

Universidad Politécnica de Cartagena

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

Autora: Paloma Marco Jornet

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez

Curso: 2018/2019



RESUMEN

En este proyecto fin de máster se estudiará el desarrollo de una instalación destinada a la acuicultura en aguas abiertas. Se pretende que esta disponga de la mayor capacidad autosostenible posible, para ello primero se seleccionará a que especie irá destinada siguiendo criterios biológicos, de mercado y criterios de producción. También se analizará y estudiarán los posibles emplazamientos, teniendo en cuenta, factores climatológicos que influirán en las solicitudes de la estructura, las condiciones para un crecimiento apropiado que dependerá de la especie a cultivar y otros aspectos técnicos como la accesibilidad o la proximidad al mercado.

Posteriormente, se definirán los principales consumidores con los que contará la instalación, los cuales determinarán los requerimientos energéticos y la distribución de pesos que marcará el dimensionamiento de la instalación. Por último, se definirá la configuración del fondeo comprobando que cumple con las solicitudes a las que estará sometida la instalación y se analizará la viabilidad económica estimando un presupuesto del proyecto.



ABTRACT

This master thesis will study the development of a fish farm for open water aquaculture. It is intended that this plant has the highest self-sustaining capacity possible. To achieve this, it will first be selected which species will be destined according to biological criteria, market criteria and production criteria. The possible locations will also be analysed and studied, taking into account climatological factors that will influence the requirements of the structure, the conditions for an appropriate growth that will depend on the species to be cultivated and other technical aspects such as accessibility or proximity to the market.

Subsequently, the main consumers of the installation will be defined, which will determine the energy requirements and the weight distribution that will mark the dimensioning of the installation. Finally, the mooring configuration will be defined, verifying that it complies with the demands to which the installation will be subjected and the economic viability will be analyzed, estimating a project budget.



INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN	9
ÍNDICE DE ELEMENTOS	11
1. IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD PESQUERA	12
2. HISTORIA E IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA	14
3. ACUICULTURA EN ESPAÑA.....	16
4. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	19
5. BIBLIOGRAFIA	20
CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE LA ESPECIE.....	21
ÍNDICE DE ELEMENTOS	23
1. ESPECIES QUE MÁS SE PRODUCEN A TRAVES DE LA ACUICULTURA	24
2. ESTUDIO DE MERCADO PARA LA SELECCIÓN DE LA ESPECIE	26
2.1 CULTIVO DE DORADA	33
3. PLAN DE PRODUCCIÓN	37
3.1 CALCULO DE LA PRODUCCIÓN	40
4. BIBLIOGRAFIA	44
CAPÍTULO 4: SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	45
ÍNDICE DE ELEMENTOS	47
1. FACTORES PARA LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	48
2. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	49
3. BIBLIOGRAFIA	57
CAPÍTULO 5: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	59
ÍNDICE DE ELEMENTOS	61
1. INSTALACIONES ACUICOLAS.....	63
2. GRANJAS PARA AGUAS ABIERTAS	64
3. FACTORES DE DISEÑO DE UNA GRANJA MARINA.....	66
4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS JAULAS	67
4.1 VOLUMEN DE LAS JAULAS.....	72



4.2	RECINTO DE RED	73
4.3	ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN	78
5.	DIMENSIONES DE LA INSTALACIÓN.....	84
5.1	EQUIPAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	86
5.2	BALANCE ELECTRICO Y PLANTA ELECTRICA.....	96
5.3	DISTRIBUCIÓN DE PESOS	102
5.4	RESISTENCIA LONGITUDINAL.....	104
6.	BIBLIOGRAFIA	110
CAPÍTULO 6: FONDEO		113
ÍNDICE DE ELEMENTOS		115
1.	INTRODUCCIÓN.....	116
2.	CONDICIONES AMBIENTALES.....	118
2.1	CÁLCULO DE LA FUERZA DEL OLEAJE.....	119
2.2	CÁLCULO DE LA FUERZA DEL VIENTO.....	121
2.3	CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORRIENTE.....	122
3.	PROCESO DE CALCULO CUASI-ESTÁTICO SEGÚN REGLAMENTO	124
3.1	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FONDEO	125
3.2	DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL FONDEO.....	129
3.3	OBTENCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN	132
3.4	CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO.....	135
3.5	COMPROBACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD	135
4.	SELECCIÓN DE LA CADENA	136
5.	CONFIGURACIÓN DEL FONDEO DE LA INSTALACIÓN.....	136
6.	BIBLIOGRAFIA	138
CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO.....		139
1.	INTRODUCCIÓN.....	141
2.	PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN	141
2.1	ESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA CENTRAL	141
2.2	MATERIALES DE LAS JAULAS DE CULTIVO	144
2.3	ESTACHAS Y LÍNEAS DE FONDEO	145
2.4	EQUIPOS Y MAQUINARIA AUXILIAR	146
2.5	SERVICIOS TÉCNICOS	147



2.6	APOYO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	147
2.7	MANO DE OBRA.....	148
3.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	148
4.	BIBLIOGRAFIA	150
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES		151



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS DEL PROYECTO

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





El objetivo principal de este proyecto es realizar el diseño de una instalación autosostenible, capaz de trabajar en aguas abiertas. Para ello se deben cumplir una serie de etapas u objetivos secundarios. Cada uno de estos objetivos estará desarrollado en un capítulo de este documento y darán como resultado el cumplimiento del objetivo principal.

Dentro del primer capítulo, se realizará un estudio de mercado con el fin de seleccionar la especie a cultivar en la granja, lo que influirá en cuestiones de diseño tales como dimensiones de las jaulas de cultivo o incluso la forma de estas. En el segundo capítulo, se estudiarán las diferentes opción de emplazamiento y se seleccionará la óptima, el diseño de la instalación también se verá condicionado por esta decisión, ya que influirá directamente en el dimensionamiento de la estructura. Una vez cumplidos estos dos objetivos se puede pasar a la definición completa de la instalación, donde se incluye el dimensionamiento y selección de los flotadores, redes y demás elementos que forman parte de las jaulas de cultivo, y el dimensionamiento y definición de la plataforma central. Por último, queda determinar la configuración y selección de las líneas y estachas que formarán el sistema de fondeo, quedando definida por completo la instalación.

Como último objetivo secundario se propone determinar la viabilidad de la instalación realizando una estimación del presupuesto total del proyecto.

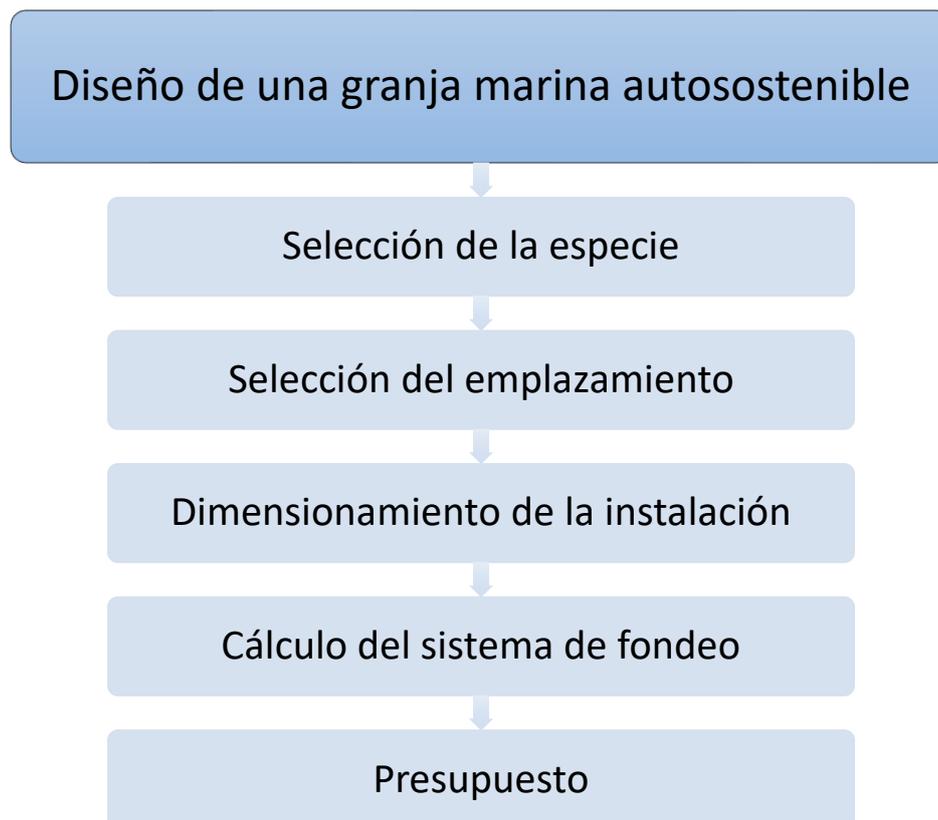


Imagen 1-1. Objetivos del proyecto



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

ÍNDICE DE ELEMENTOS	11
1. IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD PESQUERA	12
2. HISTORIA E IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA	14
3. ACUICULTURA EN ESPAÑA.....	16
4. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	19
5. BIBLIOGRAFIA	20



ÍNDICE DE ELEMENTOS

Imagen 2-1. Primer anzuelo de pesca de la historia. Fuente: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.....	12
Imagen 2-2. Producción pesquera mundial. Fuente: Estado mundial de la pesca y la acuicultura FAO 2018	13
Imagen 2-3. Cultivo en jaulas en un embalse de Indonesia. Fuente. FAO.....	14
Imagen 2-4. Evolución de la producción de acuicultura mundial por grupos. Fuente: APROMAR	15
Imagen 2-5. Distribución porcentual de la producción (2016). Fuente: APROMAR....	16
Imagen 2-6. Distribución de la producción de acuicultura en la UE. Fuente: APROMAR	17
Imagen 2-7. Evolución de la actividad pesquera en España. Fuente: APROMAR.....	18



1. IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD PESQUERA

La pesca se puede definir como la actividad mediante la cual el hombre captura peces, crustáceos, moluscos y otros animales que se encuentran en el mar o en aguas dulces. Se trata de una de las actividades más antiguas de nuestra historia, además sus fines pueden ser diversos: para la alimentación propia, tanto para consumo directo como para obtener productos derivados, para la alimentación de otras especies, como actividad comercial o simplemente de forma recreativa.

La actividad pesquera actual nada tiene que ver con lo que nuestros ancestros entendían por pesca. Se tienen referencias de que en el paleolítico las tribus ya utilizaban la pesca para obtener recursos alimenticios para ello usaban útiles muy rudimentarios contruidos con astas de cérvidos. Los útiles fueron evolucionando conforme avanzaba la historia, aparecieron las flechas y el arco, luego los anzuelos que ya permitían capturar especies más grandes y a mayores profundidades. En el Neolítico el hombre se hace sedentario y nacen las primeras poblaciones junto a la costa, cuyos habitantes se dedicaban a la pesca, los instrumentos pesqueros y las redes se hacen más abundantes, nace la industria de construcción naval para la fabricación de piraguas de maderas utilizadas para la pesca. En la edad de Bronce y Hierro los instrumentos pesqueros se hacen más y más efectivos, las redes más resistentes y las embarcaciones más seguras lo que conduce a un alejamiento de las costas. Empieza el comercio y la aplicación de las primeras técnicas de conservación (secado, salado y ahumado).



Imagen 2-1. Primer anzuelo de pesca de la historia. Fuente: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.

Las técnicas van mejorando y en la Edad Antigua se empiezan a utilizar los palangres y curricanes, y se construyen las primeras almadrabas para el atún. Las embarcaciones también sufren una importante evolución con la introducción de la propulsión a vela que permite alejarse aún más de la costa, esto junto con redes cada vez mayores y de mayor calidad dio lugar al remolque de redes, lo que mejoró significativamente el rendimiento de la pesca. Además, en regiones del archipiélago japonés y China, se tiene constancia del cultivo de especies como la carpa, lo que se puede considerar como el inicio de la piscicultura.

En la Edad Media continúan esta evolución con embarcaciones cada vez mayores, aparecen los primeros buques con cubierta, varios palos que permiten gran velamen y por tanto el uso de redes de arrastre de mayor tamaño. En la Edad Moderna continua con



grandes avances en navegación además de en la construcción naval y de artes, ganando mucha importancia la pesca de altura frente a la de bajura, permitiendo un gran desarrollo en la industria conservera.

