

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ACUÍCOLA AUTOSUFICIENTE PARA EL CULTIVO DE ESPECIES PELÁGICAS

Trabajo Fin de Máster  
Ingeniería Naval y Oceánica  
Abril 2020

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica  
Universidad Politécnica de Cartagena



Alumno: Andrea Ortiz Clèrig  
Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



## Contenido

RESUMEN/ABSTRACT	VIII
1. OBJETIVOS	1
1.1. Objetivo principal	2
1.2. Objetivos secundarios	2
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Los orígenes de la acuicultura	4
2.2. La situación actual de la acuicultura	6
2.3. Las jaulas marinas	9
2.4. Importancia de ser autosostenible	12
3. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES	14
3.1. Criterios de mercado	16
3.2. Criterios biológicos	18
3.3. Criterios de producción	19
3.4. Selección	20
3.5. Especie objetivo	21
4. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	25
4.1. Necesidades de la especie	26
4.2. Áreas protegidas	26
4.3. Interacción con otros sectores	28
4.4. Profundidad y distancia al puerto más cercano	29
4.5. Características de la localización	29
5. TIPO DE CULTIVO	34
5.1. Control del ciclo	35
5.2. Densidad de seres por volumen de agua	36
5.3. Número de especies a cultivar	37
5.4. Clasificación final del cultivo	39
6. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	40
7. MÓDULOS E INSTALACIONES NECESARIAS	47
7.1. Las jaulas	48
7.2. Pasarelas rectas	55

7.3.	Pasarela de esquina	58
7.4.	Nursery	61
7.5.	Hatchery	64
7.6.	Plataforma de Habilitación	66
7.7.	Plataforma de muelle	70
7.8.	Plataforma par engorde de otras especies.	74
7.9.	Plataforma para almacén de piensos	78
7.10.	Plataformas de laboratorios	80
7.11.	Plataforma de veterinario	82
7.12.	Plataforma de Buzos y ROV	85
8.	AUTOSOSTENIBILIDAD	90
8.1.	Energías renovables	91
8.2.	Balance eléctrico	105
8.3.	Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica	112
8.4.	Disposición de los elementos de la instalación	118
9.	CONCLUSIONES	120
10.	LÍNEAS FUTURAS	123
	BIBLIOGRAFÍA	126
	ANEXO I: PLAN DE PRODUCCIÓN	129
	ANEXO II: CICLO DE VIDA DEL ATÚN ROJO	131
	ANEXO III: DISPOSICIÓN GENERAL DEL MÓDULO E HABILITACIÓN	133

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Objetivos del trabajo.....	2
Ilustración 2: viveros romanos en el Baños de la Reina.[2]. ....	4
Ilustración 3: El escorial, Madrid.....	5
Ilustración 4: Evolución de la producción de acuicultura y pesca mundial en el periodo 1950-2016 [3]. ....	6
Ilustración 5: Utilización y consumo aparente de pescado a nivel mundial [3].....	7
Ilustración 6: Distribución de la producción de acuicultura de acuicultura en los Estados miembros de la Unión Europea por su volumen (toneladas) y valor (millones de euros) en 2016 [1]. ....	8
Ilustración 7: Distribución porcentual de la producción de acuicultura mundial [t] en 2016 por grupos y por entornos de producción [1]. ....	8
Ilustración 8: Aquapod en superficie .....	9
Ilustración 9: Aquapod sumergido .....	9
Ilustración 10: Jaula offshore sumergible de AquaSol y Principle Power .....	10
Ilustración 11: Propuesta de piscifactoría offshore de Ocean Farming.....	10
Ilustración 12: Diseño de NSK Ship Design.....	11
Ilustración 13: Iniciativa Chilena .....	11
Ilustración 14: Esquema Smart Floating Farm .....	13
Ilustración 15: Nivel superior Smart Floating Farm .....	13
Ilustración 16: Nivel intermedio Smart Floating Farm .....	13
Ilustración 17: Nivel inferior Smart Floating Farm .....	13
Ilustración 18: Atún rojo (Thunnus Thynnus). [11].....	22
Ilustración 19: Zonas de procedencia.[11].....	22
Ilustración 20: Zonas que puede habitar. [11].....	23
Ilustración 21: Ventajas e inconvenientes del cultivo del atún rojo .....	24
Ilustración 22: Demarcación marina levantino balear .....	27
Ilustración 23: Reservas de petróleo y gas. [14] .....	28
Ilustración 24: Emplazamiento seleccionado. [15] .....	29
Ilustración 25: Histograma de altura significativa. [16] .....	30
Ilustración 26: Distribución de Weibull de las alturas significativas .....	30
Ilustración 27: Velocidad de corriente en la boya de Cabo de Palos. [16].....	31
Ilustración 28: Registro de temperaturas en °C en la boya de Cabo de Palos. [16] .....	32
Ilustración 29: Salinidad medida en la boya de Cabo de Palos. [16] .....	32
Ilustración 30: Sustratos del fondo marino. [20] .....	33
Ilustración 31: Características del cultivo en función de la densidad de éste. ....	37
Ilustración 32: Modelo conceptual de un cultivo multitrófico integrado.[27] .....	38
Ilustración 33: Relación entre los distintos cultivos.....	39
Ilustración 34: Clasificación de empresas españolas de acuicultura según su tamaño. [29] ..	41
Ilustración 35: Valor del atún cultivado según su peso final .....	43
Ilustración 36: Esquema sin escala de la disposición general .....	48
Ilustración 37: Ejemplo jaula flexible .....	49
Ilustración 38: Ejemplo de jaula rígida .....	50

Ilustración 39: Resultados de la simulación numérica y el ensayo con modelos de Huang, Tang & Liu .....	50
Ilustración 40: Esquema de la estructura de las jaulas de engorde. Ilustración sin escala. ..	52
Ilustración 41: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	54
Ilustración 42: Esquema de la estructura de los pasillos rectos. Ilustración sin escala. ....	55
Ilustración 43: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	57
Ilustración 44: Esquema de la estructura de los pasillos en esquina. Ilustración sin escala. Unidades en metros. ....	58
Ilustración 45: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	61
Ilustración 46: Esquema de la nursery. Ilustración sin escala. ....	62
Ilustración 47: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	63
Ilustración 48: Esquema Hatchery sin escala .....	64
Ilustración 49: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	66
Ilustración 50: Esquema Habilitación sin escala. ....	67
Ilustración 51: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	69
Ilustración 52: Esquema del muelle. Ilustración sin escala. ....	70
Ilustración 53: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	73
Ilustración 54: Esquema de planta octogonal. Ilustración sin escala. ....	74
Ilustración 55: Esquema de planta hexagonal. Ilustración sin escala. ....	74
Ilustración 56: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	76
Ilustración 57: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	77
Ilustración 58: Esquema del almacén para piensos. Ilustración sin escala. ....	78
Ilustración 59: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	79
Ilustración 60: Esquema del laboratorio. Ilustración sin escala. ....	80
Ilustración 61: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	82
Ilustración 62: Esquema del veterinario. Ilustración sin escala. ....	83
Ilustración 63: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	85
Ilustración 64: Esquema de la plataforma del ROV y de los buzos. Ilustración sin escala. ....	86
Ilustración 65: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0º. ....	88
Ilustración 66: Principales energías renovables que se van a considerar .....	91
Ilustración 67: Energía solar fotovoltaica. ....	92
Ilustración 68: Energía térmica solar .....	92

Ilustración 69: Esquema de una instalación aislada de energía solar fotovoltaica. ....	93
Ilustración 70: Esquema de una instalación termosolar .....	94
Ilustración 71: células de circulación de los principales vientos.....	95
Ilustración 72: Ejemplos de distintos tipos de aerogeneradores.....	96
Ilustración 73: Esquema de una instalación eólica aislada .....	96
Ilustración 74: Histograma de velocidad de viento.....	97
Ilustración 75: Energía de las olas según su periodo, origen y fuerza restauradora [40].....	98
Ilustración 76: Ejemplos instalaciones undimotrices [40] .....	99
Ilustración 77: Funcionamiento de una central mareomotriz de simple efecto [40] .....	99
Ilustración 78: Corrientes superficiales frías (azul) y calientes (rojo) .....	100
Ilustración 79: Clasificación de centrales mareomotrices según su ciclo [40].....	101
Ilustración 80: Ejemplos de centrales mareomotérmicas.....	101
Ilustración 81: Transformaciones de la biomasa [41] .....	102
Ilustración 82: Emisiones de gases de efecto invernadero [41] .....	104
Ilustración 83: Situaciones de cálculo del balance eléctrico .....	106
Ilustración 84: Promedio de la irradiación obtenida por metro cuadrado .....	115
Ilustración 85: Promedio de la irradiación mensual .....	115
Ilustración 86: Dimensiones del panel solar seleccionado [46] .....	115
Ilustración 87: Distribución de los paneles fotovoltaicos .....	118
Ilustración 88: Prototipo de la instalación .....	122

## Índice de tablas

Tabla 1: Alternativas iniciales para la selección de la especie objetivo .....	15
Tabla 2: Posibles especies objetivo tras la primera selección .....	16
Tabla 3: Datos empleados en la evaluación de los criterios de mercado .....	17
Tabla 4: Puntuación de los criterios de mercado.....	18
Tabla 5: Puntuación de los criterios biológicos.....	19
Tabla 6: Puntuación de los criterios de producción.....	20
Tabla 7: Puntuación final por especies .....	21
Tabla 8: Peso según la semana del cultivo.....	42
Tabla 9: Cálculo del valor del atún cultivado según su peso final.....	43
Tabla 10: Volumen necesario en cada fase del ciclo de vida .....	44
Tabla 11: Resumen tanques y jaulas de la instalación acuícola.....	46
Tabla 12: Cálculo del volumen que puede perderse en la jaula ya que está desaprovechado .....	51
Tabla 13: Estimación del peso del reforzado de 1 jaula.....	52
Tabla 14: Estimación del peso de la red de 1 jaula .....	52
Tabla 15: Estimación del peso de los flotadores de 1 jaula. ....	53
Tabla 16: Elementos que aportan flotación a la jaula.....	53
Tabla 17: Peso de la estructura longitudinal de la pasarela recta .....	55
Tabla 18: Peso de la estructura transversal de la pasarela recta.....	56
Tabla 19: Peso de la cubierta de la pasarela recta.....	56
Tabla 20: Peso de la estructura del flotador. ....	56
Tabla 21: Peso de la estructura longitudinal de la pasarela en esquina.....	59
Tabla 22: Peso de la estructura transversal de la pasarela en esquina. ....	59
Tabla 23: Peso de la cubierta de la pasarela en esquina. ....	59
Tabla 24: Peso de los flotadores de la pasarela en esquina. ....	60
Tabla 25: Elementos que aportan flotación a la pasarela.....	60
Tabla 26: Peso de la estructura de la Nursery. ....	62
Tabla 27: Peso de la cubierta de la Nursery.....	63
Tabla 28: Peso de la estructura de la Hatchery.....	65
Tabla 29: Peso de la cubierta de la Hatchery.....	65
Tabla 30: Resumen pesos superestructura.....	69
Tabla 31: Estimación del peso de la estructura longitudinal .....	71
Tabla 32: Estimación de pesos de la estructura transversal .....	71
Tabla 33: Estimación del peso de la cubierta.....	71
Tabla 34: Estimación de peso de los flotadores.....	72
Tabla 35: Estimación de otros pesos.....	72
Tabla 36: Elementos que aportan flotación al muelle. ....	72
Tabla 37: Estimación de pesos de la estructura en las plataformas de peces de planta octogonal.....	75
Tabla 38: Estimación del peso de la cubierta en las plataformas de peces de planta octogonal .....	75
Tabla 39: Estimación del peso de la estructura en las plataformas de peces de planta hexagonal .....	76

Tabla 40: Estimación del peso en la cubierta en las plataformas de peces de planta hexagonal .....	76
Tabla 41: Estimación del peso de la estructura en las plataformas para el almacén de pienso. ....	79
Tabla 42: Estimación del peso de la cubierta en las plataformas para el almacén de pienso. ....	79
Tabla 43: Estimación del peso de la estructura del laboratorio. ....	81
Tabla 44: Estimación del peso de la cubierta del laboratorio. ....	81
Tabla 45: Estimación del peso de la estructura del veterinario. ....	84
Tabla 46: Estimación del peso de la cubierta del veterinario. ....	84
Tabla 47: Estimación del peso de la estructura longitudinal. ....	86
Tabla 48: Estimación del peso de la estructura transversal. ....	87
Tabla 49: Estimación del peso de la cubierta. ....	87
Tabla 50: Estimación del peso de los flotadores. ....	87
Tabla 51: Elementos que aportan flotación a la plataforma. ....	88
Tabla 52: Clasificación de los aerogeneradores según su potencia. ....	95
Tabla 53: Balance eléctrico .....	107
Tabla 54: Resultados de la estimación del consumo .....	114
Tabla 55: Valores de irradiancia mensual obtenidos .....	114
Tabla 56: Cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios según el tipo de módulo .....	116
Tabla 57: Cantidad de baterías necesarias por tipo de módulo .....	117
Tabla 58: Resumen final de pesos. ....	119

# RESUMEN/ABSTRACT

Este proyecto busca ayudar a reducir las emisiones de los gases contaminantes producto de la combustión de combustibles fósiles, así como la sobreexplotación de los océanos mediante un nuevo concepto de piscifactoría, basándose en un diseño modular y autosostenible, cuyo objeto será el cultivo de especies pelágicas. El diseño modular garantizará el funcionamiento parcial de la instalación, aunque se produzcan situaciones de avería o mantenimiento en algunos de los módulos que conforman la piscifactoría, pudiendo adaptarse de forma más eficiente a las necesidades del cliente. Los módulos serán capaces de poder intercambiarse entre sí; y al ser autosuficiente, no dependerá de recursos del exterior una vez esté funcionando con normalidad.

*The aim of this project is to reduce emissions of polluting gases from the combustion of fossil fuels, as well as the overexploitation of the oceans through a new concept of fish farming, based on a modular and self-sustaining design, which will be focused on the production of pelagic species. The modular design will guarantee the partial operation of the installation, even if some of the modules that integrate the fish farm have been damaged or are under maintenance, being able to adapt more efficiently to the customer's needs. The modules will be able to be interchanged among them, and being self-sufficient, it will not depend on resources from the outside once it is working as usual.*



# 1. OBJETIVOS

### 1.1.Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es proponer una solución autosostenible a la elevada demanda de productos del mar, con esta finalidad se pretende realizar el diseño de una granja marina autosuficiente, destinada al cultivo de especies pelágicas.

### 1.2.Objetivos secundarios

Con la finalidad de lograr el objetivo principal y realizar el diseño de la piscifactoría se buscará cumplir algunos requisitos que se indican a continuación.

- Cultivar una o varias especies con salida al mercado de forma que se pueda obtener algún beneficio de esta.
- Ubicarse en un entorno propicio para el crecimiento de las especies seleccionadas.
- Poder adaptarse a la cantidad de peces que se pretenda cultivar y a sus necesidades.
- Contar con los medios necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación según el tipo de cultivo que se trate.
- Ser autosostenible, es decir, que dependa de suministros y medios externos a la piscifactoría lo mínimo posible.



Ilustración 1: Objetivos del trabajo



## 2. INTRODUCCIÓN

La Asociación Empresarial de Acuicultura de España [1], define la acuicultura como la producción en el agua de animales y plantas mediante técnicas encaminadas a hacer más eficiente su rendimiento, y lo equipara a lo que en tierra sería la agricultura y la ganadería, por tanto, no lo considera un complemento de la pesca, si no su evolución natural y se distinguen principalmente porque en la acuicultura, al menos una parte del ciclo de vida el ser vivo tiene un propietario.

## 2.1.Los orígenes de la acuicultura

Los primeros indicios de la existencia de la acuicultura se remontan a hace unos 4000 años, cuando los chinos ya cultivaban peces de agua dulce, especialmente carpas, así pues, en 1400 a.C. aparece la primera ley para proteger a los piscicultores en el Índico-Pacífico.

Los primeros escritos sobre esta actividad en el mundo Mediterráneo y europeo aparecen con Aristóteles, y tratan sobre la calidad de las ostras, mostrando unas inquietudes similares al rigor empleado en la acuicultura moderna.

Durante la Edad Media, la acuicultura se considera más un arte que una ciencia y se le presta mucha menos atención que a la agricultura o a la ganadería, aunque se emplean los peces de agua dulce como alimento cuando el resto de los alimentos escasean. Así pues, el primer documento sobre técnicas de cultivo de moluscos data del 460 a.C. y existen evidencias que en Roma se pescaban peces pequeños con la finalidad de alimentar otros más grandes y se puede afirmar que en esta época, los cultivos más importantes en cuanto a peces eran: los mújoles, las morenas, los lucios, las lampreas, las lubinas y las doradas.



*Ilustración 2: viveros romanos en el Baños de la Reina.[2].*

En España, las raíces de la actividad acuícola con peces marinos se encuentran en los esteros de Cádiz, las albuferas de Valencia y Baleares y en las Salinas de Murcia y a partir de la alta edad media, la mayor parte de esta actividad se debe a órdenes monásticas, prueba de ello son los estanques de El Escorial, Yuste o San Martín de Castañeda.



*Ilustración 3: El escorial, Madrid.*

Aunque ya existían criaderos de truchas, como el construido a orillas del río Sar por orden del arzobispo de Santiago en 1129, no fue hasta el S. XV que se logró reproducir esta especie de forma artificial en Francia, desde donde se extendió hacia el resto del mundo gracias a las colonias inglesas.

El interés por la piscicultura disminuyó y no se reactivó hasta dos siglos más tarde, y ya en el S. XIX aparecen los primeros cultivos integrales, el clima político y cultural europeo de este siglo favoreció el desarrollo de esta actividad, así pues, en 1852 se construye en Francia una piscifactoría destinada a la repoblación de ríos así como las primeras piscinas industriales para el cultivo de especies marinas en el Mediterráneo francés, en 1862 se crea el laboratorio marino de Concameau para especies marinas y en 1877 aparece la primera piscifactoría privada en el Monasterio de piedra.

Sin embargo, no fue hasta los años cuarenta cuando empezó el verdadero desarrollo de la acuicultura marina con el establecimiento de la primera empresa industrial (Piscicultura del Atlántico, Huelva, 1943), ya en 1961, en Navarra se puede considerar el inicio de la acuicultura continental, pero no fue hasta los años 70 cuando se puede considerar la acuicultura como una industria consolidada.

## 2.2.La situación actual de la acuicultura

Durante los últimos años la actividad pesquera ha permanecido estable entorno a los 90 millones de toneladas, lo que parece ser el techo de esta actividad, que nunca ha sobrepasado los 95 millones de toneladas, como puede observarse en la **Ilustración 4**, esto puede deberse a problemas para continuar manteniendo la presencia de las flotas pesqueras en aguas no comunitarias y a la debilidad de los caladeros nacionales, lo cual ha hecho que las autoridades reduzcan las cuotas de captura.

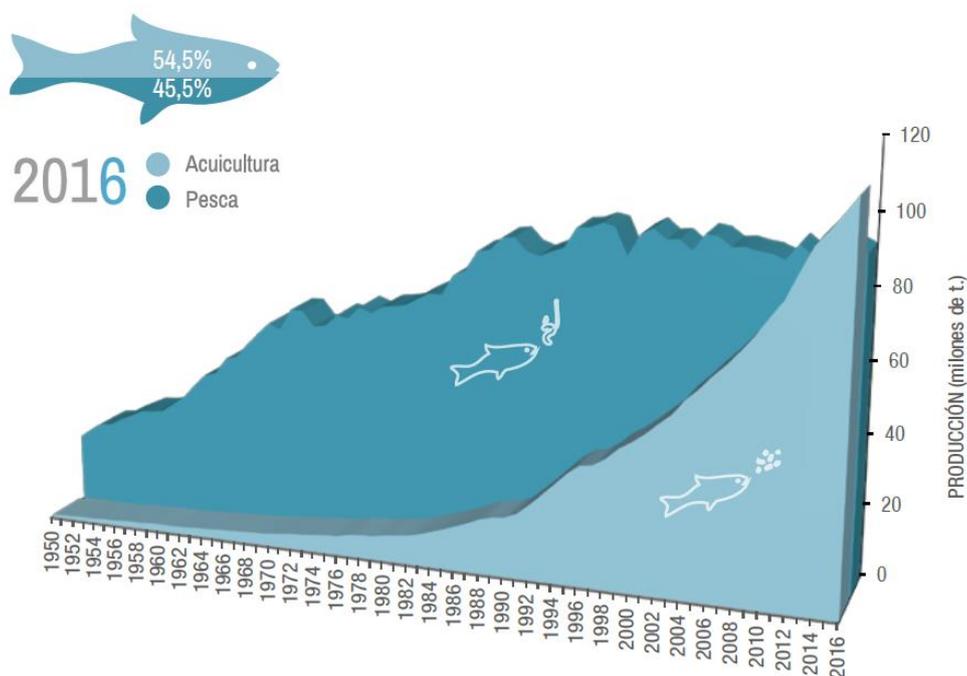


Ilustración 4: Evolución de la producción de acuicultura y pesca mundial en el periodo 1950-2016 [3].

Sin embargo, la demanda de productos acuáticos ha aumentado, **Ilustración 5**, fomentando así el crecimiento de la acuicultura, cuya producción de productos del mar, en toneladas, ya ha superado la proveniente de la actividad pesquera.

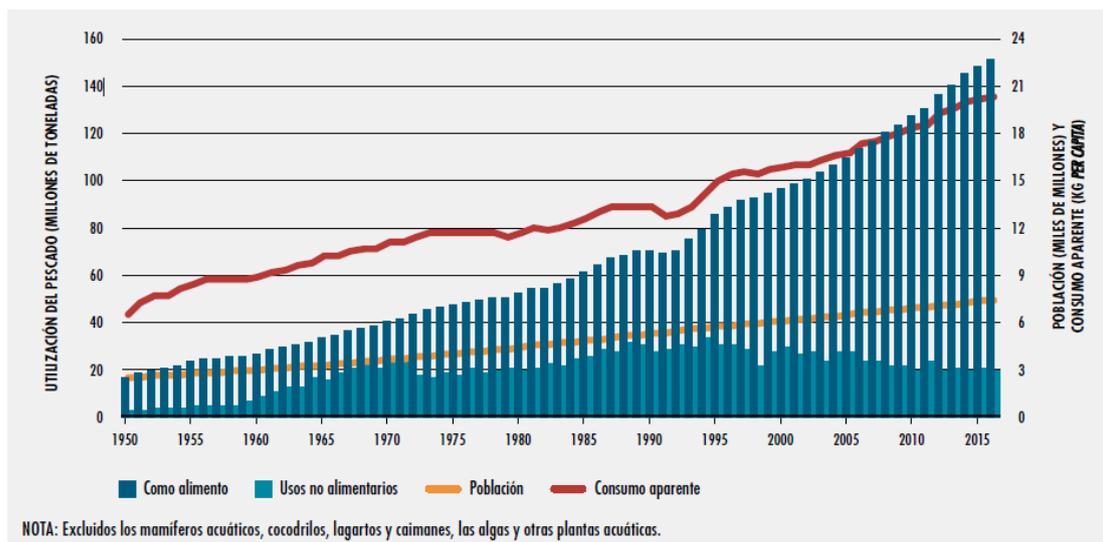


Ilustración 5: Utilización y consumo aparente de pescado a nivel mundial [3].

Como bien puede observarse en la *Ilustración 4*, la acuicultura ha aumentado considerablemente en los últimos años, llegando incluso a superar a la pesca de captura a partir de 2014, alcanzando una cifra de 110.2 millones de toneladas en 2016, lo cual corresponde a un 4.5% más que en 2015.

APROMAR hace énfasis en que, pese a tratarse de una actividad presente prácticamente en todos los países, únicamente los que realmente apuestan por ella logran avances reales, lo cual proporciona, según indica la FAO, un uso eficaz de los recursos naturales, seguridad alimentaria y desarrollo económico con un impacto ambiental limitado y controlable.

En el caso de España, que cuenta con más de 5000 km de costa, 75000 km de ríos y unas 2500 km<sup>2</sup> de aguas embalsadas además de unas características geográficas, de diversidad ecológica tanto marino como continental y un clima templado, lo cual resulta considerablemente beneficioso para el desempeño de la maricultura, siendo el cuarto productor de productos acuícolas a nivel europeo (*Ilustración 6*).

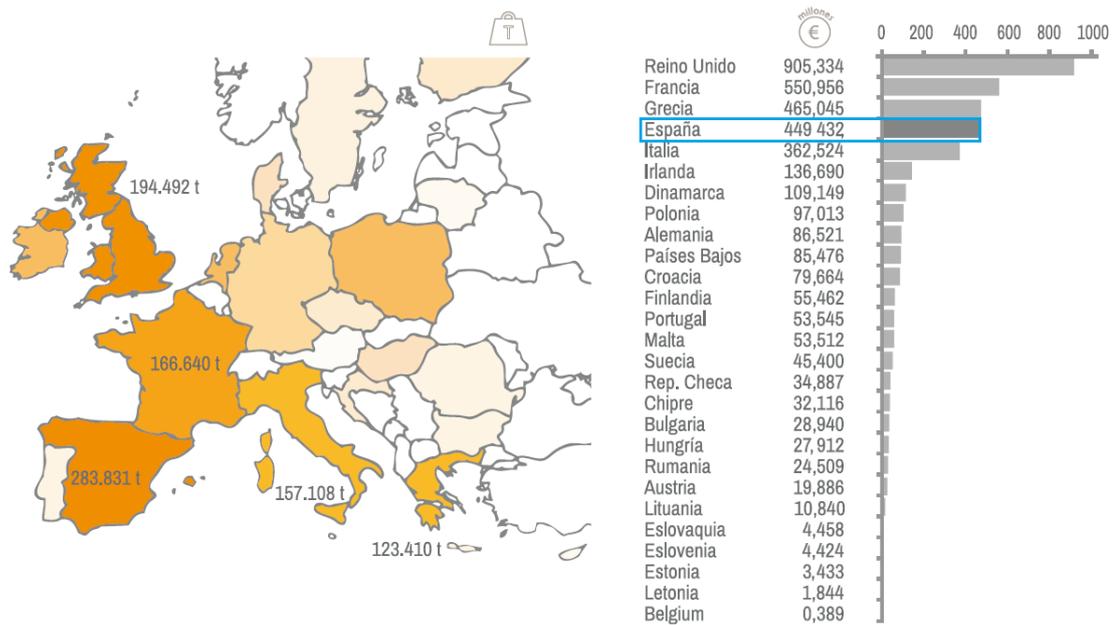


Ilustración 6: Distribución de la producción de acuicultura en los Estados miembros de la Unión Europea por su volumen (toneladas) y valor (millones de euros) en 2016 [1].

Si se estudia la producción acuícola en función de las especies que se cultivan se observa que la mayor parte de los cultivos se producen en aguas marinas, y que lo que más se cultiva son peces con un 49.1% de la producción acuícola de 2016, seguido de los vegetales y los moluscos. Dentro de estos grandes grupos resulta destacable la gran diversidad de especies que existe gracias a la capacidad de estos organismos para adaptarse a los sistemas de producción controlada, en cifras, se está hablando de unas 305 especies diferentes de plantas y animales, lo que supone más de 100 toneladas anuales de productos acuícolas.

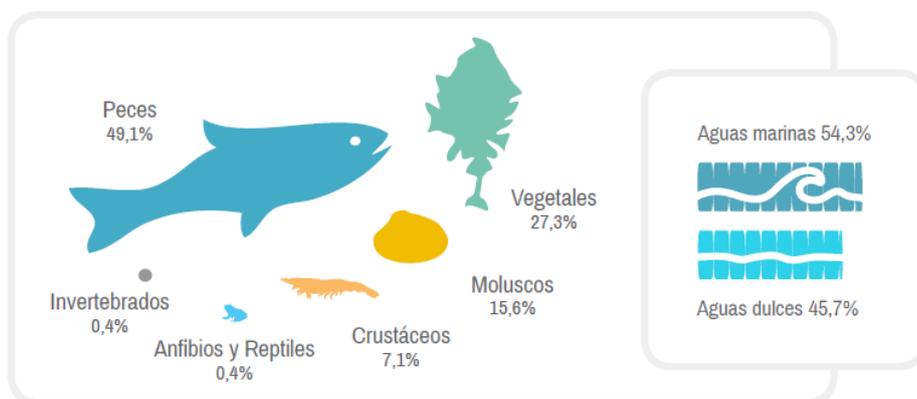


Ilustración 7: Distribución porcentual de la producción de acuicultura mundial [t] en 2016 por grupos y por entornos de producción [1].

### 2.3.Las jaulas marinas

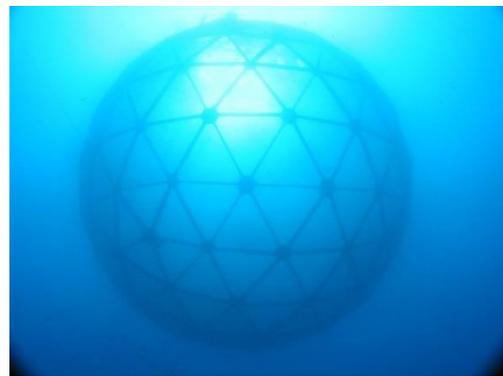
Las jaulas flotantes, son recintos acuáticos delimitados por redes que permiten mantener las especies objetivo de la actividad piscícola en su interior.

Este tipo de instalación acuícola suele situarse en aguas abrigadas y próximas a la costa, ya que esto facilita su acceso desde tierra, sin embargo, cada vez más se están desarrollando proyectos para situarlas en aguas abiertas dada la dificultad para conseguir permisos para instalarlas cerca de la costa. Esto conlleva un cambio en las condiciones ambientales que rodearán la piscifactoría, aumentando los requisitos de diseño, y normalmente, una mayor distancia a la costa, lo cual implica que costará más tiempo y energía llegar hasta ella para realizar las tareas pertinentes. En base a las nuevas condiciones, en los últimos años han surgido algunos diseños innovadores, algunos de los cuales se muestran a continuación.

El primer diseño para resaltar [4], Aquapod, es de Ocean Farm Technologies y fue incorporado a las operaciones en 2011, se trata de un diseño con forma esférica está construido con paneles de red triangulares individuales unidos entre sí.

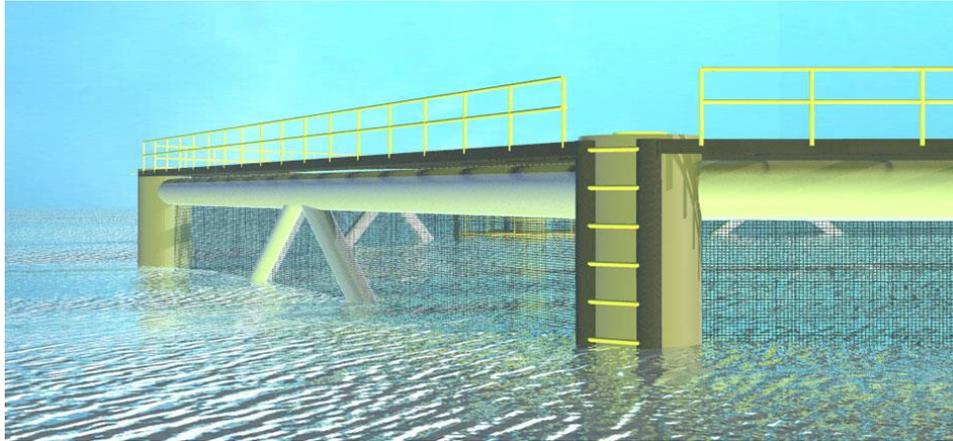


*Ilustración 8: Aquapod en superficie*



*Ilustración 9: Aquapod sumergido*

Otras empresas como AquaSol y Principle Power trabajaron también en el diseño, prueba y desarrollo de otro sistema sumergible de acuicultura en mar abierto, diseñado para criar el mayor número posible de peces por jaula [5].



*Ilustración 10: Jaula offshore sumergible de AquaSol y Principle Power*

La empresa noruega Ocean Farming, también ha desarrollado un concepto de granja oceánica con una tecnología similar a la empleada en plataformas petrolíferas flotantes. Esta granja cuenta con una estructura tubular de acero con una rejilla que impedirá el escape de los peces y con un fondeo tipo catenaria. La instalación está completamente automatizada, de forma que pueda operarse normalmente con un equipo de dos a cuatro personas [6].



*Ilustración 11: Propuesta de piscifactoría offshore de Ocean Farming*

Como último ejemplo de este tipo de iniciativas está el diseño de NSK Ship Design, con sede en Noruega, este nuevo concepto para cultivar salmones consiste en un barco de 430 m de eslora y 54 m de manga en cuyo interior se encuentran 6 jaulas de 50x50 y que tendrán una profundidad de hasta 60 m [7].



*Ilustración 12: Diseño de NSK Ship Design*

Iniciativas en esta línea, muy útiles para el cultivo de especies migratorias, ya que permiten buscar las mejores condiciones para la especie, han surgido también en otros países como Chile [8].



*Ilustración 13: Iniciativa Chilena*

Por otra parte cabe mencionar que, de diversas entrevistas realizadas a personas relacionadas con la actividad acuícola en España, se ha observado que entre los principales problemas de las jaulas marinas se encuentra su tendencia a ensuciarse por incrustaciones de organismos vivos de la flora y fauna local, la necesidad de revisar y reparar habitualmente las redes ya que debido a las corrientes y mordeduras de algunos depredadores lo que puede llevar a pérdida del producto o incluso la propia especie que se está cultivando y la pérdida de redes debido a fallos en el fondeo. Además, en el caso de rotura de red, es muy difícil conocer cuántos peces han escapado hasta que van a extraerse de la jaula ya que esto se tiene que hacer a ojo, es decir, los buzos expertos saben por el volumen que ven calcular aproximadamente si hay media jaula o tres cuartos, pero no se puede precisar el cálculo.

No se puede olvidar que en cada jaula hay millones invertidos, y que por lo tanto perder una o parte de estas jaulas conlleva una pérdida económica muy importante para la empresa, además de los impactos ambientales que esto conlleva por lo cual resulta esencial diseñar correctamente el fondeo y evitar los escapes tanto como sea posible.

## 2.4.Importancia de ser autosostenible

La autosostenibilidad, consiste en que la piscifactoría sea lo más independiente posible, es decir, que no dependa de recursos terrestres para obtener energía ni alimento para las especies que se están cultivando, aprovechando así lo máximo posible los recursos a su alcance.

Esto afecta al proyecto tanto a nivel energético como a nivel de especies. En el primer caso se busca una evolución hacia las energías renovables, que proporcionarán una independencia de la variabilidad del precio del combustible tradicional y no se verá afectado por la normativa de emisión de gases contaminantes, que cada vez es más restrictiva. En el segundo caso, se busca crear una cadena trófica, lo cual no solo reducirá los residuos vertidos al ecosistema, si no que mejorará la calidad del agua, la sanidad de los animales y permitirá un mayor aprovechamiento de los recursos.

Esta cualidad resulta especialmente importante en el caso de piscifactorías offshore, ya que al estar alejadas de la costa será más complicado y caro abastecerla de los recursos necesarios, sobre todo si hay que hacerlo con mucha frecuencia.

Además, en un mundo donde cada vez, una mayor parte de la sociedad es más consciente y, por tanto, tiene más en cuenta a la hora de seleccionar sus productos, como se han obtenido, el impacto que ocasionan en el medio ambiente y como se ha tratado a los seres vivos que se estén criando, es una forma de agregar valor y elevar el grado de confianza en los productos obtenidos de piscifactorías sostenibles reduciendo considerablemente los residuos generados.

Una iniciativa de piscifactoría autosostenible es el diseño de Ocean Farm Technologies, que combina diferentes tecnologías existentes en el mercado de forma que resulta una plataforma flotante replicable y modular, que puede suministrar cultivos frescos y pescado [9].



Ilustración 14: Esquema Smart Floating Farm



Ilustración 15: Nivel superior Smart Floating Farm



Ilustración 16: Nivel intermedio Smart Floating Farm



Ilustración 17: Nivel inferior Smart Floating Farm



## 3. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES

Con el objetivo de seleccionar la especie objetivo se parte de las especies más consumidas en España, que son las que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Alternativas iniciales para la selección de la especie objetivo

<b>ESPECIE OBJETIVO</b>	
<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Anchoa	Engraulis encrasicolus
Anguila	Anguilla anguilla
Atún rojo o común	Thunnus thynnus
Bacalao	Gadus morhua
Besugo	Pagellus bogaraveo
Bonito del norte o Atún blanco	Thunnus alalunga
Boquerón	Engraulis encrasicolus
Caballa	Scomber Scombrus
Corvina	Argyrosomus regius
Dorada	Sparus aurata
Lenguado	Solea Vulgaris
Lubina	Dicentrarchus labrax
Merluza	Merluccius merluccius
Mero	Epinephelus marginatus
Rape	Lophius piscatorius
Rodaballo	Scophtalmus maximus
Salmon	Salmo salar
Sardina	Sardina pilchardus

De la lista anterior, se han eliminado aquellas especies que necesitan agua dulce, pues la piscifactoría a diseñar se ubicará en aguas abiertas, así como aquellas que no son pelágicas dado que no tienen cabida en este proyecto, quedando únicamente aquellas que se muestran en la Tabla 2

Tabla 2: Posibles especies objetivo tras la primera selección

ESPECIE OBJETIVO	
Nombre común	Nombre científico
Anchoa	Engraulis encrasicolus
Anguila	Anguilla anguilla
Atún rojo o común / Bonito o atún blanco	Thunnus thynnus / Thunnus alalunga
Bacalao	Gadus morhua
Besugo	Pagellus bogaraveo
Caballa	Scomber scombrus
Corvina	Argyrosomus regius
Dorada	Sparus aurata
Lubina	Dicentrarchus labrax
Merluza	Merluccius merluccius
Mero	Epinephelus marginatus
Salmon	Salmo salar
Sardina/Boquerón	Sardina pilchardus / Engraulis encrasicolus

Para seleccionar la especie hay que tener en cuenta los criterios de mercado, biológicos y de producción. A cada uno de estos criterios se les ha dado un peso y se componen de diversos subcriterios, que se puntuarán de 0 a 3 de forma que se obtenga una ponderación que indique los cultivos más interesantes.

### 3.1. Criterios de mercado

Los criterios de mercado valoran la aceptación de las distintas especies por el consumidor, por lo que afectan factores como el gusto, la apariencia los hábitos alimentarios o las tradiciones.

Como los factores mencionados anteriormente son principalmente subjetivos, se han orientado los criterios de mercado hacia el rendimiento en la producción, así como en la economía de distribución y venta. Los aspectos que se han considerado son los siguientes:

- **Consumo:** compara las distintas especies en función del peso consumido de cada una. Se ha valorado de cero a tres, indicando el valor 0 la ausencia de datos, 1 un consumo entre 0 y 45 T, 2 entre 45 y 90 T y 3 un consumo superior a 90 T [10].

