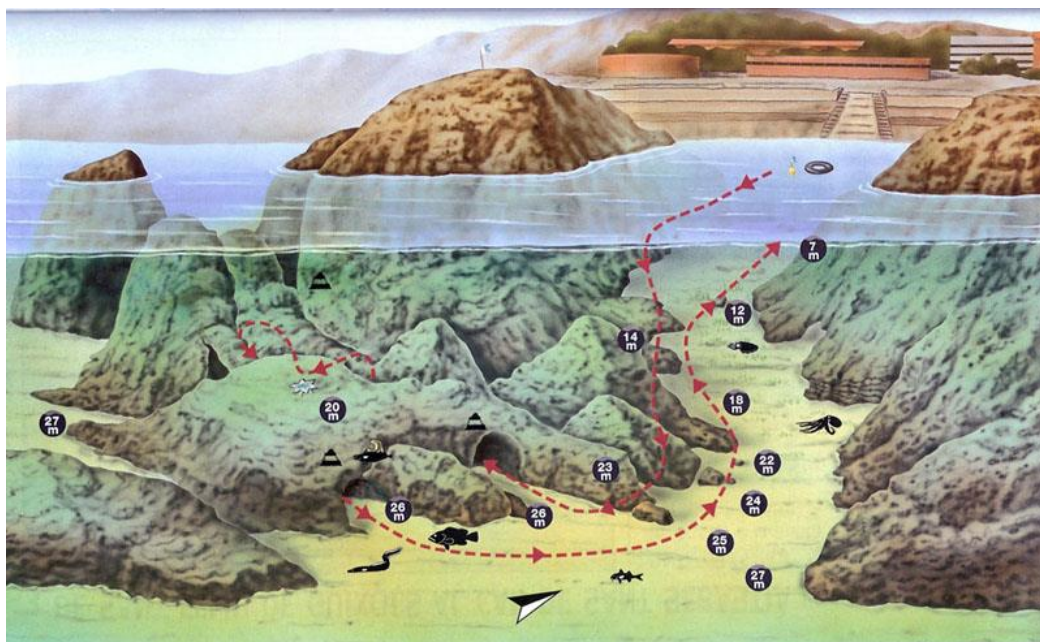


Figura 4 Esquema del fons marí de Port Salvi

El fons marí presenta una àmplia zona entre els dos costats de la cala on es podria realitzar un emplaçament situat a una profunditat de uns 22 metres. Aquest espai està gairebé a l'alçada dels túnels i presenta una superfície arenosa plana. Un altre possible punt és l'altiplà que es troba sobre la zona dels túnels a 20 metres de profunditat. Es tracta d'una superfície rocosa, en la que s'hauria de fer l'emplaçament.

Els habitants d'aquestes aigües depenen de la profunditat. A mesura que ens allunyem de la cala la profunditat va disminuint progressivament fins arribar a la zona dels túnels. A 3 o 4 metres ja podem veure els primers cavallets de mar i a mesura que avancem a 13 metres es veuen pops, sèpies i algun moll real. A la profunditat dels túnels els mers i bròtoles són els inquilins més habituals, juntament amb diverses varietat de crancs i mol·luscs. Al llarg de les parets rocoses d'ambdós costats de la cala abunden les salpes que s'agrupen formant grups densos.

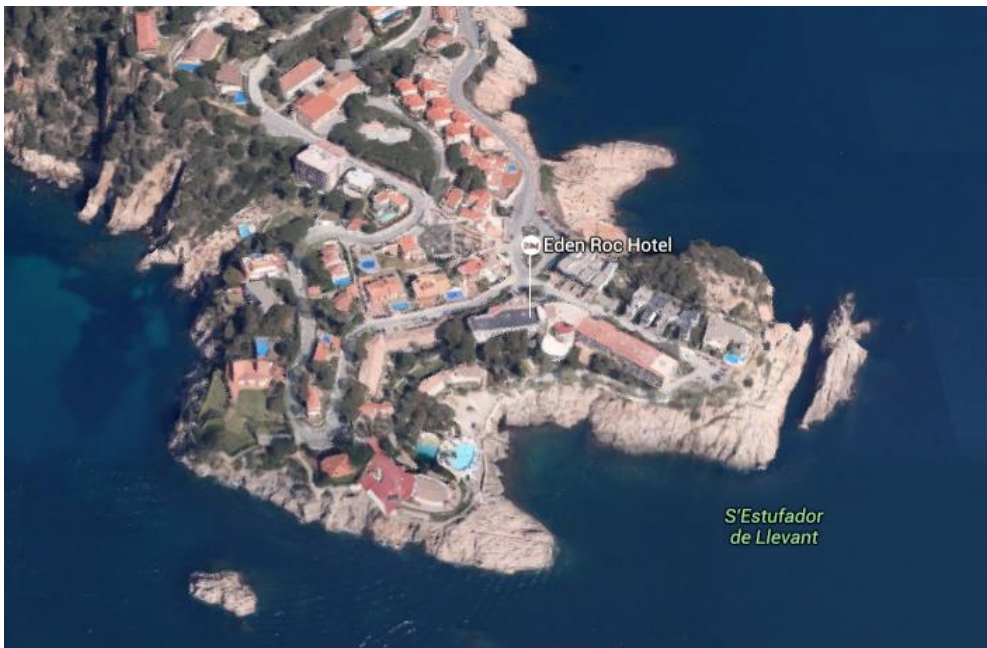


Figura 5 Vista aèria de la costa de Port Salvi

3.2.2. Cala Aiguafreda

La cala d'Aiguafreda és, juntament amb la cala de Sa Tuna, l'altre punt accessible de la costa propera a la població de Begur. Es tracta d'una cala petita, però que no està tan protegida dels vents com l'altre, sinó que es troba més oberta de cara l'acció del temporals. La cala presenta un ambient molt natural i inspira tranquil·litat.

Es pot arribar a la cala sense dificultats per la carretera que baixa des del poble fins a arribar a una esplanada on l'aparcament es gratuït. A partir d'aquí, es camina uns 200 metres fins a la platja. Un cop a la vora del mar dos camins ressegueixen el litoral per cada banda de la cala. El camí en direcció sud és el que comunica amb la cala de Sa

Tuna i el que es dirigeix al nord és on es troba la zona de observació on es vol emplaçar el projecte.

La cala és molt petita, de pedres petites i rodones i sorra gruixuda. Disposa d'una plataforma artificial en la cara nord on es situen els banyistes i que dona lloc a un embarcador. Just al costat de la zona d'aparcament hi ha un restaurant i més endavant un centre de busseig. A part d'aquests serveis, a la cala no existeix més urbanització com en els casos anteriors.

El paisatge submarí de la cala d'Aiguafreda es principalment arenós excepte d'algunes escasses plantes en la part central. Per arribar als 20 metres de profunditat s'ha d'allunyar molt de la costa. Als costats de la cala, sobretot el nord es pot apreciar una gran comunitat fotòfila. Si es descendeix en la profunditat de les aigües les espècies canvien començant per anemones grogues i acabant amb espècies de coralls vermell. Entre les nombroses algues verdes abunden eriçons, pops, morenes, sargs, làbrids i més cap a les àrees rocoses, alguna llagosta i corballs.

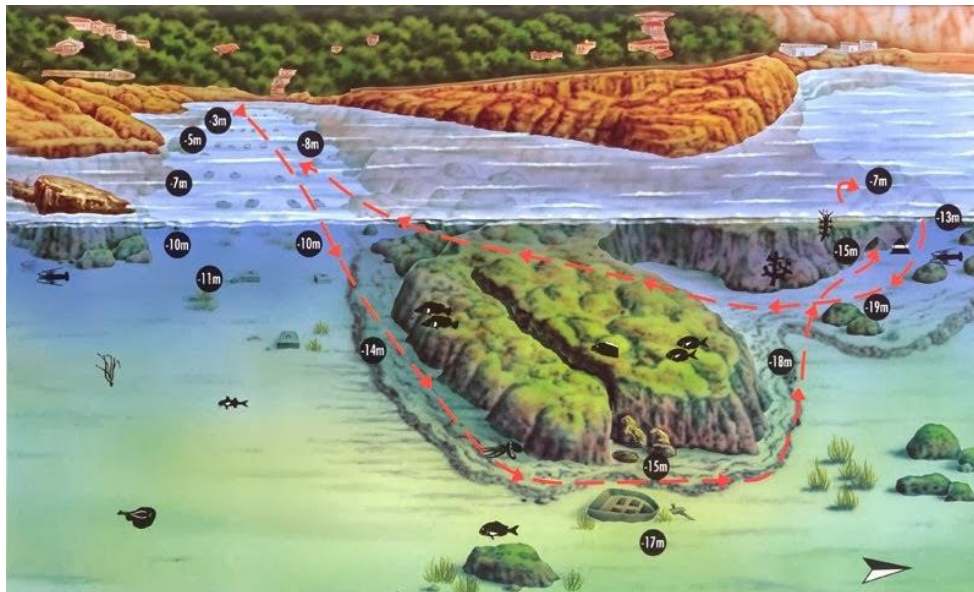


Figura 6 Esquema del fons marí de la Cala d'Aiguafreda

Al litoral del costat nord de la cala està dotat de dos túnels anomenades xemeneies. La entrada del primer d'ells es troba a una profunditat de 14,5 metres i el segon a 13,5 metres. Les seves sortides respectives es troben a 7 i 8,5 metres de profunditat. Aquests esclerxes a la roca són un niu de espècies aquàtiques i hi poden accedir submarinistes.

Per una altra banda, a una profunditat de 17 metres es troben les restes d'una petita embarcació enfonsada que romanen envoltades de vida marina.

El punt idoni per realitzar l'emplaçament del projecte és a una profunditat de entre 18 i 19 metres a pocs metres de la segona xemeneia i l'embarcació que roman en el fons marí. Es troba al lateral nord de la cala, prop del litoral rocós per facilitar l'entrada a l'estructura. L'emplaçament es pretén fer sobre terra arenós per evitar malmetre zones de posidònia.



Figura 7 Vista aèria de la Cala d'Aiguafreda

3.2.3. Platja de Sa Tuna

La Platja de Sa Tuna està situada a la costa de la població de Begur, al Baix Empordà. Es un dels punts més accessibles de la costa de Begur. Es tracta d'una platja molt protegida de tots els vents i que està tancada per llevant per la punta de Es Plom, que actua com un espigó natural. La seva posició li dona un aire de calma i tranquil·litat ja que queda molt resguardada.

L'accés a la platja es relativament senzill. Des de el poble de Begur es pot arribar per carretera fins a la petita urbanització situada a la cala on es pot aparcar. Només cal seguir la carretera que descendeix fins a la platja de Sa Tuna. En estiu l'aparcament és

escàs i a més pagant. Un cop a la platja, es pot seguir un camí de ronda que rodeja el litoral per ambdós costats de la platja. Seguirem el camí en direcció nord que comunica amb la cala d'Aiguafreda, tot i que només cal avançar un centenar de metres per arribar al punt d'observació.

La platja de Sa Tuna és ampla, de sorra gruixuda i pedres petites i rodones. Disposa de un bar, un hostel i un moll en el costat nord per la descarrega de passatgers pels possibles velers que fondegen en ocasions degut a les seves aigües tranquil·les. La urbanització s'estén entre el bosc al llarg de la costa. El litoral que recorre el camí en direcció nord és rocós fins arribar a la cala contigua.

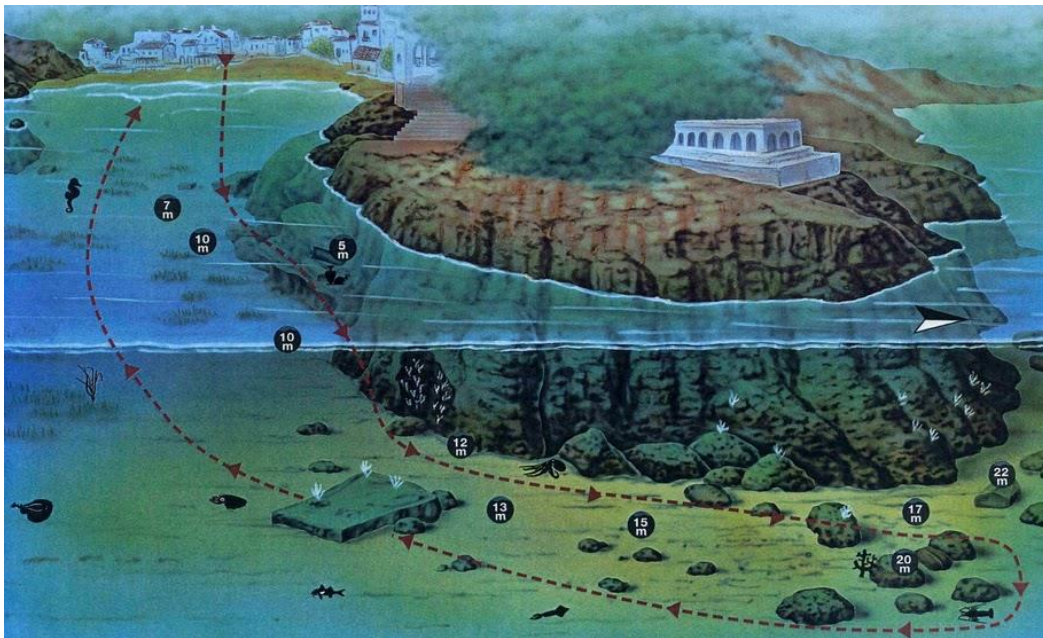


Figura 8 Esquema del fons marí de la Platja de Sa Tuna

El fons marí de la localització està format bàsicament per una gran extensió de sorra excepte algunes taques de posidònia. El perfil submarí descendeix lentament durant els 50 primers metres des de la platja. Fins a aquesta distància de la platja es troba una comunitat de plantes fotòfila i abundants peixos petits. A mesura que ens allunyem progressivament es troben abundants gorgònies blanques i finalment corall vermell a partir de 15 metres en esclètxes i roques aïllades.

El costat nord de la cala és molt més interessant biològicament parlant que la cara que toca a la punta de Es Plom. A part de la gran quantitat de corall també abunden els pops,

sèpies i calamars. A partir dels 15 metres de profunditat es poden començar a veure llagostins, algun moll real, morenes i peixos ralla.

Un possible emplaçament és sens dubte al costat nord de la platja i a una profunditat de entre 15 i 17 metres. La posició seria en una gran extensió de sorra a pocs metres de la roca del litoral, per facilitar l'entrada.



Figura 9 Vista aèria de la Platja de Sa Tuna

3.3. Ubicació seleccionada

Un cop realitzat una breu explicació de cada una de les tres opcions estudiades per emplaçar l'estructura, es consideren els avantatges e inconvenients de cada ubicació, es comparen i es posen en perspectiva per seleccionar el més adequat.

Pel que fa a les condicions climàtiques, les quals engloben la temperatura de les aigües, condicions meteorològiques, onatge, corrents submarines i altres possibles fenòmens que actuen sobre l'estructura, no presenten cap variació significativa entre les tres possibles ubicacions estudiades, ja que les tres estan situades en la mateixa zona del litoral i per tant les condicions ambientals no varien excessivament.

Un punt important que cal destacar és amb quina mesura la zona d'emplaçament queda resguardat de l'acció dels vents per la mateixa forma del litoral. Sense cap mena de dubte, Port Salví és la menys resguardada ja que es troba situada en l'extrem d'una zona rocosa que entre mar endins. Cala Sa Tuna és la més protegida gràcies a la punta de Es Plom que actua com a espigó natural. En un punt entremig d'aquestes dos trobem Aiguafreda.

L'accés als diferents punts de observació és una condició que cal mirar amb atenció ja que es important per facilitar la instal·lació d'un mètode d'entrada a l'estructura. Es un gran punt a favor poder utilitzar el mateix litoral per accedir i no haver de modificar la zona per així reduir l'impacte humà. En aquest tema, la zona de Port Salví no està gens afavorida degut a que hi ha absència de pàrquing i s'hauria de instal·lar una estructura no només d'entrada, sinó també modificar la roca per accedir fins aquesta. Les dos altres ubicacions presenten un camí que ressegueix el litoral per el costat del punt d'observació. En aquest aspecte són pràcticament iguals amb la diferència que Aiguafreda es pot baixar fins al nivell del mar per mitjà d'unes escales, fet que dona molts punts i facilita molt l'accés d'entrada a la estructura.

La profunditat d'emplaçament no és massa important ja que no varia molt entre les diferents possibles ubicacions tal com es pot veure en la taula a continuació:

Ubicació	Port Salví	Cala d'Aiguafreda	Cala de Sa Tuna
Profunditat (m)	22	18-19	15-17

Taula 1 Profunditats de les possibles ubicacions del projecte

La fauna i flora aquàtica de les tres ubicacions que s'estan analitzant és semblant, tot i que cala Aiguafreda predomina més la flora marina per damunt dels dos altres punts.

Per acabar, s'ha de destacar que el terreny on es vol realitzar l'emplaçament en els tres casos és arenós. Això es beneficiós ja que suposa un decreixement del impacte que podria suposar sobre el fons marí el posicionament del projecte.

Després d'analitzar i compara els diferents casos, a primer cop d'ull s'ha arribat a la conclusió que es descarta Port Salví ja que en cap de les condicions és la més adequada. Entre les dos ubicacions de Begur, es pot apreciar que Sa Tuna està més resguardada

dels temporals i que té menys profunditat, però per una altra banda, Aiguafreda té un accés que facilita molt l'emplaçament en la zona i això es un tema primordial. Per aquest motiu, la ubicació final amb la que es treballarà a partir d'aquest punt és la cala d'Aiguafreda, tot i no ser la ubicació més favorable en tots els aspectes.

3.3.1. Dades físiques

La ubicació es troba en una cala situada prop de la població de Begur. Es tracta d'una cala petita amb una platja de 20 metres amb un terreny de sorra gruixuda i pedres arrodonides. Es pot accedir a la zona d'emplaçament per un camí de pedra que ressegueix el litoral en direcció nord durant 180 metres. En la il·lustració que hi ha continuació, queda representat la zona d'emplaçament i el camí per arribar-hi, que ressegueix la costa:



Figura 10 Vista aèria de la posició de la ubicació d'emplaçament

El litoral és totalment rocós i amb la seva forma resguarda la cala, tot i que la estructura queda més exposada a fenòmens climàtics. La costa que envolta la zona d'emplaçament està coberta per vegetació i es poden apreciar poques edificacions. Des del camí d'accés es pot baixar fins a línia de mar per mitjà d'unes escales artificials de pedra creades sobre el mateix terreny rocós del litoral.

3.3.2. Estudi d'onatge

L'onatge és el principal factor que incideix sobre el litoral, i per tant sobre les obres marines, en les quals s'inclou el projecte que es vol realitzar. Per aquest motiu es necessari una caracterització d'aquest fenomen expressada en termes d'alçada d'ona, període i direcció.

La generació de les onades en les costes del Mediterrani són creades per agents externs naturals que actuen sobre les aigües de diferents maneres. El factor principal que estan relacionats amb la generació d'onatge és l'actuació del vent.

La turbulència del vent produeix diferències de pressió que generen petites onades en una superfície d'aigua inicialment en calma. Aquest mateix vent actua sobre aquestes irregularitats generades i crea un increment gradual de la magnitud de les onades. Per una altra banda, també augmenta el gradient de les diferències de pressió. En tot moment, les onades interactuen entre elles i així es produeixen onades més llargues.

Per tant, es pot concloure que la causa més influent de generació d'onatge en el mar és el vent.

3.3.2.1. Factor geogràfic i meteorològic

En l'estudi de l'onatge d'una zona és molt important les condicions geogràfiques i meteorològics, ja que suposen un punt determinant en l'anàlisi de l'onatge. L'àmbit d'estudi sobre el qual es treballa és la costa catalana que queda inclosa en el litoral nord-occidental del Mediterrani.



Figura 11 Mapa de part de les costes banyades pel Mediterrani

Les condicions d'aquesta zona geogràfica ve determinada per regions d'altres i baixes pressions a conseqüència de barreres creades pel relleu del litoral. La diferència de temperatura entre la terra i el mar també condiciona els vents que ataquen el litoral del Mediterrani, així com la presència de les illes Balears, Còrsega, Sardenya i Sicília que afecten principalment els onatges de llevant.

Els vents que predominen en l'àmbit d'estudi es poden diferenciar en dues èpoques de l'any. A l'hivern, entre els mesos d'octubre a maig, associats a la temporada de clima actiu; i a l'estiu, que compren els mesos entre juny i setembre on es mostra una activitat menys activa, més calmada.

3.3.2.2. Metodologia

El mètode empleat per a la realització de l'estudi de l'onatge en el litoral nord-occidental del Mediterrani es basa principalment en el anàlisi estadístic acumulat per les dades obtingudes de les boies de la XIOM (xarxa d'instrumentació oceanogràfica i meteorològica). L'estudi es centrarà en les dades que provenen de la boia del Cap de Tortosa, les característiques de la qual són les descrites a continuació:

Característiques	
Localització	Cap de Tortosa
Tipus de boia	Directional Datawell Waverider
Coordenades	40° 43.37' N 00° 58.99' E
Fondària	60 m
Distància a la costa	5 min
Paràmetres de mesura	Alçada, període i direcció
Punt de recepció	Port de l'Ametlla de Mar
Dades disponibles des de	1990
Estat actual	En servei

Taula 2 Característiques de la boia del Cap de Tortosa

La boia del Cap de Tortosa és direccional i els nombrosos anys que porta en funcionament s'han pogut fer estudis de la direccionalitat dels temporals en les costes catalanes. En l'estudi es farà referència a dos anàlisis realitzats mitjançant dos softwares diferents per determinar la direcció dels vents, així poder contrastar les dades obtingudes i determinar més justificadament quins són els resultats. La informació sobre l'alçada i el període de les onades també són captades per les boies, de manera que amb les dades obtingudes per el registre de la boia del Cap de Tortosa ens permet realitzar un estudi de totes les característiques que ens interessin.

Els programes utilitzats per a l'obtenció de dades són AnaTorBo i Wafo. Cal tenir present que el programa AnaTorBo ha identificat 390 temporals, i per tant, l'anàlisi de les direccions principals es realitzarà utilitzant tots aquests temporals. En canvi, el programa Wafo treballarà amb els 150 temporals resultants del processament mitjançant el programa EspecTor.

Els punts principals d'estudi que s'han tractat són els següents:

- Probabilitats de temporal
- Direccionalitat de temporal
- Alçada d'onatge en temporal

3.3.2.6. Conclusions

A continuació es presentaran, de manera clara i concisa, les conclusions que s'han extret al llarg de l'estudi d'onatge que es pot trobar el Annex II. Aquestes conclusions ens serviran no només com a informació teòrica sinó també per realitzar futurs càlculs necessaris per a tirar endavant amb el projecte que s'està plantejant. Són les següents:

- La generació de temporals és un fenomen que no segueix un paràmetre constant, sinó que esdevé de manera aleatòria al llarg dels anys. És a dir, que es possible que un any hi hagi una gran quantitat de temporals que ataquin el litoral nord-occidental del Mediterrani i a l'any següent disminueixi aquesta freqüència.
- La situació de temporal només es considera un 12,4% del temps, de manera que els temporals no són un problema constant durant una gran quantitat de temps.
- L'alçada d'ona mitjana significant no arriba a considerar-se temporal, és a dir que la major part del temps el mar es considera en calma.
- Tot i que la freqüència de temporals pot variar molt d'un any a un altre, està estadísticament estudiat que entre els mesos de octubre a abril i ha una freqüència molt més elevada i intensa en el registre de temporals.
- La direccionalitat prioritària dels temporals en el litoral català és de llevant i mestral amb diferència, seguit per migjorn. Les altres possibles direccions es poden descartar per la presència gairebé nul·la de temporals.
- En situació de temporal, l'alçada mitjana d'onatge significant és gairebé de 2 metres. Cal remarcar que la situació de temporal té una probabilitat d'esdevenir de un 12,4% del temps.
- Tot i que l'alçada mitjana en situació de temporal és de 197 cm, es poden donar temporals amb alçades més altes, fins a gairebé 6 metres encara que augmenta la improbabilitat exponencialment a mesura que ho fa l'alçada.

3.3.3. Estudi meteorològic

Les condicions climàtiques és un punt a tenir en compte quan es vol realitzar un projecte d'aquesta magnitud. Per aquest motiu es realitzarà un estudi dels fenòmens

meteorològics que poden afectar a l'estructura en un grau més o menys elevat i de diferents maneres.

La informació necessària per realitzar l'anàlisi de les condicions significants és proporcionada per la Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). Aquest grup ens permet l'accés a dades reals enregistrades dels últims 75 anys, però per facilitar l'anàlisi de dades ens basarem en un període de 29 anys (1981-2010), les dades del qual es poden trobar en un document d'accés públic denominada "Guía resumida del clima en España 1981-2010".

Les dades que proporciona la AEMET no abasten tot el territori, sinó que es centren en les ciutats més grans del territori estatal. La població de Begur no es troba entre elles, i per tant, es treballarà amb les dades proporcionades de la localització més pròxima que en aquest cas és Girona.

Aquest registre de dades és mensual i anual. Es realitzarà un estudi anual per algunes característiques i en d'altres serà un anàlisi mensual. Els fenòmens meteorològics analitzats per a la zona concretada són els següents:

- Temperatura
- Precipitacions
- Humitat relativa
- Probabilitat de situació climàtica anual
- Dades extremes absolutes

3.3.3.6. Conclusions

A continuació s'exposaran les conclusions observades durant l'estudi meteorològic de la zona prèviament realitzat, que es troba en l'Annex III. La finalitat d'aquest punt consisteix en la realització d'un resum de les conclusions extretes durant l'anàlisi de cada part, amb la informació de les quals es pretén entendre quines són les condicions de fenòmens naturals el projecte esterà sotmès. Les conclusions extretes al llarg de l'estudi meteorològic són les següents:

- La temperatura mitjana durant l'any està sobre els 15°C i com és obvi en el clima mediterrani, les temperatures augmentes considerablement en l'època

d'estiu i disminueixen en els mesos d'hivern. Tot i que la temperatura màxima mitjana està en els 21°C, s'han arribat a enregistrar temperatures màximes absolutes de 41°C.

- Pel que fa a les precipitacions també estan repartits durant l'any d'acord amb el clima mediterrani. Les mitjanes més altes de precipitacions es troben en el mes d'octubre amb 88 l/m². Tot i així, hi ha dades de precipitacions diàries que superen per molt les dades mitjanes mensuals, és a dir, que en un dia concret ha arribat a ploure més que el mes més plujós de l'any.
- Es pot destacar la zona amb una mitjana de humitat relativa durant tot l'any bastant elevada, sense destacar cap època en concret.
- Pel que fa a la probabilitat de condicions meteorològica destaca els dies assolellats, seguit de precipitacions.
- Les ratxes màximes de vent que han estat enregistrades arriben als 110km/h.
- Cada fenomen meteorològic té la seva època de l'any més activa. Els fenòmens extrems solen generar-se en aquestes èpoques actives de l'any però cap d'ells segueix un patró, sinó que es tracten de fenòmens totalment aleatoris pel que fa a la seva freqüència.

4. Premisses de disseny general

4.1. Idea del projecte

Per complir amb l'objectiu del projecte proposat anteriorment s'ha conceptualitzat i instaurat uns fonaments que pretenen definir una idea de com s'ha de dissenyar l'estructura que es vol emplaçar al fons marí.

El projecte que es vol desenvolupar ve dotat per un caràcter centralitzat, és a dir que té un focus principal. Aquest punt el trobarem al centre de la zona d'observació de l'estructura i des del qual es podrà observar en totes les direccions i on es realitzaran totes les activitats per el qual ha sigut dissenyat.

L'eix de la proposta arquitectònica és la biodiversitat de l'entorn marí. El punt on es concentra és a la roca, motiu per el qual el focus de la idea, és a dir, la zona d'observació estarà posicionada tan a prop com sigui possible de les roques del litoral.

La idea de la funcionalitat d'observació, és que sigui lliure, és a dir que no depengui de cap ruta de visita. Es vol crear un ambient on els usuaris puguin disposar de una lliure circulació per la sala d'observació.

Una de les sensacions que es busca amb la instal·lació del projecte al mar és la de fer creure al observador que es troba entre la biodiversitat del medi. Es pretén simular la sensació de flotació en les aigües i de mesclar-se amb el medi ambient.

Es vol crear una estructura que no desentoni amb el contorn natural en el que es vol instal·lar, és a dir que no simbolitzi un impacte visual molt gran per l'entorn. Per aconseguir una estructura d'aquestes dimensions que comparteixi aquesta idea es pot utilitzar acabats que donin una imatge més natural i disminueixin l'impacte humà.

L'últim punt a tenir en compte és que l'edificació tingui en compte el entorn natural i que a poder ser ajudi a preservar i augmentar la vida en les aigües. Per altre banda amb la creació de l'observatori no es pretén suprimir les immersions, sinó més aviat facilitar un accés per els bussejadors a les zones d'immersió properes.

4.2. Predisseny provisional

En aquest apartat podem veure la forma que tindrà el projecte i així crear una idea de com serà l'encaixament de les diferents parts de l'estructura, l'accés al mòdul, el descens a la zona d'observació, el emplaçament, i les dimensions aproximades de l'estructura.

Inicialment, s'han realitzat tres idees de mòdul principal amb el seu respectiu accés exterior. Cada un dels prototips dissenyats s'han valorat un a un i contrastat amb les altres idees, amb la finalitat de escollir el més adequat i millorar-lo en tots els aspectes que siguin possibles.

El primer disseny consisteix en un mòdul d'observació en forma de mitja esfera que esta subjecte al fons marí per mitjà de cinc suports. Un dels punts a favor del primer model és el punt d'entrada que està situat directament damunt el litoral. El descens a la zona d'observació és única, per escales i de forma tubular. El passadís de descens està subjecte el fons marí per grans columnes. En la següent imatge es presenta la forma que aquest tindria:

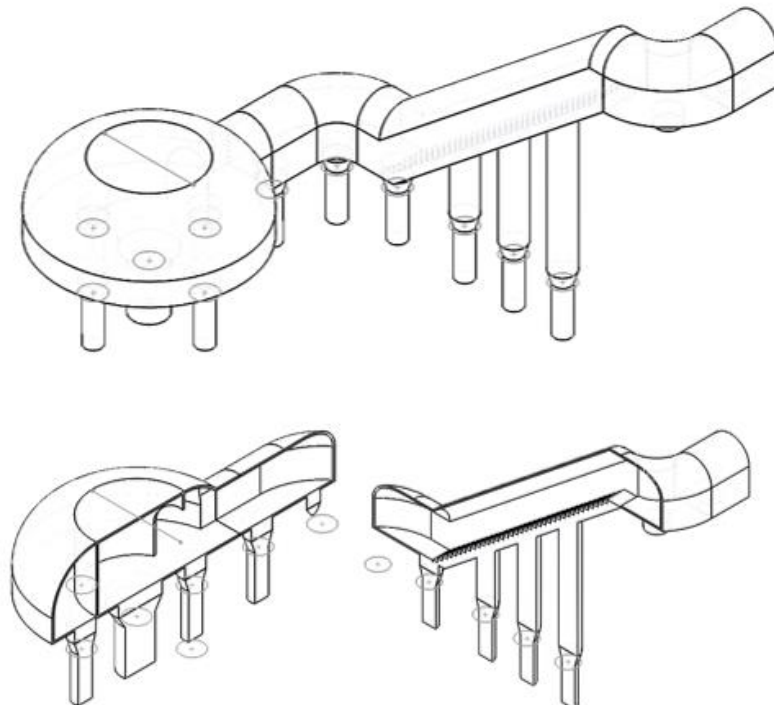


Figura 12 Esquema del primer disseny de formes de la plataforma

El segon disseny és el més diferents dels tres. La zona d'observació és un passadís tubular en forma de "U". La zona de descens és igual que el primer model, tubular, amb escales, però presenta una entrada i una sortida. La forma és allargada, la qual es pot apreciar en la següent imatge:

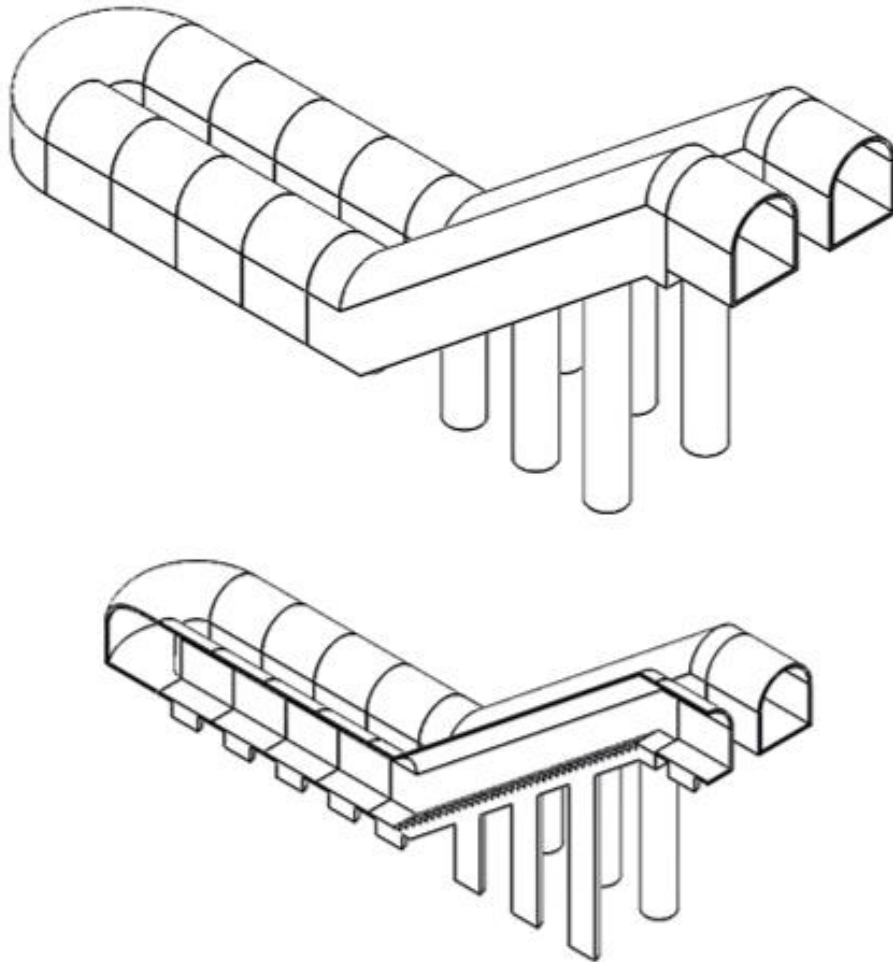


Figura 13 Esquema del segon disseny de formes de la plataforma

El tercer model presenta una zona d'observació igual al primer però és completament diferent en la part que comunica l'exterior amb la zona d'observació. El descens a la zona d'observació és completament vertical a través d'una zona tubular i es pot accedir per mitjà d'un ascensor o escales circulars que baixen al voltant d'aquest. El punt d'accés que surt a l'exterior comunica amb el litoral a través d'una passarel·la. En el esbós següent queda representada la idea del tercer model:

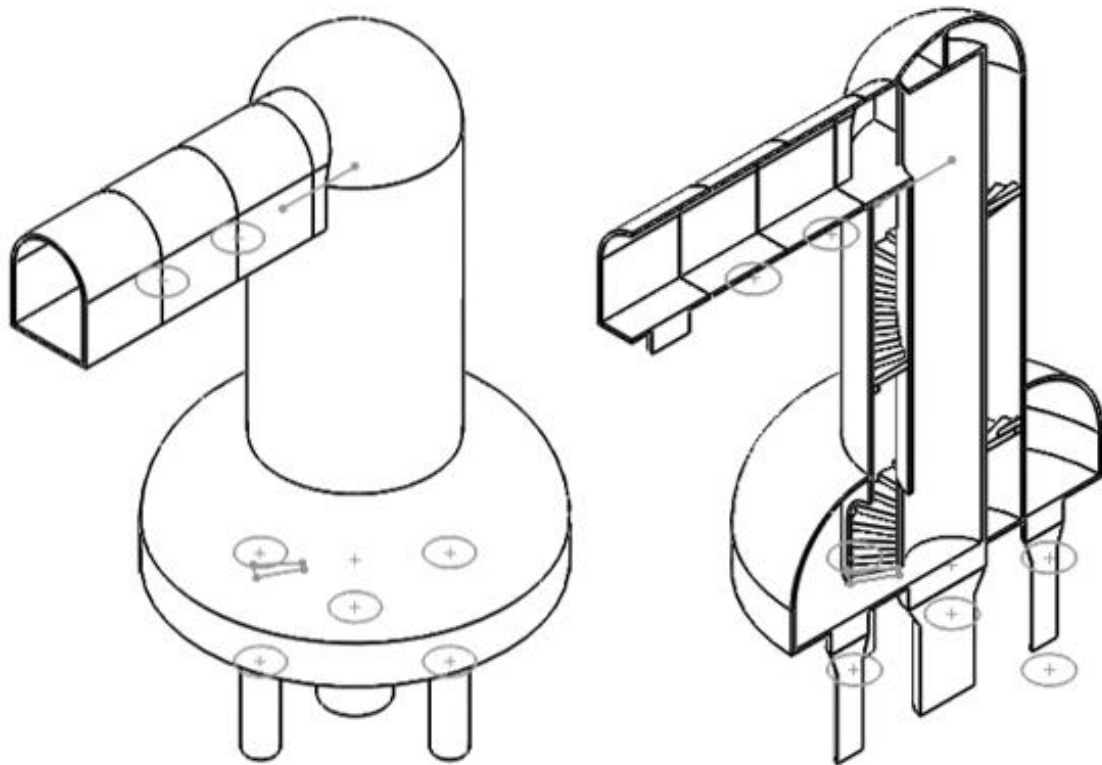


Figura 14 Esquema del tercer disseny de formes de la plataforma

Finalment s'ha arribat a la decisió de agafar el tercer disseny. En primer lloc, aquest és el model que satisfà amb més amplitud la idea general del projecte tot i tenir alguns inconvenients que els altres no tenen. És el model amb major volum dels tres, i que per tant necessitarem més llast per fixar-lo al fons marí, però s'han valorat altres punts més importants. Un dels factors que s'ha valorat per escollir el prototip sobre el qual treballarem és la forma d'accedir des de la superfície fins a la zona d'observació. A més a més, l'estructura d'aquest compagina amb la plataforma d'accés exterior que s'ha planejat construir.

Quan es parla de l'estructura en general, aquesta inclou no només el mòdul habitable d'observació, sinó també tot el que s'ha de realitzar que acompanya a la zona d'observació. Per tant l'estructura la podem dividir en les parts següents:

- Mòdul principal
- Plataforma d'accés

Cada una de les parts consta de diferents zones que es descriuran posteriorment amb deteniment.

Les dos parts de l'estructura estran fixes una amb l'altre de manera que tot en conjunt serà un edificació massissa. Per aquest motiu totes les parts han de encaixar perfectament les unes amb les altres.

Tota la estructura és fixa i un cop instal·lada no es pot extreure a la superfície, excepte la entrada i la plataforma d'accés que ja són visibles. El mòdul principal roman sota l'aigua i en cas de succeir algun problema o averia que necessiti reparació en terra serà un gran problema que ocasionaria una repercussió econòmica important. Per aquest motiu es dotarà l'estructura d'un marge de seguretat més gran que el habitual.

4.2.1. Definició inicials de l'estructura

Per realitzar els primers càlculs aproximats de l'estructura en general, s'ha utilitzat el prototip inicial dissenyat amb SolidWorks (programa 3D). Aquest prototip inicial és només un model 3D per visualitzar el que serà finalment el projecte. El model no inclou:

- Dimensions exactes finals
- Materials
- Gruixos de parets
- Acabats exteriors
- Acabats interiors

L'estructura del mòdul principal consisteix en un espai tancat que es troba submergit parcialment, però en un alt percentatge sota l'aigua. El mòdul principal té una forma cilíndrica en la totalitat de l'estructura, però amb un radi superior en la zona d'observació. La forma cilíndrica acaba arrodonida tan en la zona d'observació com en la de descens.

Unes dades imprescindibles per a comprendre quines dimensions tindrà l'estructura del projecte són el radi de cada una de les part ja que es tracta de formes cilíndriques i l'altura de les parts de cada una d'elles.

Altura i radi			
Mòdul principal	Zona d'observació	3,5 m	4 m
	Zona de descens	12,5 m	2 m
	Zona a l'exterior	4 m	2 m
	Unió mòdul - llast	1 m	-
	Llast	5 m	-

Taula 3 Dimensions inicials generals de la plataforma

Per entendre de manera més visual i comprendre exactament com serà l'estructura es disposa de plànols i imatges dels primers esbossos del projecte realitzats en *SolidWorks* en el Annex IV.

5. Materials

Els materials a escollir per emprendre un projecte d'aquestes dimensions no és un tema que es pugui prendre a la lleugera. És molt important estudiar els materials que son compatibles amb les característiques de l'estructura. Els materials que s'utilitzen en construccions d'estructures submergibles i que, a més a més, estan dissenyats per a la circulació de persones han de tenir unes condicions molt específiques.

L'estructura ha d'estar feta d'uns materials amb alta resistència per suportar les tensions de compressió creada per la força hidrostàtica. Per una altra banda el material ha de tenir un mòdul de Young elevat per tenir les deformacions mínimes possibles. També cal tenir present que està en contacte amb l'aigua del mar, així que el material ha de ser resistent a la corrosió.