En la Edad Contemporánea el fuerte desarrollo industrial apoya el gran auge pesquero. Ya en el siglo XX con la aparición del motor diésel, el desarrollo de la navegación y de los equipos de detección de bancos de peces, sondas y sonares, de la utilización de fibras sintéticas, muy resistentes y duradera, para la fabricación de redes, la mejora de los procesos de elaboración y conservación, aparición de la congelación, mecanización de procesos, tratamiento en los parques de pesca,... ha hecho que a día de hoy apenas exista una zona del mar que no esté en explotación, incluso sobreexplotada, y que la actividad pesquera sea una actividad económica principal de muchas regiones del planeta.

Según datos de la FAO la producción pesquera mundial alcanzó su máximo en 2016 llegando aproximadamente a 171 millones de toneladas, de los cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si no se incluyen los usos no alimentarios.

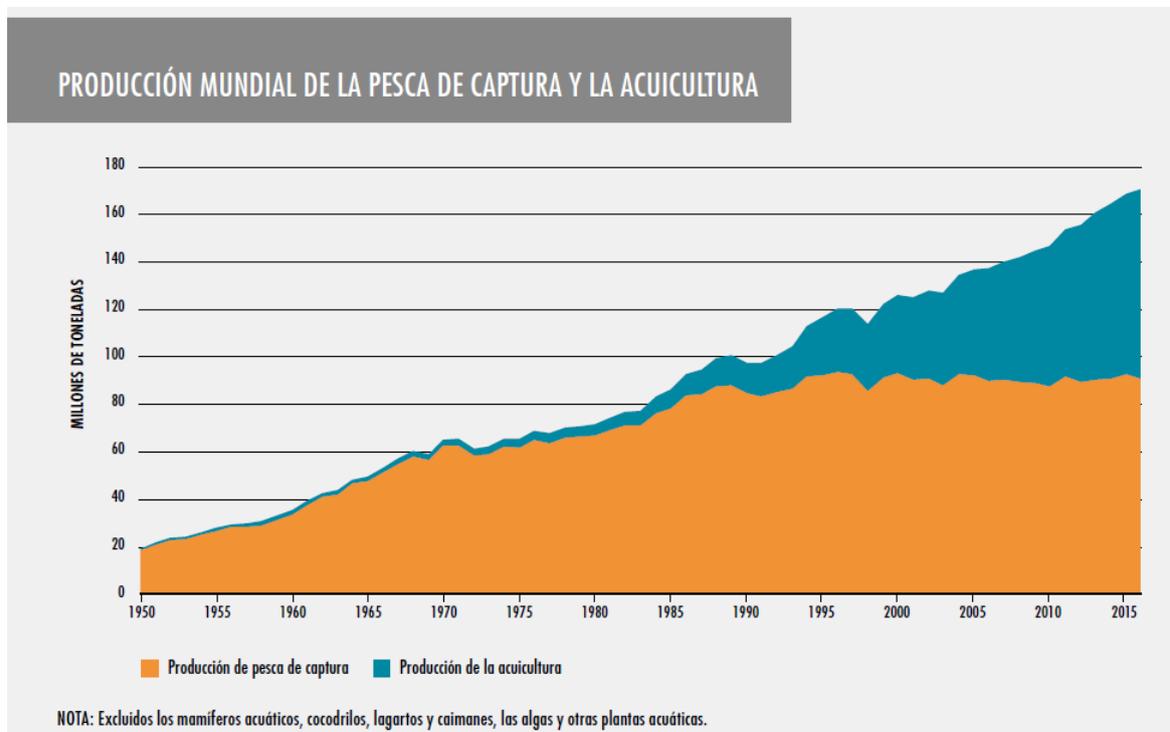


Imagen 2-2. Producción pesquera mundial. Fuente: Estado mundial de la pesca y la acuicultura FAO 2018

La importancia de la acuicultura en la actividad pesquera ha aumentado significativamente, tanto que se puede decir que ha sido el desencadenante del gran crecimiento continuo del abastecimiento de pescado para el consumo humano. En términos de producción el crecimiento de la acuicultura frente a la pesca de captura gana gran peso a partir de 1990, donde mientras que la pesca de captura se mantiene constante en un valor sobre 90 millones de toneladas, la acuicultura crece a gran velocidad llegando a alcanzar en 2015 casi 170 millones de toneladas (Imagen 2-2). En 2016, en 37 países la producción de peces cultivados superó al número de capturas en el medio natural.



2. HISTORIA E IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA

La FAO define acuicultura como el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como del interior que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción como, por ejemplo, el almacenamiento periódico, la alimentación, la protección frente a depredadores, etc. Dentro de organismo acuáticos se incluye peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. El cultivo también conlleva la propiedad individual o empresarial de la población que se cultiva y la planificación, el desarrollo y la utilización de sistemas, emplazamientos, instalaciones y prácticas de la acuicultura, así como la producción y el transporte.

Se puede situar el inicio de la acuicultura en Indonesia sobre el año 1400 A.C., donde comienza de forma casual, cuando grandes cantidades de peces entraban en aguas abrigadas cercanas a la costa durante la pleamar y después, en bajamar, muchos de ellos quedaban atrapados. Lo habitantes se dieron cuenta que se podían aprovechar de esa situación colocando medios que impidiesen que los peces escaparan cuando bajaba la marea, y así, apareció la forma más básica de acuicultura.



Imagen 2-3. Cultivo en jaulas en un embalse de Indonesia. Fuente. FAO

Como ya se ha mencionado, también se tienen evidencias de actividades de acuicultura hace aproximadamente 4000 años en China (475A.C.) con el cultivo de la carpa o en Mesopotamia hace 3500 años, lo que puede considerarse de las primeras actividades de acuicultura organizada, Estos tipos de cultivos consistían en la recolección de alevines del medio natural y posteriormente desarrollar técnicas de cría y engorde. Aunque si es cierto que no ha sido hasta épocas recientes cuando este aspecto se ha desarrollado a nivel industrial. Este hecho se debe a la abundancia de peces en lagos y mares que, junto a la falta de conocimiento para desarrollar estructuras capaces de alojar un número considerable de peces y además soportar las condiciones marinas, por lo que resultaba más fácil pescar que cultivar.

Los trabajos acuícolas llegan a Europa hace unos 2000 años, cuando los romanos empezaron a cultivar ostras, para ello utilizaban técnicas de engorde de larvas, que capturaban del medio natural y posteriormente encerraban para su crecimiento. El gran avance se dio en el siglo XIV, en Francia, donde se realizó la primera fecundación



artificial con huevos de trucha. Posteriormente, en Inglaterra se utiliza la misma técnica para el cultivo de peces planos, actividad que se sigue realizando a día de hoy.

Respecto a los crustáceos, se empezaron a cultivar hacía el año 1900 en Estados Unidos, con la langosta americana, extendiéndose a Europa también con la langosta.

En España destaca considerablemente el cultivo de mejillones, siendo nuestro país el mayor productor mundial de forma significativa de este molusco. El cultivo del mejillón se inició en Tarragona poco después del 1900, aunque es Galicia donde alcanza su gran desarrollo, llegando a producir el 90% de la producción mundial de mejillones.

Como ya se ha visto, en sus inicios la acuicultura consistía en una actividad de recolección, hoy en día, va mucho más allá del simple cultivo de peces, cogiendo importancia el cultivo de crustáceos, moluscos e incluso plantas acuáticas (Imagen 2-4). Tanto es así que en 2008 la acuicultura produjo el 93,8 por ciento de las plantas acuáticas que se consumen. Suponiendo 15,8 millones de toneladas.

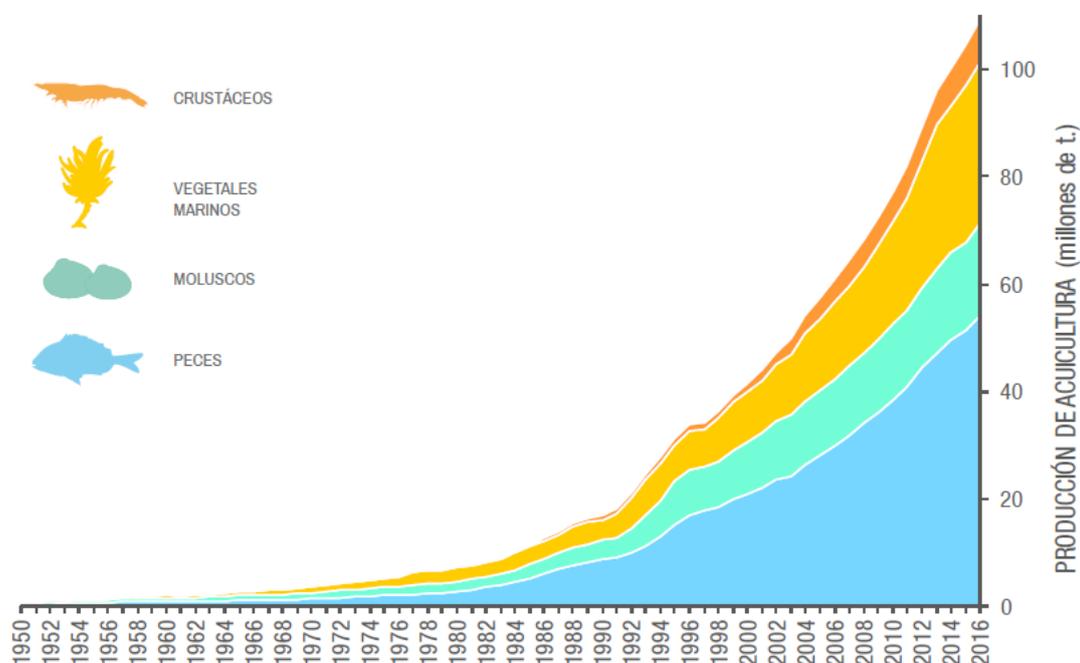


Imagen 2-4. Evolución de la producción de acuicultura mundial por grupos. Fuente: APROMAR

En 2016 casi la mitad de la cosecha total mundial de acuicultura consistió en pescado (49.1%), pero el incremento de la producción también se vio muy reflejado en los demás grupos de especies. La producción de plantas acuáticas representó el 27.3% de las toneladas totales, donde figuran principalmente algas marinas y con un volumen de producción mucho menor las microalgas, la de moluscos representa el 15.6% y la producción de crustáceos el 7.1% (Imagen 2-4).

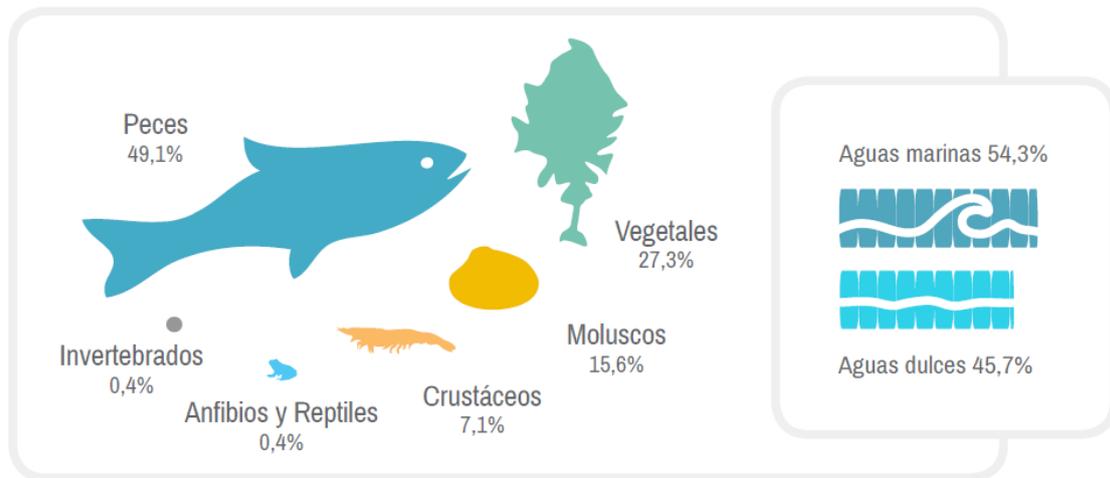


Imagen 2-5. Distribución porcentual de la producción (2016). Fuente: APROMAR

Dentro de la acuicultura se pueden distinguir entre la acuicultura continental o en aguas dulces, la acuicultura marina y la costera, ambas llevadas a cabo en aguas saladas. La instalación más utilizada para la producción en aguas marinas suelen ser los tanques excavados, aunque también son comunes los tanques sobre el suelo, canales de crianza y jaulas. El cultivo combinado de arroz y peces siguen siendo importante actualmente en zonas en las que es tradicional, sobre todo el Asia.

En la acuicultura de agua salada se distingue entre acuicultura marina o maricultura o acuicultura costera. La diferencia entre ellas está en que mientras la acuicultura marina se practica en el mar, la costera utiliza estructuras construidas de manera total o parcial por el ser humano en zonas contiguas al mar (estanques costeros, lagunas con compuertas, etc.).