- **Perdurabilidad:** Valora la retención de entereza del gusto y la textura durante un período razonable de tiempo. De nuevo se ha valorado de a 3, siendo 0 al igual que en el caso anterior la ausencia de datos, 1 cuando el consumo es mayoritariamente fresco, 2 en el caso de consumo congelado y 3 el consumo en conservas. Cuando para una misma especie existen datos de diversas formas de consumo se ha calculado el valor proporcional a las cantidades consumidas de cada tipo [10].
- **Porcentaje aprovechable:** Durante la limpieza y elaboración del producto final se descartan diversas partes del pescado, disminuyendo el peso de dicho producto respecto al peso inicial del pescado. Para valorar este parámetro, se ha considerado que cuanto más porcentaje de pescado se pueda aprovechar menor será el valor del mercado (€/kg), por tanto se ha asignado un 3 a aquellas especies con un valor superior a 7 €/kg, un 2 a aquellas que se encuentran en una horquilla entre 3 y 7 €/kg, un 1 a aquellas con un valor inferior a 3€/kg y un 0 a aquellas de las cuales no se tienen datos [10].

Tabla 3: Datos empleados en la evaluación de los criterios de mercado

Especie	Consumo en el hogar			
	Nombre común	Volumen [miles kg]	Valor [miles €]	Valor [€/kg]
Anchoa		4.406	86.401	19.61
Anguila				0.00
Atún rojo o común / Bonito (o atún blanco)		121.085	207.183	9.70
Bacalao		48.203	414.095	8.59
Besugo				0.00
Caballa atlántica		21.884	60.680	4.07
Corvina				0.00
Dorada		25.904	206.233	7.96
Lubina		23.198	201.982	8.71
Merluza		134.946	1.017.795	7.54
Mero				0.00
Sardina/Boquerón		129.705	871.263	7.86

Tabla 4: Puntuación de los criterios de mercado

<b>ESPECIE OBJETIVO</b>		<b>CRITERIOS DE MERCADO (40%)</b>		
<b>Nombre común</b>	<b>Consumo</b>	<b>Perdurabilidad</b>	<b>Porcentaje aprovechable</b>	<b>Puntuación</b>
<b>Anchoa</b>	1	3	3	<b>2.33</b>
<b>Anguila</b>	0	0	0	<b>0.00</b>
<b>Atún rojo o común / Bonito (o atún blanco)</b>	3	2.6	1	<b>2.20</b>
<b>Bacalao</b>	2	1.4	3	<b>2.13</b>
<b>Besugo</b>	0	0	0	<b>0.00</b>
<b>Caballa atlántica</b>	1	1	1	<b>1.00</b>
<b>Corvina</b>	0	0	0	<b>0.00</b>
<b>Dorada</b>	1	1.5	3	<b>1.83</b>
<b>Lubina</b>	1	1.5	3	<b>1.83</b>
<b>Merluza</b>	3	1.6	3	<b>2.53</b>
<b>Mero</b>	0	0	0	<b>0.00</b>
<b>Sardina/Boquerón</b>	3	1.4	2	<b>2.13</b>

### 3.2. Criterios biológicos

Estos criterios están basados en un conocimiento básico sobre estímulos y respuestas ante las influencias ambientales como el estrés, y los mecanismos fisiológicos que controlan algunos procesos, así como conocer las necesidades nutritivas y los procesos reproductores que aseguran la continuidad de la especie.

Para evaluar los criterios biológicos, se tendrá en cuenta el conocimiento existente respecto a las técnicas de desove, cultivo de larvas y formas juveniles, y su comportamiento en cautividad, concretamente la territorialidad y la tendencia al canibalismo de cada especie.

Aunque en la naturaleza la fecundidad y la fertilidad son elevadas para garantizar la supervivencia, en cautividad esta actividad puede verse muy mermada. Para evaluar este primer criterio, se ha buscado información relativa a que especies tienen estas fases mejor asentadas, así pues, se ha valorado con 3 puntos aquellos que ya hace tiempo que se reproducen en cautividad, con 2 puntos aquellos que existen casos de éxito, aunque no es un conocimiento muy asentado o todavía no resulta rentable, y con 1 punto aquellos que no se han logrado reproducir en cautividad.

La territorialidad y el canibalismo se ven afectados por la densidad de cultivo, elevando el precio por kilo de producto comercializable, se ha buscado una lista de las especies con más tendencia al canibalismo y se ha puntuado con 1 punto, al resto de especies se les ha valorado con 3 puntos. Además, la territorialidad y la falta de tolerancia a la masificación pueden ser causa de estrés ambiental y estar ligada a la predisposición de adquirir enfermedades.

Tabla 5: Puntuación de los criterios biológicos

<b>ESPECIE OBJETIVO</b>		<b>Criterios biológicos (20%)</b>		
<b>Nombre común</b>	<b>Desove, lavas y juveniles</b>	<b>Canibalismo</b>	<b>Puntuación</b>	
<b>Anchoa</b>	1.20	3	1.40	
<b>Anguila</b>	1.50	1	0.83	
<b>Atún rojo o común/ Bonito (o atún blanco)</b>	2.30	3	1.77	
<b>Bacalao</b>	2.60	1	1.20	
<b>Besugo</b>	2.80	3	1.93	
<b>Caballa atlántica</b>	1.00	1	0.67	
<b>Corvina</b>	1.50	3	1.50	
<b>Dorada</b>	3.00	1	1.33	
<b>Lubina</b>	3.00	1	1.33	
<b>Merluza</b>	2.00	1	1.00	
<b>Mero</b>	2.90	3	1.97	
<b>Sardina/Boquerón</b>	0.00	3	1.00	

### 3.3. Criterios de producción

Estos criterios se van a evaluar en función la edad de recogida pues, cuanto menor sea esta edad antes se podrá recuperar la inversión inicial y habrá que alimentar a los peces durante menos tiempo, un factor importantísimo ya que la alimentación es prácticamente el 50% de los costes de explotación de la instalación. Así pues, resulta considerablemente más atractivo los cultivos cortos o de crecimiento rápido, pues además de recuperar antes la inversión inicial, cuentan con una mayor versatilidad y capacidad de adaptación al mercado y a la demanda, a pesar de que esta versatilidad sigue siendo baja.

Para la evaluación de la edad de recogida, se ha buscado la talla mínima y una estimación de la velocidad de crecimiento para cada especie y se ha valorado de 0 a 3 del siguiente modo:

- 3 para aquellas especies que tardan hasta un año en alcanzar el tamaño de recogida
- 2 para aquellas especies que tardan 3 años en alcanzar el tamaño mínimo de recogida
- 1 para aquellas especies que tardan 5 años en alcanzar el tamaño mínimo de recogida.

Tabla 6: Puntuación de los criterios de producción

<b>ESPECIE OBJETIVO</b>	<b>Talla mínima [cm]</b>	<b>Años para alcanzar talla mínima</b>	<b>Criterios de producción (40%)</b>
<b>Nombre común</b>			<b>Edad de recogida</b>
<b>Anchoa</b>	12.00	1.50	2.75
<b>Anguila</b>	9.00	0.50	3.00
<b>Atún rojo o común/ Bonito (o atún blanco)</b>	115.00	3 ó 4	2.00
<b>Bacalao</b>	35.00	<2 en crecimiento rápido y 3 en lento	2.00
<b>Besugo</b>	33.00	3.46	1.50
<b>Caballa atlántica</b>	18.00	-	0.00
<b>Corvina</b>	15.00	1.00	3.00
<b>Dorada</b>	20.00	2.00	2.60
<b>Lubina</b>	25.00	4	1.50
<b>Merluza</b>	20.00	0.00	0.00
<b>Mero</b>	45.00	4.50	1.00
<b>Sardina/Boquerón</b>	11.00	1.00	3.00

### 3.4. Selección

A cada uno de los criterios se le ha asignado un peso (del 40% para los criterios de mercado y 30% para los de producción y biológicos) con el cual se ha calculado la puntuación definitiva para cada especie.

Tabla 7: Puntuación final por especies

ESPECIE OBJETIVO	PUNTUACIÓN			Puntuación ponderada sobre 10
	Nombre común	Criterios de Mercado (40%)	Criterios de Biológicos (20%)	
Anchoa	1.67	1.40	1.40	<b>6.62</b>
Anguila	0.00	0.83	0.83	<b>3.83</b>
Atún rojo o común/ Bonito (o atún blanco)	2.87	1.77	1.77	<b>6.70</b>
Bacalao	1.47	1.20	1.20	<b>5.16</b>
Besugo	0.00	1.93	1.93	<b>3.93</b>
Caballa atlántica	1.67	0.67	0.67	<b>2.44</b>
Corvina	0.00	1.50	1.50	<b>4.50</b>
Dorada	1.17	1.33	1.33	<b>5.89</b>
Lubina	1.17	1.33	1.33	<b>4.89</b>
Merluza	1.87	1.00	1.00	<b>6.49</b>
Mero	0.00	1.97	1.97	<b>3.97</b>
Sardina/Boquerón	2.13	1.00	1.00	<b>6.40</b>

Se observa que la puntuación más elevada es la del atún rojo, que se ha estudiado junto al bonito o atún blanco. Entre los que se ha seleccionado el atún rojo ya que es del cual se dispone de más información.

### 3.5. Especie objetivo

El atún rojo (*Thunnus thynnus*) es un pez pelágico, marino oceánico, migratorio del orden Pleuroneciformes y de la familia Scombridae.

Tiene un cuerpo robusto, de gran tamaño ya que puede alcanzar 3 m de longitud y los 600 kg de peso y hasta unos 90 km/h de velocidad. Además, puede elevar su temperatura corporal hasta 20°C por encima de la temperatura ambiente, lo cual le permite mantener un metabolismo elevado y constante, así como habitar zonas del océano con muy amplio rango de temperaturas. Su carne rojiza y compacta es la que le proporciona su nombre en Castellano.



Ilustración 18: Atún rojo (*Thunnus Thynnus*). [11].

Esta especie se distribuye en un amplio rango de profundidades, que va desde los 0 hasta los 1000 m, en las imágenes que se muestran a continuación puede observarse el hábitat del cual proceden, así como las zonas que cumplen requisitos para su supervivencia. Principalmente se reconocen dos grandes grupos en función de sus áreas de puesta, el occidental, que migra al golfo de Méjico para la puesta y el oriental, que lo hace al Mediterráneo. Cabe destacar que a pesar de ser especies oceánicas estacionalmente se acercan a la costa. [12].

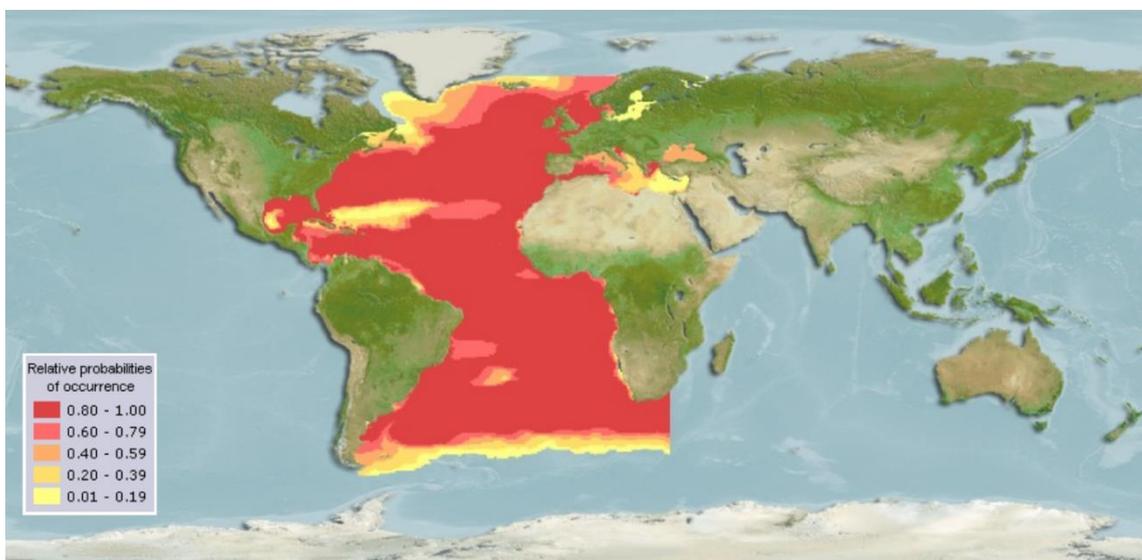


Ilustración 19: Zonas de procedencia.[11]

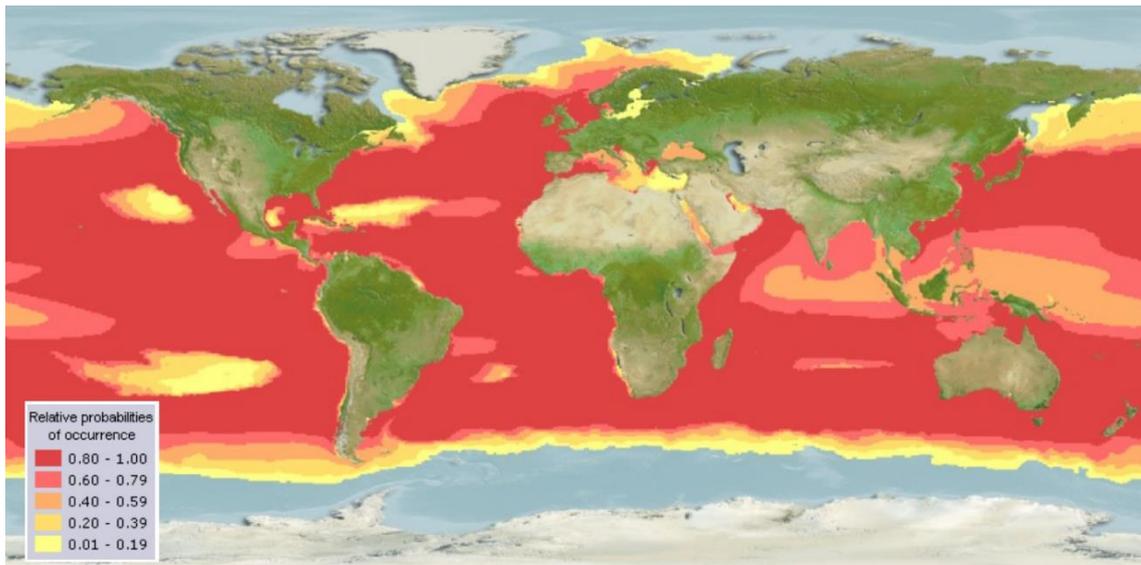


Ilustración 20: Zonas que puede habitar. [11]

Aunque el cultivo y engorde de esta especie se remonta a los fenicios, actualmente, se limita al mantenimiento y engorde en jaulas flotantes, donde son alimentados a saciedad con sardinas, alachas, jureles, caballas, estorninos y algunas especies de cefalópodos hasta haber aumentado sustancialmente la cantidad de grasa, momento en el cual son sacrificados de la forma más rápida posible para evitar la formación de lactato en el músculo, que hace que disminuya el precio de venta. La alimentación de estos peces ejerce una presión sobre las poblaciones de pequeños peces pelágicos, que se están viendo seriamente afectadas.

Esta forma de cultivo de atunes ha producido que el stock de estos haya reducido hasta encontrarse en una situación preocupante de sobrepesca, que es reforzada por la llegada a las pesquerías de atunes que todavía no se han reproducido debido a su mayor valor de mercado.

Entre otras problemáticas medioambientales está el riesgo de importación de enfermedades, no solo de los atunes, sino también por parte de las especies que sirven como alimento, y la acumulación de desechos en el fondo marino, con la consecuente degradación de este.

A largo plazo la sostenibilidad de este tipo de cultivo está asociada a los avances en la domesticación de la especie, por lo cual ya se están llevando a cabo investigaciones para cerrar su ciclo de vida en cautividad.

Las exportaciones suelen realizarse fresco en avión, ultracongelado en barco, congelado como materia prima para el enlatado y la reexportación o mediante nuevas técnicas de envasado en conserva, como las bolsas herméticas esterilizadas.

A modo resumen, se muestran a continuación los principales aspectos a favor y en contra de este tipo de cultivo.

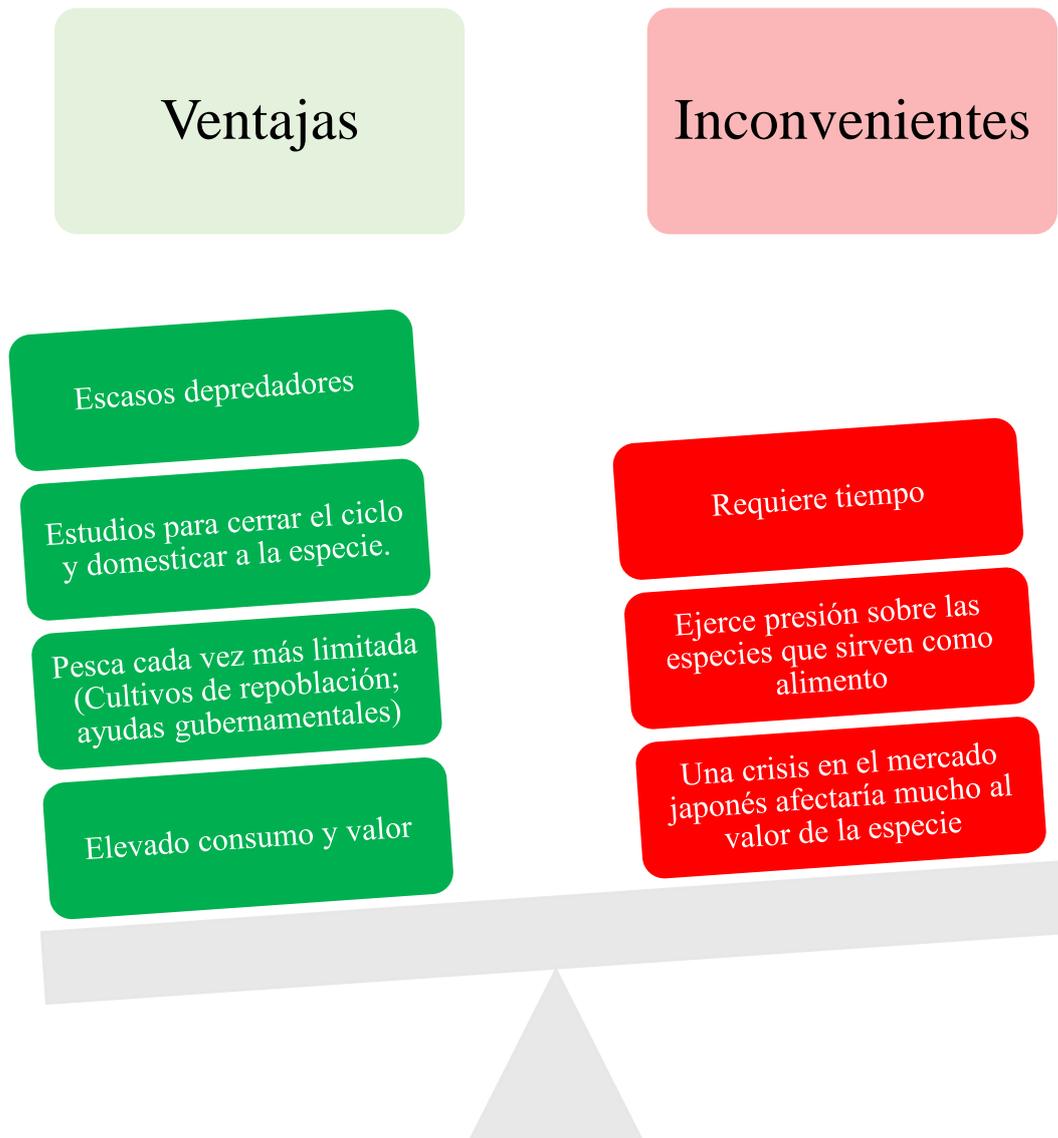
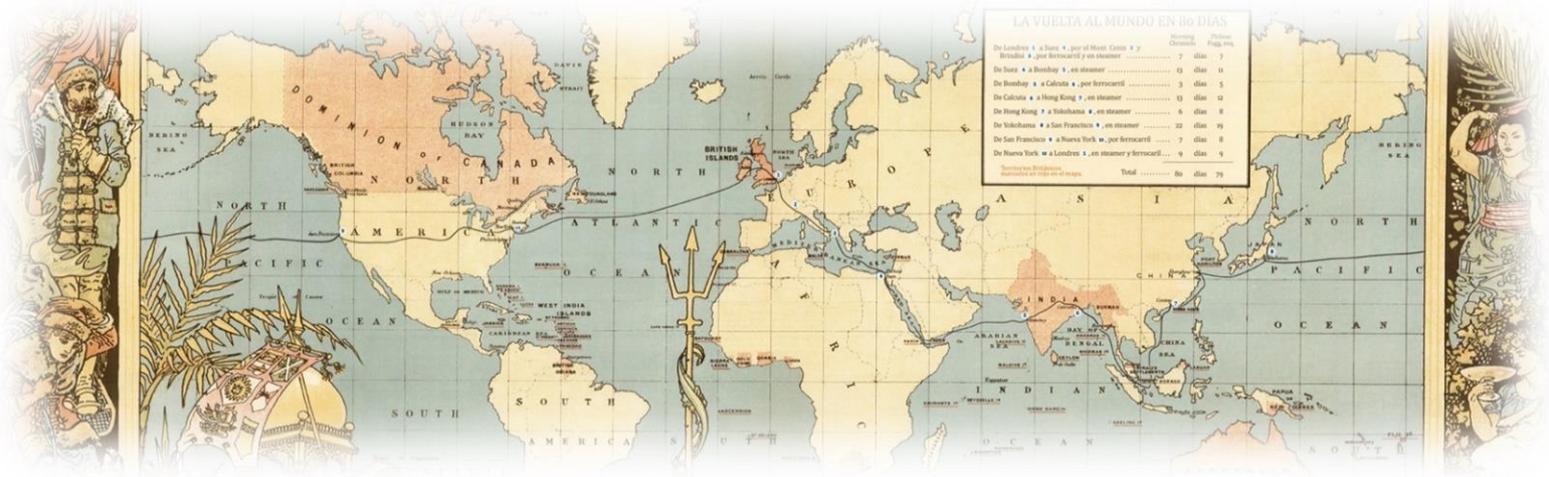


Ilustración 21: Ventajas e inconvenientes del cultivo del atún rojo



## 4. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Los requisitos de la piscifactoría dependerán, en parte de las características del emplazamiento, el cual a su vez dependerá de los requerimientos de la especie y de la legislación, y de la interacción que esta actividad pueda tener con otras como el tráfico marítimo o el turismo.

#### 4.1. Necesidades de la especie

Se considera que cualquiera de las áreas donde la especie es autóctona, cumplirán las condiciones necesarias para la supervivencia de dicha especie. Así pues, según se muestra en la *Ilustración 19*, las aguas españolas son buenas a tal efecto.

#### 4.2. Áreas protegidas

La ley 41/2010 del 29 de diciembre, de protección del medio marino, delimita las aguas españolas en 5 regiones, sobre las cuales se desarrollan diferentes estrategias marinas. Así pues, se distingue [13]

- Demarcación marina Noratlántica.
- Demarcación marina Sur atlántica.
- Demarcación marina del Estrecho y Alborán.
- Demarcación marina Levantino- Balear.
- Demarcación marina Canaria.

En este caso se ha seleccionado la demarcación levantino- balear, ya que, en Mazarrón, Murcia, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) está llevando a cabo investigaciones sobre la domesticación de esta especie, además, también en esta región el Grupo Ricardo Fuentes e Hijos, ya cuenta con jaulas de engorde para la exportación de atún rojo al mercado japonés y por lo tanto ya hay un *know how* sobre esta actividad.

En la *Ilustración 22* se muestran las áreas protegidas de la demarcación marina levantino – balear.

Diseño de una instalación acuícola autosuficiente para el cultivo de especies pelágicas

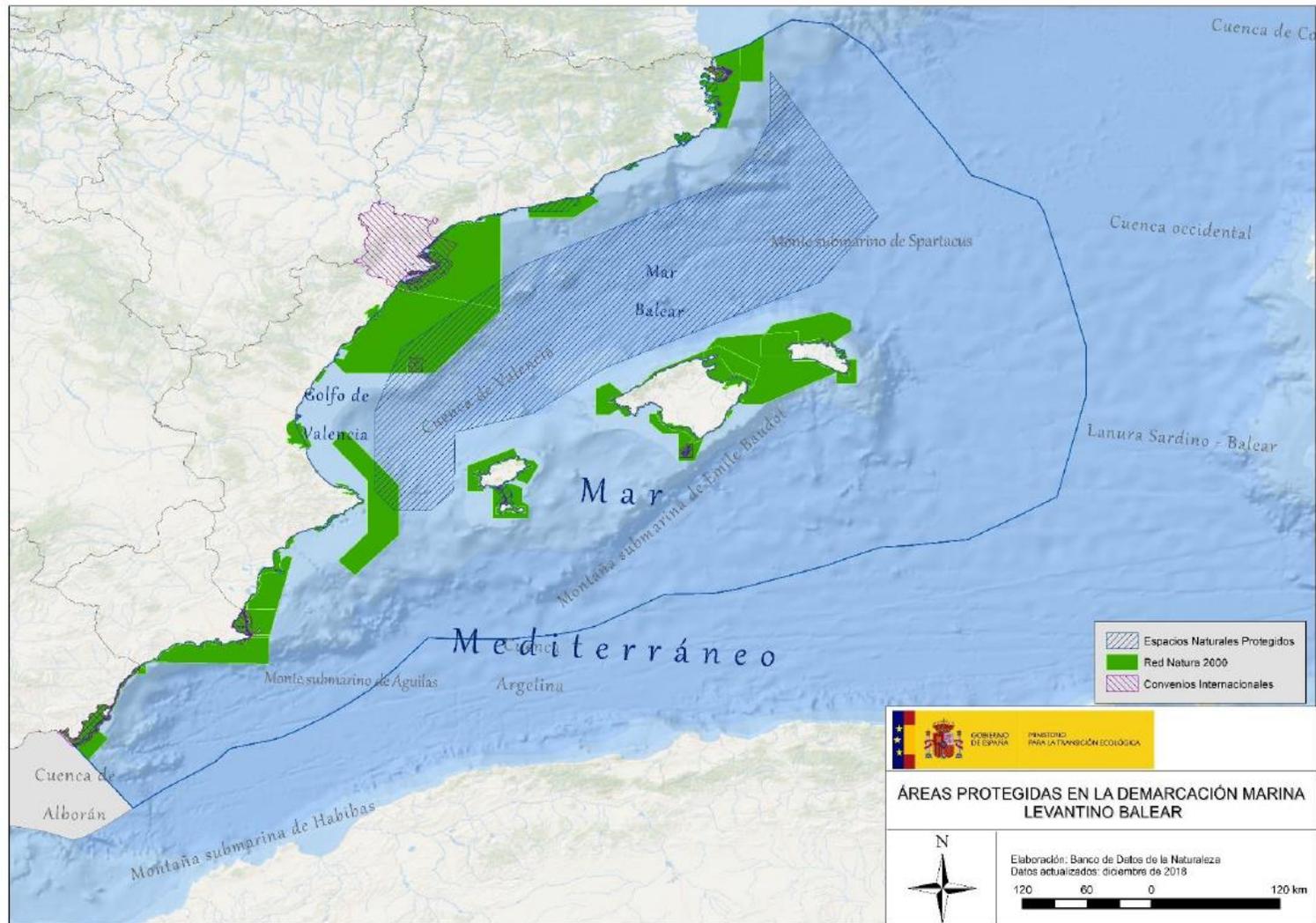


Ilustración 22: Demarcación marina levantino balear

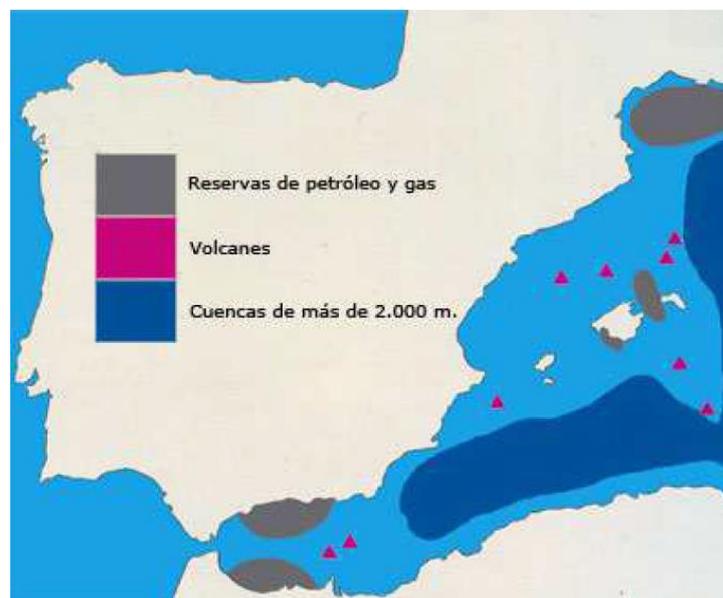
### 4.3. Interacción con otros sectores

Hay que tener en cuenta que, la acuicultura no es la única actividad que se da en el ámbito marítimo, por lo que se van a tener en cuenta otras actividades que pueden verse afectadas.

En primer lugar, habitualmente las piscifactorías se encuentran muy próximas a la costa, lo cual es perjudicial para el turismo de costa. En este caso, se tratará de alejarse tanto como sea posible de la costa. Además, esta mayor distancia de la costa implica, en general, una mayor profundidad, lo cual es provechoso desde el punto de vista de la conservación de los fondos marinos, sin embargo, aumentará la complejidad y el coste del fondeo.

Por otro lado, se procurará no situar la piscifactoría en las principales rutas de navegación ya que esto aumentaría el riesgo de colisiones y, por tanto, de escapes de peces, que es una de las mayores preocupaciones de los acuicultores, pues en los escapes se pierde mucho dinero y además no se puede cuantificar con precisión.

La extracción de petróleo y gas no representa un gran problema en esta área, ya que como se observa en la *Ilustración 23*, son zonas muy localizadas y de pequeña extensión.



*Ilustración 23: Reservas de petróleo y gas. [14]*

#### 4.4. Profundidad y distancia al puerto más cercano

Teniendo en cuenta los apartados anteriores, se han propuesto dos localizaciones, a 13.4 nmi y 15 nmi, frente a Torrevieja y San Pedro del Pinatar, respectivamente. Ambas con una profundidad de 100 m.

Se selecciona el emplazamiento frente a Torrevieja ya que en San Pedro del Pinatar la zona que interesa queda muy próxima a una zona protegida y además ya hay piscifactorías de engorde de atunes, como se ha comentado anteriormente.



Ilustración 24: Emplazamiento seleccionado. [15]

#### 4.5. Características de la localización

A continuación, se va a van a repasar una serie de factores que sirven como indicadores de fiabilidad y calidad de las jaulas de acuicultura en mar abierto.

En primer lugar, al estar situada en un mar la jaula estará parcialmente protegida, pero no del todo al estar algo retirada de la costa.

El oleaje, se ha estimado a partir del histograma que se muestra en la *Ilustración 25*.

LUGAR/LOCATION : SIMAR 2082096  
 AÑOS/YEARS : 1958-2019 PERIODO/PERIOD : Global  
 MUESTREO/SAMPLING : 1 Hor. EFICACIA/EFFIC. : 99.52 %

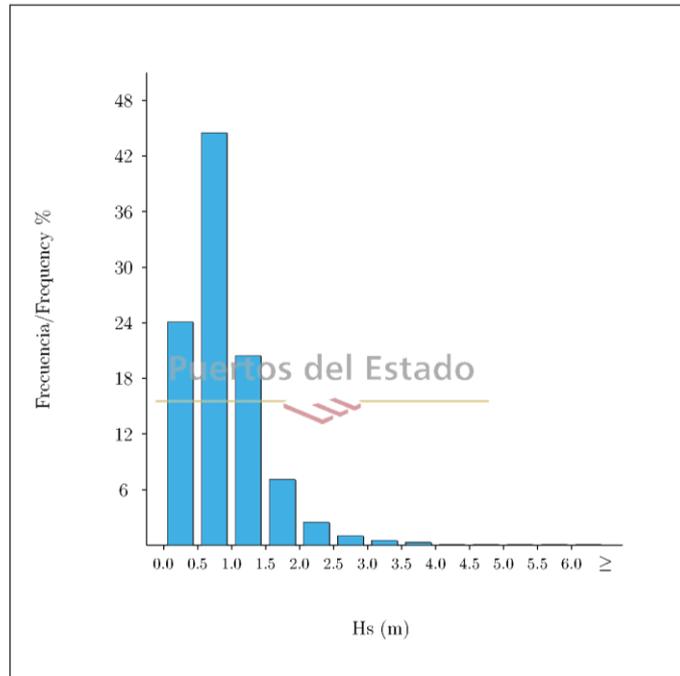


Ilustración 25: Histograma de altura significativa. [16]

A estos datos se les ha aplicado una distribución de Weibull de dos parámetros, que representa el logaritmo neperiano de la altura significativa, en el eje de abscisas, y  $\ln(-\ln(1 - P(Hs \text{ ó } T)))$ . A continuación, se representará en una gráfica, y se añadirá una línea de tendencia obtenida por mínimos cuadrados, con lo que se obtienen los parámetros de ajuste de la distribución.

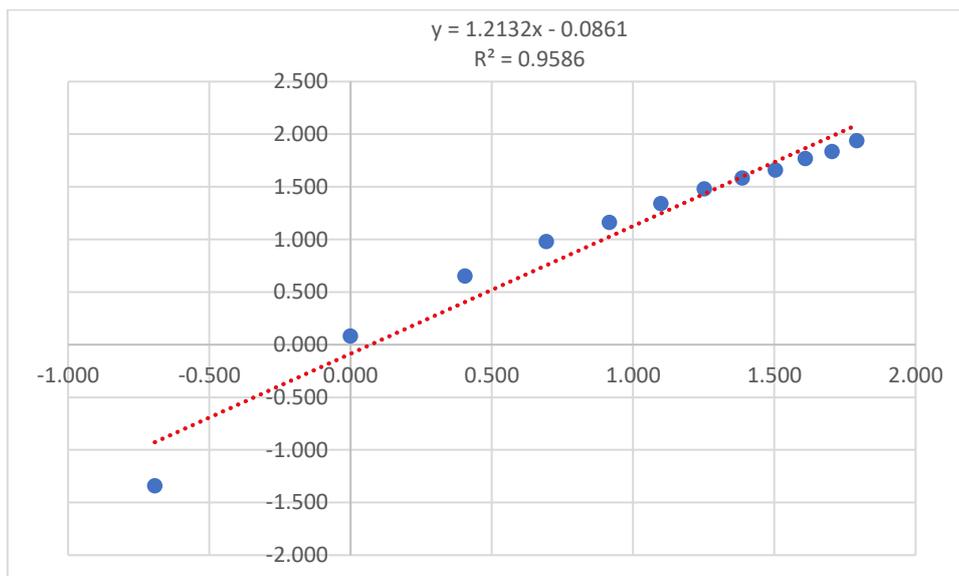


Ilustración 26: Distribución de Weibull de las alturas significativas

La altura significativa se calculará con la expresión (1)

$$H_d = \beta \left( -\ln \left( \frac{1}{\lambda \cdot T} \right) \right)^{\gamma^{-1}} + \alpha \quad (1)$$

Siendo:

$\alpha = 0$ ; por tratarse de una distribución Weibull de 2 parámetros.

a: pendiente de la recta.

b: ordenada en el origen.

$a = \gamma$

$\beta = e^{\frac{b}{a}}$

$\lambda=18$

Las alturas significativas para 1, 50 y 100 años son de 2.6 m, 5.2 m y 5.6 m respectivamente, Siendo favorable la predicción a un año, pero no tanto a 50 y 100 años.

Las corrientes en esta zona del mediterráneo son superiores a 15 cm/s, lo cual permitirá tener una buena renovación del agua dentro de las jaulas.

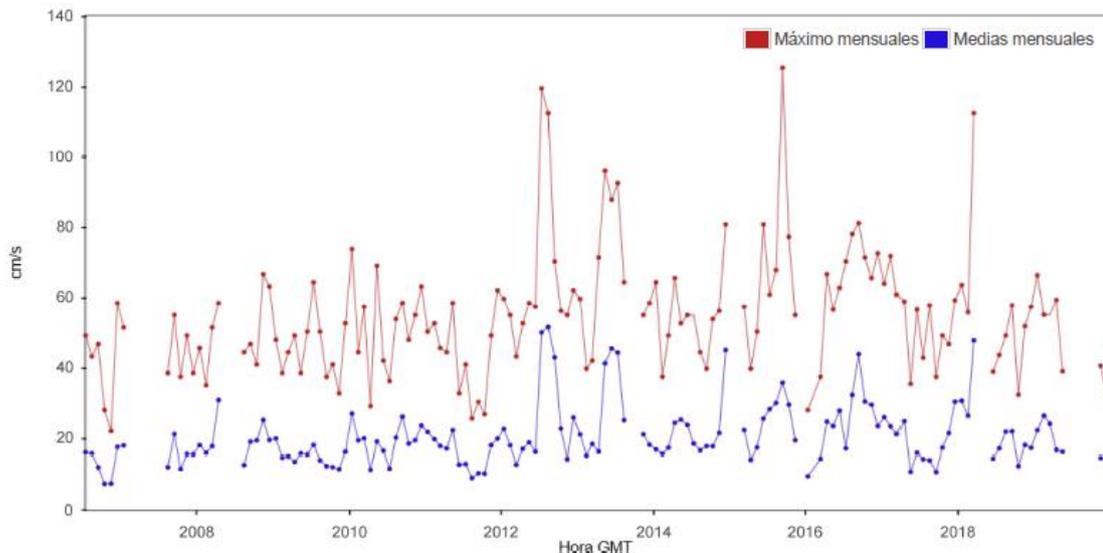


Ilustración 27: Velocidad de corriente en la boya de Cabo de Palos. [16]

La temperatura, en el caso de los atunes, no es un factor determinante ya que éstos son capaces de elevar y mantener su temperatura corporal por encima de la temperatura ambiente, en ocasiones más de 20°C. Sin embargo, en el caso de querer llevar a cabo un policultivo habrá

que tener en cuenta que la media está entorno a los 20°C, pudiendo alcanzar los 27°C de máxima y los 12 de mínima.

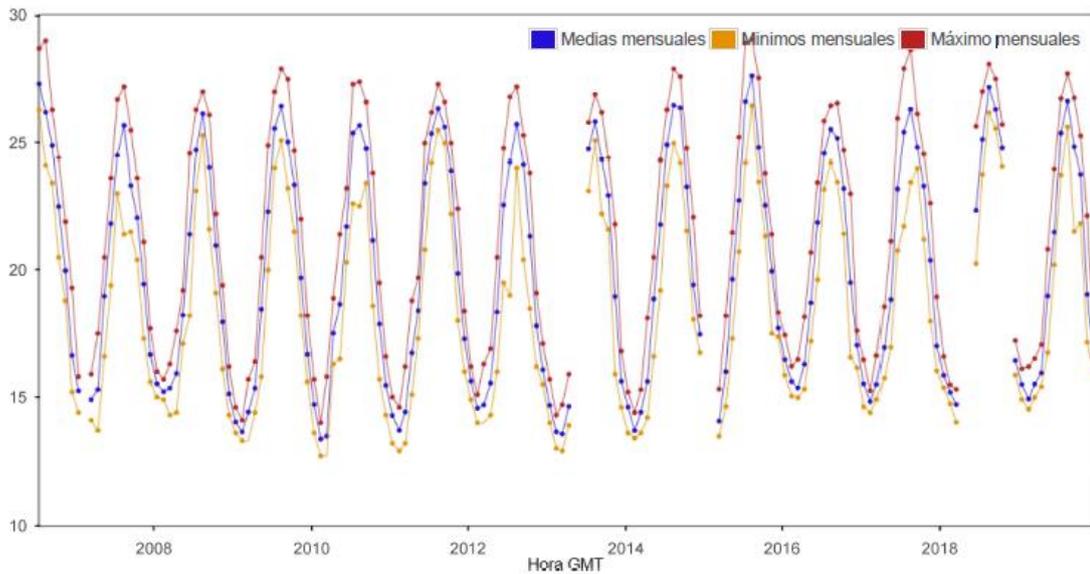


Ilustración 28: Registro de temperaturas en °C en la boya de Cabo de Palos. [16]

La salinidad está entorno a los 37.5 psu, sin grandes oscilaciones.