Algunes parts del projecte també necessiten la propietat de transparència com és el cas de la mitja cúpula, ja que és la zona d'observació.

Els materials que s'estudiaran a continuació estan extrets d'un estudi realitzat en un projecte de fi de grau que assegura ser els més utilitzats citats en la normativa ABS per construcció de artefactes submergibles. Es pot trobar la referència d'aquest projecte en la bibliografia, el qual pertany a Joel Jurado Granados.

Per una altra banda, s'han verificat les propietats de tots els materials exposats en aquest projecte amb el programa *Ces EDUPack* amb l'objectiu d'assegurar que poden assolir les forces exteriors que ataquen el projecte.

5.1. Estructura

Els materials més utilitzats per a la fabricació de les estructures d'artefactes submergibles, ja siguin submarins o sistemes off-shore, són els acers i els aliatges de titani. Al llarg de la història de la construcció naval s'han desenvolupat materials cada cop amb les propietats més adequades.

Actualment, els acers més utilitzats citats en la ABS per a la construcció d'artefactes submergibles són els següents:

- EH-36
- HY-80
- HY-100

A continuació es presenta una breu explicació de cada un dels materials esmentats.

5.1.1. EH-36

El acer EH-36 no es tracta d'un acer militar o d'alta resistència com els dos altres que s'estudiaran posteriorment. Els seus principals avantatges són la seva fàcil subministració i el seu cost relativament baix, motiu per el qual és un dels més utilitzats per a la fabricació d'estructures navals. Per una altra banda, no requereix processos especials per a soldar, i per tant suposa un abaratiment de la fabricació i producció amb aquest acer.

El seu límit elàstic es menor a 351MPa, especialment catalogat per aquesta característica com un acer diferent. No es troba dins els acers d'alta resistència però tampoc se'l classifica com a un acer ordinari.

Com a conclusió, gràcies a les seves característiques i al seu cost relativament baix, es propens a ser utilitzat per estructures que necessitin certa resistència. És comú utilitzar el EH-36 per submergibles que arribin a cotes de 0 a 600 metres. En cas que l'estructura requereixi una gran quantitat de material es passa utilitzar acers més resistents, ja que l'artefacte seria molt voluminós i sobretot molt pesat. Amb un acer d'alta resistència es poden assolir les mateixes característiques amb menys material.

A continuació es presenten els seus principals propietats mecàniques:

Propietats mecàniques	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	E (MPa)	Elongation (%)	Weldability	P (kg/m3)
Valor	351	490	2,05+E05	20	Normal	7,860

Taula 4 Propietats mecàniques del EH-36

5.1.2. HY-80

L'acer HY-80 és el primer acer de alta resistència. El seu límit elàstic és sempre superior a 552MPa. Fabricat per a fins militars i específicament per a la construcció de submarins, aquest material presenta una gran relació pes/resistència la qual cosa posa remei als punts dèbils del EH-36 presentat anteriorment. Aquesta característica fa possible unes resistències elevades amb menors espessors d'acer, perfecte per grans estructures ja que s'aconsegueix que siguin més lleugeres.

Els principals inconvenients d'aquest acer és el cost més elevat i la subministració del material. També cal destacar que pel que fa a la soldabilitat s'han de seguir processos especials i com a conseqüència s'augmenten els costos de fabricació del projecte

És comú l'ús d'aquest acer per a submergibles que arriben grans cotes de profunditat, entre 600 i 2500 m i altres estructures que necessitin alta resistència.

Les propietats més importants es poden veure a la següent taula:

Propietats mecàniques	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	E (MPa)	Elongation (%)	Weldability	P (kg/m3)
Valor	552	621	2,06+E05	20	Especial	7,870

Taula 5 Propietats mecàniques del HY-80

5.1.3. HY-100

El HY-100, també es tracta d'un acer d'origen militar igual que el presentat anteriorment. Aquest es va fabricar més tard que el HY-80 i es bàsicament una millora del seu antecessor. És molt similar, però aquest presenta una major relació resistència pes i un límit elàstic major.

Igual que en l'altre acer d'origen militar, la seva alta resistència al procés tèrmic amb el que es va fabricar més que a la seva composició química. Els inconvenients del material són els mateixos que el EH-80, una difícil obtenció de subministraments i el seu alt cost.

S'acostuma a utilitzar per a la construcció de submarins militars per a altes profunditats fins a 4000 metres.

Les propietats mecàniques es citen a continuació:

Propietats mecàniques	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	E (MPa)	Elongation (%)	Weldability	P (kg/m3)
Valor	690	759	2,05+E05	18	Especial	7,870

Taula 6 Propietats mecàniques del HY-100

5.1.4. Aliatge de titani

Els aliatges de titani es va començar a utilitzar per els soviètics per a fins militars. Tenen una gran relació resistència/densitat i bona resistència a la corrosió. Aporta una vida útil molt alta i gran fiabilitat de manera que és utilitzat per estructures submarines que poden arribar fins a 9000 metres de profunditat.

Els seus inconvenients són els mateixos que els acers militars exposats anteriorment. Aquest material és utilitzat per tipus d'estructures que necessiten resistir cotes de profunditat molt altes i per tant, en aquest projecte no és necessari aquest tipus de material.

Les propietats mecàniques i la composició s'ensenyen a continuació:

Propietats mecàniques	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	E (MPa)	Elongation (%)	Weldability	P (kg/m3)
Valor	828	897	1,07+E05	12	Especial	4,500

Taula 7 Propietats mecàniques dels aliatges de titani

5.2. Cúpula transparent

La zona de observació del mòdul, com resulta obvi, necessita esta feta d'un material que ha de complir una propietat específica important que és la transparència.

El material més obvi és el vidre però, a més a més, ha de seguir tenint les propietats per resistir les forces anteriorment mencionades. El material que s'adapta a les característiques demandades de l'estructura és el metacrilat o el policarbonat. Tot i així, només s'exposaran les característiques del vidre i el metacrilat, degut a que el policarbonat queda descartat d'entrada perquè no ofereix una transparència òptica tan bona com els dos anteriors. Encara que presenta punts positius com la seva resistència als impactes, en aquest cas no es tan important com la característica òptica que es necessita per a la funcionalitat del projecte.

5.2.1. Vidre

El vidre correspon a un grup de ceràmiques. Els principals factors que el fan optar com a un possible candidat al material utilitzat per a la cúpula són la transparència òptica, la resistència i la seva facilitat de fabricació.

El vidre és comunament utilitzat en l'arquitectura, tan que és difícil imaginar-se una estructura habitable sense vidre. En l'actualitat hi ha vidres de 6 mm de gruix, totalment incolors, que permeten filtrar fins al 70% de la radiació infraroja i el 99,5% de la ultraviolada; o vidres de 12 mm que detenen un projectil calibre 9mm. La conclusió és que es poden fabricar diferents tipus de vidre cadascun amb les seves qualitats que depenen de les prestacions exigides per al projecte.

El vidre és molt resistent però també fràgil i perillós en cas de ruptura. Per aquest motiu en casos de projectes en que es necessita un vidre laminat o també anomenat de seguretat. El vidre laminat sol esmicolar com a conseqüència d'un impacte molt fort, però segueix complint la seva funció de tancament, sostingut per la làmina de PVC.

Els inconvenients del vidre és el seu alt cost en cas de produccions de gran espessors i propietats especials.

5.2.2. Metacrilat

El polimetilmetacrilat (PMMA) o també comunament anomenat metacrilat és un plàstic industrial. El PMMA és un material resistent, altament transparent (sobre un 93%), amb una excel·lent resistència a la radiació ultraviolada i a les condicions en exterior. El

metacrilat és entre 10 i 20 vegades més resistent al impacte que el vidre i no s'oxida amb l'aigua del mar.

L'origen del seu ús ve per la recerca d'un material que substituís en els submergibles al vidre, ja que aquest era difícil de mecanitzar, instal·lar i reparar, a part de les conseqüències desastroses i òbvies d'un xoc contra el vidre per una roca o sortint. Per aquests motius es considerat la millor opció, a més de per la seva facilitat de fabricació i la seva predictibilitat de fallada dels components.

A continuació s'especifiquen les seves propietats mecàniques:

Propietats mecàniques	Valor
Modulus of Elasticity (kg/cm²)	31x10 ³
Tensile Strength (kg/cm²)	759
Flexural Strength (kg/cm²)	1123
Compressive Strength (yield) (kg/cm²)	1230
Compressive Deformation	≤0,85%
Shear Ultimate Strength (kg/cm²)	703
Elongation at Rupture	4,0%

Taula 8 Propietats mecàniques del Metacrilat

5.3. Elecció del material de fabricació

Un cop realitzada la busca dels possibles materials més adequats per a la fabricació del projecte s'ha de decidir raonadament quin és el escollit per a cada una de les dos parts de l'estructura que s'han diferenciat anteriorment.

5.3.1. Elecció del material de les parts estructurals

Després d'estudiar les característiques dels materials presentats en el punt anterior s'ha decidit que en aquest projecte s'optarà per el acer EH-36. Els motius per els quals s'ha arribat a tal decisió són el següents:

- Mirant els diferents acers es pot veure que cada un d'ells pot resistir cotes de profunditat molt elevades i per tant poden resistir elevades pressions. Aquestes característiques fan encarir el cost del material. Les cotes en les que s'establirà l'estructura no superen els 25 metres de profunditat, la qual cosa comporta unes pressions i tensions poc elevades contra l'estructura. Les forces que haurà de suportar el material no justifiquen l'ús de acers militars com el HY-80 o HY-100 ja que pujarien innecessàriament el cost del projecte.
- Un altra raó per el qual s'ha escollit el EH-36 és la seva major disponibilitat en el mercat comparat amb les altres possibilitats.
- El cost dels acers militars és entre tres i quatre vegades més car que els acers normals de ús naval. Tot i que els espessors i el pes de la part estructural de l'estructura podria arribar a ser un 35% inferior si s'utilitzessin acers militars, no compensa el cost.
- L'últim punt a favor del material escollit és que com s'ha especificat en les característiques, aquest no necessita cap procés especial per a la soldadura, al contrari que els altres i per tan abarateix el cost de la fabricació.

La soldadura que s'empra per unir aquestes planxes d'acer és d'acer del tipus AWS A5.5E-118M1 o del tipus AWS E 8018-C3, ambdues s'usen en arc manual, és a dir, es solda manualment, però en terra, abans de submergir l'estructura.

5.3.2. Elecció del material de la cúpula transparent

En la decisió del material per a la fabricació de la cúpula no hi havia massa a valorar. Les possibilitats en el mercat de materials amb un grau de transparència elevat i amb unes característiques mecàniques acceptables per al disseny del projecte són molt escasses.

Tots els antecedents de submergibles a aquestes profunditats utilitzen el metacrilat com a material per a superfícies transparents. Tot i així també s'ha valorat l'ús del vidre en grans espessors o diferents capes per a l'augment de la seva resistència però s'ha acabat decantant la decisió final per la opció més lògica, fàcil, econòmica i segura.

6. Càrregues mecàniques

En aquest apartat es consideren totes les càrregues mecàniques que ha de suportar la estructura, tan la part submergida com l'exterior. Les forces que actuen sobre l'estructura són ocasionades majoritàriament per el medi en el que es troba, és a dir, el mar. Les dues principals que s'han de destacar són l'impacte repetitiu de les onades sobre l'estructura i la pressió hidrostàtica que actua sobre la superfície d'aquesta pel fet de trobar-se a certa profunditat.

El càlcul d'aquestes forces és imprescindible per determinar la viabilitat del projecte, ja que si no es poden aguantar tals forces no es podrà seguir amb el disseny de l'estructura. Al saber les forces que s'han de vèncer i sempre deixant un marge ampli de seguretat es podrà començar a dissenyar l'estructura definitiva i a pensar en quins espessors de material es pot treballar per poder aguantar les condicions que l'envolten.

Els càlculs de forces es poden apreciar en el Annex IV.

6.1. Pressió hidrostàtica

Els fluids exerceixen una força sobre qualsevol cos submergit en el seu interior, i aquesta força s'exerceix en totes direccions perpendicular al cos i és més gran a més profunditat. En conseqüència, qualsevol cos introduït en un fluid estarà sotmès a una pressió que dependrà de la força que exerceix el fluid sobre la superfície del cos. Aquesta pressió es denomina hidrostàtica.

Equació 1 Pressió hidrostàtica

$$P = d \cdot g \cdot h$$

$$P_{h(17m)} = 171598 \text{ Pa}$$

$$P_{h(12,5m)} = 126175 \text{ Pa}$$

6.2. Impacte de les onades

Les onades són moviments ondulatoris, oscil·lacions periòdiques de la superfície del mar, formades per crestes i depressions que es desplacen horitzontalment. La força

d'impacte d'aquestes depèn de diversos factors, molts dels quals tenen a veure amb les característiques d'aquestes. Les característiques principals de les onades són les següents:

- Longitud d'ona (L): és la distància horitzontal entre dues crestes o dues depressions successives.
- Període (T): és el temps, en segons, entre el pas de dues crestes successives per un mateix punt.
- Alçada (H): distància entre la cresta de l'onada i el nivell mitjà del mar.
- Pendent: relació entre l'altura i la longitud d'ona (H / L).
- Amplitud (A): distància entre la cresta i la vall de l'onada.
- Velocitat de propagació: $V = \text{Longitud d'ona} / \text{Període}$

La força que interessa calcular és l'impacte constant de les onades contra un sòlid, en aquest cas l'estructura. Per determinar els valors d'aquesta força són necessàries les dades obtingudes de l'estudi de l'onatge prèviament realitzat i el coneixement de les característiques de les onades explicats en aquest mateix apartat.

6.2.1. Valor de les forces

El mètode de càlcul de la força produïda per l'impacte d'una onada es base en experiments a gran escala sobre piles esveltes. La distribució de la càrrega en el temps i l'espai és donada pel model teòric 3D-impact. A partir d'aquí s'han extret formules teòriques, creades per aplicar en torres de suport de turbines eòliques sotmeses a la fractura de les ones.

Aquestes formules teòriques només es poden aplicar sobre estructures cilíndriques que estiguin dins dels marges de forma. En aquest cas no interessa si l'estructura és esvelta en si per la forma que presenta, sinó si ho es respecte la ona que incideix contra ella. Perquè es consideri dins els paràmetres apropiats, el diàmetre sobre el qual impacta ha de ser inferior a 0,05 vegades la longitud d'ona.

Degut a que la forma i mides del diàmetre de l'estructura del projecte són similars a la de l'objecte per el qual es van crear aquest mètode de càlcul, es pot considerar com a

vàlides per a determinar la força impactant en aquest cas. Per tant, la fórmula que s'utilitzarà per a tal càlcul és la següent (Wienke i Oumeraci 2004):

Equació 2 Força d'impacte (Equació de Wienke i Oumeraci)

$$f = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R \cdot C^2$$

Utilitzant aquesta equació amb un radi de 2 metres i una velocitat de propagació de 11,7 m/s, és a dir la velocitat per a una ona equivalent a la més alta enregistrada per la boia del cap de Tortosa. Per tant, la força màxima que podria arribar a impactar és de:

$$f_{max} = 751,06 \text{ kN/m}^2$$

Per una altra banda, si considerem l'alçada d'ona significant mitjana en situació de temporal la força amb la qual es fractura l'ona a la superfície de l'estructura, s'utilitza una velocitat de propagació d'ona de 7,8 m/s. En aquest cas la força impactant és la següent:

$$f_0 = 248,67 \text{ kN/m}^2$$

6.2.2. Zona d'impacte

L'impacte d'una ona trencant en un cilindre vertical comença en un punt en la línia frontal del cilindre i s'estén radialment i tangencialment a la superfície del cilindre. Simplificant, la força de l'impacte afecta a una superfície, i no pas a un punt. Aquesta àrea ve determinada per un factor que depèn de l'elevació màxima de l'onada (η) d'última hora i el factor de la cresta (λ), amb un valor de 0,46 (trencament *plunging*). El marge d'alçada entre els quals impacte l'ona es calcula amb la fórmula i pren els valors següents segons l'alçada d'ona:

Equació 3 Zona d'impacte

$$\text{Zona d'impacte} = \lambda \cdot \eta ; \eta = H \cdot 0,5$$

$$\text{Zona d'impacte } H_{max} = 1,37 \text{ m}$$

$$\text{Zona d'impacte } H_0 = 0,45 \text{ m}$$

6.2.3. Temps d'impacte

El temps en que l'ona impacte contra la superfície de la estructura no es un sol instant, ja que la onada segueix colpejant a mesura que avança. La duració del temps d'impacte es pot calcular i es definit per la equació següent (Wienke 2001; Wienke i Oumeraci 2004):

Equació 4 Temps d'impacte

$$T = \frac{13}{32} \cdot \frac{R}{C}$$

El temps estimat en el qual s'aplica la força segons l'alçada d'ona són els que s'exposen a continuació:

$$T_{max} = 0,106 \text{ s}$$

$$T_0 = 0,185 \text{ s}$$

La força d'impacte disminueix al llarg del temps i no de manera gradual. La representació de la força d'impacte al llarg del temps és el que es pot veure en la gràfica següent:

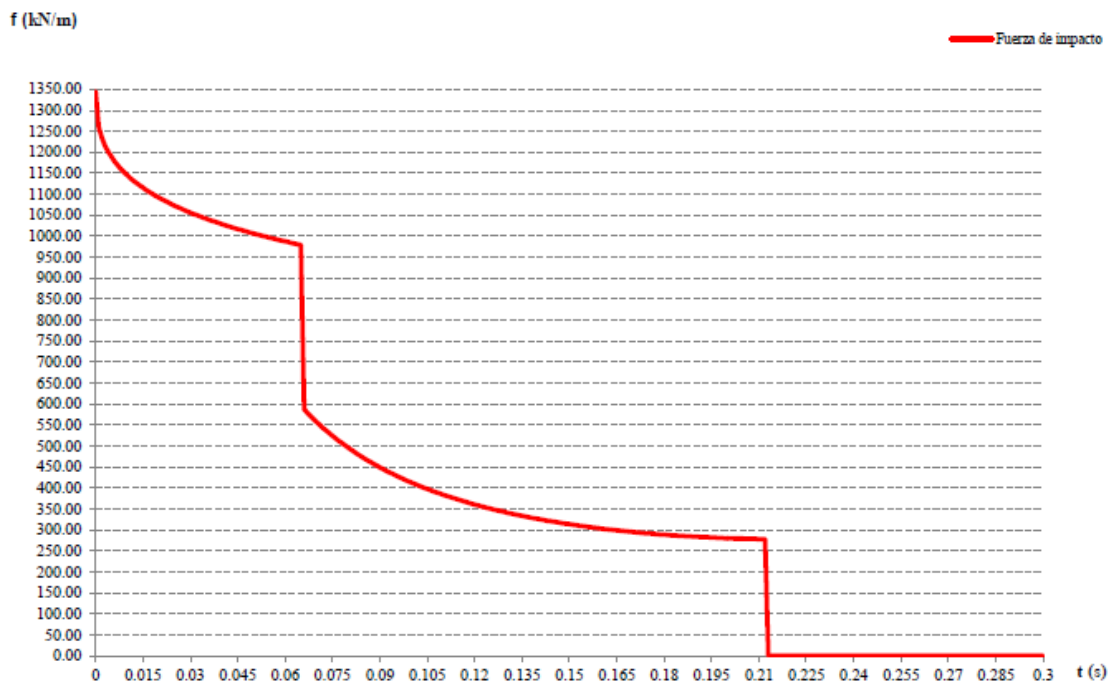


Figura 15 Representació gràfica de la força d'impacte en funció del temps

Les dades utilitzades en la gràfica no són les reals per a les característiques de la nostra ona, només és un exemple de l'evolució que segueix el valor de la força en impactar.

6.2.4. Força d'arrossegament i inèrcia

En aquest apartat sobre l'arrossegament i les forces d'inèrcia que produeixen les onades sobre l'estructura cilíndrica, s'ha extret la informació de la publicació realitzada i aprovada per el ministeri de foment del govern espanyol i els ports de l'estat. Es fa referència a “Recomendaciones para obras marítimas, ROM 2.0-11, Tomo I i II”, on fa constància sobre les obres d'atracament fixes obertes amb $D < L/6$.

Per poder aplicar les següents equacions, només es consideren les obres marítimes formades per elements estructurals amb secció perpendiculars a la incidència de les ones i inferior a la seva longitud d'ona. Per poder calcular aquestes forces s'utilitza la Teoria de Morison que està composta per les dos equacions següents, una per a la força d'arrossegament i l'altre per la d'inèrcia:

Equació 5 Força d'arrossegament de Morison

$$f_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot D \cdot u^2$$

Equació 6 Força d'inèrcia de Morison

$$f_M = C_M \cdot \rho \cdot A \cdot a$$

A partir d'aquestes formules s'obtenen els resultats següents de les forces:

$$f_{D \max} = 143,44 \text{ KN/m}$$

$$f_{D 0} = 47,49 \text{ KN/m}$$

$$f_{M \max} = 38,26 \text{ KN/m}$$

$$f_{M 0} = 19,00 \text{ KN/m}$$

La força d'arrossegament i d'inèrcia no actuen sobre la estructura al mateix temps, però per simplificar els càlculs es considerant com a forces simultànies. Per tant la força total de Morison és la suma de les dos anteriors:

$$f_{\text{morison max}} = 181,70 \text{ KN/m}$$

$$f_{moriso 0} = 66,49 \text{ KN/m}$$

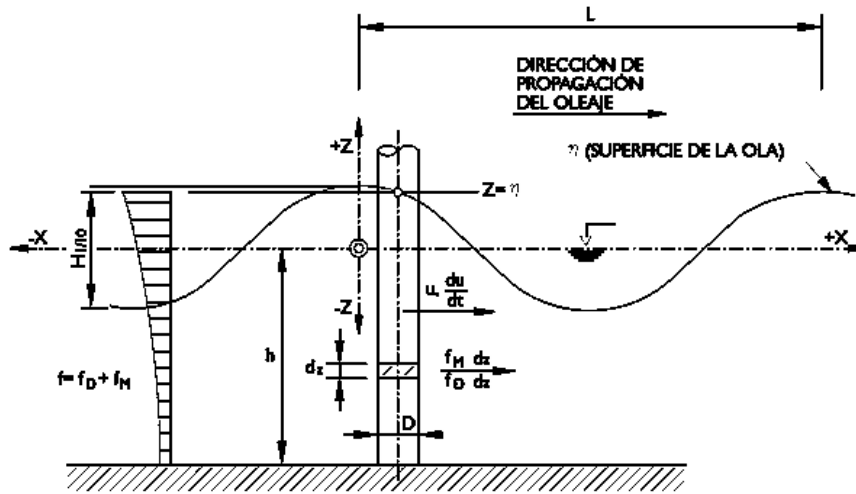


Figura 16 Esquema de l'actuació de les forces de Morison

7. Disseny de formes

El disseny de formes inclou la determinació de les dimensions reals que tindrà el projecte, tan interior com exterior. En aquest apartat es veu una visió general de l'estructura. En el Annex V, s'inclouen tots els plànols, gràfics i dibuixos del disseny de formes, on es pot apreciar amb més detall algunes parts importants de l'estructura.

7.1. Disseny exterior

El disseny de les formes exteriors es mostrarà a partir d'un perfil del mòdul principal amb les dimensions corresponents acotades. La forma final que adquirirà el projecte és similar al presentat en el punt 4.2. *Predisseny provisional*. En la següent figura es mostra la vista de perfil del mòdul principal acotat:

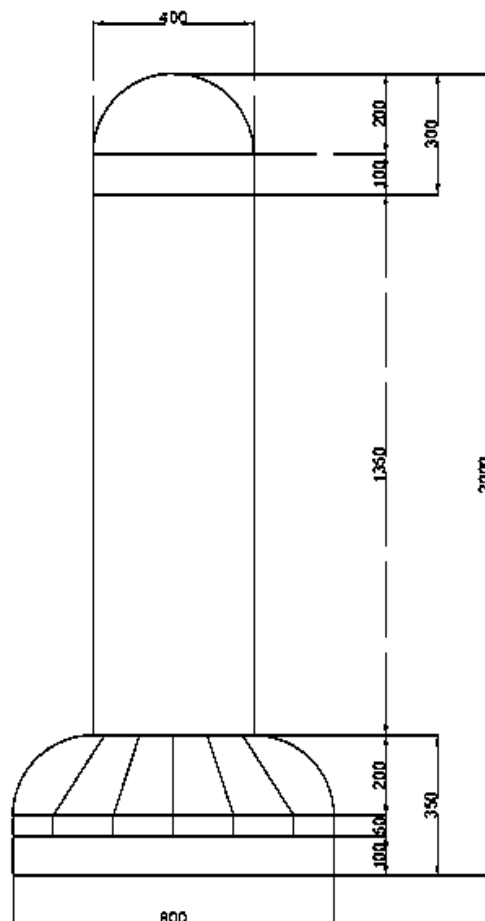


Figura 17 Esquema acotat de l'estructura submergida

7.2. Disseny interior

El disseny interior de l'estructura està format per dos plantes: l'entrada, que comunica amb la porta a la passarel·la i els dos mètodes de descens a la zona d'observació, ascensor i escales; i la zona d'observació que presenta una àrea molt més gran. Inclou els espessors del casc, reforços i quadernes, deixant expressat l'espai real interior de l'estructura.

En la següent imatge es pot apreciar l'alçat de la primera planta que es troba a la zona exterior del mòdul principal:

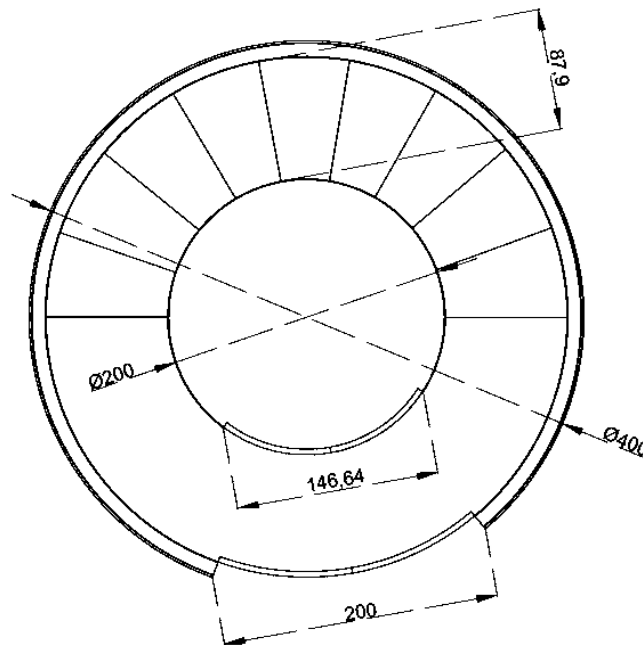


Figura 18 Esquema acotat de la primera planta

La planta que es troba per damunt la superfície del mar presenta una secció circular de 4000 mm de diàmetre. Una entrada de 2000 mm que encaixa amb la passarel·la de la plataforma d'accés i que està dotada de portes corredisses per aconseguir un aprofitament de l'espai interior. L'ascensor utilitza el mateix sistema d'entrada deixant un espai circular de 2000 mm de diàmetre per la instal·lació d'un ascensor.

A continuació es presenta l'alçat de la zona d'observació:

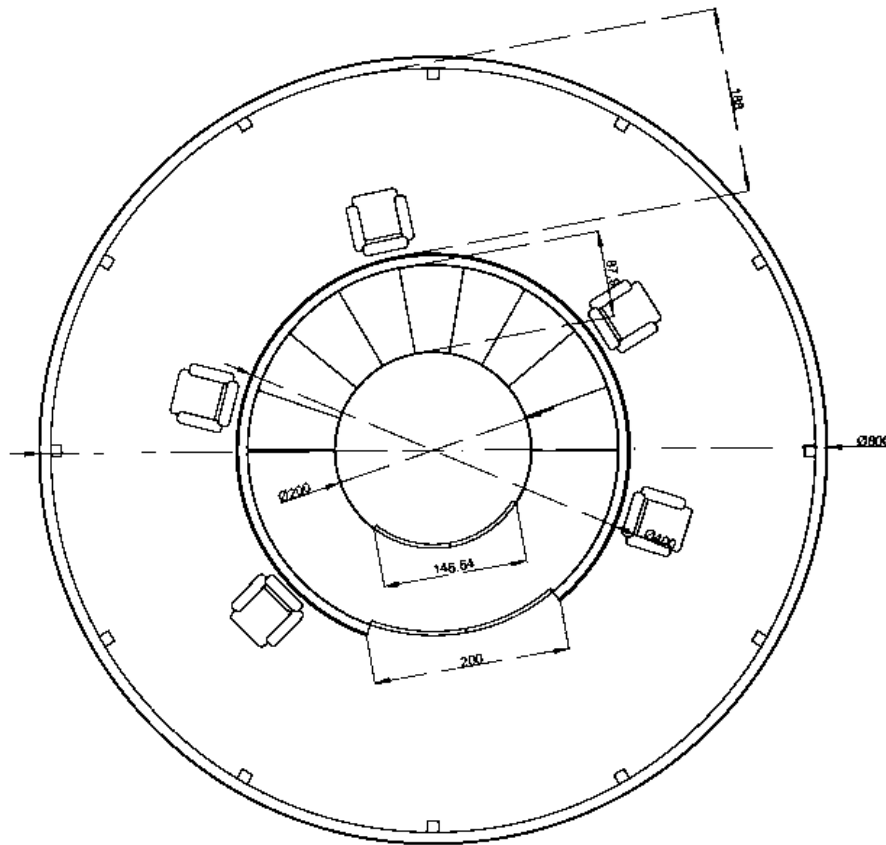


Figura 19 Esquema acotat de la zona d'observació

La planta de la zona d'observació és una ampliació de l'anterior, afegint l'espai de la cúpula que permet la observació del fons marí. Els espessors del metacrilat estan inclosos en la figura, així com els reforços de seguretat. L'espai total per a la observació és de 34,73 m².

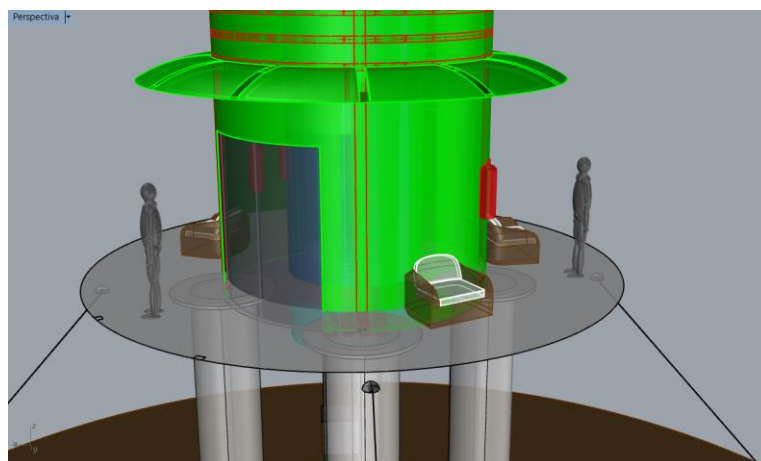


Figura 20 Imatge del disseny interior de la zona d'observació en el model 3D del projecte..

8. Disseny estructural

El disseny estructural del projecte que es vol construir està format per una estructura de quadernes disposades de manera que suportin les tensions i les càrregues a les quals estarà sotmesa. Aquestes quadernes estaran recobertes per un folre que dona forma a la estructura. Pel que fa a les formes de l'estructura es tracta d'un cilindre i mitja esfera. La esfera és la forma que millor suporta les tensions, seguida del cilindre i que per tant menys problemes de resistència a les càrregues donarà. No obstant això, també cal destacar que el fet de fabricar una esfera és un procés més costós que el del cilindre, ja que és més fàcil la creació de imperfeccions en el seu procés de fabricació.

Degut al fet que no hi ha antecedents dificulta el càlcul estructural per aquest tipus de construccions i per tant s'utilitza normativa que no es especifica per el nostre projecte, però que té el mateix resultat. Aquest tipus de càlcul s'ha basat en el utilitzat en el mateix projecte del qual s'ha utilitzat la informació per a la selecció de possibles materials.

8.1. Estructura d'acer

Per realitzar un càlcul del folre a pressió hem considerat la normativa de la ABS, secció 6 de *Rules for Underwater Vehicles*, és a dir, normativa per cascs de vehicles submergibles.

No hi ha cap equació específica per calcular el gruix del folre del submergible segons ABS, pel que es procedirà a extreure-la de les equacions sobre les pressions crítiques que planteja la normativa. Les equacions per què s'extreu el gruix són les equacions de l'ABS per a trobar la pressió màxima de treball basada en la sobrepressió del folre entre quadernes per cilindres sotmesos a pressió.

Depenent la relació de P_m / P_y , la normativa de la ABS proposa tres equacions diferents:

$$\text{Si } P_m/P_y \leq 1 \rightarrow P_c = P_m/2$$

$$\text{Si } 1 < P_m/P_y \leq 3 \rightarrow P_c = P_y [1 - P_y/(2P_m)]$$

$$\text{Si } P_m/P_y > 3 \rightarrow P_c = 5/6 P_y$$

Els valor de P_m i P_y es poden calcular a partir de les fórmules proposades en la normativa de la ABS:

Equació 7 Pressions de treball

$$P_m = \frac{2,42 \cdot E \cdot [t/(2 \cdot R)]^{5/2}}{(1 - \nu^2)^{3/4} \cdot [L/(2 \cdot R) - 0,45 \cdot [t/(2 \cdot R)]^{1/2}]}$$

$$P_y = \frac{\sigma_y \cdot (t/R)}{1 - F}$$

Els càlculs s'han realitzat en un full de càlcul Excel de manera detallada i que es pot consultar en el Annex VI, així com els valors utilitzats. A continuació es presentaran els valors obtinguts d'aquests càlculs amb un valor t (0,005 m) aproximat, que un cop trobada el valor de la pressió crítica que actua sobre l'estructura, es modificarà per el valor real:

$$P_m(1) = 2656890,04 \text{ Pa}$$

$$P_y(1) = 828633,30$$

$$P_m(2) = 1299593,77 \text{ Pa}$$

$$P_y(2) = 1020343,20 \text{ Pa}$$

La relació de P_m / P_y en els dos radis de l'estructura és la següent:

$$\frac{P_m}{P_y}(1) = 3,21$$

$$\frac{P_m}{P_y}(2) = 1,27$$

La pressió que ha de suportar l'estructura augmenta segons a la profunditat a que es troba cada part. Anteriorment s'ha calculat aquesta força per la part més profunda de l'estructura per ambdós seccions de l'estructura (situada a 17 i a 12,5 metres).

$$P_h(17m) = 171598 \text{ Pa}$$

$$P_h(12,5m) = 126175 \text{ Pa}$$

A la pressió hidrostàtica se li ha de sumar la força de les onades. Cada zona de l'estructura afecte una força diferent. La part que es troba a per damunt del nivell del mar actua la força d'impacte de les onades. Per una altra banda, a la resta de l'estructura actua la força d'arrossegament i de Morison que s'han calculat anteriorment. Per poder trobar la pressió total que actua sobre l'estructura és important saber sobre la superfície que actuen aquestes forces. Cal destacar que la força de Morison disminueix amb la profunditat per la qual se li aplicarà un coeficient. Dividirem l'estructura en tres zones on la força del mar actua:

- Zona d'observació (1)
- Zona de descens (2)
- Zona exterior (3)

Les superfícies d'impacte en cada zona són les següents:

Equació 8 Superfície d'impacte

$$S = \frac{\pi \cdot D \cdot h}{2}$$

$$S_1 = 12,57 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 6,28 \text{ m}^2$$

$$S_3 = 8,61 \text{ m}^2$$

A continuació es pot calcular la pressions crítiques totals que afecten a cada una de les zones de l'estructura que s'han plantejat. Les pressions trobades són les següents que després se li aplica un factor d'ús a través de l'equació següent:

Equació 9 Pressió crítica de treball

$$P_a = P_c \cdot \eta$$

$$P_{a1} = 552,43 \text{ KPa}$$

$$P_{a2} = 495,33 \text{ KPa}$$

$$P_{a3} = 5172,08 \text{ KPa}$$

Aquests valors són les pressions que ataquen l'estructura en les condicions més extremes de temporal i mala mar. A partir d'aquí només podem trobar els espessors definitius de la zona 1 i 2, ja que no es poden fer servir aquest mètode de càlcul per la part exterior de l'estructura que rep l'impacte directe de les onades ja que es tracta d'un tipus diferent de força. Els espessors definitius de l'estructura són els següents:

$$t_1 = 0.009427 \text{ m}$$

$$t_2 = 0.005804 \text{ m}$$

Per facilitar la fabricació de les plaques d'acer amb aquets espessors s'utilitzaran valors de gruix de 0,01 i 0,006 respectivament, donant així un marge de seguretat encara més elevat.

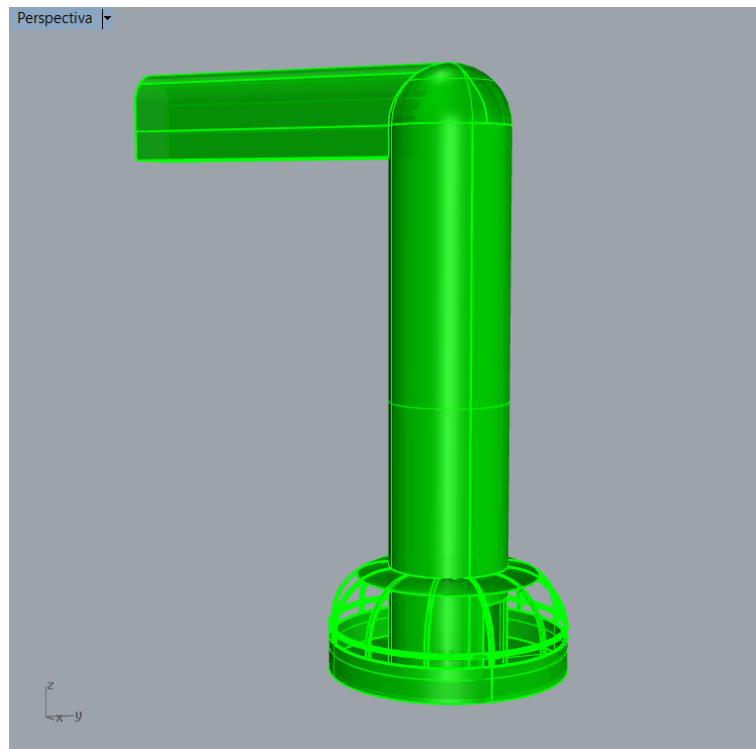


Figura 21 Imatge de la estructura d'acer en el model 3D del projecte.

8.2. Cúpula de metacrilat

L'estructura de metacrilat del projecte està situat en la zona d'observació, entre unes profunditats de 12,5 i 15 metres. Les formes que han de prendre les planxes de metacrilat per el projecte es poden dividir entre cilíndriques i esfèriques. Per trobar

l'espessor necessari ens basarem en la normativa *Germanischer Lloyd* (GL) que expressa d'una manera clara i senzilla el càlcul de l'espessor per finestrals de metacrilat a pressió.

Aquesta informació es troba en *I Ship Technology – 5 Underwater Technology, Chapter 2 Manned Submersibles, Annex C – Acrylic Windows*.

Aquest apartat de la normativa GL mostra una tabulació de la relació espessor/diàmetre en funció de la pressió que ataca la superfície de metacrilat. Per tant, la normativa utilitza uns valors extrapolats per el càlcul de l'espessor del metacrilat.