En 2016, según datos de la FAO, provinieron de la acuicultura continental el 45.7% de la producción mundial predominando el cultivo de peces de aleta, en contraste, en la acuicultura marina y costera predominó la producción de moluscos con concha con un 58.8% de la producción combinada (acuicultura marina y costera). Los peces de aleta y los crustáceos supusieron en 39.9% conjuntamente.

3. ACUICULTURA EN ESPAÑA

En las últimas tres décadas la producción acuática mundial (considerando acuicultura y pesca) ha crecido de forma continua a un ritmo medio del 2.65% anual, superando incluso el ritmo de crecimiento de la población mundial (1,6%), llegando en 2016 a cifras de 202,2 millones de toneladas de producción, de los cuales 110,2 millones de toneladas procedían de la acuicultura.

Nunca se había consumido tal cantidad de productos acuáticos como actualmente. Del total de productos de origen acuático, el 2014, más del 87% estaba destinado al consumo humano directo, en 1960 este porcentaje rondaba el 67%. El resto es empleado principalmente para la alimentación animal, donde se incluye la acuicultura.



En la unión europea la acuicultura es una importante fuente de productos acuáticos, en 2016 la producción alcanzó valores de 1.292.597 toneladas, lo que supuso un aumento de 2,2% respecto al año anterior, aunque sigue por debajo del máximo de producción de acuicultura europea que tuvo lugar en 1999. España es el estado miembro de la Unión europea con una mayor producción de productos procedentes de la acuicultura, con 283.831 toneladas en 2016, seguido de Reino Unido y Francia. Sin embargo, cuando se habla del valor de la producción España ocupa la cuarta posición, liderando el grupo Reino Unido, seguido por Francia y Grecia.

Actualmente, la acuicultura en Europa es un modelo de progreso sostenible con sólidos apoyos científicos y tecnológicos. La producción de pescado mediante los modernos sistemas de acuicultura han sido un caso de éxito en el desarrollo de una nueva e innovadora actividad económica protagonista del Crecimiento Azul.



Imagen 2-6. Distribución de la producción de acuicultura en la UE. Fuente: APROMAR

España en los años 60 ocupaba una posición importante a nivel mundial de producción de productos acuáticos, esta situación estaba basada en la pesca extractiva. Pero en los años 70, el volumen de producción comenzó a disminuir acompañado de una disminución en las posibilidades de pesca. La acuicultura, que se inició alrededor de los años 60, a día de hoy, no ha sido capaz de contrarrestar la disminución en la producción de productos acuícolas tras la reducción de producción con la pesca extractiva.

La obtención en España de productos acuáticos, provenientes de la acuicultura y la pesca extractiva, se redujo en 2016 un 5,6% respecto al año anterior. Lo que lleva a una media anual de disminución de la producción acuícola del 0,2% en los últimos 10 años. Desglosando este dato, se tiene una disminución del 0,2% en la producción derivada de la pesca y, por el contrario, un aumento del 0,3% de la acuicultura. Por lo que se espera que los valores de crecimiento de la acuicultura sigan en aumento en los próximos años.

A continuación, se puede ver una gráfica de la evolución de la actividad pesquera en España, se aprecia la aparición de la acuicultura en 1960 y como ésta ha ido creciendo, aunque a niveles muy alejados de los alcanzados con la pesca extractiva.

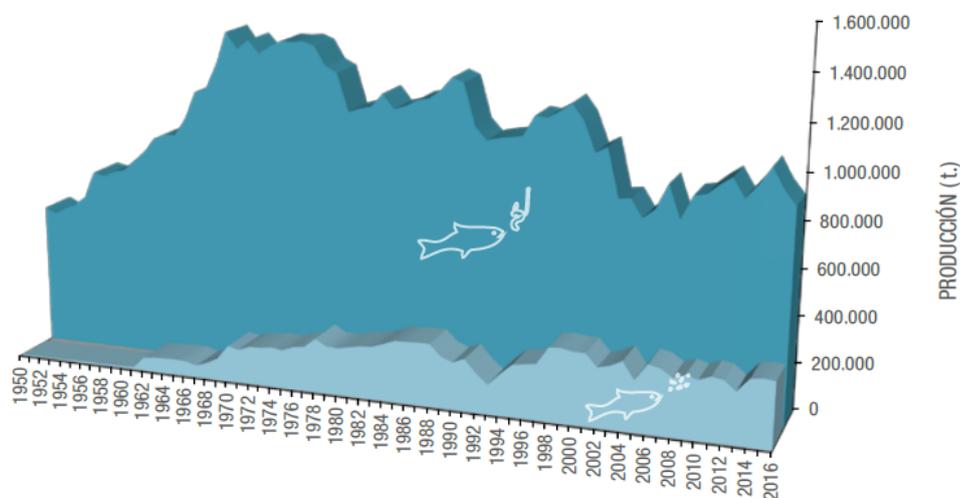


Imagen 2-7. Evolución de la actividad pesquera en España. Fuente: APROMAR

Según datos del informe del estado de la acuicultura en España (2018) realizado por APROMAR, en 2016 la principal especie producida en España fue el mejillón, con 215.855t, siendo este el principal recurso acuático vivo en términos de peso. En el ranking la lubina ocupa la segunda posición con 23.445t, seguido por la trucha arco iris (17.732t) y la dorada (13.740t).

Los datos de crecimiento de la acuicultura a nivel mundial se extienden también a España donde en 2017 la producción procedente de la acuicultura alcanzó cifras de 345.635 toneladas, casi un 22% más que en el año anterior. Aunque estas cifras no han conseguido compensar la producción de la pesca extractiva suponen el comienzo de la recuperación de la actividad pesquera.

España cuenta con unas características geográficas y climáticas excepcionales para el desarrollo de la acuicultura, a los casi 8000km de costa hay que añadirle 9 grandes ríos con sus numerosos afluentes y una gran capacidad de agua embalsada, por lo que se puede comprobar que se dispone de una gran variedad de recursos hídricos en lo que es posible realizar actividades acuícolas, tanto en aguas marinas como continentales.

Los tipos de establecimientos acuícolas en España son muy variados, desde jaulas en el mar destinadas al cultivo de peces como la dorada, lubina o corvina; bateas y líneas (*long-lines*) para moluscos bivalvos como el mejillón o establecimientos construidos sobre tierra firme de agua salada para el cultivo de rodaballo o lenguado o de agua dulce para la trucha arco iris o el esturión.

En 2016 el número de establecimientos destinados a la acuicultura ascendían a un total de 5.105, de los cuales 4.782 estaban dedicados al cultivo de moluscos, 200 eran granjas de acuicultura de peces de agua dulce, 82 granjas de agua salada (en costas, playas, zonas intermareales y esteros) y 41 eran jaulas en el mar.



4. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La explotación de recursos pesqueros es imprescindible para el consumo de la población mundial, además nunca se habían consumido tal cantidad de productos acuáticos como actualmente, lo que ha provocado que no exista una zona del mar sin explotar e incluso sobreexplotadas. Esto ha llevado a tener que establecer limitaciones por parte los gobiernos, imponiendo topes de captura en ciertas especies o incluso prohibiendo su captura ciertos meses del año.

Por eso, se ha visto que la acuicultura va cobrando más importancia en la economía mundial y va creciendo año a año, aunque todavía no alcanza los niveles de la pesca extractiva. APROMAR sitúa la acuicultura como uno de los pilares fundamentales del Crecimiento Azul una de las iniciativas por las que apuesta la unión europea y España con el fin de alcanzar un crecimiento inteligente y sostenible. Así, la acuicultura se presenta como la mejor solución para dejar de explotar nuestros mares y océanos, permitiendo la regeneración natural de las especies.

Otra de las líneas que actualmente se encuentra en auge, es la utilización de energías renovables, el uso de combustibles fósiles ha llevado a elevados niveles de contaminación no solo en el mar sino también en el aire. Mientras que los océanos cubren más de dos tercios de la superficie del mundo, sólo el 2% de la energía alimentaria destinada al consumo humano procede del mar.

Actualmente, la gran mayoría de granjas marinas no necesitan una instalación eléctrica, ya que consisten simplemente en jaulas fondeadas en el mar, cerca de la costa, donde la alimentación y control de la producción se realizar de forma manual con ayuda de pequeñas embarcaciones auxiliares. Pero como en todos los campos, existe un gran avance tecnológico, y cada vez más se tienden a la automatización de los procesos. El mercado avanza hacia instalaciones marinas más complejas que puedan instalarse más alejadas de la costa en zonas de mayor profundidad con mejores características para el cultivo, necesitando menos implicación humana con la automatización de procesos: alimentación automática, control remoto de la producción, sensores para el control de la temperatura y calidad del agua, bombeo de nutrientes, cámaras para control a tiempo real, etc.

Con todo esto, se identifica la necesidad actual de investigar e innovar en el diseño y construcción de granjas marinas, y por tanto, se propone desarrollar el diseño preliminar de una granja marina capaz de trabajar el alta mar. Para lo que se estudiarán los requisitos energéticos de la instalación y se realizará un diseño con la mayor capacidad autosostenible posible, reduciendo al mínimo la huella medioambiental de la instalación, siguiendo los compromisos de sostenibilidad que actualmente se promueven desde el sector pesquero y acuícola.



5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Colectivo de autores. (2018). Informe anual: La acuicultura en España. APROMAR (Asociación empresarial de acuicultura de España).
- [2] Colectivo de autores. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura - 2018. Roma: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.).
- [3] FAO. Historia de la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- [4] Mascaraque Ramírez, C. A. (2018). Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 1: Introducción a la actividad pesquera. ETSINO (UPCT).
- [5] Mascaraque Ramírez, C. A. (2018). Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 7: La actividad acuícola. ETSINO (UPCT).
- [6] Santos Rodríguez, L. and Nuñez Basañez, J. (1994). Fundamentos de pesca. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería naval.



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE LA ESPECIE

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

ÍNDICE DE ELEMENTOS	23
1. ESPECIES QUE MÁS SE PRODUCEN A TRAVES DE LA ACUICULTURA	24
2. ESTUDIO DE MERCADO PARA LA SELECCIÓN DE LA ESPECIE	26
2.1 CULTIVO DE DORADA	33
2.1.1 Reproducción y manejo de reproductores	34
2.1.2 Incubación	35
2.1.3 Cultivo larvario.....	35
2.1.4 Nursery	36
2.1.5 Preengorde	37
2.1.6 Engorde.....	37
3. PLAN DE PRODUCCIÓN	37
3.1 CALCULO DE LA PRODUCCIÓN	40
4. BIBLIOGRAFIA	44



ÍNDICE DE ELEMENTOS

Imagen 3-1. Producción de lubina en España 2017. Fuente: APROMAR.....	25
Imagen 3-2. Producción de dorada en España 2017. Fuente: APROMAR.....	25
Imagen 3-3. Producción de trucha arco iris en España 2017. Fuente: APROMAR.....	26
Imagen 3-4. Principales especies según tipo de cultivo. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)	27
Imagen 3-5. Cultivo intensivo. Fuente: Asignatura pesca (UPCT).....	28
Imagen 3-6. Cultivo extensivo. Fuente; Asignatura pesca (UPCT)	29
Imagen 3-7. Extracto Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (92/66/CEE)	30
Imagen 3-8. Evolución del consumo de dorada y lubina en los hogares españoles (2017). Fuente: APROMAR	32
Imagen 3-9. Localización de la dorada en el mundo. Fuente: dorada.es.....	33
Imagen 3-10. Ciclo de producción de Dorada (<i>Sparus aurata</i>) - Sistema intensivo. Fuente: FAO	34
Imagen 3-11. Tanques de cultivo larvario. Fuente: Innovaqua	35
Imagen 3-12. Crecimiento de la dorada. Fuente: Fundación observatorio nacional de acuicultura.	36
Imagen 3-13. Tanque de cultivo de alevines. Fuente: Asignatura pesca (UPCT).....	36
Imagen 3-14. Gráfico de ventas de dorada en Mercamadrid. 2017.....	38
Imagen 3-15. Precio medio de la dorada 2017	39
Imagen 3-16. Dinero movido por tallas 2017	39
Imagen 3-17. Plan de producción estimado de la primera fase.	41
Imagen 3-18. Plan de producción a 3 años	43



1. ESPECIES QUE MÁS SE PRODUCEN A TRAVÉS DE LA ACUICULTURA

La variedad de especies que se producen en la acuicultura y sus diferentes modos de cultivos es muy extenso llegando en 2016 a registrarse 598 especies cultivadas alguna vez en el mundo, tras un aumento del 26,7% pasando de 472 especies en 2006 a las 598 mencionadas. Según datos de la FAO, el valor de registro para 2016 corresponde a 369 especies de peces de aleta, 109 moluscos, 64 crustáceos y 7 anfibios y reptiles, excluyendo caimanes y cocodrilos, además de especies que se obtienen de experimentos de investigación, se cultivan como pienso vivo o especies ornamentales.