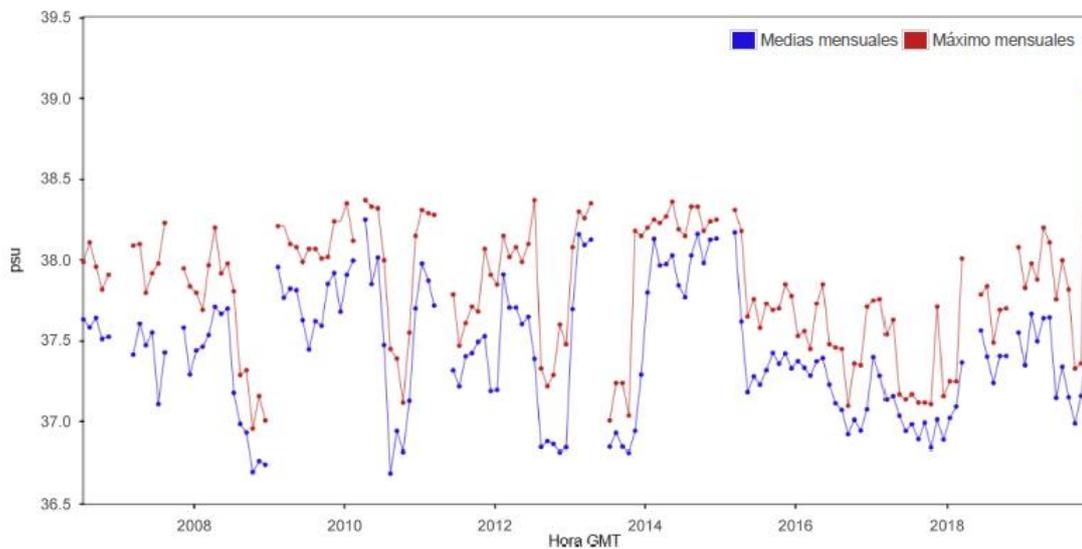


Ilustración 29: Salinidad medida en la boya de Cabo de Palos. [16]

Debido a la poca cantidad de ríos que desembocan en la cuenca mediterránea, las aguas son cristalinas, baja turbidez, y oligotróficas, es decir, ricas en oxígeno, pero pobres en nutrientes vegetales [17]; el sustrato, como se observa en la *Ilustración 30*, será de tipo fango. Sin embargo, se trata de unas aguas considerablemente contaminadas por productos químicos como jabones o productos agrícolas [18], así como por plásticos, donde en el 1% del agua del mundo contiene el 7% de los micro plásticos globales, lo cual tiene efectos negativos en la calidad de las especies que provienen de estas aguas [19].

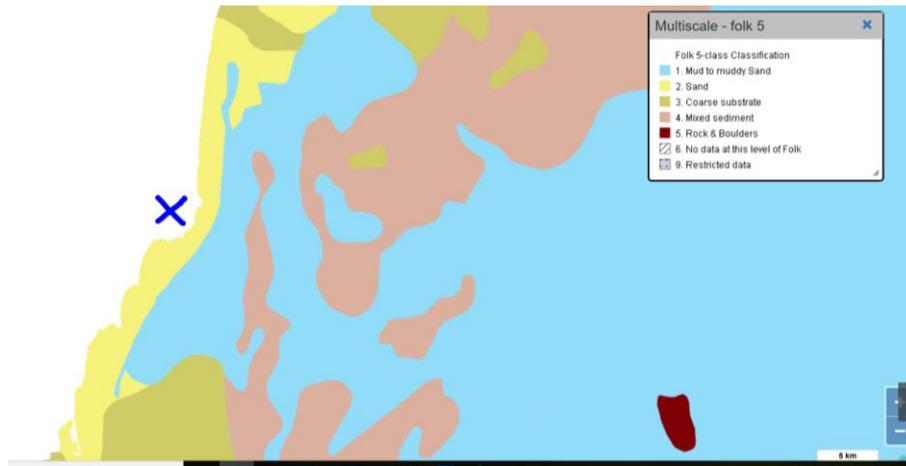


Ilustración 30: Sustratos del fondo marino. [20]

Finalmente hay que considerar la existencia de posibles depredadores, a parte del hombre, los principales depredadores del atún rojo son las orcas y los tiburones. En lo que respecta a las poblaciones de orcas, se encuentran principalmente en la costa del pacífico de América del norte, en Islandia y en Noruega [21]. En el mediterráneo se han registrado avistamientos esporádicos geográficamente muy dispersos, por lo que se considera que su distribución es más bien de carácter vagabundo, siendo más abundante en el mediterráneo noroccidental. Respecto a los tiburones, se han podido avistar rondando las jaulas de acuicultura [22]. Por tanto, habrá que tomar medidas para evitar o reducir el riesgo que estos depredadores puedan romper la red y generar una fuga.



## 5. TIPO DE CULTIVO

En este capítulo se van a definir las características concretas del tipo de cultivo que se pretende llevar a cabo, para lo cual se tendrá en cuenta la densidad de seres por volumen de agua, el número de especies a cultivar, el control que se va a llevar del ciclo de vida de la especie y la posibilidad de generar cultivos de repoblación, ya que el atún rojo, que es la especie objetivo, está actualmente en una situación delicada.

### 5.1. Control del ciclo

En función de las fases del ciclo de vida que se controlan se distingue entre cultivos integrales, que pueden ser de ciclo abierto, cuando los reproductores son capturados en el medio natural, o de ciclo cerrado, en caso contrario; y cultivos semi-integrales, que son aquellos que se centran únicamente en alguna de las fases del ciclo. [23]

En el caso del atún rojo, su ciclo de vida logró cerrarse en 2016, cuando el 1 de julio, después de años de investigaciones, se recolectaron las puestas de los atunes nacidos en cautividad durante los años 2011 a 2013, sin embargo, todavía no resulta económicamente viable [24] debido principalmente a la elevada cantidad y calidad alimentaria que es necesaria unido a la baja supervivencia durante el estado larvario que se debe principalmente a:

- Las larvas o alevines son complicados de manejar pues son muy sensibles y sufren mucho estrés que puede provocarles la muerte, por lo que el transporte desde los tanques de alevines a las jaulas marinas es un punto crítico, que debe realizarse del modo más rápido posible.
- Los alevines nadan con una gran aceleración, pudiendo colisionar con la pared del tanque, cosa que puede resultar mortal. Esta causa de mortalidad afecta a todos los peces, pero principalmente a los más fuertes y vigorosos, ocasionando así la pérdida de los mejores ejemplares

Con el objetivo de reducir al máximo el transporte desde los tanques de alevinaje a la jaula marina reduciendo así el estrés y por tanto la mortalidad en esta fase, se propone realizar un **cultivo integral de ciclo cerrado** en alta mar, es decir en el cual se realice la cría de los alevines al lado de la jaula marina, de forma que puedan transferirse directamente de un lugar al siguiente.

## 5.2. Densidad de seres por volumen de agua

En este caso se distinguen cuatro tipos de cultivos [23]:

- Intensivos: Estos cultivos son típicos de la acuicultura de producción, en ellos la intervención humana existe en todos los estados o fases del ciclo de vida y se mantiene un control de la alimentación, de la calidad del agua, así como del mantenimiento de todas las unidades de producción. Esto permite cultivar mayor número de ejemplares por volumen de agua, pero requiere mayor inversión en mantenimiento, mano de obra y tecnología.
- Extensivos: Estos cultivos buscan aprovechar la producción natural del medio, creando unas condiciones de equilibrio entre las diferentes poblaciones que viven en él. La intervención humana en este tipo de cultivos se limita al aprovisionamiento de alevines y juveniles, la fertilización del medio y el despesque o recolección. La densidad del cultivo es menor, por lo que requieren grandes superficies, sin embargo, requieren una menor inversión y la tecnología es más sencilla.
- Semi-intensivos: Se trata de un tipo de cultivo intermedio entre los dos anteriores, en el cual la alimentación natural se suplementa mediante una fertilización del medio.
- Semi-extensivos: Se trata de un tipo de cultivo intermedio entre los dos primeros, intensivo y extensivo, en el cual la alimentación natural se suplementa mediante un aporte complementario de alimento artificial.

En el apartado anterior se propone un cultivo de ciclo cerrado, durante el cual se controlará la alimentación y se llevará un control de las condiciones y características del agua, aunque la recirculación y renovación del agua en las jaulas dependerá de la agitación del mar y las corrientes marinas y de sistemas de bombas en el caso de los tanques previos al paso de la especie a las jaulas.

Respecto a la densidad del cultivo, puede alcanzar los  $5 \text{ kg/m}^3$ , aunque conviene que sea inferior a este valor, por lo que a partir de este momento se considerará una densidad de cultivo de  $3 \text{ kg/m}^3$  [25]. Esta es una característica típica de los cultivos de atunes, ya

que una mayor densidad de cultivo incrementa los choques con las paredes de los tanques y de las jaulas flotantes y por tanto la mortalidad.

Teniendo en cuenta todo esto, se considera que se trata de un tipo de cultivo **intensivo**.

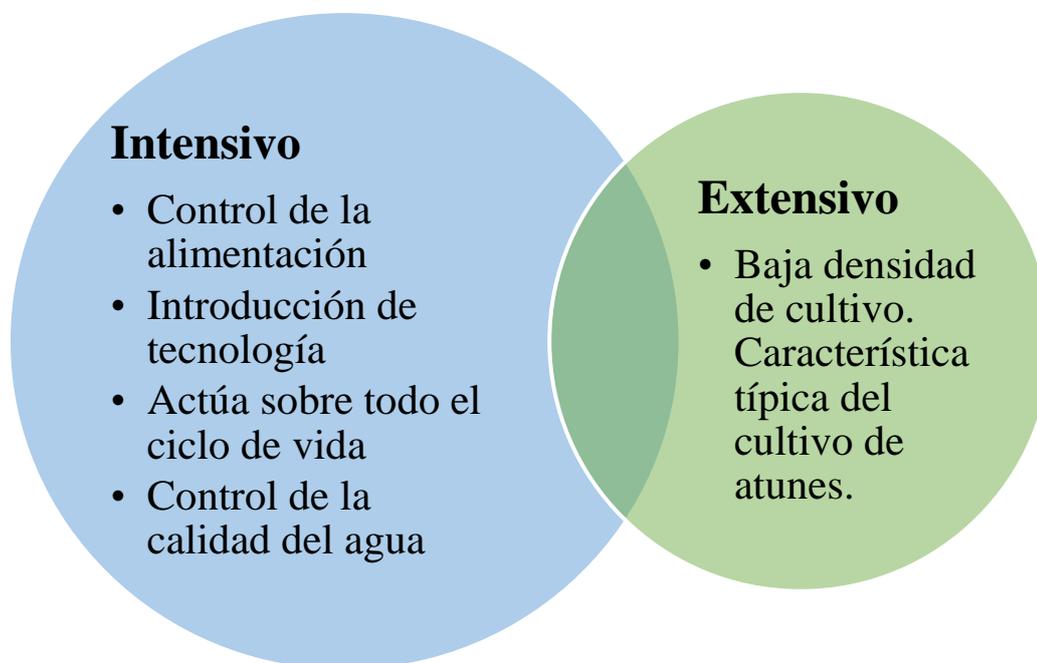


Ilustración 31: Características del cultivo en función de la densidad de éste.

### 5.3. Número de especies a cultivar

En función del número de especies, se distingue entre monocultivos, una única especie, o policultivos, más de una especie; y dentro de los policultivos se distinguen aquellos que se realizan en espacios independientes, policultivos integrados, y los que se realizan en el mismo espacio, integrados.

Los primeros, policultivos no integrados, permiten una diferente ocupación de los nichos ecológicos. Los segundos, policultivos integrados, constituyen los sistemas extensivos de varias especies de animales de interés comercial, mejorando así el aprovechamiento del alimento, en este caso suelen combinarse bien peces de este o distinto grupo o especies complementarias, siendo importante en este tipo de cultivo tener en cuenta el canibalismo entre distintas especies. [23]

Como ya se ha comentado, el atún rojo se alimenta principalmente con peces con la finalidad de mejorar la calidad de su carne antes de ser vendida, lo cual ejerce una presión

## Diseño de una instalación acuícola autosuficiente para el cultivo de especies pelágicas

sobre las especies que se emplean para alimentarlos y cuyas poblaciones se encuentran considerablemente amenazadas por la sobrepesca. Por esto se propone incluir en la instalación **cultivos auxiliares integrados**, capaces de proporcionar parte o todo el alimento vivo que requiere la especie objetivo en las distintas fases de su ciclo de vida.

Entre las principales especies con las que se alimentan los atunes rojos se encuentran rotíferos y la artemia al inicio del estado larvario (hasta los 18 días de vida aproximadamente), larvas recién nacidas de otras especies hasta el destete y una vez en las jaulas, cuando ya tienen aproximadamente 40 días de vida, se alimentan principalmente de sardinas, anchoas, jureles, caballas, estorninos y algunos cefalópodos. Entre los cuales destacan las sardinas y las anchoas por la puntuación que obtuvieron cuando se realizó el estudio de las alternativas para seleccionar la especie objetivo. [26]

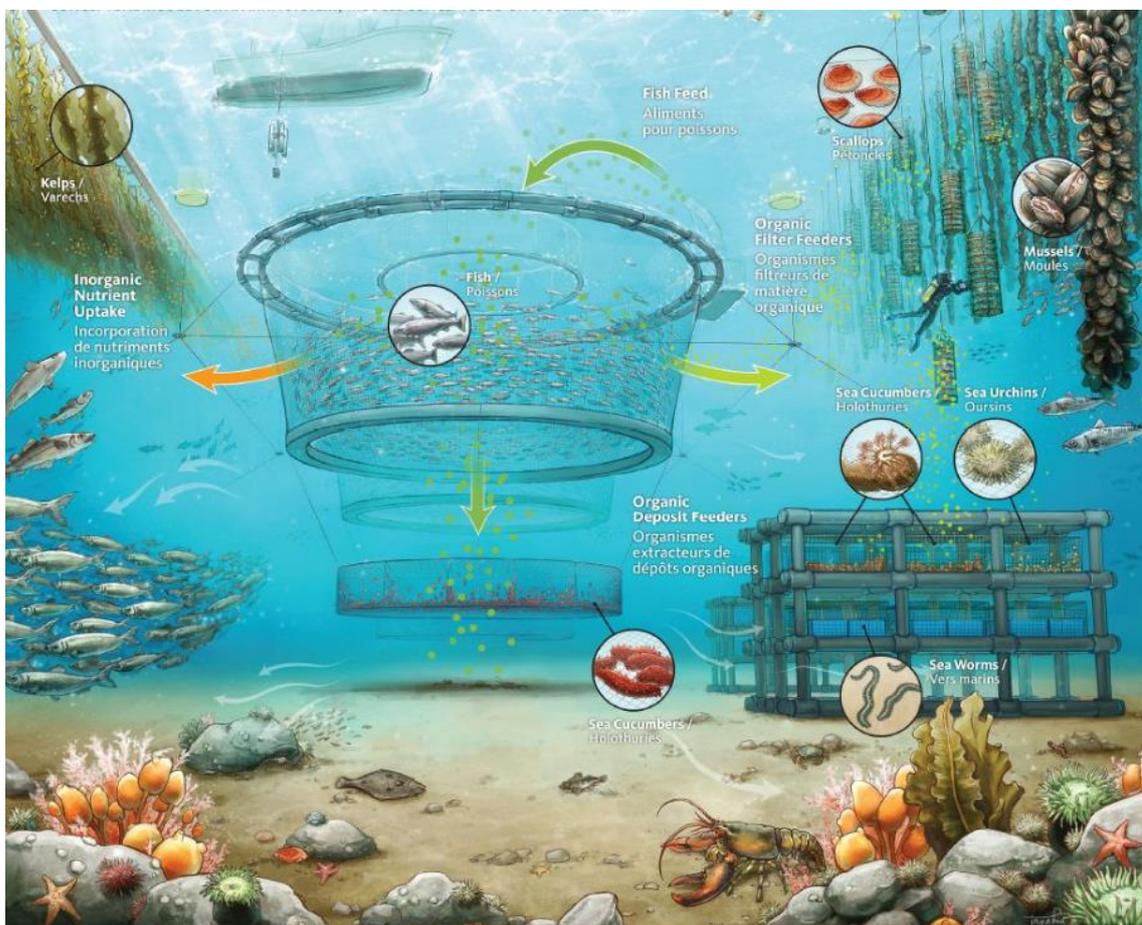


Ilustración 32: Modelo conceptual de un cultivo multitrofico integrado.[27]

#### 5.4. Clasificación final del cultivo

A modo de resumen se puede decir que se trata de un **cultivo intensivo, integral de ciclo cerrado con cultivos auxiliares integrados**, que se emplearán para alimentar a la especie objetivo en cada una de sus fases y cuyos excedentes podrán comercializarse, también se buscará el máximo aprovechamiento de los desechos que puedan recuperarse de los tanques, ya que en muchas ocasiones estos pueden emplearse como fertilizantes.

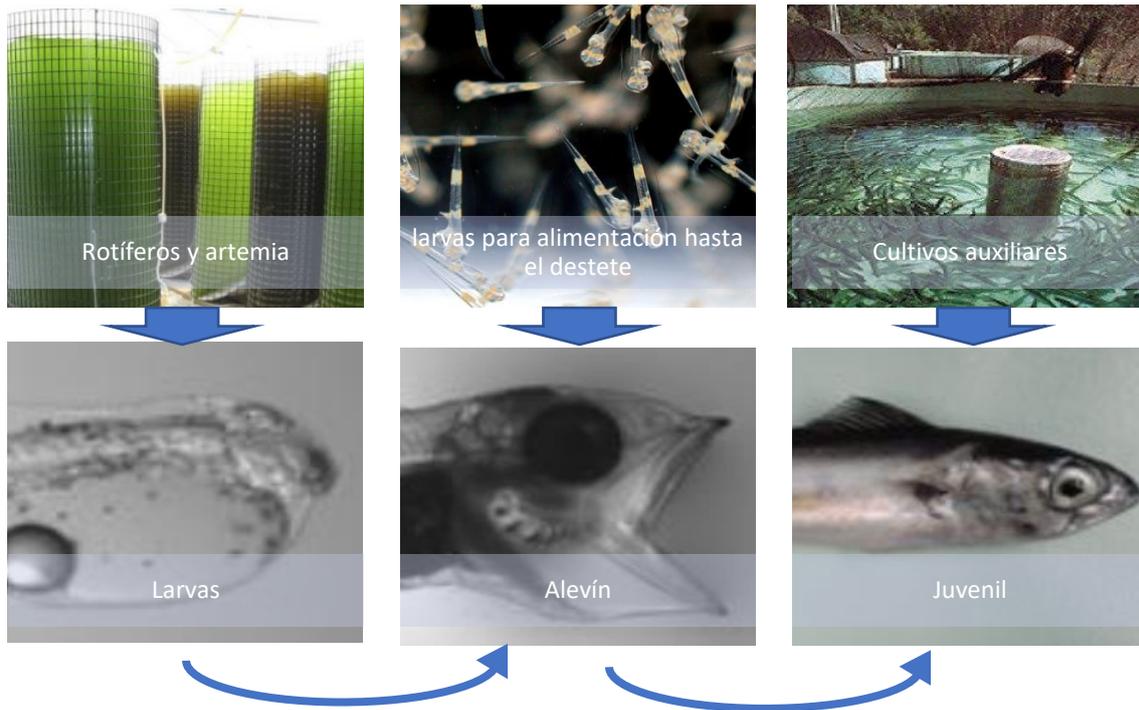


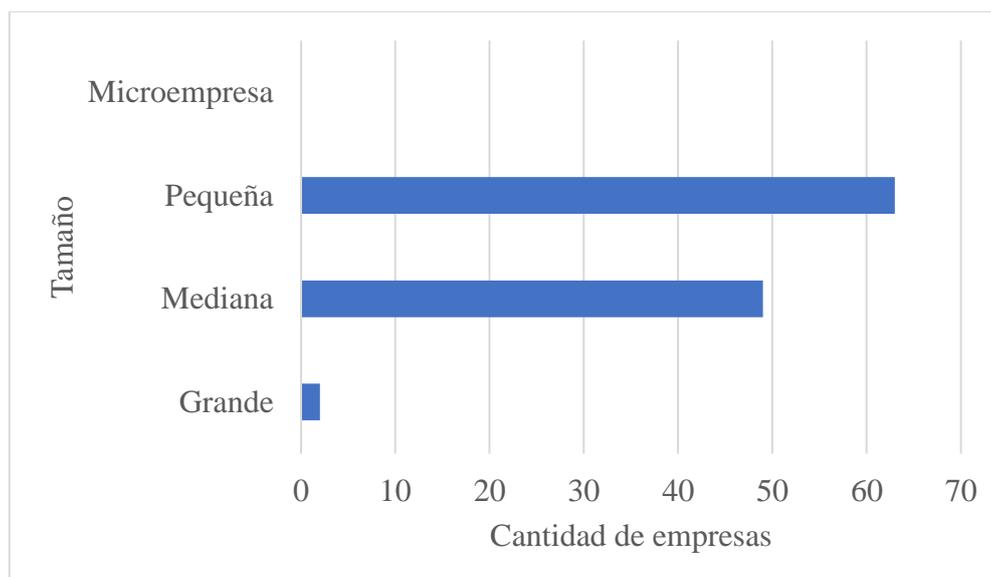
Ilustración 33: Relación entre los distintos cultivos



## 6. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Para conocer el espacio necesario para la piscifactoría es necesario determinar la producción que se pretende obtener. Con este fin se ha clasificado una lista de 114 empresas españolas en grandes, si facturan 43,000,000 € anuales o más, medianas, si facturan entre 10,000,000€ y 43,000,000€, pequeñas, si facturan entre 2,000,000€ y 10,000,000€, y microempresas, si facturan menos de 2,000,000€ [28].

A partir de esta clasificación se ha obtenido un gráfico de barras donde se muestra la cantidad de empresas que hay en cada intervalo (*Ilustración 34*)



*Ilustración 34: Clasificación de empresas españolas de acuicultura según su tamaño. [29]*

Se observa que lo más habitual son las empresas pequeñas, por lo que, en este caso se ha tomado como facturación objetivo 2,000,000€.

Conocido el objetivo anual de la empresa, se busca saber la cantidad de atún necesaria, para poder calcular el volumen necesario de la instalación completa. Para ello, se ha estimado el peso en cada semana del cultivo a partir de ciertos cambios que se han considerado conocidos y suponiendo un crecimiento lineal entre dichos puntos, que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Peso según la semana del cultivo

Semana	Fase	Peso unitario (kg)
<b>1</b>	Larva	$10^{-5}$
<b>5</b>	Alevín	0.008
<b>49</b>	Juvenil	8
<b>97</b>	Juvenil	17
<b>145</b>	Juvenil	28
<b>193</b>	Adulto	43

Se ha variado el peso en el momento del despesque desde los 45 kg hasta los 150 kg y en intervalos de 5kg y se ha calculado el alimento necesario a lo largo de toda la vida del túnido según la expresión ( 2), en la cual se considera que se necesita aportar diariamente un 3% del peso ajustado semanalmente

$$\text{Alimento necesario a lo largo del ciclo de vida} = \sum_{i=1}^{216} (\text{peso}_i \cdot 0.03 \cdot 7) \quad (2)$$

Dónde i indica la semana en la que se encuentra el cultivo.

A continuación, se considera que el precio medio del alimento que se le proporcionará será el doble del precio de la harina de pescado [30], es decir, 2.46 €/kg, el coste de la alimentación representará el 70% de la facturación, la empresa buscare unos beneficios de al menos el 10%, además, este precio deberá incrementarse un 20% ya que no todos los atunes sobrevivirán, de hecho la mortalidad es todavía muy elevada. Con todos estos datos se calcula el precio al que debería venderse el kilo de atún para que la empresa sea rentable.

$$\text{Coste de la alimentación} = \text{Alimento necesario} \cdot \text{Precio del alimento} \quad (3)$$

$$\text{Coste de producción} = \text{Coste de la alimentación} / 0.7 \quad (4)$$

$$\text{Facturación mínima} = \text{Coste de producción} / (1 - \text{Beneficio}) \quad (5)$$

$$\text{Valor} = \frac{\text{Facturación mínima} \cdot 1.2}{\text{Peso final}} \quad (6)$$

A continuación, se muestran los resultados de aplicar las expresiones( 3), ( 4), ( 5) y ( 6).

Tabla 9: Cálculo del valor del atún cultivado según su peso final

Peso final (kg)	Alimento necesario (kg)	Precio del alimento (€/kg)	Coste de la alimentación (€)	Coste producción (€)	Facturación mínima (€)	Valor (€/kg)
45	964.88	2.46	2,373.61	3,390.87	3,767.64	100.47
50	977.48		2,404.61	3,435.15	3,816.84	91.60
55	990.08		2,435.60	3,479.43	3,866.04	84.35
60	1,002.68		2,466.60	3,523.71	3,915.24	78.30
65	1,015.28		2,497.60	3,567.99	3,964.44	73.19
70	1,027.88		2,528.59	3,612.27	4,013.64	68.81
75	1,040.483		2,559.588	3,656.55	4,062.84	65.01
80	1,053.08		2,590.58	3,700.83	4,112.04	61.68
85	1,065.68		2,621.58	3,745.11	4,161.24	58.75
90	1,078.28		2,652.58	3,789.39	4,210.44	56.14
95	1,090.88		2,683.57	3,833.67	4,259.64	53.81
100	1,103.48		2,714.57	3,877.95	4,308.84	51.71
105	1,116.08		2,745.56	3,922.23	4,358.04	49.81
110	1,128.68		2,776.56	3,966.51	4,407.24	48.08
115	1,141.28		2,807.56	4,010.79	4,456.44	46.50
120	1,153.88		2,838.55	4,055.07	4,505.64	45.06
125	1,166.48		2,869.55	4,099.35	4,554.84	43.73
130	1,179.08		2,900.54	4,143.63	4,604.04	42.50
135	1,191.68		2,931.54	4,187.91	4,653.24	41.36
140	1,204.28		2,962.54	4,232.19	4,702.44	40.31
145	1,216.88	2,993.53	4,276.47	4,751.64	39.32	
150	1,229.48	3,024.53	4,320.75	4,800.84	38.41	

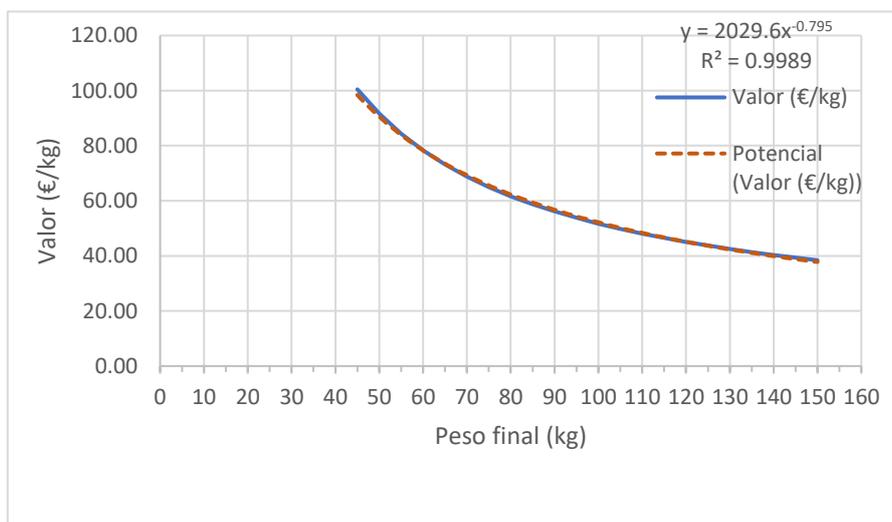


Ilustración 35: Valor del atún cultivado según su peso final

En este caso se pretende que el peso final sean 80 kg, cuyo valor es de 61.68 €/kg, por lo cual sería necesario producir 32,425 kg anuales para lograr la facturación de dos millones de euros anuales, cual equivale a 405 atunes.

A continuación, se pasa a considerar la mortalidad en las distintas fases del ciclo de vida para dimensionar el volumen necesario para cada una de éstas. Así pues se considera una tasa de eclosión del 85%, una supervivencia de la fase larvaria del 40% debido a que el 60% restante no es capaz de alimentarse, pero únicamente del 5% sobrevive a la etapa del alevinaje debido a que aunque son capaces de alimentarse padecen otros problemas nutricionales, estos problemas se detienen cuando comienzan a alimentarse de otros peces, pasando así a la fase de preengorde, durante la cual se considera una mortalidad del 90%, siendo mayor durante los primeros años ya que los juveniles más jóvenes tienen más energía y chocan con las redes. Finalmente se considera una supervivencia del 80% durante la fase de engorde, ya que es la más corta y sobre la que más experiencia se tiene.

Conocida la mortalidad se calcula el número de peces que habrá en cada fase, con este dato, el peso unitario en cada fase, y la densidad de cultivo, que debe estar entre 2 y 5 kg/m<sup>3</sup> [31], se puede calcular el volumen necesario.

Tabla 10: Volumen necesario en cada fase del ciclo de vida

DATOS FIJOS		CANTIDAD NECESARIA (uds)		PESO UNITARIO (kg)	PESO TOTAL (kg)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
<b>Objetivo (kg)</b>	<b>32,425.00</b>	<b>405</b>	<b>Atunes</b>	<b>80</b>	<b>32,425</b>	<b>3.5</b>	<b>9,264.29</b>
<b>Fase</b>	<b>Mortalidad</b>						
<b>Engorde</b>	20%	507	Adultos	80	40,560	5.0	8,112.00
<b>Preengorde</b>	35%	779	juveniles 4 años	34	26,486	5.0	5,297.20
	39%	1,272	juveniles 3 años	21.5	27,348	5.0	5,469.60
	46%	2,376	juveniles 2 años	10.5	24,948	5.0	4,989.60
	53%	5,068	juveniles 1 año	3.5	17,738	5.0	3,547.60
<b>Alevín</b>	95%	101,360	alevines	0.0075	760	2.0	380.10
<b>Larva</b>	60%	253,400	larvas			12 larvas/l	21.12
<b>Eclosión</b>	15%	298,118	huevos			15 huevos/l	19.87

En estos cálculos se ha considerado el número inicial de ejemplares con un peso medio y una densidad máxima.

A continuación, se van a diferenciar 3 espacios, los tanques para el desove y las larvas, los tanques de alevines y las jaulas para los juveniles y adultos en la fase de engorde. En primer lugar, se establece el volumen de cada jaula, a partir del cual se calcula el número de tanques necesarios como el cociente entre el volumen necesario y el de cada tanque.

Finalmente se obtiene que serán necesarios 3 tanques de desove y larvas de  $8 \text{ m}^3$  cada uno, 2 tanques de alevines de  $200 \text{ m}^3$  cada uno, y 3 jaulas para las fases de preengorde y engorde de  $3100 \text{ m}^3$  cada una.

Respecto a los reproductores, como ya se ha comentado, una hembra es capaz de producir 5 millones de huevos por lo que con 1 tanque para los reproductores será suficiente.

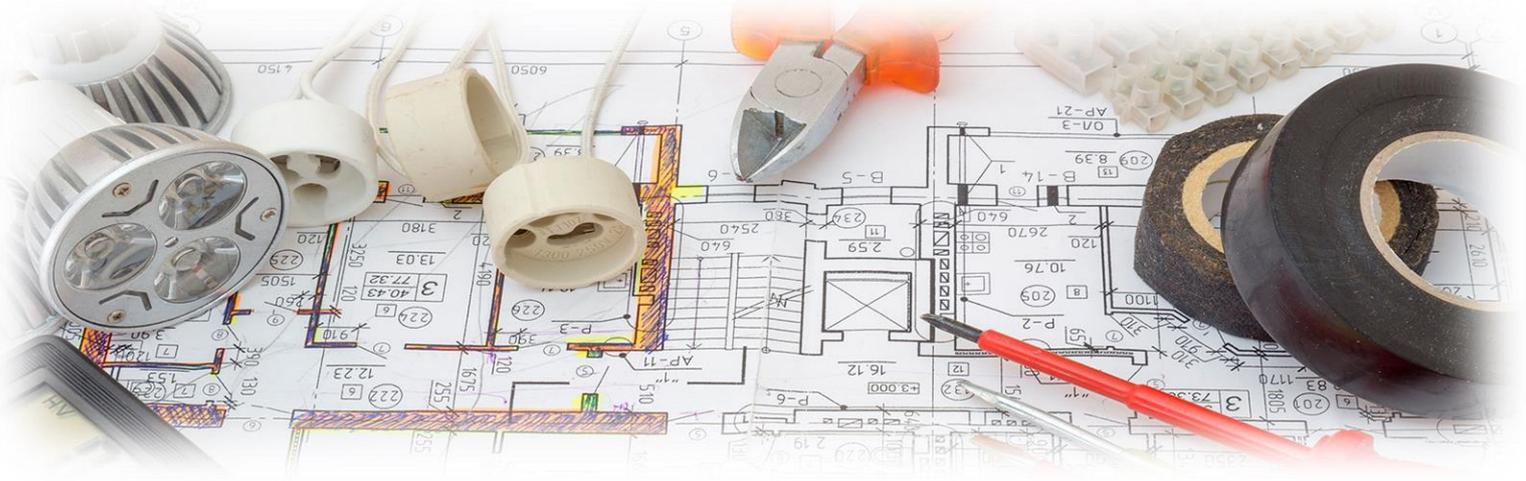
En lo referente al alimento de los atunes serán necesarias jaulas para criar el pescado se calcula que anualmente serán necesarios 310 kg, valor al cual se le aplica un 25% por la posible mortalidad que se pueda tener, se ha escogido un margen elevado ya que en caso de tener excedente son especies que se pueden comercializar. Teniendo en cuenta esto, se considera que serán necesarios unos 400 kg de pescado anuales, lo cual con una densidad de  $20 \text{ kg/m}^3$  implica que serán necesarios  $20 \text{ m}^3$ , que se repartirán en 2 tanques de  $10 \text{ m}^3$  cada uno.

Los alevines se comprarán a empresas especializadas que se dediquen a la reproducción de dichas especies y se alimentarán en general con pienso que será almacenado en las propias instalaciones y lo mismo sucederá con las larvas empleadas durante el destete.

Hasta aquí se ha hablado del espacio necesario para llevar a cabo 1 cultivo, sin embargo, hay que tener en cuenta que el ciclo de vida del atún, desde que nace hasta que es capaz de reproducirse es de 4 ó 5 años, por lo que se llevarán diversos cultivos en paralelo con una puesta anual. Teniendo en cuenta todo esto se ha realizado un plan productivo (Anexo I) a partir del cual se concluye que se necesitarán las zonas que se indican en la Tabla 11.

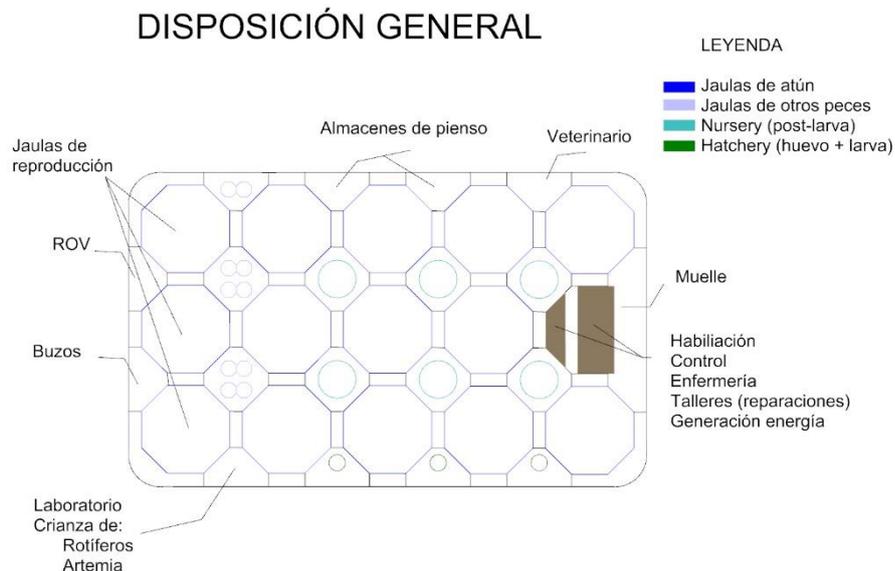
*Tabla 11: Resumen tanques y jaulas de la instalación acuícola*

<b>Tanque o Jaula</b>	<b>Numero</b>	<b>Volumen unitario (m3)</b>
<b>Tanques de reproducción</b>	3	1,077.57
<b>Tanques de larvas</b>	3	8.20
<b>Tanques alevines</b>	6	71.00
<b>Jaulas para atunes</b>	11	3,100.00
<b>Jaulas para otros peces</b>	10	10.00



# 7. MÓDULOS E INSTALACIONES NECESARIAS

En el capítulo anterior se han seleccionado las dimensiones principales de las jaulas, así como el número necesario de cada tipo de jaula. Teniendo en cuenta esto se ha realizado un esquema con la distribución de los diversos módulos que formarán la piscifactoría que se muestra en la *Ilustración 36*.



*Ilustración 36: Esquema sin escala de la disposición general*

Estos módulos, que se estudian con más detalle a continuación, estarán unidos entre sí de forma que se permita cierto movimiento relativo entre unos y otros, reduciendo así los esfuerzos.

### 7.1.Las jaulas

Las jaulas se pueden clasificar según diversas características como la forma, el tamaño, el fondeo, la flotación, la estructura, etc. Lo primero que se va a tratar en este apartado es de distinguir si tendrán una estructura rígida o flexible.

Las estructuras rígidas están diseñadas de tal forma que puedan resistir sin grandes deformaciones a la acción de las fuerzas externas, es decir, olas, corrientes y el viento. Este tipo de plataformas facilita el trabajo para la mano de obra y las operaciones de mantenimiento, posibilita la integración a la jaula de los sistemas de alimentación y cosecha y provee de mejor seguridad para el trabajador, proporcionando así una mayor eficiencia; sin embargo, al tratarse de estructuras grandes y pesadas, requieren buenas instalaciones portuarias y/o remolque para su instalación, los sistemas de fondeo deben

ser más resistentes y aumentan los costes de operación debido a una mayor necesidad de mantenimiento.



*Ilustración 37: Ejemplo jaula flexible*

Las estructuras flexibles surgen con la necesidad de adaptarse a las condiciones de mar abierto al alejar los cultivos de la costa. Éstas, son capaces de adaptarse a la forma de la ola, tienen una forma de anillo cuya misión es mantener la forma de la red, pero no están pensadas para trabajar, por lo que las operaciones se llevan a cabo desde balsas o botes, por lo que requiere grandes embarcaciones de servicio, otra desventaja de este tipo de instalaciones es la dificultad de instalar un sistema de alimentación. Entre sus ventajas destaca la efectividad probada para la suspensión de la red, la amplia variedad de configuraciones que puede adoptar y el tratarse de un sistema barato de gran volumen, por lo que es ampliamente usado cuando las instalaciones se alejan de la costa.