En el cas dels finestrals cilíndrics, s'utilitza el valor predeterminat a la taula de la normativa per a una pressió de 5 bars i una temperatura de 52°C (una temperatura més elevada de la real per contrarestar la diferència de pressió real i escollida). El valor de relació tabulada és el següent:

$$s/D_i = 0,164$$

Per el valor de diàmetre interior calculat a partir del diàmetre exterior (0,5 m) a partir de la relació següent, proporcionada per la normativa:

$$D_o/D_i = 1,3$$

$$D_i = 0,3846 \text{ m}$$

Sabent el valor i la relació espessor diàmetre escollida en funció de les característiques de la nostra estructura tenim el valor de l'espessor:

$$s = 0,063 \text{ m}$$

A més a més, els valors trobats compleixen els requisits de la normativa:

$$63 \text{ mm} = s \geq 12,5 \text{ mm}$$

$$0,126 = s/D_o \geq 0,125$$

$$5,5 \text{ bar} = P < 170 \text{ bar}$$

$$1,25 \leq D_o/D_i = 1,3 \leq 1,5$$

Els altres finestrals de metacrilat són diferents. Per realitzar el càlcul de l'espessor, el primer valor del diàmetre interior que s'utilitza ha de coincidir finalment amb el diàmetre calculat a partir del casc. El valor de la relació espessor-diàmetre extrapolat, extret de la taula que proposa la normativa, està predeterminat per una pressió de 5 bar, 52°C i 90°. El valor és el següent:

$$s/D_i = 0,042$$

El diàmetre interior necessari per tal de que coincideixi amb el diàmetre calculat a partir de les dimensions del casc és el següent:

$$D_i = 2,618 \text{ m}$$

$$2,6178 = D_{i2} \cong D_i = 2,618 \text{ m}$$

El espessor resultant a partir d'aquest diàmetre és el següent , que per facilitat de fabricació s'arrodoneix al valor final S:

$$s = 0,1099 \text{ m}$$

$$S = 0,11 \text{ m}$$

La planxa de metacrilat conta amb un reforç d'acer del mateix espessor, per aguantar la pressió exterior. Tal com en el cas anterior dels finestrals cilíndrics, aquest també compleix els requisits de la normativa:

$$110 \text{ mm} = s \geq 12,5 \text{ mm}$$

$$\alpha \geq 60^\circ$$

$$5,5 \text{ bar} = P < 170 \text{ bar}$$

$$s/R_i = 0,0594 \cong 0,06$$

$$D_i/D_f = 1,3 \geq 1,02$$

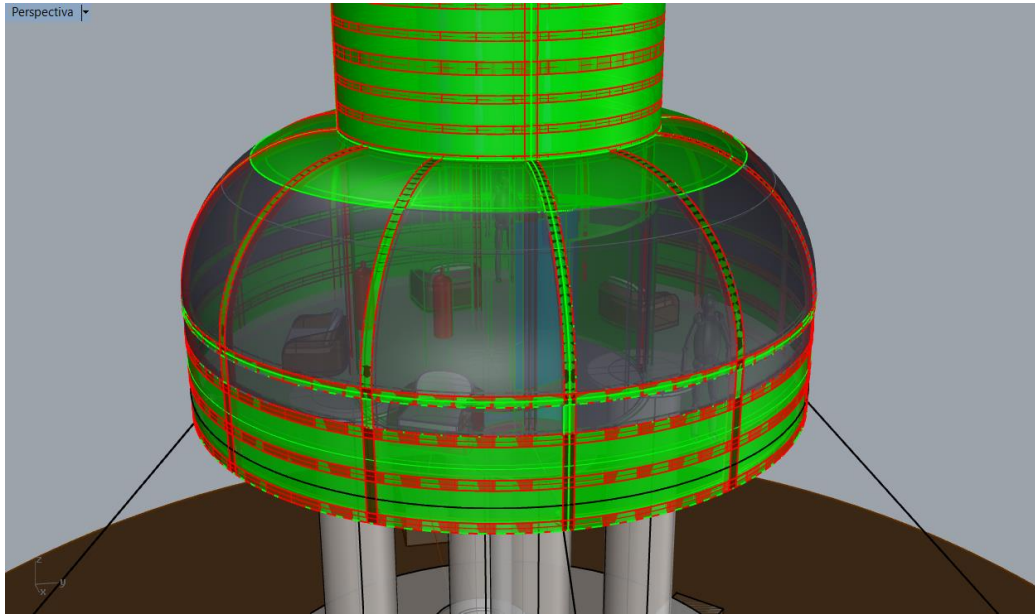


Figura 22 Imatge de la estructura de metracrilat en el model 3D del projecte

8.3. Quadernes

Les quadernes són unes estructures que es col·loquen a l'interior del casc i que tenen una funció molt important ja que si no fos per elles el casc col·lapsaria per les forces exteriors o podria perdre la seva forma.

Els perfils més utilitzats per aquest tipus de estructures són els T, que per motius de forma no presenta els problemes dels perfils L, que tenen menor inèrcia, o les doble T que presenten dificultat en el accés per reparacions o inspeccions. En una estructura es col·loquen dos tipus de quadernes, unes anomenades lleugeres i les altres pesades. La diferència entre els dos tipus són les dimensions de cada una d'elles i la distància entre elles.

A continuació s'estudiarà la seva disposició i dimensions.

8.3.1. Dimensionament de quadernes

Per realitzar la disposició i dimensionament de les quadernes s'estableix un model estàndard de quadernes que pot semblar adequat per a l'estructura i la seva funcionalitat. Un cop establerta les dimensions inicials es procedirà a comprovar els requisits que s'ha de complir segons la normativa ABS.

Les característiques de les quadernes inicials escollides per a l'estructura de descens (R1), tan per les lleugeres com per les pesades, són les següents:

Tipus de quaderna	Part	Espessor (m)	Altura/Amplada (m)
Quadernes lleugeres	Ànima	0,017	0,06
	Ala	0,017	0,12
	Distància entre quadernes (Ls)	0,20	

Taula 9 Dimensions de les quadernes en R1

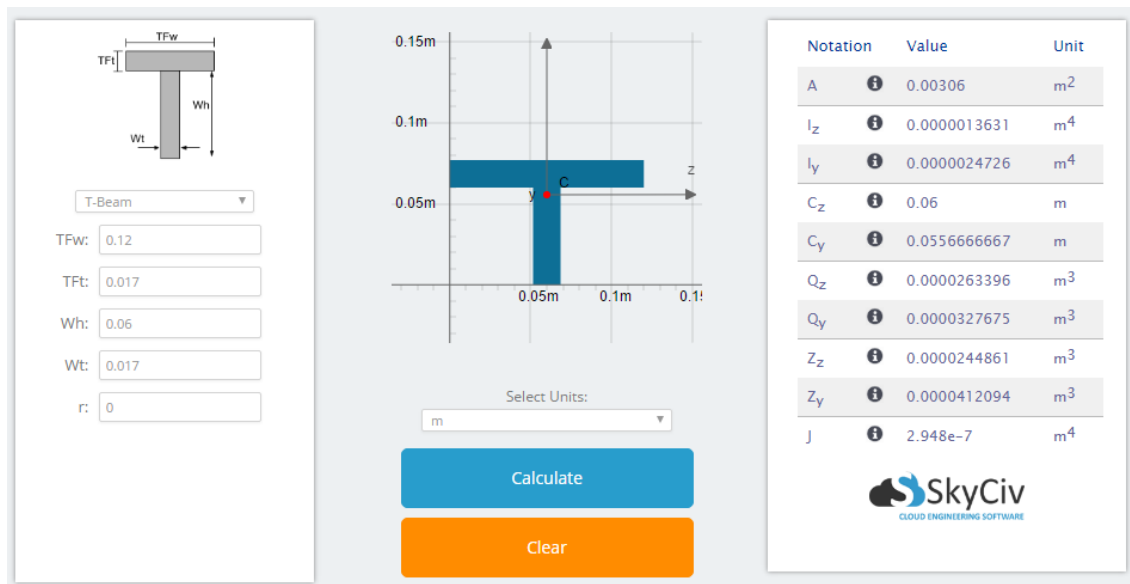


Figura 23 Esquema i característiques de quadernes lleugeres en R1

Les característiques de les quadernes inicials escollides per a l'estructura de descens (R2), tan per les lleugeres com per les pesades, són les següents:

Tipus de quaderna	Part	Espessor (m)	Altura/Amplada (m)
Quadernes lleugeres	Ànima	0,012	0,03
	Ala	0,012	0,085
	Distància entre quadernes (Ls)	0,20	
Quadernes pesades	Ànima	0,022	0,08
	Ala	0,022	0,15
	Distància entre quadernes (Lc)	1	

Taula 10 Dimensions de les quadernes en R2

Notation	Value	Unit
A	0.00138	m ²
I _z	1.566e-7	m ⁴
I _y	6.184e-7	m ⁴
C _z	0.0425	m
C _y	0.0305217391	m
Q _z	0.0000055994	m ³
Q _y	0.0000113775	m ³
Z _z	0.0000051303	m ³
Z _y	0.0000145516	m ³
J	6.62e-8	m ⁴

Figura 24 Esquema i característiques de quadernes lleugeres en R2

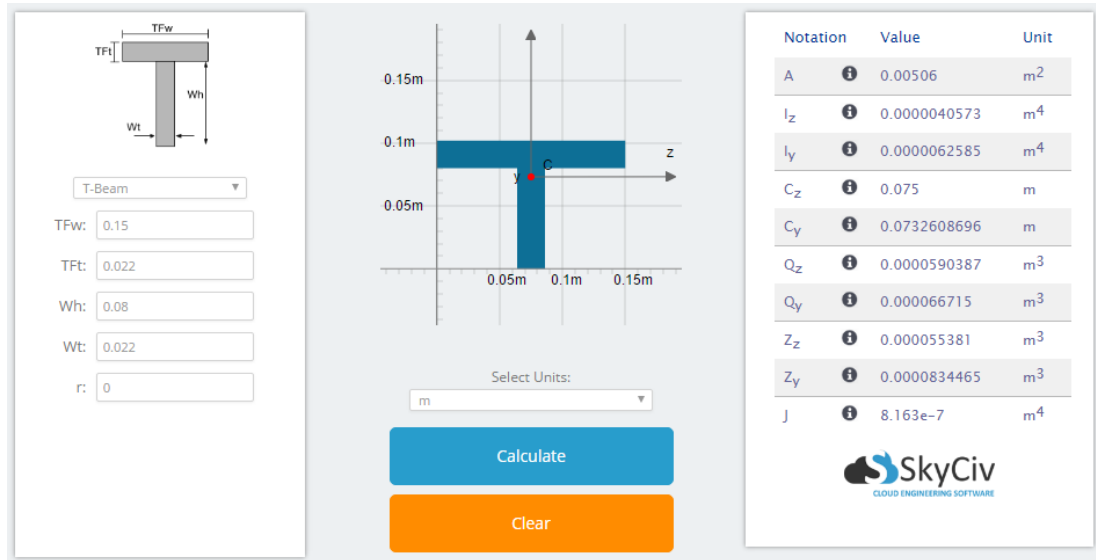


Figura 25 Esquema i característiques de les quadernes pesades en R2

A partir d'aquestes dades inicials de les quadernes es procedirà a determinar la seva viabilitat. Per verificar que les quadernes resistiran el treball de l'estructura i que no col·lapsaran per cap mena de fallada, han de complir els requisits que exigeix la normativa ABS.

8.3.2. Requisits de les quadernes

Els requisits que s'han de verificar segons la normativa de la ABS són els següents:

- *Stiffener Tripping*
- *Vinclament local*
- *Inèrcia efectiva*

8.3.2.1. Quadernes lleugeres

La normativa de la ABS disposa d'una equació per verificar que una quaderna no falli per Stiffener Tripping. La tensió trobada a través de la equació que ens proposa la normativa ha de ser superior al límit de fluència del material.

Equació 10 Equació de tensió proposada per la ABS

$$\sigma_T = \frac{E \cdot I_z}{A_s \cdot R \cdot \bar{z}}$$

Per el cas que ens pertany s'han trobat els valors següents que verifiquen els requisits necessaris per ambdós seccions de l'estructura:

$$\text{Secció 1} \rightarrow \sigma_T = 410606073,96 \text{ Pa} > 351600000 \text{ Pa} = \sigma_y$$

$$\text{Secció 2} \rightarrow \sigma_T = 368055555,56 \text{ Pa} > 351600000 \text{ Pa} = \sigma_y$$

Per una altra banda, la verificació de la resistència sobre el vinclament local de la normativa ABS, té en consideració les dimensions de la quaderna i el material d'aquesta. Es segueixen els criteris següents:

$$\text{Ànima} \rightarrow h/t_w < 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Ala} \rightarrow w/t_f < 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 1 (Ànima)} \rightarrow h/t_w = 3,529 < 21,732 = 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 1 (Ala)} \rightarrow w/t_f = 7,143 < 7,244 = 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 2 (Ànima)} \rightarrow h/t_w = 2,5 < 21,732 = 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 2 (Ala)} \rightarrow w/t_f = 7,083 < 7,244 = 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

Per tant, els requisits de vinclament local també es compleixen segons la normativa ABS.

Finalment, l'últim requisit a complir segons la normativa és un requisit d'inèrcia que inclou la secció de la quaderna i una secció efectiva del casc que ha de ser major a la inèrcia calculada per l'equació proposada per la normativa:

$$I_e > I$$

$$I_x + i_c + A_e \cdot d^2 > P \cdot D_0 \cdot L_s \cdot R_s^2 / (6 \cdot E \cdot \eta)$$

$$\text{Secció 1} \rightarrow I_e = 5,06 E - 06 \text{ m}^4 > 1,536 E - 06 \text{ m}^4 = I$$

$$\text{Secció 2} \rightarrow I_e = 2,19 E - 06 m^4 > 1,575 E - 06 m^4 = I$$

Tots els requisits han estat assolits per les quadernes lleugeres escollides per les seccions determinades. Els càlculs que verifiquen els requisits estan especificats en un llibre d'Excel que es mostra en el Annex VI.

8.3.2.2. *Quadernes pesades*

L'estructura només presenta quadernes pesades en la secció 2 de l'estructura, és a dir, la zona de descens. La zona d'observació no presenta disposició de quadernes pesades ja que no hi ha altura suficient com per col·locar-les.

La normativa de la ABS disposa d'una equació per verificar que una quaderna no falli per Stiffener Tripping. La tensió trobada a través de la equació que ens proposa la normativa ha de ser superior al límit de fluència del material.

$$\sigma_T = \frac{E \cdot I_z}{A_s \cdot R \cdot \bar{z}}$$

Per el cas que ens pertany s'han trobat els valors següents que verifiquen els requisits necessaris per l'estructura:

$$\text{Secció 2} \rightarrow \sigma_T = 1121872636,20 Pa > 351600000 Pa = \sigma_y$$

Per una altra banda, la verificació de la resistència sobre el vinclament local de la normativa ABS, té en consideració les dimensions de la quaderna i el material d'aquesta. Es segueixen els criteris següents:

$$\text{Ànima} \rightarrow h/t_w < 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Ala} \rightarrow w/t_f < 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 2 (Ànima)} \rightarrow h/t_w = 3,636 < 21,732 = 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Secció 2 (Ala)} \rightarrow w/t_f = 6,818 < 7,244 = 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

Per tant, els requisits de vinclament local també es compleixen segons la normativa ABS.

Finalment, l'últim requisit a complir segons la normativa és un requisit d'inèrcia que inclou la secció de la quaderna i una secció efectiva del casc que ha de ser major a la inèrcia calculada per l'equació proposada per la normativa:

$$I_e > I$$

$$I_x + i_c + A_e \cdot d^2 > P \cdot D_0 \cdot L_s \cdot R_s^2 / (6 \cdot E \cdot \eta)$$

$$\text{Secció 2} \rightarrow I_e = 1,03 E - 05 m^4 > 7,542 E - 06 m^4 = I$$

Tots els requisits han estat assolits per les quadernes pesades.

8.3.3. Disposició de les quadernes

La disposició de les quadernes al llarg de l'estructura és molt important perquè no col·lapsi. En els apartats anteriors s'han estudiat les dimensions de les quadernes horitzontals adequades per el projecte. En aquest es pretén realitzar la disposició d'aquestes, determinant-ne la quantitat, separació i localització.

8.3.3.1. Quadernes de la secció d'observació

En la secció de observació només es col·loquen quadernes lleugeres ja que no hi ha prou espai per plantejar el posicionament de quadernes pesades. Tot i així les quadernes lleugeres de la zona d'observació tenen un perfil més gran que les de la secció del cilindre de descens com s'ha especificat en el punt anterior. També es col·locaran quadernes transversals, la finalitat dels quals és la separació dels finestrals de metacrilat de la zona d'observació i a més, una ajuda a la resistència estructural.

La forma de la zona d'observació està composta per una part cilíndrica i una altra semiesfèrica, completant així una cúpula. La part cilíndrica té una alçada de 1,5 metres dels quals 1 metre és d'acer i el 0,5 metre restant és metacrilat. La semiesfera està formada de finestrals de metacrilat. La part cilíndrica i la semiesfèrica està separada per una quaderna horitzontal única a una altura de 1,5 metres.

Les quadernes que es troben en el mòdul d'observació són les següents:

Quadernes lleugeres horitzontals		
Quantitat de quadernes	3	
Distància entre quadernes	0,5	m
Posició primera quaderna	0	m
Posició última quaderna	1	m

Taula 11 Posició de quadernes lleugeres horitzontals en R1

Quaderna horitzontals única		
Quantitat de quadernes	1	
Distància entre quadernes	-	m
Posició primera quaderna	1,5	m
Posició última quaderna	1,5	m

Taula 12 Posició de quadernes pesades horitzontals en R1

Quadernes transversals		
Quantitat de quadernes	12	
Distància entre quadernes (metres)	2,09	m
Distància entre quadernes (graus)	30	°

Taula 13 Posició de quadernes transversals en R1

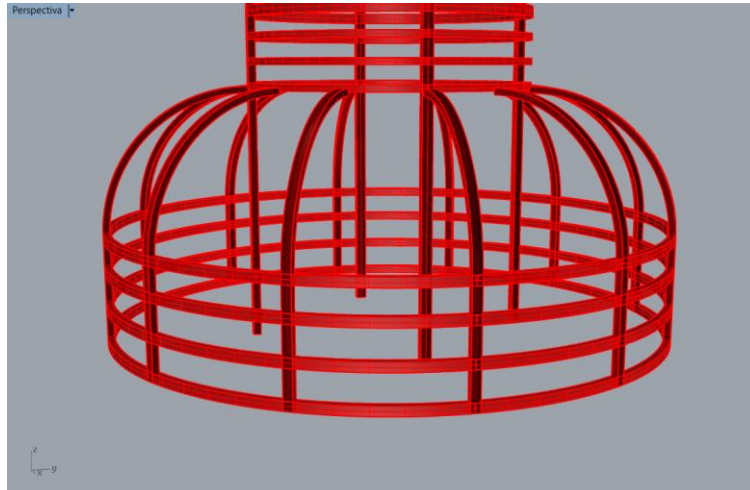


Figura 26 Imatge de la estructura de quadernes de la zona d'observació en el model 3D del projecte.

8.3.3.2. *Quadernes de la secció de descens*

En la secció de descens en que el radi és menor a la d'observació s'ha determinat el posicionament de quadernes lleugeres i pesades horitzontals que ajuden a la resistència de la pressió exterior que ataca l'estructura. Per una altra banda també es col·loquen unes quadernes transversals al llarg de la zona de descens, la finalitat de les quals es una ajuda per a l'estabilitat de l'estructura tot i no ser estructuralment necessàries per aguantar les forces externes.

La zona de descens té una forma totalment cilíndrica, està formada totalment per acer i no inclou l'entrada que es una estructura totalment diferent ja que ha d'aguantar unes forces totalment diferents.

Les quadernes que es troben en la zona de descens són les següents:

Quadernes pesades horitzontals		
Quantitat de quadernes	7	
Distància entre quadernes	2	m
Posició primera quaderna	0	m
Posició última quaderna	13	m

Taula 14 Posició de quadernes pesades horitzontals en R2

Quadernes lleugeres horitzontals		
Quantitat de quadernes	33	
Distància entre quadernes	0,33	m
Distància entre cada cinc quadernes	0,66	m
Posició primera quaderna	0	m
Posició última quaderna	12,66	m

Taula 15 Posició de quadernes lleugeres horitzontals en R2

Quadernes transversals		
Quantitat de quadernes	4	
Distància entre quadernes (metres)	3,1413	m
Distància entre quadernes (graus)	90	°

Taula 16 Posició de quadernes transversals en R2

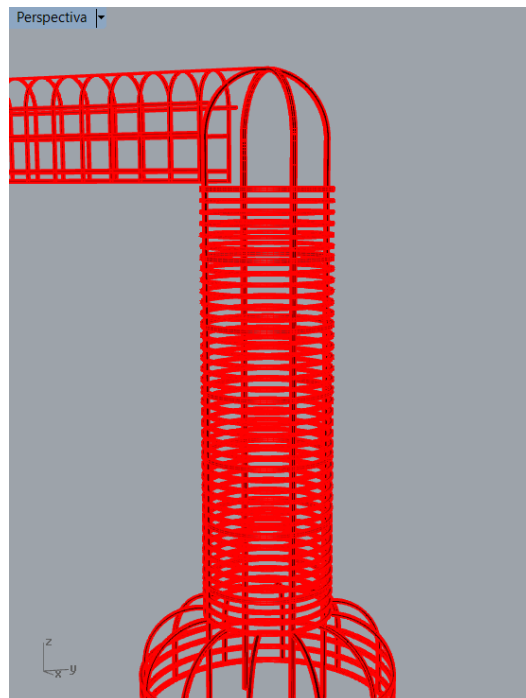


Figura 27 Imatge de la estructura de quadernes de la zona d'e descens en el model 3D del projecte

8.4. Unió casc i metacrilat

La unió del casc amb els finestrals de metacrilat és un dels punts més fràgils de l'estructura. La zona ha d'estar reforçada per un marc i unes juntes que reforcin l'estructura i la fagin totalment impermeable. El resultant de la pressió exterior sobre l'estructura produeix unes carregues en la unió del casc amb el metacrilat. Aquestes carregues produeixen moments flectors i tensions de compressió i tracció.



Figura 28 Esquema de l'encaix entre metacrilat i marc

El més important en el disseny del marc entre el casc i el metacrilat és les dimensions que ha de tenir per tal de suportar les tensions que s'hi produeixen. En la mateixa normativa utilitzada per el càlcul de l'espessor de metacrilat està especificat les mides del marc, anomenades “window seating”. En cada un dels dos casos hi ha especificades les dimensions mínimes necessàries:

En el cas del disseny cilíndric, la normativa especifica la relació següent entre els diàmetres exterior i interior del metacrilat.

$$1,25 \leq D_0/D_i \leq 1,5$$

$$D_0/D_i = 1,3$$

A partir de l'equació es pot determinar la dimensió del marc interior o junta que és la diferència entre els dos diàmetres. Per cada extrem del metacrilat el marc que suporta les pressions ha de tenir les dimensions següents:

$$\frac{(D_0 - D_i)}{2} = 0,058 \text{ m}$$

Per una altra banda l'espessor d'aquest és igual a l'espessor del metacrilat, el qual s'ha calculat anteriorment. El valor és el següent:

$$s = 0,063 \text{ m}$$

En el cas del finestral amb un angle de 90° , la normativa especifica unes condicions diferents per el càlcul del "window seating":

$$D_i/D_f \geq 1,02$$

En el cas en el que estem dissenyant s'ha agafat un valor de 1,1 per tal de treballar amb un marge de seguretat elevat. La dimensió de la junta per al reforç del marc és el següent:

$$\frac{(D_0 - D_f)}{2} = 0,119 \text{ m}$$

L'espessor del reforç és igual al espessor del metacrilat, igual que en el cas anterior:

$$s = 0,11 \text{ m}$$

8.5. Estructura exterior

La zona que es troba per damunt del nivell del mar és la més vulnerable contra les forces que actuen sobre l'estructura. Tot i no rebre la pressió hidrostàtica o l'arrossegament del moviment de l'aigua que habitualment són constants, la força de l'impacte de les onades és la que presenta una intensitat més elevada, però puntual. A més a més, la freqüència de la generació de temporals està estudiada i concentrada en temporades concretes.

Per poder resistir la força d'impacte de les onades, es procedirà al disseny d'un reforç de l'estructura que es troba per damunt de la superfície del mar. Aquest disseny consisteix en una ampliació del espessor del material de l'estructura superficial per mitjà d'un doble casc separat per una cap d'espuma, la funció de la qual és ajudar a absorbir els impactes de les onades. Tan mateix, l'estructura està capacitada per suportar els impactes repetitius de les onades sense aquest mètode de prevenció.

El casc resultant de l'estructura exterior presenta un espessor total format per dos planxes d'acer i una capa d'espuma que les separa, tot del mateix espessor:

$$s = 0,018 \text{ m}$$

Per una altra banda la previsió de forts temporals es pot predir amb antelació i prevenir l'estructura en cas de perill de danys materials.

8.6. Plataforma d'accés

L'estructura d'entrada consisteix en el mètode d'accés des del litoral fins a la zona de l'estructura que es troba per damunt la superfície del mar. El que es pretén construir és una passarel·la que uneixi ambdós punts per tal de permetre l'accés, sense la necessitat de pujar a cap embarcació.

La plataforma d'accés presenta tres punts importants:

- Fixació al litoral
- Passarel·la
- Encaix amb l'estructura

El punt fixat al litoral està lligat a una modificació d'un espai reduït del terreny de la costa. El disseny de l'entrada inclou la construcció d'un petit habitacle que tindrà la funció d'entrada a l'estructura. La passarel·la estarà connectada a l'habitable, dins el qual hi haurà la fixació al litoral. A més a més, una part de l'espai estarà destinat a l'equipament necessari pels diferents sistemes instal·lats per l'estructura que s'especificaran en el punt *13. Sistemes*.

8.6.1. Fixació al litoral

El punt de fixació es troba a dos metres per damunt el nivell del mar, construït sobre el litoral en una zona majoritàriament plana el qual s'hi pot accedir a través d'unes escales. L'espai del litoral sobre el qual es pretén edificar l'habitable necessita ser modificat per establir l'estructura arquitectònica. La distribució de l'espai de l'habitatge és el següent:

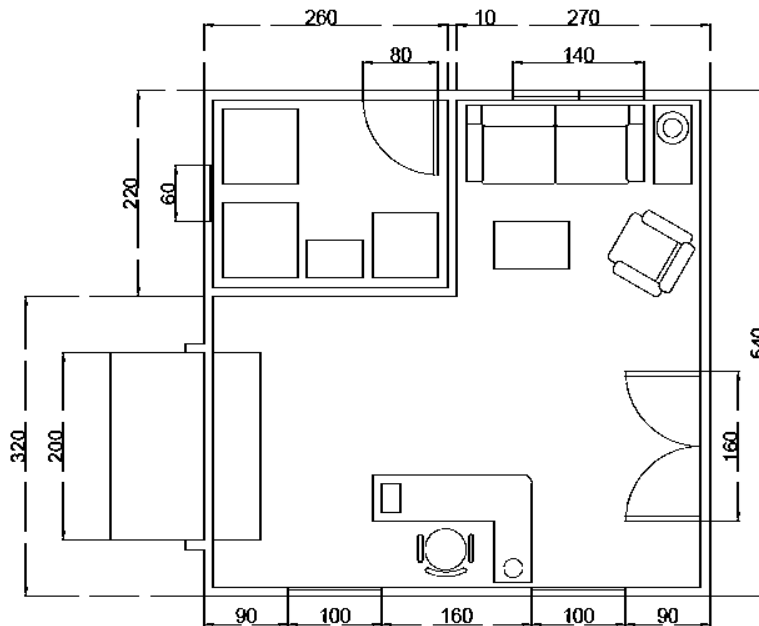


Figura 29 Esquema del plànol de l'entrada a la plataforma

L'àrea edificable necessària és de 29,16 m². L'espai de l'habitable està dividit, per una paret de 0,01 m d'espessor, en dos zones que no es comuniquen l'una amb l'altre. La zona més gran, de 23,46 m², està dedicada a l'entrada de l'estructura i recepció dels visitants; la zona més petita, de 5,7 m², està dedicada a la maquinària dels sistemes necessaris per el projecte. Ambdós zones si accedeix per una entrada que comunica amb l'exterior. L'espai presenta quatre finestres, una per la sala de maquines i tres per l'entrada, fent de la sala un espai amb molta lluminositat.

No s'aprofundeix en punts més específics d'edificació de l'habitatge ja que no entra dins el rang d'estudi que ens interessa.

Per realitzar la fixació al sòl del litoral es realitzarà mitjançant unes columnes d'acer, plaques metàl·liques i uns cargols d'expansió. El sistema d'ancoratge, molt comú en arquitectura i instal·lacions de grans edificacions, és el següent:

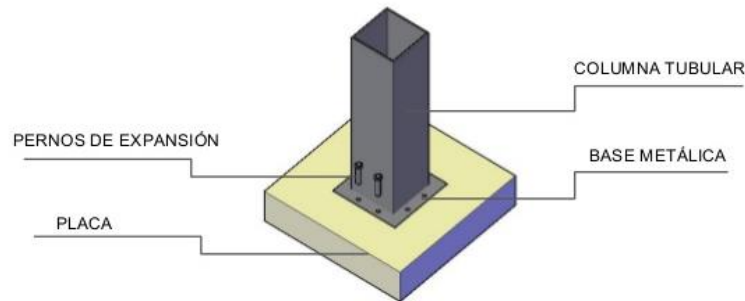


Figura 30 Esquema del tipus de fixació de la passarel·la al litoral

En la següent imatge es poden apreciar les dimensions de les diferents parts del sistema d'ancoratge escollit per el nostre projecte:

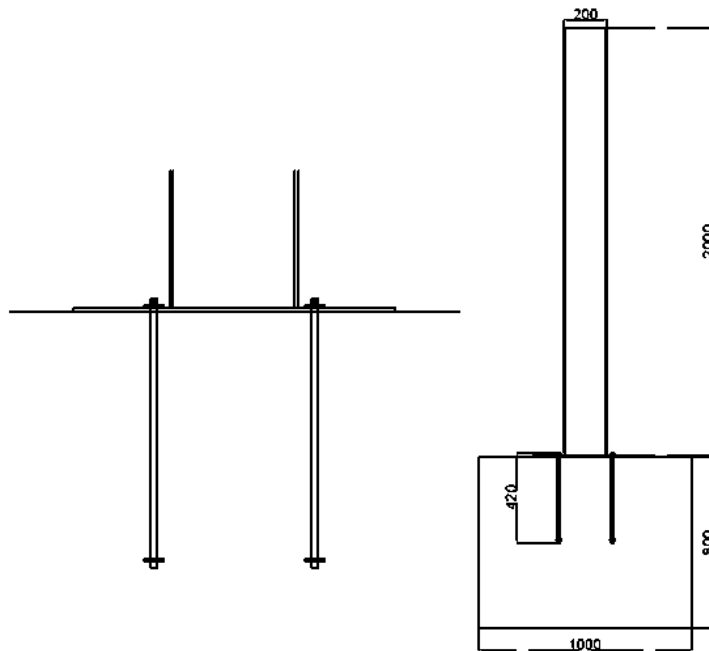


Figura 31 Esquema acotat de la fixació de la passarel·la al litoral

La fixació estarà composta per dos columnes fixades al sòl del litoral que pertanyen a les primeres bigues verticals de l'estructura de la passarel·la. Les dos primeres bigues estan fixades a l'interior de l'habitatge tal com queda representat a la *figura 32*. Les columnes són d'acer EH-36, igual que tota l'estructura d'entrada. Presenten una forma

tubular quadrada amb un espessor de 6 mm i l'altura de 2 m. La cimentació al qual es fixa presenta unes dimensions de 1x0,8 m i els cargols d'expansió penetren en ella fins a una profunditat de 0,4 m. S'utilitzen un total de vuit cargols, dos per cada costat de la columna.

8.6.2. Passarel·la

La passarel·la, és l'estructura que comunica el litoral amb l'estructura. La majoria de temporals en les costes catalanes que poden atacar el litoral on es vol instal·lar el projecte provenen de llevant, per aquest motiu la passarel·la està dissenyada en aquesta direcció de manera que queda parcialment protegida per la mateixa estructura. Presenta una forma tubular que surt de dins l'habitatge del punt fix i acaba a l'estructura. Les dimensions de la passarel·la són les que es poden apreciar a la següent imatge:

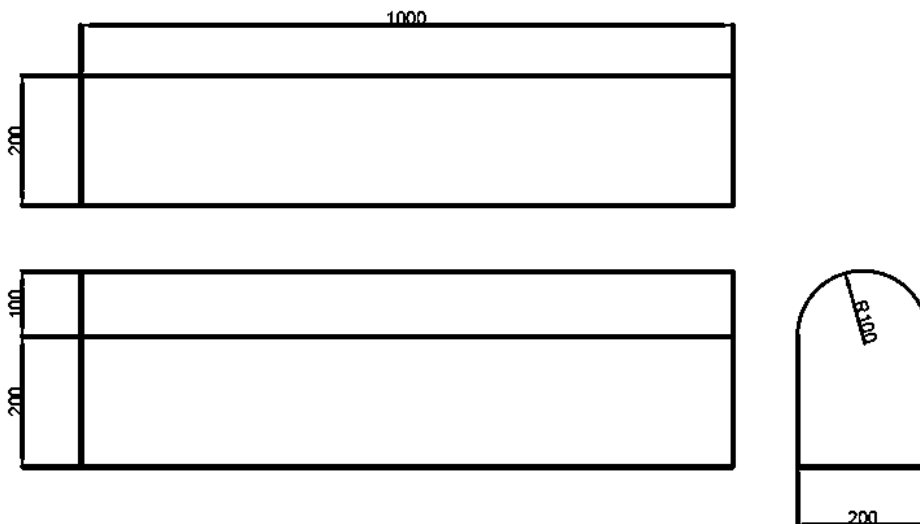


Figura 32 Esquema acotat de la passarel·la

Es tracta d'un pont que uneix les dos parts. El disseny de l'estructura està pensada per una circulació ràpida i no gaire freqüentada de persones tot i que podria suportar molt més per el qual està pensada. L'espai permet una circulació de grups de persones amb comoditat.

L'estructura està feta del mateix acer que l'estructura per resistir els possibles impactes d'onades. Està formada per un sistema de bigues i un recobriment de planxes d'acer que li donen forma. La disposició de les bigues és la que es mostra en la *figura 34*:

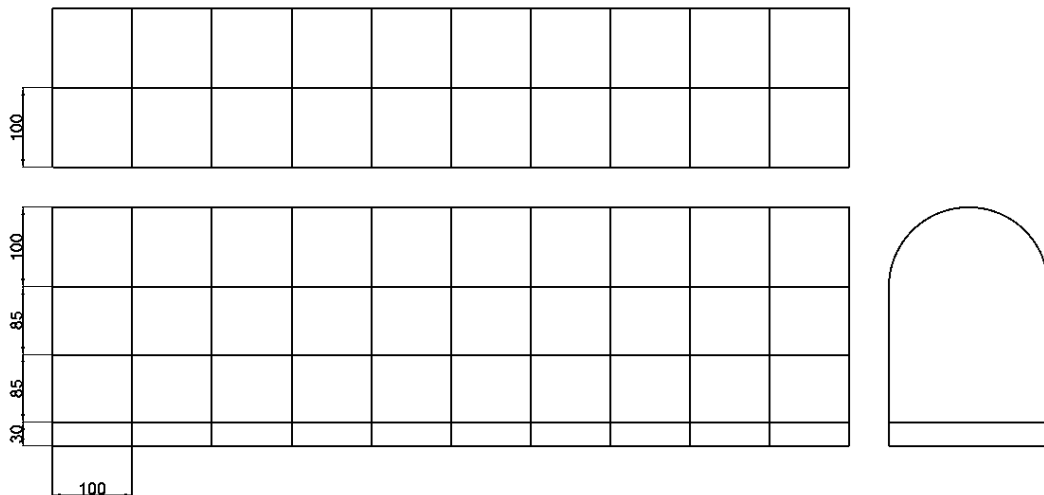


Figura 33 Esquema acotat de la posició de reforços a la passarel·la

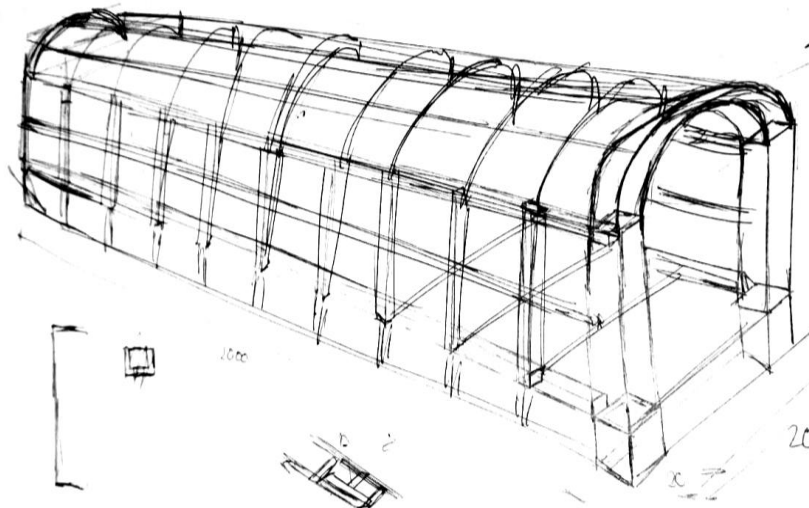


Figura 34 Dibuix sobre el disseny de la passarel·la

La part inferior de la passarel·la presenta un espai entre bigues de 30 cm per la disposició de cablejat, canonades i altres elements de les instal·lacions dels sistemes de l'estructura que arriba fins a la sala de màquines. Per damunt d'aquest espai es troben bigues verticals rectes de 170 cm separades entre elles per 100 cm de distància que formen l'estructura de les parets del túnel. El sostre està format per una biga que recorre tot el llarg del túnel i un conjunt de bigues perpendiculars amb forma de semicircumferència separades entre elles per una distància de 100 cm, igual que les parets. El terra del túnel està format per un conjunt de bigues que uneix l'estructura de les bigues verticals d'ambdós parets.

Excepte les dos primeres bigues de la passarel·la que es troben fixades al sòl, totes les altres són iguals amb les característiques exposades en la següent taula:

Tipus de quaderna	Part	Espessor (m)	Altura/Amplada (m)
Model T	Ànima	0,012	0,03
	Ala	0,012	0,085

Taula 17 Característiques de les quadernes de la passarel·la

L'espessor de les planxes que recobreixen aquesta estructura de bigues és de 6 mm igual que el recobriment de l'estructura de la zona de descens al mòdul.

8.6.3. Encaix mòdul principal-passarel·la-entrada

L'encaix amb l'estructura es tracta del final del túnel que ha d'encaixar a la perfecció amb l'estructura que es troba a l'exterior. Per encaixar les diferents parts s'utilitzarà un sistema que consisteix en segellar a pressió de manera que s'obtingui un encaix sòlid per mitjà d'uns cargols al llarg de tot el marc de l'encaix entre el túnel i l'estructura de descens.

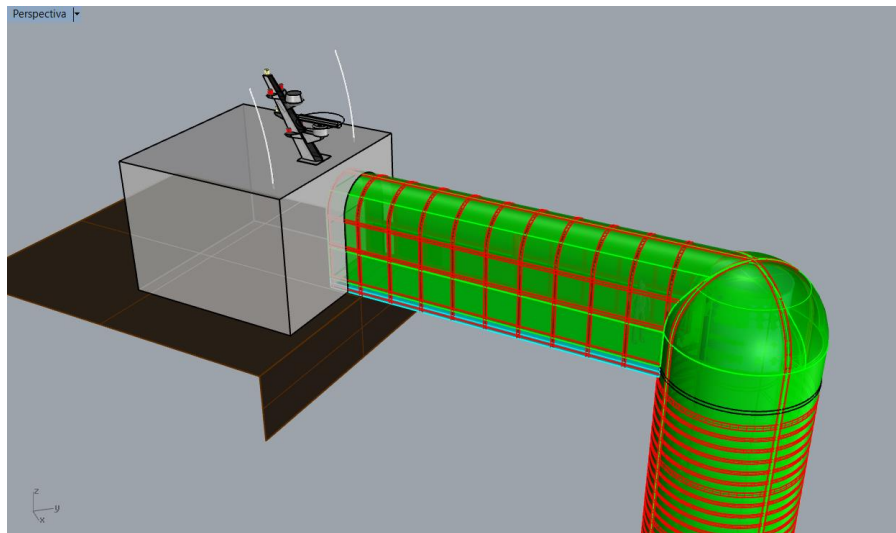


Figura 35 Imatge de la vista general exterior de la passarel·la en el model 3D del projecte.

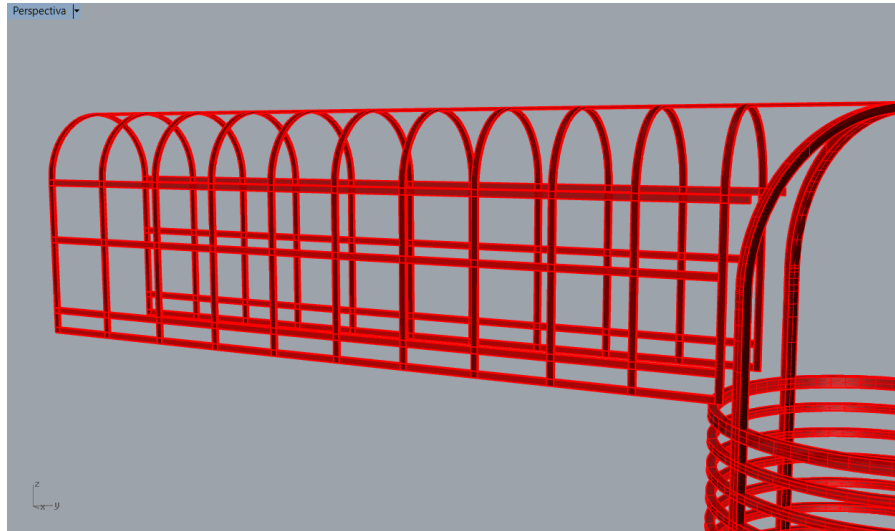


Figura 36 Imatge de la estructura de quadernes de passarel·la en el model 3D del projecte

9. Mètode d'amarratge

Quan es parla del mètode d'amarratge, es considera el sistema utilitzat per mantenir l'estructura fixada al fons marí sense que es desplaci. És tracta d'un punt molt important del projecte ja que un error podria causar una catàstrofe. Per aquest motiu, es pretén utilitzar uns marges de seguretat elevats.

En aquest punt, per tant, s'estudiarà el mètode més adequat per fixar el projecte al mar. El projecte d'amarratge que es vol utilitzar per l'estructura és el que s'exposa a continuació.

Disseny d'un bloc del material adequat, al qual la estructura estarà fixada, per mantenir-la al fons del mar i per tant evitar que aquest floti. Per una banda, a part de que el propi pes del bloc de formigó dificulta el moviment de l'estructura, el bloc estarà fixat al fons marí. Per l'altre banda, es pretén fixar el mòdul amb cables al fons marí com a suport, així tenir un marge de seguretat més elevat. Els cables de suport ajuden a reduir les forces que es concentrarien en l'estructura sinó fos perquè amb la presència d'aquests les forces es reparteixen.