A pesar del elevado número de especies que se han cultivado, el volumen de producción procedente de la acuicultura está dominado por un grupo muy pequeño de especies tanto a nivel regional, nacional y mundial. En el cultivo de peces de aleta, el grupo más extenso, sólo 27 especies de las 369 registradas en 2016 suponían el 90% de la producción. Particularizando el estudio a la Unión Europea, este mismo año se obtuvo una producción de 688.924 toneladas de pescado proveniente de la acuicultura, del cual casi el 93% de la producción se obtuvo de 10 especies de peces

Especie	Nombre científico	Toneladas
Trucha arco iris	<i>Onchorynchus mykiss</i>	185.400
Salmón del atlántico	<i>Salmo salar</i>	184.030
Dorada	<i>Sparus aurata</i>	83.186
Lubina	<i>Dicentrarchus labrax</i>	81.852
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	72.912
Rodaballo	<i>Psetta maxima</i>	10.116
Pez gato	<i>Clarias gariepinus</i>	8.198
Anguila europea	<i>Anguilla</i>	6.709
Atún rojo	<i>Thunnus thynnus</i>	6.089
Carpa plateada	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	5.051
Total 10 especies		640.543
Resto de especies		48.381
Total acuicultura		688.924

Tabla 3-1. Principales especies de peces producidas mediante acuicultura UE. Fuente: APROMAR informe acuicultura 2018

En España de estas especies destaca el cultivo de la lubina, trucha arco iris y dorada, que lideran el mercado como principales especies en cuanto a volumen de producción.

La lubina es una especie litoral pelágica que tiene su hábitad de forma natural en la zona oriental de océano Atlántico, canal de la Mancha, mar Báltico desde Noruega hasta Marruecos y por todo el mar Mediterráneo. Su cultivo se realiza en todos los países del mediterráneo, encabezando la lista Turquía seguida de Grecia y España. La producción acuícola total en 2017 de Europa y el resto del mediterráneo alcanzó las 192.557 toneladas lo que supuso un crecimiento del 9.1%, además para el siguiente año se espera que la cifra



haya crecido un 4% adicional. Su cultivo se realiza en instalaciones muy variadas desde jaulas flotantes en el mar, tanques de hormigón o estanques en tierra.

La crianza de lubina en España esta encabeza por la Región de Murcia seguido por Canarias y la Comunidad Valenciana. Este 2018 se espera que la producción total haya aumentado un 8.6% respecto a 2017.

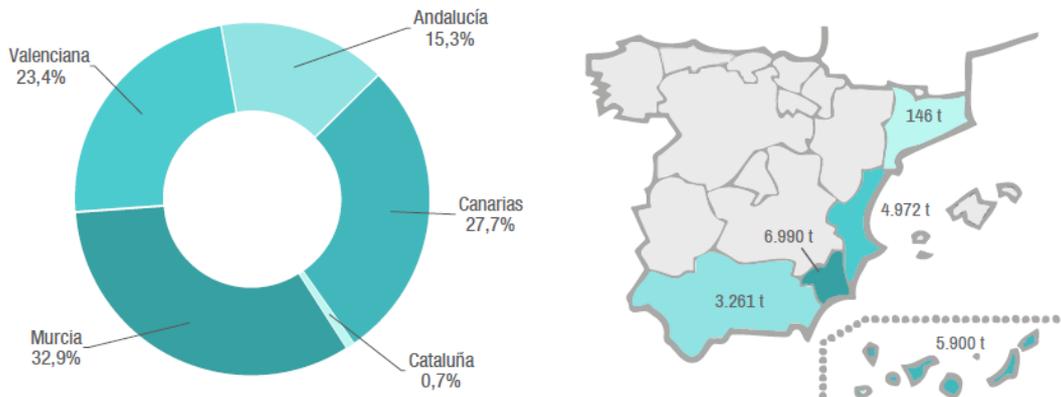


Imagen 3-1. Producción de lubina en España 2017. Fuente: APROMAR

El cultivo de la Dorada se realiza principalmente en el mediterráneo, en hasta 20 países principalmente, siendo el primer productor Turquía, seguido de Grecia, y España. En 2017 la producción de dorada se estima en 230.167 toneladas un valor similar al de 2016, para 2018 se estima que este valor haya aumentado sobre un 6% llegando a las 220.500 toneladas.

La dorada se caracteriza por su cuerpo ovalado de color gris plateado con una banda dorada entre los ojos. Es una especie litoral que se encuentra en aguas salobres y marinas, de forma salvaje se encuentra por todo el mediterráneo y las costas orientales del océano atlántico. Su cultivo, al igual que la lubina, se realiza en instalaciones muy variadas como jaulas flotantes en el mar, tanques de hormigón o estanques en tierra.

En España el cultivo de la dorada se realiza en todo el litoral mediterráneo, sobre todo en la Comunidad Valenciana y Murcia, entre ambas producen más del 70% de la producción del país.

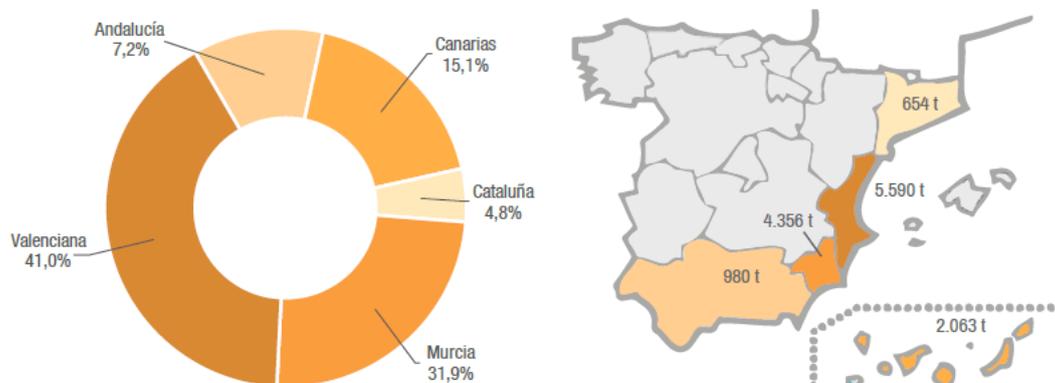


Imagen 3-2. Producción de dorada en España 2017. Fuente: APROMAR



Por otro lado, el cultivo de la trucha arco iris está mucho más distribuido, llegando a producirse en hasta 79 países de los cinco continentes. Los principales productores son Irán, Turquía y Noruega.

La trucha arco iris se cultiva principalmente en agua dulce, un 70% aproximadamente, la otra parte finaliza su crianza en agua salada. La gran importancia a nivel mundial de la producción de trucha arco iris a través de la acuicultura se debe al volumen de producción casi inexistente de tan solo 1.217 toneladas procedente de la pesca extractiva. Las instalaciones que se utilizan para su cultivo son variadas desde estanques en tierra, instalaciones de hormigón o fibra o jaulas marinas tanto en agua dulce como en salada.

En España la producción de esta especie se encuentra bastante más diseminada que en caso de la lubina y dorada desarrollados anteriormente. Destaca como principal provincia productoras Castilla y León seguida de Galicia, Andalucía y Cataluña.

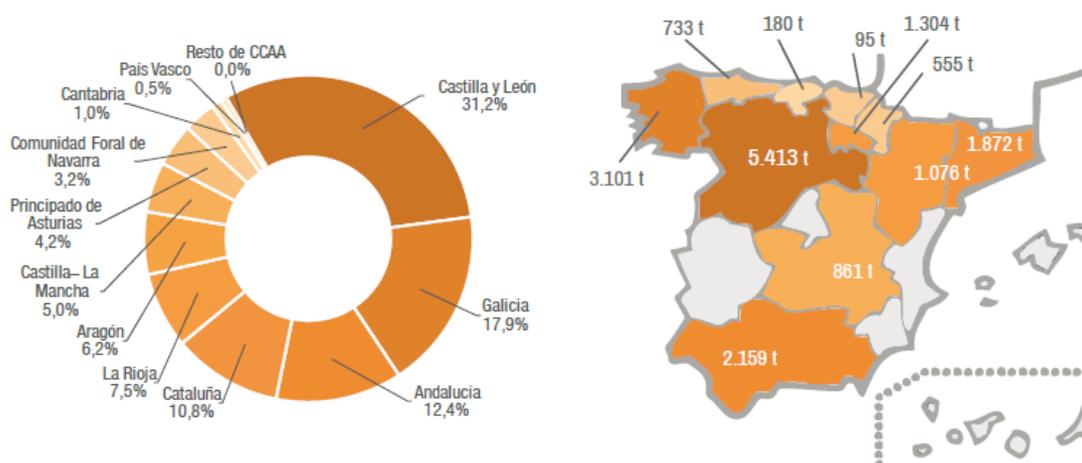


Imagen 3-3. Producción de trucha arco iris en España 2017. Fuente: APROMAR

2. ESTUDIO DE MERCADO PARA LA SELECCIÓN DE LA ESPECIE

El primer paso para el desarrollo del proyecto es la selección de la especie a cultivar, para ello se va a realizar un pequeño estudio de mercado para encontrar una solución de compromiso para seleccionar una especie que sea adecuada para su cultivo en jaulas marinas.

Es importante tener en cuenta la disposición natural de las especies a ser cultivadas, existen especies con las que se han conseguido grandes éxitos por su buena adaptación a ser cultivadas mientras otras no han superado el nivel de investigación.

Los criterios a seguir para la selección de la especie son principalmente tres:

- Criterios de mercado
- Criterios biológicos
- Criterios de producción



Un buen punto de partida es considerar como especies aptas para el cultivo aquellas que son utilizadas habitualmente para el consumo humano y cuyo estudio de las condiciones biológicas y fisiológicas se encuentran muy desarrolladas.

Con los criterios de mercado se analiza la aceptación de las distintas especies por el consumidor y la influencia del volumen de producción a sacar en el mercado, para ello hay que tener en cuenta los hábitos alimentarios de la población y sus tradiciones, además de otros aspectos como sencillez de preparación y la calidad nutritiva del pescado.

Otro de los factores que afectan en la selección de especies en el mercado es su apariencia, el color rosado de algunas especies como los salmones son características deseables por los consumidores, de igual modo ocurre con el lenguado fresco y el color blanco que le caracteriza frente al color amarillento de otras especies de peces planos, pero no solo influye la apariencia, también muchas otras características como la facilidad en la limpieza o la cantidad de producto aprovechable tras su limpieza o cambios de textura en un corto periodo de tiempo, etc. Es decir, los criterios de mercados se enfocan a problemas con el rendimiento en la producción y su facilidad de venta.

En España, peces como la lubina, la dorada o el rodaballo están muy integrados en la cultura y la producción procedente de piscifactorías tiene una gran aceptación en el mercado, tanto es así que más del 90% del volumen de estas especies en el mercado proviene de cultivos marinos, exactamente el 94,5% del volumen total de lubinas corresponde a lubinas de crianza, para la dorada y el rodaballo se alcanzan valores del 95,3% y 99%, respectivamente.

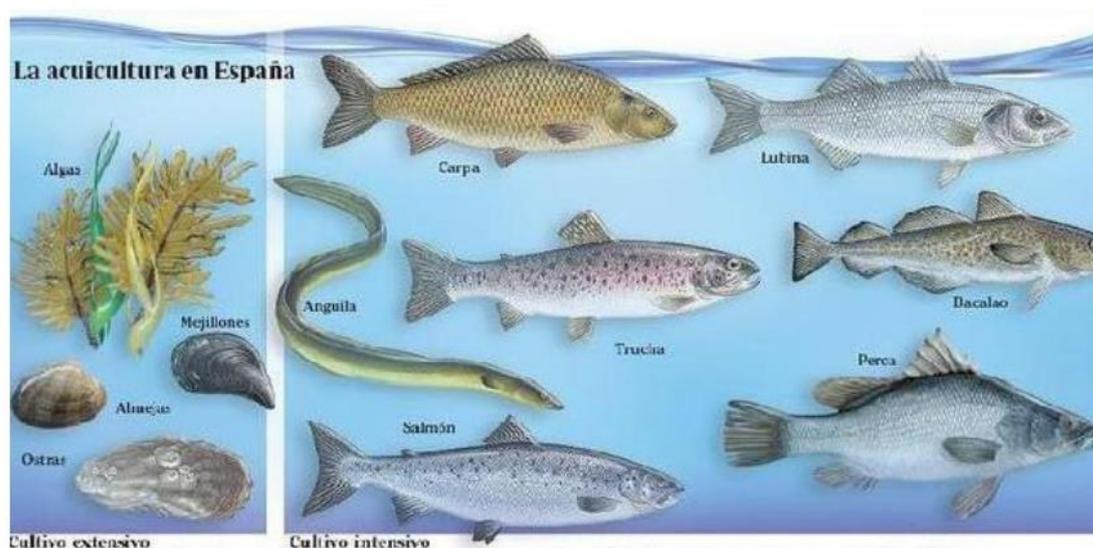


Imagen 3-4. Principales especies según tipo de cultivo. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)

Los criterios biológicos también son decisivos para la selección de la especie, en principio estos criterios son los que determinan que una especie, por sus características biológicas es óptima para ser cultivada. Por lo que es imprescindible conocer las necesidades nutritivas, las condiciones ambientales que necesitan y cómo influyen en los procesos fisiológicos, además de tener en cuenta los procesos reproductores y las interacciones del individuo y el grupo con el entorno.