Ilustración 38: Ejemplo de jaula rígida

Teniendo en cuenta esto, una estructura flexible parece la alternativa más conveniente, sin embargo, habrá que tener en cuenta el volumen que se pierde debido al efecto de las corrientes marinas sobre las redes. Para ello se van a emplear los resultados de la simulación numérica y el ensayo con modelos de Huang, Tang & Liu, teniendo en cuenta que la velocidad de corriente en la zona que se va a instalar la piscifactoría es de 15 cm/s se concluye que el volumen de la jaula quedara reducido ligeramente menos del 20%.

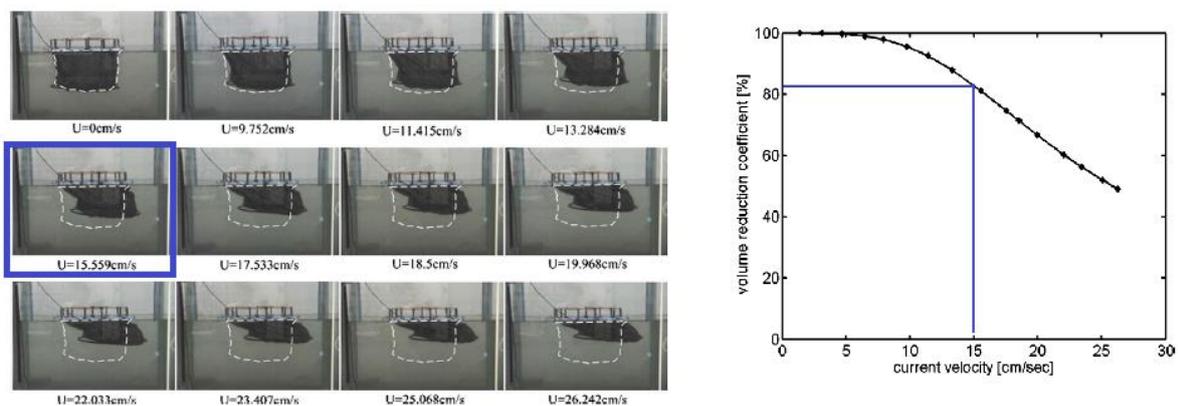


Ilustración 39: Resultados de la simulación numérica y el ensayo con modelos de Huang, Tang & Liu

A partir de los datos del capítulo anterior, donde se refleja el número de jaulas y el volumen de cada jaula, se puede calcular el volumen real y por tanto el espacio desaprovechado en cada jaula, que será el que se puede perder debido a las corrientes.

$$\text{Volumen real} = \text{Volumen unitario} \cdot \text{Número de jaulas} \quad (7)$$

$$\text{Espacio desaprovechado}(m^3) = \text{Volumen real} - \text{Volumen min} \quad (8)$$

$$\text{Espacio desaprovechado}(\%) = \text{Espacio} \frac{\text{desaprovechado}(\text{m}^3)}{\text{Volumen real}} \quad (9)$$

Tabla 12: Cálculo del volumen que puede perderse en la jaula ya que está desaprovechado

Edad	Volumen min [m <sup>3</sup> ]	Volumen unitario [m <sup>3</sup> ]	Número de jaulas	Volumen real [m <sup>3</sup> ]	Espacio desaprovechado	
Adultos	8,112.00	3100	3	9,300.00	1188.0 m <sup>3</sup>	<b>13%</b>
juveniles 4 años	5,297.20	3100	2	6,200.00	902.8 m <sup>3</sup>	<b>15%</b>
juveniles 3 años	5,469.60	3100	2	6,200.00	730.4 m <sup>3</sup>	<b>12%</b>
juveniles 2 años	4,989.60	3100	2	6,200.00	1210.4 m <sup>3</sup>	<b>20%</b>
juveniles 1 años	3,547.60	3100	2	6,200.00	2652.4 m <sup>3</sup>	<b>43%</b>

En la tabla anterior se observa que lo máximo que se puede perder por el efecto de las corrientes es un 13% del volumen de la jaula, ya que es lo mínimo que queda desaprovechado por los peces, como este valor es claramente inferior al que se estima que se perdería según las condiciones de la zona y los estudios indicados anteriormente, se concluye que no podrán emplearse jaulas flexibles, si no que éstas tendrán que ser rígidas.

Se ha decidido que la forma en planta de las redes será octogonal, de forma que se facilite la construcción de la estructura rígida que le permita mantener la forma gracias a una estructura tubular.

Con la finalidad de realizar una **estimación de pesos** de la jaula se propone la estructura que se define a continuación:

- Flotadores cilíndricos de 1,000 mm de diámetro a lo largo del perímetro del octógono superior
- Estructura vertical formada por 8 tubos de 250 mm de diámetro y 20,000 mm de longitud, uno en cada esquina del octógono que forma la base
- Estructura horizontal, en el fondo de la jaula, con forma de octógono, formada por tubos de 250 mm de diámetro.
- Reforzado diagonal, formado por 8 tubos de 250 mm de diámetro y 20,840 mm de longitud.

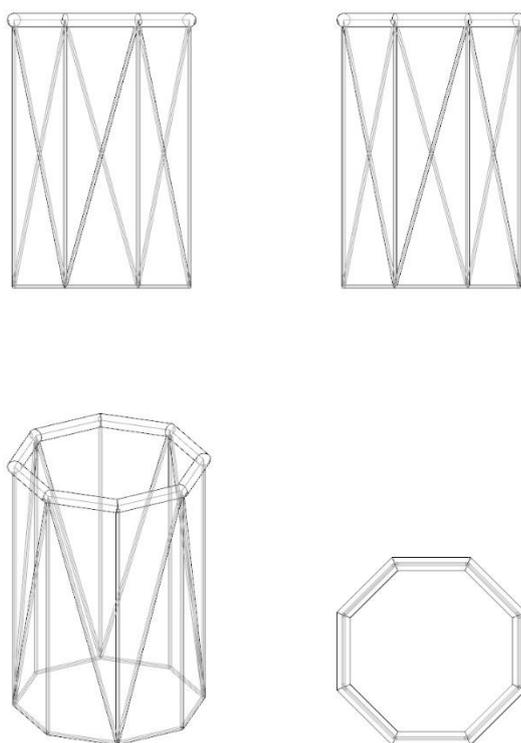


Ilustración 40: Esquema de la estructura de las jaulas de engorde. Ilustración sin escala.

A continuación, se muestra el desglose del cálculo de los pesos, las longitudes, diámetros y espesores se muestran en metros, las áreas en m<sup>2</sup> y los pesos en kg.

Tabla 13: Estimación del peso del reforzado de 1 jaula

Brazing					
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Vertical</b>	0.25	20.00	0.005	8	4,833.65
<b>Horizontal</b>	0.25	5.85	0.005	8	1,413.84
<b>Inclinado</b>	0.25	20.84	0.005	8	5,036.19
<b>TOTAL</b>					<b>11,283.68</b>

Tabla 14: Estimación del peso de la red de 1 jaula

Red			
Densidad	0.30	kg/m <sup>2</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Número	Peso [kg]
<b>Red</b>	108.32	8	259.97
<b>TOTAL</b>			<b>259.97</b>

Tabla 15: Estimación del peso de los flotadores de 1 jaula.

Flotador					
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Cilindro</b>	1	5.85	0.005	8	5,741.94
<b>Tapas</b>	1	0	0.005	64	1,972.92
<b>TOTAL</b>					<b>7,714.86</b>

Además, cada jaula dispondrá de una grúa que ayude en las labores de despesque, así como en las de cambio de redes y otras operaciones de mantenimiento, en este caso se ha buscado en el catálogo de Palfinger y se ha seleccionado el modelo PK 4501 M, que tiene un alcance entre 3.4 y 11 metros, una capacidad de carga suficiente, un diámetro de la base de 0.45 m y un peso muerto de 760 kg. El peso de esta grúa se equilibrará con otro peso equivalente de lastre fijo, que podrá ubicarse en el interior de los flotadores, se ha considerado el peso igual al de la grúa.

De la suma de los resultados de la Tabla 13, la Tabla 14 y la Tabla 15, y teniendo en cuenta el peso de la grúa y de los atunes que esta puede elevar (se consideran 3 atunes lo cual equivale a 240 kg) se calcula que el **peso en rosca** de una jaula será de **20,018.51 kg** y un **peso muerto de 240 kg**, por tanto, el **desplazamiento en rosca** de la jaula será de **20.78 T** y el **desplazamiento en plena carga** será de **.21.02 T**.

A continuación, se pasa a comprobar la flotación del módulo, mediante el principio de Arquímedes. Para ello se ha calculado el empuje obtenido para cada calado, entre 0 m y el puntal (20.75 m) en intervalos de 0.05 m.

Tabla 16: Elementos que aportan flotación a la jaula.

Cilindro	L [m]	NUMERO	Radio [m]	Inclinación [rad]
<b>Base</b>	5.6	8	0.25	0.00
<b>vertical</b>	19.25	8	0.25	1.57
<b>diagonal</b>	19.94	8	0.25	1.31
<b>flotador</b>	5.6	8	0.5	0.00

Debe tenerse en cuenta que, la base alcanzará su volumen total cuando el calado sea de 0.5 m, momento en el cual comenzarán a aportar capacidad de flotación los cilindros verticales y diagonales, hasta que el calado sea de 20 m, momento en el cual comienzan a sumergirse los flotadores.

El volumen sumergido de los cilindros horizontales (inclinación = 0 rad) se calculará teniendo en cuenta las expresiones siguientes.

$$A_{OM} = \pi \cdot R^2 - \frac{R^2}{2} \cdot \left\{ 2 \cdot \arccos \left( \frac{T}{R} - 1 \right) - \sin \left[ 2 \cdot \arccos \left( \frac{T}{R} - 1 \right) \right] \right\} \quad (10)$$

$$A_{OV} = \pi \cdot R^2 - A_{OM} \quad (11)$$

$$E = V \cdot \rho = \rho \cdot \sum_i A_{OV_i} \cdot L_i \quad (12)$$

Dónde:

$A_{OM}$ : Área de la obra muerta del cilindro

$A_{OV}$ : Área de la obra viva del cilindro

R: Radio del cilindro

T: Calado del cilindro

$\rho$ : Densidad del agua marina (1025 kg/m<sup>3</sup>)

L: longitud total del cilindro

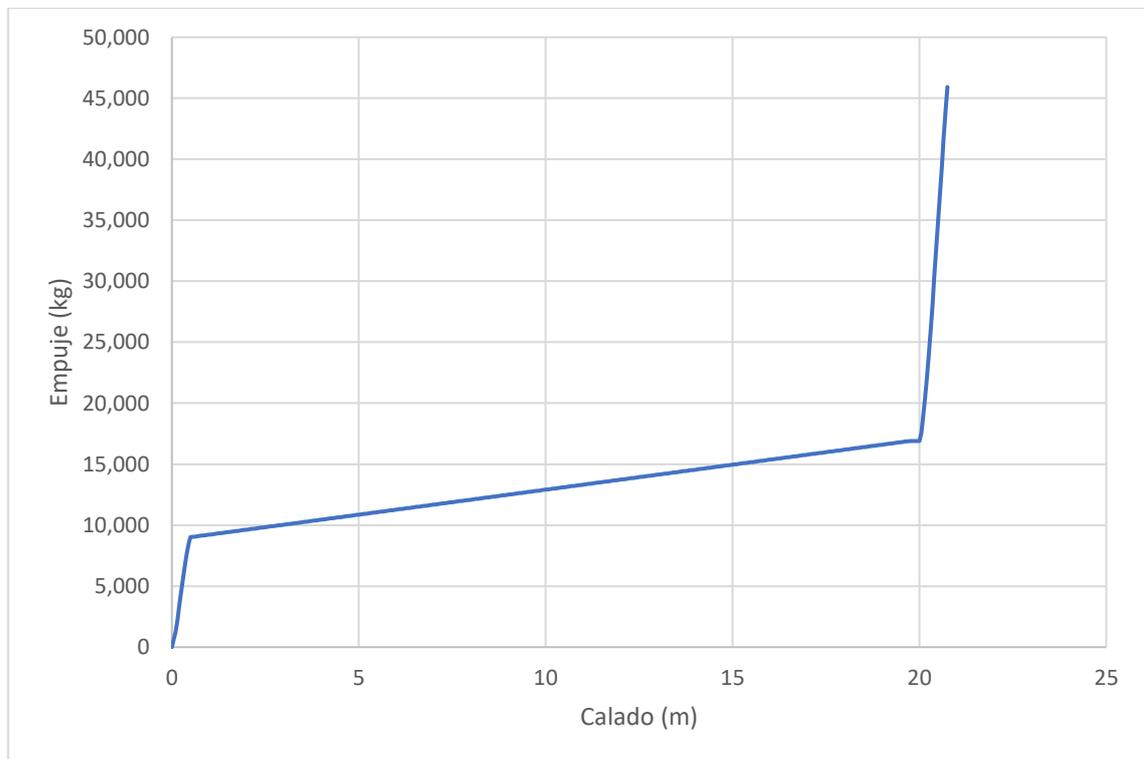


Ilustración 41: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado de la jaula se obtiene que, para la **situación en rosca (20.78 T)**, se tendrá un **calado de 20.17 m** y por tanto un **francobordo de 0.58 m** y en el caso de la situación en plena carga (21.02 T) la estimación será igual a la situación en rosca, es decir, un **calado de 20.17 m** y por tanto un **francobordo de 0.58 m**, esto se debe a que el peso muerto es pequeño y su efecto es despreciable.

## 7.2. Pasarelas rectas

Las pasarelas rectas sirven para conectar unos módulos de trabajo con otros, tendrán una longitud de 5.8 m y un ancho de 2m, como se muestra en la *Ilustración 42*, y estará formada por una estructura longitudinal con un espaciado de 670 mm, y transversal, con un espaciado de 1,000 mm, de acero dulce y por dos flotadores de 1,000 mm de diámetro del mismo material, además de la cubierta, que será de madera.

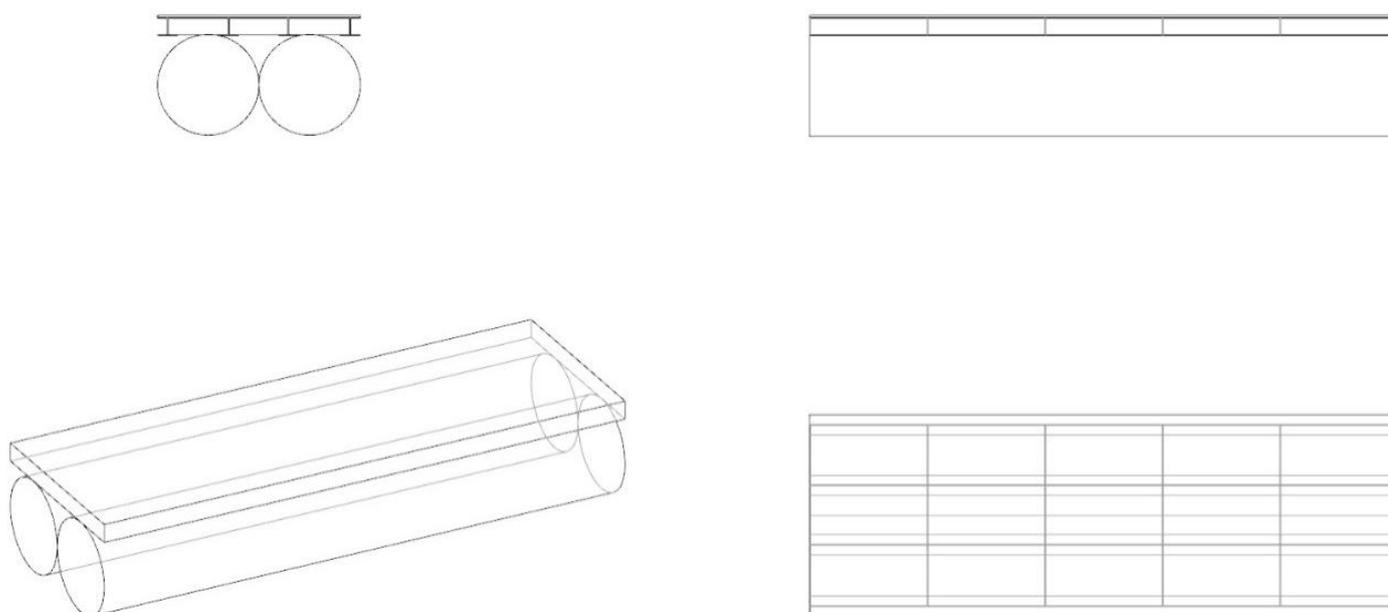


Ilustración 42: Esquema de la estructura de los pasillos rectos. Ilustración sin escala.

Una vez definida la estructura y los materiales, se **estima el peso** de la misma a partir de la medición de los volúmenes y los materiales (Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20).

Tabla 17: Peso de la estructura longitudinal de la pasarela recta

Estructura longitudinal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
I	0.2	0.2	5.8	0.005	4	364.240
Plancha	0	0.02	5.8	0.002	2	3.642
<b>TOTAL</b>						<b>367.882</b>

Tabla 18: Peso de la estructura transversal de la pasarela recta

Estructura transversal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Plancha	0	0.2	0.6	0.005	21	98.910
<b>TOTAL</b>						<b>98.910</b>

Tabla 19: Peso de la cubierta de la pasarela recta

Cubierta						
Material	Teca		Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Ancho [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Superficie	2	5.8	0.02	1	160.080	
<b>TOTAL</b>						<b>160.080</b>

Tabla 20: Peso de la estructura del flotador.

Flotador						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Cilindro	1	5.6	0.005	2	1,374.139	
Tapas	1	0	0.005	14	431.576	
<b>TOTAL</b>						<b>1,805.715</b>

Teniendo en cuenta estos resultados, y considerando que en una pasarela se pueden acumular como máximo 4 atunes de 80 kg y 3 personas, considerando el peso de una persona adulta 100 kg, durante las maniobras de despesque y transporte de los ejemplares, se estima un **peso en rosca de 2.43 T** y un **peso muerto de 0.62 T**.

A continuación, se pasa a comprobar la flotación del módulo, mediante el principio de Arquímedes. Para ello se ha calculado el empuje obtenido para cada calado, entre 0 m y el puntal (1.2 m) en intervalos de 0.05 m.

Puede observarse que, en este caso, únicamente se cuenta con 2 flotadores horizontales y cilíndricos, de un diámetro de 1m. Así pues, con ayuda de las *expresiones* ( 10), ( 11) y ( 12) se obtiene el gráfico siguiente.

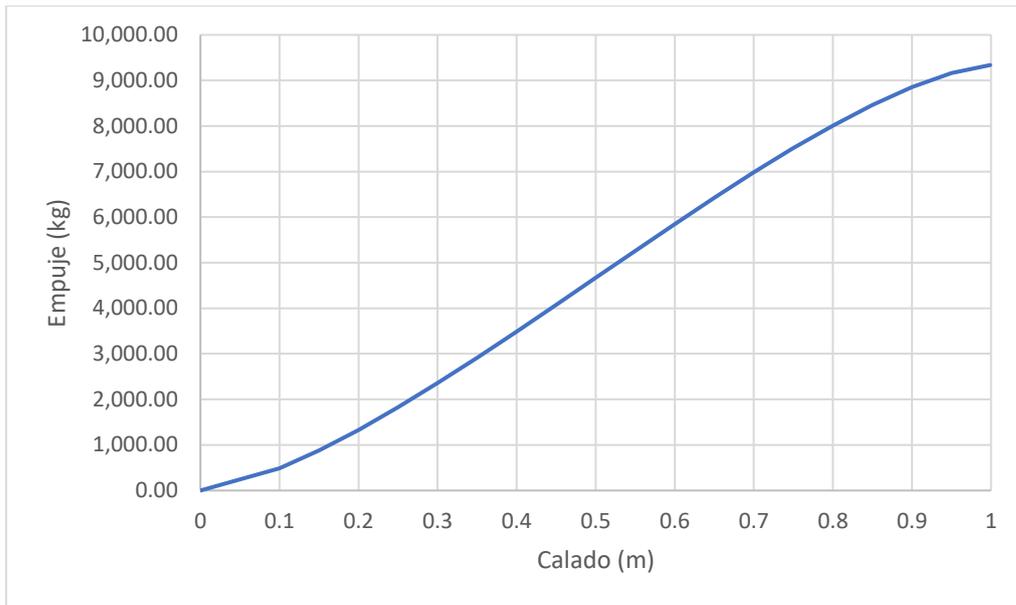
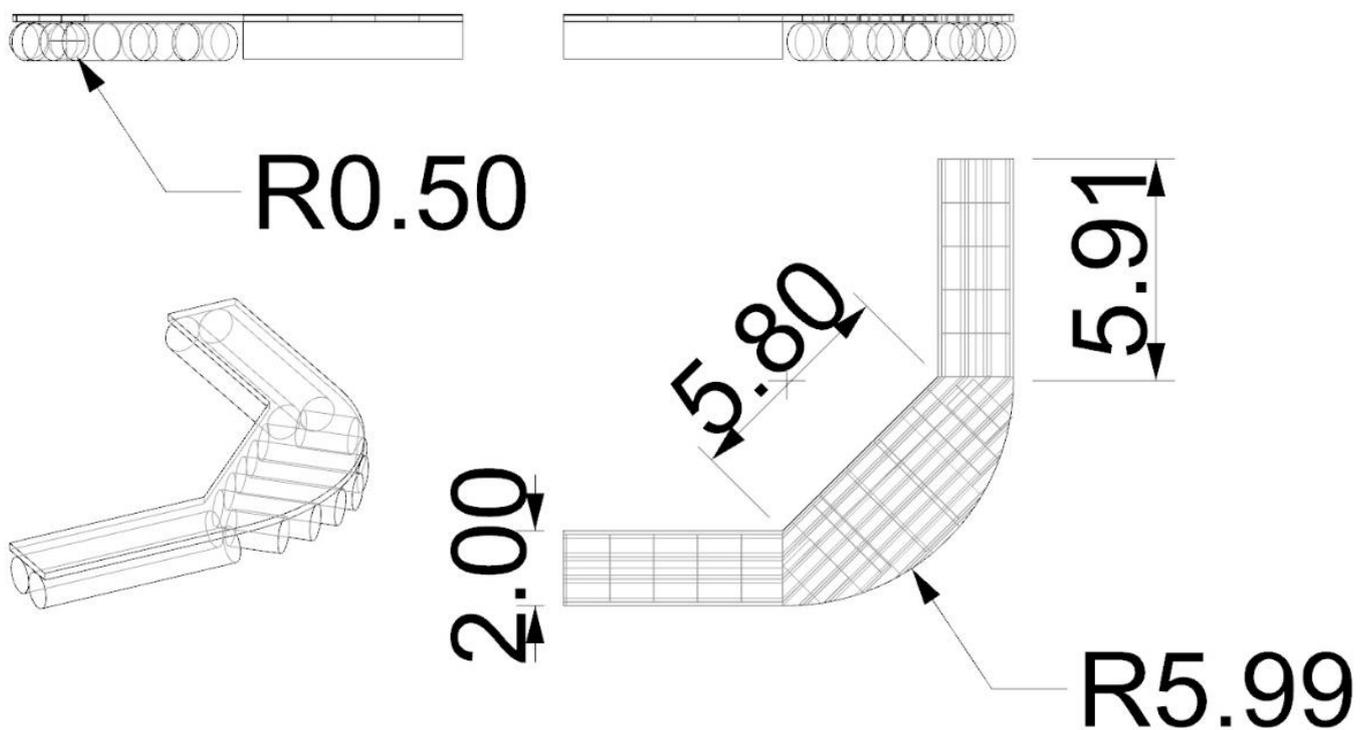


Ilustración 43: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado de la pasarela se obtiene que, para la situación en **rosca (2.432 T)**, se tendrá un **calado de 0.31 m** y por tanto un **francobordo de 0.89 m**, y para la situación en **plena carga (3.053 T)** un **calado de 0.36 m** y un **francobordo de 0.84 m**.

### 7.3. Pasarela de esquina

Estas pasarelas sirven para conectar los tramos rectos en el pasillo exterior que permite rodear toda la instalación y, al igual que las pasarelas rectas, contarán con una estructura y unos flotadores de acero y una cubierta de madera. Las dimensiones principales de este tipo de pasarela se muestran en la *Ilustración 44*. Respecto a su estructura tendrá perfiles en I con una separación de 670 mm y de forma perpendicular a estos unas planchas con una separación de 1,000 mm.



*Ilustración 44: Esquema de la estructura de los pasillos en esquina. Ilustración sin escala. Unidades en metros.*

Una vez definida la estructura y los materiales, se **estima el peso** de la misma a partir de la medición de los volúmenes y los materiales (Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24).

Tabla 21: Peso de la estructura longitudinal de la pasarela en esquina.

Estructura longitudinal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>I</b>	0.2	0.20	5.80	0.005	2	182.12
	0.2	0.20	5.84	0.005	2	183.38
	0.2	0.20	5.88	0.005	2	184.63
	0.2	0.20	5.89	0.005	2	184.95
	0.2	0.20	5.93	0.005	1	93.10
	0.2	0.20	6.74	0.005	1	105.82
	0.2	0.20	7.52	0.005	1	118.06
	0.2	0.20	8.34	0.005	1	130.94
	0.2	0.20	7.67	0.005	1	120.42
	0.2	0.20	6.43	0.005	1	100.95
0.2	0.20	4.77	0.005	1	74.89	
<b>Plancha</b>	0.0	0.02	42.62	0.002	2	26.77
<b>TOTAL</b>						<b>1,506.02</b>

Tabla 22: Peso de la estructura transversal de la pasarela en esquina.

Estructura transversal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Plancha</b>	0	0.2	0.6	0.005	87	409.77
<b>TOTAL</b>						<b>409.77</b>

Tabla 23: Peso de la cubierta de la pasarela en esquina.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Superficie</b>		44.3	0.02	1	611.34
<b>TOTAL</b>					<b>611.34</b>

Tabla 24: Peso de los flotadores de la pasarela en esquina.

Flotador					
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Cilindro</b>	1	5.6	0.005	4	2,748.28
	1	1.45	0.005	2	355.80
	1	2.7	0.005	2	662.53
	1	3.06	0.005	2	750.87
	1	3.23	0.005	1	396.29
<b>Tapas</b>	1	0	0.005	57	1,757.13
<b>TOTAL</b>					<b>6,670.91</b>

Teniendo en cuenta estos resultados, y considerando que en una pasarela se pueden acumular como máximo 4 atunes de 80 kg y 3 personas, considerando el peso de una persona adulta 100 kg, durante las maniobras de despesque y transporte de los ejemplares, se estima un **peso en rosca de 9.198 T** y un **peso muerto de 0.620 T**.

Análogamente a los cálculos anteriores, se realiza el equilibrio entre peso y empuje, teniendo en cuenta que en este caso hay 5 tipos de cilindro, todos con 1m de diámetro.

Tabla 25: Elementos que aportan flotación a la pasarela.

Cilindro	Longitud [m]	Cantidad [ud]
<b>1</b>	5.6	4
<b>2</b>	1.45	2
<b>3</b>	2.7	2
<b>4</b>	3.06	2
<b>5</b>	3.23	1

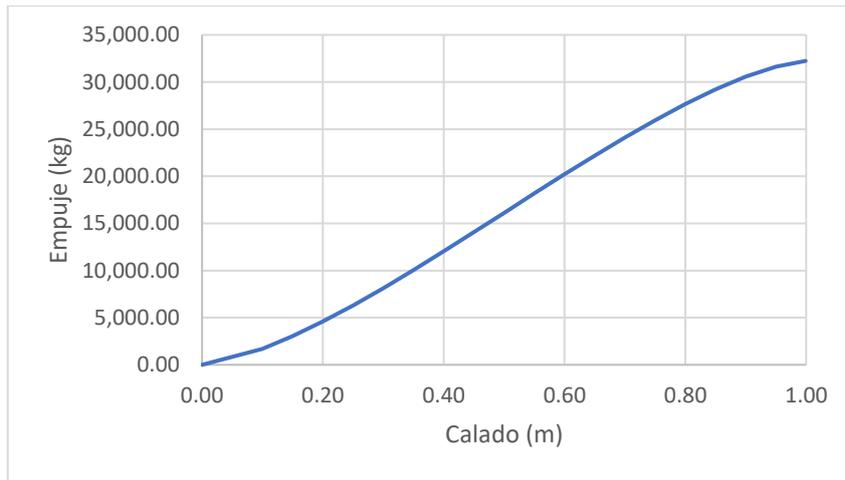


Ilustración 45: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado de la pasarela se obtiene que, para la situación en **rosca (9.198 T)**, se tendrá un **calado de 0.33 m** y por tanto un **francobordo de 0.87 m**, y para la situación en **plena carga (9.818 T)** un **calado de 0.34 m** y un **francobordo de 0.86 m**.

#### 7.4.Nursery

Estas plataformas consistirán en un tanque que alojará a los alevines de atún. En este caso la propia estructura será la que aporte el empuje necesario para que el conjunto flote, por lo que no será necesario el uso de flotadores cilíndricos. La plataforma tiene una forma en planta de octógono no regular, con 2 tamaños de lado, siendo el lado corto de 2 m y el lado largo de 5.8 m., el puntal será de 2 m. El tanque para los alevines tiene un diámetro de 6m y una altura de 2.6 m, de los cuales únicamente 1.5 sobresaldrán por encima de la cubierta de la plataforma

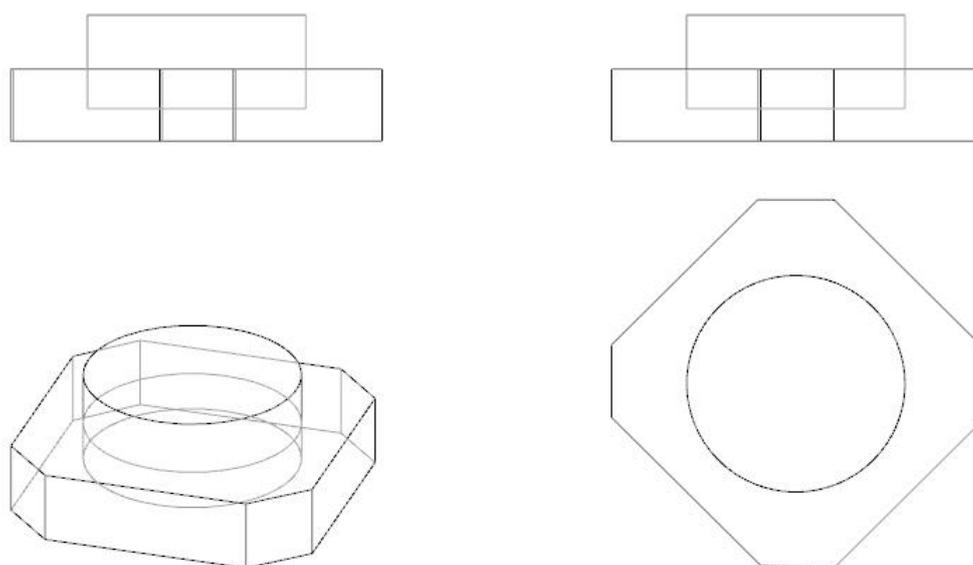


Ilustración 46 Esquema de la nursery. Ilustración sin escala.

A continuación, se pasa a realizar una **estimación del peso** de la plataforma. En este caso el peso en rosca se estima a partir del peso de la chapa de acero dulce más un porcentaje de este peso que corresponderá a los refuerzos de la estructura y la cubierta, que al igual que en los casos anteriores será de madera.

Tabla 26: Peso de la estructura de la Nursery.

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	2.00	0.005	4	0.12	910.60
Chapa exterior grande	5.80	2.00	0.005	4	0.23	1,821.20
Chapa tanque	18.88	2.60	0.002	1	0.10	770.72
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		70.80	0.005	1	0.35	2,778.90
Chapa de fondo del tanque		28.37	0.002	1	0.06	445.39
Perfiles	10%	de las chapas				672.68
<b>TOTAL</b>						<b>7,399.49</b>

Tabla 27: Peso de la cubierta de la Nursery.

Cubierta				
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso (kg)
<b>Superficie</b>	42.43	0.02	1	585.53
<b>TOTAL</b>				<b>585.53</b>

A continuación, se estima el peso muerto de los tanques, para ello se considera que como máximo podrá haber 3 personas de 100 kg trabajando en cada plataforma y que cada tanque contendrá 71 m<sup>3</sup> de agua de mar y 16,894 alevines, considerando que cada alevín pesa 0.01 kg. Finalmente se obtiene un **peso en rosca de 7.985 T** y un **peso muerto de 73.201 T**.

En este caso el cálculo del empuje se realiza como el producto del área de flotación (70.80 m<sup>2</sup>) y el calado, así pues, se obtiene el siguiente resultado.

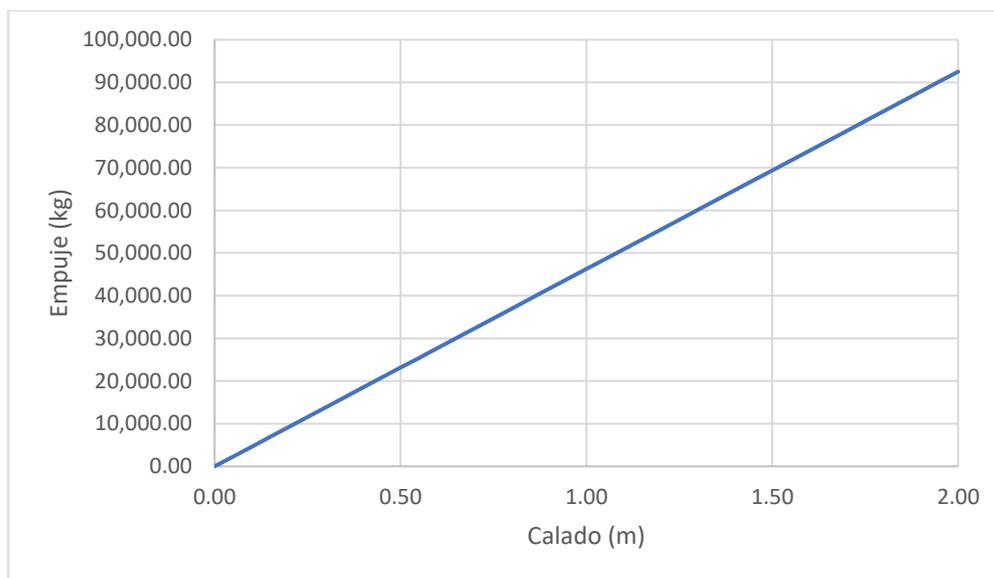


Ilustración 47: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (7.985 T)**, se tendrá un **calado de 0.11 m** y por tanto un **francobordo de 1.49 m**, y para la situación en **plena carga (81.186 T)** un **calado de 1.00 m** y un **francobordo de 0.60 m**.

### 7.5.Hatchery

Estas plataformas consistirán en un tanque que alojará los huevos y larvas de atún cubiertos por una caseta, al igual que en el caso de la nursery, la propia estructura será la que aporte el empuje necesario para que el conjunto flote, por lo que no será necesario el uso de flotadores cilíndricos. La planta de la plataforma consiste en un hexágono no regular, donde el lado más largo mide 10.22 m, el mediano 5.8 m y el pequeño 2 m; El puntal de esta plataforma será de 1.5 m. El tanque será cilíndrico, con fondo cónico, el diámetro exterior del cilindro será de 2.25 m, la altura de la zona cilíndrica 2 m, de los cuales únicamente 1.5 m estarán sobre la cubierta principal, la altura de la zona cónica será de 0.6 m. La caseta tendrá una planta octogonal, de 1.97 m de lado, y una altura de 3 m.

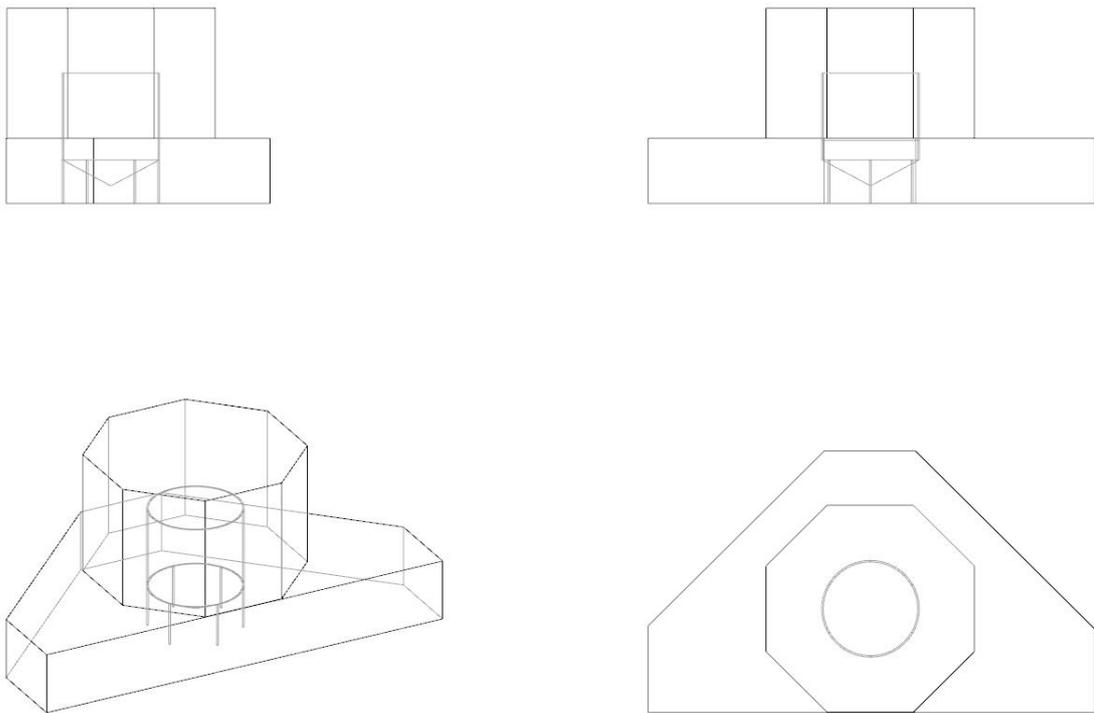


Ilustración 48: Esquema Hatchery sin escala

La **estimación de pesos** se realiza análoga al procedimiento seguido para la nursery.

Tabla 28: Peso de la estructura de la Hatchery.

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	1.50	0.005	3	0.07	512.21
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	2	0.09	682.95
Chapa Casco	10.22	1.50	0.005	1	0.08	601.70
Chapa tanque	7.92	2.00	0.002	4	0.13	994.35
Pared caseta	1.97	3.00	0.020	8	0.95	7,422.96
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		45.12	0.005	1	0.23	1,770.96
Techo caseta		18.82	0.020	1	0.38	2,954.74
Chapa cono tanque		4.77	0.002	1	0.01	74.87
Patatas tanque (10% peso tanque)						7.49
Perfiles (10% de las chapas)						356.78
<b>TOTAL</b>						<b>15,379.01</b>

Tabla 29: Peso de la cubierta de la Hatchery.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	
	35.79	0.02	1	493.90	
<b>TOTAL</b>				<b>493.90</b>	

A partir de los datos de la Tabla 28 y la Tabla 29 se estima un **peso en rosca** de **15.873 T**. Para estimar el peso muerto, se considera que podrá haber 3 personas de 100 kg trabajando en cada plataforma y que cada tanque contendrá 10 m<sup>3</sup> de agua de mar y un máximo de 200 kg de larvas, por lo que el **peso muerto** se estima de **10.750 T**.