Per poder establir la viabilitat del projecte d'amarratge, s'han d'estudiar una sèrie de punts i així determinar les característiques que ha de tenir el mètode proposat.

9.1. Disseny del bloc

Per dissenyar el bloc, i que aquest amb el seu propi pes mantingui l'estructura al fons marí és important calcular la quantitat d'aigua que l'estructura desocupa, és a dir, el volum. El pes de l'aigua desocupada ha de ser inferior al pes del bloc de formigó. Considerant que l'estructura té el seu propi pes, s'estableix un coeficient de seguretat de 0,15 de manera que el pes de formigó ha de ser un 115% que el pes de l'aigua de mar desocupada. A més a més, s'aplica un sobredimensionant de 0,15 degut a possibles defectes en el material.

El volum desocupat per l'estructura s'ha calculat amb un programa de disseny anomenat *Rhinoceros 5.0*. A partir del disseny del motlle exterior de l'estructura aquest programa permet determinar el volum que és el següent:

$$\text{Volum aigua desocupada} = 313,84 \text{ m}^3$$

Mitjançant càlculs de densitats es pot determinar la quantitat de volum de formigó per dissenyar el bloc:

$$\text{Volum formigó} = 178,13 \text{ m}^3$$

El disseny de la forma que obtindrà el bloc és un tronc de con. En la *figura 38* queda representat amb les seves dimensions respectives acotades en mil·límetres obtenint així el valor del volum proposat:

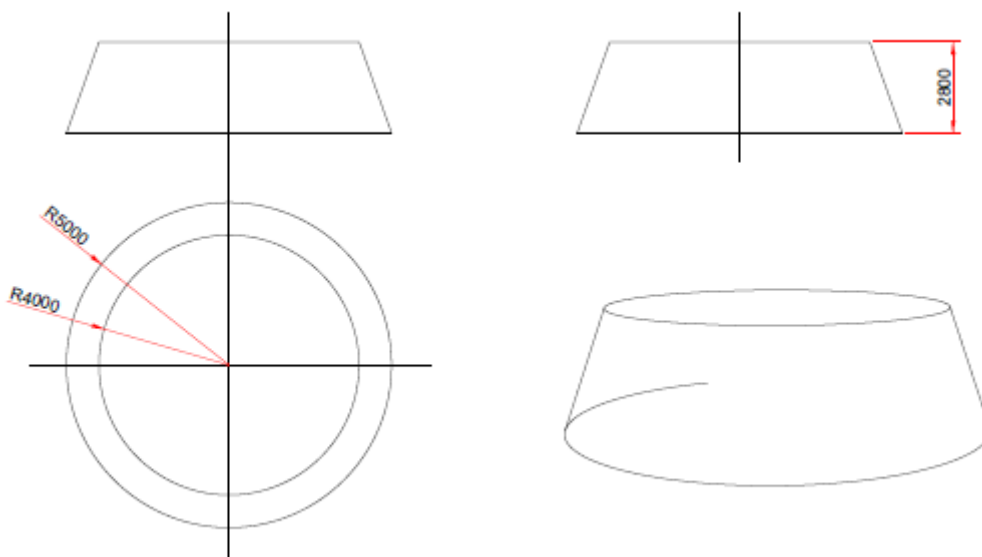


Figura 37 Esquema acotat del llast de formigó

9.2. Fixament del mòdul

El mòdul està fixat al bloc de formigó mitjançant quatre estructures cilíndriques d'acer. En aquest apartat s'estudiarà la unió entre les diferents parts.

Les peces d'unió són tubulars per tal de disminuir el preu del producte ja que no és necessari una estructura massissa. El diàmetre exterior és de 1000 mm i l'interior de 800 mm. La longitud de les estructures d'unió són majors a la distància entre el mòdul d'observació i el bloc de formigó ja que aquestes travessaran dins el bloc de formigó per una fixació més estable i segura. La distància entre el mòdul d'observació i el bloc de

formigó és de 4,2 metres. La disposició de les estructures és en forma de quadrat separades per una distància de 2830 mm entre el centre de cada una d'elles.

El sistema d'unió conté una plataforma circular d'acer sobre la qual reposa el mòdul principal que presenta la mateixa superfície. Aquesta plataforma esta unida per una banda als suports cilíndrics mitjançant una soldadura i per l'altre banda al mòdul per mitjà de cargols d'alta resistència. Combinant aquests dos mètodes de gran efectivitat s'aconsegueix una unió fixa entre les diferents parts.

9.3. Fixament del bloc

El bloc de formigó armat es tracta del llast que manté l'estructura en contacte amb el fons marí. El llast ha de romandre completament fixat al fons marí evitant tot moviment possible. El bloc de formigó armat quedarà ensorrat un metre en el sòl marí per afavorir la fixació contra la força d'arrossegament de les onades.

Aquest bloc de formigó està a més fixat amb quatre blocs de formigó armat units al llast, utilitzant el mètode empleat per a l'amarratge de boies marines i molts altres dispositius fixes en la superfície marina. Els blocs de formigó armat tenen una dimensió de un metre cúbic i els cables que uneixen 9350 mm.

Les mateixes estructures que fixen el mòdul amb el bloc de llast, travessen el formigó armat i penetren en el sòl la mateixa altura que la estructura submergida. Per fixar-se en el bloc de llast i evitar per tant un moviment vertical s'ha utilitzat el mateix mètode de unió que el mòdul amb els cilindres. Aquest mètode és el més utilitzat per a l'emplaçament de aerogeneradors marins a poca profunditat, anomenades *estructures monopod*, com per exemple el *Horns Rev I* a Dinamarca.

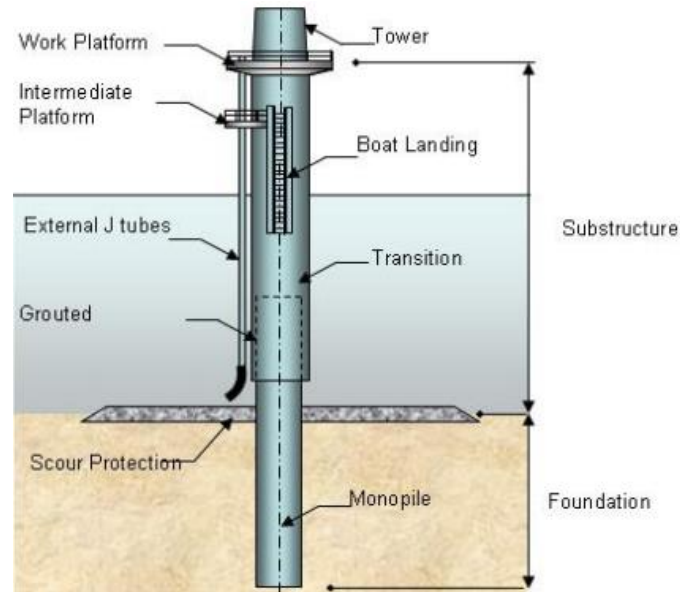


Figura 38 Esquema del sistema Monopod de fixament al fons marí

La estructura monopod consisteix bàsicament en una extensió de l'estructura que queda submergida en el subsòl i que amb la pròpia gravetat de l'estructura roman immòbil. En el cas dels aerogeneradors són molt més grans, tan per la part submergida, enterrada i la que sobresurt per sobre la superfície del mar. Això afavoreix aquest projecte, ja que no cal sobredimensionar tant la part enterrada de l'estructura. S'han trobat altres sistemes de fixació utilitzats per la instal·lació d'aerogeneradors de poca profunditat, els quals també es podrien haver utilitzat en el projecte, però s'ha cregut oportú la selecció del *Monopod* per aquest cas.

En la següent figura queda representada els diferents sistemes de fixació que es pretén utilitzar en el projecte per amarrar el llast:

9.4. Disseny del sistema de suports

S'instal·laran quatre cables d'acer inoxidable per tal d'ajudar a evitar moviment horitzontal de l'estructura. Aquets cables estaran subjectes al fons marí per un extrem i a la part inferior de la zona d'observació per l'altre, que presenta uns detalls en la seva superfície que permeten la unió amb el cable.

La part ancorada al sòl utilitza el mateix sistema que el fixament del bloc de llast de l'estructura, però amb unes dimensions reduïdes. Les característiques del sistema de fixació dels suports són els exposats a continuació: blocs de formigó armat fixats són de 1 m^3 ; els cables que uneixen les dos parts són de longitud 1000 mm; i una secció de 20 mm de diàmetre.

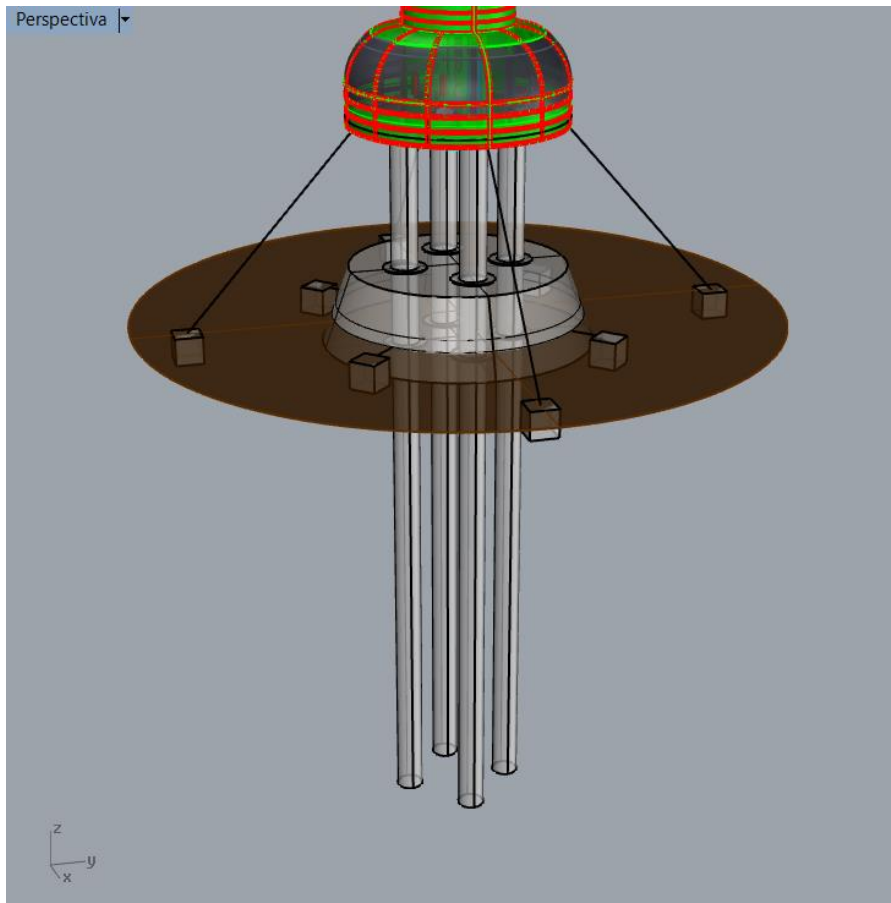


Figura 39 Imatge del sistema de emplaçament en el model 3D del projecte

10. Sistemes

Per tal de que un projecte com aquest permet-hi la visita de persones ha de tenir certes instal·lacions i sistemes indispensables. En aquest apartat es dissenyaran i dimensionaran els diferents sistemes del projecte.

El disseny dels sistemes del projecte ha estat basat en la normativa vigent de la Societat de Classificació Germanischer Lloyd's (GL).

10.1. Sistema de inundació i buidatge

El sistema de inundació i buidatge és l'encerregat de distribuir l'aigua al llarg de tota l'estructura amb la finalitat de provocar una inundació parcial de l'interior requerida en situacions d'emergència. L'altre finalitat d'aquest sistema és el buidatge de una inundació provocada per mitjà de bombes adequades a les característiques de la instal·lació.

Per dissenyar correctament aquest sistema és important un bon disseny del circuit de distribució d'aigua i la instal·lació d'unes bombes capces de subministrar aigua en el punt requerit de l'estructura. El disseny del circuit de distribució ve documentat en el Annex VII, que es base en la normativa GL aplicable a embarcacions de passatge ja que són els que més s'assemblen pel que fa a la finalitat del espai.

La selecció dels elements que conformen el sistema es mostrada a continuació. Per a això ha estat necessari el desenvolupament dels càlculs pertinents, inclosos en el Annex VI com fulls de càlcul.

Les canonades adequades pel que fa a les característiques del nostre projecte s'ha calculat segons la secció 11-N de la normativa GL, que considera les característiques de l'embarcació. El diàmetres de les canonades, tan primàries com secundaries, es poden obtenir a partir de les equacions d'aquesta secció de la normativa, mostrades a continuació:

Equació 11 Equació del càlcul de canonades proposada per GL

$$d_H = 1,68 \cdot \sqrt{(B + H) \cdot L} + 25$$

$$d_z = 2,15 \cdot \sqrt{(B + H) \cdot l} + 25$$

En el nostre cas només s'utilitzaran canonades d'una sola secció, utilitzant la primera equació:

$$d_H = 50,14 \text{ mm}$$

Segons les necessitats d'inundació i buidatge de l'interior es dimensionen els elements de la instal·lació de la següent manera.

El procés d'inundació es realitza a pressió, deixant entrar l'aigua per unes preses de mar controlades per unes electrovàlvules. La inundació parcial de l'estructura s'ha de realitzar en un període de 60 minuts. A partir d'aquí es dimensionen la quantitat, dimensions i característiques de les preses de mar i electrovàlvules pertinents per assegurar una inundació dins els límits temporals.

Els càlculs del dimensionament es troben al Annex VII, el resultat dels quals és el següent:

S'instal·laran quatre entrades diferents amb les seves electrovàlvules corresponents que permetran el pas d'aigua a pressió en cas que sigui necessari. El caudal total que permetran aquestes entrades és:

$$Q = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

El diàmetre interior de les canonades que conduiran l'aigua a l'interior de l'estructura és el següent:

$$D = 62,92 \text{ mm}$$

El diàmetre estàndard de fabricació per a la instal·lació:

$$D = 65 \text{ mm}$$

Per una altra banda el procés de buidatge és més complicat i és necessària una bomba amb el caudal suficient com per buidar l'estructura amb un període de 5 hores. Els càlculs del dimensionament de la bomba es poden trobar, en el Annex VII, igual que en el procés de inundació.

En aquest cas el sistema estarà format per dues bombes d'acoblament tancat, situades en la part inferior de la zona d'observació. El buidatge es realitzarà a un metre per sobre el nivell de l'aigua, de manera que la columna d'aigua a superar per les bombes és de 18 metres. El caudal necessari calculat a partir dels temps d'inundació i el volum a inundar és el següent:

$$Q = 31,384 \text{ m}^3/h$$

A partir de les dades adquirides sobre el funcionament i amb les corbes de característiques d'un catàleg de bombes s'ha escollit la que més s'adequa a les prestacions requerides.

El model escollit és una bomba d'acoblament tancat de 5,5 KW, del fabricant Forani & Pecorari. S'instal·larà dos bombes del mateix model, AM50EM2T50, les corbes de característiques de la qual s'exposa a continuació, extretes del seu catàleg.



Figura 40 Corba de característiques del model de bomba AM50EM2T50 del sistema de buidatge.

10.2. Sistema de contra incendis

Des del punt de vista de la seguretat, un dels més importants és el sistema de contra incendis, garantint l'extinció davant la presència d'un incendi. El disseny del sistema ve documentat amb una sèrie d'arxius adjunts en el Annex VII que han estat emprats en la realització del mateix, com és el cas de fulls de càlcul per als aspectes referents al dimensionament i plànols del conjunt.

A continuació seran exposats els passos a realitzar per al disseny i dimensionament del sistema de contra incendis. La selecció dels elements que conformen el sistema es mostrada a continuació. Es tracta d'una part molt teòrica basada en la normativa GL, que especifica quins instruments s'han d'instal·lar, les característiques, la quantitat i els punts on s'han de col·locar.

El sistema presenta tres mètodes contra incendi, a més a més de elements detectors d'incendi repartits per tota la estructura.

Les característiques com a estructura gairebé tancada no permeten l'ús de CO₂ com a mètode per a l'extinció del foc de manera que s'ha optat per un sistema fix de gas inert. Els dipòsits de gas inert es troben sota l'ascensor i estan programats per ruixar la zona d'observació. Un fabricant que proporciona aquest productes i la instal·lació d'aquest servei és l'empresa Prefire, situada al Masnou (Barcelona).



Figura 41 Sistema de cinc ampolles de gas inert d'un sistema de contra incendis.

El compartiment on es troben les ampolles de gas inert està situat sota l'espai de circulació de l'ascensor, el qual es pot accedir després d'un bloqueig previ del sistema

de funcionament de l'ascensor. Aquest compartiment acord a les normatives ha de presentar un aïllament contra incendis. L'aïllament està compost de les diferents capes dels materials que es mostren a continuació:

- Superfície Firemaster 607 Blanket
- Superfície Firemaster Alu 607 Blanket 70kg/m³
- Superfície Firemaster Alu 607 Blanket 64kg/m³
- Planxes KYDEX Alumi 4mm



Figura 42 Firemaster Alu 607 Blanket 64kg/m³

Aquest material proporciona un aïllament tèrmic i acústic, a més a més de les seves propietats incombustibles aprovades per la EU Marine Equipment Directive. El fabricant, Thermal Ceramics, exposa la informació, característiques i propietats del producte a l'abast del públic.

Per una altra banda es troben extintors repartits en totes les zones de l'estructura, des de la passarel·la fins a la zona d'observació. Els extintors són de 10 kg pols, ja que el CO₂ pot comprometre la seguretat dels usuaris en estructures tancades.

Per últim s'han instal·lat dos ruixadors d'aigua un a cada extrem de la zona d'observació, que utilitza un sistema de canonades propi. Aquest circuit, que agafa aigua d'una presa de mar, presenta una bomba, dimensionament de la qual esta exposada en el Annex VII. Es tracta d'una bomba de poca potència ja que no precisa un caudal elevat ni superar una gran altura d'aigua.

Amb les corbes de característiques dels diferents models del catàleg del fabricant Forani & Pecorari, s'ha escollit la bomba més adequada per a les necessitats de la instal·lació. Els valors de caudal i columna d'aigua que ha de poder assolir la bomba són els següents:

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}; H = 3,5 \text{ m}$$

El model escollit és una bomba d'acoblament tancat de 550 W, de Forani & Pecorari. S'instal·larà una bomba del model PC25EM4T50 que tot i ser el model amb menys potència del fabricant presenta unes característiques suficients per el tipus de instal·lació. La seva corba de característiques és la següent:

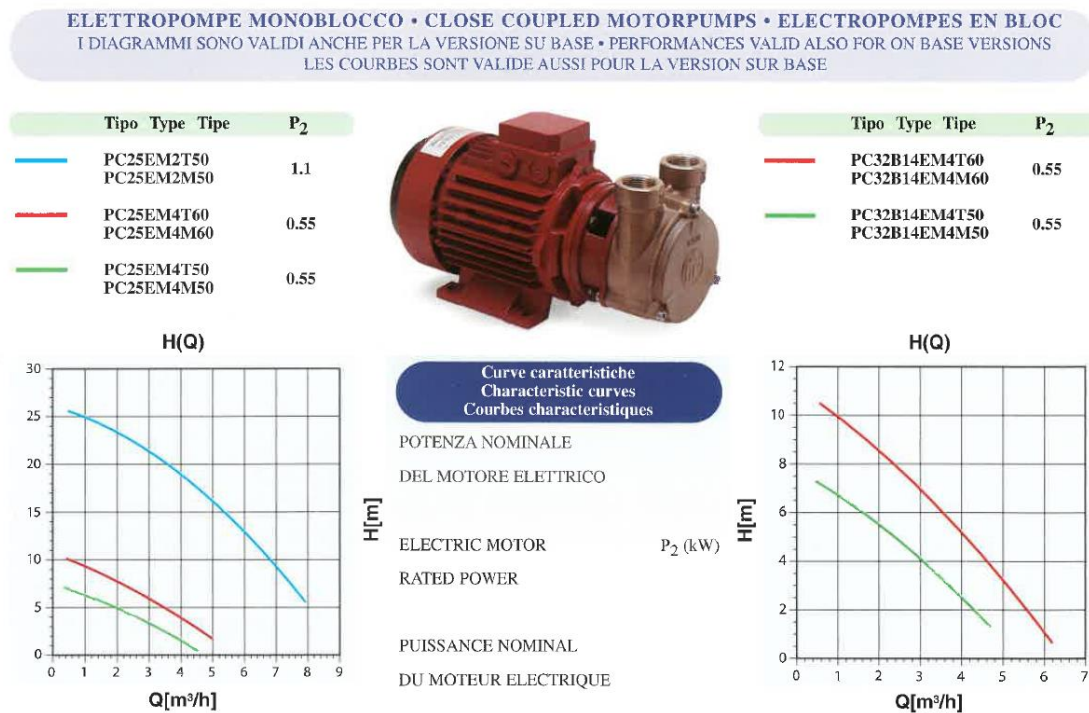


Figura 43 Corba de característiques del model de bomba PC25EM4T50 del sistema de buidatge.

A continuació es citen i situen els elements necessaris que falten per completar el sistema de contra incendis. Els elements que formaran part d'un sistema depenen de les característiques del projecte en el que aniran instal·lades. En la taula que es mostra a continuació s'exposen els adequats al disseny de l'estructura:

Instrument	Quantitat
Gas inert	1
Ruixador	2
Extintors 10kg pols	5
Sensor de fum	2
Sensor temperatura	2
Alarma incendis	2

Taula 18 Elements que formen part de la instal·lació contra incendis

En les figures següent que fa referència al plànol de l'estructura es pot apreciar la situació dels elements necessaris per al sistema de contra incendis en les dos plantes de l'estructura:

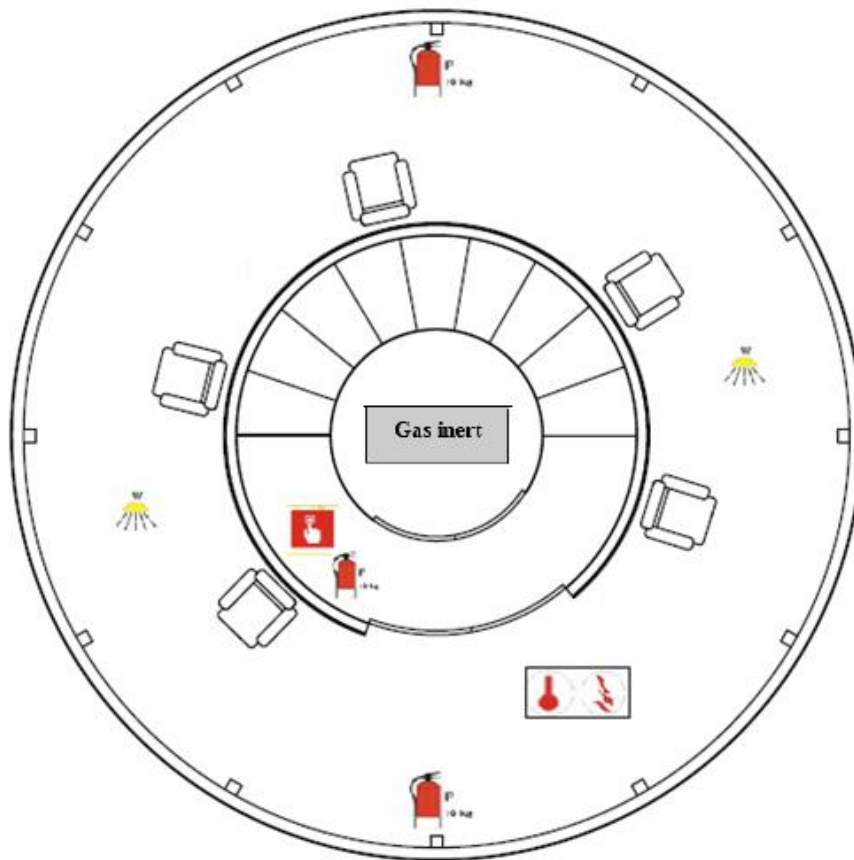


Figura 44 Ubicació dels elements contra incendis en zona d'observació

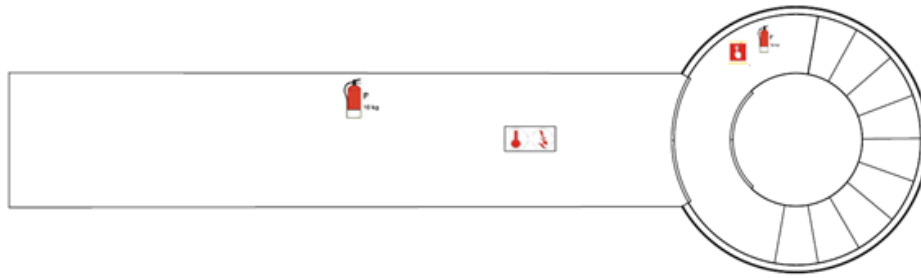


Figura 45 Ubicació dels elements contra incendis en la planta 1 i passarel·la

10.3. Sistema de buidatge d'aigües condensades

El sistema de climatització provoca condensació de líquids, no només amb l'aire acondicionat, sinó també, amb el contacte entre l'aire escalfat i el metacrilat de la zona d'observació que es troben a diferents temperatures. Aquests líquids queden dipositats en la part inferior de la zona d'observació, de manera que es necessari instal·lar una bomba de buidatge per aquesta zona.

El dimensionament de la bomba de buidatge d'aigües condensades es pot apreciar en el Annex VII. A partir d'aquest càlcul es determina que la bomba més adequada és el model PC25EMT50 de Forani & Pecorari. Aquesta bomba de 1.1 KW permet superar una columna d'aigua de 18 metres amb un caudal de 4 m³/h, el qual doble les prestacions necessàries. A continuació es mostren la corba de característiques del model escollit per el sistema.

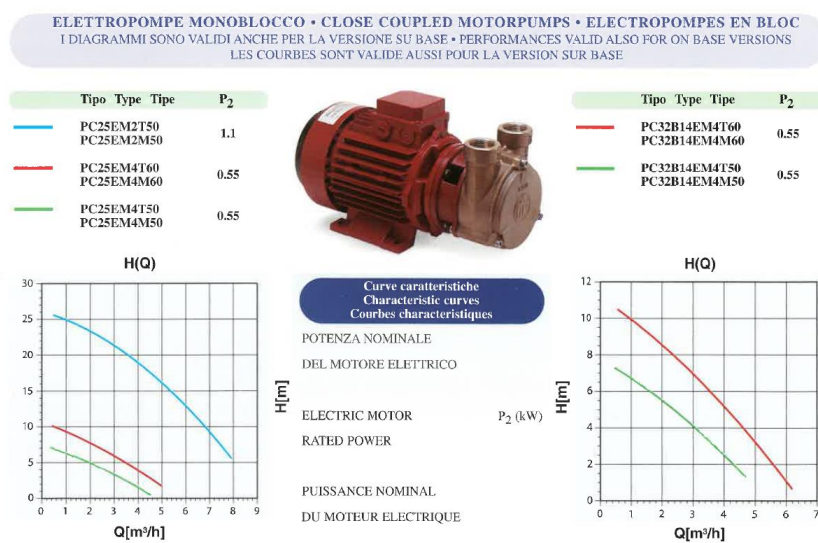


Figura 46 Corba de característiques del model de bomba PC25EMT50 del sistema de buidatge.

En el Annex VII es pot apreciar el sistema de buidatge d'aigües condensades amb la seva disposició.

10.4. Sistema de ventilació

El sistema de ventilació és l'encarregat de renovar l'aire de les zones submergides constantment. El disseny de formes de l'estructura permet a la instal·lació obtenir aire de l'exterior de manera que la funció del sistema és fer circular l'aire per tal de garantir un nivell adequat de oxigen en l'estructura. Aquest sistema presenta una ventilació forçada que disposa d'un ventilador encarregat de captar i fer circular l'aire pels conductes de ventilació.

El caudal de aire que el sistema fa circular es calcula considerant un numero de 60 renovacions per hora, ja que és el més habitual. No obstant això el sistema disposa d'un sensor d'oxigen que pot regular el caudal de l'aire si aquest és inferior al indicat.

Considerant unes pèrdues de càrrega per la circulació de l'aire, calculada seguint el manual de Soler Palau SA., que exposa a accés del públic una gran quantitat de informació sobre sistemes de ventilació. El dimensionament del ventilador d'aquest sistema es troba en el Annex VII.

Les canonades de circulació de ventilació són circulars de una secció estàndard amb un diàmetre de 400 mm. Les característiques calculades que ha d'assolir el sistema de ventilació, considerant els valors de la secció establerta, són les següents:

$$Q = 149,76 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Pressió dinàmica} = 37,2 \text{ mm c. d. a.}$$

A partir del catàleg del fabricant Gianneshi, s'ha escollit un ventilador model ELL 450/2, que ofereix les característiques de treball requerides. La potència instal·lada amb aquest sistema és de 2,2 KW a una tensió de 230V.



ELL/AP



Figura 47 Model de ventilador ELL de Gianneschi.

En aquest projecte s'ha instal·lat un sistema de seguretat que pugui mantenir aire renovat per un període de temps en cas que es detecti una incidència en el sistema de ventilació. La funció d'aquest sistema és eliminar el CO₂ i proporcionar oxigen.

El sistema d'emergència està format per uns dipòsits d'oxigen que són els encarregats de subministrar oxigen, amb els límits permesos, a l'aire del col·lector per a la nova circulació. Aquesta subministració es realitza mitjançant una vàlvula, la qual està duplicada per motius de seguretat. Per una altra banda, els encarregats de retenir el diòxid de carboni mitjançant un procés químic són els *scrubbers*, els quals estan repartits per una zona dels conductes de ventilació.

Quan el sistema de ventilació diari està en correcte funcionament, es fa un pont per evitar el sistema d'emergència.

10.5. Sistema de climatització

El sistema de climatització estar dotat d'un aire acondicionat col·locat en el mòdul d'observació, on els visitants s'aturen la major part de la visita. Les altres parts de l'estructura només són zones de trànsit per entrar i sortir de la zona d'observació.

A continuació es realitza un dimensionament del sistema de climatització per saber quin tipus i potència ha de tenir la instal·lació. Aquests càlculs es basen en uns valors inicials

a determinar segons les característiques de l'espai a climatitzar. Per dimensionar el sistema s'utilitzen una taula que té en compte diversos factors. En el Annex VII s'han realitzat els càlculs necessaris per arribar al valor final de la potència del sistema d'aire acondicionat necessari. Els factors per al càlcul han estat sobredimensionats per assegurar una instal·lació suficient per a les característiques de l'espai a climatitzar.

$$\text{Carga de refrigeració total} = 10739,5 \text{ frigories/h}$$

$$\text{Potència} = 12,49 \text{ KW}$$

Segons el dimensionament calculat s'ha de instal·lar tal sistema capaç de proporcionar la potència obtinguda. S'ha escollit un aire acondicionat model CASSETTE MUCSR-60-H6t de 15,83 KW.



Figura 48 Aire acondicionat model CASSETTE MUCSR-60-H6t.

10.6. Sistema elèctric

El sistema elèctric del projecte, en situació de funcionament ordinari, no necessita una font independent, és a dir, motors, bateries o generadors, ja que sempre està connectat a terra. La font d'alimentació es troba l'entrada de l'estructura i es ramifica per tota l'estructura allà on es necessiti consum elèctric.

En cas de interrupció de la font d'alimentació de terra, en el sistema està instal·lat un generador per als sistemes de seguretat o els serveis d'emergència que no es poden interrompre, tot i perdre la font d'alimentació principal.

Per poder dissenyar un bon sistema elèctric, el primer pas és identificar els elements consumidors de l'estructura. En l'Annex VII es pot veure el llistat de tots aquests elements, cadascun amb un fabricant, on s'inclouen les especificacions dels consumidors. Cal apuntar que els elements que tenen un consum mínim no s'han tingut en compte.

En el balanç elèctric es troben tots els elements citats en els punts anteriors que formen part d'algun sistema. Per una altra banda, també s'inclouen els que s'exposaran a continuació com són el cas del ascensor i la il·luminació.

Per dimensionar el sistema del ascensor s'ha utilitzat el catàleg d'una empresa dedicada especialment a la instal·lació d'ascensors, Moving People. Tenint en compte les característiques de l'espai on es vol instal·lar, la capacitat, la càrrega útil, velocitat i en general tots els factors disponibles per part de l'empresa, s'ha escollit el model MP1005H, de la sèrie S. Les característiques del model són les següents:

Característiques	MP1005H
Capacitat (persones)	10
Velocitat (m/s)	0,52
Arranques/hora	45
Potència (CV/KW)	17,5/13
Intensitat Nominal (A)	28,5
Q carga útil (kg)	750/800

Taula 19 Taula de característiques principals del ascensor model MP1005H de MP.

Aquest model permet assolir els requisits de la instal·lació a més a més de fer possible la instal·lació dins el forat dissenyar per l'ascensor.

El sistema de il·luminació s'ha dimensionat mitjançant el catàleg de diferents empreses dedicades a aquest sector. A continuació es presenten els models escollits per a cada una de les zones de l'estructura. Per determinar la quantitat de dispositius instal·lats s'han seguit normatives d'urbanisme, arquitectura i disseny d'interiors. La potència total de la il·luminació instal·lada és de 891,5 W.

En el balanç s'ha realitzat una classificació entre tots els dispositius consumidors instal·lats:

- Essencials: són aquells elements requerits per a la seguretat del personal i l'estructura.
- No essencials: són tots aquells no vinculats directament a la seguretat. Solen formar part del confort i habitabilitat.
- Emergència: són aquells que en cas d'una fallada total de potència han de ser alimentats per mantenir la seguretat i poder evacuar l'estructura.

La taula del balanç elèctric realitzat, permet apreciar que la potència instal·lada arriba a 45,02 kW.

Per una banda, s'han estudiat dos situacions amb un correcte funcionament de la instal·lació: en cas de completa operativitat; i en cas de no operativitat de l'estructura per raons de horari o seguretat. En aquestes situacions la màxima potència demandada és de 15,46 kW, en una situació de correcte funcionament de la instal·lació durant el dia. Aquesta potència ha de poder ser assolida per la xarxa de terra.

Per l'altra banda, s'ha fet un estudi de diferents situacions d'emergència en les quals els consumidors depenen d'una font d'alimentació independent. Els casos estudiats són els següents:

- Situació d'emergència en buidatge
- Situació d'emergència elèctrica
- Situació d'emergència per incendi

Per a cada una de les situacions es necessària la operativitat de diferents sistemes. La situació amb màxima demanda és la d'emergència en buidatge.

En el balanç anterior ja s'han identificat els sistemes pertinents a les situacions d'emergència. Amb aquest balanç, que podem trobar en l'Annex VII, observem que el total de potència necessària en el cas d'emergència en buidatge és de 11,2 kW. D'aquesta manera, el generador d'energia que hem d'instal·lar, com mínim, haurà de poder subministrar aquesta potència.

El generador escollit per al subministrament d'energia en situació d'emergència és el model "Generador Insonoritzat Kaiser Silent Bull PRO" que pot arribar a subministrar una potència de 13kW. El generador estarà ubicat a l'exterior de l'estructura, en l'espai de l'entrada dedicat a la maquinària necessària per al funcionament del projecte.



Figura 49 Generador Insonoritzat Kaiser Silent Bull PRO

Per tal de que el generador arranqui automàticament quan es perdi la xarxa de terra o es detecti una baixada de tensió s'ha instal·lat un controlador per a grups electrògens en instal·lacions d'emergència per caiguda de la xarxa AMF. El controlador escollit és un SAE 822, de l'empresa SVE. Les característiques tan del generador com del SAE, es poden trobar en les respectives pàgines webs de les empreses.



Figura 50 Controlador per a grups electrògens en instal·lacions d'emergència, SAE 822

11. Instal·lació

En aquest apartat s'exposarà el procés d'instal·lació punt per punt de l'estructura, és a dir, el procediment per dipositar el punt d'observació en el punt indicat de la costa. En aquest apartat no es parla de la instal·lació dels diferents sistemes amb els quals està dotada la estructura.

La instal·lació de l'estructura en el punt d'emplaçament està determinada per tres punts principals que són el següents:

- Instal·lació del sistema d'emplaçament
- Instal·lació del mòdul principal
- Instal·lació de l'accés

Cada part de la instal·lació té un procediment a seguir per assegurar un correcte emplaçament del projecte. A continuació s'explicarà punt per punt en que consisteix el procediment.

11.1. Instal·lació del sistema d'emplaçament

Aquest punt del procés d'instal·lació consisteix en marcar la zona exacte en el terreny per dipositar posteriorment les diferents parts del sistema d'emplaçament.

El primer pas és senyalitzar els punts del terreny on es perforarà per col·locar els quatre suports cilíndrics del sistema d'emplaçament, és a dir, els *monopod*. A més a més també cal marcar les zones on es dipositaran els llasts de formigó armat. Es necessària una gran precisió per aquesta tasca ja que un desplaçament de les marques suposa una reacció en cadena e inhabilitar l'emplaçament del projecte.

El procés de perforació que s'utilitzarà per aquest projecte és el mateix empleat per a la perforació d'aigües profundes però amb un sistema reduït.

El procés es realitza des de una embarcació. Quan aquesta arriba a la zona de perforació, rep una senyal satèl·lit que l'ajuda a col·locar-se en la posició exacte requerida. La embarcació, utilitzada per aquest procés, presenta sis hèlices que poden

girar 360 graus i la mantenen en un sola posició, evitant que aquesta navegui a la deriva a causa del vent o les corrents marines.

En el punt indicat s'implanta un pilot que es baixa a través d'una guia. Un cop instal·lat el pilot es baixa una broca de grans dimensions adequada al material i circumstàncies en la que s'ha de perforar. Un cop el forat fet es retira la broca i s'insereixen els *monopod* per evitar que el forat col·lapsi. Per fixar el suport es bombeja ciment a l'espai entre el forat i la peça cilíndrica introduïda.

En aquesta part del procés ja estan col·locats els *monopod* i s'han realitzat els forats per a la instal·lació del llast. Per tant, el següent pas és fer descendir un total de nou peces de formigó armat que faran la funció de mantenir l'estructura submergida. El descens de aquestes tones de formigó armat es realitza amb l'ajuda de grues i la supervisió de submarinistes per un encaix correcte amb els suports prèviament instal·lats.

11.2. Instal·lació del mòdul principal

El mòdul principal està fabricat fora de l'aigua i després s'uneix als suports del sistema d'emplaçament.

Per fer descendir l'estructura s'utilitza el mateix procediment que en el cas del llast. Prèviament es necessita inundar l'estructura perquè aquesta no floti. Aquesta inundació es realitza abans de passar els cablejats dels sistemes, excepte el de buidatge per poder extreure l'aigua un cop estigui en la seva posició.

Amb l'ajuda de les grues es posiciona el mòdul en el punt exacte i es realitza el procediment de unió amb els suports. Per una banda, tal com s'ha explicat anteriorment és procedeix a realitzar la soldadura i el sistema de cargols de alta resistència. Per l'altra banda, s'instal·len els cables de suport que uneixen els blocs de llast amb l'estructura.

Quan s'ha finalitzat la fixació del mòdul principal i el sistema de emplaçament aquest es considera un sol bloc i es procedeix a treure l'aigua del mòdul principal amb el sistema de buidatge i assecar totalment l'interior de l'estructura.

11.3. Instal·lació de l'accés

El procés d'instal·lació de l'accés es considera la construcció de la plataforma d'accés per accedir des del litoral fins el mòdul principal.

El primer pas d'aquesta part del procés és instal·lar l'estructura principal de la plataforma, fixar-la al litoral i al mòdul. A partir d'aquest punt es construeix la resta de l'estructura, els reforços i les parets que recobreixen la passarel·la. En un punt final es comença la edificació de l'entrada que s'ha dissenyat en punts anteriors i que en aquest projecte no s'entrarà en detall.

Aquest és el punt final de la instal·lació, en la qual només queda realitzar els acabats de l'estructura.

12. Acabats

En aquest punt es fa referència a elements que pretenen millorar l'aspecte exterior i interior de l'estructura o que suposen una millora per a la funcionalitat del projecte. La majoria dels acabats es realitzen en les últimes parts del procés d'instal·lació. Molts d'ells estan pensats per disminuir l'impacte ambiental i visual que suposa l'emplaçament del projecte en aquest punt del litoral. Per una altra banda d'altres tenen una finalitat útil o de comoditat per a diferents situacions.

12.1. Acabats d'utilitat i comoditat

Referent els acabats que estan destinats a proporcionar una millora en el aspecte, utilitat i comoditat pels usuaris que visiten el projecte d'observació s'han determinat alguns acabats que s'aplicaran al projecte:

- Per tal de promocionar la investigació i observació de l'espai on es realitza l'emplaçament de l'estructura s'adaptarà una zona pels submarinistes, sempre que quedin registrades les immersions, siguin controlades i en horaris adequats.
- En l'interior de l'estructura hi ha dos tipus d'enllumenat, el de les escales i el que es troba en la zona d'observació i la passarel·la. Els llums de la zona d'observació són més potents i ofereixen una gran claror ja que és el punt més important de l'estructura. El models que s'han escollits són el que es mostren a continuació:



Figura 51 Models de llums escollits per a l'interior de l'estructura.