Dentro de los criterios biológicos se debe tener en cuenta varios aspectos:

- Tasa de crecimiento: el crecimiento de los peces se ve fuertemente influido por la cantidad de alimento y la temperatura del agua. Además, existen límites legales de tamaño para muchas especies comerciales tanto de tamaño como de edad. Por un lado, respecto a la cantidad de alimento el crecimiento será máximo con una alimentación, comúnmente conocida como, *a saciedad* aunque en el caso de la crianza hay que tener en cuenta que la cantidad de alimento para un nivel de crecimiento óptimo puede ser limitativo a la hora de seleccionar la especie a cultivar por lo que habrá que evaluar la eficiencia económica llegando a un equilibrio entre el coste del alimento y el valor de los peces, ya que el precio por kilo del pescado no siempre se incrementa con el tamaño de este. Por otro lado, los peces son animales poiquiloterms, es decir, no son capaces de regular su temperatura corporal, por lo que su metabolismo funciona de forma óptima dentro de un rango de temperaturas. Dentro de este rango su crecimiento será máximo y se verá afectado en caso de no encontrarse en una temperatura adecuada.
- Técnicas de desove, cultivo de larvas y formas juveniles. Una de las ventajas del cultivo de peces es la gran variedad de especies y por lo tanto, adaptabilidad a distintas condiciones ambientales, además son especies con un alto contenido proteico, pero por otro lado, la principal dificultad de su cultivo está en la regulación de la reproducción. Este aspecto supone un gran encarecimiento de las instalaciones de cultivo integral. Dentro de los criterios biológicos hay que evaluar la viabilidad del cultivo larvario y formas juveniles, así como tener en cuenta el suministro de reproductores y la captura de hembras grávidas en poblaciones naturales para su cultivo en estanques con rápido crecimiento, ya que en especies en cautividad la capacidad reproductiva puede verse mermada. Por tanto, la seguridad del suministro de reproductores va a ser determinante a la hora de seleccionar una especie tanto si se trata de cultivos intensivos como si se trata de cultivos extensivos o semiintensivos.



Imagen 3-5. Cultivo intensivo. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)



Imagen 3-6. Cultivo extensivo. Fuente; Asignatura pesca (UPCT)

Conviene evaluar la respuesta de las distintas especies a la cautividad, en lo que a maduración, reproducción y desove se refiere. En este aspecto es importante situarse en zonas donde las poblaciones naturales sean abundantes, y así disponer de mayor variabilidad de ejemplares adultos.

En conclusión, para la selección de una especie es muy importantes la disponibilidad de reproductores, aspecto que se simplifica si se cultiva dentro de su hábitat natural.

- Territorialidad y canibalismo. Esto puede suponer un grave problema, por lo que antes de seleccionar una especie es importante conocer su comportamiento en cautividad, a veces es necesario disminuir la densidad del cultivo para evitar conflictos de territorialidad y canibalismo dentro del recinto. La falta de tolerancia a la masificación puede ser una respuesta al estrés ambiental, que puede estar producido por la pobre calidad del agua, del alimento, etc. y estar sujeta a la tendencia a adquirir enfermedades. Estos riesgos se reducen si se acortan los tiempos de producción por lo que un índice de crecimiento rápido es una buena cualidad a tener en cuenta para la especie candidata.
- Condiciones ambientales. Ya se ha mencionado que las condiciones ambientales influyen tanto en el crecimiento de las especies, así como en su capacidad reproductiva, pero su influencia no termina ahí, unas condiciones ambientales fuera de los parámetros habituales del medio natural pueden ir en detrimento de la supervivencia. Por lo que es interesante que los niveles de tolerancia a cambios ambientales sean amplios y se reducirán riesgos en el cultivo. Hay muchos parámetros a tener en cuenta no solo influye la temperatura del agua sino también se debe considerar la tensión de oxígeno, la intensidad lumínica, turbidez, salinidad, pH del agua, movimientos del mar, concentración de metales pesados, amoníaco, así como residuos industriales y contaminación que pueden afectar a la calidad del agua.



Dentro de los criterios de producción, las especies de crecimiento rápido permiten recuperar la inversión a corto plazo, y una mayor adaptación al mercado y a los requisitos de la demanda. Es básico dentro de los criterios de producción determinar el tamaño adecuado de la producción para su introducción en el mercado. Esto vendrá determinado por el beneficio sobre el coste de producción. Dentro de los costes de producción en una empresa de acuicultura, la partida más elevada puede considerarse el coste de la alimentación, llegando a alcanzar casi el 50% de los costes de explotación. Dentro de este apartado, también hay que considerar el personal, que es otro capítulo costoso dentro del presupuesto, además este debe ser especializado para realizar un buen seguimiento del cultivo y un buen mantenimiento de la planta.

Con todos estos parámetros la especie ideal correspondería a una especie de crecimiento rápido, con una fácil adaptación a los piensos compuestos, facilidad de reproducción en cautividad, alta fecundación, que tenga una fácil conversión del alimento, resistencia a las enfermedades y tolerancia a una amplia gama de parámetros ambientales.

España ha llevado a cabo trabajos de planificación de la actividad acuícola con el fin de mejorar la competitividad del sector y su expansión, desde los inicios de la acuicultura en el país como actividad económica. Algunos de los documentos más relevantes son:

- Libro blanco de la Acuicultura Española
- Plan estratégico de la Acuicultura Marina española (PEA)
- Estrategia Española de desarrollo sostenible
- Planes Estratégicos autonómicos

De estos documentos surge otro denominado Plan estratégico plurianual de la acuicultura española 2014-2020 donde se analiza la situación actual de la acuicultura en España y propone líneas de actuación que posibiliten un crecimiento y desarrollo sostenible.

Además de estos planes estratégicos, las comunidades autónomas y el Estado han realizado desde 1985 una selección de especies dentro de los programas de orientación plurianuales (POP) para clasificar aquellas que se consideran prioritarias y su cultivo está bajo la protección de una serie de ayudas de cara a un desarrollo industrial. Esta selección es revisada cada 4 años.

ANEXO

PROGRAMA DE ORIENTACIÓN PLURIANUAL — ACUICULTURA ESPAÑA

Especies

Principales especies: rodaballo, lubina, dorada, trucha arco iris, mejillones, ostras, almejas.

Otras: seriola, mujilidos, tenca, lenguado, atún, anguila, langostinos (*Penaeus*), camarones (*Palaemonidae*), cangrejo rojo y cangrejo del Pacífico, pectínidos, escupiñas, salmónidos de agua de mar.

Regiones. Zonas

Todo el territorio español, incluidas Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla.

Imagen 3-7. Extracto Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (92/66/CEE)



En la primera selección propuesta, respecto a los peces seleccionados se contaban con 13 especies distintas. En la versión posterior, este número disminuyó a 10 y se comenzó a distinguir entre especies principales y especies secundarias. Entre las especies principales se encontraban especies con un desarrollo y tecnología muy avanzada y las especies secundarias, eran especies que no contaban con un desarrollo tan avanzado, pero tenían cierto interés bien por la demanda que tenían en el mercado o por los buenos resultados conseguidos en las investigaciones realizadas. Como especies principales se incluían el rodaballo, la lubina, la dorada y la trucha arco iris.

	Peces	Crustáceos	Moluscos
1983-1986	Rodaballo, Lubina, Dorada, Trucha arco iris, Salmónidos, Anguila, Lenguado, Mugílidos, Seriola, Túnidos, Sargo, Besugo y Herrera	Langostino, camarón, Artemia, Nécora, Bogavante y Percebe	Almejas, Ostras, Mejillón, Vieira, Escupiña, Chirla, Coquina, Berberecho y Haliotis
1987-1991	<u>Especies prioritarias:</u> Rodaballo, Lubina, Dorada y Trucha arco iris	Langostino, Camarón, Artemia y Cangrejo rojo	Almejas, Ostras, Mejillón, Vieira, Escupiña, Chirla, Coquina y Tellerina
	<u>Especies secundarias:</u> Salmónidos, Anguila, Lenguado, Mugílidos, Seriola y Túnidos		
1992-1996	<u>Especies prioritarias:</u> Rodaballo, Lubina, Dorada y Salmónidos	Langostino, Camarón y Cangrejo rojo	Almejas, Ostras, Mejillón, Pectínidos y Escupiña
	<u>Especies secundarias:</u> Anguila, Lenguado, Mugílidos, Seriola y Túnidos		
1997-2001	<u>Especies prioritarias:</u> Rodaballo, Lubina, Dorada y Salmónidos	Langostino y Camarón	Almejas, Ostras, Mejillón y Pectínidos
	<u>Especies secundarias:</u> Anguila, Lenguado, Mugílidos, Seriola, Túnidos		
	<u>Nuevas especies:</u> Besugo, Pargo, Dentón, Mero y Esturión		

Tabla 3-2. Selección de especies programas de orientación plurianual

La última publicación del POP tenía validez hasta 2001, después de esto se elaboró el PEA, plan estratégico de la acuicultura marina en 2007-2008 y fue revisado durante los años 2010-2011. El PEA estaba enfocado a 5 especies en concreto estas eran: dorada, lubina, corvina, rodaballo y lenguado.



España, como ya se comentó en el primer capítulo de este documento, es el primer productor de acuicultura de la UE, segundo de Europa detrás de Noruega, destacando la producción de peces marinos como la dorada, lubina, trucha arco iris y Rodaballo.

Para este estudio se van a seleccionar, las tres especies que a lo largo de las distintas revisiones de las especies seleccionadas para los programas de orientación se han considerado como principales, estas son, la dorada, la lubina y el rodaballo y además formaban parte también del alcance del PEA. Además, coinciden con tres de las cuatro especies más importantes en cuanto a volumen de producción de la acuicultura española.

La dorada, la lubina y el rodaballo se adaptan a la perfección a los criterios de selección de especies detallados, ya que son especies altamente consumidas en este país y tienen una muy buena aceptación en el mercado, además por sus características biológicas se adaptan muy bien a ser criados en cautividad y con las condiciones climáticas de los mares que rodean la península. El cultivo del Rodaballo destaca en la zona norte de España, especialmente en Galicia, existiendo también producción en Cantabria, aunque en un porcentaje muy inferior. La dorada y la lubina se cultivan principalmente en la zona mediterránea, correspondiendo la mayor producción, en el caso de la dorada a la Comunidad Valenciana y en el de la lubina a la Región de Murcia.

De estas tres especies, destacan especialmente el cultivo de la lubina, 21.269t, y de la dorada, 13.643t, frente al rodaballo 8.546t, valores de producción en España en el año 2017, por lo que para la selección de la especie a cultivar se va a descartar esta última.

Para la selección definitiva de la especie, tanto la dorada como la lubina son especies bastante consolidadas en el mercado por lo que ambas suponen un bajo riesgo de la inversión. Para la decisión final, se va a analizar el consumo en toneladas de producto en España. En las siguientes gráficas se puede observar cómo aun estando en valores de consumo similares, la media anual es ligeramente superior para la dorada.