Análogamente al caso anterior, siendo en este módulo el área de flotación de 45.12 m<sup>2</sup>.

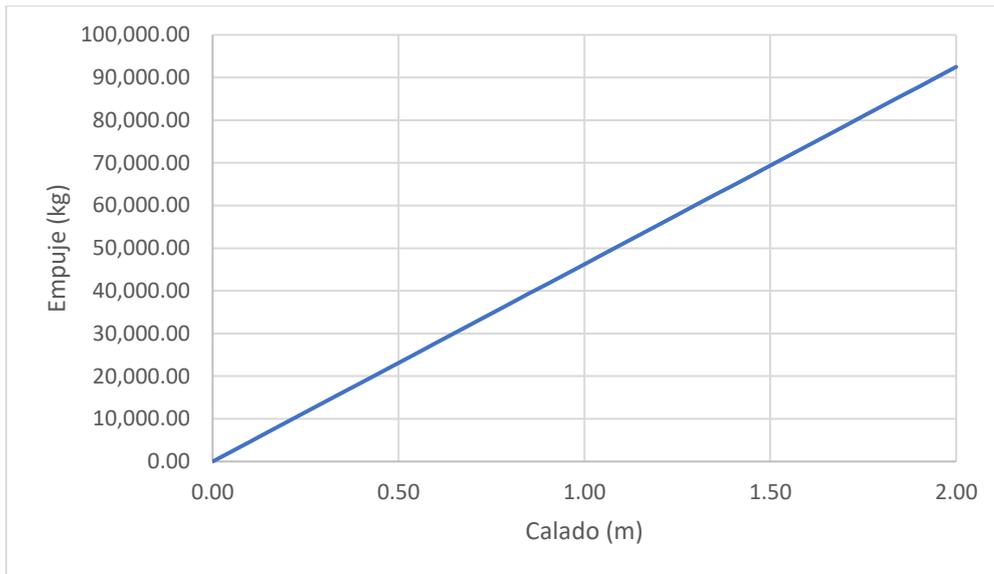


Ilustración 49: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (15.873 T)**, se tendrá un **calado de 0.34 m** y por tanto un **francobordo de 1.66 m**, y para la situación en **plena carga (26.623 T)** un **calado de 0.58 m** y un **francobordo de 1.42 m**.

## 7.6. Plataforma de Habilitación

La finalidad de la zona de habilitación será principalmente, servir como lugar de descanso, además también en este módulo se encontrarán talleres donde puedan llevarse a cabo pequeñas reparaciones, una zona de control, una planta de generación de energía para la plataforma y zonas para el almacenaje de repuestos. Las dimensiones principales se encuentran acotadas en la *Ilustración 50* y una propuesta de distribución del espacio disponible en este módulo en el *Anexo III*.

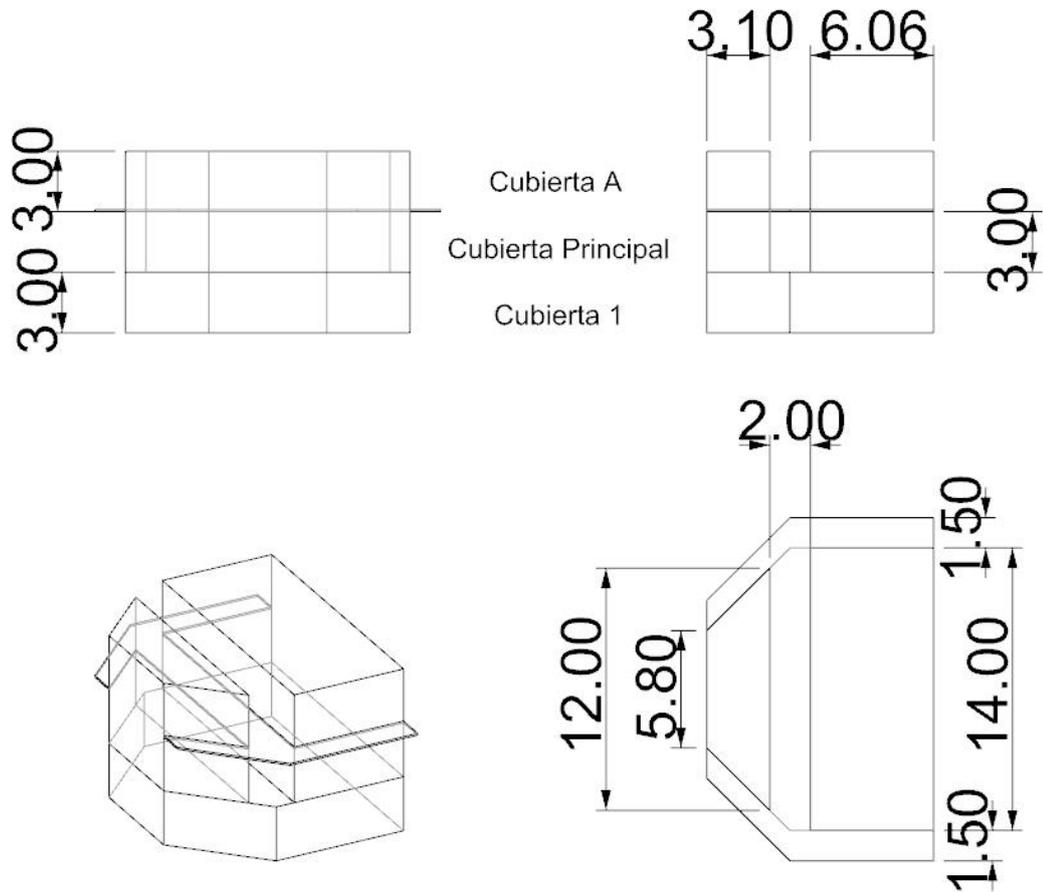


Ilustración 50: Esquema Habilitación sin escala.

En este caso, el peso se ha calculado basado en formulación desarrollada por distintos autores.

Así pues, el peso de acero se determina según las fórmulas aplicables del método de Lamb.

$$P_{casco} = L \cdot (B + T) + 0.85 \cdot L \cdot (D - T) + 0.85 \cdot (l_s \cdot h_s) + 0.75 \cdot (l_c \cdot h_c) \quad (13)$$

$$P_{superestructura} = 0.023 \cdot B \cdot (0.85 \cdot \sum(l_s \cdot h_s) + 0.75 \cdot \sum(l_c \cdot h_c)) \quad (14)$$

Donde:

L: Eslora = 11.16 m

$l_s$ : Longitud de la superestructura

B: Manga = 17 m

$h_s$ : Altura de la superestructura

T: Calado = 3 m (valor considerado)

$l_c$ : Longitud de la caseta

D: Puntal = 3 m

$h_c$ : Altura de la caseta

En este caso, los dos bloques son superestructura, por lo cual el término de las casetas no se considera.

Una vez estimado el peso de aceros del buque, queda por determinar el resto de los componentes, que configuran el peso en rosca del módulo, estos cálculos se realizarán a partir de diversas fórmulas propuestas en el libro “Proyectos de buques y artefactos. Cálculo del desplazamiento”

Motor diésel de emergencia:

$$Pq = 0.075 \cdot MCR(KW) + 300 \quad (15)$$

En esta expresión el MCR debe estar entre 5500 y 13000 KW, como no se conoce el valor real se toma un valor intermedio (9,250 KW).

Además, este valor se aumenta en un 30% ya que hay elementos como pueden ser los elementos de energías renovables o las baterías que no se han tenido en cuenta en este cálculo.

Otras consideraciones que se han tomado son los siguientes pesos:

- Subpavimento: 28 kg/m<sup>2</sup>
- Aislamiento antiacústico: 16 kg/m<sup>2</sup>
- Moqueta: 9 kg/m<sup>2</sup>
- Mamparos: 26 kg/m<sup>2</sup>
- Aseos: 500 kg/ud
- Cabina doble: 0.41 t/ud
- Cabina sencilla: 0.36 t/ud
- Techos: 17 kg/m<sup>2</sup>
- Otros componentes (p<sub>o</sub>) como ventanas, mobiliario de cocina mobiliario fuera de las cabinas, etc

$$P_o = 10.5 \cdot S_h + 400 \cdot N_R + 200 \cdot (N_A + N_{CI} + 2 \cdot N_{CD})/1000 \quad (16)$$

Siendo:

$S_h$ : Superficie de habitación

$N_R$ : Número de otros espacios

$N_A$ : Número de apartamentos

$N_{CI}$ : Número de cabinas individuales

$N_{CD}$ : Número de cabinas dobles

Tabla 30: Resumen pesos superestructura.

<b>Casco</b>	298.37	
<b>Superestructura</b>	29.39	kg
<b>Maquinaria</b>	1,291.88	kg
<b>Subpavimento</b>	9,444.12	kg
<b>Aislamiento antiacústico</b>	1,542.08	kg
<b>Moqueta</b>	1,260.00	kg
<b>Mamparos</b>	1,324.96	kg
<b>Aseo</b>	3,500.00	kg
<b>Cabina doble</b>	1,640.00	kg
<b>Cabina sencilla</b>	360.00	kg
<b>Techos</b>	1,911.31	kg
<b>Otros (Po)</b>	5.89	kg

De estos cálculos se estima el **peso en rosca** de **22.310 T**. Para la estimación del peso muerto se considera que habrá 9 personas de 100 kg cada una y un alimento que se considerará un 3% del peso de las 9 personas durante 30 días, por lo que se obtiene un **peso muerto** de **1,710 T**.

Análogamente al caso anterior, siendo en este módulo el área de flotación de 139.43 m<sup>2</sup>.

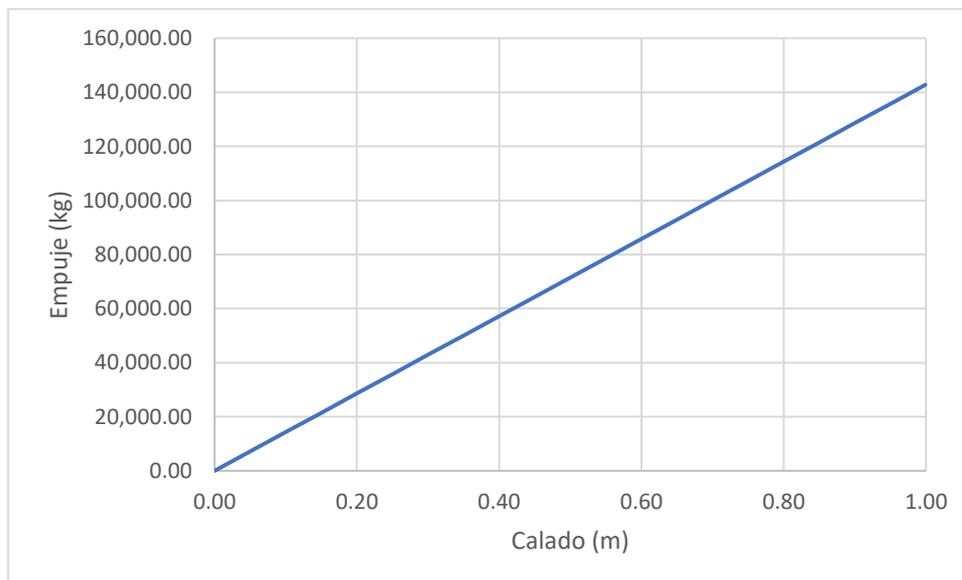
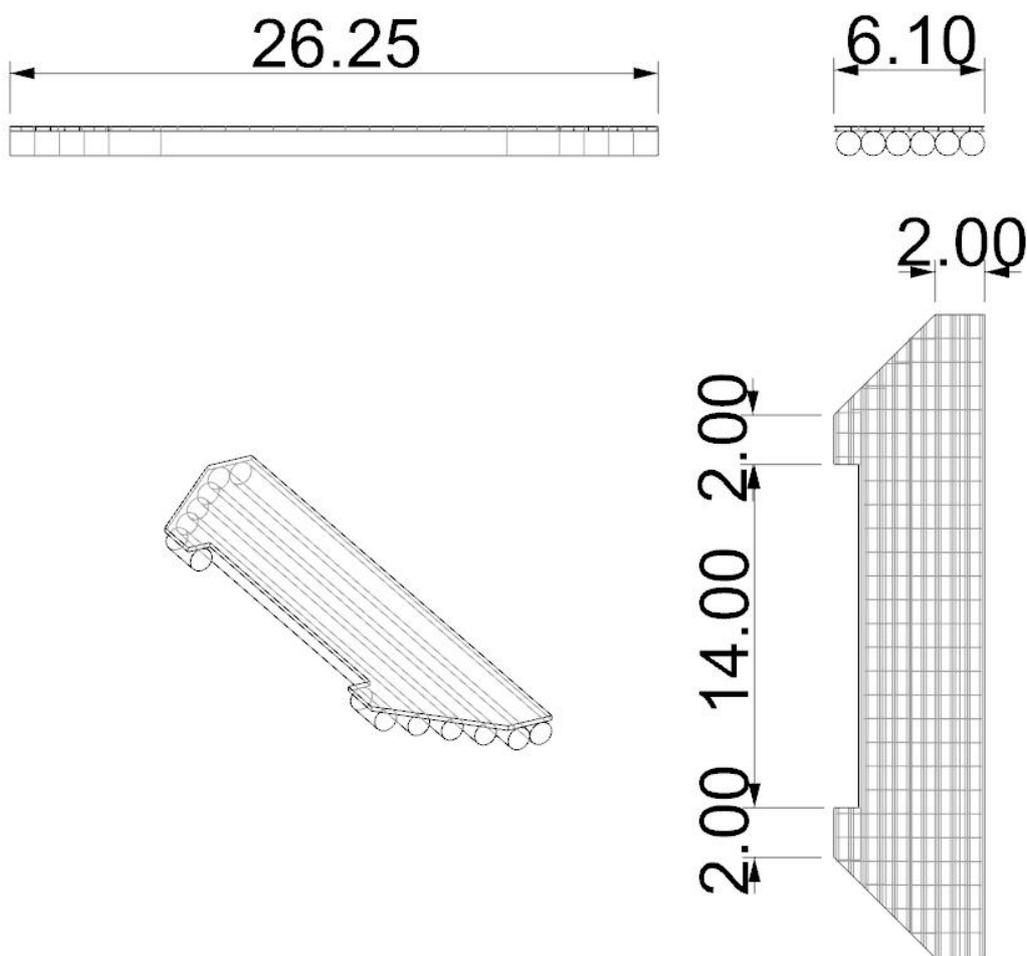


Ilustración 51: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (22.310 T)**, se tendrá un **calado** de **0.16 m** y por tanto un **francobordo** de **1.04 m**, y para la situación en **plena carga (24.200 T)** un **calado** de **0.17 m** y un **francobordo** de **1.03 m**.

### 7.7. Plataforma de muelle

La finalidad del muelle es permitir el atraque de las embarcaciones durante la carga de los atunes que se han pescado, o cuando sea necesario traer pertrechos o realizar cambios de tripulación. Las dimensiones principales se encuentran acotadas en la *Ilustración 52*. Al igual que en módulos anteriores, la estructura será de acero, formada por perfiles en I con una separación de 670 mm y perpendicular a estos, planchas con una separación de 1,000 mm, la cubierta será de madera, y dispondrá de flotadores de 1,000 mm de diámetro.



*Ilustración 52: Esquema del muelle. Ilustración sin escala.*

La **estimación de pesos** se realiza de forma análoga al cálculo que se ha realizado en las pasarelas.

Tabla 31: Estimación del peso de la estructura longitudinal

Estructura longitudinal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfil	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
I	0.2	0.2	26.25	0.005	1	412.13
	0.2	0.2	25.34	0.005	1	397.84
	0.2	0.2	24.18	0.005	1	379.63
	0.2	0.2	22.97	0.005	1	360.63
	0.2	0.2	21.8	0.005	1	342.26
	0.2	0.2	20.61	0.005	1	323.58
	0.2	0.2	2.72	0.005	2	85.41
	0.2	0.2	2.13	0.005	2	66.88
Plancha	0.0	0.2	26.25	0.002	1	82.43
	0.0	0.2	5.89	0.002	2	36.99
	0.0	0.2	2.13	0.002	2	13.38
<b>TOTAL</b>						<b>2,501.14</b>

Tabla 32: Estimación de pesos de la estructura transversal

Estructura transversal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfil	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Plancha	0.0	0.2	0.6	0.005	208	979.68
<b>TOTAL</b>						<b>979.68</b>

Tabla 33: Estimación del peso de la cubierta

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Superficie		129.3	0.02	1	1,784.34
<b>TOTAL</b>					<b>1,784.34</b>

Tabla 34: Estimación de peso de los flotadores

Flotador					
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Cilindro</b>	1	26.25	0.005	2	6,441.28
	1	24.25	0.005	1	2,975.26
	1	22.25	0.005	1	2,729.87
	1	20.25	0.005	1	2,484.49
	1	2.12	0.005	2	520.21
<b>Tapas</b>	1	0	0.005	139	4,284.94
<b>TOTAL</b>					<b>19,436.04</b>

Tabla 35: Estimación de otros pesos

Otros pesos			
	Peso unitario [kg/ud]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
<b>Bolardos</b>	114	3	342
<b>Defensas</b>	60	6	360
<b>TOTAL</b>	702.00		

Teniendo en cuenta estos resultados, y considerando que en el muelle puede haber como máximo 4 atunes de 80 kg y 6 personas, considerando el peso de una persona adulta 100 kg, se estima un **peso en rosca** de **25.403.2 T** y un **peso muerto** de **0.920 T**.

Análogamente al cálculo de las pasarelas, se calcula el empuje del muelle.

Tabla 36: Elementos que aportan flotación al muelle.

Cilindro	L (m)	NUMERO
<b>1</b>	26.25	2
<b>2</b>	24.25	1
<b>3</b>	22.25	1
<b>4</b>	20.25	1
<b>5</b>	2.12	2

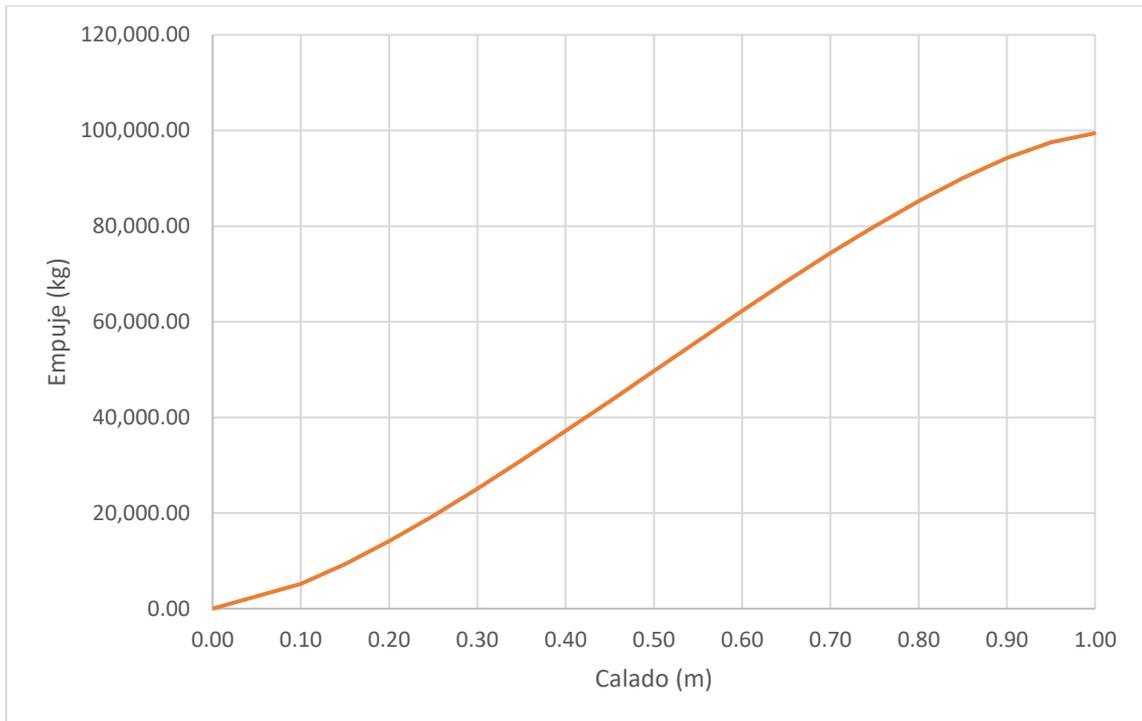
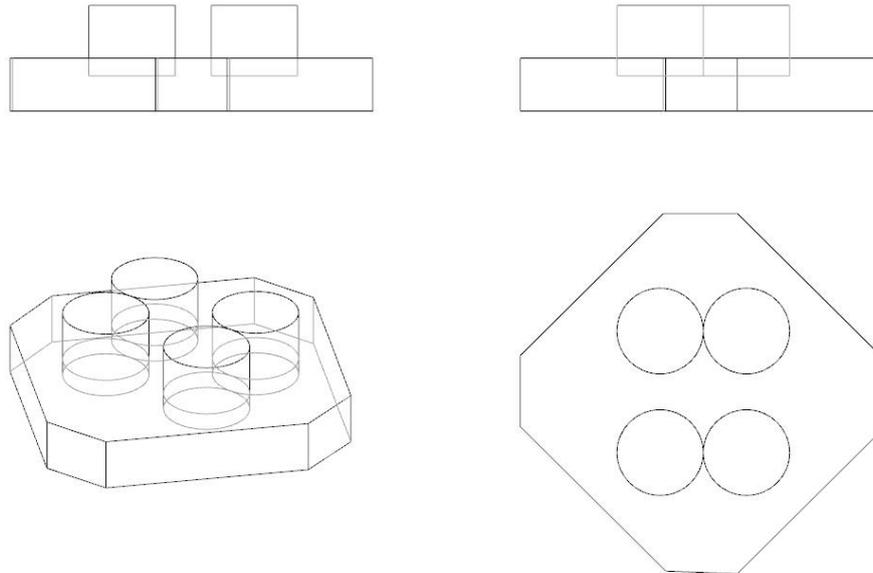


Ilustración 53: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

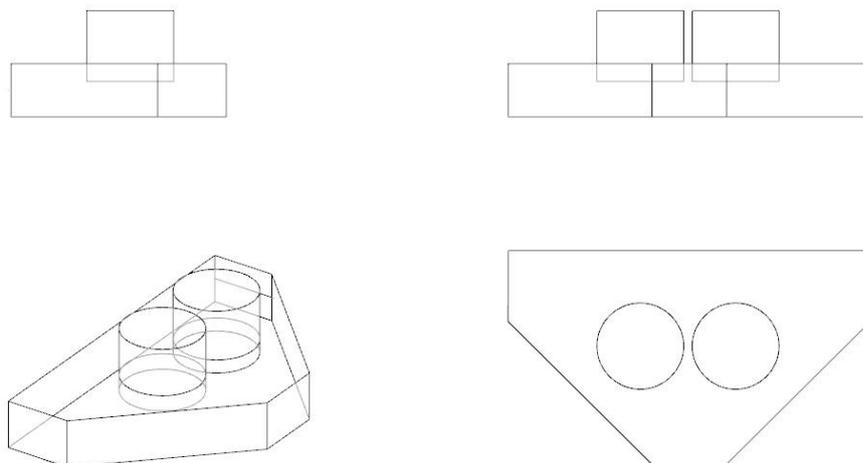
Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (25.403 T)**, se tendrá un **calado de 0.34 m** y por tanto un **francobordo de 0.86 m**, y para la situación en **plena carga (26.323 T)** un **calado de 0.31 m** y un **francobordo de 0.89 m**.

### 7.8. Plataforma par engorde de otras especies.

Estos módulos contendrán tanques para el engorde de diversas especies de peces que servirán como alimento para los atunes. Respecto a la forma, se distinguen las que son de planta octogonal (*Ilustración 54*), de las de planta hexagonal (*Ilustración 55*), las dimensiones en planta son iguales a las de los módulos de Nursery y Hatchery respectivamente, y con unos puntales de 1.5 m.



*Ilustración 54: Esquema de planta octogonal. Ilustración sin escala.*



*Ilustración 55: Esquema de planta hexagonal. Ilustración sin escala.*

Tabla 37: Estimación de pesos de la estructura en las plataformas de peces de planta octogonal

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	1.50	0.005	4	0.09	682.95
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	4	0.17	1,365.90
Chapa tanque	7.92	2.00	0.002	4	0.13	994.35
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		70.80	0.005	1	0.35	2,778.90
Chapa de fondo del tanque		4.99	0.002	4	0.04	313.22
Perfiles	10% de las chapas					613.53
<b>TOTAL</b>						<b>6,748.85</b>

Tabla 38: Estimación del peso de la cubierta en las plataformas de peces de planta octogonal

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Superficie		51.2	0.02	1	706.56
<b>TOTAL</b>					<b>706.56</b>

Teniendo en cuenta estos resultados, en el caso de las plataformas octogonales para peces, y considerando puede haber como máximo 200 kg de peces de diversas especies y 3 personas, considerando el peso de una persona adulta 100 kg, y 4 tanques de 10 m<sup>3</sup> de agua de mar cada uno, se estima un **peso en rosca de 7.455 T** y un **peso muerto de 41.500 T**.

Análogamente al cálculo de la nursery, siendo el área de flotación de 70.80 m<sup>2</sup>.

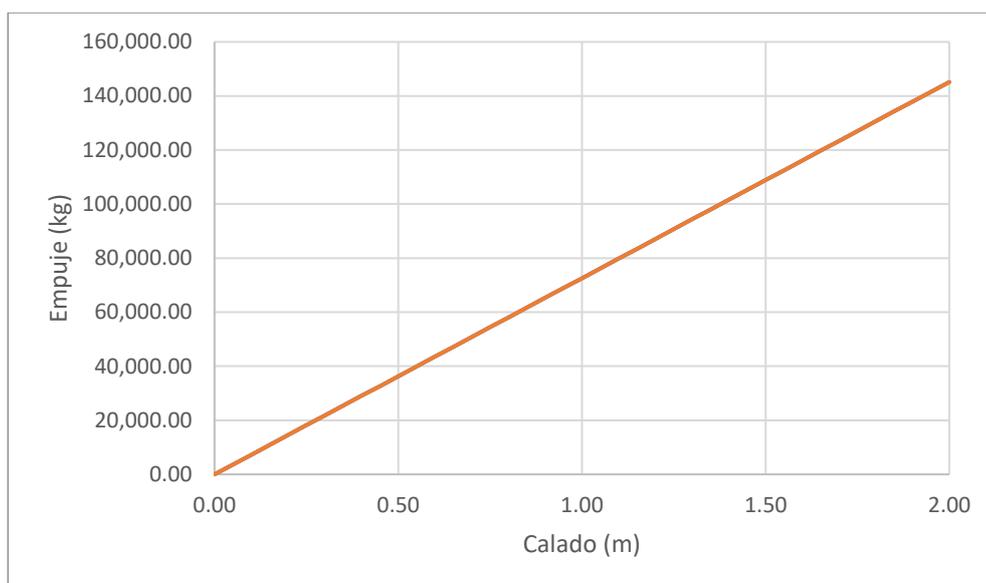


Ilustración 56: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (7.455 T)**, se tendrá un **calado de 0.10 m** y por tanto un **francobordo de 1.40 m**, y para la situación en **plena carga (48.955 T)** un **calado de 0.67 m** y un **francobordo de 0.83 m**.

Tabla 39: Estimación del peso de la estructura en las plataformas de peces de planta hexagonal

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	1.50	0.005	3	0.07	512.21
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	2	0.09	682.95
Chapa Casco	10.22	1.50	0.005	1	0.08	601.70
Chapa tanque	7.92	2.00	0.002	4	0.13	994.35
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		45.12	0.005	1	0.23	1,770.96
Chapa de fondo del tanque		4.99	0.002	4	0.04	313.22
Perfiles	10%	de las chapas				487.54
<b>TOTAL</b>						<b>5,362.94</b>

Tabla 40: Estimación del peso en la cubierta en las plataformas de peces de planta hexagonal

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Superficie	51.2	0.02	1	706.56	
<b>TOTAL</b>				<b>706.56</b>	

Teniendo en cuenta estos resultados, en el caso de las plataformas octogonales para peces, y considerando puede haber como máximo 200 kg de peces de diversas especies y 3 personas, considerando el peso de una persona adulta 100 kg, y 4 tanques de 10 m<sup>3</sup> de agua de mar cada uno, se estima un **peso en rosca de 6.070 T** y un **peso muerto de 41.500 T**.

Análogamente al cálculo de la hatchery, siendo el área de flotación de 45.12 m<sup>2</sup>.

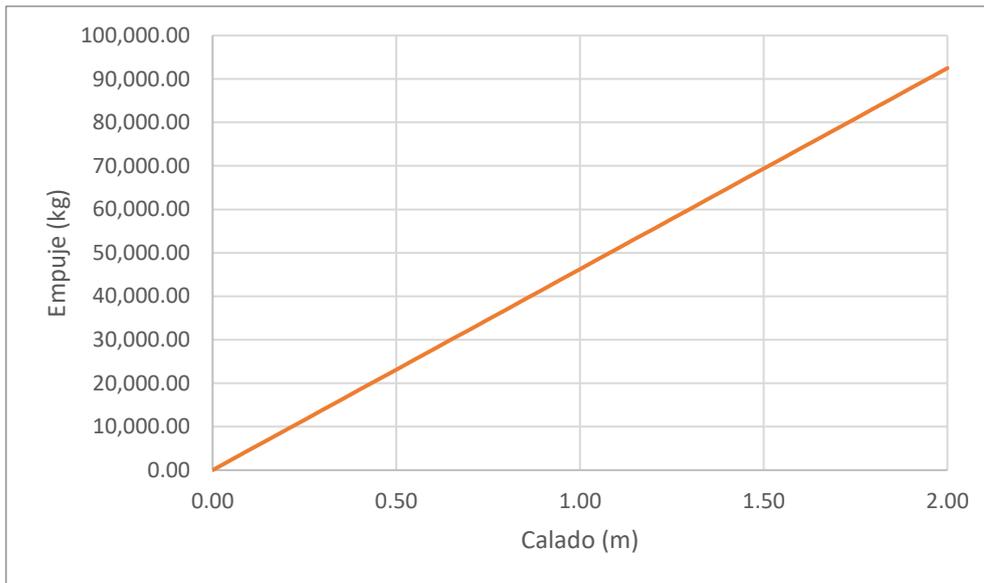


Ilustración 57: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (6.070T)**, se tendrá un **calado de 0.13 m** y por tanto un **francobordo de 1.37 m**, y para la situación en **plena carga (47.570 T)** un **calado de 1.03 m** y un **francobordo de 0.47 m**.

### 7.9. Plataforma para almacén de piensos

La finalidad de esta plataforma será el almacenaje de piensos para alimentar a aquellas especies que sirven como alimento a la especie objetivo, los atunes. La forma es de planta hexagonal de dimensiones iguales a la hatchery, y un puntal de 3 m.

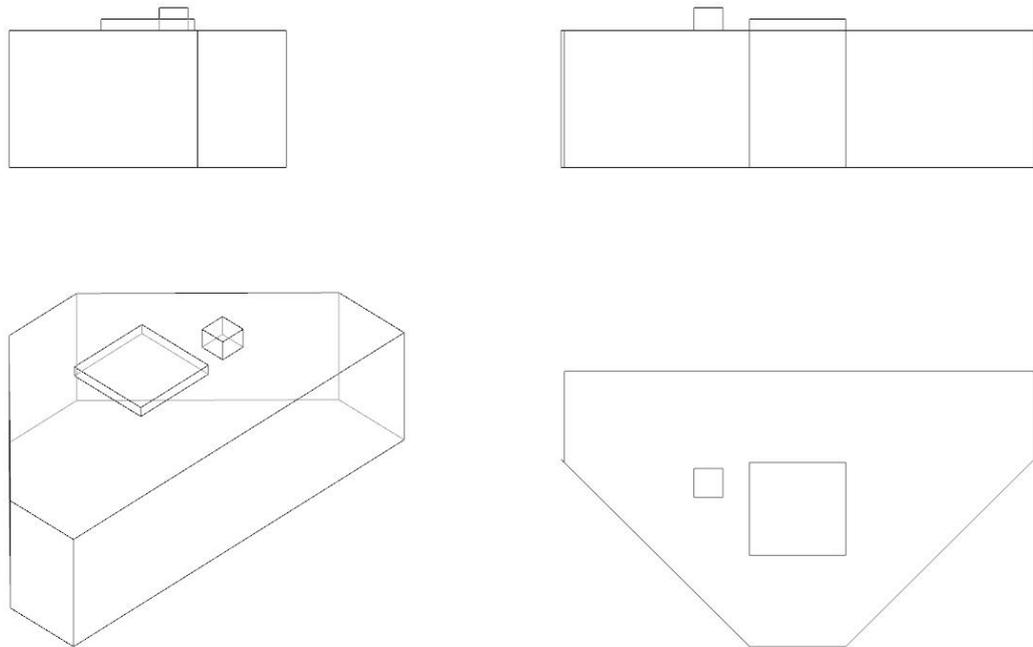


Ilustración 58: Esquema del almacén para piensos. Ilustración sin escala.

La estimación del peso de esta plataforma se ha realizado de forma análoga a los módulos anteriores, añadiendo algunas consideraciones como el peso de las brazolas de la escotilla ( $P_b$ ).

$$P_b = V_e \cdot 0.09 \quad (17)$$

Siendo  $V_e$  el volumen de la escotilla que, en este caso, es de  $1.06 \text{ m}^3$ .

Además, se añade un margen del 10% ya que habrá partidas que no están consideradas ya que se desconocen.

Tabla 41: Estimación del peso de la estructura en las plataformas para el almacén de pienso.

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	1.50	0.005	3	0.07	512.21
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	2	0.09	682.95
Chapa Casco	10.22	1.50	0.005	1	0.08	601.70
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]	
Chapa de fondo de la plataforma	45.12	0.005	1	0.23	1,770.96	
Escotilla						95.40
Perfiles		10%				356.78
Margen		10%				402.00
<b>TOTAL</b>						<b>4,422.01</b>

Tabla 42: Estimación del peso de la cubierta en las plataformas para el almacén de pienso.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
	35.79	0.02	1	493.90	
<b>TOTAL</b>				<b>493.90</b>	

Se considera que además tendrá capacidad para al menos 260 kg de pienso y 3 personas de 100 kg cada una. Por lo que finalmente se estima un **peso en rosca de 4.916 T** y un **peso muerto de 0.56 T**.

Análogamente los cálculos anteriores, siendo el área de flotación de 45.12 m<sup>2</sup>.

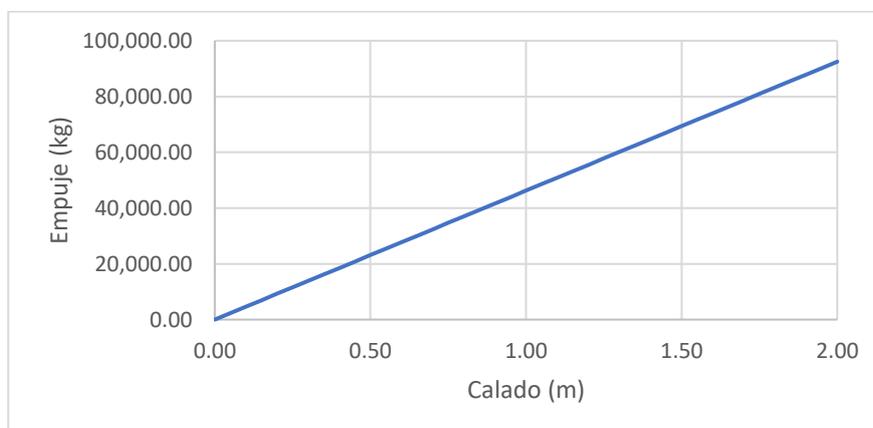
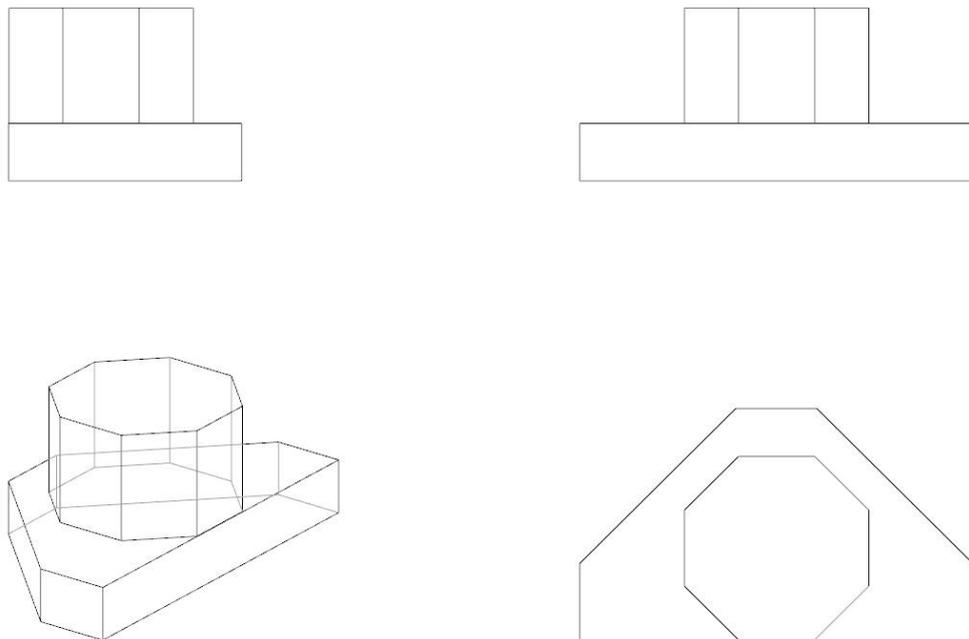


Ilustración 59: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (4.916 T)**, se tendrá un **calado de 0.11 m** y por tanto un **francobordo de 2.89 m**, y para la situación en **plena carga (5.476 T)** un **calado de 0.12 m** y un **francobordo de 2.88 m**.

### 7.10. Plataformas de laboratorios

En este módulo se dispondrán las instalaciones necesarias para el cultivo de las microalgas necesarias para las primeras fases de alimentación de los atunes. Las dimensiones en planta serán las que ya se han visto en otros módulos de planta hexagonal, el puntal en este caso será de 3 m y no dispondrá de flotadores, aunque si de una caseta sobre cubierta, igual a las empleadas en los tanques de alevines.



*Ilustración 60: Esquema del laboratorio. Ilustración sin escala.*

Tabla 43: Estimación del peso de la estructura del laboratorio.

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.90	1.50	0.005	3	0.07	512.21
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	2	0.09	682.95
Chapa Casco	10.22	1.50	0.005	1	0.08	601.70
Pared caseta	1.97	3.00	0.020	8	0.95	7,422.96
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		45.12	0.005	1	0.23	1,770.96
Techo caseta		18.82	0.020	1	0.38	2,954.74
Margen	30%					4,183.66
<b>TOTAL</b>						<b>18,129.18</b>

Tabla 44: Estimación del peso de la cubierta del laboratorio.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Superficie	45.12	0.02	1	622.66	
<b>TOTAL</b>				<b>622.66</b>	

Se considera que además tendrá capacidad para 3 personas de 100 kg cada una. Por lo que finalmente se estima un **peso en rosca de 18.752 T** y un **peso muerto de 0.3 T**.