- En l'interior de la zona d'observació, es troben un conjunt de sofàs per a la comoditat dels usuaris, de manera que ajudi a una visita més relaxant i que puguin descansar durant la visita.



Figura 52 Prototip de sofà per a la zona d'observació.

- Un altre acabat important, que no té res a veure amb l'impacte que el projecte genera, és la instal·lació de baranes al llarg de l'estructura exterior submergida. Aquestes peces estan destinades per a la subjecció de submarinistes en possibles operacions de inspecció, supervisió i reparació de l'estructura exterior. Es tracta d'un acabat d'utilitat i comoditat ja que facilita la realització d'activitats per els submarinistes.
- S'instal·laran baranes a banda i banda de l'entrada a la passarel·la i per el descens de les escales fins a la zona d'observació.
- A la profunditat a la qual es troba el punt d'observació no hi ha d'haver problema per a la visualització de l'ecosistema marí. Tot i així, s'instal·len quatre focus submarins que només s'utilitzen en cas que degut a alguna situació anormal dificulti la observació. En cas que no es trobin en us passen totalment desapercibuts a la visió externa de l'estructura.
- A part de l'aïllament en el compartiment de gasos inerts, tota la estructura, excepte la superfície de metacrilat en la zona d'observació presenta una capa d'aïllament tèrmic entre les parets interiors i el casc exterior.
- El terra en tots els punts de l'interior de l'estructura presenta una superfície granulada resistent a l'aigua i que permet una ràpida neteja i s'asseca amb facilitat.

- La maquinaria dels sistemes es troba en compartiments completament estancs per evitar la penetració d'aigua en cas d'inundació que pugui afectar els cablejats elèctrics i altres parts de les instal·lacions.

12.2. Acabats per la millora de l'impacte mediambiental

Uns altres acabats són els que estan pensats per a la disminució de l'impacte ambiental i visual degut a l'emplaçament de l'estructura. Alguns dels quals són els següents:

- El bloc de formigó presenta entrades i una capa externa de roques minerals favorables per a la preservació i generació de vida. Aquest disseny mostra un caràcter que simpatitza amb l'ecosistema marí, ja que està pensat per oferir un refugi a les criatures marines. Amb això es pretén una ampliació de la fauna i flora marina just sota la zona d'observació. Per una altra banda, també millora l'impacte visual que un gran bloc de formigó armat donaria al fons marí.
- Un altre punt per disminuir l'impacte visual de l'estructura a la superfície és els materials dels acabats de l'entrada i la passarel·la d'accés al mòdul principal. Es vol assolir un aspecte més natural de manera que s'utilitzaran acabats orgànics com la fusta iroko amb unes capes de materials que atorguin protecció a l'aigua del mar.



Figura 53 Tauló de fusta iroko.

- Per una altra banda, s'ha de adaptar el desens del camí litoral de la ubicació a l'entrada per aconseguir un accés segur i tan còmode com sigui possible a l'estructura. Aquest mantindrà el mateix aspecte que es vol aconseguir amb tota la zona que es troba per sobre el nivell del mar.

- L'aspecte que dona tota l'estructura d'acer, ja sigui la part submergida com la que no, és molt artificial. Per disminuir el color metal·litzat de l'estructura es pretén utilitzar una capa de pintura a tota la superfície de l'estructura amb unes propietats anticorrosives, aïllants de la humitat i resistents a la salinitat. La pintura pretén disminuir l'impacte visual de l'estructura, de manera que ha de tenir un color que camufla en una gran part la seva presència.

13. Plans de contingència

En un projecte com aquest es poden donar varies situacions d'emergència, les quals poden ser més o menys greus. Les situacions d'emergències poden ser provocades per diferents raons, que desencadenen un tipus de problema amb un grau de gravetat determinat. Cada situació necessita un pla d'actuació determinat.

En aquest punt es pretén explicar algunes possibles situacions d'emergència i com s'hauria d'actuar en cada cas. S'especifiquen els passos a seguir en cas de que es produeixi alguna averia o part de l'estructura estigui malmesa, la qual pugui suposar la interrupció del funcionament de l'estructura. S'estudiaran problemes greus en detall i d'altres de més lleus, en ambdós casos deixant clar els passos a procedir. També queda expressada el nivell de gravetat dels possibles esdeveniments i amb quina rapidesa s'ha d'actuar.

13.1. Fissura del mòdul de metacrilat

Una fissura del mòdul de metacrilat es podria produir per l'impacte contra l'estructura de metacrilat a causa d'algun sòlid arrossegat per corrents submarines. Aquest incident suposa un evacuació immediata de l'estructura, encara que només es tracti d'una esquerra.

Un cop realitzada l'evacuació es procedeix a la inundació de l'estructura i una primera investigació de l'incident, les causes i la gravetat de la fractura. En el pitjor dels casos i en cas que es consideri oportú es procedeix a un recanvi del metacrilat afectat. L'últim pas es el buidatge de l'interior de l'estructura i assecar totes les zones.

Cal supervisar totes les tasques de la reparació amb detall i assegurar que el mòdul romangui totalment estanc un cop acabades les operacions.

13.2. Penetració d'aigua

Una penetració d'aigua en la estructura és un dels incidents més greus que es poden produir en el projecte. La manera de procedir és idèntica a la fractura en el metacrilat del mòdul, ja que una podria ser la causa de l'altre. Si hi ha una penetració d'aigua s'ha

de realitzar una investigació per trobar l'origen i la causa de l'entrada d'aigua en el cas que no s'hagi identificat prèviament.

Un cop trobat l'origen es procedeix a la reparació del incident per poder aturar l'entrada d'aigua. Segons la superfície on es trobi el punt afectat s'intervindrà duna manera o d'un altre. La solució més comuna per aquest tipus d'incident és la soldadura d'una peça exterior que eviti la intrusió i deixi la estructura estanca de nou.

13.3. Incendi

Un incendi en l'interior de l'estructura és molt poc probable degut als materials ignífugs utilitzats per al disseny interior del mòdul exposats en el punt 12. *Acabats*. Tot i així s'ha de preveure en cas de produir-se per materials introduïts des de l'exterior.

Un cop s'ha detectat un incendi s'ha de procedir a l'extinció immediat amb els equips de contra incendis amb els quals esta dotada l'estructura. A més a més cal deixar actuar els sistemes de contra incendi. En cas de l'expansió del foc, i per tant el pitjor cas es procedeix a l'evacuació del mòdul per les escales i activació immediat del sistema d'inundació per a l'extinció total del foc abans que aquest pugui malmetre l'estructura de gravetat.

S'haurà de revisar i passar un informe de danys un cop extint el foc.

13.4. Ruptura d'un cable de suport

La ruptura d'un dels cables de suport per a l'emplaçament de l'estructura es pot produir per una sobretensió provocada en una direcció a causa de fortes corrents marines. En cap circumstància estudiada s'hauria de produir tal incident, ja que només és un mètode de seguretat del sistema d'emplaçament que no suporta grans forces, però que està preparat per tal situació.

Un altre punt a estudiar és si aquest sistema de seguretat podria aguantar en cas que un dels cables de suport sedis, de manera que es pot determinar la gravetat del problema i la reacció a tal incident.

13.5. Falla del sistema ventilació

En cas que falli el sistema de ventilació no es suspèn cap activitat de l'estructura en el moment de la detecció del problema. Es revisa i s'intenta solucionar el problema amb la màxima discreció possible. En cap moment es comunica l'incident en el sistema i s'activa el sistema d'emergència de ventilació. En cas que en un període de 5 hores no s'hagi solucionat el problema es procedirà a una tranquil·la evacuació de l'estructura i suspensió de les activitats fins que l'incident sigui resolt.

13.6. Falla del sistema elèctric

Un error en el sistema elèctric no representa cap problema de seguretat. En cas que el sistema deixi de funcionar és evident per als presents en la estructura. Automàticament s'activa el generador d'emergència independent de la xarxa destinat a aquest tipus de problemes. Aquest està connectat a des bateries que proporcionen suficient potència per mantenir en funcionament tot el que inclou el sistema d'emergència.

En cas que no sigui possible solucionar la averia en el sistema elèctric de immediat, el director al càrrec de l'estructura proposarà la suspensió de les activitats que s'estiguin donant a terme en la estructura.

13.7. Previsió de fort onatge

En cas que es detecti una previsió de temporal el projecte de observació submarina romandrà tancat sense cap mena de excepció per motius de prevenció i seguretat, ja que les condicions no són les més òptimes.

Quan es consideri que el temporal ha disminuït es procedirà a la reobertura de l'estructura.

13.8. Malmesa de l'estructura d'accés

L'estructura d'accés es podria veure malmesa per impactes d'onades de temporal repetitives durant un període llarg de temps. La part més vulnerable a l'acció del mar és la passarel·la que pot ser impactada en cas de onades de grans dimensions.

El més probable es que no hi hagi ningú en l'estructura quan es produeix el desperfecte en l'accés ja que en situació de temporal, aquesta resulta tancada al públic tal com s'ha explicat en el punt anterior per motius de prevenció. En aquest cas l'entrada a l'estructura es mantindrà prohibida fins a la reparació de l'estructura i per tant una normalització del accés habitual.

En el cas que es produeixi l'incident amb persones a l'interior es dura a terme un pla d'evacuació compatible amb el tipus de problema ocasionat en l'estructura d'accés. Aquesta evacuació ha de garantir la seguretat del públic i en cap moment posar-ne en risc la integritat encara que suposi mantenir-se en la interior de l'estructura mentre es crea el pla d'evacuació.

13.9. Situació de evacuació

En cas que la situació d'emergència obligui a realitzar una evacuació de l'estructura, s'ha de seguir manual d'actuació estipulat.

Qui determinar l'inici del protocol d'emergència és el personal amb més càrrec present en la instal·lació en el moment de l'amenaça. El responsable d'emergència té l'obligació de determinar el grau de situació d'emergència i com s'ha de procedir, supervisant l'evacuació sent sempre l'últim en abandonar l'estructura. Els diferents nivells d'actuació del protocol són els següents:

- Nivell 0. Estat de prealerta per equips d'emergències. No es comunica als presents en la estructura ni es suspèn cap activitat.
- Nivell 1. Estat d'alerta per a tots els ocupants de l'edifici. No es suspèn cap activitat, tot i que els serveis i equips d'emergència es mantenen equipats i preparats per actuar.
- Nivell 2. Evacuació parcial on s'evacuen tots els visitants de l'estructura i es suspenen les activitats.
- Nivell 3. Evacuació general de tots els presents en la instal·lació i s'espera la intervenció dels serveis d'emergència.
- Nivell 4. Evacuació total del recinte i prohibit l'accés a ell per a tot el personal fins a disminució de l'amenaça.

- Nivell 5. Confinament.

Es realitzarà una evacuació immediata ens cas que es produeixi un dels següents incidents en l'interior o exterior de l'estructura:

- Incendi
- Penetració d'aigua
- Fractura del mòdul de metacrilat
- Previsió de fort onatge
- Evacuació general de la zona
- Amenaça de bomba
- Contaminació física, química o biològica
- Si així ho ordena el responsable a càrrec del protocol d'emergència
- Altres circumstàncies que suposin un risc per a les persones, els béns o el medi ambient

En cas de que s'hagi d'evacuar, totes les persones presents s'han de dirigir a les rutes d'evacuació i abandonar l'estructura amb un temps inferior a 5 minuts.

13.10. Inundació del mòdul

En cas de emergència i que sigui necessària procedir a la inundació del projecte, s'activen les electrovàlvules dimensionades en punt *13.1. Sistema d'inundació i buidatge*, que permeten la inundació a pressió de l'estructura amb un període de 5 hores.

El buidatge de la instal·lació es fa mitjançant les dos bombes instal·lades i seguit d'un assecat de l'estructura interior. Abans de posar en funcionament els sistemes de l'estructura i posar-la en operativa un altre cop es obligatori una revisió de cablejats i maquinària per tal de verificar que la instal·lació no s'ha vist afectada per l'operació de inundació.

14. Aproximació de pressupost

Aquest pressupost que s'exposa a continuació és una aproximació orientativa del cost del projecte. S'inclouen les parts essencials del disseny i construcció, deixant un marge elevat per punts que no consten en el pressupost i per cobrir problemes de garantia que assumeixen les empreses que tirarien endavant el projecte.

Pressupost: Construcció d'una plataforma d'observació fixa amb estructura d'acer, segons les dades següents:

CARACTERÍSTIQUES:

- Altura estructural: 19m
- Altura exterior: 3m
- Altura submergida: 16m
- Amplada d'observació: 8m
- Amplada de descens: 4m
- Capacitat: 12pax

I.- CASC I ESTRUCTURA

267.200,00

Casc amb planxes d'acer EH-36 de 10 mm i 6 mm. Estructura d'acer EH-36 de diferents seccions documentades en el punt 8.3. *Quadernes*. Distribució d'espais:

Zona d'observació:

- Miradors
- Seients per 4 persones

Zona de descens:

- Mòdul per sistema d'aire inert
- Forat ascensor
- Escales circulars

- Sala de màquines

Zona exterior:

- Sala de màquines
- Entrada/Recepció
- Passarel·la

II.- VISIÓ SUBMARINA

97.900,00

Construcció d'un espai per visió submarina amb 12 finestres rectangulars petites i 12 més grans que generen una visió de 360°. Espai circular amb 4 sofàs individuals. Accés per escales circulars i ascensor. Acabat interior pintat.

- 24 planxes de metacrilat de 110 mm (4 lamines de 27,5 mm) 76.000,00
- 24 marcs de fixació per les finestres de visió 18.000,00
- Peces de fixació 550,00
- Baranes de suport a tot el perímetre 350,00
- 240 Tubs de Sikaflex 3.000,00

III.- FONTANERIA

5.800,00

Un lavabo dotat de mirall, suport de tovallola i paper higiènic en la zona de recepció independent de la instal·lació del mòdul principal. Muntatge de una bomba d'aigua a pressió a 220V per la descarrega de aigües negres.

IV.- ELECTRICITAT

46.407,00

- Instal·lació de 24 V i 220 V. 22.000,00
- 26 llums interiors inclosos els llums d'emergència en tots els punts de la instal·lació 350,00
- Llums exteriors: 4 llums submergibles i un focus pirata 240,00
- 6 llums de navegació/posició i senyals dobles: homologades 220,00
- Generador Insonoritzat Kaiser Silent Bull PRO 2.250,00

- Buidatge: Bomba de buidatge submergibles automàtiques per a la zona d'aigües condensades i 2 bombes per al sistema d'inundació. 9.200,00
- Cables: tots els cables elèctrics tindran un aïllament superior a 330V i seran seccions superiors al mm. Caixes de connexions estanques. 6.800,00
- Aire acondicionat CASSETTE MUCSR-60-H6t 4.072,00
- Ventilador ELL 450/2 de Gianneschi 1.275,00

V.- MECÀNICA **36.075,00**

- Conjunt de bancada i "silentblocs" per el generador 4.800,00
- 2 preses de força per les bombes C.I. 1.075,00
- Material de buidatge i C.I. 12.500,00
- Olis i líquids 1.100,00
- Material filtres d'aigua, preses de mar, mànegues i vàlvules. 1.600,00
- Mà d'obra del muntatge 15.000,00

VI.- FUSTERIA METÀLICA **48.275,00**

Subministrament i muntatge de la estructura exterior d'acer compost per el casc i les quadernes. Portes de vidres lliscants automàtiques amb cortina d'aire i sensor de moviment. Marc de les portes d'alumini.

VII.- SEIENTS I TAULES **1.560,00**

- 4 sofàs de fibra de vidre amb encoixinat impermeable 440,00
- Mobles de recepció 1.120,00

VIII.- ASCENSOR **17.200,00**

- Caixa ascensor 3.560,00
- Motor elèctric ascensor 2.300,00
- Instal·lació 11.340,00

IX.- ACER INOXIDABLE **28.415,00**

- Conjunt de baranes en la passarel·la i escales 18.500,00
- Asta de llums i comunicacions 2.990,00
- Suports per extintors 970,00
- Escotilla estanca a la sala de sistema de gasos inert 1.120,00
- Frontisses, tancaments, varis 3.450,00
- Reixes de ventilació 1.385,00

X.- INSONORITZACIÓ I AÏLLAMENT TÈRMIC **58.100,00**

Subministrament i muntatge del tractament acústic i de protecció al foc, folrat amb xapa perforada d'alumini, en tota la sala de màquines i sala de gas inert.

XI.- AMARRATGE **78.840,00**

- Subministrament i muntatge del sistema d'amarratge 36.000,00
- Bloc de formigó armat com a llast 15.700,00
- 4 Blocs de formigó com a llast dels cables de suport 240,00
- 4 tubs d'acer EH-36 15.400,00
- 4 Cables de 1000 mm i secció de 20 mm de diàmetre 8.900,00
- Material de unió al mòdul principal 2.600,00

XII. CONTRA INCENDI **11.210,00**

- 5 extintors de 10kg pols 1.600,00
- 2 ruixadors contra incendi 110,00
- 2 sensors de fum 200,00
- 2 sensors de temperatura 200,00
- 2 alarmes d'incendi 80,00
- Instal·lació de gas inert 7.800,00
- Forro del compartiment de gas inert i tancament 1.220,00

XIII.- ELECTRÒNICA **12.505,00**

- 1 Carta nàutica 275,00
- 1 GPS Plotter GPSMAP 7412 amb pantalla tàctil 3.470,00
- 1 Antena de Radar GMR 18 1.570,00
- AIS 600 830,00
- 1 VHF amb DSC 1.165,00
- 1 Antena RA 1225 120,00
- Caixa commutació 600,00
- Anemòmetre 1.175,00
- Transponedor de radar 1.050,00
- Mà d'obra de la instal·lació electrònica 2.250,00

XIV.- SERVIMAR **1.359,00**

- 8 armilles homologades i 3 armilles infantils 385,00
- 1 equip de senyals, 6 bengales i 6 coets 175,00
- 1 megàfon 99,00
- 1 prismàtics diürns i 1 prismàtics nocturns 120,00
- 1 termòmetre 45,00
- 2 llanternes 30,00
- 1 taula de senyals, 1 codi de senyals i senyals de seguretat 405,00
- 1 farmaciola 100,00

XV.- TRAMITACIONS I MANIOBRES **134.000,00**

- Certificats i permisos 4.000,00
- Projecte i direcció d'obra 46.000,00
- Maniobres de grua 16.000,00
- Maniobres de perforació per amarratge 50.000,00
- Maniobres de posicionament per amarratge 11.000,00
- Assegurança de construcció per els treballs i pagaments 7.000,00

QUADRE RESUM DE PREUS

I.- CASC I ESTRUCTURA	267.200,00
II.- VISIÓ SUBMARINA	97.900,00
III.- FONTANERIA	5.800,00
IV.- ELECTRICITAT	46.407,00
V.- MECÀNICA	36.075,00
VI.- FUSTERIA METÀLICA	48.275,00
VII.- SEIENTS I TAULES	1.560,00
VIII.- ASCENSOR	17.200,00
IX.- ACER INOXIDABLE	28.415,00
X.- INSONORITZACIÓ I AÏLLAMENT TÈRMIC	58.100,00
XI.- AMARRATGE	78.840,00
XII. CONTRA INCENDI	11.210,00
XIII.- ELECTRÒNICA	12.505,00
XIV.- SERVIMAR	1.359,00
XV.- TRAMITACIONS I MANIOBRES	134.000,00
<hr/>	
TOTAL PRESSUPOST	844.846,00

15. Conclusions

La realització d'aquest projecte m'ha fet veure la gran quantitat de coses que s'han de tenir en compte en el moment de fer el disseny d'una estructura, cada una de les quals pot significar un inconvenient en el moment de la construcció o de la seva vida útil. A mesura que es va avançant en el desenvolupament d'un projecte com aquest, s'han d'anar prenent infinites decisions que poden ser trivials com per exemple quin tipus de bombeta s'utilitzarà o més importants com de quin material serà l'estructura. En tot cas, totes s'han de prendre raonadament.

En la primera etapa d'aquest projecte es van haver de prendre una gran quantitat de decisions per poder començar a dissenyar l'estructura. No va ser fàcil i potser no totes han sigut correctes, però tal com es diu en els inicis de la memòria, el desenvolupament d'aquest treball s'ha assolit amb un límit de coneixements per part de l'estudiant. A més a més, la falta de antecedents, i la gairebé inexistent informació sobre els pocs projectes que s'assemblen a la estructura proposada, han dificultat i alentit la elaboració del treball.

Aquest projecte pretenia assolir certs objectius presentats en el primer punt, alguns de personals i altres enfocats en el tema del treball. A continuació s'exposen les conclusions adquirides al acabar la investigació i opinions personals sobre el treball.

Es tracta d'una estructura amb circulació de persones, de manera que es creu imprescindible la realització de proves experimentals per tal de garantir la seguretat dels usuaris, i no només això, sinó també pel cost ambiental i estructural que pot suposar que l'estructura cedeixi en la seva ubicació.

Aquestes proves experimentals pretenen verificar els càlculs teòrics i per això es necessari crear un ambient similar al que es podria trobar l'estructura en les pitjors condicions registrades. No obstant això la avaluació precisa del comportament del mar és impossible ja que es desconeix com afectarà el moviment de l'onatge en totes les parts de l'estructura. Proves experimentals per un projecte com aquest, només estan a la disposició d'empreses amb un gran capital que han invertit en el desenvolupament d'aquestes tecnologies i que permeten la realització de proves de comportament del mar i assajos hidrodinàmics.

En un inici, es va prendre la decisió de ubicar el projecte en les costes catalanes. Aquesta proposta, impulsada i recolzada per el tutor, amb l'idea de treballar en una zona pròxima va suposar uns grans avantatges pel que fa a la investigació de la ubicació d'emplaçament. Així, es va poder visitar diferents punts potencials candidats a l'emplaçament del projecte i per tant poder valorar més adequadament cada indret per finalment escollir el punt final. Tot i així, un cop analitzades les característiques de la zona, realitzada un estudi meteorològic i un d'onatge es pot arribar a la conclusió que el litoral català no és més idoni per el posicionament d'una estructura d'observació.

Els càlculs teòrics de l'estructura permeten l'emplaçament del projecte en aquesta ubicació, però cal remarcar que altres ubicacions llunyanes a les costes catalanes serien molt més adequades per aquest projecte. No només es parla de les condicions a les quals es sotmesa l'estructura, és a dir, a l'acció del mar i les condicions meteorològiques, sinó que també implica un indret amb un gran potencial pel que fa els altres factors a considerar exposats en la memòria com la claredat de les aigües, la profunditat o zones amb una immensa abundància de flora i fauna marina.

En l'àmbit personal, la realització d'aquest projecte m'ha obligat a treballar amb molts dels coneixements adquirits durant els anys d'estudi a la Facultat de Nàutica. S'han tingut que utilitzar i més important encara, ampliar pel meu propi peu aquests coneixements en gairebé tots els punts del treball. Solucionar diferents problemes que han anat sorgint al llarg del desenvolupament del projecte, m'ha portat a la investigació i recerca de informació per seguir endavant amb el treball i així adquirint nous coneixements sobre diferents àmbits.

Per una altra banda, de manera autodidacta i amb hores de pràctica s'ha millorat molt en la utilització de programes de disseny, sobretot en el *Rhinoceros 5.0.*, la qual serà important per a la incorporació al món laboral arribat el moment.

A continuació, en la figura 55, es presenta el model 3D final en vista general del projecte realitzat.

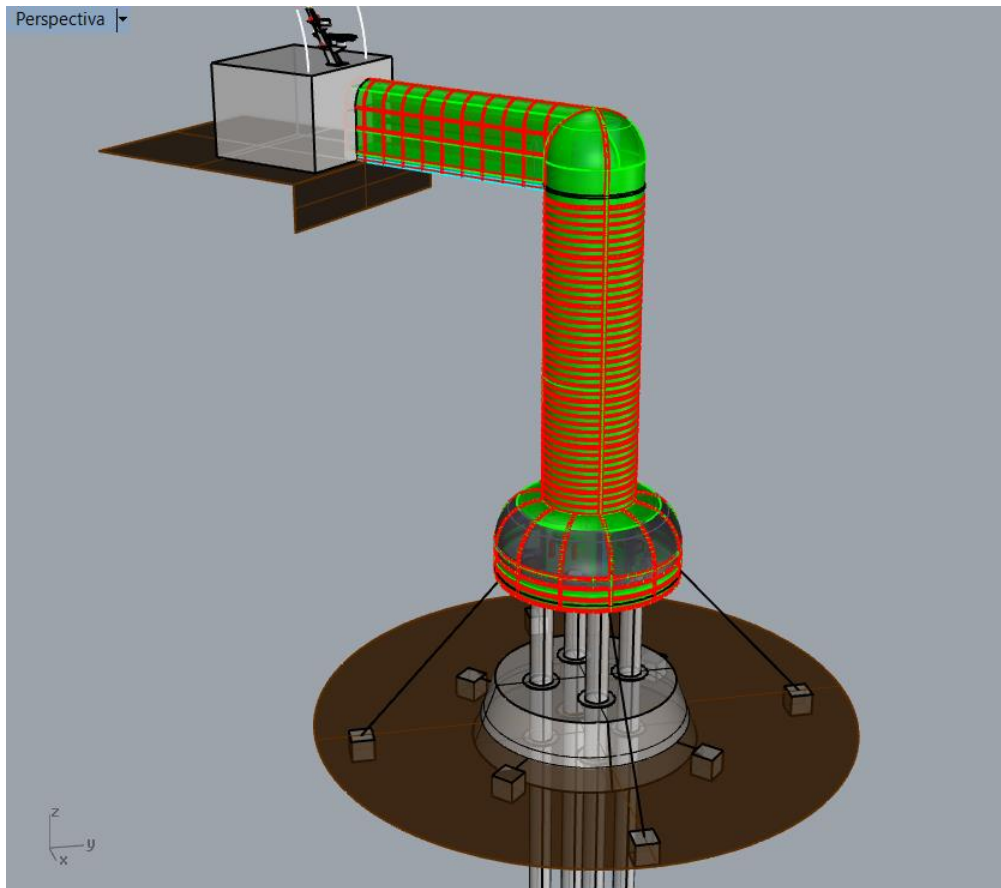


Figura 54 Imatge general del projecte en el model 3D de Rhinoceros.

16. Bibliografia

16.1. Llibres, projectes i documents

Adrià Olivés Tarrés (2015). *Análisis y descripción del efecto Monzón en el Mediterráneo*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Aina Nolla Marcos (2008). *Caracterització del creixement i de la forma dels temporals al sud del Mediterrani català*. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC), Barcelona.

Aleix Capdevila Aragay. (2015) *Estudi de procediments d'enfonsament provocat de vaixells*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Alfredo Martínez, *Proyectos de arrecifes artificiales*. Consejo de Agricultura y pesca.

Álvaro Picazo Iranzo (2007). *Medios de unión de estructuras metálicas*. E.U. Arquitectura Técnica (UPM), Madrid.

Andrea Maria Ramos León (2014). *Acuario y centro de Investigaciones Marinas en Livingston, Izabal*. Universidad Rafael Landivar, Guatemala de la Asunción.

Andreu Llamas Ruiz. (2001) *Guía Submarina de la Costa Brava: las 200 mejores inmersiones, a fondo*. 1ª ed. Barcelona: Editorial GeoPlaneta. ISBN-84-08-03887-7.

Andreu Llamas Ruiz. (2010) *Guía Submarina de la Costa Brava: de Sant Feliu de Guíxols a Begur*. 1ª ed. Barcelona: Editorial Anthias. ISBN-978-84-933167-8-5.

Carlos Enrique Corado Lanza (1970). *Acuario e instal·lacions anexas en parque zoológico de la Ciudad*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Cristina Rubí Massanet (2011) *Realización de un tutorial para el calculo matricial de estructuras navales*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Diego Herce Alcoya (2012). *Proyecto para la construcción de un edificio en hormigón armado destinado a una biblioteca en la localidad de Aldealobos de Ocón*. Universidad de la Rioja, Logroño.

E. Eugene Allmendinger (1990). *Submersible Vehicles Systems Design*. Ed.SNAME ISBN-10-9990678456

Ernst Neufert. (2006) *Arte de proyectar en arquitectura*. 15ª ed. Barcelona: Gustavo Gili. ISBN-10 84-252-2051-3.

Guillem Larred Plaza (2015) *Diseño y cálculo de una Plataforma Off-Shore para Facilitar el acceso al mar a personas con movilidad reducida*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Guillermo Robles Carrasco. (2014) *Diseño y estudio hidrodinámico de un submarino Autónomo no tripulado: AUV*. . Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica (Universidad Politécnica de Cartagena), Caratagena.

Ignacio Perez Blat (2011). *Análisis de la climatología del Mediterráneo occidental y su influencia en una empresa de charter*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Instituto Técnico de la Estructura del Acero. *Sistemas estructurales: Plataformes petrolíferes*.

Joan Albert Roca Maideu. (2015) *Càlcul d'un sistema d'elevació de vaixells per superar el desnivell d'un canal*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Joan Bauza Roig. (2015) *Vehículo de inspección submarina*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Jennifer Analíe Wilhelm Figueroa (2012). *Acuario de especies marines en Monterrico, Santa Rosa*. Universidad Rafael Landivar, Guatemala de la Asunción.

Joel Jurado Granados. (2010) *Diseño de un submergible de recreo*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

José Luis Almazán Gárate, María del Carmen Palomino Monzón, Juan Manuel Paramio Cabrera, Jesús Espinosa Goded. *Ingeniería Marítima: Sistemas de anclaje y fondeo*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos (UPM), Madrid.

L. Bruce Jones (2009). *Technical Considerations in the Design, Engineering, Construction and Installation of the Poseidon Undersea Resort*.

Lluís Closas Torrente, Pau Closas Gómez. *Electrònica naval*. 2^a ed. Barcelona: Nautical Union editorial. ISBN 978-84-941070-2-3

Luis Pedro González Dávila (2011). *Acuario y centro de investigaciones marines en Livingston, Izabal*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Ministerio del estado (2008). *Guia metológica para la instalación de arrecifes artificiales*.

Óscar González Palencia. *Diseño preliminar de un submergible turístico para 30 pasajeros*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

Pau Casals, Ricard Bosch. (2005) *Máquinas eléctricas*. 1^a ed. Barcelona: Edicions UPC. ISBN 978-84-8301-813-2

Pedro Sosa, (2007) *Cascos y estructuras*

Pedro Sosa, (2007) *Nociones sobre submergibles de recreo*

Puerto de Ferrol, Acciona Ingeniería (2014) Proyecto de Reconstrucción de la Baliza de Piedra Burela (Lugo). Ferrol.

Raúl Blay Gil. (2009) *Proyecto constructivo de la edar y colectores del núcleo urbano de Laspaúles*. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC), Barcelona.

Rubén Castillo Palazón (2014). *Evaluación de recursos energéticos renovables en el Mar Catalán: vientos, olas y corrientes*. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC), Barcelona.

Santiago de Guzmán Montón. *Plataforma offshore para un aerogenerador de 5MW*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (UPM), Madrid.

Tomàs O'callaghan Díaz. *Diseño de un cerquero de 23,5 GT: Eslora de 14,99*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica (Universidad Politécnica de Cartagena), Cartagena.

Viktor Dolgov (2015). *Estudio de la energia del mar y posibles aplicaciones en las costas Españolas*. Facultat de Nàutica de Barcelona (UPC), Barcelona.

16.2. Normatives

American Bureau of Shipping (ABS). Ed. 2014, Houston (TX, USA)

Germanischer Lloyd (GL). Ed. 2009 ,Hamburg (Germany)

16.3. Pàgines web

Advanced Aquarium Techonologies, ATT. Building an aquàrium. [Consulta: 8 Maig 2016]
Disponible a: <www.advanced-aquariums.com/building-an-aquarium>

Agencia Estatal de Meteorología, AEMET. Valores climatológicos. [Consulta: 22 Maig 2016] Disponible a: <www.aemet.es>

American Welding Society, AWS. [Consulta: 20 Desembre 2016] Disponible a: <www.aws.org>

Corbalan. Vidrios para Acuarios y Piscinas. [Consulta: 3 Octubre 2016] Disponible a: <www.corbalan.com>

Deep Ocean Technology. Underwater Hotel Projects. [Consulta: 5 Febrer 2016] Disponible a: <www.deep-ocean-technology.com/home/projects>

Enavales. Diseño y construcción de submarinos [Consulta: 2 Novembre 2016] Disponible a: <www.enavales.com>

Generalitat de Catalunya. Centre de fauna dels Aiguamolls de l'Empordà. [Consulta: 5 Març 2016] Disponible a: <www.agricultura.gentcat.cat>

Javier Sevillano. Clima Anual. [Consulta: 22 Maig 2016] Disponible a: <<https://javiersevillano.es/f-Clima-Anual.htm>>

Oscar Yair Pérez García. El proceso de perforación en aguas profundas. [Consulta: 2 Novembre 2016] Disponible a: <www.youtube.com/watch?v=dRFV1O5sKsA>

Parkings y marquesinas. Información técnica. [Consulta: 4 Octubre 2016] Disponible a: <www.parkingsymarquesinas.com/informacion-técnica-materiales-fabricación-industrial>

Polimer tecnic. Productes i materials plàstics . [Consulta: 2 Novembre 2016] Disponible a:
<www.polimertecnic.com/ca>

Poseidon Undersea Resorts. Explore the resort. [Consulta: 10 Febrer 2016] Disponible a:
<www.poseidonresorts.com>

US Submarine Group. The US Submarine Group. [Consulta: 10 Febrer 2016] Disponible a:
<<http://www.ussubgroup.com>>

Vetus. Productos. [Consulta: 2 Febrer 2017] Disponible a: <www.vetus.com/products>

Warren. Warren Industrial Products. [Consulta: 2 Gener 2017] Disponible a:
<www.warrenpumps.com/twinscrew.htm>

16.4. Programes utilitzats

AutoCAD 2016

CES EduPack 2013

Microsoft Office 2010

Rhinoceros 5.0

SkyCiv

SolidWorks 2015

17. Annexos

Els annexos d'aquest treball inclou altres punts desenvolupats durant el transcurs de la realització del projecte que són importants per al seu desenvolupament. Aquests punts van des de extensions d'algunes parts exposades en punts anteriors, fulles de càlcul, esquemes, dibuixos, plànols, etc.

Per una altra banda tots els fitxers exposats en aquest document s'adjuntaran digitalment guardats en un USB, amb els seus formats originals, en el qual s'inclourà també aquesta memòria del projecte.

I. Ubicació

En aquest annex s'agrupa un conjunt de fotografies realitzades en les possibles ubicacions de l'emplaçament del projecte descrites en el punt "3.2. Possibles ubicacions". Les imatges es mostren organitzades per ubicació.

Port Salví



Figura Annex 1 Port Salví 1

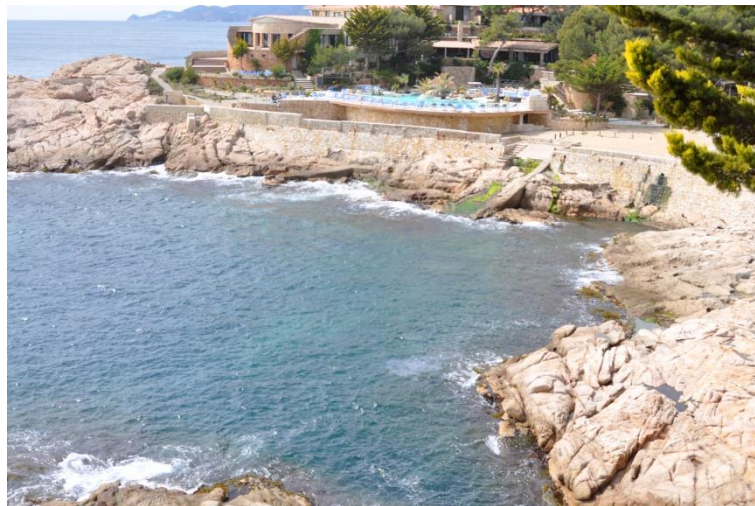


Figura Annex 2 Port Salví 2



Figura Annex 3 Port Salví 3



Figura Annex 4 Port Salví 4



Figura Annex 5 Port Salví 5

Cala Aiguafreda



Figura Annex 6 Cala Aiguafreda 1



Figura Annex 7 Cala Aiguafreda 2



Figura Annex 8 Cala Aiguafreda 3



Figura Annex 9 Cala Aiguafreda 4



Figura Annex 10 Cala Aiguafreda 5

Platja de Sa Tuna



Figura Annex 11 Platja de Sa Tuna 1



Figura Annex 12 Platja de Sa Tuna 2



Figura Annex 13 Platja de Sa Tuna 3



Figura Annex 14 Platja de Sa Tuna 4



Figura Annex 15 Platja de Sa Tuna 5

II. Estudi d'onatge

1. Probabilitat de temporals

En aquest apartat s'analitza la probabilitat de temporals en les costes catalanes, sense identificar la seva direccionalitat. Les dades sobre les quals es treballa per realitzar el anàlisis són del 1990 fins el 2006.

Com a definició estàndard es considera que, un metre i mig és el llinard establert per determinar els temporals, i per tant tots els temporals haurien de començar i acabar amb valors d'alçada d'ona significant propers a 1,50 metres. En alguns casos no és així, però s'interpreta com una pèrdua de dades o que s'han obtingut amb un retràs acceptable.

Per analitzar la probabilitat de temporals es consideren per tant l'alçada de les onades i es representarà en una línia temporal per identificar quan es produeixen tan anualment com mensualment. A partir de l'anàlisi s'obtindran unes conclusions bàsiques.

En la taula exposada a continuació i el gràfic següent es representa el histograma acumulat dels temporals registrats per la boia del Cap de Tortosa des del 1990 fins el 2006. Els temporals registrats estan classificats per anys i en total sumen els 390 temporals dels quals disposa el registre de AnaTorBo, sobre el qual es realitzarà el anàlisis:

Any	Número de temporals
1990	9
1991	27
1992	29
1993	25
1994	29
1995	20
1996	19
1997	17
1998	19
1999	36
2000	30
2001	13
2002	23

2003	31
2004	30
2005	20
2006	13
TOTAL	390

Taula Annex 1 Temporals registrats per la boia del Cap de Tortosa (1990-2006)

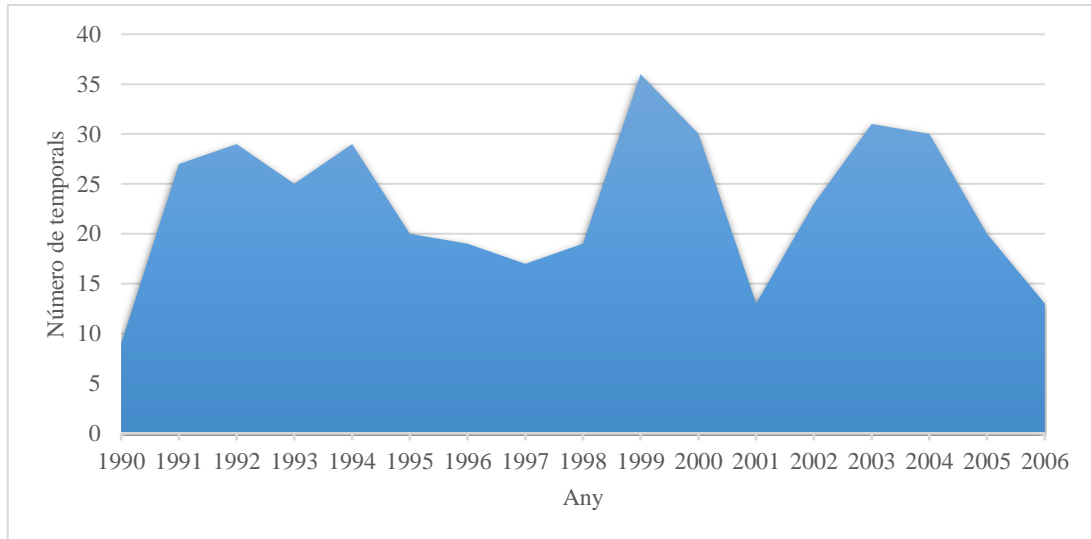


Figura Annex 16 Temporals registrats per la boia del Cap de Tortosa (1990-2006)

Com es pot veure en els histogrames representats tant en forma de taula com en gràfic, no hi ha una relació definida en la quantitat de temporals per any. Es tracta d'una distribució aleatòria dels temporals al llarg del temps, és a dir, que no segueixen cap patró ni formen cap forma determinada.