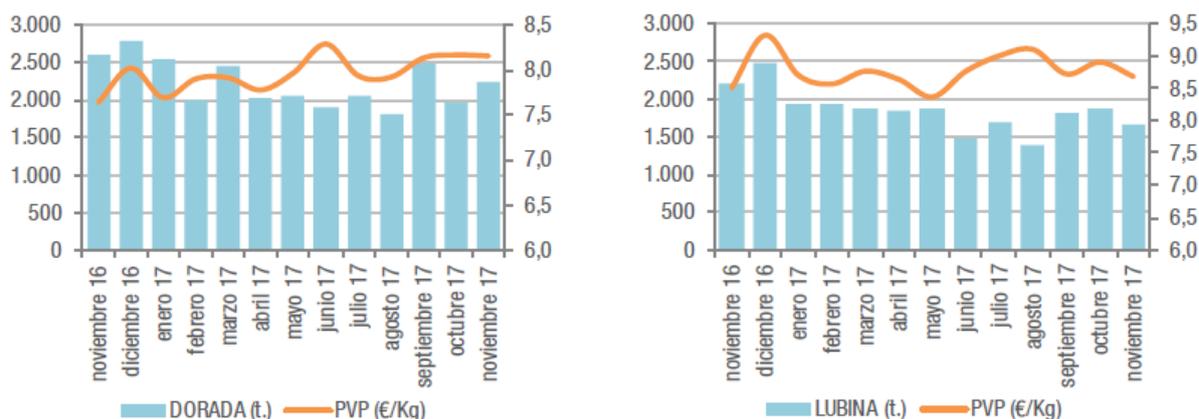


Imagen 3-8. Evolución del consumo de dorada y lubina en los hogares españoles (2017). Fuente: APROMAR

Atendiendo a criterios biológicos, las doradas son animales relativamente fáciles de manejar y clasificar. La mortalidad durante el engorde tanto en estanques como en jaulas suele ser baja, del orden de un 5-10 % a no ser que aparezcan enfermedades. Lo que reduce riesgo en la inversión.



2.1 CULTIVO DE DORADA

Hoy en día, la dorada es el pez de agua de mar más cultivado en el Mediterráneo. Es un pez perciforme que pertenece a la familia de los espáridos, es fácilmente reconocible por la banda dorada que presenta entre los ojos. Su cabeza es grande, con el perfil del rostro convexo y los ojos pequeños, su cuerpo es ovalado, alto y comprimido lateralmente. Presenta una aleta dorsal continua y las aletas pectorales son largas y puntiagudas. Su coloración es gris plateada, más oscuro en el dorso y bastante claro en la zona ventral.

Como ya se comentó en los primeros apartados de este capítulo, la dorada, de forma salvaje, se encuentra por todo el mediterráneo y costas del Atlántico oriental desde Guinea y Senegal hasta el Cantábrico, en las Islas Canarias y en la zona sur de las Islas Británicas.



Imagen 3-9. Localización de la dorada en el mundo. Fuente: dorada.es

Es un pez eurihalino y euritermo, por lo que puede vivir en ambientes marinos o salobres, ha demostrado ser capaz de vivir en condiciones de salinidad de entre el 3‰ y el 70‰, particularmente durante las primeras fases de su ciclo de vida, penetrando en las lagunas costeras y zonas estuáricas. Un ejemplo de esto es el Mar Menor donde abundan estas especies y cuya salinidad variable puede llegar a ser muy elevada.

En cuanto a temperatura, es una especie muy sensible a las bajas temperaturas, siendo letal temperaturas del orden de 5°C, por el contrario, soportan bastante bien las altas temperaturas, llegando a tener un crecimiento muy alto a temperaturas de 25-26°C y llegando a tolerar temperaturas de hasta 33°C

Puede vivir más de 10 años y su alimentación es carnívora, alimentándose principalmente de moluscos, crustáceos y pequeños peces o cefalópodos.

En mar abierto, se pueden encontrar doradas en fondos rocosos y de algas, Posidonia oceánica, aunque también es habitual encontrarlos en fondos arenosos. Los individuos jóvenes suelen quedarse en zonas poco profundas de menos de 30m, mientras que los adultos pueden habitar aguas más profundas a partir de 50m, pudiendo llegar a 100-150 metros de profundidad.



2.1.1 Reproducción y manejo de reproductores

Su reproducción es del tipo hermafroditismo proterándrico, primero se comportan como machos y luego como hembras. De forma general, la madurez sexual, como machos, tiene lugar cuando alcanzan una talla entre 20-30cm sobre los dos años de edad. Al final de esta primera fase reproductora, los individuos inician un proceso de inversión sexual alcanzando la madurez sexual como hembras a partir del tercer año de vida, cuando miden entre 30 y 40 cm.

La época natural de puesta de la dorada se extiende desde noviembre hasta febrero, pero en los criaderos, cambiando el fotoperiodo y la temperatura se han conseguido puestas en todas las épocas del año.

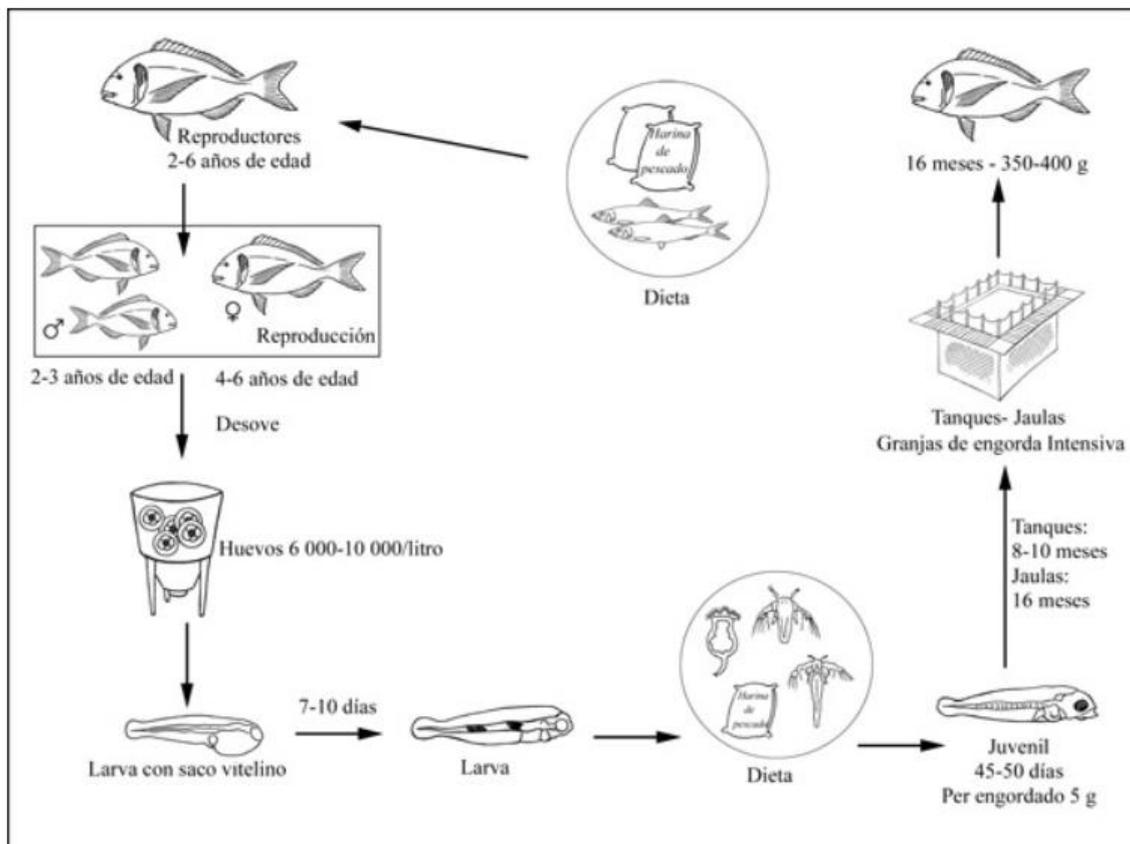


Imagen 3-10. Ciclo de producción de Dorada (*Sparus aurata*) - Sistema intensivo. Fuente: FAO

A la hora del cultivo, en el caso de la dorada es difícil saber cuántos macho y hembras se tienen exactamente, ya que los procesos de inversión sexual también dependen de factores sociales por lo que influye el número de macho jóvenes que haya o la presencia de hembras de gran tamaño. Para la reproducción, se debe tener una densidad de 4-5 kg/m³, una salinidad alta de entre 37-38 ‰ y el oxígeno próximo a la saturación. Para la reproducción se suelen emplear tanques redondeados de cemento o fibra para mantener a los reproductores. Estos tanques estarán dispuestos de sistemas para controlar tanto la temperatura como el fotoperiodo, con el fin de tener puestas fuera de los ciclos naturales.



2.1.2 Incubación

A la salida de los tanques de reproductores se colocan unos colectores mediante los cuales se recogerán los huevos fecundados de dorada. El colector superficial que se colocan en la superficie del tanque. Consiste es un filtro con un tamaño de entre 400 y 500 μ por el circula el agua procedente del tanque de reproductores de forma que los huevos quedan depositados. Estos filtros son controlados diariamente y en el caso de haber puesta, se sacan para contarlos y controlarlos.

Las puestas deben cumplir unas ciertas características de forma y flotabilidad, si no se cumplen o se tiene más de un 20% de mortalidad o deformidad en los huevos, la puesta es descartada y no se realiza la incubación.

Los huevos considerados aptos se pasan a los tanques de incubación, suelen ser con forma troncocónica con un volumen de entre 100-500 litros, con renovación continua de agua, aunque existen algunos criaderos donde se recircula el agua con el fin de controlar mejor las condiciones, en este caso como la oxigenación debe ser máxima suelen disponerse difusores u otros sistemas de aireación.

Esta fase suele durar entre 40-45 días, y la tasa de eclosión se encuentra alrededor del 70%.

2.1.3 Cultivo larvario

Los tanques de cultivo de larvas suelen ser circulares y tiene capacidad para unos 5.000 y 10.000 litros. Pueden construirse de hormigón armado, fibra de vidrio, poliéster, polietileno o cloruro de vinilo.



Imagen 3-11. Tanques de cultivo larvario. Fuente: Innovaqua

Esta unidad tiene que disponer de sistemas de filtración, de control de la temperatura, aireación suficiente, además de cultivos de fitoplancton y zooplancton para la alimentación de las larvas.

Las larvas de dorada a partir del segundo día comienzan a nadar y a moverse, y son capaces de capturar las primeras presas. El día 5, ya se ha reabsorbido el saco vitelino y el séptimo día se da por finalizada la fase vitelina alcanzando el punto de inanición irreversible. En este momento la larva ya nada activamente y se comportan como depredadores.



Imagen 3-12. Crecimiento de la dorada. Fuente: Fundación observatorio nacional de acuicultura.

La metamorfosis, que dará como resultado los alevines, se realiza entre los días 45 y 60 de vida, tras la misma los alevines tienen ya un peso de 40-60 mg y miden entre 10-15mm. En esta fase la supervivencia está por encima del 20%, alcanzando el 30-35% en muchos casos.

2.1.4 Nursery

Comienza a los 60-80 días, como el tamaño de las postlarvas suelen ser insuficientes para su traslado directo a las unidades de engorde, suelen instalarse lo que se denomina “*nurseries*”, donde se realiza un primer pre-engorde y los alevines alcanzan una talla suficiente como para dejar de ser muy débiles y así disminuir las altas tasas de mortalidad. Esta fase dura hasta los 100-120 días de vida y es importante clasificarlos periódicamente por tamaños para evitar el canibalismo.

En estas instalaciones la supervivencia es alta, del orden de un 85-90 %, y el crecimiento es elevado, con una tasa de crecimiento diario del orden de 5.



Imagen 3-13. Tanque de cultivo de alevines. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)



2.1.5 Preengorde

Constituye la primera fase del engorde y suele durar entre 45 y 120 días, dependiendo de cuál sea la temperatura del agua.

En este primer engorde, se tiene un control más exhaustivo sobre los alevines llegan con un tamaño de 1-2 gramos y pasan a la siguiente fase con un tamaño entre 15-20 gramos.

Se suele trabajar con densidades finales de 10-20 kg/m³, y concentraciones de oxígeno en el agua próximas a la saturación.

2.1.6 Engorde

La fase de engorde es la última fase en el cultivo, va desde los 15-20g hasta alcanzar la talla comercial (350-400g), el tiempo de esta fase oscila entre los 13-16 meses, dependiendo de la época de inicio del engorde, aunque en zonas más frías puede alcanzar los 18 meses. Por el contrario, en las Islas Canarias el engorde se realiza en unos 11-12 meses o unos 14 meses si se pretende alargar el crecimiento hasta los 450-500 g.

El alimento es exclusivamente pienso seco comercial. Las doradas son animales relativamente fáciles de manejar y clasificar. La mortalidad durante el engorde tanto en estanques como en jaulas suele ser baja, del orden de un 5-10 % a no ser que aparezcan enfermedades.

3. PLAN DE PRODUCCIÓN

La instalación a proyectar solo está destinada a la última fase del cultivo, la fase de engorde. Por lo que, se recibirán los alevines de dorada, de 30gr de peso de un criadero externo, donde han recibido un pre-engorde hasta alcanzar el tamaño requerido.