Se considera que además tendrá capacidad para al menos 260 kg de pienso y 3 personas de 100 kg cada una. Por lo que finalmente se estima un **peso en rosca de 4.916 T** y un **peso muerto de 0.56 T**.

Análogamente los cálculos anteriores, siendo el área de flotación de 45.12 m<sup>2</sup>.

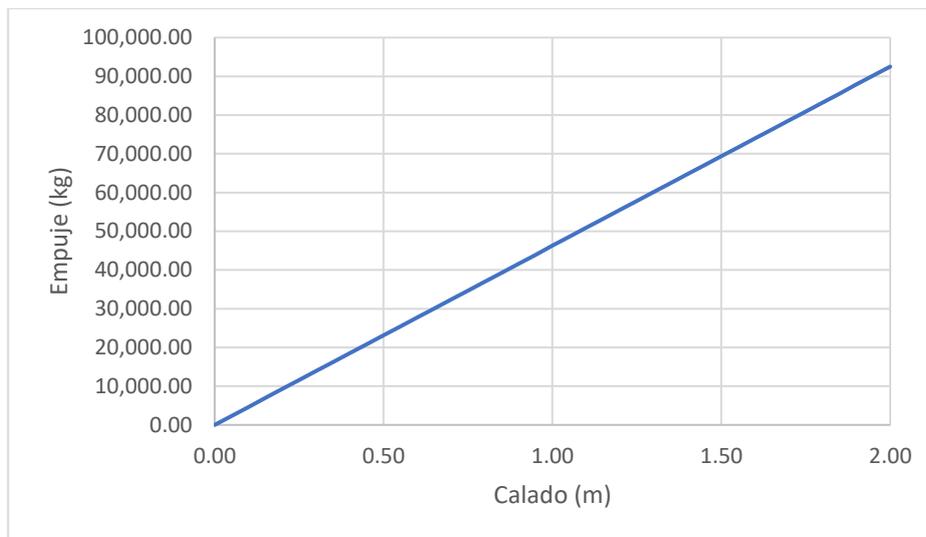
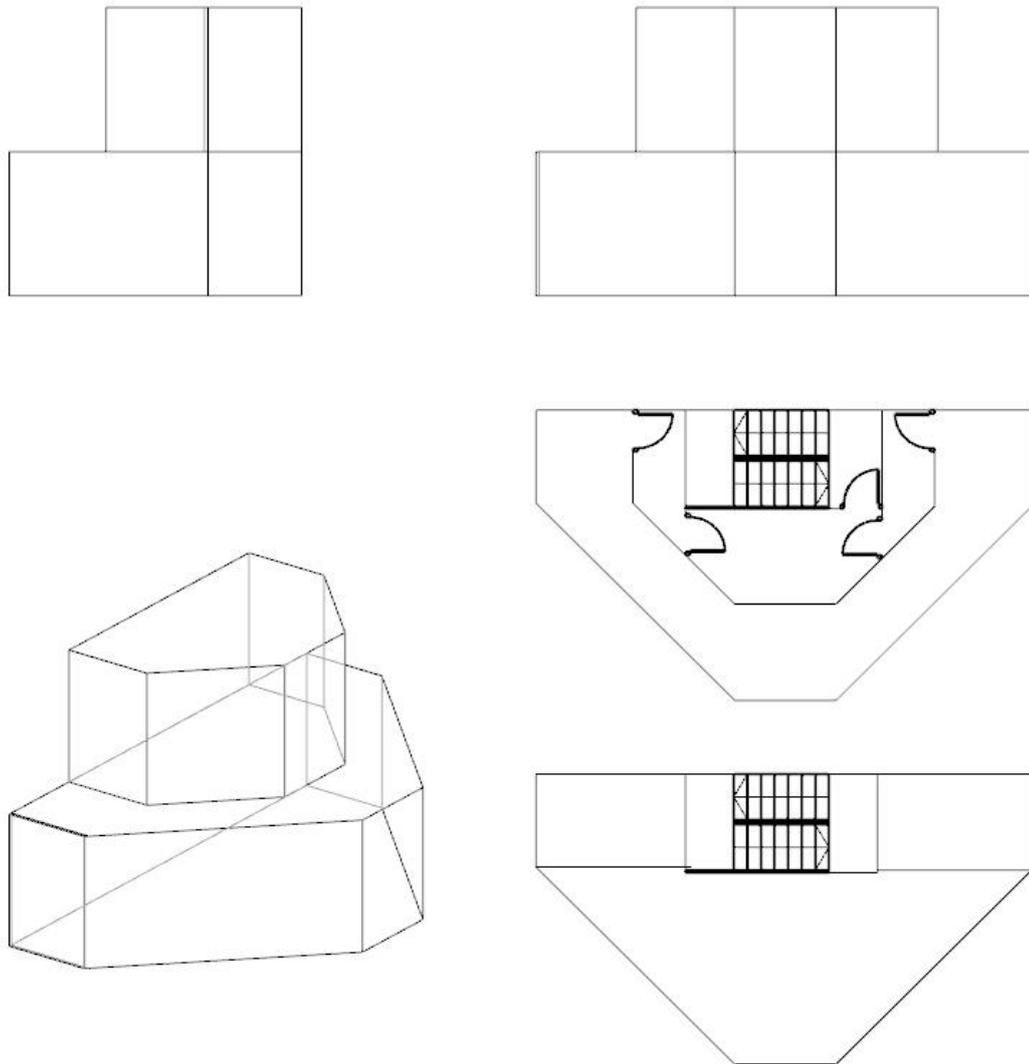


Ilustración 61: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (18.752 T)**, se tendrá un **calado de 0.41 m** y por tanto un **francobordo de 2.59 m**, y para la situación en **plena carga (19.052 T)** un **calado de 0.41 m** y un **francobordo de 2.59 m**.

### 7.11. Plataforma de veterinario

Esta plataforma servirá para llevar el seguimiento del estado de los peces de la piscifactoría, así como para analizar las distintas causas de muerte de éstos, lo cual permitirá introducir posteriores mejoras tanto en el diseño como en la operación de la instalación. Las dimensiones de la planta son iguales a las de otros módulos con una planta hexagonal, en este caso con un puntal de 3 m; además cuenta con una caseta cuya altura también será de 3 m, de planta hexagonal no regular, cuyo lado más largo mide 6.22 m, el más corto 2 m, y el intermedio 2.87 m.



*Ilustración 62: Esquema del veterinario. Ilustración sin escala.*

La estimación del peso de esta plataforma se ha realizado de forma análoga a los cálculos anteriores. Además, se añade un margen del 30% que cubra todos los elementos que no se han considerado.

Tabla 45: Estimación del peso de la estructura del veterinario.

Estructura						
Material	Acero		Densidad	7,850	kg/m <sup>3</sup>	
	Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa exterior pequeña	2.00	1.50	0.005	3	0.05	353.25
Chapa exterior grande	5.80	1.50	0.005	2	0.09	682.95
Chapa Casco	10.22	1.50	0.005	1	0.08	601.70
Pared caseta larga	6.22	3.00	0.020	1	0.37	2,929.62
Pared caseta media	2.97	3.00	0.020	2	0.36	2,797.74
Pared caseta corta	2.00	3.00	0.020	3	0.36	2,826.00
		Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
Chapa de fondo de la plataforma		45.12	0.005	1	0.23	1,770.96
Techo caseta		18.82	0.020	1	0.38	2,954.74
Margen	30%					3,057.38
<b>TOTAL</b>						<b>17,974.34</b>

Tabla 46: Estimación del peso de la cubierta del veterinario.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Cubierta plataforma	45.12	0.02	1	622.66	
<b>TOTAL</b>				<b>622.66</b>	

Se considera que además tendrá capacidad para 5 atunes de 80 kg cada uno y 3 personas de 100 kg cada una. Por lo que finalmente se estima un **peso en rosca de 18.597 T** y un **peso muerto de 0.70 T**.

Análogamente los cálculos anteriores, siendo el área de flotación de 45.12 m<sup>2</sup>.

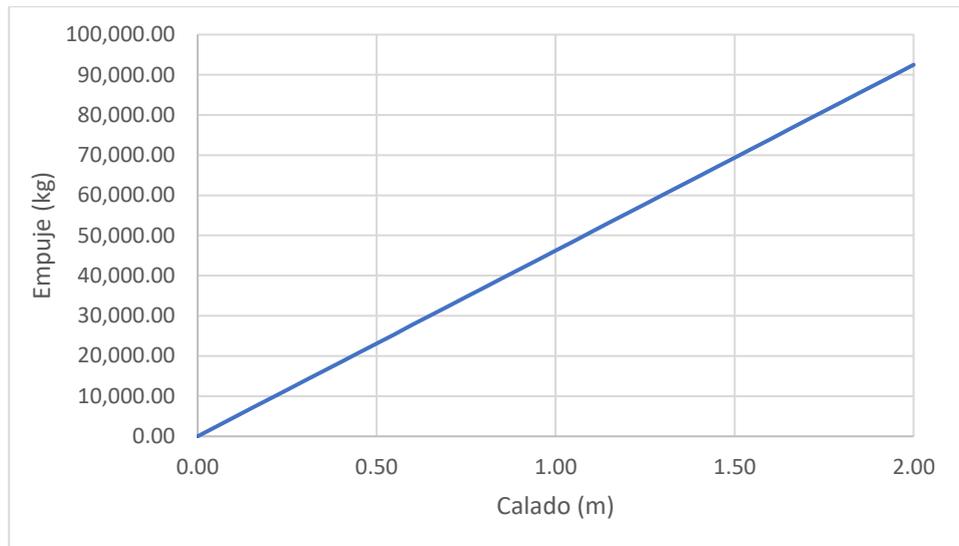


Ilustración 63: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado del módulo se obtiene que, para la situación en **rosca (18.597 T)**, se tendrá un **calado de 0.40 m** y por tanto un **francobordo de 2.60 m**, y para la situación en **plena carga (19.297 T)** un **calado de 0.42 m** y un **francobordo de 2.58 m**.

## 7.12. Plataforma de Buzos y ROV

Estas plataformas, de planta hexagonal, que flotan gracias a unos flotadores cilíndricos de 1m de diámetro. Estas plataformas cuentan con unos contenedores (2.6x2.4x6.1 m) sobre cubierta en los cuales se guardarán las botellas y otros elementos necesarios para su operación, así como el propio *Remote Operated Vehicle* (ROV) -Vehículo operado a distancia- y los controles necesarios.

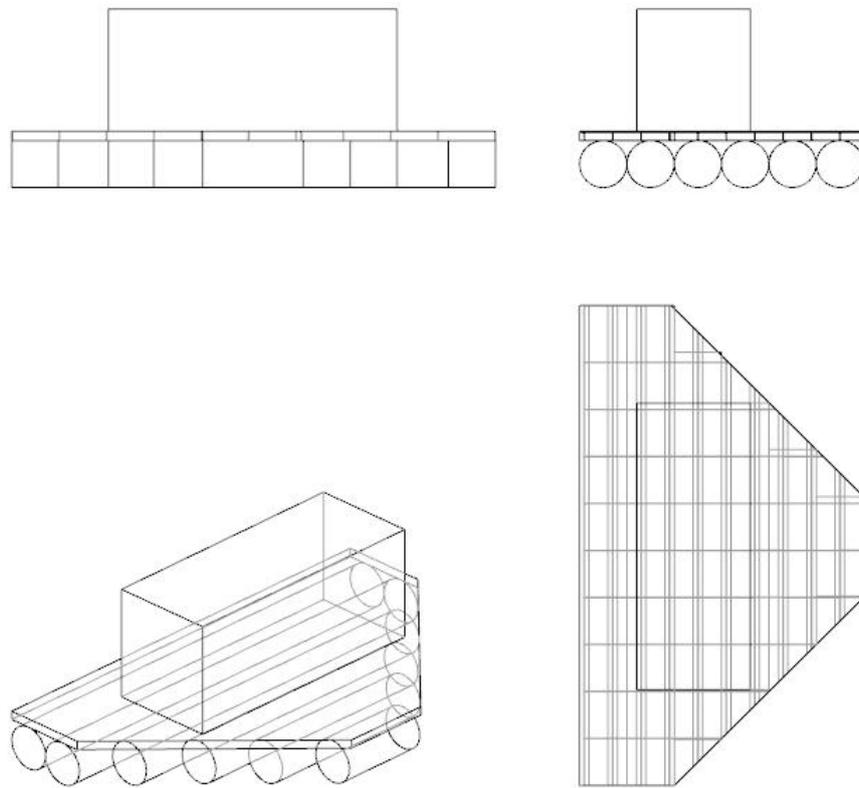


Ilustración 64: Esquema de la plataforma del ROV y de los buzos. Ilustración sin escala.

Tabla 47: Estimación del peso de la estructura longitudinal.

Estructura longitudinal						
Material	Acero		Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
I	0.2	0.2	2.09	0.005	1	32.81
	0.2	0.2	3.31	0.005	1	51.97
	0.2	0.2	4.49	0.005	1	70.49
	0.2	0.2	5.69	0.005	1	89.33
	0.2	0.2	6.87	0.005	1	107.86
	0.2	0.2	8.05	0.005	1	126.39
	0.2	0.2	9.2	0.005	1	144.44
	0.2	0.2	10.22	0.005	3	481.36
Plancha	00	0.2	10.22	0.002	1	32.09
	0.0	0.2	2.09	0.002	1	6.56
	0.0	0.2	5.7	0.002	1	17.90
<b>TOTAL</b>						<b>1,161.20</b>

Tabla 48: Estimación del peso de la estructura transversal.

Estructura transversal						
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>		
Perfiles	Ala [m]	Alma [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Plancha	0	0.2	0.6	0.005	74	348.54
<b>TOTAL</b>						<b>348.54</b>

Tabla 49: Estimación del peso de la cubierta.

Cubierta					
Material	Teca	Densidad	690.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Área [m <sup>2</sup> ]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]	
Superficie	45.12	0.02	1	622.66	
Container				2,000.00	
<b>TOTAL</b>				<b>2,622.66</b>	

Tabla 50: Estimación del peso de los flotadores.

Flotador					
Material	Acero	Densidad	7850.00	kg/m <sup>3</sup>	
	Diámetro exterior [m]	Longitud [m]	Espesor [m]	Cantidad [ud]	Peso [kg]
Cilindro	1	2.21	0.005	1	271.15
	1	4.15	0.005	1	509.17
	1	6.1	0.005	1	748.41
	1	8.24	0.005	1	1,010.97
	1	10.22	0.005	2	2,507.80
Tapas	1		0.005	52	1,603.00
<b>TOTAL</b>					<b>6,650.50</b>

Estos pesos que se han estudiado en las tablas anteriores serán iguales tanto para la plataforma del ROV como para la de los buzos, ya que únicamente se distinguirán en los elementos que contienen, por lo que se estima que el **peso en rosca** de cada una de estas plataformas será de **10.782 T**.

En el caso de la plataforma del ROV se considera que podrá haber 3 personas de 100 kg cada una, un escritorio (30 kg), ordenador (10 kg), y un margen del 10% de estos pesos que

se ha añadido en concepto de otros elementos que puedan ser necesarios, además del ROV que se considera que pesa 395 kg. El **peso muerto** en la plataforma del ROV, por tanto, se estima de **0.739 T**.

En el caso de la plataforma para los buzos, se considera que podrá haber 3 personas de 100 kg cada una, un escritorio (30 kg), ordenador (10 kg), las botellas para los buzos (200 kg cuando están llenas) y un margen del 10% de estos pesos que se ha añadido en concepto de otros elementos que puedan ser necesarios. El **peso muerto** en la plataforma de los buzos, por tanto, se estima de **0.564 T**.

Análogamente los cálculos anteriores de las pasarelas, se realiza el cálculo del empuje.

Tabla 51: Elementos que aportan flotación a la plataforma.

Cilindro	Longitud [m]	Cantidad [ud]
1	2.21	1
2	4.15	1
3	6.1	1
4	8.24	1
5	10.22	2

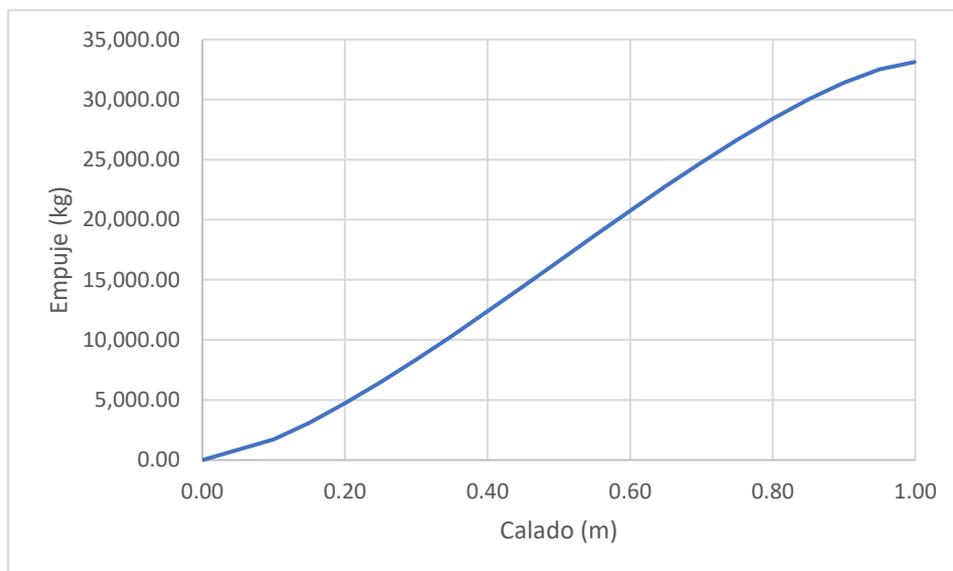


Ilustración 65: Empuje obtenido en función del calado. Cálculos realizados suponiendo trimado = 0°.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado de la plataforma del **ROV** se obtiene que, para la situación en **rosca (10.782 T)**, se tendrá un **calado** de **0.36 m** y por tanto un **francobordo** de **0.84 m**, y para la situación en **plena carga (11.521 T)** un **calado** de **0.38 m** y un **francobordo** de **0.82 m**.

Entrando en esta gráfica con el peso que se ha estimado de la plataforma destinada a los **buzos** se obtiene que, para la situación en **rosca (10.782 T)**, se tendrá un **calado** de **0.36 m** y por tanto un **francobordo** de **0.84 m**, y para la situación en **plena carga (11.346 T)** un **calado** de **0.38 m** y un **francobordo** de **0.83 m**.



## 8. AUTOSOSTENIBILIDAD

En el *Capítulo 2.4*, se ha definido aquello que se busca con la condición de que la piscifactoría sea autosostenible, que básicamente consiste en cubrir la mayor parte de la cadena trófica dentro de la instalación y el uso de energías renovables como fuente principal para la operación de la piscifactoría. La primera parte se ha tenido en cuenta en el capítulo correspondiente a la selección de la especie, por lo que este capítulo únicamente se centrará en la autosostenibilidad energética; para ello se realizará en primer lugar un estudio de los distintos tipos de energías disponibles, seguido de un estudio de las necesidades energéticas de cada módulo (balance eléctrico), así como de una selección del tipo de energía que se considera óptima para cada uno.

### 8.1. Energías renovables

La RAE define la energía renovable como la energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable. Esto es así bien por la gran cantidad de energía que contienen, como ocurre, por ejemplo, con la energía solar, o bien por poderse regenerar de forma natural, por ejemplo, la energía de la biomasa [32].

Si bien el impacto de las energías renovables es considerablemente menor al de las formas de obtener energías más convencionales, no se puede obviar este efecto. Así pues, al quemar la biomasa para obtener energía se emitirán gases de la combustión, o en el caso de las presas hidráulicas y los aerogeneradores, se verá afectada la fauna de la zona. Por lo cual es importante no confundir las energías renovables con energías limpias, que son aquellas que no generan residuos, ni pensar que su impacto será nulo.



Energía solar



Energía eólica



Energía del mar



Biomasa

*Ilustración 66: Principales energías renovables que se van a considerar*

## **Energía solar**

El sol se considera el origen de todas las energías renovables, ya que provoca las diferencias de presión que pueden dar origen a los vientos, fuente de la energía eólica, ordena el ciclo del agua, que utiliza la energía hidráulica, las plantas de las cuales se obtiene la biomasa se sirven de éste para realizar sus funciones vitales y además se puede aprovechar su energía directamente [33].

El término energía solar, hace referencia al aprovechamiento de la energía que proviene directamente del sol. Esta energía puede aprovecharse básicamente de tres formas distintas. El método más antiguo consiste en aprovechar la radiación solar sin la utilización de ningún dispositivo o aparato intermedio, mediante la adecuada ubicación, diseño y selección de los materiales, este método no podrá emplearse ya que la ubicación ya viene dada por otros criterios. Las otras dos alternativas consisten en transformar la energía en energía térmica, aprovechando la radiación solar para calentar agua mediante colectores solares, o en energía eléctrica mediante paneles que aprovechan el efecto fotovoltaico (efecto fotoeléctrico caracterizado por la producción de corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a una radiación electromagnética, en este caso la luz solar) [34].



*Ilustración 67: Energía solar fotovoltaica*



*Ilustración 68: Energía térmica solar*

Los principales elementos necesarios en una instalación de energía solar fotovoltaica son [35]:

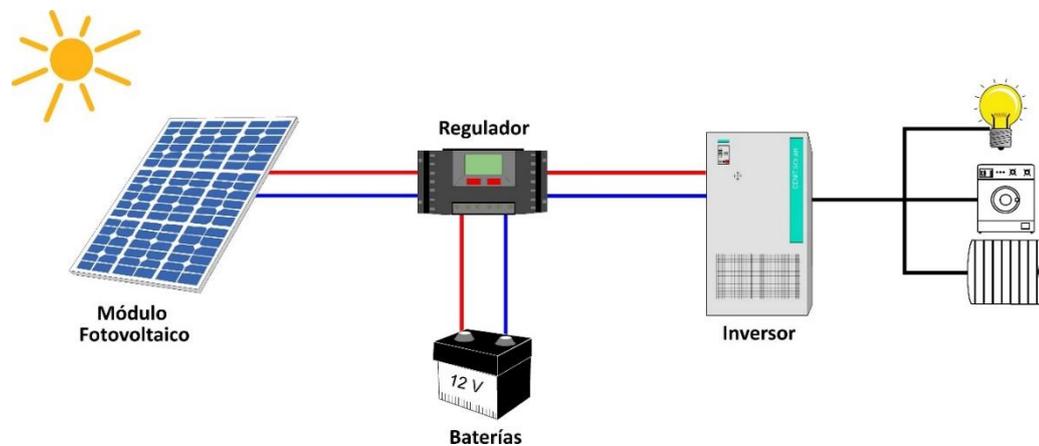


Ilustración 69: Esquema de una instalación aislada de energía solar fotovoltaica.

Paneles fotovoltaicos: Encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica. Están formados por un conjunto de células que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos.

Regulador: Encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. Además, controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula su intensidad para alargar la vida útil.

Baterías: Actúan como un dispositivo de almacenamiento energético permitiendo así la utilización eléctrica en cualquier momento, puesto que pueden suministrar una potencia instantánea o durante un tiempo limitado superior a la que los paneles podrían generar, además las baterías mantienen un nivel de tensión estable

Inversor: Encargado de convertir la corriente continua en alterna.

Los principales elementos necesarios en una instalación de energía termosolar son:

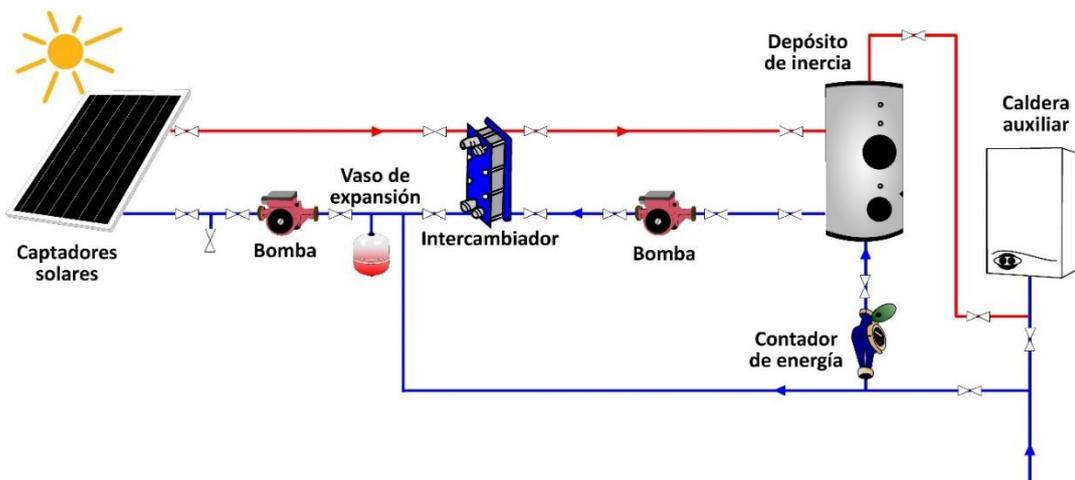


Ilustración 70: Esquema de una instalación termosolar

**Captadores solares:** Captan la energía solar para transmitirla al fluido que circula por ellos. Su aprovechamiento viene influido por la orientación, la inclinación o la ubicación en la que se encuentran.

**Acumuladores:** Su objetivo es almacenar la energía en forma de agua caliente para que pueda ser utilizada en los momentos de poca radiación

**Intercambiadores de calor:** Se encarga de transferir el calor del fluido de los captadores al agua sanitaria del acumulador sin que estos líquidos se mezclen

**Bombas de circulación:** Se encargan de suministrar al fluido una cantidad de energía suficiente para transportar el fluido a través de un circuito.

**Vaso de expansión:** Absorbe las dilataciones del fluido contenido en un circuito cerrado producidas por aumentos de temperatura.

### **Energía eólica**

La energía eólica hace referencia a la energía obtenida a partir de la energía cinética del viento. Ésta puede emplearse directamente, como se aprovecha desde la antigüedad en las embarcaciones propulsadas a vela, o utilizarse para generar electricidad a través de los aerogeneradores [36].

El viento son corrientes de aire generadas por el calentamiento desigual de la superficie de la tierra. El aire caliente asciende, arrastrando el aire más frío proveniente de una región vecina, al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para repetir el ciclo.

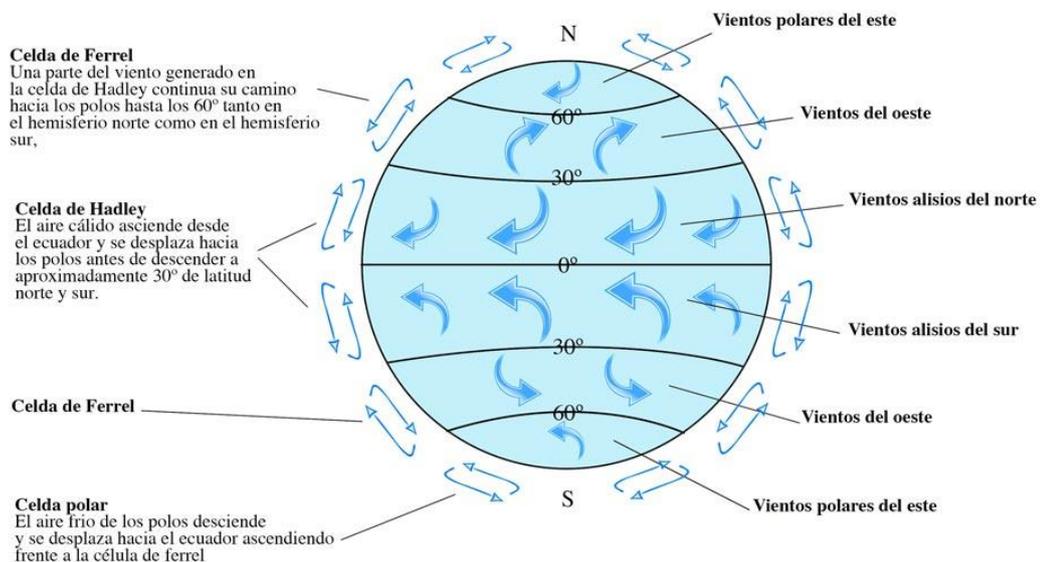


Ilustración 71: células de circulación de los principales vientos

Los aerogeneradores pueden clasificarse según su potencia, como se muestra en la Tabla 52, o según la posición de su eje, que puede ser horizontal o vertical, en la Ilustración 72 se muestran diversos ejemplos de aerogeneradores.

Tabla 52: Clasificación de los aerogeneradores según su potencia

Denominación	Potencia (kW)	Radio (m)	Aplicaciones
<b>Muy baja</b>	< 1	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación, ...
	[1,10)	[1,3)	Granjas, viviendas aisladas (sistemas energía eólica-fotovoltaica), bombeo, ...
<b>Baja</b>	[10,100)	[3,9)	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos energía eólica-diésel), drenaje, tratamiento de aguas, ...
<b>Media</b>	[100,1000)	[9,27)	Parques eólicos (terreno complejo)
<b>Alta</b>	[1000,10000)	[27,81)	Parques eólicos (terreno llano mar, adentro)
<b>Muy alta</b>	> 10000	> 81	Fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. Suponen un salto tecnológico



Ilustración 72: Ejemplos de distintos tipos de aerogeneradores

Una instalación eólica aislada, requiere, además de los aerogeneradores que permiten transformar la energía cinética en energía eléctrica, de los siguientes elementos.

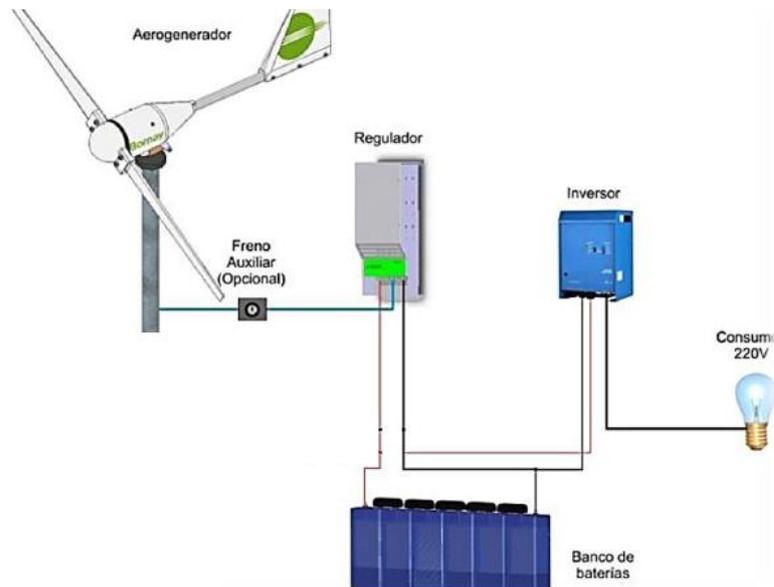
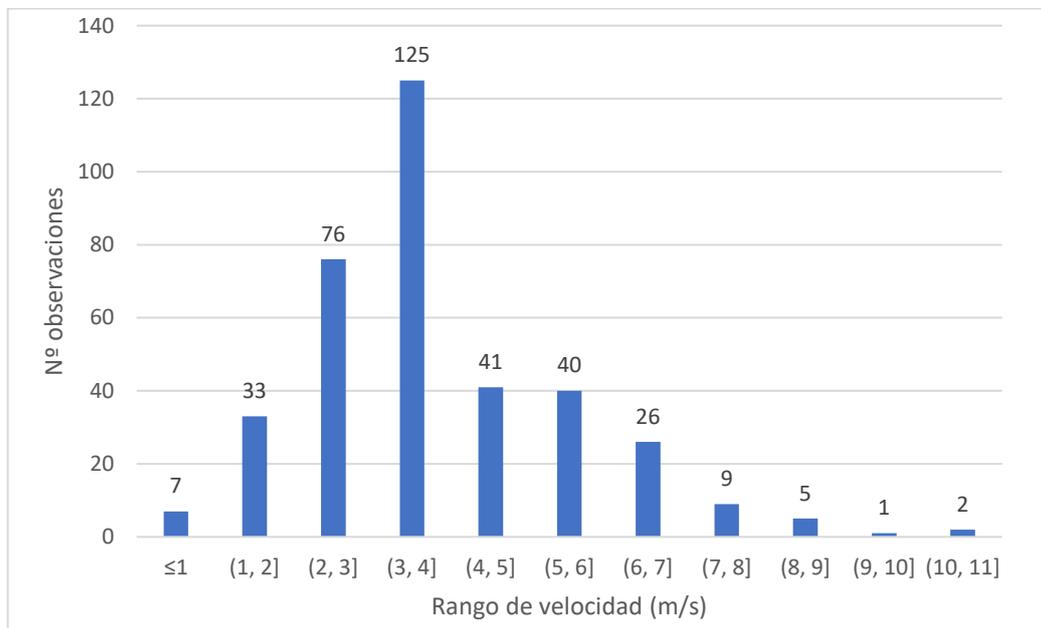


Ilustración 73: Esquema de una instalación eólica aislada

Se observa que este sistema es análogo al de una instalación fotovoltaica aislada, por lo que en muchas ocasiones ambos sistemas se encuentran unidos en uno solo de forma que se complementen. Cabe destacar que en el caso de emplear un sistema híbrido eólico y solar, habría que añadir las placas solares y su regulador antes de las baterías y del inversor, es decir, cada sistema tendrá su propio regulador.

Este recurso no se estudió con las condiciones del entorno, por lo que se ha buscado datos de viento para ver si sería o no recomendable el uso de este recurso. Para ello se han cogido los datos de viento del 2018 [37] y se han organizado en rangos en función de las distintas velocidades, obteniéndose la *Ilustración 74*.



*Ilustración 74: Histograma de velocidad de viento*

Se observa que lo más habitual es que la velocidad del viento esté alrededor de los 3.5 m/s. Asimismo, también se ha observado que la mayoría de los aerogeneradores de pequeña y mediana potencia, tienen una velocidad de arranque entre 2 y 3 m/s; y una velocidad nominal alrededor de los 12 m/s. Por tanto, se puede intuir que el aprovechamiento de esta tecnología será bastante deficiente en la ubicación seleccionada.

### **Energía del mar**

El mar es el conjunto de la masa de agua salada que cubre la mayor parte de la superficie del planeta tierra, y es el medio donde se encuentra la instalación [38]. Las energías del mar aprovechan la potencia de esta masa de agua para convertirla en electricidad. Se extrae principalmente de la fuerza de las olas, las mareas, las corrientes, la salinidad y también la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo marino [39].

Las olas pueden ser de diversos tipos y formarse por distintas causas, siendo las debidas al viento y por tanto a la radiación solar las que más energía contienen, por lo cual serán las más interesantes para obtener energía eléctrica. Además, las olas tienen la capacidad de desplazarse grandes distancias prácticamente sin pérdida de energía.

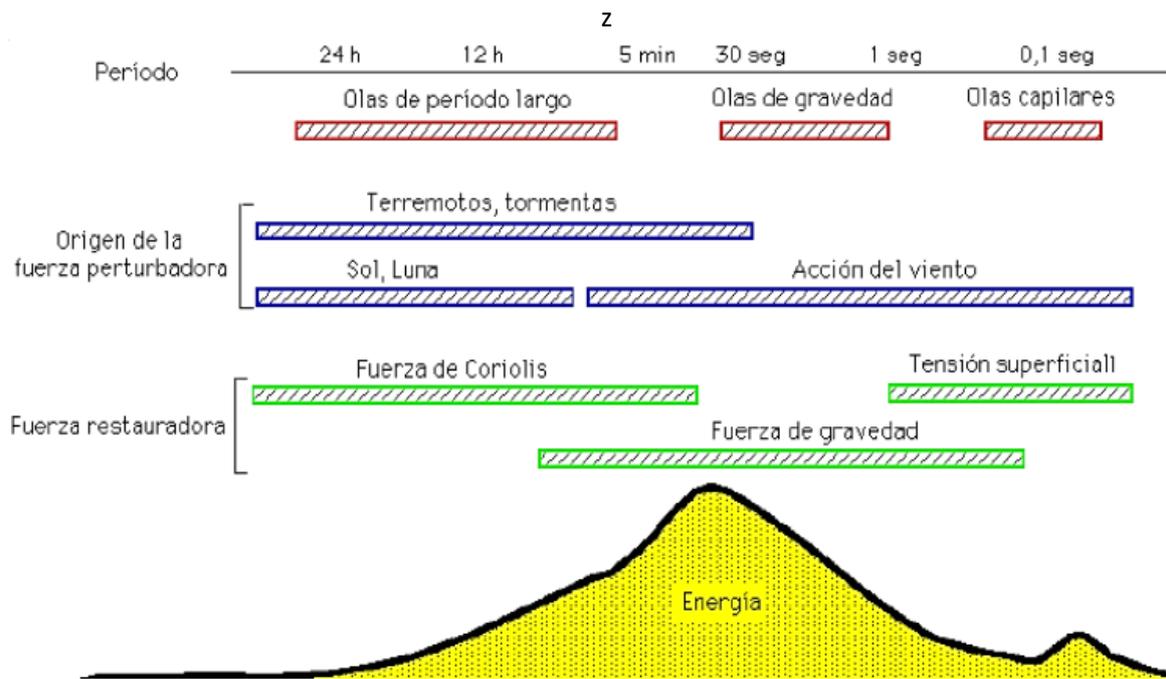


Ilustración 75: Energía de las olas según su periodo, origen y fuerza restauradora [40]

Los sistemas undimotrices, se clasifican según si se aprovecha el empuje de la ola, la variación de la altura en la superficie o la variación de la presión bajo la superficie.

Dentro de estos sistemas se van a tratar únicamente aquellos que pueden estar a más de 50 m de la costa, ya sean flotantes, sumergidos o apoyados en el fondo. Así pues, entre los sistemas que aprovechan el empuje de las olas destaca el Wave Dragon, entre los que aprovechan la variación de altura de las olas se encuentra el sistema PELAMIS y el Power Buoy, y finalmente entre los que aprovechan la variación de presión bajo la superficie destaca el sistema Archimedes como queda recogido en la *Ilustración 75*.

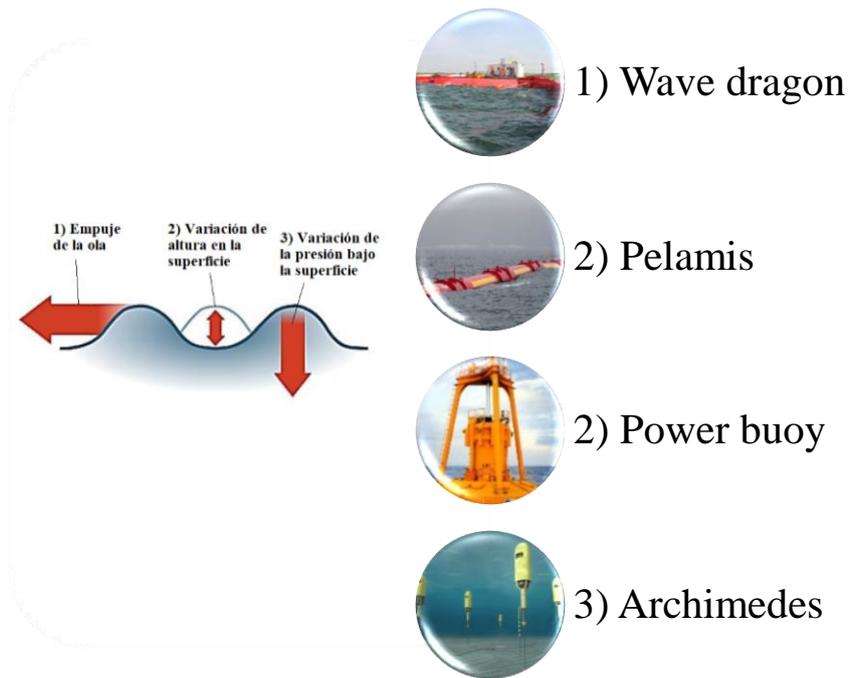


Ilustración 76: Ejemplos instalaciones undimotrices [40]

Las mareas, son la fluctuación periódica del nivel de los océanos debida, principalmente, a la fuerza de atracción gravitatoria que ejercen tanto la luna como el sol, siendo mucho más apreciable el efecto de la luna, también la presión atmosférica puede producir mareas denominadas mareas barométricas.