De l'anàlisi estadístic acumulat se'n poden extreure un conjunt de dades imprescindibles per a l'estudi de les probabilitats de temporals. La més important d'elles és l'alçada d'ona significant (H_{mo}). A partir de l'anàlisi de les dades obtingudes es pot determinar l'alçada significant màxima i l'alçada d'ona mitjana produïdes que són les següents:

$$H_{mo \max} = 595 \text{ cm}$$

$$H_{mo \text{ mitjana}} = 84,15 \text{ cm}$$

Amb la informació que es té a l'abast es pot crear una distribució de les dades, creant així un histograma acumulat de l'alçada d'ona significant. Aquest histograma està representat en la taula i la gràfica exposada a continuació:

Hmo (cm)	Probabilitat (%)
0	29,8
50	41,4
100	16,2
150	8,5
200	2,7
250	0,8
300	0,3
350	0,1
400	0
450	0
500	0

Taula Annex 2 Dades d'alçada d'ona significant

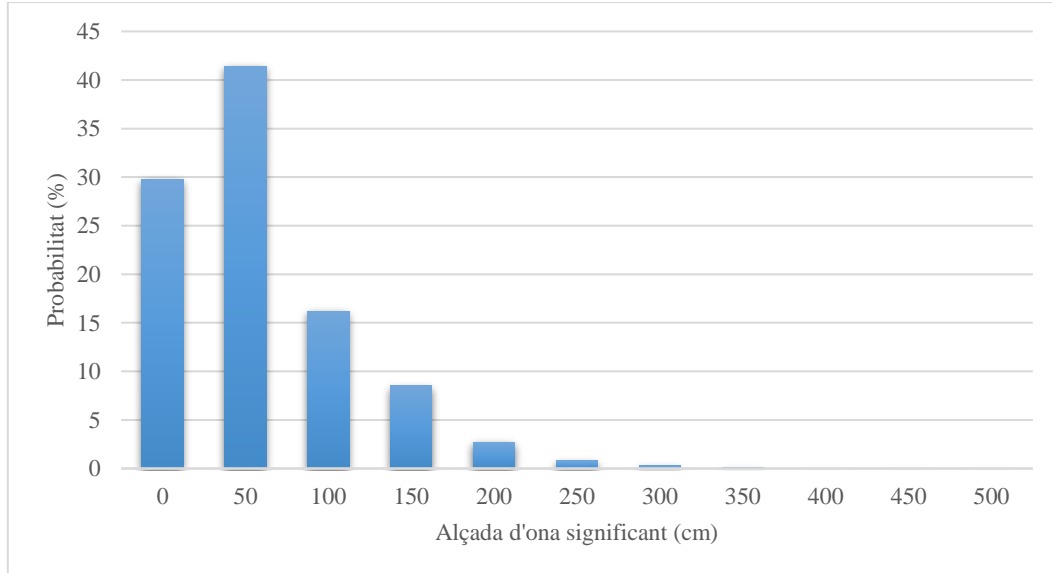


Figura Annex 17 Representació gràfica d'alçada d'ona significant

Sabent que es considerarà fenomen de temporal quan l'alçada d'ona significant és com a mínim 150 cm, es pot determinar la probabilitat de temporal. Això s'obté distribuint en dos termes les alçades d'ona significativa: alçada d'ona inferior a 150 cm (no temporal) i alçada superior a 150 cm (temporal).

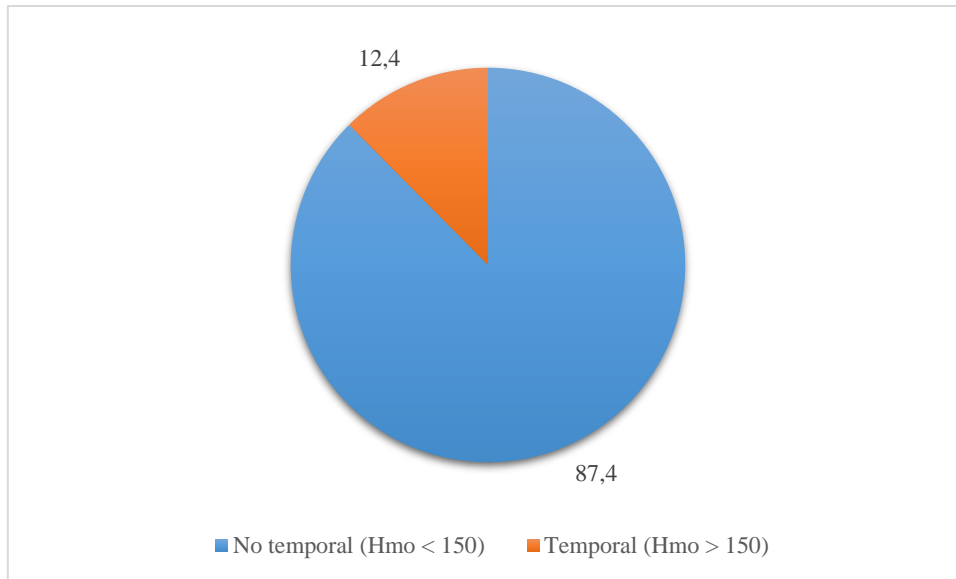


Figura Annex 18 Probabilitat de temporal

També es pot accedir a l'histograma mensual acumulat de H_{mo} , de manera que queda representat l'alçada d'ona significant en funció dels mesos de l'any. Això et dona una informació de l'època de l'any en que es generen més temporals i la intensitat d'aquests. Els histogrames següents representen aquesta informació en forma de taula i gràfiques:

Mes/ H_{mo} (cm)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Gener	17,6	37,1	22,1	17,1	4,6	1,1	0,4	0,1	0	0	0
Febrer	24,5	36	19,9	12,8	3,8	1,5	1,2	0,3	0	0	0
Març	27,6	41,1	16,7	10	2,8	1,2	0,4	0,1	0,2	0	0
Abril	21,4	41,6	20,3	10,9	4,2	1	0,5	0,1	0	0	0
Maig	40,6	42	10,6	4,4	1,2	0,5	0,3	0,3	0,1	0	0
Juny	46,3	43,1	8,5	1,3	0,6	0,2	0	0	0	0	0
Juliol	47,4	44,4	6,7	1,3	0,2	0	0	0	0	0	0
Agost	40,4	49,3	8,4	1,7	0,2	0	0	0	0	0	0
Setembre	29,5	46,2	16,9	5,2	1,7	0,5	0	0	0	0	0
Octubre	28,5	40,4	18	7,8	3	1,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0
Novembre	18,8	40,3	22,4	13,5	3,2	0,7	0,4	0,2	0,1	0	0,2
Desembre	16,2	35,2	23	16,4	7	1,7	0,5	0	0	0	0

Taula Annex 3 Dades d'alçada d'ona significant en funció del mes

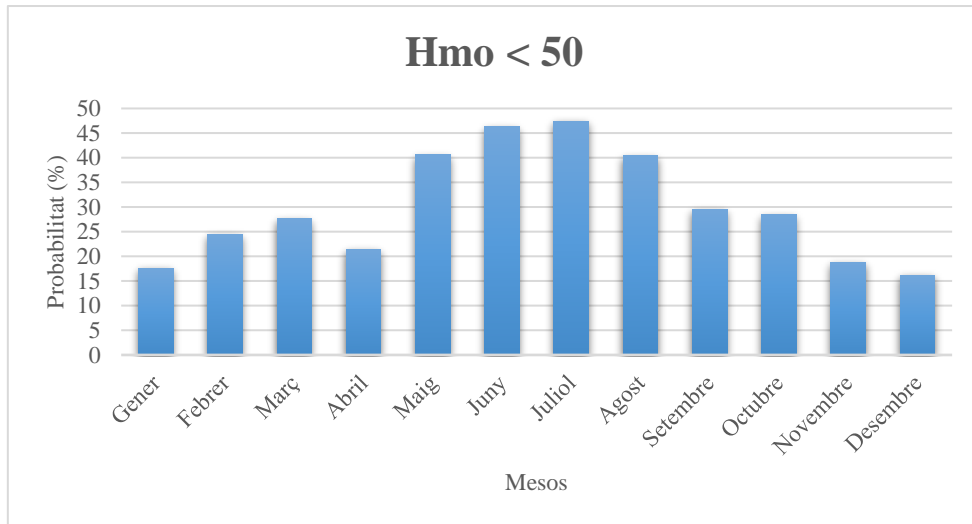


Figura Annex 19 Probabilitat altura d'ona < 50 en funció del mes

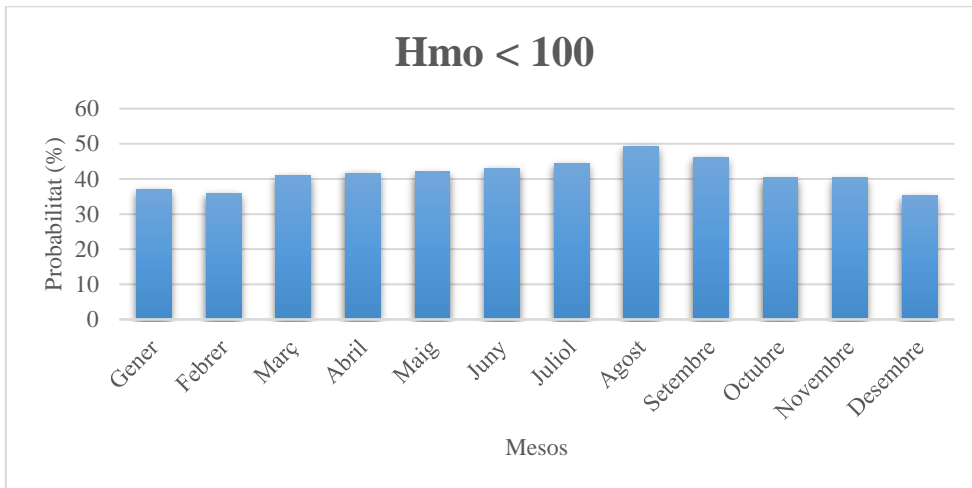


Figura Annex 20 Probabilitat altura d'ona < 100 en funció del mes

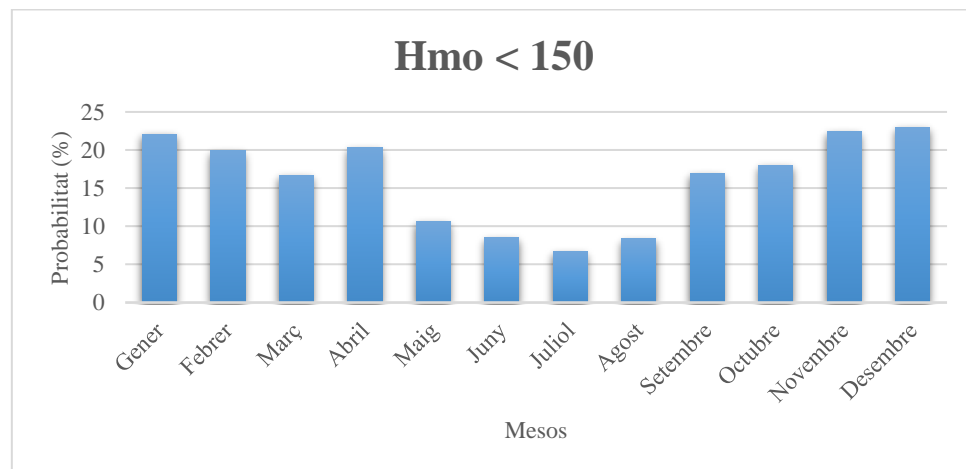


Figura Annex 21 Probabilitat altura d'ona < 150 en funció del mes

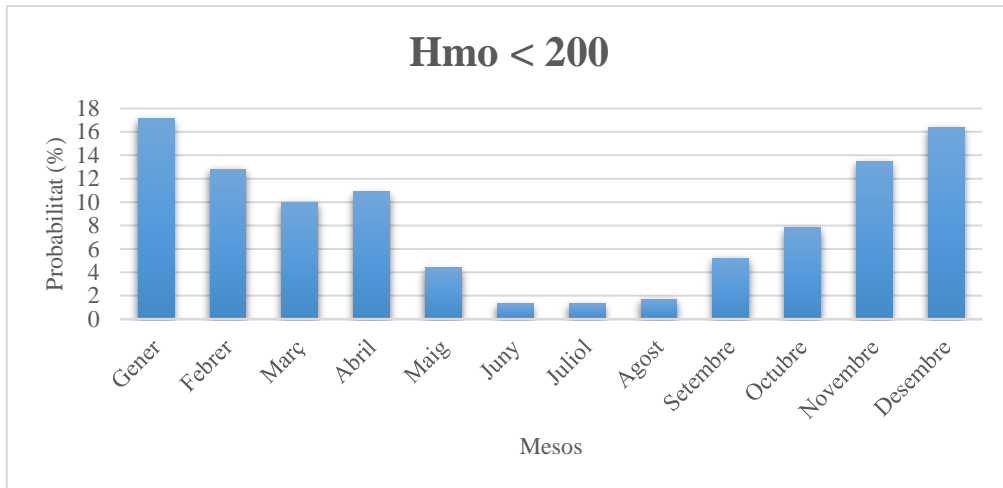


Figura Annex 22 Probabilitat altura d'ona < 200 en funció del mes

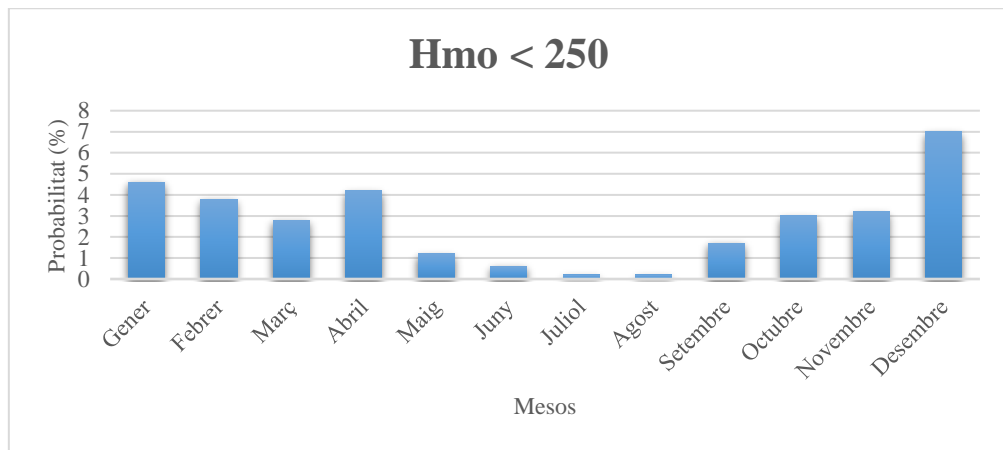


Figura Annex 23 Probabilitat altura d'ona < 250 en funció del mes

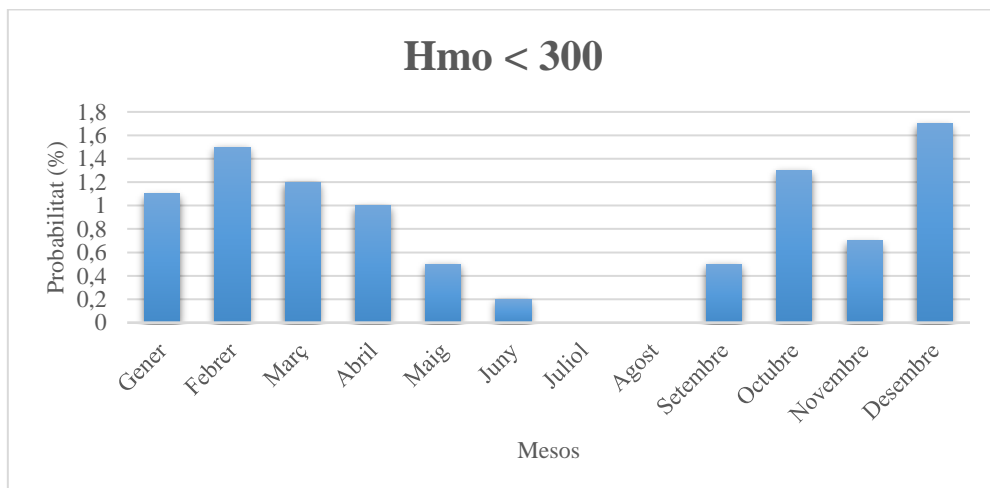


Figura Annex 24 Probabilitat altura d'ona < 300 en funció del mes

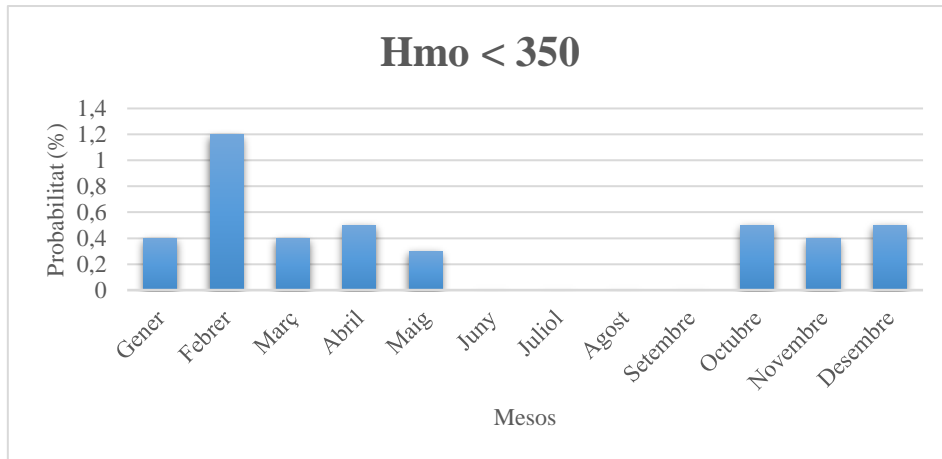


Figura Annex 25 Probabilitat altura d'ona < 350 en funció del mes

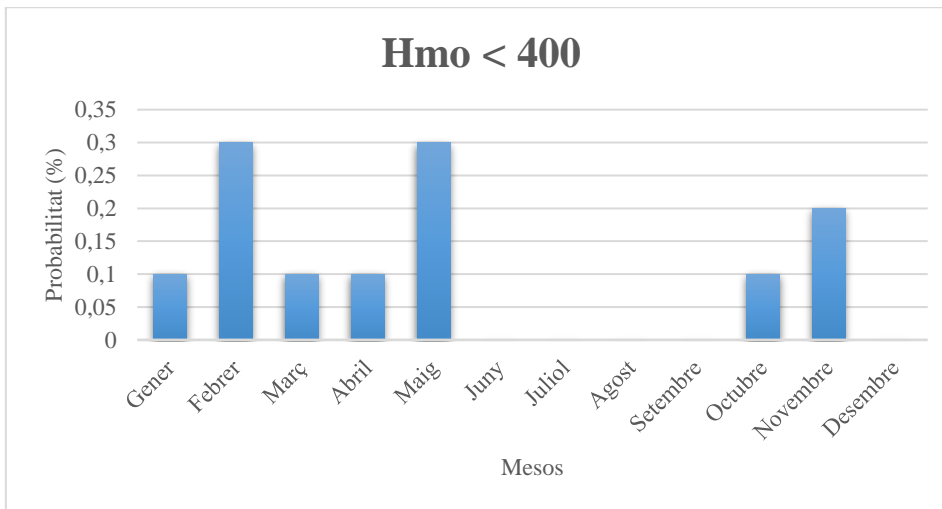


Figura Annex 26 Probabilitat altura d'ona < 400 en funció del mes

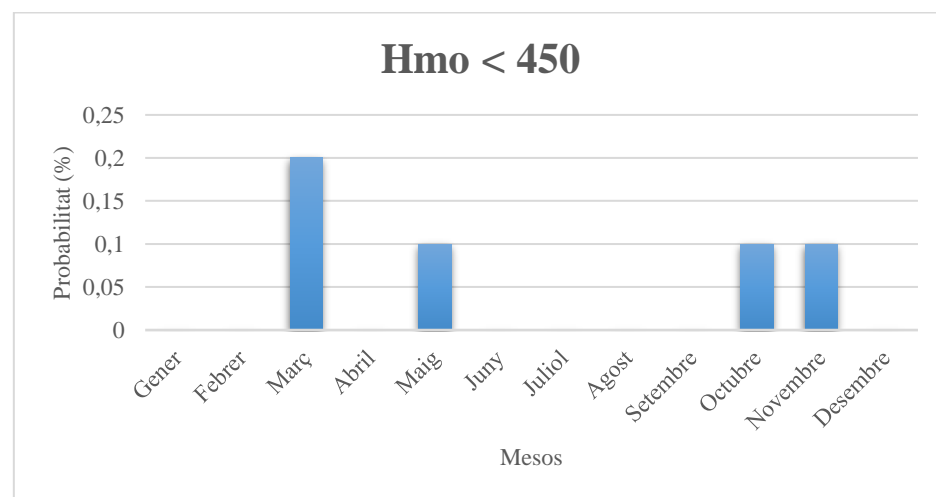


Figura Annex 27 Probabilitat altura d'ona < 450 en funció del mes

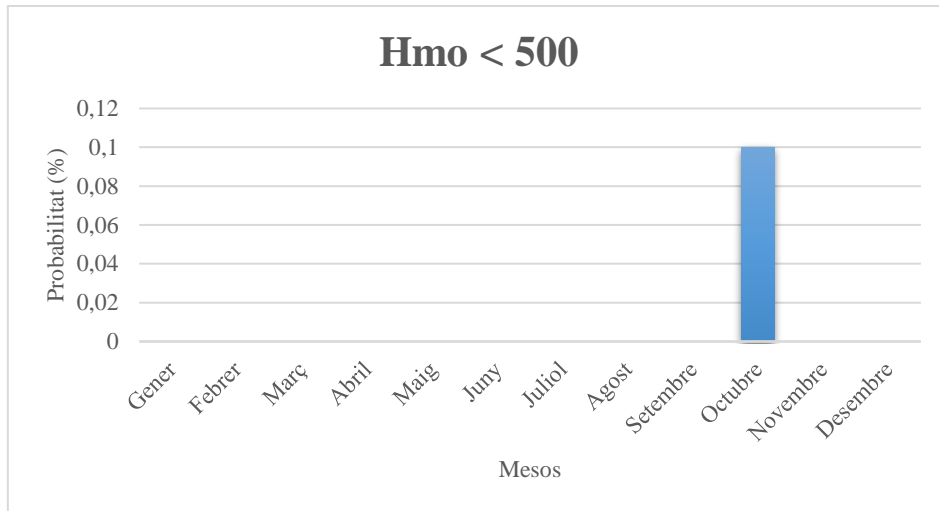


Figura Annex 28 Probabilitat altura d'ona < 500 en funció del mes

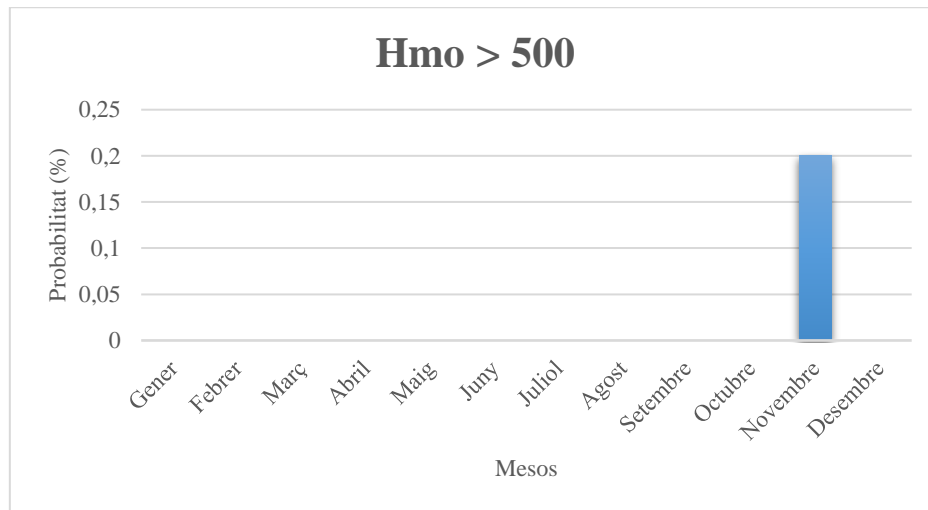


Figura Annex 29 Probabilitat altura d'ona > 500 en funció del mes

Cada un dels gràfics exposats pertany a la distribució d'una alçada d'ona significant determinada durant els mesos de l'any. Obtenint així tants gràfics com intervals d'alçada d'ona tenim en les dades. Es pot apreciar amb facilitat que la distribució de temporals es concentra des del mes d'octubre fins l'abril i que per altra banda són els mesos d'estiu, del maig a setembre els que predomina una mar calmada. Els grans temporals amb onades superiors a 400 cm no tenen una previsió molt acurada, però si que es pot dir que s'acostumen a generar en l'interval de època de temporals.

2. Direccionalitat de temporals

La boia del Cap de Tortosa té un caràcter direccional tal com s'ha exposat anteriorment en les característiques bàsiques. Aquesta funcionalitat de la boia ens permet tenir accés a dades sobre la direcció de les onades i per tant se'n pot realitzar un anàlisi de l'actuació de l'onatge.

En aquest apartat es pretén realitzar un estudi sobre quins són els principals direccions que prenen les onades quan ataquen el litoral nord-occidental del Mediterrani. També es vol analitzar quina es la contribució de l'onatge global d'un temporal.

Degut a la quantitat d'anys que porta en funcionament la boia del Cap de Tortosa s'han recopilat una quantitat extensa d'informació que permet la realització d'un estudi de direccionalitat acurat. Abans de començar amb l'anàlisi cal tenir clar les diferents direccions que poden tenir les onades. En la següent figura queda representat gràficament les possibles direccions amb el seu nom corresponent:

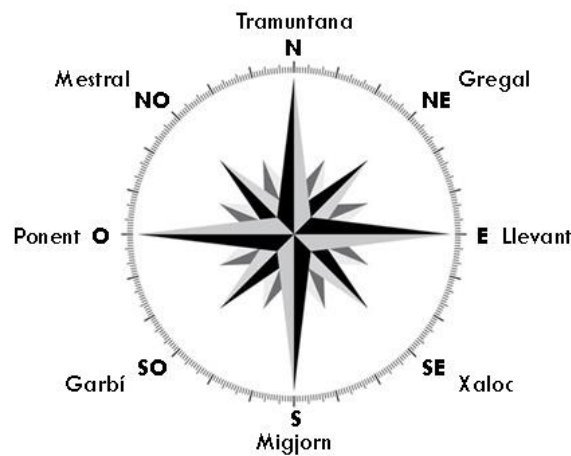


Figura Annex 30 Direccions amb els seus vents corresponents

Com s'ha explicat en l'apartat de metodologia, s'han utilitzat dos programes diferents per a analitzar les dades de la direcció de les onades. Així que a continuació s'estudiaran els dos mètodes de captació de dades i finalment es farà una comparativa amb les seves conclusions pertinents.

2.1. Direccionalitat Anatorbo

El software AnaTorBo ha registrat 390 temporals entre el període de temps que va des de 1990 fins el 2006. Per cada un dels temporals identificats, el programa ha obtingut la direcció mitja de l'onatge i aquests s'ha distribuït, obtenint la taula resum dels temporals classificats per any i direcció:

Any	Núm. de temporals	Gregal	Llevant	Xaloc	Migjorn	Garbí	Mestral
1990	9	0	3	0	1	0	5
1991	27	0	13	1	3	0	10
1992	29	1	14	0	4	0	10
1993	25	0	12	0	4	0	9
1994	29	2	7	1	3	0	16
1995	20	0	9	0	4	0	7
1996	19	0	9	1	2	0	7
1997	17	0	8	0	3	0	6
1998	19	0	9	0	1	0	9
1999	36	0	13	0	7	0	16
2000	30	1	8	1	6	1	13
2001	13	0	3	0	3	0	7
2002	23	1	7	0	4	0	11
2003	31	0	14	0	1	0	16
2004	30	0	15	0	1	0	14
2005	20	0	10	0	1	0	9
2006	13	0	7	0	1	0	5
TOTAL	390	5	161	4	49	1	170
%	100%	1,28%	41,28%	1,03%	12,56%	0,26%	43,59%

Taula Annex 4 Direcció d'onatges registrats per AnaTorBo (1990-2006)

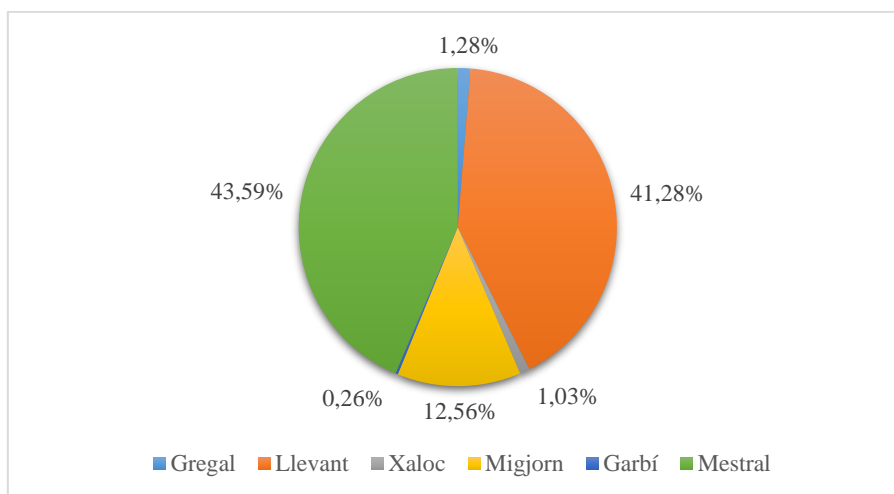


Figura Annex 31 Probabilitat de la direcció d'onatge segons AnaTorBo (1990-2006)

Com es pot observar i ha direccions que no consten en les dades enregistrades com són tramuntana i ponent. El motiu d'aquest fet és la inexistència de temporals reconegut per el programa en aquesta direcció específica. Es evident, veient l'esquema circular que les direccions predominant són mestral (NO), llevant (E) i migjorn (S), tot i que aquest últim amb menys freqüència. Els temporals que provenen de Garbí, Xaloc i Gregal no sumen ni un 3% dels temporals enregistrats de manera que es consideren significatiu per l'estudi direccional.

2.2. Direccionalitat Wafo

Aquest estudi es realitza amb un conjunt de 150 temporals registrats des de 1991 fins el 2006. El mètode d'obtenció de dades és diferents al de AnaTorBo però perfectament vàlid. Per simplificar l'anàlisi es descartaran les direccions que no són significatives en l'estudi i s'ajuntaran com a altres. En el registre Wafo no es tenen en compte l'any en que els temporals són enregistrats, només el percentatge en cada direcció:

Direcció principal	Percentatge (%)
Llevant	56,21%
Migjorn	9,62%
Mestral	31,45%
Altres	2,72%
Total	100,00%

Taula Annex 5 Direcció d'onatge registrats per Wafo (1991-2006)

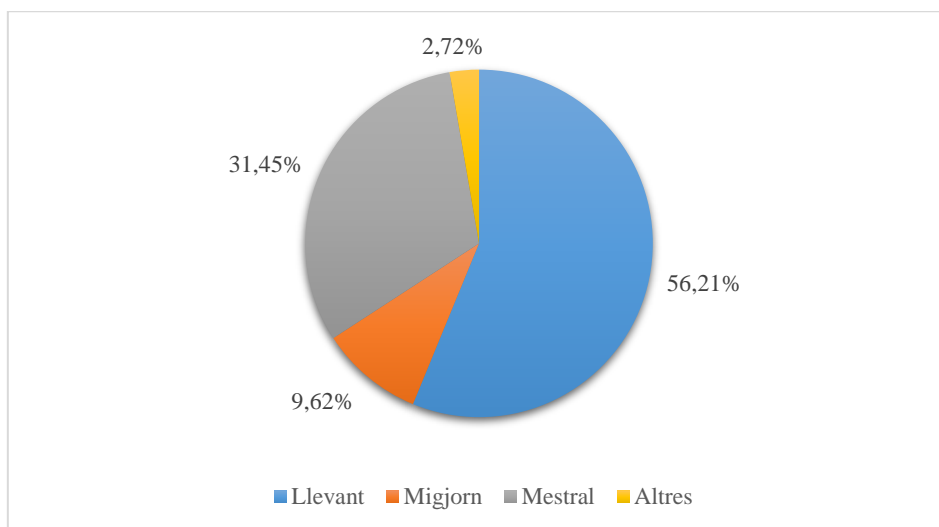


Figura Annex 32 Probabilitat de la direcció d'onatge segons Wafo (1991-2006)

2.3. Comparativa i conclusions

Un cop analitzat els dos estudis, cadascun amb el seu sistema de registre de dades propi, cal comparar els resultats d'ambdós mètodes. Els resultats obtinguts i resumits estan representats en la taula i gràfica que es mostra a continuació:

Direcció principal	AnaTorBo	Wafo
Llevant	41,30%	56,21%
Migjorn	12,60%	9,62%
Mestral	43,60%	31,45%
Altres	2,50%	2,72%
Total	100,00%	100,00%

Taula Annex 6 Comparativa probabilitats de direcció d'onatge AnaTorBo i Wafo

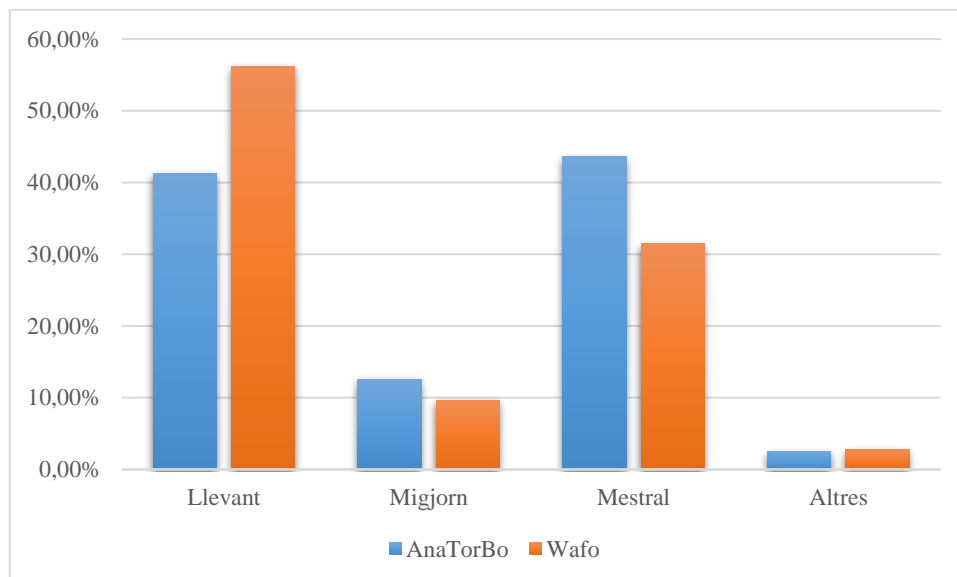


Figura Annex 33 Comparativa probabilitats de direcció d'onatge AnaTorBo i Wafo

Es pot apreciar certes diferències en els percentatges entre els dos mètodes, sobretot en les direccions de llevant i mestral. Tot i així, queda clar que la direccionalitat prioritària dels temporals és llevant i mestral ja que en els dos mètodes de captació de dades, el percentatge sumat de les dos direccions supera el 80%. Com a tercera direcció es troba migjorn que presenta una probabilitat al voltant d'un 10% de generar temporals. Les altres possibles direccions es poden descartar ja que no representen un percentatge significatiu que valgui la pena analitzar.

3. Alçada d'onatge en temporal

En aquest apartat es pretén analitzar l'alçada d'ona en situació de temporal. Les dades d'alçada d'ona significant s'han exposat amb anterioritat i s'ha determinat l'alçada màxima enregistrada i també l'alçada mitjana. Ara bé, no és l'alçada de la totalitat de les dades captades per la boia el punt més interessant, sinó l'alçada mitjana de les ones que atacaran l'estructura dins el interval de dades que superen els 150 cm d'altura. És a dir, el que es farà es reduir el marge de dades sobre el qual es realitza l'estudi de l'alçada de les ones.

A partir de la informació proporcionada per la boia del Cap de Tortosa es pot calcular la alçada mitjana en cas de temporal, la qual és la següent:

$$H_{m0} \text{ mitjana en temporal} = 197,58 \text{ cm}$$

Tot i així cal tenir present, que encara que aquesta sigui l'alçada mitjana també impactaran onades més grans tot i que amb poca freqüència. Poden arribar fins a 6 metres com demostra la onada més gran registrada amb el programa AnaTorBo.

En la següent taula es representa les dades sobre l'alçada d'ona significativa en la situació de temporal, és a dir quan són superiors a 150 cm.

H _{m0} (cm)	Probabilitat (%)
150	68,55%
200	21,77%
250	6,45%
300	2,42%
350	0,81%
400	0,00%
450	0,00%
500	0,00%

Taula Annex 7 Dades d'alçada d'ona significativa en temporal

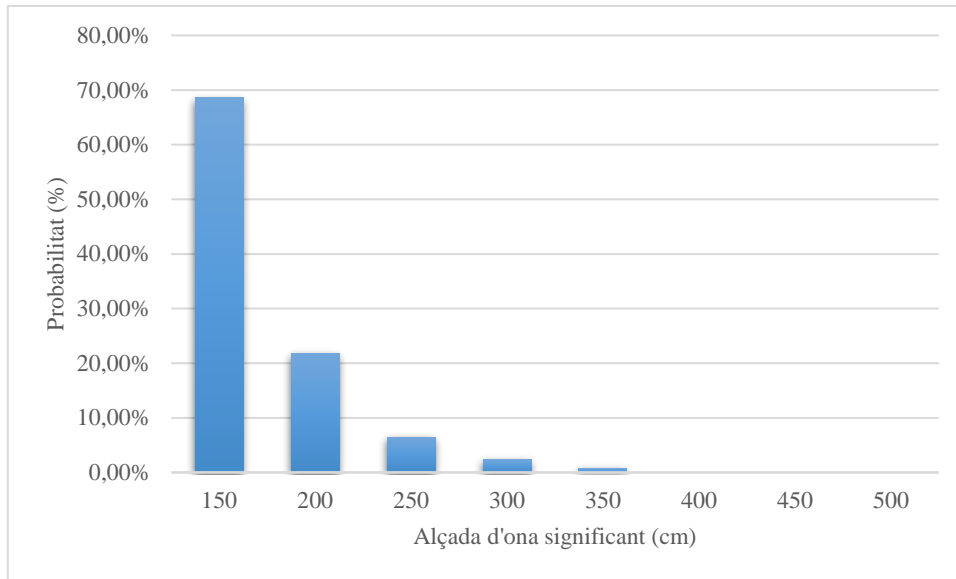


Figura Annex 34 Representació gràfica d'alçada d'ona significativa en temporal

III. Estudi meteorològic

1. Temperatura

La temperatura, és un factor meteorològic bàsic que no afecte amb excés importància la viabilitat del projecte. En aquest punt s'estudiaran diferents valors de temperatura entre els quals tenim la temperatura mitjana, màxima i mínima. A partir les dades estadístiques obtingudes es farà una representació gràfica de la evolució de les temperatures en la zona al llarg de l'any:

Mes	T(°C)	TM(°C)	Tm(°C)
Gener	7.1	13.1	1.1
Febrer	7.9	14.1	1.7
Març	10.4	16.7	4.1
Abril	12.5	18.8	6.2
Maig	16.3	22.4	10.1
Juny	20.4	26.6	14.3
Juliol	23.6	30.1	17.1
Agost	23.4	29.8	17.0
Setembre	20.1	26.1	14.1
Octubre	16.2	21.8	10.5
Novembre	10.9	16.6	5.2
Desembre	7.8	13.6	2.0
Any	14.7	20.8	8.6

Taula Annex 8 Dades de les temperatures en funció del mes

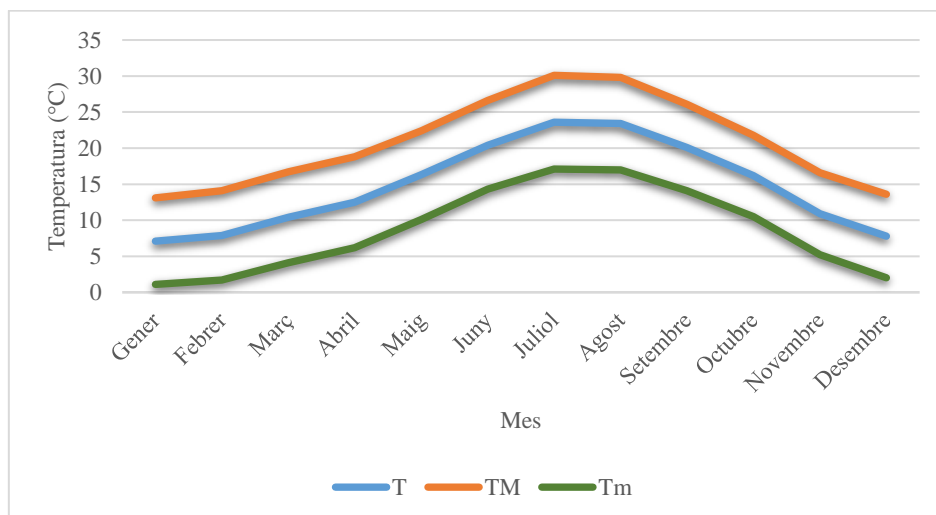


Figura Annex 35 Representació gràfica de les temperatures en funció del mes

Com es pot observar en la representació de les dades de temperatura, no hi ha massa a destacar sobre la evolució de aquestes durant l'any. Com és obvi, durant l'estiu les temperatures pugen i a l'hivern baixen. Els valors importants d'aquest apartat que cal destacar es la temperatura mitja anual i els pics de temperatura tan per dalt com per baix el termòmetre.

2. Precipitacions

Les precipitacions és un tema més important de cara a la instal·lació del projecte en la zona que s'està analitzant ja que pot afectar més de cara a l'estructura. En aquest apartat de l'estudi meteorològic quedaran reflectides la quantitat de precipitacions caigudes en el territori en forma de l/m^2 , tan mensualment com anualment.