Antes de comenzar con el dimensionamiento de la instalación es necesario la realización un pequeño plan inicial de producción, con el que calcular el número de alevines y tiempos de engorde, valores necesarios para el posterior dimensionamiento. Además, con el plan de producción se busca programar en que meses se realizará la introducción de los alevines y la recolección de los peces para su venta.

Con el plan de producción se calcula la cantidad de alimento que se necesita y cantidad de alevines necesarios para una determinada cantidad de producción, los meses de 'siembra' y por tanto los de recolección.

Para elegir los meses de recolección, se va a basar en las estadísticas de ventas del pasado año de Mercamadrid, aunque nuestro producto no va destinado exclusivamente al mercado madrileño, sino que en principio no van destinados a un público en particular estos datos servirán de referencia.

A continuación, se muestra tabulado el número de ventas en kg de Dorada, en los datos se distingue entre 3 tallas de dorada, el primer grupo incluye dorada pequeña de un peso entre 300-400 gr, el segundo grupo corresponde a un tamaño mediano de entre 400-600gr y por último se tiene un tercer grupo de un tamaño más grande a partir de 600gr.



	300-400 GR	400-600 GR	MÁS 600 GR	TOTAL
Enero	241.317	144.794	72.402	458.513
Febrero	277.043	175.597	83.114	535.754
Marzo	279.269	194.068	85.986	559.323
Abril	234.548	183.922	104.870	523.340
Mayo	138.782	121.430	69.388	329.600
Junio	167.086	146.201	83.542	396.829
Julio	186.569	163.242	105.775	455.586
Agosto	159.042	134.539	78.792	372.373
Septiembre	267.503	208.049	118.883	594.435
Octubre	226.298	185.496	105.997	517.791
Noviembre	186.200	158.920	93.095	438.215
Diciembre	286.008	261.089	176.488	723.585

Tabla 3-3. Estadística de Ventas de dorada en 2017. MERCAMADRID

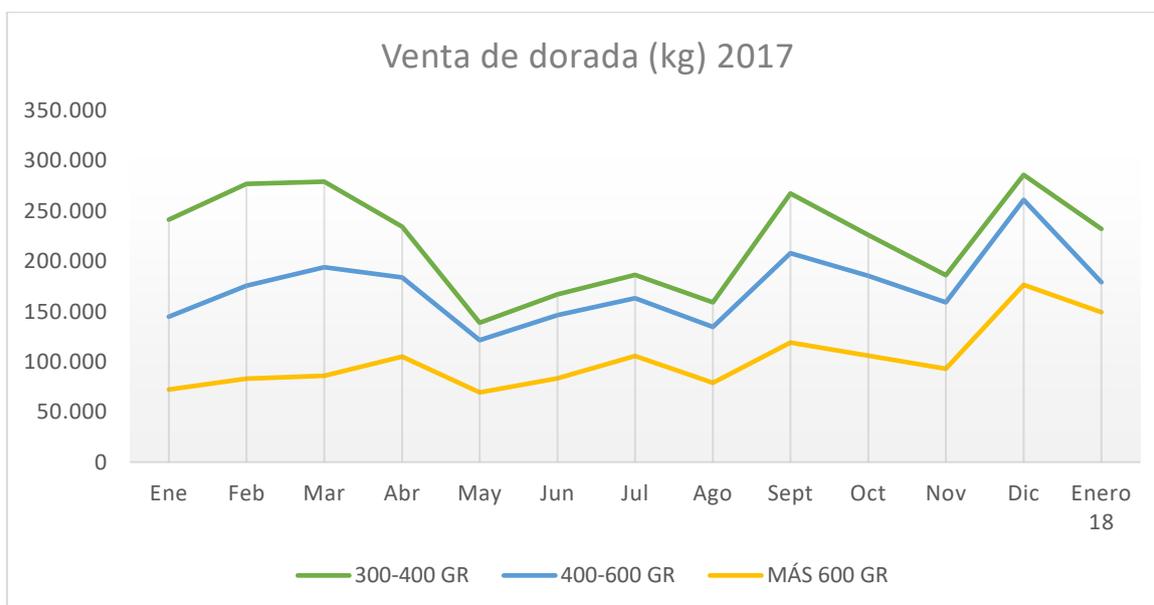


Imagen 3-14. Gráfico de ventas de dorada en Mercamadrid. 2017

Al representar los valores mostrados en la Tabla 3, se observan que a lo largo del año se dan 3 picos de ventas, el primero en febrero-marzo, el segundo en septiembre y el tercero en diciembre. Además, la talla con un valor más alto de ventas corresponde a doradas pequeñas de entre 300-400 gramos de peso.

En la siguiente gráfica se observa el precio medio por tallas a lo largo del año 2017. Se ve que el precio medio por kilo es significativamente mayor en las doradas de mayor tamaño.

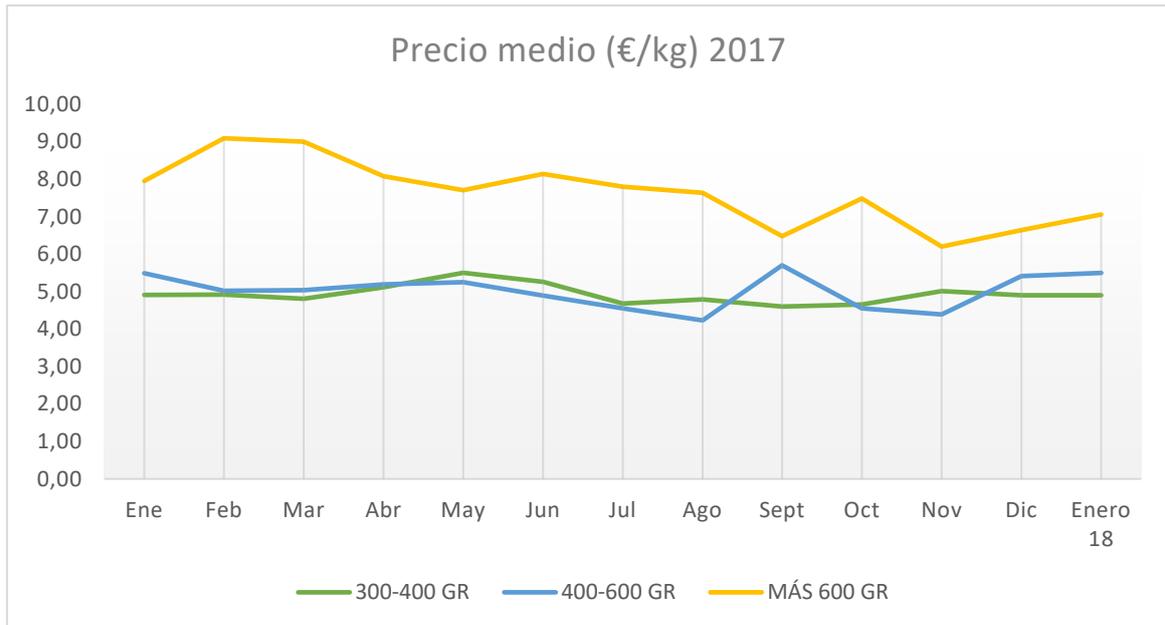


Imagen 3-15. Precio medio de la dorada 2017

Aunque el mayor precio por kilo sea de la dorada de mayor tamaño, también corresponde a la talla menos vendida, por lo que, para decidir la talla a cultivar se va a realizar un pequeño cálculo con los dos valores anteriores y así comprobar que talla ha sido la que mayor cantidad de dinero ha movido. Esto queda representado en la siguiente gráfica.

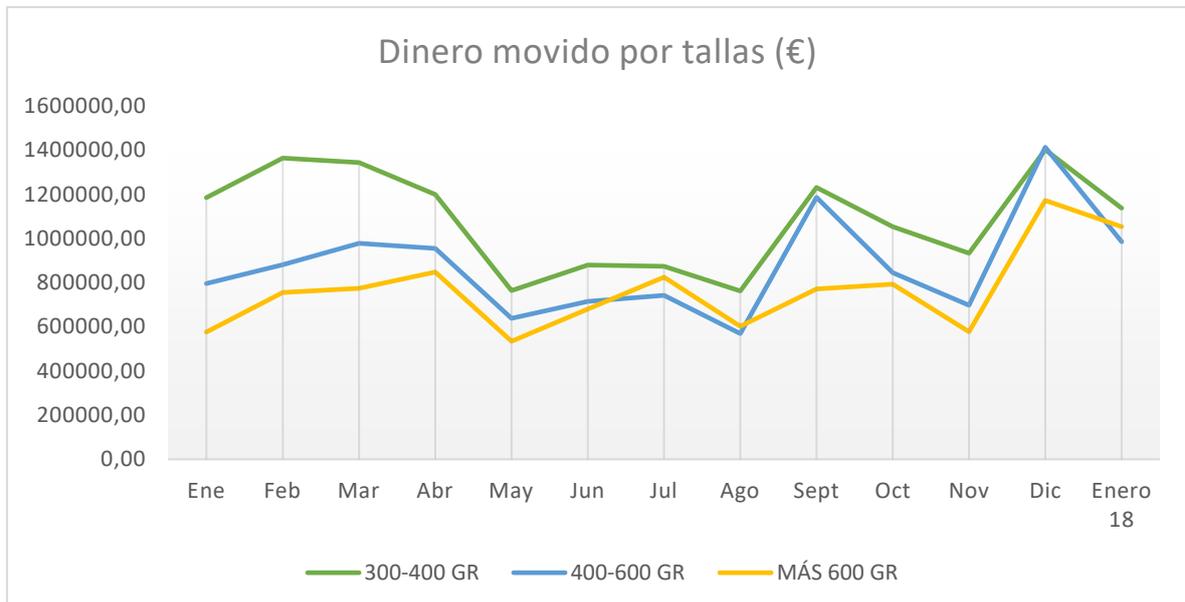


Imagen 3-16. Dinero movido por tallas 2017

En vista de las cifras mostradas, se ha decidido que la especie a comercializar serán doradas de entre 300-400gr además de ser la talla que más dinero ha movido en el transcurso del pasado año, esta decisión se respalda por el menor coste de producción de estos ejemplares, ya que es necesario alimentarlos e invertir en ellos durante un tiempo menor.



3.1 CALCULO DE LA PRODUCCIÓN

En base a las tendencias obtenidas de las estadísticas de Mercamadrid y con previsión de unas ventas nacionales que no se centren únicamente en el mercado madrileño, se prevé una producción de 150t anuales de dorada de talla pequeña (300-400gr).

En vista a los picos de ventas que se representaban en la imagen 6, la producción se distribuirá en 3 partidas a lo largo del año marzo, septiembre y diciembre. Como el volumen de venta de estos tres picos es similar, marzo 279.269kg, septiembre 267.503kg y diciembre 286.008 kg, las ventas se repartirán en 45t en marzo, 45t en septiembre y 60t en diciembre.

- NUMERO DE ALEVINES

El primer valor que estimar va a ser el número de alevines a introducir en la instalación de engorde para cada una de las producciones.

El número de alevines se va a estimar a través de la siguiente expresión:

$$n^{\circ} \text{ alevines} = \frac{\text{Producción (kg)} \cdot 100}{(100 - \text{Mortalidad}) \cdot \text{Peso venta (kg)}}$$

Donde la producción será la mencionada anteriormente según la partida, y el peso final se establece en 350gr, la mitad del rango del tallaje seleccionado. Además, se estima un ciclo productivo de 30gr a 350gr de 13 meses.

La mortalidad durante el engorde tanto en estanques como en jaulas suele ser baja, del orden de un 5-10 %. Para los cálculos se va a considerar una mortalidad del 10%. Estos valores aproximados han sido consultados en el cuaderno de acuicultura centrado en el cultivo de la dorada de Aurelio Ortega.

Partida	Marzo	Septiembre	Diciembre	TOTAL
Producción (kg)	45.000	45.000	60.000	150.000
Mortalidad (%)	10	10	10	
Peso final (kg)	0,35	0,35	0,35	
Alevines	142.857	142.857	190.476	476.190

Tabla 3-4. Número de alevines necesarios

Considerando, como ya se ha mencionado, un ciclo de producción de 13 meses, y la producción anual distribuida en 3 partidas a lo largo del año (marzo, septiembre y diciembre), el plan para la primera producción a realizar es el mostrado en la siguiente imagen.