La energía mareomotriz, aprovecha este movimiento de ascenso y descenso periódico de los océanos capturando el agua en el momento de marea alta o pleamar y liberándola a través de unas turbinas durante la bajamar.

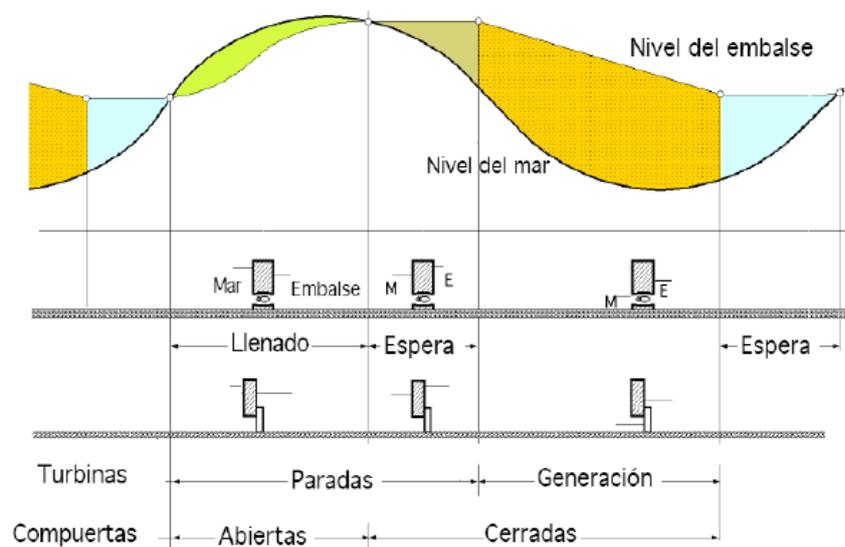


Ilustración 77: Funcionamiento de una central mareomotriz de simple efecto [40]

Como un ejemplo de sistema que aprovecha la energía de las mareas se destaca la central de la ría del Rance (Bretaña, Francia). Se observa que este tipo de sistemas se encuentran muy cerca de tierra por lo cual no será válido para este proyecto, además en la ubicación de la piscifactoría las mareas serán prácticamente nulas.

Las corrientes marinas son grandes masas de agua que se desplazan influenciadas por los vientos, afectando a la distribución de salinidad y temperatura de los océanos. Se distinguen las corrientes superficiales, que representan el 10% del agua del océano (hasta los 400 m), estas pueden ser cálidas o frías, y las corrientes de agua profunda que representa el 90% del agua del océano (a partir de los 400 m).

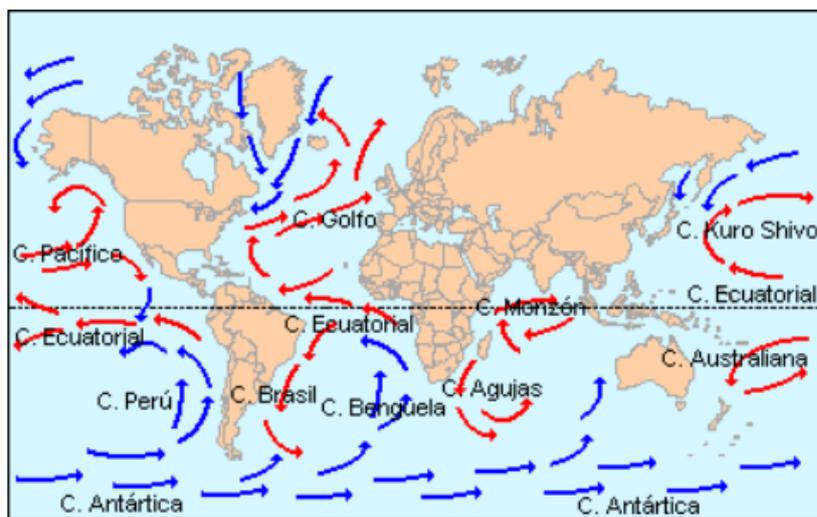
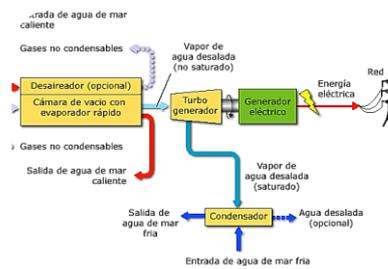


Ilustración 78: Corrientes superficiales frías (azul) y cálidas (rojo)

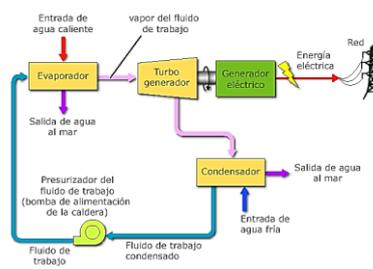
El aprovechamiento de las corrientes marinas se lleva a cabo mediante molinos, muy similares a los eólicos, ya que ambos fenómenos son muy parecidos, a excepción del fluido de trabajo ya que el agua es 832 veces más densa que el aire por lo que se requerirán diámetros mucho menores para generar una misma cantidad de energía. Las corrientes ideales están comprendidas entre 2 y 3 m/s, ya que corrientes de menor velocidad son antieconómicas y mayores pueden sobrecargar mecánicamente el equipo, por lo que difícilmente podrán emplearse estas tecnologías.

Finalmente, la energía maremotérmica, consiste en aprovechar la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie. Las instalaciones para obtención de energía maremotérmica pueden clasificarse en función de si siguen un ciclo Rankine abierto, cerrado o un ciclo híbrido.

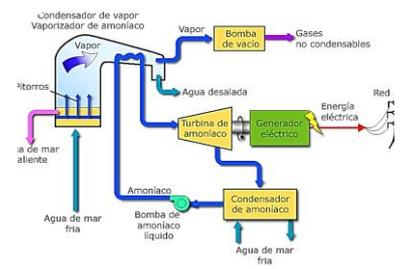
## Diseño de una instalación acuícola autosuficiente para el cultivo de especies pelágicas



Ciclo abierto



Ciclo cerrado



Ciclo híbrido

Ilustración 79: Clasificación de centrales mareomotrices según su ciclo [40]

Entre las instalaciones existentes que sirven como referencia se distinguen aquellas que están instaladas en una embarcación y aquellas consisten en un cilindro flotante.

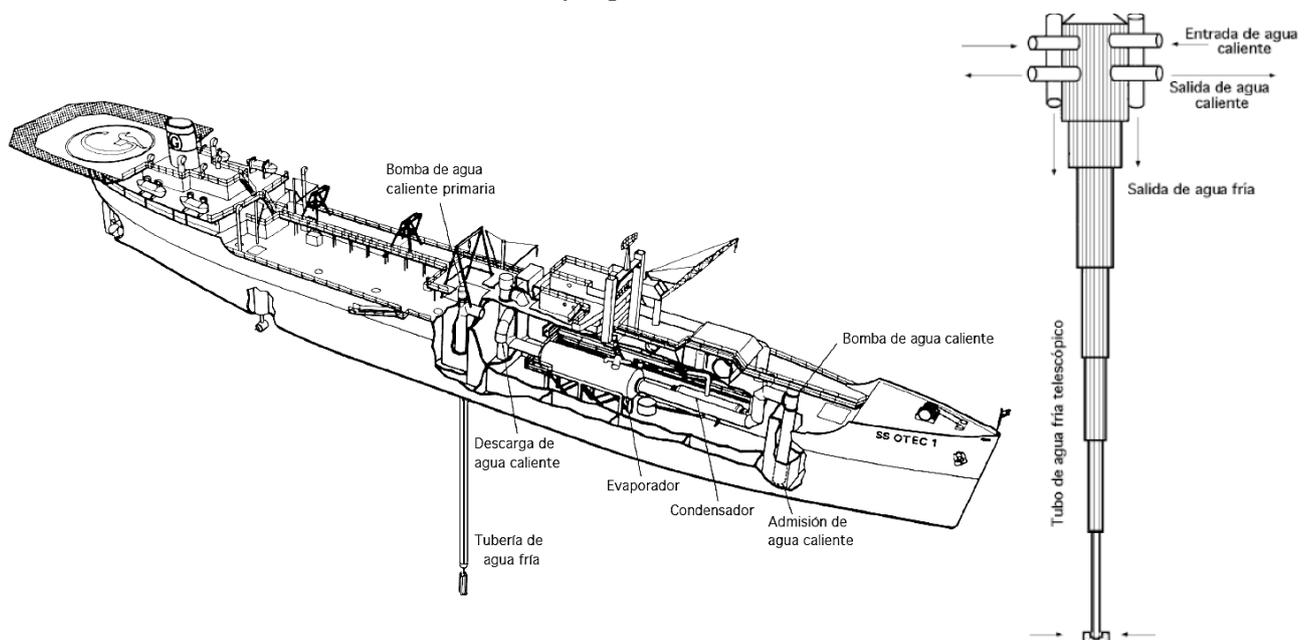


Ilustración 80: Ejemplos de centrales mareotérmicas

Sin embargo, para que estas instalaciones funcionen correctamente se requiere una diferencia de temperatura de al menos 20°C, cosa que ocurre en muy pocos lugares, por lo cual tampoco se empleará este sistema, pues no sólo no podría funcionar en el emplazamiento seleccionado, sino que además dificulta el poder emplear el mismo diseño en múltiples áreas del planeta.

## Energía de la biomasa

La biomasa es materia orgánica formada por hidratos de carbono y compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno producida en áreas de la superficie terrestre por organismos específicos que almacenan la energía solar. Por tanto, se entiende como energía de la biomasa la energía solar almacenada en seres vivos vegetales, por medio de la fotosíntesis o animales por medio de la digestión de estos vegetales u otros animales.

La biomasa puede obtenerse de residuos, ya sean urbanos, agrícolas, ganaderos o forestales, o de cultivos energéticos específicos para este fin. Y puede emplearse directamente en forma de calor o para producir electricidad, o bien puede transformarse en combustibles líquidos (bioalcohol) o gaseosos (biogás). Estas transformaciones pueden llevarse a cabo mediante distintos procesos como se muestra en la *Ilustración 81*.

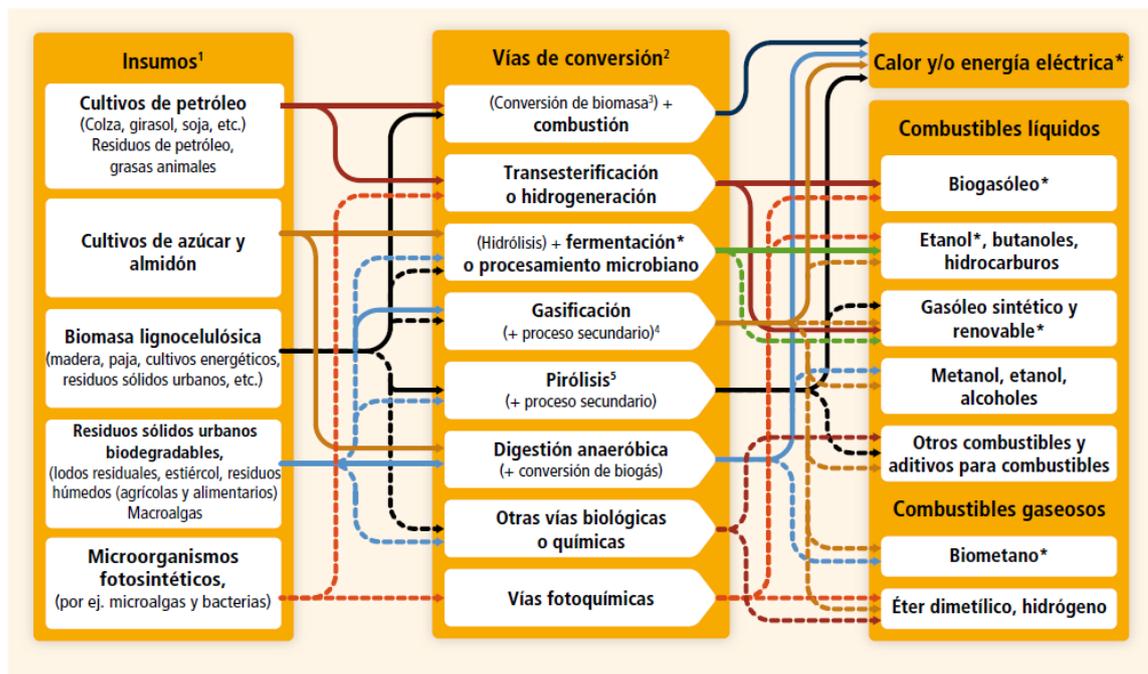


Ilustración 81: Transformaciones de la biomasa [41]

NOTAS:

- 1) Ciertas partes de cada insumo pueden ser utilizadas a lo largo de otras vías.
- 2) Cada vía de conversión puede generar también coproductos.
- 3) Las mejoras de la biomasa pueden consistir en procesos de densificación (por ejemplo, la granulación, la pirólisis, etc.).

- 4) Procesos de digestión anaeróbica de gases que pueden ser convertidos en biometano esencialmente el metano, que es el componente principal del gas natural
- 5) Pueden ser vías de procesamiento térmico diferentes, como los procesos hidrotérmicos, la licuefacción, etc. Otras vías químicas consisten, por ejemplo, en la reformación de fase acuosa (Éter dimelítico)

A pesar de que se han llevado a cabo investigaciones con residuos procedentes de piscifactorías y de descartes de la pesca, esta tecnología todavía no se encuentra muy desarrollada, especialmente para baja potencia.

Este tipo de energía podría considerarse un sustitutivo de los combustibles fósiles ya que la energía se obtiene a partir de un proceso de combustión, sin embargo, hay diferencias importantes, este recurso es renovable en tanto en cuanto no se abuse y se reponga en el caso de los cultivos, ayuda a reducir los desperdicios de diversas industrias y además no contiene sulfuros.

### **Impacto de las energías consideradas**

En general, el impacto de las energías renovables es mínimo sobre el medio ambiente, siendo los mayores impactos en las fases de fabricación y transporte de los sistemas y equipos.

En la *Ilustración 82* se muestra una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo de un ciclo de vida (en g CO<sub>2</sub>eq/kWh) para varios grupos generales de tecnologías de producción de electricidad, más otras tecnologías integradas con captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Se han excluido el cambio neto de las existencias de carbono vinculado al uso de la tierra (que concierne principalmente a la bioenergía eléctrica y a la hidroeléctrica generada en embalses) y los efectos de la gestión de tierras.

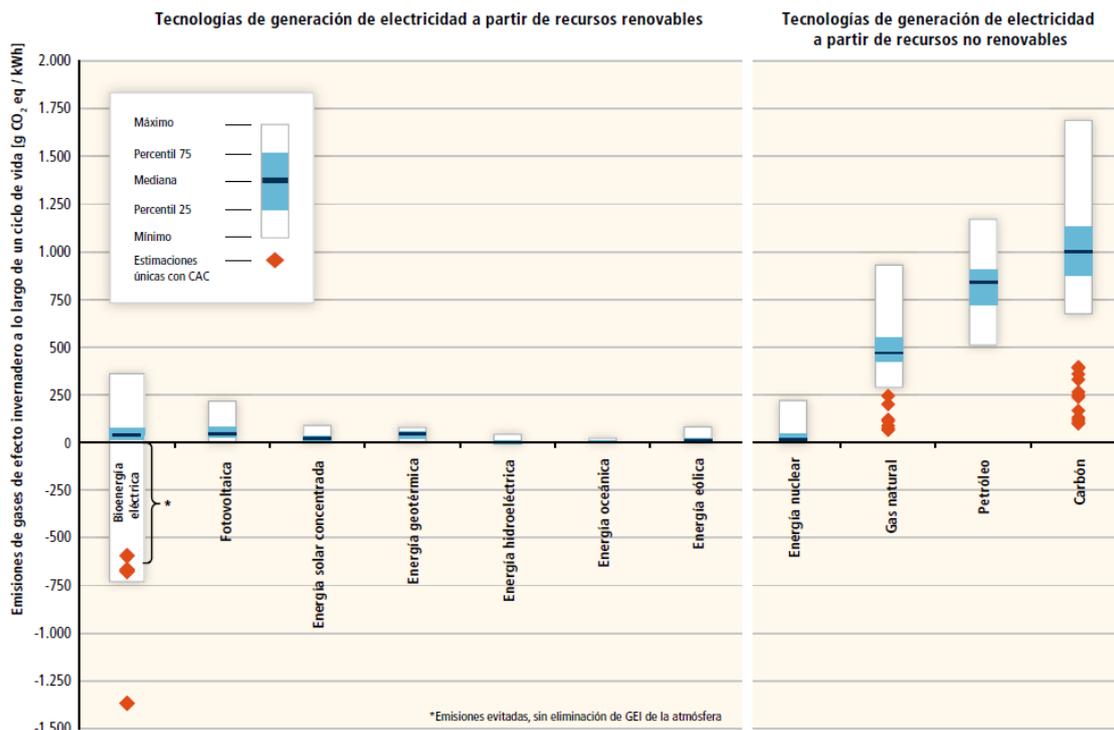


Ilustración 82: Emisiones de gases de efecto invernadero [41]

CAC: Captura y almacenamiento de dióxido de carbono.

Las estimaciones negativas de la bioenergía eléctrica están basadas en ciertos supuestos acerca de las emisiones evitadas en los residuos y desechos de vertedero y sus productos asociados,

### Selección de las tecnologías aplicables al proyecto

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, se llega a las conclusiones que se muestran a continuación:

- Es posible instalar un sistema que aproveche la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica.
- Es posible instalar un sistema eólico que permita aprovechar la energía del viento, sin embargo, en la ubicación seleccionada no resulta conveniente ya que no estará funcionando a su velocidad nominal. Pese a esto, habría que considerar esta opción en caso de instalar la piscifactoría en una zona más ventosa.
- Es posible instalar algún sistema que aproveche la energía de las olas, sin embargo, en el caso de un sistema del tipo Wave dragón o Pelamis, sería necesario realizar adaptaciones a la plataforma para que estuviesen integrados en la misma, y en el caso de un tipo Powerbuoy o Archimedes podrían instalarse de forma que proporcionasen la energía necesaria a la planta, pero no podrían integrarse en la instalación de forma que cada módulo tenga la máxima independencia del resto. Por esto no se considerará esta alternativa.

- No se puede aprovechar la energía de las mareas ya que, en el mediterráneo, donde estará ubicada la piscifactoría, estas son prácticamente nulas.
- No se puede aprovechar la energía de las corrientes, ya que se requiere una velocidad entre 2 y 3 m/s, y en la ubicación seleccionada no se alcanzan estas velocidades.
- No se puede aprovechar la energía maremotérmica ya que no se alcanza la diferencia de temperatura mínima necesaria.
- La tecnología de la biomasa no está desarrollada para aprovechar los residuos del sector de la pesca, que sería su principal ventaja, ya que es la que más gases de efecto puede producir a lo largo de su ciclo de vida, por tanto, tampoco se incluirá entre las opciones para esta instalación.

Por tanto, se diseñará el sistema de forma que se pueda operar lo máximo posible con energía solar. Para situaciones de emergencia puede plantearse tener un generador diésel de emergencia.

## 8.2. Balance eléctrico

Con la finalidad de conocer la potencia demandada por la instalación, se realizará un balance eléctrico [42]. Para ello se parte de la potencia consumida por cada consumidor, que se ha obtenido de distintos catálogos de fabricantes y cuando esto no ha sido posible se ha estimado un valor aproximado, la cual se reduce en función de un coeficiente de utilización ( $K_u$ ), que se define como el producto del coeficiente de simultaneidad ( $K_n$ ), que refleja el número de equipos de respeto, y el coeficiente de servicio y régimen ( $K_{rs}$ ), que representa la probabilidad de que una máquina esté trabajando a su potencia máxima y como consecuencia absorba de la red esta potencia. Este cálculo se realiza para 3 situaciones, como se muestra en la *Ilustración 83*.

$$Potencia_{necesaria} = Potencia_{consumida} \cdot K_u = Potencia_{consumida} \cdot K_n \cdot K_{rs} \quad (18)$$

La suma de las potencias necesarias para cada elemento da como resultado la potencia necesaria para cada tipo de módulo (subtotal) y del conjunto de la piscifactoría (total).

A partir de la potencia necesaria se calcula la energía necesaria diaria como el producto de dicha potencia con el número de horas diarias de funcionamiento estimadas.

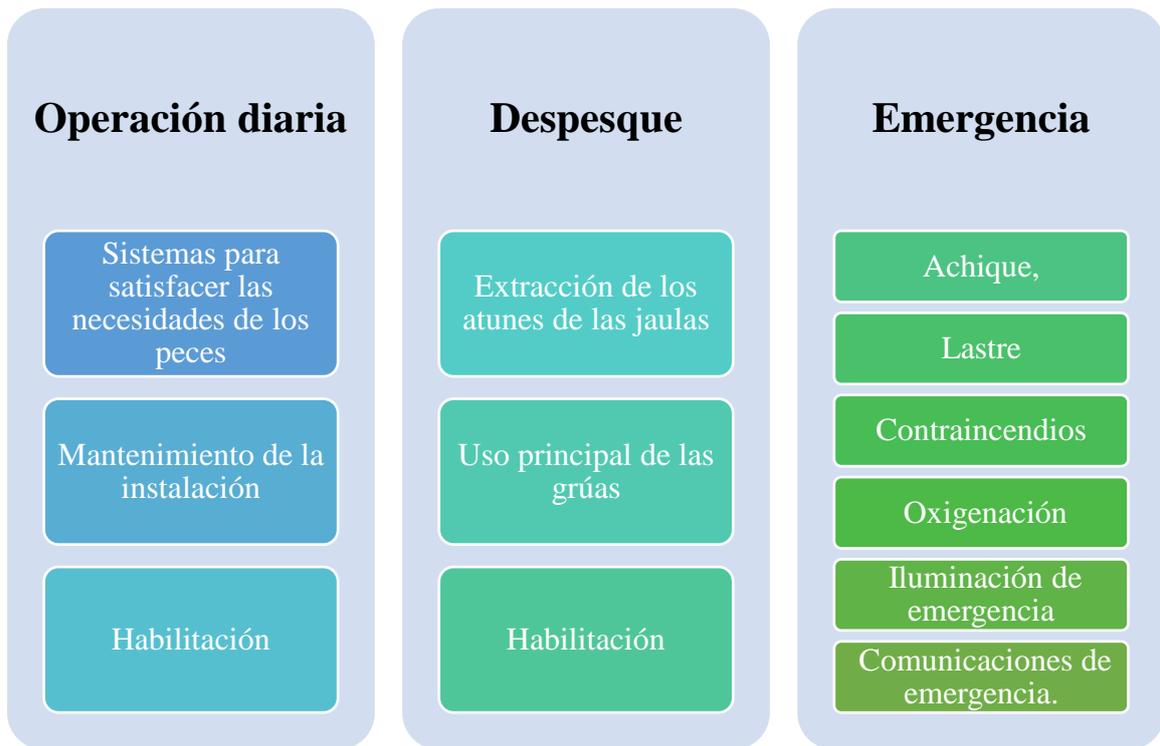


Ilustración 83: Situaciones de cálculo del balance eléctrico

Tabla 53: Balance eléctrico

Módulo	Sistema	N° elementos	N° en servicio	Consumo diario			Consumo despesque				Consumo emergencia							
				Consumo unitario [kW]	Pot consumida [kW]	Coef. Simultaneidad (Kn)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)				
Jaulas	Grúa	16	16	15.00	240.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	15.00	8.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Luces	64	64	0.02	1.15	1.00	0.80	0.92	18.76	17.29	0.50	0.58	18.76	10.81	0.50	0.58	12.00	6.91
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>80.00</b>	<b>80.00</b>					<b>0.92</b>		<b>17.29</b>		<b>15.58</b>		<b>130.81</b>		<b>0.58</b>		<b>6.91</b>
Nursery	Bomba recirculacion	12	6	0.60	3.60	0.50	1.00	1.80	12.00	21.60	0.50	0.90	12.00	10.80	0.50	0.90	12.00	10.80
	Bomba achique	12	6	0.60	3.60	0.50	1.00	1.80	6.00	10.80	1.00	1.80	6.00	10.80	1.00	1.80	24.00	43.20
	Bomba oxigenación	12	6	0.60	3.60	0.50	1.00	1.80	24.00	43.20	1.00	1.80	24.00	43.20	0.50	0.90	12.00	10.80
	Bomba CI	2	1	5.50	5.50	0.50	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	24.00	66.00
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>36.00</b>	<b>18.00</b>					<b>5.40</b>		<b>75.60</b>		<b>4.50</b>		<b>64.80</b>		<b>3.60</b>		<b>64.80</b>
Hatchery	Bomba recirculacion	6	3	0.45	1.35	0.50	1.00	0.68	12.00	8.10	0.50	0.34	12.00	4.05	0.50	0.34	12.00	4.05
	Bomba achique	6	3	0.45	1.35	0.50	1.00	0.68	6.00	4.05	1.00	0.68	6.00	4.05	1.00	0.68	24.00	16.20
	Bomba oxigenación	6	3	3.75	11.25	0.50	1.00	5.63	24.00	135.00	1.00	5.63	24.00	135.00	0.50	2.81	12.00	33.75
	Luces	6	6	0.02	0.11	1.00	0.50	0.05	18.76	1.01	1.00	0.11	18.76	2.03	0.50	0.05	12.00	0.65
	Bomba CI	2	1	5.50	5.50	0.50	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	1.00	2.75	24.00	66.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>24.00</b>	<b>15.00</b>					<b>7.03</b>		<b>148.16</b>		<b>6.75</b>		<b>145.13</b>		<b>3.88</b>		<b>54.65</b>	

Módulo	Sistema	Nº elementos	Nº en servicio	Consumo unitario			Consumo diario				Consumo despesque				Consumo emergencia			
				Consumo unitario [kW]	Pot consumida [kW]	Coef. Simultaneidad (Kn)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)
Peces	Bomba recirculacion	10	5	0.45	2.25	1.00	1.00	2.25	12.00	27.00	0.50	1.13	12.00	13.50	0.50	1.13	12.00	13.50
	Bomba achique	6	3	0.45	1.35	1.00	1.00	1.35	6.00	8.10	0.00	0.00	6.00	0.00	1.00	1.35	24.00	32.40
	Bomba oxigenación	20	10	3.75	37.50	1.00	1.00	37.50	24.00	900.00	1.00	37.50	24.00	900.00	0.50	18.75	12.00	225.00
	Bomba CI	2	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
	Alimentador peces	10	10	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	8.00	0.00	1.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bomba alimentadora atunes	3	3	15.00	45.00	0.33	1.00	15.00	8.00	120.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SUBTOTAL</b>		<b>51.00</b>	<b>32.00</b>					<b>61.60</b>		<b>1,060.60</b>		<b>44.13</b>		<b>919.00</b>		<b>26.73</b>		<b>402.90</b>

Módulo	Sistema	Consumo diario					Consumo despesque				Consumo emergencia							
		Nº elementos	Nº en servicio	Consumo unitario [kW]	Pot consumida [kW]	Coef. Simultaneidad (Kn)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)				
Habitación	Cocina	1	1	9.00	9.00	0.30	0.80	2.16	6.00	12.96	0.80	2.16	6.00	12.96	0.00	0.00	0.00	0.00
	Lavadora	2	2	1.30	2.60	0.30	0.80	0.62	3.00	1.87	0.80	0.62	3.00	1.87	0.00	0.00	0.00	
	Secadora	2	2	5.00	10.00	0.30	0.80	2.40	3.00	7.20	0.80	2.40	3.00	7.20	0.00	0.00	0.00	
	Plancha	1	1	1.20	1.20	0.30	0.80	0.29	2.00	0.58	0.80	0.29	2.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00
	Luces camarotes	9	9	0.02	0.16	0.30	0.80	0.04	8.00	0.31	0.80	0.04	8.00	0.31	1.00	0.05	24.00	1.17
	Luces zonas comunes	12	12	0.02	0.22	0.30	0.80	0.05	18.76	0.97	0.80	0.05	18.76	0.97	1.00	0.06	24.00	1.56
	TV	1	1	0.50	0.50	0.30	0.80	0.12	8.00	0.96	0.80	0.12	8.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ascensor	1	1	2.20	2.20	0.30	0.80	0.53	16.00	8.45	0.80	0.53	16.00	8.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	Montacargas	1	1	1.50	1.50	0.30	0.80	0.36	2.00	0.72	0.80	0.36	2.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ordenadores	3	3	0.70	2.10	0.60	0.80	1.01	5.00	5.04	0.80	1.01	5.00	5.04	0.30	0.38	7.20	2.72
	Generador AD	1	1	9.20	9.20	0.80	0.80	5.89	8.00	47.10	0.80	5.89	8.00	47.10	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bomba CI	2	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
	Bomba achique	7	5	0.45	2.25	1.00	1.00	2.25	6.00	13.50	1.00	2.25	6.00	13.50	1.00	2.25	24.00	54.00
	Potabilizadora	1	1	1.38	1.38	1.00	0.80	1.10	8.00	8.83	0.80	1.10	8.00	8.83	0.00	0.00	0.00	0.00
	Planta aguas servidas	1	1	8.50	8.50	1.00	0.80	6.80	8.00	54.40	0.80	6.80	8.00	54.40	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SUBTOTAL</b>		<b>45.00</b>	<b>42.00</b>					<b>29.12</b>	<b>168.40</b>		<b>29.12</b>	<b>168.40</b>		<b>8.24</b>		<b>191.44</b>		

Módulo	Sistema	N° elementos	N° en servicio	Consumo unitario [kW]	Pot consumida [kW]	Coef. Simultaneidad (Kn)	Consumo diario				Consumo despesque				Consumo emergencia			
							Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)
Almacén	Luces	10	10	0.02	0.18	1.00	0.80	0.14	18.76	2.70	0.80	0.14	18.76	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00
	Boma de achique	4	2	0.45	0.90	0.50	1.00	0.45	6.00	2.70	1.00	0.45	6.00		1.00	0.45	24.00	0.00
	Bomba CI	2	2	0.45	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	0.90	1.00	0.90	1.00		1.00	0.90	24.00	0.00
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>16.00</b>	<b>14.00</b>					<b>1.49</b>		<b>6.30</b>		<b>1.49</b>		<b>2.70</b>		<b>1.35</b>		<b>0.00</b>
Laboratorio	Luces	4	4	0.02	0.07	1.00	0.50	0.04	18.76	0.68	0.50	0.04	18.76	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bomba de oxigenación	3	2	3.75	7.50	0.67	1.00	5.00	24.00	120.00	1.00	5.00	24.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Boma de achique	2	1	0.45	0.45	0.50	1.00	0.23	6.00	1.35	1.00	0.23	6.00	1.35	1.00	0.23	24.00	5.40
	Bomba CI	1	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>10.00</b>	<b>8.00</b>					<b>10.76</b>		<b>127.53</b>		<b>10.76</b>		<b>127.53</b>		<b>5.73</b>		<b>137.40</b>	

Módulo	Sistema	N° elementos	N° en servicio	Consumo unitario [kW]	Pot consumida [kW]	Coef. Simultaneidad (Kn)	Consumo diario				Consumo despesque				Consumo emergencia			
							Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)	Coef. Servicio y régimen (ksr)	Potencia necesaria [kW]	Horas de uso [h]	Consumo (kWh)
Veterinario	Luces	4	4	0.02	0.07	1.00	0.50	0.04	18.76	0.68	0.50	0.04	18.76	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cámara frigorífica	2	2	1.09	2.18	1.00	1.00	2.18	24.00	52.32	1.00	2.18	24.00	52.32	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ventilación	1	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	24.00	132.00	1.00	5.50	24.00	132.00	0.50	2.75	12.00	33.00
	Boma de achique	2	1	0.45	0.45	0.50	1.00	0.23	6.00	1.35	1.00	0.23	6.00	1.35	1.00	0.23	24.00	5.40
	Bomba CI	1	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
<b>SUBTOTAL</b>		<b>10.00</b>	<b>9.00</b>					<b>13.44</b>		<b>138.85</b>		<b>13.44</b>		<b>138.85</b>		<b>8.48</b>		<b>170.40</b>
ROV	ROV	1	1	20.00	20.00	1.00	1.00	20.00	8.00	160.00	1.00	20.00	8.00	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ordenadores	1	1	0.70	0.70	1.00	0.80	0.56	8.00	4.48	0.80	0.56	8.00	4.48	0.00	0.00	0.00	0.00
	Luces	2	2	0.02	0.04	1.00	0.50	0.02	8.00	0.14	0.50	0.02	8.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bomba CI	1	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>					<b>26.08</b>		<b>10.12</b>		<b>26.08</b>		<b>10.12</b>		<b>5.50</b>		<b>132.00</b>
Buzos	Compresor	1	1	0.55	0.55	1.00	1.00	0.55	6.00	3.30	1.00	0.55	6.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ordenadores	1	1	0.70	0.70	1.00	0.80	0.56	8.00	4.48	0.80	0.56	8.00	4.48	0.00	0.00	0.00	0.00
	Luces	2	2	0.02	0.04	1.00	0.50	0.02	8.00	0.14	0.50	0.02	8.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bomba CI	1	1	5.50	5.50	1.00	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	1.00	5.50	24.00	132.00
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>					<b>6.63</b>		<b>10.12</b>		<b>6.63</b>		<b>10.12</b>		<b>5.50</b>		<b>132.00</b>

Como se pretende que cada módulo sea capaz de abastecerse de energía a sí mismo, se divide cada uno de los subtotales entre el número de módulos de cada tipo y se selecciona el valor máximo para cada uno de los tres casos considerados, ya que se quiere dimensionar para la situación más desfavorable.

En el caso de los módulos para peces que sirven como alimento a la especie objetivo, hay dos tipos de módulos, un tipo grande y otro pequeño, se considera que el grande necesita el doble de energía que el pequeño.

Módulo	Nº de módulos	diario		despesque		emergencia		Máximo	
		kW	kWh	kW	kWh	kW	kWh	kW	kWh
Jaula	16	0.06	1.08	0.97	8.18	0.04	0.43	<b>0.97</b>	<b>8.18</b>
Nursery	6	0.90	3.60	0.75	1.80	0.60	1.80	<b>0.90</b>	<b>3.60</b>
Hatchery	3	2.34	3.60	2.25	3.60	1.29	14.40	<b>2.34</b>	<b>14.40</b>
Peces grandes	2	24.64	424.24	17.65	367.60	10.69	161.16	<b>24.64</b>	<b>424.24</b>
Peces pequeños	1	12.32	212.12	8.83	8.64	5.35	80.58	<b>12.32</b>	<b>212.12</b>
Habilitación	1	29.12	168.40	29.12	168.40	8.24	191.44	<b>29.12</b>	<b>191.44</b>
Almacén pienso	2	0.75	1.35	0.75	1.35	0.68	0.00	<b>0.75</b>	<b>1.35</b>
Laboratorio	1	10.76	2.70	10.76	0.00	5.73	0.00	<b>10.76</b>	<b>2.70</b>
Veterinario	1	13.44	0.90	13.44	0.00	8.48	0.00	<b>13.44</b>	<b>0.90</b>
ROV	1	26.08	6.30	26.08	2.70	5.50	0.00	<b>26.08</b>	<b>6.30</b>
Buzos	1	6.63	0.68	6.63	0.68	5.50	0.00	<b>6.63</b>	<b>0.68</b>

### 8.3. Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica

Los pasos para dimensionar el sistema fotovoltaico, se seguirán los siguientes pasos [43]:

1. Estimación del consumo
2. Estimación de la irradiación disponible.
3. Dimensionado del generador fotovoltaico, es decir, cálculo del número de paneles necesarios.
4. Dimensionado del sistema de acumulación, es decir, número de baterías solares.

Antes de comenzar el dimensionamiento es necesario tener claros cuatro conceptos:

- Radiación: Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas, expresado en kWh.
- Irradiancia: Densidad de potencia incidente en una superficie, o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y superficie, expresada en  $W/m^2$ .
- Irradiación: Energía incidente en una superficie por unidad de superficie, expresada en  $kWh/m^2$ .
- Horas de sol pico (HPS): Número de horas en se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de  $1000Wh/m^2$  sobre cada panel solar, es decir, una hora de sol pico “HSP” equivale a  $1kWh/m^2$  o, lo que es lo mismo  $3.6 M/m^2$ . Dicho de otro modo, es una forma de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1h recibiendo  $1000W/m^2$ .

En primer lugar, a los daos obtenidos del balance eléctrico se les aplica un margen de seguridad del 20%, a continuación, se considera el rendimiento de las baterías ( $\eta_{bat}$ ) del 95%, del inversor ( $\eta_{inv}$ ) del 90% y de los conductores ( $\eta_{con}$ ) del 100%, también se considera que todos los consumos serán en corriente alterna.

Así pues, el consumo medio diario se calcula mediante la expresión (19).

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{con}} \quad (19)$$

Siendo:

$L_{md,DC}$ : Los consumos en corriente continua obtenidos del balance eléctrico, con el margen de seguridad aplicado.

$L_{md,AC}$ : Los consumos en corriente alterna obtenidos del balance eléctrico, con el margen de seguridad aplicado.