Mes	R (l/m^2)
Gener	62
Febrer	51
Març	50
Abril	67
Maig	71
Juny	60
Juliol	32
Agost	46
Setembre	70
Octubre	88
Novembre	70
Desembre	56
Any	728

Taula Annex 9 Dades de les precipitacions en funció del mes

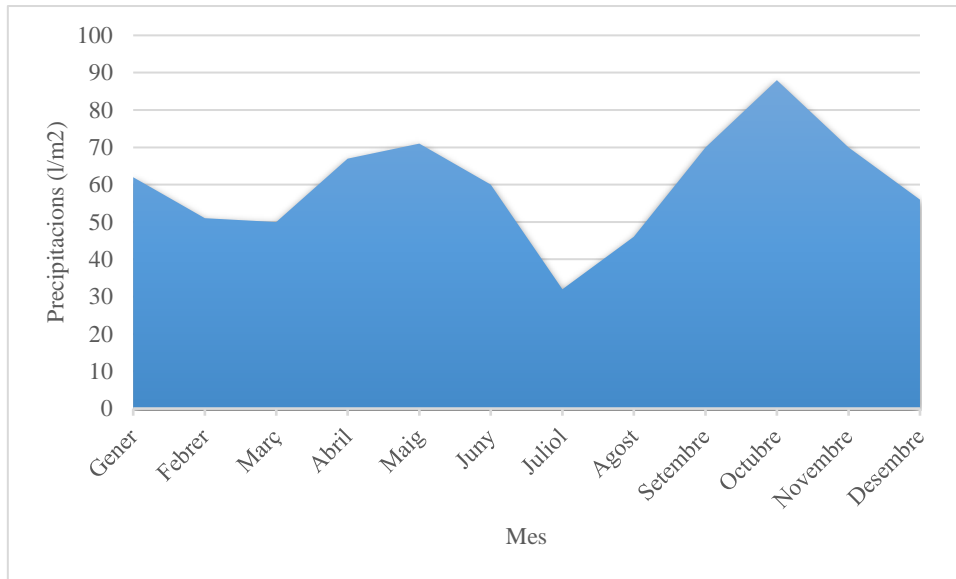


Figura Annex 36 Representació gràfica de les precipitacions (l/m²) en funció del mes

En taula i gràfica anteriors queden representades els litres caiguts per metre quadrat i on es pot veure clarament quines són les èpoques de l'any que plouen més i quines menys. Les èpoques de tardor i primavera són les que plou més com és típic del clima mediterrani i la d'hivern i estiu les que menys. Destaca el més de juliol com el més sec de l'any i el octubre el més amb més probabilitat de precipitacions amb diferència. No es casualitat doncs, que ambdós coincideixen en el punt mig de les seves èpoques de l'any respectives.

3. Humitat relativa

La humitat relativa és la mesura de la humitat de l'aire més utilitzada. S'indica a través d'un percentatge que ens permet conèixer a quin nivell de saturació es troba una massa d'aire. Quan el valor arriba al 100% s'inicia el procés de condensació.

La humitat estructural pot ser l'origen de greus problemes en la edificació. Causa pèrdues de solidesa en els murs de carga i efecte directament a la seguretat dels edificis, habitatges i construccions. Per aquest motiu és important analitzar bé els valors d'humitats que poden afectar al projecte que s'està construint i valorà la protecció necessària contra aquest agent atmosfèric.

En la següent taula s'expressen els valors mitjans de humitat relativa mensuals i a continuació es representen en una gràfica:

Mes	H
Gener	75
Febrer	73
Març	70
Abril	69
Maig	68
Juny	63
Juliol	59
Agost	65
Setembre	70
Octubre	75
Novembre	76
Desembre	76
Any	71

Taula Annex 10 Dades del percentatge d'humitat en funció del mes

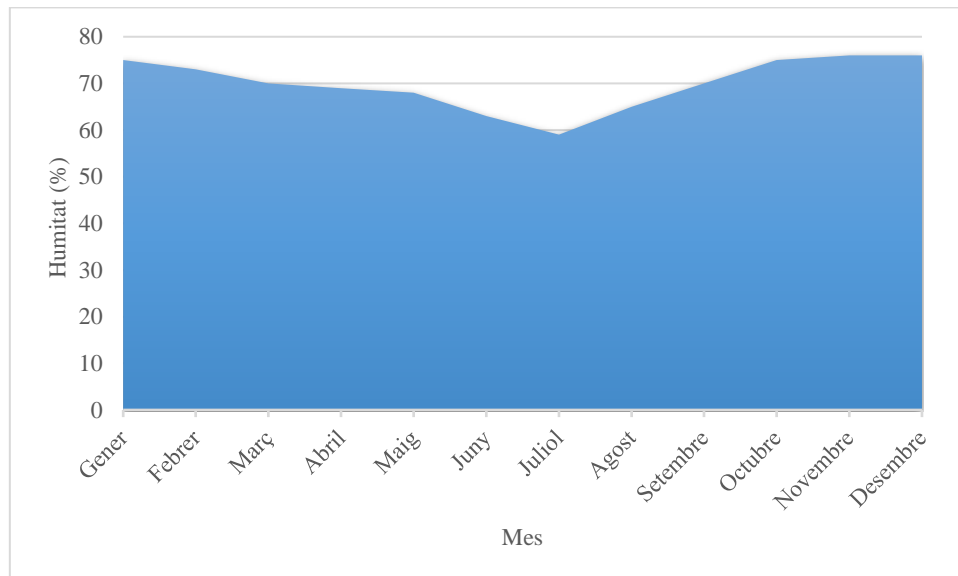


Figura Annex 37 Representació gràfica del percentatge d'humitat en funció del mes

Com es pot apreciar el percentatge de humitat mitjana relativa en l'aire es bastant constant al llarg de l'any i també força elevada. Per aquest motiu és un factor a tenir en compte en el moment de dissenyar el projecte.

4. Probabilitat de situació climàtica anual

En aquest apartat de l'estudi meteorològic el que es pretén apreciar respecte el període d'un any la quantitat de dies que predomina una situació climàtica en particular i també

quin es el percentatge anual de cada una d'elles, és a dir, la probabilitat que es doni tal situació.

Les dades que proporciona AEMET són mensuals i anuals, tot i així ens centrarem amb les anuals ja que no suposa cap mena interès un anàlisi de la informació mensual.

Mes	DR	DN	DT	DF	DH	DD
Gener	4,9	0,3	0,3	4,7	13,3	9,4
Febrer	4,9	0,3	0,4	5	10,1	7
Març	5,1	0	0,9	4,9	3,9	6,6
Abril	7,1	0	1,6	3,3	0,7	4,5
Maig	7,3	0	2,8	4	0	4,1
Juny	5,1	0	2,4	2,6	0	6,9
Juliol	3,2	0	3	1,5	0	11,6
Agost	5,1	0	4,9	2	0	8,2
Setembre	6,5	0	3,8	4,7	0	5,3
Octubre	6,4	0	2,3	5,4	0,1	5
Novembre	5,2	0	0,7	4	3,8	6,7
Desembre	4,7	0,1	0,4	4,6	11,1	9
Any	65,8	0,7	23,9	48	41,3	84,4

Taula Annex 11 Dades de les condicions climàtiques registrades en un any

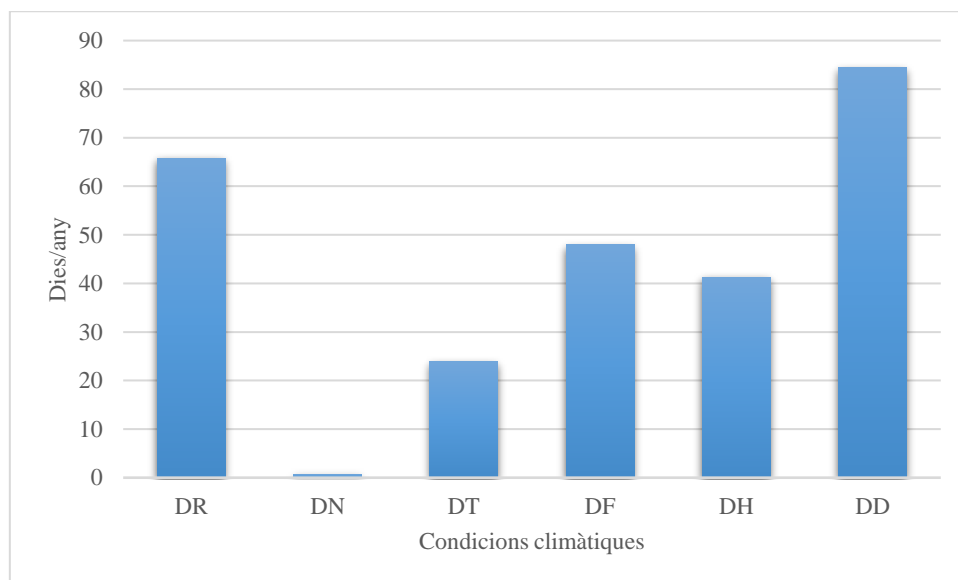


Figura Annex 38 Representació gràfica de les condicions climàtiques

Es pot veure que les condicions més freqüents són les de dies assolellats i amb precipitacions, seguides de les tempestes i altres condicions amb una probabilitat

bastant inferior. Amb la finalitat d'apreciar amb més claredat les dades presentades anteriorment es realitzarà un gràfic en funció del percentatge anual:

DR	DN	DT	DF	DH	DD	ALTRES	ANY
18,03%	0,19%	6,55%	13,15%	11,32%	23,12%	50,77%	100,00%

Taula Annex 12 Percentatge de les condicions climàtiques registrades en un any

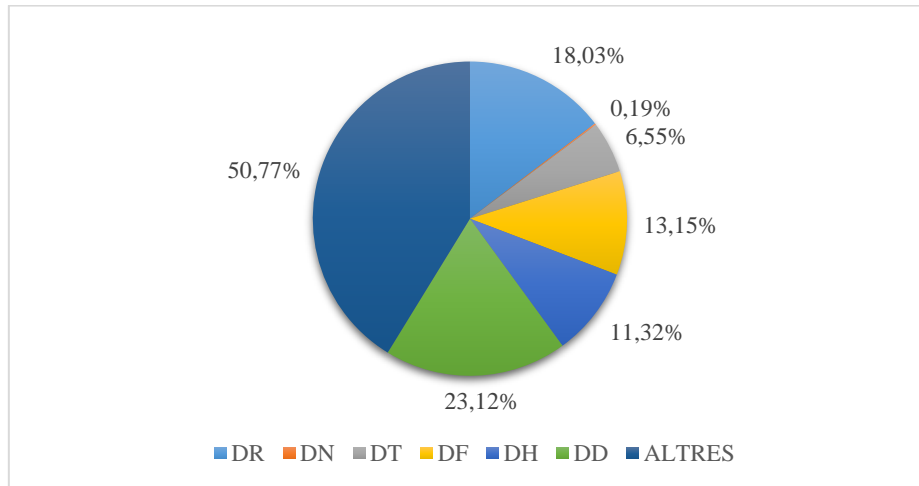


Figura Annex 39 Representació gràfica del percentatge de condicions climàtiques per any

5. Dades extremes absolutes

En aquest apartat s'exposaran situacions meteorològiques extremes que s'han enregistrat des de el 1930 fins el 2012. Com en tots els punt anteriors les dades han estat proporcionades per l'AEMET. A partir d'aquestes dades es pot arribar a fer una idea de com poden arribar ser les condicions meteorològiques en situacions de temporal extrem.

En les següents taules i gràfiques es veuran representades les deu condicions meteorològiques més extremes enregistrades per a cada fenomen analitzat. Les dades s'obtenen classificades per la data que es van registrar, de manera que també es pot apreciar si hi hagut un increment de la freqüència en els darrers anys o si no presenten cap mena de paràmetre establert. Les quatre condicions analitzades són les següents:

- Precipitacions màximes diàries
- Temperatures màximes absolutes
- Ratxes màximes de vent

Data	Precipitacions màximes (l/m²)
22/3/1942	257
11/10/1962	190
11/10/1970	180
3/10/1987	177
17/12/1939	140
3/12/1971	140
14/12/1943	138
18/1/1982	137
20/9/1971	132
10/10/1943	132

Taula Annex 13 Dades de les precipitacions màximes registrades (l/m²)

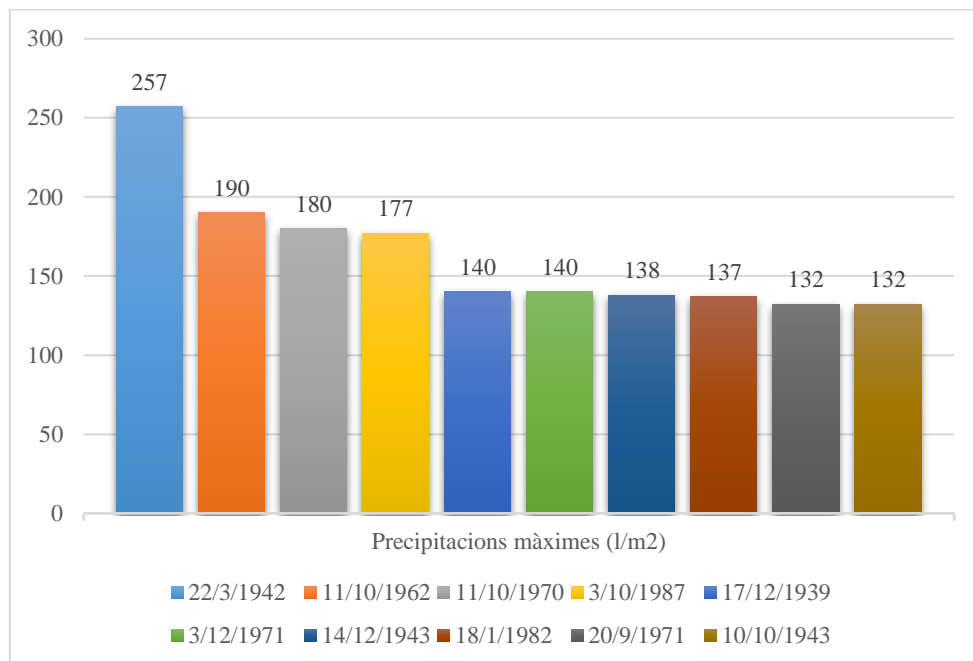


Figura Annex 40 Representació gràfica de les 10 precipitacions màximes registrades

Data	Temperatures màximes absolutes (°C)
13/8/2003	41
12/6/1931	40
22/6/2003	40
7/7/1982	39
24/7/1996	39
24/7/1941	39
27/7/2006	38
13/8/1933	38
22/7/1983	38
29/6/1935	38

Taula Annex 14 Dades de les 10 temperatures màximes registrades

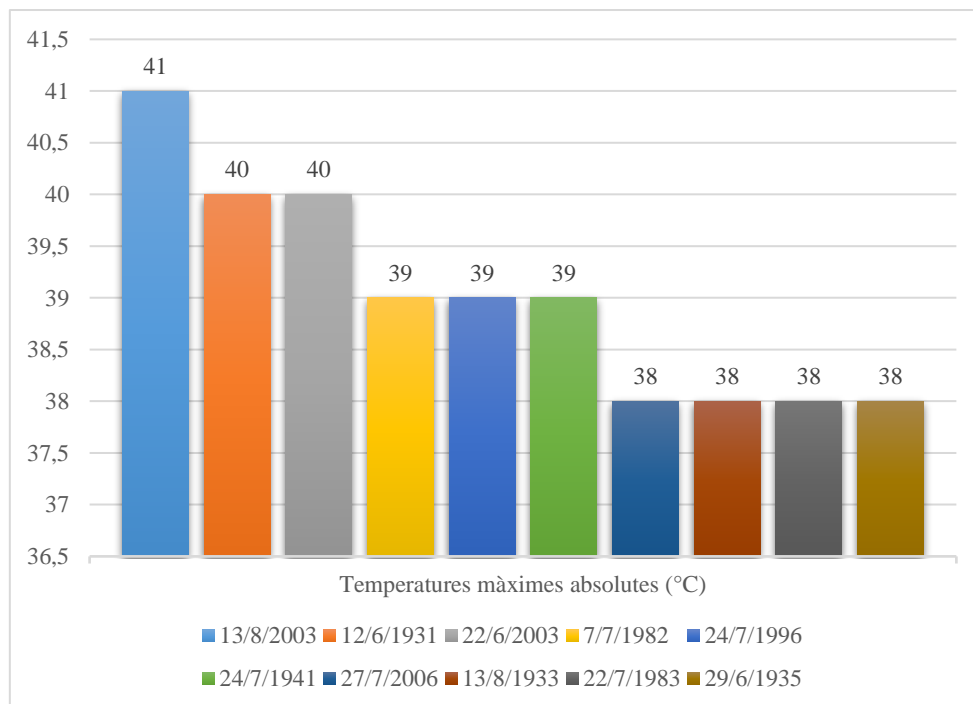


Figura Annex 41 Representació gràfica de les 10 temperatures màximes registrades

Data	Ratxes màximes de vent (km/h)
20/11/1976	110
10/2/1984	110
24/1/2009	108
31/1/2003	107
1/12/1976	100
15/8/1975	97
21/3/1974	95
11/3/1975	94
16/8/1976	94
30/1/1986	94

Taula Annex 15 Dades de les 10 ratxes màximes de vent registrades (km/h)

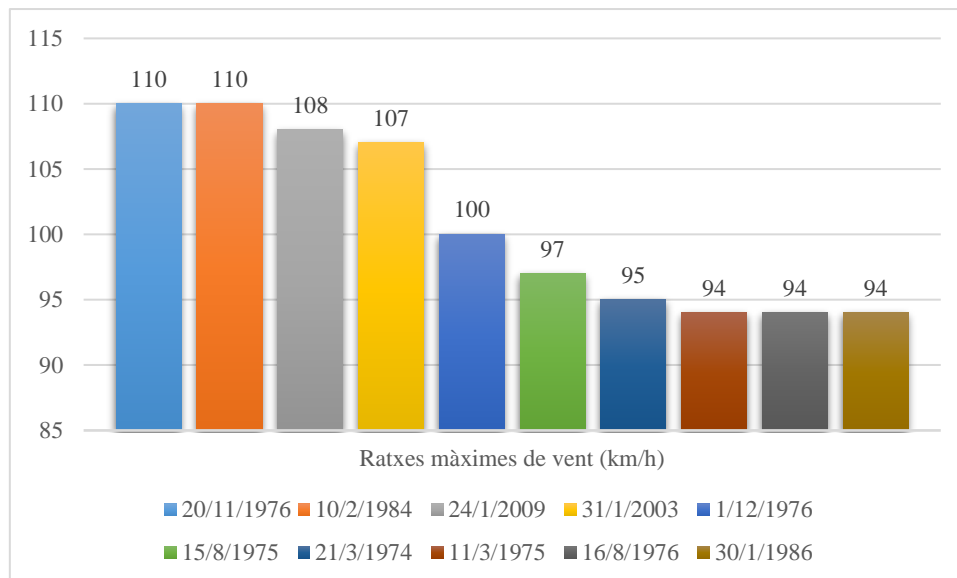


Figura Annex 42 Representació gràfica de les 10 ratxes màximes de vent registrades

Com es obvi i a més es pot apreciar, tots els fenòmens ambientals presenten les seves estadístiques més elevades en un conjunt de mesos en concret. Cada fenomen meteorològic té la seva època més activa tal com es pot observar en les dades representades prèviament. Per una altra banda cal destacar que no hi ha cap patró de increment de fenòmens extrems en cap any o dècada en concret, és a dir, que aquets fenòmens són totalment aleatoris.

IV. Forces

En aquesta part de l'annex s'agrupen el càlcul de forces que s'han realitzat per diferents punts del treball. Consta de un càlculs realitzats amb fulles de càlcul.

Presió hidrostàtica

1) Dades inicials

Gravetat (g)	9,8 m/s ²
Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Profunditat R2 (h2)	12,5 m
Profunditat R1 (h1)	17 m

2) Presió hidrostàtica

$$P = d \cdot g \cdot h$$

P1	171598 Pa
P2	126175 Pa

Impacte de l'onatge

1) Dades de partida

Diametre (D)	4 m
Carrera marea astronòmica (c.m.a.)	0,2 m
Gravetat (g)	9,8 m/s ²
Densitat aigua salada	1,025 kg/dm ³
Pes específic de l'aigua	10,25 KN/m ³
Profunditat (h)	22 m
Sobreelevació per temporal	1 m
Nivell del mar en temporal	23 m
Altura (l)	4 m
Altura des del fons (a)	23 m

2) Estudi d'onatge

a) Considerant longitud d'ona

Dades sobre onatge

Altura mitjana = H_0	0,84 m
Altura mitjana en temporal = H_t	1,97 m
Període per H_0 i $H_t = T_{p,0}$	7 s
Altura màxima = H_{max}	5,95 m
Període per $H_{max} = T_p$	10,5 s

Es considera esvelta si:

$D < 0,05L$ (Hidràulicament transparent)

No es considera esvelta si:

$D > 0,05L$ (Difracció + Reflexió)

Calculem

Longitud d'ona = L_0	30,757015 m
Pendent = h/L_0	0,0273108
Longitud d'ona = L	80,179034 m
U_{max}	7,6360985 m/s
Velocitat de propagació = c	4,3938594 m/s
Pendent = h/L	0,0742089

D/L	0,0498884
-------	-----------

b) Considerant dades estructura

alçada (l)	21 m
radi (R)	2 m

l/r	10,5
-------	------

Es considera una esbeltitat poc elevada

3) Càlcul de l'impacte

$$f = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R \cdot C^2$$

Força onada de 5,95 metres (f_{max})	751,0637 kN/m
Força onada de 1,97 metres (f_0)	248,67151 kN/m

4) Zona d'impacte

$$\lambda \cdot \eta ; \eta = H \cdot 0,5$$

λ	0,46
η_{max}	2,975
η_0	0,985

Zona d'atac H_{max}	1,3685 m
Zona d'atac H_0 (temporal mig)	0,4531 m


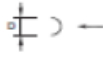
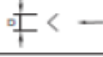


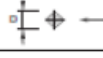

5) Temps d'impacte

$$T = (13/32) \cdot (R/C)$$

Tmax	0,1064025 s
T0	0,1849172 s

6) Arrosegament i inèrcia de les onades

$$f_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot D \cdot u^2$$

SECCIÓ	COEFICIENTE DE ARRASTRE (C _D)	
	1,98	
	1,16	
	2,20	
	2,05	
	1,10	
	1,55	
	Re < 2 · 10 ⁵	1,20
	2 · 10 ⁵ < Re < 5 · 10 ⁵ ⁽¹⁾	0,70 a 1,20 según la rugosidad ⁽²⁾
	Re ≥ 5 · 10 ⁵ ⁽¹⁾	0,60 a 1,00 según la rugosidad ⁽²⁾

Notas
 1) En los casos más generales, este tipo de estructuras suele dar lugar a números Reynolds altos (régimen turbulento o de transición).
 2) Los valores menores se corresponden con superficies suaves y lisas

Coefficients

cd	1,2
cm	2,5

Fdmax	143,4426 KN/m
Fd0	47,49276 KN/m

$$f_M = C_M \cdot \rho \cdot A \cdot a$$

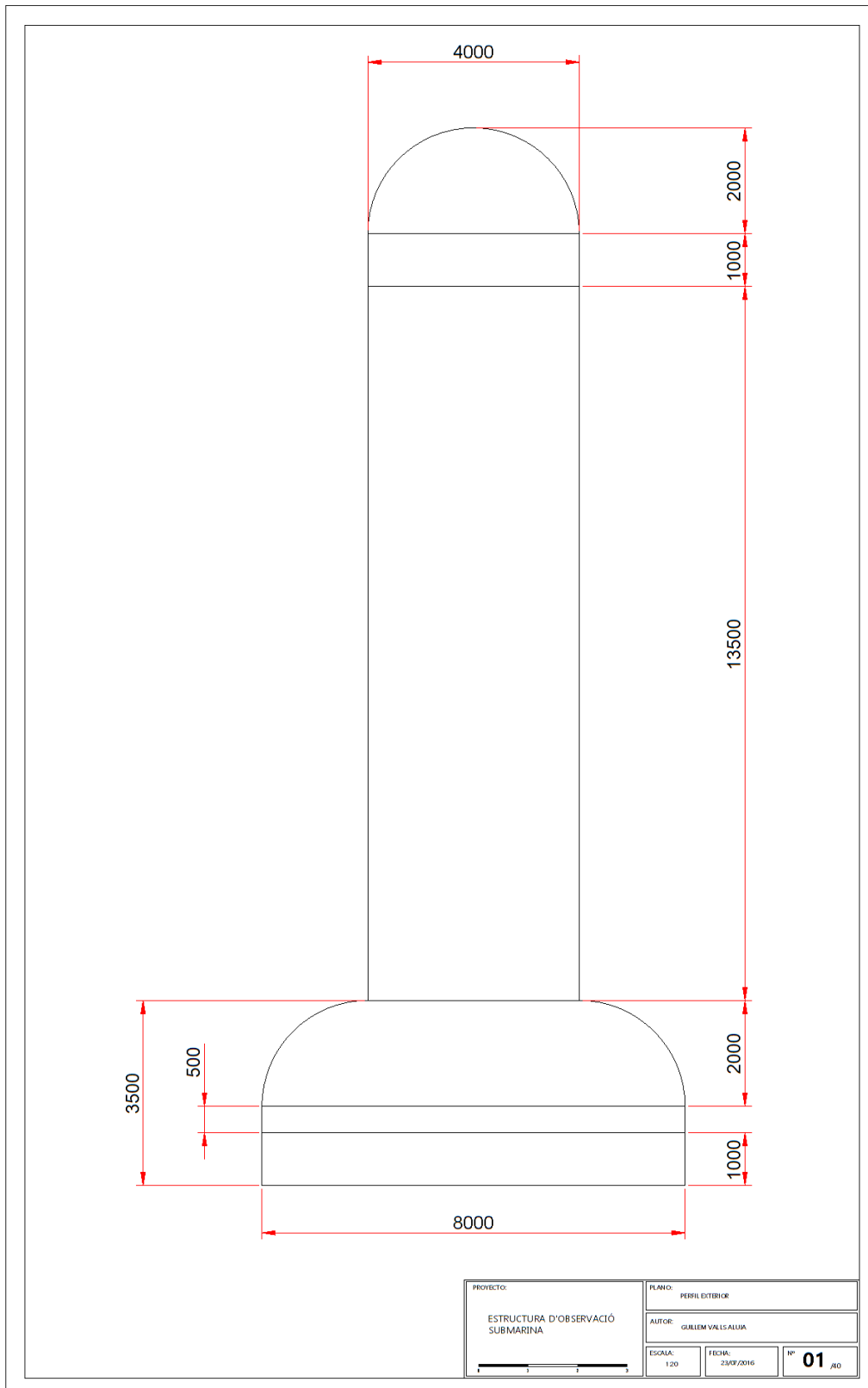
$$a = (H/2) \cdot (2\pi/T) \cdot \text{raiz}(g/h) \cdot \sin(\text{angle})$$

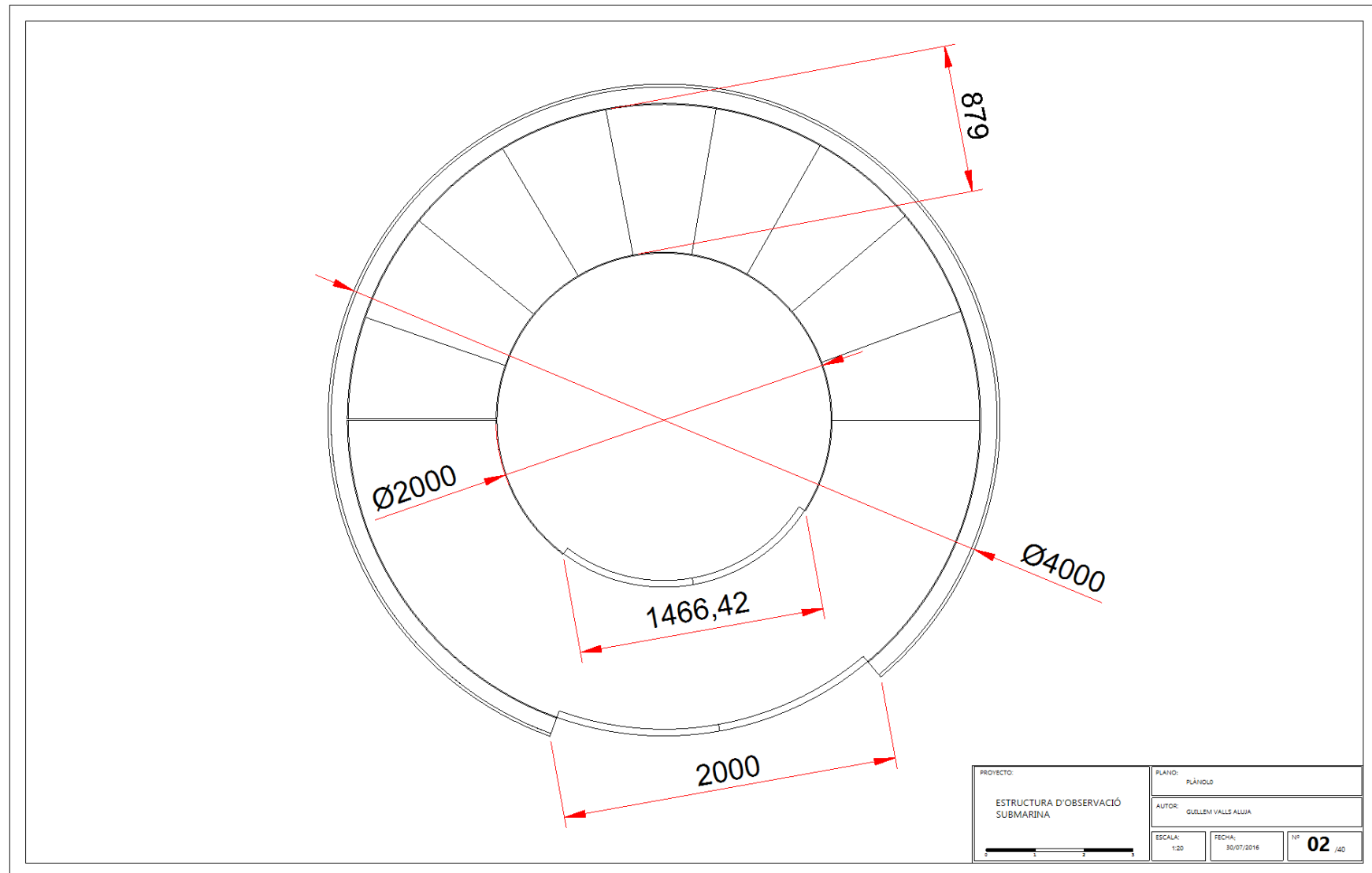
amax	1,1881718 m/s ²
a0	0,590092 m/s ²

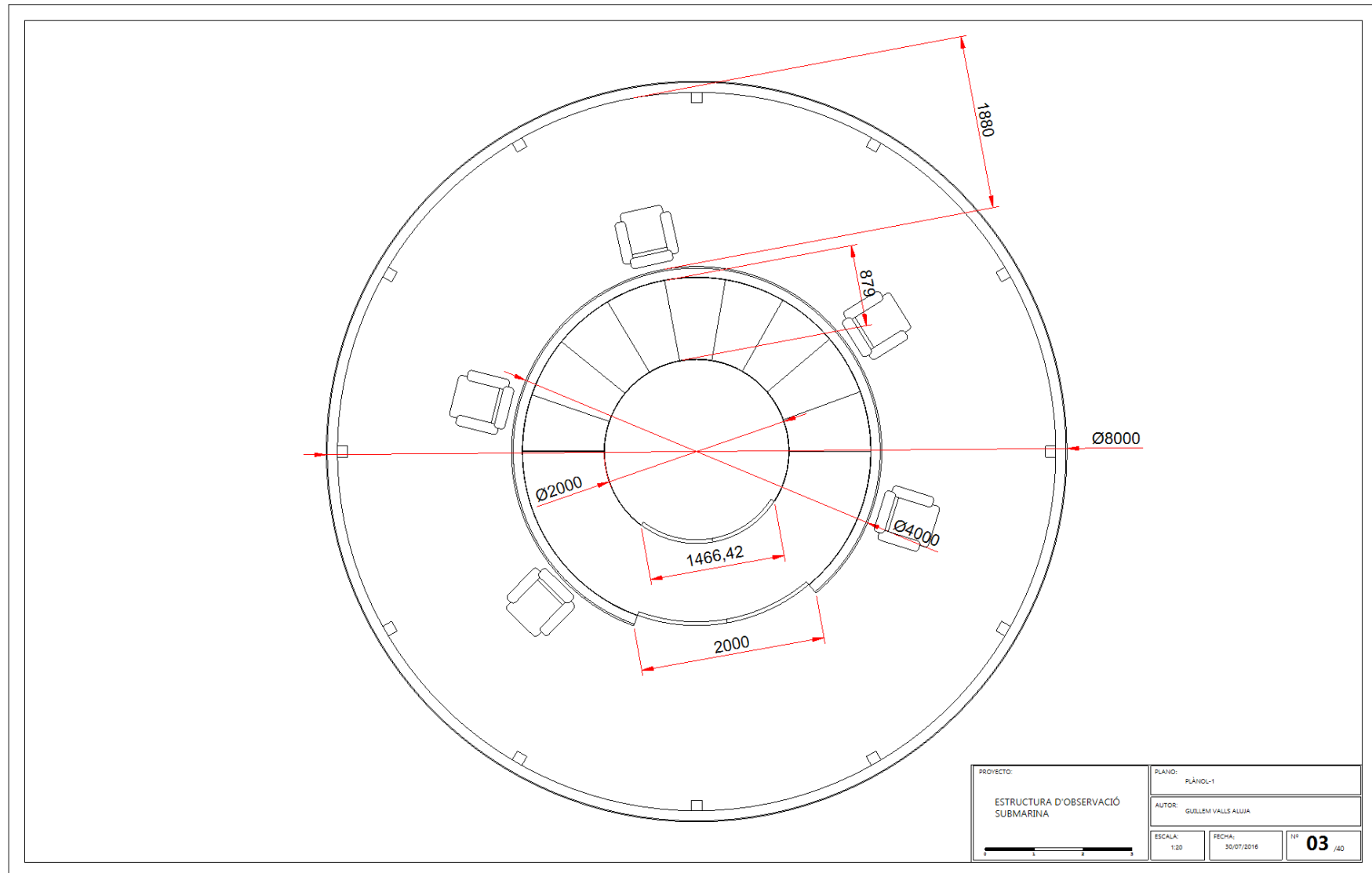
Fmmax	38,260706 KN/m
Fm0	19,001745 KN/m

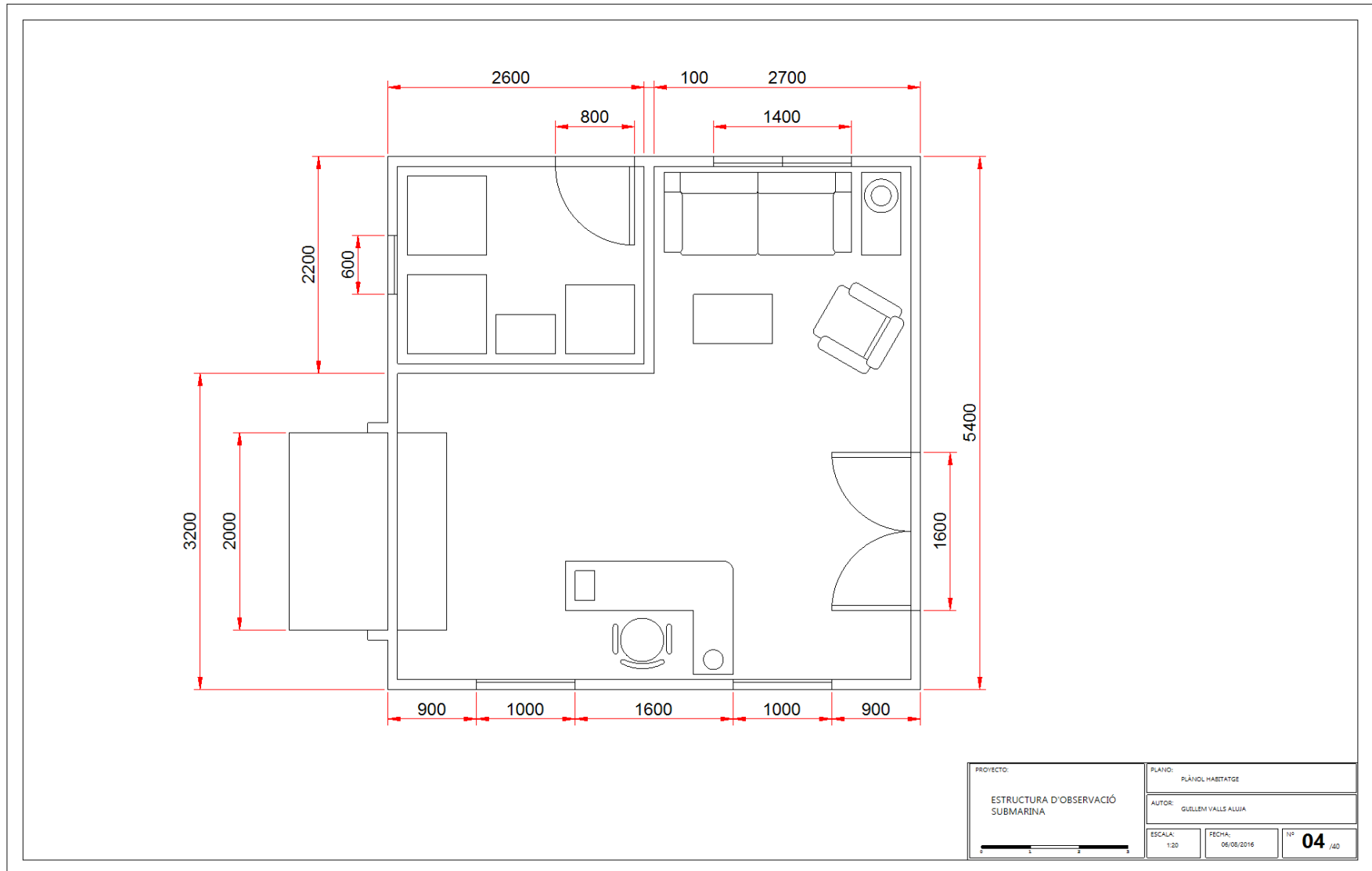
Fmorison max	181,70331 KN/m
Fmorison 0	66,494505 KN/m