Tabla 54: Resultados de la estimación del consumo

Módulo	Nº de módulos	Resultado del balance [kWh]	Lmd [kWh]
Jaula	16.00	8.18	11.47
Nursery	6.00	3.60	5.05
Hatchery	3.00	14.40	20.21
Peces grandes	2.00	424.24	595.42
Peces pequeños	1.00	212.12	297.71
Habilitación	1.00	191.44	268.69
Almacén pienso	2.00	1.35	1.90
Laboratorio	1.00	2.70	3.79
Veterinario	1.00	0.90	1.26
ROV	1.00	6.30	8.85
Buzos	1.00	0.68	0.95

Se procede a estimar la irradiación disponible en la zona que se ha seleccionado para la instalación, para ello se utilizará la web proporcionada por la comisión europea [44], en la cual se introducen los datos mencionados anteriormente, así como el ángulo de inclinación de las placas, que para que sea el óptimo [45], se calculará según la expresión ( 20).

$$\alpha = 3.7 + 0.69 \cdot \text{Latitud} = 29.897^\circ \approx 30^\circ \quad (20)$$

Aunque no hay datos para la zona exacta, se selecciona una zona en tierra lo más próxima posible. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 55:

Tabla 55: Valores de irradiancia mensual obtenidos

Mes	E <sub>m</sub> [kWh]	H(i) <sub>m</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	SD <sub>m</sub> [kWh]	HPS [h]
<b>Enero</b>	40.80	131.80	4.80	131.8
<b>Febrero</b>	42.20	136.70	4.70	136.7
<b>Marzo</b>	53.60	175.50	5.50	175.5
<b>Abril</b>	57.50	190.10	4.50	190.1
<b>Mayo</b>	61.90	207.50	5.10	207.5
<b>Junio</b>	63.80	217.40	1.30	217.4
<b>Julio</b>	65.60	226.30	1.30	226.3
<b>Agosto</b>	63.50	219.30	1.70	219.3
<b>Septiembre</b>	53.60	184.10	3.40	184.1
<b>Octubre</b>	46.80	158.60	4.20	158.6
<b>Noviembre</b>	37.20	123.20	4.10	123.2
<b>Diciembre</b>	36.90	119.80	3.90	119.8

Diseño de una instalación acuícola autosuficiente para el cultivo de especies pelágicas

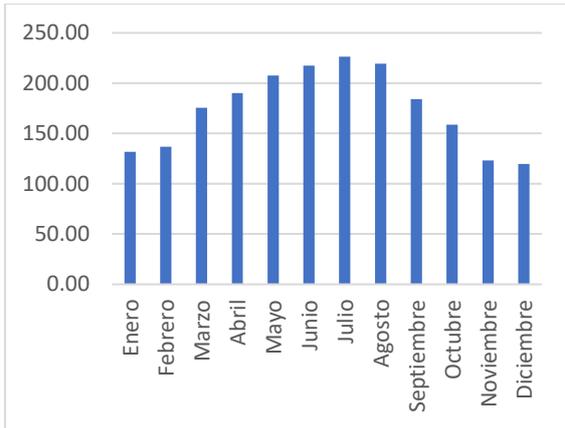


Ilustración 84: Promedio de la irradiación obtenida por metro cuadrado

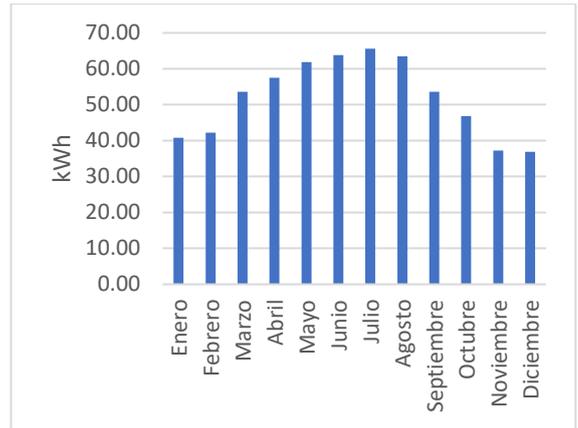


Ilustración 85: Promedio de la irradiación mensual

Se ha seleccionado una placa solar de la empresa JA solar que consta de 144 células monocristalinas, con una potencia pico ( $P_{mpp}$ ) de 410W, y un peso unitario de 22.7 kg.

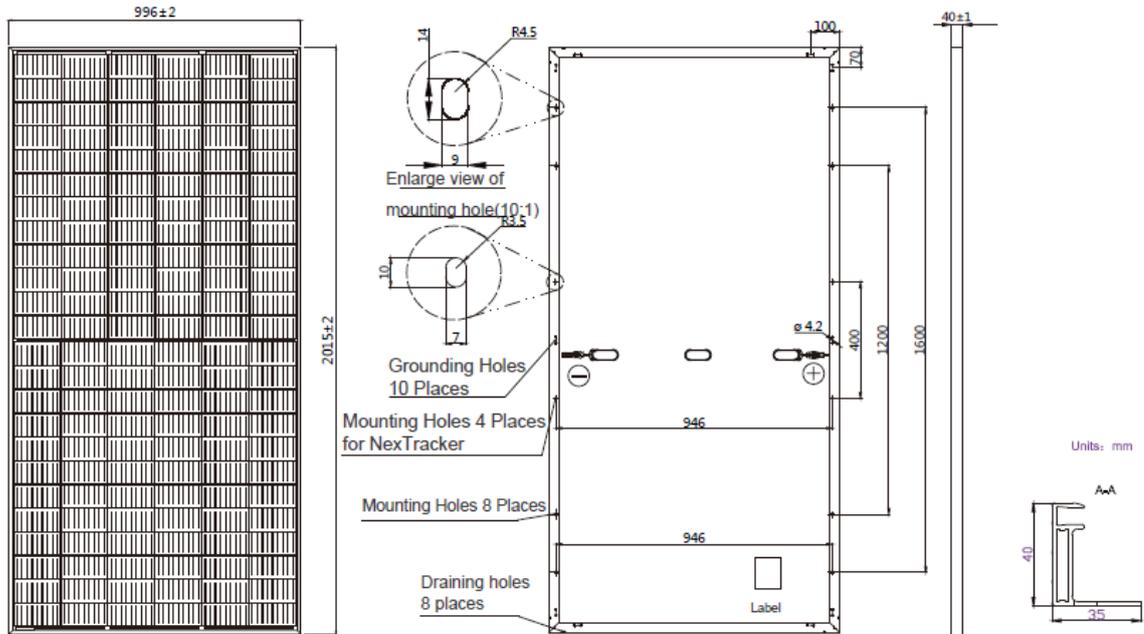


Ilustración 86: Dimensiones del panel solar seleccionado [46]

Como la demanda de energía se ha considerado constante a lo largo del tiempo, el número de paneles fotovoltaicos necesarios se puede calcular según la expresión (21):

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR} \quad (21)$$

Siendo:

- $HPS_{crit}$ : Las horas de sol pico del mes crítico, siendo el mes crítico el de menor irradiación.
- PR: Factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Se usará 0.90 por defecto.

Tabla 56: Cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios según el tipo de módulo

Módulo	Nº de módulos	Potencia Máxima [kWh/m]	margen [kWh/m]	Lmd [kWh/m]	Nt [panel/m]	NT [Paneles]	Potencia [kWh]
Jaula	16	8.18	9.81	11.47	1	16	183.59
Nursery	6	3.60	4.32	5.05	1	6	30.32
Hatchery	3	14.40	17.28	20.21	1	3	60.63
Peces grandes	2	424.24	509.09	595.42	14	28	1,190.85
Peces pequeños	1	212.12	254.54	297.71	7	7	297.71
Habilitación	1	191.44	229.73	268.69	7	7	268.69
Almacén pienso	2	1.35	1.62	1.90	1	2	3.79
Laboratorio	1	2.70	3.24	3.79	1	1	3.79
Veterinario	1	0.90	1.08	1.26	1	1	1.26
ROV	1	6.30	7.56	8.85	1	1	8.85
Buzos	1	0.68	0.81	0.95	1	1	0.95

Así pues, si se multiplica el número de paneles que le hacen falta a cada tipo de módulo por el número de módulos y se suma el resultado se obtiene que serán necesarios 73 paneles fotovoltaicos. Si, siguiendo otro razonamiento, se multiplica el valor de Lmd por el número de módulos de cada tipo, se suma y se realizan las cuentas con este resultado, se concluye que bastaría con 48 paneles. Teniendo en cuenta que se busca la mayor independencia de cada módulo se decide seleccionar la primera opción, **73 paneles fotovoltaicos**, siempre que sea viable y quepan los paneles.

Respecto a la conexión de los módulos calculados en serie o paralelo, hay que tener en cuenta que el voltaje máximo de cada panel fotovoltaico ( $V_{MOD}$ ) será de 41.88 V y las baterías se buscarán de 48 V ( $V_{BAT}$ ), así pues, el número de paneles en serie ( $N_s$ ) y en paralelo ( $N_p$ ) serán:

$$N_s = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD}} = 1 \quad (22)$$

$$N_p = \frac{N_T}{N_s} = N_T \quad (23)$$

Por tanto, se conectarán todos los paneles en paralelo.

Se pasa al cálculo de las baterías. Los parámetros importantes para el dimensionamiento de éstas son la profundidad de descarga estacional y diaria, y el número de días de autonomía.

- Profundidad de descarga máxima: Nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador. Como norma general se toma un valor del 70% para la descarga máxima estacional ( $P_{dmax,e}$ ) y del 15% para la descarga máxima diaria ( $P_{dmax,d}$ ).
- Autonomía (A): Cantidad de días que puede funcionar la instalación sin recibir radiación solar alguna ya que los paneles solares seguirán funcionando en días

nublados, aunque con un menor rendimiento. En este caso se considera que una autonomía de 6 días será suficiente.

La capacidad nominal mínima necesaria de una batería en función de los parámetros mencionados se calcula según las expresiones ( 24)y( 25).

$$Cn [Wh] = Max \left( \frac{L_{md}}{P_{dmax,d}}, \frac{L_{md} \cdot A}{P_{dmax,d}} \right) \quad (24)$$

$$Cn [Ah] = Cn [Wh] / V_{BAT} [V] \quad (25)$$

Al dividir la capacidad nominal mínima necesaria por la capacidad nominal de cada batería se obtendrá el número de baterías. En este caso, se ha seleccionado una batería de la empresa Ultracell [47]de 48 V y 600 Ah, que a su vez están formadas por 8 baterías de 6V y 600 Ah cada una.

Tabla 57: Cantidad de baterías necesarias por tipo de módulo

Módulo	Nº de módulos	Lmd [kWh/mod]	Capacidad nominal mínima		Numero [bat/mod]	Numero [bat]	Capacidad nominal [Ah]
			[kWh/mod]	[Ah/mod]			
Jaula	16	11.47	98.35	2,049.00	4	64	32,784.05
Nursery	6	5.05	43.31	902.26	2	12	5,413.53
Hatchery	3	20.21	173.23	3,609.02	7	21	10,827.07
Peces grandes	2	595.42	5,103.64	106,325.81	178	356	212,651.63
Peces pequeños	1	297.71	2,551.82	53,162.91	89	89	53,162.91
Habilitación	1	268.69	2,303.08	47,980.75	80	80	47,980.75
Almacén pienso	2	1.90	16.25	338.61	1	2	677.22
Laboratorio	1	3.79	32.48	676.69	2	2	676.69
Veterinario	1	1.26	10.83	225.56	1	1	225.56
ROV	1	8.85	75.81	1,579.47	3	3	1,579.47
Buzos	1	0.95	8.13	169.30	1	1	169.30

Análogamente al proceso seguido con los paneles fotovoltaicos se multiplica el número de baterías que le hacen falta a cada tipo de módulo por el número de módulos y se suma el resultado se obtiene que serán necesarios 631 baterías. Sin embargo, si se multiplica la capacidad nominal mínima necesaria para cada módulo por el número de módulos de cada tipo, se suma y se realiza el cálculo con este resultado se obtiene que con 611 baterías será suficiente. Al igual que en el caso anterior, con la finalidad de tener mayor independencia de los módulos se decide instalar **631 baterías de 48V y 600Ah.**

#### 8.4. Disposición de los elementos de la instalación

Para finalizar este capítulo, se comprueba que hay espacio suficiente para almacenar las baterías, así como para ubicar los paneles necesarios.

En el caso de los paneles fotovoltaicos, se ha calculado que se quieren instalar 73 paneles, los cuales se distribuirán entre los módulos de hatchery, habitación, laboratorio, veterinario, ROV y buzos según se indica en la Ilustración 87.

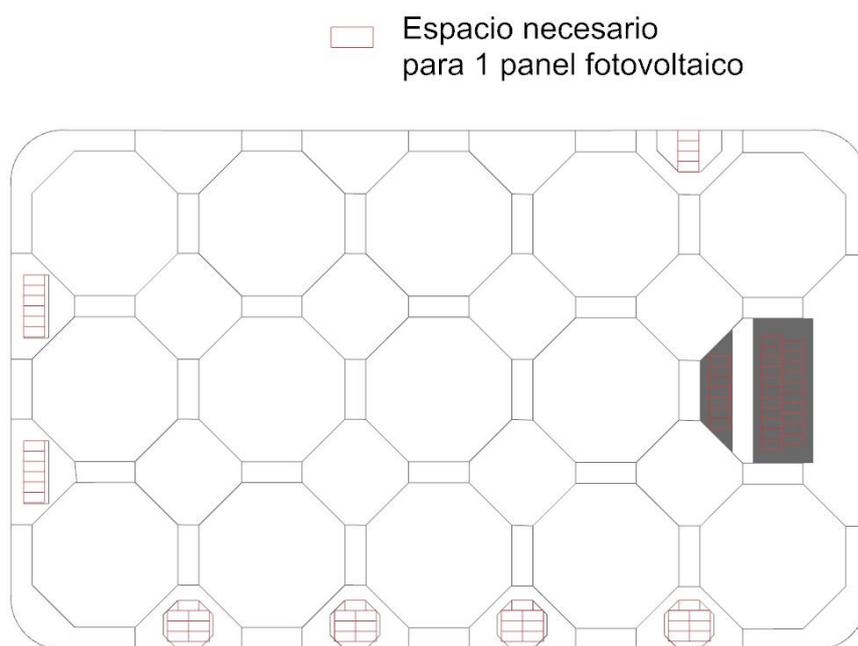


Ilustración 87: Distribución de los paneles fotovoltaicos

Las baterías, sin embargo, se dispondrán todas en el módulo de la habitación, repartidas en la zona específica para baterías y motor, en caso de que se decida disponer de uno de emergencia, y el almacén.

Al incluir el peso de estos elementos en los módulos y recalcar se obtienen los resultados de la Tabla 58.

Tabla 58: Resumen final de pesos

Situación de carga	ROSCA			PLENA CARGA		
	Desplazamiento [kg]	Calado [m]	Francobordo [m]	Desplazamiento [kg]	Calado [m]	Francobordo [m]
<b>Jaulas</b>	20,778.51	20.17	0.58	21,018.51	20.17	0.58
<b>Pasarela recta</b>	2,432.59	0.31	0.89	3,052.59	0.36	0.84
<b>Pasarela esquina</b>	9,198.04	0.33	0.87	9,818.04	0.34	0.86
<b>Nursery</b>	7,985.02	0.11	1.49	81,186.73	1.00	0.60
<b>Hachery</b>	16,031.82	0.35	1.65	26,781.82	0.58	1.42
<b>Habilitación</b>	55,197.23	0.39	2.61	56,907.23	0.40	2.60
<b>Muelle</b>	25,403.20	0.34	0.86	26,323.20	0.31	0.89
<b>Peces grandes</b>	7,455.41	0.10	1.40	48,955.41	0.67	0.83
<b>Peces pequeños</b>	6,069.50	0.13	1.37	47,569.50	1.03	0.47
<b>Almacén</b>	4,915.91	0.11	2.89	5,475.91	0.12	2.88
<b>Laboratorio</b>	18,910.74	0.41	2.59	19,210.74	0.42	2.58
<b>Veterinario</b>	18,687.80	0.40	2.60	19,387.80	0.42	2.58
<b>ROV</b>	10,919.10	0.36	0.84	11,658.10	0.38	0.82
<b>Buzos</b>	10,919.10	0.36	0.84	11,483.10	0.38	0.82



## 9. CONCLUSIONES

En este capítulo se pretende hacer un repaso del objetivo principal y los objetivos secundarios del trabajo, de forma que pueda verse claramente como se ha ido trabajando sobre cada uno de ellos.

A partir de una lista de 17 especies pelágicas, se ha seleccionado como especie objetivo el atún rojo, teniendo en cuenta los criterios de mercado, producción y biológicos, dando mayor importancia a los dos primeros. Esta especie encuentra su principal salida comercial en el mercado japonés, sin embargo, su cultivo en cautividad no está completamente desarrollado, por lo que la mortalidad será elevada.

La instalación se ubicará frente a las costas de Torrevieja, Alicante, en el Mar Mediterráneo, donde el atún rojo va a realizar la puesta, por lo que se considera que las condiciones ambientales serán las idóneas no solo para el engorde sino también para la reproducción de la especie y por tanto poder cerrar el ciclo.

Uno de los principales problemas de esta especie es que requiere mucho espacio para nadar y tiene tendencia a chocar con las redes de las jaulas, por esto, pese a ser un cultivo de tipo intensivo la densidad del cultivo será considerablemente baja, alrededor de unos  $3 \text{ kg/m}^3$ .

La instalación acuícola, se ha diseñado teniendo en cuenta la construcción modular, haciendo uso principalmente de planchas y tubos, minimizando las formas con curvas especiales. Además, también se ha tenido en cuenta la posibilidad de cambiar algunos módulos entre sí o incluso en caso de que fuera necesario retirar algún módulo para repararlo o hacer algún mantenimiento que no se pudiese hacer a flote, en general, la instalación podría seguir funcionando.

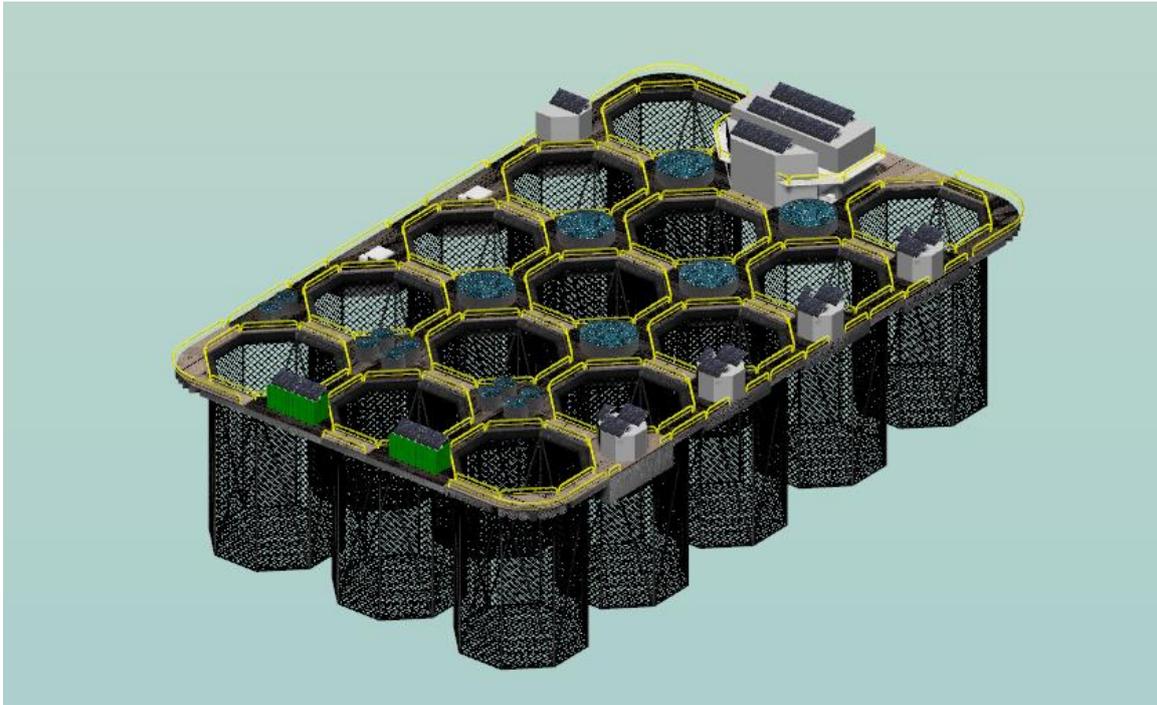
Esta instalación permite un cultivo integral del ciclo completo del atún rojo, con los cultivos auxiliares integrados, esto lo hará desde un punto de vista de la cadena trófica, muy independiente de los recursos exteriores una vez la instalación lleve un tiempo funcionando, pues los primeros atunes habrá que capturarlos, o criarlos a partir de larvas obtenidas de algún proveedor.

Desde el punto de vista energético, la instalación fotovoltaica proporcionará la energía necesaria, con margen suficiente, para todos los elementos de la instalación, con una autonomía de 6 días, es decir, la instalación puede funcionar durante 6 días, sin obtener nada de luz solar.

Con todo esto se puede comprobar que se ha cumplido el objetivo principal, proponer una solución autosostenible que dé respuesta a la demanda de atún rojo del mercado, contribuyendo así a reducir la presión que existe sobre esta especie.

En la

Ilustración 88 se muestra un 3D de como quedaría la instalación.



*Ilustración 88: Prototipo de la instalación*



## 10. LÍNEAS FUTURAS

Este trabajo puede completarse realizando los análisis de resistencia estructural, estabilidad, diseños del fondeo, y otros sistemas que resulten pertinentes, etc. siguiendo la espiral de diseño. Además, a lo largo de la realización de este, se han observado líneas de investigación en las que todavía es necesario avanzar, y otras que podrían adaptarse de forma que contribuyan a la mejora de este tipo de instalaciones.

Desde un punto de vista biológico, es necesario mejorar la alimentación en cautiverio del atún rojo, especialmente en las fases tempranas, que es donde la mortalidad es mayor por esta causa.

Desde el punto de vista de la contaminación, una de las mayores preocupaciones son los residuos que se acumulan en los fondos marinos, contaminando el ecosistema, y que hacer con los que se acumulan en el fondo de los tanques. Frente a esto se proponen dos líneas, la primera recogerlos para generar productos para el cultivo de plantas, es decir, seguir la línea de la acuaponía, y la segunda emplear estos residuos como biocombustible, o para producir biogás. Otro frente importante desde el punto de vista de la contaminación se encuentra en el campo de los materiales. Las redes de las jaulas son en muchos casos de materiales plásticos, y se reparan con bridas de plástico, pudiendo aumentar así la cantidad de plásticos que ya hay en el océano.

También hay diversas modificaciones de la instalación descrita en este trabajo que pueden ser interesantes. Entre estos cambios se destacan los siguientes:

- En el caso de los módulos con tanques de alevines puede proponerse un sistema que conecte estos tanques con las jaulas colindantes a través de un sistema de compuertas, de modo que puedan incluso clasificarse por tamaños o separar los ejemplares que puedan estar enfermos más cómodamente. Además, en este sistema de compuertas puede proponerse incluir tecnología que permita no solo contar los peces si no identificarlos de forma individual mejorando así la trazabilidad del producto. También se pueden pensar instalar estos circuitos entre jaulas, permitiendo así en un momento dado conocer el número de ejemplares que hay en las mismas, muy útil cuando se han producido escapes masivos, ya que esto se realiza a ojo por gente que tiene bastante experiencia, lo cual resulta un método bastante inexacto.

- Investigar si es viable un sistema que permita aprovechar el movimiento relativo entre los distintos módulos.
- Implantación de un cultivo multitrófico. En este trabajo, se han integrado dos eslabones de la cadena alimentaria, sin embargo, cabe la posibilidad de ampliar el tipo de cultivos de forma que se complete la cadena trófica, desde los productores hasta la especie objetivo.

# BIBLIOGRAFÍA

1. APROMAR, *Informe: La acuicultura en España 2018*. 2018.
2. *Boletín del museo arqueológico nacional*. . 2017.
3. FAO, *Estado mundial de la pesca y acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. 2018.
4. *Innovation for open ocean aquaculture*. [cited 2019; Available from: <https://www.innovasea.com/about-us/>].
5. AquaSol. *Offshore aquaculture*. Available from: <https://www.fishfarming.com/projects/offshore-aquaculture.html>.
6. *Petroleum technology for ocean farming*. 2015 [cited 2019; Available from: <https://www.norwayexports.no/petroleum-technology-for-ocean-farming/>].
7. Blank, C. *Salmon farm to be built on world's largest ship*. 2015 [cited 2019; Available from: <https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/salmon-farm-to-be-built-on-world-s-largest-ship>].
8. *Chilenos patentan nave para cultivo oceánico del Salmón*. [cited 2019; Available from: <http://www.mascontainer.com/chilenos-patentan-nave-para-cultivo-oceanico-del-salmon/>].
9. *Smart Floating Farms*. 2019]; Available from: <https://smartfloatingfarms.com/>.
10. Ministerio de agricultura, p.y.a., *La pesca mes a mes*. 2018.
11. *Thunnus thynnus*. 2019; Available from: <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?ID=147&AT=atun+rojo#>.
12. *Atún rojo*, JACUMAR, Editor. 2019.
13. ecológica, M.t. *Análisis socioeconómico en el medio marino*. 2019; Available from: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/estrategias-marinas/demarcacion-levantino-balear/>.
14. Jesús, *Mar mediterráneo*.
15. *La carta náutica libre*.
16. fomento, M.d., *Predicción de oleaje, nivel del mar, boyas y mareógrafos*. 2019: p. Puertos del estado.
17. *El mar mediterráneo*. Available from: [http://medclic.es/uploads/filer\\_public/4a/a2/4aa2510b-a268-47b3-8388-347431ced008/u1\\_el\\_mediterraneo\\_medclic-compressed.pdf](http://medclic.es/uploads/filer_public/4a/a2/4aa2510b-a268-47b3-8388-347431ced008/u1_el_mediterraneo_medclic-compressed.pdf).
18. *El Mediterráneo en peligro*. Available from: <https://waste.ideal.es/mediterraneo.html>.

19. WWF. *Una trampa de plástico*. 2019; Available from: [https://www.wwf.es/nuestro\\_trabajo\\_/naturaleza\\_sin\\_plasticos/informe\\_una\\_trampa\\_de\\_plastico/?utm\\_source=adwords&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=adwords&gclid=CjwKCAiA58fvBRAzEiwAQW-hzWctVqy6pYktUHFr371uvQPCG3US\\_zl81eLWagqd4CQNI1-l11haOhoCWhQQAvD\\_BwE](https://www.wwf.es/nuestro_trabajo_/naturaleza_sin_plasticos/informe_una_trampa_de_plastico/?utm_source=adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=adwords&gclid=CjwKCAiA58fvBRAzEiwAQW-hzWctVqy6pYktUHFr371uvQPCG3US_zl81eLWagqd4CQNI1-l11haOhoCWhQQAvD_BwE).
20. EGD. *Seabed Substrate*. Available from: <http://www.europe-geology.eu/marine-geology/seabed-substrate/#top>.
21. cetàcea, A. *Orcas*. 2019; Available from: <http://www.associocietacea.org/es/conservacion/especies-del-mediterraneo/cetaceos/orca/>.
22. ecotiendabuceo. *Tiburones en el mediterráneo*. 2019; Available from: [https://www.ecotiendabuceo.es/blog/tiburones-en-el-mediterraneo-especies-y-avistamientos\\_4.html](https://www.ecotiendabuceo.es/blog/tiburones-en-el-mediterraneo-especies-y-avistamientos_4.html).
23. Mascaraque, C., *Tipos de cultivos marinos*, in *Apuntes de Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos*. 2019, ETSINO, UPCT.
24. *El atún rojo atlántico, ciclo completo en cautividad*. 2016; Available from: <https://www.europapress.es/sociedad/medio-ambiente-00647/noticia-atun-rojo-atlantico-ciclo-completo-cautividad-20160718164811.html>.
25. FAO. *Thunnus thynnus (linnaeus, 1758)*. 2019; Available from: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Thunnus\\_thynnus/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Thunnus_thynnus/en).
26. S.A., R.F.e.H., *Reproducción y cultivo de atún rojo*.
27. Portaluppi, L. *Granja oceánica multitrófica integrada*. 2019; Available from: <https://sobrebarcosypeces.com/granja-oceanica-multitrofica-integrada>.
28. BBVA. *Clasificación de empresas según su tamaño*. 2019; Available from: <https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/ef/empresas/clasificacion-de-empresas-por-tamano.html>.
29. *Ranking de Empresas del sector Acuicultura marina*. Available from: <https://ranking-empresas.eleconomista.es/sector-0321.html>.
30. Mundi, I. *Harina de pescado Precio Mensual- Euro por Tonelada*. 2019; Available from: <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=harina-de-pescado&moneda=eur>.
31. FAO, *Acuicultura en jaulas. Estudios regionales y panorama mundial*. 2008.
32. *Energías renovables*. 2019; Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables>.
33. Merino, L., *Energías renovables*. Iberdrola.

34. *Energía solar*. [cited 2019; Available from: <https://solar-energia.net/>].
35. *Fotovoltaica aislada*. [cited 2020; Available from: [http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica\\_esquema.php](http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php)].
36. Eólica, A.E. *La eólica y sus ventajas*. [cited 2020; Available from: <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-y-sus-ventajas>].
37. AEMET. *Datos y gráficos de viento*. Available from: <https://datosclima.es/Aemethistorico/Vientostad.php>.
38. contributors, E. *Mar*. 2019 [cited 2020; Available from: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Mar&oldid=3395362>].
39. Luzía. *Energías del mar: las fuentes renovables aún por descubrir*. La energía de luzía 2019 [cited 2020; Available from: <https://laenergiadeluzia.es/energias-del-mar-las-fuentes-renovables-aun-por-descubrir/>].
40. Perles, D.J.F., *Apuntes de la optativa Energías renovables eólica y del mar*. 2019.
41. Potsdam, I.d.i.s.e.i.d.c.d., *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. 2011.
42. Martínez Lorente, J., *Apuntes de la asignatura Electricidad Naval*. 2012.
43. Alonso Lorenzo, J.A., *Manual de cálculo de instalaciones fotovoltaicas aisladas*. 2020, Sunfields Europe.
44. Europea, C. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. 2019; Available from: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP).
45. Aroca, A.M., *Apuntes de la asignatura Energía solar fotovoltaica*.
46. Jasolar, *410W MBB Half-Cell Module*. 2019: [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com).
47. Ultracell, *UZS600-6*. 2020.

# ANEXO I: PLAN DE PRODUCCIÓN



# ANEXO II: CICLO DE VIDA DEL ATÚN ROJO

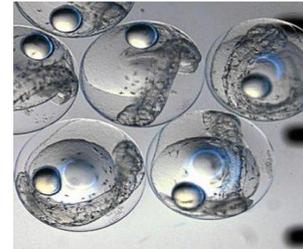


## REPRODUCCIÓN

- Una hembra de 5 años puede producir una media de **5 millones de huevos al año**.
- En el Mediterráneo se da, dependiendo de las condiciones climatológicas, **entre mayo y agosto**
- Duración: 1 mes

## HUEVO

- Tasa de eclosión superior al 85%.
- Duración: **2 días**.



## LARVA

- Duración: **30 días**. Hasta completar la metamorfosis.
- Alimentación: rotíferos y artemia.
- Tasa de mortalidad debido a que no son capaces de alimentarse entre el 60 y el 90%.

## ALEVÍN

- Duración: **10 días**. Hasta completar el destete.
- Alimentación: larvas de otras especies.
- Tasa de mortalidad por problemas nutricionales cercana al 100%. Se detiene cuando comienzan a alimentarse de otros peces.



## JUVENIL

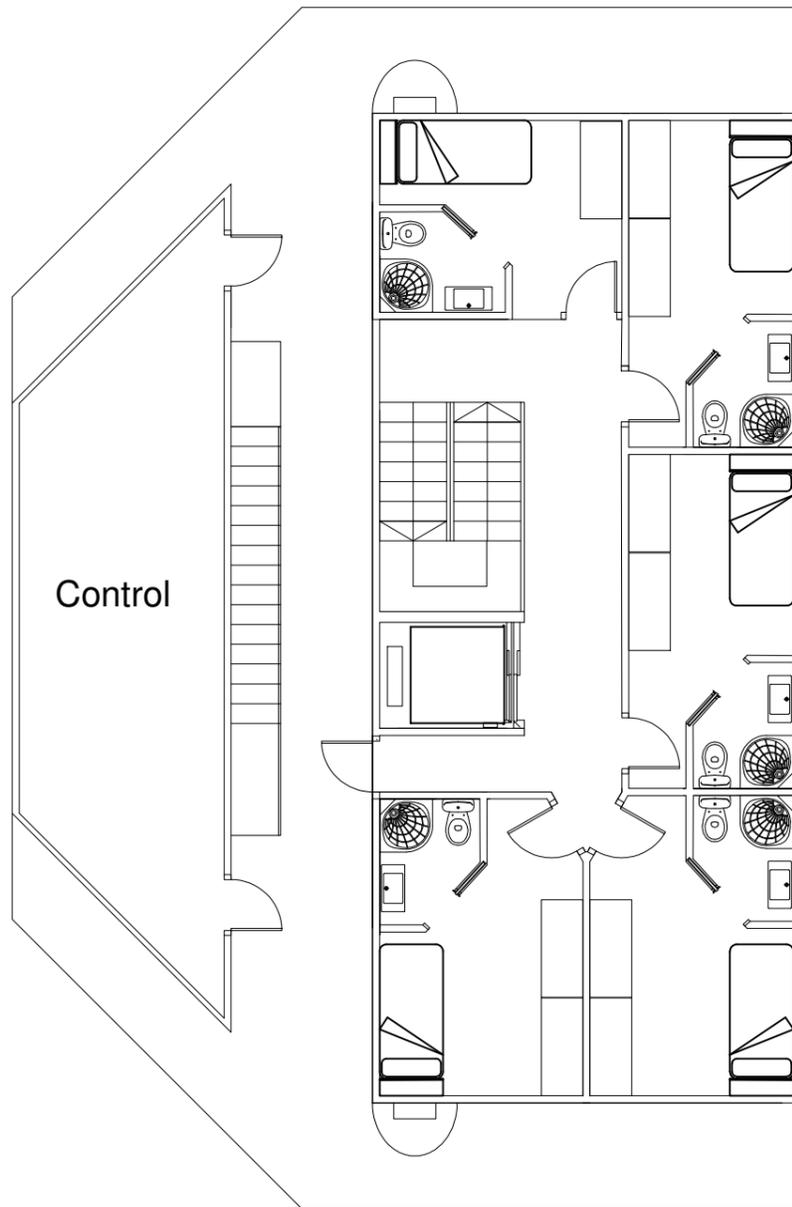
- Duración: **4 años**.
- Alimentación: Especies pelágicas.
- La tasa de mortalidad en esta fase es del 90%.

## ADULTO

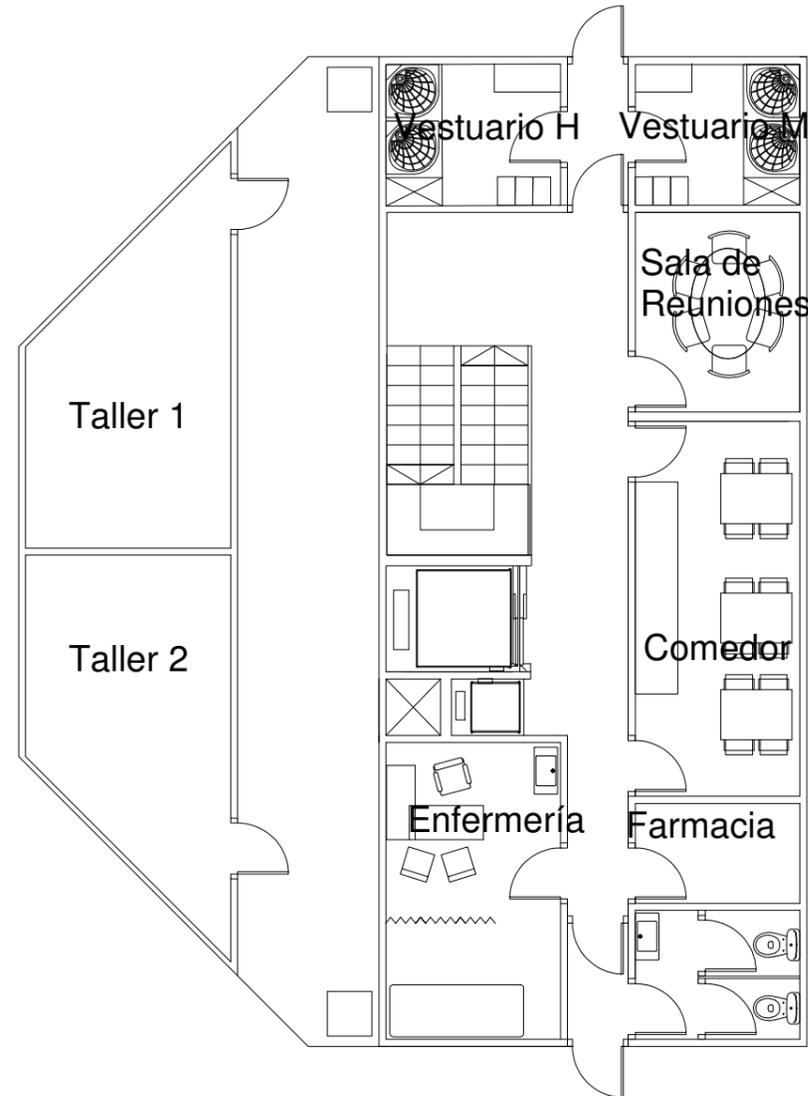
- Duración del engorde: **6 meses**.
- Alimentación: Especies pelágicas.



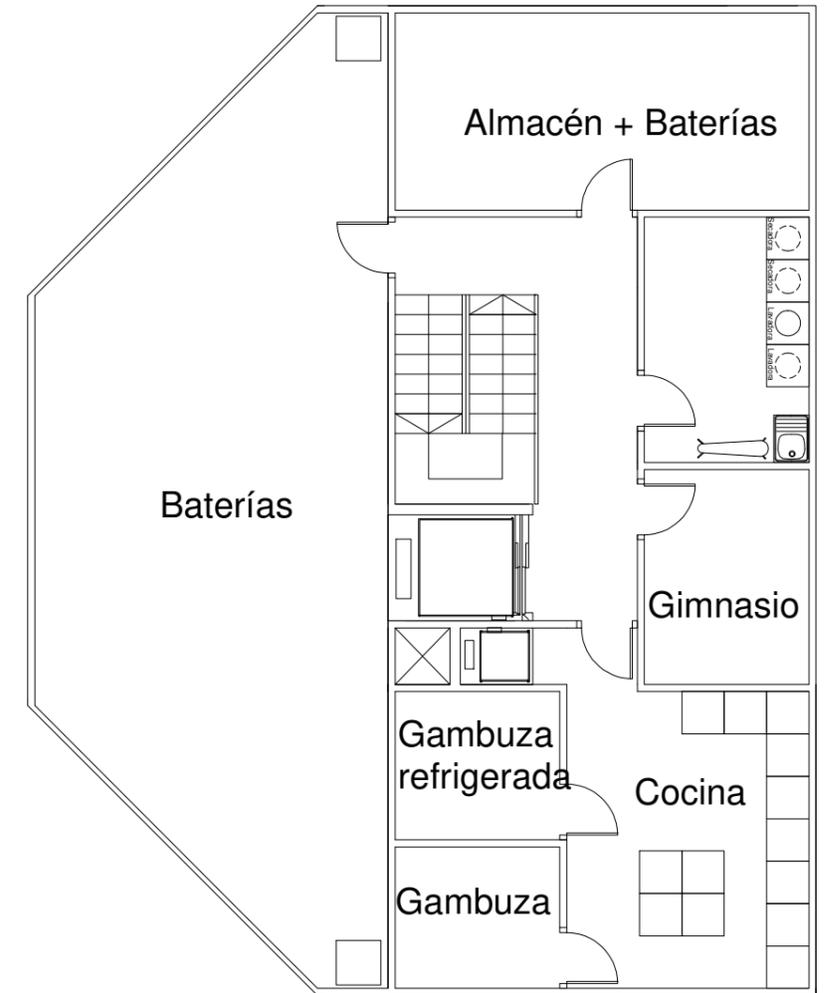
# ANEXO III: DISPOSICIÓN GENERAL DEL MÓDULO E HABILITACIÓN



Cubierta A



Cubierta Principal



Cubierta 1

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
DE CARTAGENA

PISCIFACTORÍA MODULAR

HABILITACIÓN

ESCALA ARCHIVO: boceto200401.3dm

1:100 FECHA: Abril 2020

PLANO Nº: 1

Nº HOJAS: 1

FDO. ORTIZ CLÉRIG. ANDREA