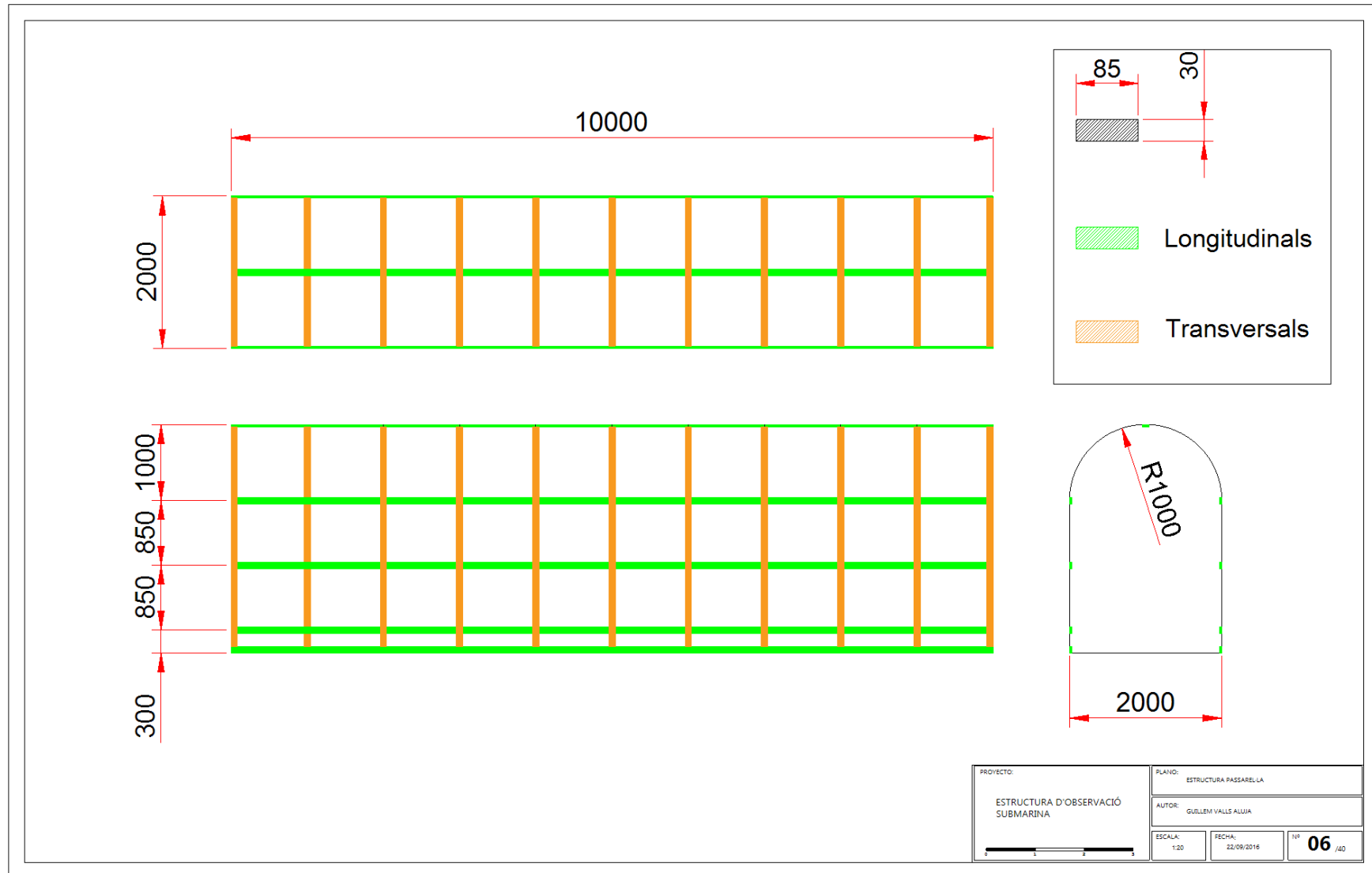
V. Formes



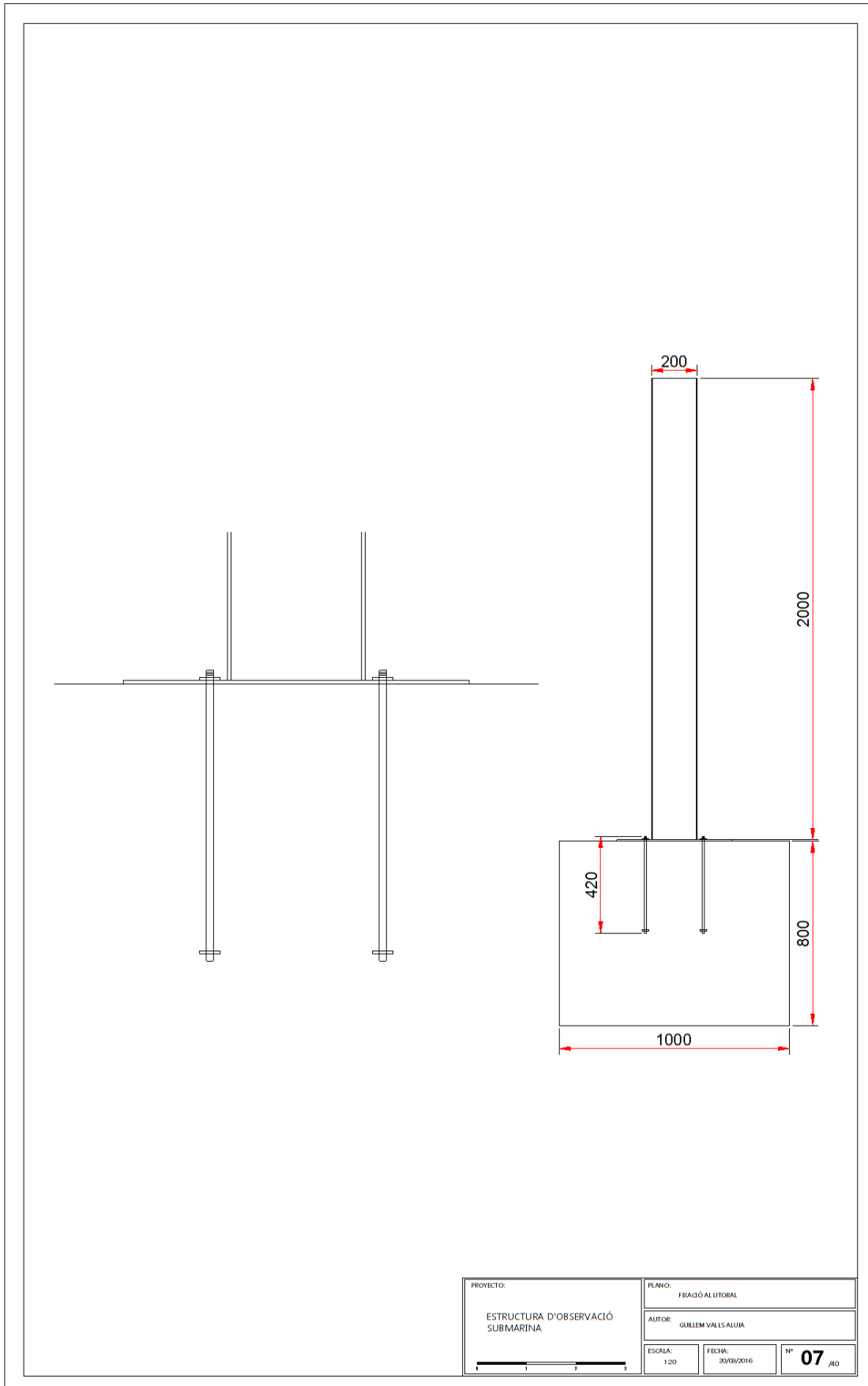


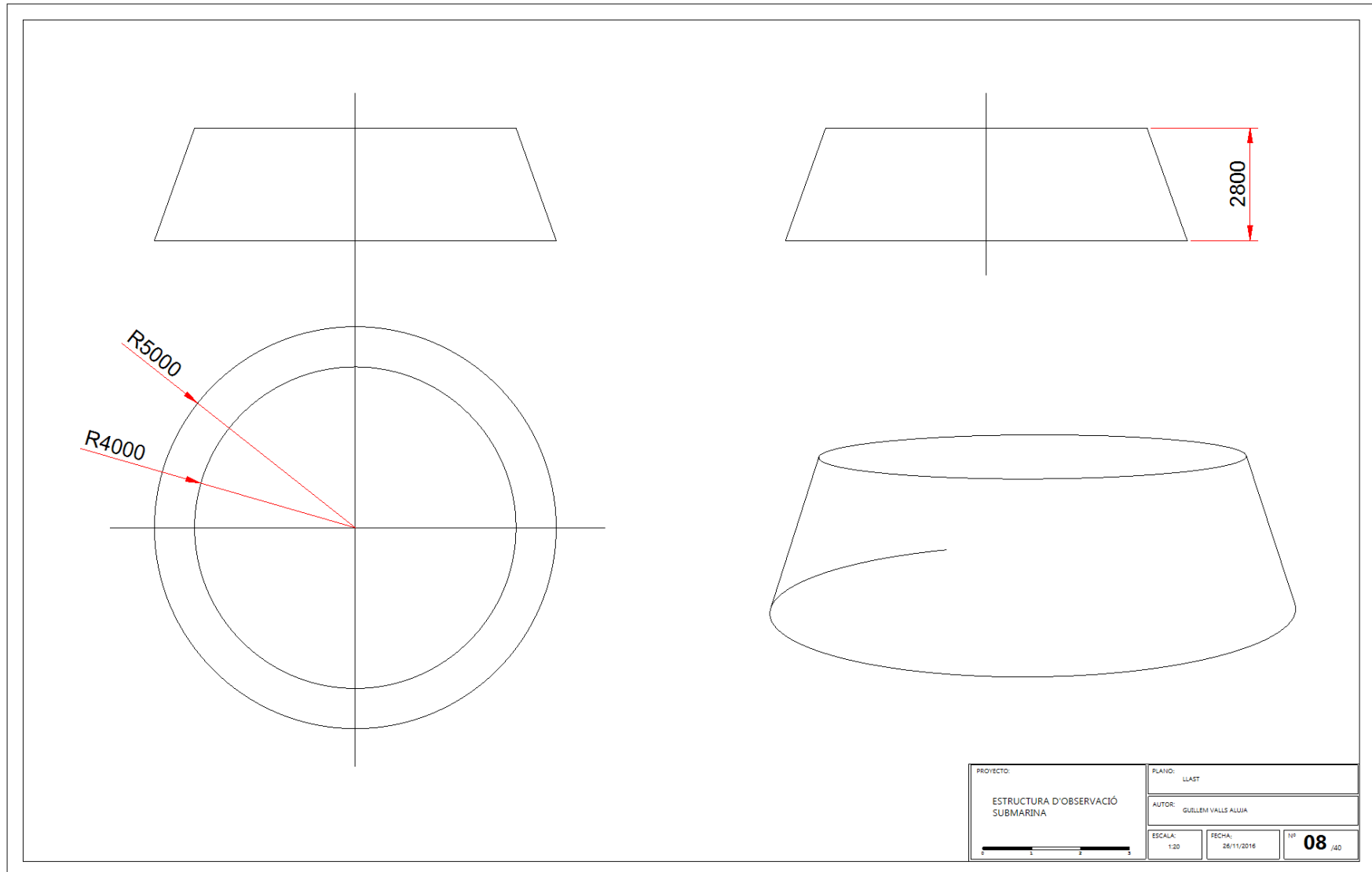




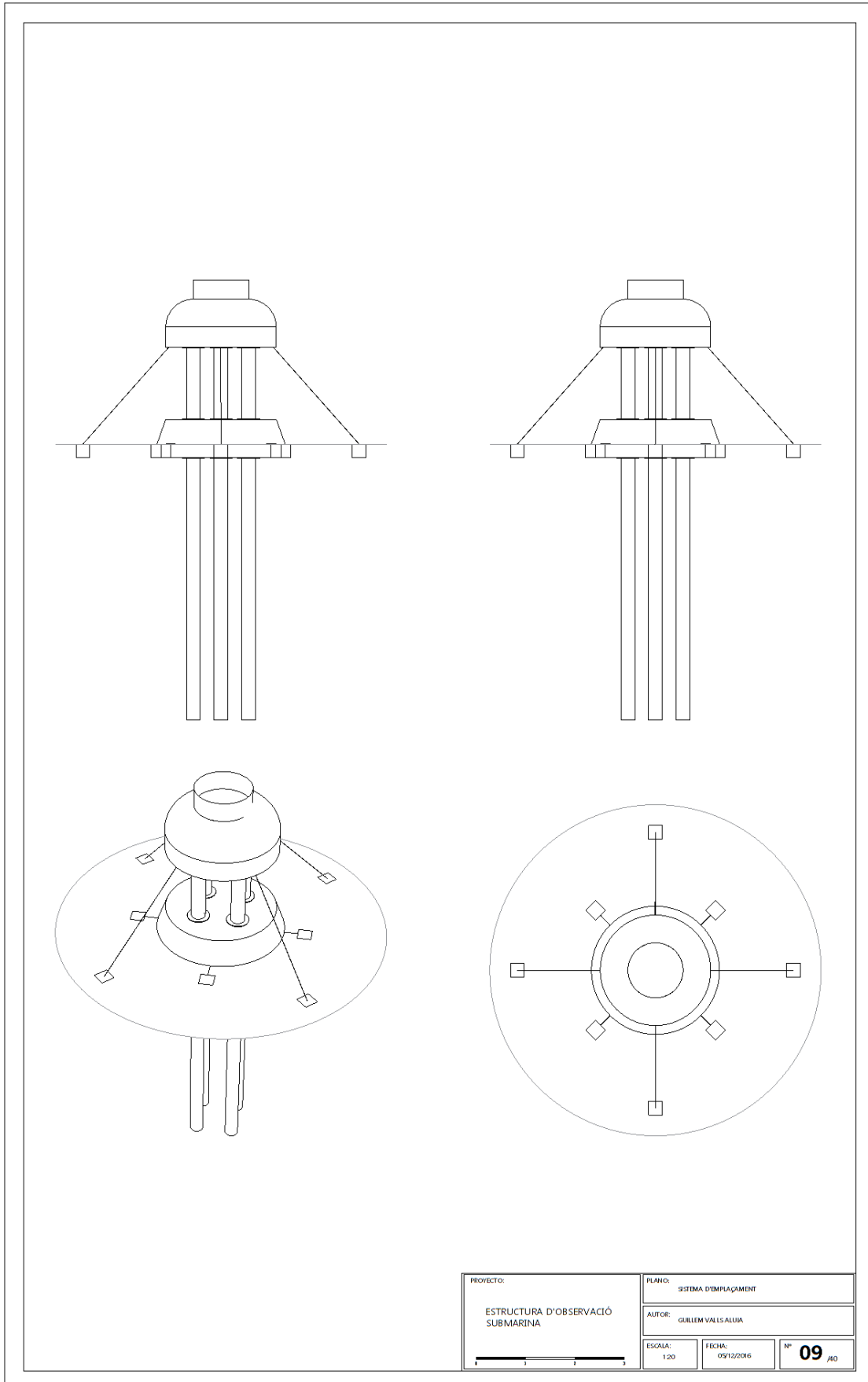


Disseny d'una plataforma d'observació submarina fixa





Disseny d'una plataforma d'observació submarina fixa



PROJECTE:	PLANO:
ESTRUCTURA D'OBSERVACIÓ SUBMARINA	SISTEMA D'EMPLAÇAMENT
	AUTOR: GUILLEM VALLS ALUJA
ESCALA: 1:20	FECHA: 05/12/2016
	Nº 09 /10

VI. Estructura

En aquest annex s'inclouen tan càlculs per determinar l'estructura com plànols i esquemes de les formes que aquesta presenta.

Espessors d'acer

1) Dades inicials

Radi zona d'observació (R1)	4 m
Radi zona de descens (R2)	2 m
Mòdul de Poisson del material (ν)	0,3
Distància entre quadernes (L)	0,2 m
(F)	0
Mòdul de Young del material (E)	2,05E+11 Pa
Límit de fluència del material (σ _y)	351600000 Pa
Inversa factor de seguretat (η)	0,8
Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Pressió (Pa)	Pa
Gravetat (g)	9,8 m/s ²

2) Càlcul P_m y P_y

$$P_m = \frac{2,42 \cdot E \cdot [t/(2 \cdot R)]^{5/2}}{(1 - \nu^2)^{3/4} \cdot [L/(2 \cdot R) - 0,45 \cdot [t/(2 \cdot R)]^{1/2}]}$$

P _m (1) =	2656890,04 Pa
P _m (2) =	1299593,77 Pa
P _m (3) =	862849,34 Pa

$$P_y = \frac{\sigma_y \cdot (t/R)}{1 - F}$$

P _y (1) =	828633,30 Pa
P _y (2) =	1020343,20 Pa
P _y (3) =	879000,00 Pa

P _m /P _y (1) =	3,21
P _m /P _y (2) =	1,27
P _m /P _y (3) =	0,981626102

3) Presió crítica de treball

a) Superfícies d'impacte

Altura d'impacte (3)	1,37 m
Diametre (1)	8 m
Diametre (2)	4 m

Zona impacte 1 (S1)	12,56637061 m ²
Zona impacte 2 (S2)	6,283185307 m ²
Zona impacte 3 (S3)	8,607963871 m ²

b) Presió crítica

Presió Morison calculada	181,7 KN/m ²
Força d'impacte	751,06 KN/m ²
Presió hidrostàtica (1)	171598 Pa
Presió hidrostàtica (2)	126175 Pa

Presió crítica total (Pc1)	171598 Pa
Presió crítica total (Pc2)	126175 Pa
Presió crítica total (Pc3)	6465097,345 Pa

Coeficient de Morison a 17m	0,22727273
Coeficient de Morison a 12,5m	0,43181818

c) Presió

$$P_a = P_c \cdot \eta$$

Presió de treball (Pa1)	137,2784 KPa
Presió de treball (Pa 2)	100,94 KPa
Presió de treball (Pa 3)	5172,077876 KPa

Un cop tenim un el valor de la presió podem trobar el valor de la t amb les tres equacions inicials proposades per la ABS:

$$Si P_m/P_y \leq 1 \rightarrow P_c = P_m/2$$

$$Si 1 < P_m/P_y \leq 3 \rightarrow P_c = P_y \cdot [1 - P_y/(2P_m)]$$

$$Si P_m/P_y > 3 \rightarrow P_c = 5/6 P_y$$

d) Espessors

1)

1328445,022 Pa	ρ
699415,8438 Pa	$P_c = P_y(1 - P_y / (2P_m))$
690527,75 Pa	$P_c = 5/6P_y$

2)

649796,887 Pa	$P_c = P_m / 2$
619794,8646 Pa	$P_c = P_y(1 - P_y / (2P_m))$
850286 Pa	$P_c = 5/6P_y$

3)

431424,6717 Pa
431273,5192 Pa
732500 Pa

L'espessor del punt 3 no es pot calcular d'aquesta manera ja que és un tipus d'esforç diferent.

Espessor (t1)	0,009427 m
Espessor (t2)	0,005804 m
Espessor (t3)	0,005 m

Espessor de metacrilat

1) Dades inicials

Radi zona d'observació (R1)	4 m
Radi zona de descens (R2)	2 m
Espessor casc 1 (t1)	0,009427 m
Espessor casc 2 (t2)	0,005804 m
Mòdul de Poisson del material (ν)	0,3
Diàmetre finestral cilindre (Di1)	0,5 m
Diàmetre finestral semiesfèric (Di2)	2,828427125 m
Mòdul de Young del material (E)	2,05E+11 Pa
Inversa factor de seguretat (η)	0,8
Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Pressió (Pa)	552430 Pa
Pressió (Pa)	5,5243 bar
Gravetat (g)	9,8 m/s ²

2) Espessor metacrilat perfil cilíndric

Segons la Pa que actua, la relació s/Di segons la Taula de la normativa és la següent:

Table C.2 Standard dimensions for flat disk windows

Range of application: Minimum wall thickness : $s \geq 12,5 \text{ mm}$ Slenderness ratio : $s/D_o \geq 0,125$ Edge radius : $1 \text{ mm} \leq R_1 \leq 2 \text{ mm}$ Window seating : $1,25 \leq D_o/D_f \leq 1,5$ Max. allowable working pressure : $p \leq 170 \text{ bar}$					
Design pressure PR [bar]	Minimum wall thickness / inside diameter of seat s/D _f at				
	10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C
5	0,134	0,146	0,154	0,164	0,188
10	0,154	0,173	0,188	0,201	0,226
15	0,173	0,195	0,210	0,223	0,253
20	0,188	0,210	0,226	0,240	0,281
25	0,201	0,223	0,240	0,257	0,305
30	0,210	0,233	0,253	0,274	0,324
35	0,219	0,243	0,267	0,292	0,344
40	0,226	0,253	0,281	0,305	0,363
45	0,233	0,264	0,295	0,317	0,383

Presió 5'5 bar i una temperatura crítica de 23 °C

Per tenir un marge ja que la presió es superior a 5 bar agafarem el valor de 5 bar a 52°C per compensar la diferència de presió i a més, agafar un marge de seguretat.

Per contrarestar les tensions es neseita un casc amb el mateix espessor en el cas del cilindre i el doble en el cas de l'esfera.

s/Di	0,164
relació espessor/diametre (s/Di)	0,164
relació diametre interior/exterior (Do/Di)	1,3
Diàmetre interior (Di1)	0,384615385 m
Diàmetre exterior (Do)	0,5 m
espessor (s)	0,063076923 m
espessor de fabricació (S)	0,063 m
relació espessor/diametre exterior (s/Do)	0,126

Espessor metacrilat	0,063076923 m
Espessor reforç acer	0,063 m

3) Espessor metacrilat perfil esfèric (90°)

Segons la Pa que actua, la relació s/Di segons la Taula de la normativa és la següent:

Table C.3 Standard dimensions for spherical shell windows with conical seat (opening angle 60° / 90°)

Range of application: Opening angle : $\alpha \geq 60^\circ$ Minimum wall thickness : $s \geq 12,5 \text{ mm}$ Minimum values for s/R_1 :											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>$60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$</th> <th>$90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>s/R_1</td> <td>0,09</td> <td>0,06</td> </tr> </tbody> </table>			α	$60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$	s/R_1	0,09	0,06			
α	$60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$									
s/R_1	0,09	0,06									
Window seating : $D_1/D_2 \geq 1,02$ Max. allowable working pressure : $p \leq 170 \text{ bar}$											
Design pressure PR [bar]	Minimum wall thickness / inside diameter of seat s/D_1 for $60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ at					Design pressure PR [bar]	Minimum wall thickness / inside diameter of seat s/D_1 for $90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$ at				
	10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C		10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C
5	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	5	0,042	0,042	0,042	0,042	0,049
10	0,090	0,090	0,090	0,090	0,112	10	0,042	0,043	0,049	0,054	0,070
15	0,090	0,090	0,097	0,108	0,140	15	0,043	0,052	0,060	0,067	0,089
20	0,090	0,097	0,112	0,126	0,166	20	0,049	0,060	0,070	0,080	0,107
25	0,090	0,108	0,126	0,143	0,191	25	0,054	0,067	0,080	0,091	0,124
30	0,097	0,119	0,140	0,160	0,215	30	0,060	0,075	0,089	0,102	0,142
35	0,104	0,129	0,153	0,176	0,238	35	0,065	0,082	0,098	0,113	0,160
40	0,112	0,140	0,166	0,191	0,259	40	0,070	0,089	0,107	0,124	0,177
45	0,119	0,150	0,179	0,206	0,279	45	0,075	0,095	0,116	0,135	0,194
50	0,126	0,160	0,191	0,221	0,298	50	0,080	0,102	0,124	0,146	0,210

Presió 5'5 bar i una temperatura crítica de 23 °C

Per tenir un marge ja que la presió es superior a 5 bar agafarem el valor de 5 bar a 52°C per compensar la diferència de presió i a més, agafar un marge de seguretat.

Per contrarestar les tensions es neseita un casc amb el mateix espessor en el cas del cilindre i el doble en el cas de l'esfera.

s/Di	0,042
relació espessor/diàmetre (s/Di)	0,042
Diàmetre interior (Di1)	2,618427125 m
espessor (s)	0,109973939 m
espessor de fabricació (S)	0,11 m
Diàmetre exterior que coincideix amb el casc (D)	2,837854125 m
Diàmetre calculat (di)	2,617906246 m
Diàmetre de fabricació calculat (Di2)	2,617854125 m
Radi interior curva planxa metacrilat (Ri)	1,851507576 m
relació espessor/radi (s/Ri)	0,059411045
Df	2,380388295

Espessor metacrilat	0,11 m
Espessor reforç acer	0,11 m

4) Window seating

$(D0/Di)/2$	0,057692308 m
$(D0/Di)/2$	0,118732915 m

Quadernes

1) Quadernes Secció 1

a) Dades inicials

Radi zona d'observació (R1)	4 m
Radi zona de descens (R2)	2 m
Mòdul de Poisson del material (ν)	0,3
Distància entre quadernes lleugeres (Ls)	0,2 m
Distància entre quadernes pesades (Ls)	1 m
(F)	0
Mòdul de Young del material (E)	2,05E+11 Pa
Límit de fluència del material (σ_T)	351600000 Pa
Inversa factor de seguretat (η)	0,8
Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Pressió de treball màxim (Pa1)	552425,5892 Pa
Pressió de treball màxim (Pa2)	495329,8297 Pa
Espressor casc 1 (t1)	0,009427 m
Espressor casc 2 (t2)	0,005804 m
Gravetat (g)	9,8 m/s ²

Dades quadernes lleugeres

Moment d'inèrcia del perfil respecte l'eix vertical (Iz)	1,36E-06 m ⁴
Àrea del perfil (As2)	0,00306 m ²
Distància del centroide al casc (z2)	0,0556 m
Distància de l'eix de referència al casc (d)	0,06 m
Altura de l'ànima del perfil (h)	0,06 m
Espressor de l'ànima (tw)	0,017 m
Longitud de l'ala (w)	0,12 m
Espressor de l'ala (tf)	0,017 m
Radi del centroide del perfil (Rs2)	1,950204 m
Inèrcia del perfil respecte l'eix horitzontal (Ix)	2,47E-06 m ⁴
Inèrcia de la secció del casc efectiva (Ie)	5,06E-06 m ⁴
Àrea de la secció de casc efectiu (Ae2)	0,000719 m ²

b) Requisits ABS

i) Stiffener tripping

$$\sigma_T = \frac{E \cdot I_x}{A_s \cdot R \cdot z}$$

Tensió quademes lleugeres

410606073,96

ii) Vinclament local

$$\dot{A}nima \rightarrow h/t_w < 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$Ala \rightarrow w/t_f < 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

Ànima lleugera

3,529411765

Ala lleugera

7,058823529

0,9*RAIZ(E/σy)

21,73176533

0,3*RAIZ(E/σy)

7,243921778

iii) Requisits d'inèrcia

$$I_\sigma > I$$

$$I_x + i_\sigma + A_\sigma \cdot d^2 > P \cdot D_0 \cdot L_s \cdot R_s^2 / (6 \cdot E \cdot \eta)$$

Quaderna lleugera

Inèrcia ABS (I)

1,53606E-06 m⁴

Inèrcia efectiva real (Ie)

5,06E-06 m⁴

1,15*RAIZ(R*t)

0,123901493

0,75**L_s*

0,15

ic=Ie*t³/12

2,01873E-09

Tots els requisits de la ABS es compleixen

En aquesta zona no es colocaran quademes pesades

1) Quadernes Secció 2

a) Dades inicials

Radi zona d'observació (R1)	4 m
Radi zona de descens (R2)	2 m
Mòdul de Poisson del material (ν)	0,3
Distància entre quadernes lleugeres (Ls)	0,2 m
Distància entre quadernes pesades (Ls)	1 m
(F)	0
Mòdul de Young del material (E)	2,05E+11 Pa
Límit de fluència del material (σ_t)	351600000 Pa
Inversa factor de seguretat (η)	0,8
Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Pressió de treball màxim (Pa1)	552425,5892 Pa
Pressió de treball màxim (Pa2)	495329,8297 Pa
Espessor casc 1 (t1)	0,009427 m
Espessor casc 2 (t2)	0,005804 m
Gravetat (g)	9,8 m/s ²

Dades quadernes lleugeres

Moment d'inèrcia del perfil respecte l'eix vertical (Iz)	1,59E-07 m ⁴
Àrea del perfil (As2)	0,00144 m ²
Distància del centroide al casc (z2)	0,03075 m
Distància de l'eix de referència al casc (d)	0,045 m
Alçada de l'ànima del perfil (h)	0,03 m
Espessor de l'ànima (tw)	0,012 m
Longitud de l'ala (w)	0,085 m
Espessor de l'ala (tf)	0,012 m
Radi del centroide del perfil (Rs2)	1,975054 m
Inèrcia del perfil respecte l'eix horitzontal (Ix)	7,33E-07 m ⁴
Inèrcia de la secció del casc efectiva (Ie)	2,19E-06 m ⁴
Àrea de la secció de casc efectiu (Ae2)	0,000719 m ²

Dades quadernes pesades

Moment d'inèrcia del perfil respecte l'eix vertical (Iz)	4,06E-06 m ⁴
Àrea del perfil (As2)	0,00506 m ²
Distància del centroide al casc (z2)	0,07326 m
Distància de l'eix de referència al casc (d)	0,075 m
Altura de l'ànima del perfil (h)	0,08 m
Espressor de l'ànima (tw)	0,022 m
Longitud de l'ala (w)	0,15 m
Espressor de l'ala (tf)	0,022 m
Radi del centroide del perfil (Rs2)	1,932544 m
Inèrcia del perfil respecte l'eix horitontal (Ix)	6,26E-06 m ⁴
inèrcia de la secció del casc efectiva (Ie)	m ⁴
Àrea de la secció de casc efectiu (Ae2)	0,000719 m ²

b) Requisits ABS

i) Stiffener tripping

$$\sigma_T = \frac{E \cdot I_x}{A_s \cdot R \cdot \bar{z}}$$

Tensió quadernes lleugeres	36805555,56
Tensió quadernes pesades	1121872636,20

ii) Vinclament local

$$\text{Ànima} \rightarrow h/t_w < 0,9 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

$$\text{Ala} \rightarrow w/t_f < 0,3 \cdot \sqrt{E/\sigma_y}$$

Ànima lleugera	2,5
Ànima pesada	3,636363636
Ala lleugera	7,083333333
Ala pesada	6,818181818
0,9*RAIZ(E/σy)	21,73176533
0,3*RAIZ(E/σy)	7,243921778

iii) Requisits d'inèrcia

$$I_e > I$$

$$I_{\infty} + i_e + A_e \cdot d^2 > P \cdot D_0 \cdot L_z \cdot R_z^2 / (6 \cdot E \cdot \eta)$$

Quaderna lleugera

Inèrcia ABS (I)	1,57545E-06 m ⁴
Inèrcia efectiva real (Ie)	2,19E-06 m ⁴
1,15*RAIZ(R*t)	0,123901493
0,75*Ls	0,15
ic=Ie*t ^{3/12}	2,01873E-09

Quaderna pesada

Inèrcia ABS (I)	7,54183E-06 m ⁴
Inèrcia efectiva real (Ie)	1,03E-05 m ⁴
1,15*RAIZ(R*t)	0,123901493
0,75*Ls	0,75
ic=Ie*t ^{3/12}	2,01873E-09

Tots els requisits de la ABS es compleixen

b) Disposició quadernes S1

i) Quadernes lleugeres horitzontals

Quantitat de quadernes	5,00
Quantitat de quadernes reals	6,00
Distància entre quadernes	0,20 m
Posició primera quaderna	0,00 m
Posició última quaderna	1,00 m

ii) Quadernes lleugeres transversals

Quantitat de quadernes reals	12,00
Distància entre quadernes (m)	2,09 m
Distància entre quadernes (graus)	30,00 graus

iii) Quaderna horitzontal entre cilindre i esfera mòdul

Quantitat de quadernes reals	1,00
Posició primera quaderna	1,50 m

c) Disposició de quadernes S2

i) Quadernes pesades horitzontals

Quantitat de quadernes	13,5
Quantitat de quadernes reals	14
Distància entre quadernes	1 m
Posició primera quaderna	0 m
Posició última quaderna	13,00 m

ii) Quadernes lleugeres horitzontals

Quantitat de quadernes	53,5
Quantitat de quadernes reals	54
Distància entre quadernes	0,20 m
Distància entre cada quatre quadernes	0,40 m
Posició primera quaderna	0,20 m
Posició última quaderna	13,40 m

iii) Quadernes pesades transversals

Quantitat de quadernes reals	4
Distància entre quadernes (m)	3,141592654 m
Distància entre quadernes (graus)	90 graus

Mètode d'emplaçament

a) Dades inicials

Densitat aigua del mar (ρ)	1030 kg/m ³
Densitat aigua del formigó armat (ρ)	2400 kg/m ³
Gravetat (g)	9,8 m/s ²
Coefficient de seguretat	1,15
Coefficient de sobredimensionament	1,15

b) Volum d'aigua desocupada

Volum d'aigua desocupada	313,84418 m ³
--------------------------	--------------------------

Calculat a partir del programa Rhinoceros 5.0

c) Volum de llast d'hormigó

El pes del volum d'aigua desocupat ha de ser igual el del formigó armat

Pes d'aigua desocupada	323259,5054 kg
Volum de formigó armat	178,1294566 m ³

VII. Sistemes

Sistema de inundació i buidatge

1) Dades inicials

Diàmetre zona d'observació (B)	8 m
Diàmetre zona d'observació (L)	8 m
Altura projecte (H)	20 m

2) Dimensionament de canonades

N.2.2 Dry cargo and passenger ships

a) Main bilge pipes

$$d_H = 1.68 \cdot \sqrt{(B+H) \cdot L} + 25 \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

b) Branch bilge pipes

$$d_2 = 2.15 \cdot \sqrt{(B+H) \cdot \ell} + 25 \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

d_H : calculated inside diameter of main bilge pipe [mm]

d_2 : calculated inside diameter of branch bilge pipe [mm]

L : length of ship between perpendiculars [m]

B : moulded breadth of ship [m]

H : depth of ship to the bulkhead deck [m]

ℓ : length of the watertight compartment [m]

d_H	50,14393764 mm
-------	----------------

3) Dimensionament de bombes

a) Dades inicials

Temps de buidatge	5 h
Número de bombes	2
Columna d'aigua	18 m
Volum d'aigua	313,84 m ³

b) Caudal necessari

Caudal de la bomba	31,384 m ³ /h
--------------------	--------------------------

4) Dimensionament electrovàlvules

Densitat Aigua del mar	1030 kg/m ³
Presió exterior	171598 Pa
Presió interior	101325,00 Pa
Període inundació	60 min
Contracció tub corrent	0,6
Longitud del tub	0,02 m
Factor del gràfic de Moody	0,02
Volum d'inundació	313,84 m ³

a) Caudal necessari d'inundació

Caudal	0,09 m ³ /s
--------	------------------------

b) Velocitat del líquid

Per calcular la velocitat del líquid s'utilitzara les equacions de Bernoulli:

Velocitat del líquid	11,68128534 m/s
----------------------	-----------------

La pèrdua de càrrega degut a la viscositat i la canonada d'aigua és molt poca degut a la longitud de la canonada d'entrada d'aigua, que és molt curta. Es calcula a continuació:

$$DP' = 0,446726243$$

c) Dimensionament electrovàlvula

Secció	0,012438383 m ² 12438,3826 mm ²
--------	--

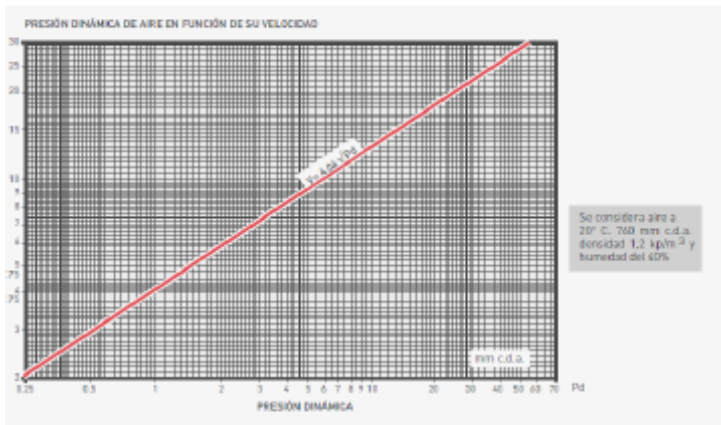
Numero de entrades	4
--------------------	---

Diàmetre	62,92265212 mm
----------	----------------

Sistema de ventilació

a) Caudal de ventilació

Volum d'aire	149,76 m ³
Renovacions	60 r/h
Diametre conducto	0,4 m
Secció	0,126 m ²
Caudal (Q)	8985,6 m ³ /h
velocitat	19,8625369 m/s



Segons la gràfica la pressió dinàmica en funció de la velocitat
Pd 25 mm c.d.a.

b) Càlcul de pèrdues de càrrega

Longitud del tubo	36 m
Perdida de carga por metro	0,2
Colzes	4
Perdida por codo	0,2
Perdues de càrrega	12,2 mm c.d.a.

c) Elecció de extractor i ventilador

Caudal	149,76 m ³ /1'
PD	37,2 mm c.d.a.

Amb aquests valors es pot escollir el ventilador necessari amb el catàleg de Gianneschi

ELL 450/2	159 m ³ /1' 40 mm c.d.a.
-----------	--

Potencia Inst	2,2 kw
Potencia Abs	2 kw
Voltatge	230 V
RPM	2800 rpm

Sistema de climatització

Punto	Cantidad	Factor					Cantidad x Factor		
		Grados de diseño exterior							
		Zona norte	Centro	Zona sur			Frigorías/h		
		32	35	38	41	43			
1- Suelo	m ²	6	8	13	19	25			
2- Volumen de la habitación	m ³	5							
3- Ventanas expuestas al sol (usar sólo las de una pared, la que ofrezca el mayor resultado)	S o E	m ²	115	120	135	150	165		
	SO	m ²	210	220	230	240	260		
	O	m ²	285	300	315	330	345		
	NO o SE	m ²	155	165	175	190	205		
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3	m ²	30	40	55	70	85			
5- Pared expuesta al sol (usar sólo la pared utilizada en el punto 3)	m ²	30	36	45	50	57			
6- Todas las paredes exteriores no incluidas en el punto 5	m ²	17	25	37	45	55			
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)	m ²	8	11	17	21	25			
8- Tejado o techo (sólo uno)	Techo con espacio sin acondicionar arriba	m ²	6	8	13	19	25		
	Techo	Sin aislamiento	m ²	22	27	35	40	45	
		50mm (2") o más de aislamiento	m ²	8	8	11	11	14	
	Tejado sin aislamiento	m ²	46	53	59	66	72		
9- Personas		120							
10- Luces y equipos eléctricos en uso	Incandescentes y equipos	w	0,86						
	Fluorescentes	w	1,0625						
Carga de refrigeración total			Frigorías/h						

Instrucciones:

Completar los campos de la columna "Cantidad" y utilizar como multiplicador el valor correspondiente de la columna "Grados de diseño exterior". El resultado de cada apartado se irá colocando en la columna "Cantidad x Factor" para después, al sumarlos, obtener el valor "Frigorías/h".

a) Dimensionament Aire Acondicionat

ZONA D'OBSEVACIÓ				
	unitats	factor	frigories	
	1	37,7	25	942,5
	2	149,76	5	748,8
	3	0	345	0
	4	50	85	4250
	5	0	57	0
	6	34,6	55	1903
	7	43,98	25	1099,5
	8	16,66	45	749,7
	9	8	120	960
	10	100	0,86	86
			10739,5	frigories/h
			42958	BTU

Potència	12,4877907 kw
----------	---------------

S'han utilitzat els factors més elevats per un sobredimensionament de l'aire acondici

	pot (kw)	consumo(kw)	frig/h
CASSETTE MUCSR-60-H6t	15,83	6,4	13613,8

	Precio
MUCSR-60-H6T	4.072,00 €

Sistema elèctric

POTÈNCIA INSTAL·LADA DEMANDADA	45,0155 TOTAL (KW) 15,4621 MAYOR POTÈNCIA DEMANDABLE (KW)
--------------------------------------	--

P. EMERGÈNCIA INSTAL·LADA DEMANDADA	15,412 TOTAL (KW) 11,20024 MAYOR POTÈNCIA DEMANDABLE (KW)
---	--

Dimensionament generador d'emergència

El generador ha de proporcionar una potència superior a la demandada en el cas d'emergència de més demanda:

Cas en més demanda:	EMERGENCIA BUIDATGE	11,20024 KW
---------------------	---------------------	-------------

Generador escollit:	Generador Insonorizado Kaiser Silent Bull PRO	13 KW
---------------------	--	-------

Balanç elèctric

SERVEI	SUBSISTEMES	EQUIP	TENSIÓ DE ALIMENTACIÓ	UNITATS INSTALADES	POTENCIA POR UNIDAD (kW)	UNITATS EN SERVEI	POTÈNCIA INSTALADA (kW)	FACTOR D'US/CARGA (Kn)	FACTOR DE REDUNDÀNCIA (Kn)	POTÈNCIA MÀXIMA DEMANDADA (kW)	OPERATIVA		NO OPERATIVA		EMERGENCIA BUIDATGE		EMERGENCIA ELÈCTRICA		EMERGENCIA INCENDI		ESENCIAL	NO ESENCIALS	DE EMERGENCIA	FABRICANTS
											Factor de servei/cicle, Ksr	Potència estimada	Factor de servei/cicle, Ksr	Potència estimada	Factor de servei/cicle, Ksr	Potència estimada	Factor de servei/cicle, Ksr	Potència estimada	Factor de servei/cicle, Ksr	Potència estimada				
Buidatge i contra incendis	Buidatge	Bomba	230V A/C	2	5,5	2	11	1	1	11	0	0	0	0	1	11	0	0	0	0	1			Forani & Pecorari
Buidatge i contra incendis	Contra incendis	Bomba	230V A/C	1	0,55	1	0,55	1	1	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,55	1			Forani & Pecorari
Buidatge i contra incendis	Sentinas	Bomba	230V A/C	1	1,1	1	1,1	1	1	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Forani & Pecorari
Sistema Ascensor	Ascensor	Motor elèctric	220 V A/C	1	13	1	13	1	1	13	0,4	5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Moving People
Ventilació i climatització	Ventilació	Ventilador	230V A/C	1	2,2	1	2,2	1	1	2,2	0,8	1,76	0	0	0	0	0,8	1,76	0	0	1	1		Gianneschi
Ventilació i climatització	Climatització	Aire acondicionat	230V A/C	1	15,83	1	15,83	1	1	15,83	0,5	7,915	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Mundoclima
Lluminat	Zona d'observació i passarel·la	Bombetes baix consum y làmpares LED	24V D/C	8	0,02	8	0,16	1	1	0,16	1	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Quick Marine Lightning
Lluminat	Escales	Bombetes baix consum y làmpares LED	24V D/C	9	0,0015	9	0,0135	1	1	0,0135	1	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Quick Marine Lightning
Lluminat	Exterior	Llums exteriors	24V D/C	12	0,05	12	0,6	1	1	0,6	0,2	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Underwater Kinetics
Lluminat	Llums de navegació	Faro pirata	24V D/C	1	0,1	1	0,1	1	1	0,1	0,2	0,02	1	0,1	1	0,02	1	0,1	1	0,1	1	1		Underwater Kinetics
Lluminat	Emergència	Llum d'emergència	24V D/C	9	0,002	9	0,018	1	1	0,018	0	0	0	0	1	0	1	0,018	1	0,018	1	1		Zemper
Navegació i comunicacions	Navegació	Anemòmetre	24V D/C	1	0,35	1	0,35	1	1	0,35	0,7	0,245	0,2	0,07	0,7	0,1715	0,7	0,245	0,7	0,245	1	1		Alphatron
Navegació i comunicacions	Navegació	Ràdar	24V D/C	1	0,09	1	0,09	1	1	0,09	0,3	0,027	0,2	0,018	0,3	0,0081	0,3	0,027	0,3	0,027	1	1		Garmin
Navegació i comunicacions	Comunicacions externes	Equip de ràdio	24V D/C	1	0,004	1	0,004	1	1	0,004	0,4	0,0016	0,2	0,0008	0,4	0,00064	0,4	0,0016	0,4	0,0016	1	1		SAILOR
											15,4621	0,1888	11,20024	2,1516	0,9416									