	PARTIDA 1	PARTIDA 2	PARTIDA 3
2020			
Enero	Introducción de alevines		
Febrero	Engorde mes 1		
Marzo	Engorde mes 2		
Abril	Engorde mes 3		
Mayo	Engorde mes 4		
Junio	Engorde mes 5		
Julio	Engorde mes 6	Introducción de alevines	
Agosto	Engorde mes 7	Engorde mes 1	
Septiembre	Engorde mes 8	Engorde mes 2	
Octubre	Engorde mes 9	Engorde mes 3	Introducción de alevines
Noviembre	Engorde mes 10	Engorde mes 4	Engorde mes 1
Diciembre	Engorde mes 11	Engorde mes 5	Engorde mes 2
2021			
Enero	Engorde mes 12	Engorde mes 6	Engorde mes 3
Febrero	Engorde mes 13	Engorde mes 7	Engorde mes 4
Marzo	VENTA	Engorde mes 8	Engorde mes 5
Abril		Engorde mes 9	Engorde mes 6
Mayo		Engorde mes 10	Engorde mes 7
Junio		Engorde mes 11	Engorde mes 8
Julio		Engorde mes 12	Engorde mes 9
Agosto		Engorde mes 13	Engorde mes 10
Septiembre		VENTA	Engorde mes 11
Octubre			Engorde mes 12
Noviembre			Engorde mes 13
Diciembre			VENTA

Imagen 3-17. Plan de producción estimado de la primera fase.

La tabla anterior muestra una planificación teórica. Para realizar una estimación más próxima a la realidad, habrá que analizar el crecimiento de los alevines mes a mes, para saber la duración exacta del ciclo productivo, así como los pesos que van alcanzando y la tasa de crecimiento diario. Esta tasa de crecimiento diario (SGR) se va condicionada por el pienso que se utilice para alimentar a los alevines.

También hay que considerar el crecimiento desigual de los peces durante el engorde, por lo que hay que realizar una preclasificación según tamaños y así evitar disparidad dentro de una misma jaula. Los alevines se dividen en 3 grupos: cabeza, cuerpo y cola. Los alevines considerados ‘cabeza’ son aquellos que tienen un peso superior al de la media y se estima en que representen el 20% del total. Los ‘cuerpos’, son aquellos alevines que tienen un peso medio, este grupo será el más numeroso incluyendo al 60% del total. Por último, las ‘colas’ son aquellos que su nivel de crecimiento ha sido inferior y por tanto presentan menor peso, se estima que este grupo representa también un 20% del total.

Después de la clasificación, se separarán en jaulas distintas las colas, favoreciendo así su crecimiento hasta la talla adecuada y se mantendrán en la jaula inicial el grupo de cuerpos y cabezas, continuando, ya de forma separada, con el proceso de engorde.

Con esta preclasificación según tamaños que se hará al final del mes 5 del ciclo de producción, se tiene que para cumplir con las 3 partidas a lo largo del año son necesarias 7 jaulas en la instalación. Aunque los tres grupos, cabeza, cuerpo y cola no tengan los mismos tamaños al final del ciclo, saldrán al mercado el mismo mes. En el caso de peces



‘cuerpo’ y ‘cabeza’ que corresponderá aproximadamente al 60% del total de la partida y el 20%, respectivamente, estos saldrán al mercado durante la primera semana del mes previsto, asumiendo que todos los individuos estarán dentro del rango seleccionado 300-400gr o con un peso algo superior al objetivo, pero si se analiza la figura 3-16, se observa que el dinero movido es superior en los meses de marzo, septiembre y diciembre en peces de una talla superior a la seleccionada (400-500gr) en comparación al dinero movido por la talla objetivo (300-400gr), los meses anteriores a los seleccionados (febrero, agosto y noviembre). Por esto se toma la decisión de que los tres grupos salgan al mercado el mismo mes, aunque sí en distintas semanas.

En el caso de 20% correspondiente los peces ‘colas’ estos saldrán al mercado la tercera semana del mismo mes, teniendo así 3 semanas más para alcanzar el peso objetivo.

La planificación final para los primeros tres años de producción al mercado se muestra en la siguiente imagen. En el primer año no saldrán producción a la venta, solo se criarán las partidas para el año 2021, que corresponde al primero con ventas, donde ya si saldrán las 3 partidas planificadas (P1, P2 y P3) representadas en naranja. Las partidas del año 2022 están representadas en azul (P4, P5 y P6) y, por último, las del año 2023, P7, P8 y P9, representadas en verde.



	JAULA 1	JAULA 2	JAULA 3	JAULA 4	JAULA 5	JAULA 6	JAULA 7
2020							
Enero	Introducción de alevines						
Febrero	Engorde mes 1						
Marzo	Engorde mes 2						
Abril	Engorde mes 3						
Mayo	Engorde mes 4						
Junio	Engorde mes 5						
Julio	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 6	Introducción de alevines				
Agosto	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 7	Engorde mes 1				
Septiembre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	COLA Engorde mes 8	Engorde mes 2				
Octubre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 9	Engorde mes 3		Introducción de alevines		
Noviembre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	COLA Engorde mes 10	Engorde mes 4		Engorde mes 1		
Diciembre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	COLA Engorde mes 11	Engorde mes 5		Engorde mes 2		
2021							
Enero	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	COLA Engorde mes 12	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 6	Engorde mes 3	Introducción de alevines	
Febrero	VENTA P1 CUERPO	VENTA P1 COLA	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 7	Engorde mes 4	Engorde mes 1	
Marzo			CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	COLA Engorde mes 8	Engorde mes 5	Engorde mes 2	
Abril			CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 9	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	Engorde mes 3	COLA Engorde mes 6
Mayo			CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	COLA Engorde mes 10	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	Engorde mes 4	COLA Engorde mes 7
Junio			CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	COLA Engorde mes 11	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	Engorde mes 5	COLA Engorde mes 8
Julio	Introducción de alevines	COLA Engorde mes 6	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	COLA Engorde mes 12	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 9
Agosto	Engorde mes 1	COLA Engorde mes 7	VENTA P2 CUERPO	VENTA P2 COLA	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 10
Septiembre	Engorde mes 2	COLA Engorde mes 8			CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	COLA Engorde mes 11
Octubre	Engorde mes 3	COLA Engorde mes 9		Introducción de alevines	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 12
Noviembre	Engorde mes 4	COLA Engorde mes 10		Engorde mes 1	VENTA P3 CUERPO	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	VENTA P3 COLA
Diciembre	Engorde mes 5	COLA Engorde mes 11		Engorde mes 2		CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	
2022							
Enero	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 12	Introducción de alevines	Engorde mes 3	COLA Engorde mes 6	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	
Febrero	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 13	Engorde mes 1	Engorde mes 4	COLA Engorde mes 7	VENTA P4 CUERPO	
Marzo	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	VENTA P4 COLA	Engorde mes 2	Engorde mes 5	COLA Engorde mes 8		
Abril	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9		Engorde mes 3	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 9		COLA Engorde mes 6
Mayo	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10		Engorde mes 4	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 10		COLA Engorde mes 7
Junio	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11		Engorde mes 5	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	COLA Engorde mes 11		COLA Engorde mes 8
Julio	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	COLA Engorde mes 6	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 12	Introducción de alevines	COLA Engorde mes 9
Agosto	VENTA P5 CUERPO	COLA Engorde mes 7	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	COLA Engorde mes 13	Engorde mes 1	COLA Engorde mes 10
Septiembre		COLA Engorde mes 8	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	VENTA P5 COLA	Engorde mes 2	COLA Engorde mes 11
Octubre	Introducción de alevines	COLA Engorde mes 9	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12		Engorde mes 3	COLA Engorde mes 12
	Engorde mes 1	COLA Engorde mes 10	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	VENTA P6 CUERPO		Engorde mes 4	VENTA P6 COLA
Diciembre	Engorde mes 2	COLA Engorde mes 11	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11			Engorde mes 5	
2023							
Enero	Engorde mes 3	COLA Engorde mes 12	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12		Introducción de alevines	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	COLA Engorde mes 6
Febrero	Engorde mes 4	VENTA P1 COLA	VENTA P7 CUERPO		Engorde mes 1	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	COLA Engorde mes 7
Marzo	Engorde mes 5				Engorde mes 2	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8	COLA Engorde mes 8
Abril	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6			COLA Engorde mes 6	Engorde mes 3	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 9
Mayo	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7			COLA Engorde mes 7	Engorde mes 4	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	COLA Engorde mes 10
Junio	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8			COLA Engorde mes 8	Engorde mes 5	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	COLA Engorde mes 11
Julio	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	COLA Engorde mes 6	Introducción de alevines	COLA Engorde mes 9	CUERPO y CABEZA Engorde mes 6	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	COLA Engorde mes 12
Agosto	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	COLA Engorde mes 7	Engorde mes 1	COLA Engorde mes 10	CUERPO y CABEZA Engorde mes 7	VENTA P8 CUERPO	VENTA P8 COLA
Septiembre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	COLA Engorde mes 8	Engorde mes 2	COLA Engorde mes 11	CUERPO y CABEZA Engorde mes 8		
Octubre	CUERPO y CABEZA Engorde mes 12	COLA Engorde mes 9	Engorde mes 3	COLA Engorde mes 12	CUERPO y CABEZA Engorde mes 9	Introducción de alevines	
Noviembre	VENTA P9 CUERPO	COLA Engorde mes 10	Engorde mes 4	VENTA P9 COLA	CUERPO y CABEZA Engorde mes 10	Engorde mes 1	
Diciembre		COLA Engorde mes 11	Engorde mes 5		CUERPO y CABEZA Engorde mes 11	Engorde mes 2	

Imagen 3-18. Plan de producción a 3 años



4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Colectivo de autores (2018). *Informe anual: La acuicultura en España*. APROMAR (Asociación empresarial de acuicultura de España).
- [2] Comunicación de la comisión europea al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. (2013) *Directrices estratégicas para el desarrollo sostenible de la acuicultura de la UE*. Bruselas.
- [3] Corral, M.L., Grizel, H., Montes, J., Polanco, E. (2000). *La acuicultura. Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. Tomo I: análisis del desarrollo de los cultivos: medio, agua y especies*. Fundación Alonso Martín Escudero.
- [4] Mascaraque Ramírez, C. A. (2018). *Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 7: La actividad acuícola*. ETSINO (UPCT).
- [5] Mascaraque Ramírez, C.A. (2018). *Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 8: Tipos de cultivos marinos*. ETSINO (UPCT).
- [6] Mascaraque Ramírez, C.A. (2018). *Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 9: Criterios de selección de especie*. ETSINO (UPCT).
- [7] Mascaraque Ramírez, C.A. (2018). *Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 10: Instalaciones*. ETSINO (UPCT).
- [8] Mercamadrid. (2019). *Estadísticas - Mercamadrid*. Retrieved 2019 January, from <http://www.mercamadrid.es/estadisticas/>
- [9] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Plan Estratégico Plurianual de la Acuicultura Española 2014-2020*. Documento de Planificaciones Estratégicas Autonómicas.
- [10] Ortega, A. (2008). *Cuadernos de acuicultura. Cultivo de Dorada (Sparus aurata)*. Madrid, Fundación observatorio español de acuicultura.
- [11] Ortega, A. (2013). *Cuadernos de acuicultura. Cultivo de lubina (Dicentrarchus labrax)*. Madrid, Fundación observatorio español de acuicultura.



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 4: SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

ÍNDICE DE ELEMENTOS	47
1. FACTORES PARA LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	48
2. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	49
3. BIBLIOGRAFIA	57



ÍNDICE DE ELEMENTOS

Imagen 4-1. Situación de las boyas. Fuente: puertos.es	50
Imagen 4-2. Reducción del volumen de las redes con distintas velocidades de corrientes. Fuente: Huang et al. 2006.....	51
Imagen 4-3. Instalaciones de acuicultura en el litoral mediterráneo. Fuente: Acuivisor.	52
Imagen 4-4. Distribución praderas marinas en Alicante norte (Izquierda) y Alicante sur (Derecha). Fuente: Atlas praderas marinas de España ref. [7].	53
Imagen 4-5. Distribución praderas marinas en Murcia nordeste (Izquierda) y Murcia sudoeste (Derecha). Fuente: Atlas praderas marinas de España ref. [7].	54
Imagen 4-6. Proveedores de alevines. Fuente: elaboración propia	54
Imagen 4-7. Carta náutica zona de Guardamar. Fuente: Acuivisor.....	55
Imagen 4-8. Puerto deportivo y pesquero de Guardamar. Fuente: guardamarturismo.com	56
Imagen 4-9. Ubicación de la instalación. Fuente: Acuivisor.....	56



1. FACTORES PARA LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Antes de realizar el dimensionamiento de la instalación es necesario seleccionar el emplazamiento, ya que de él dependerán parámetros importantes en el diseño de la instalación.

La selección del emplazamiento, donde se ubicará la instalación, debe considerar varios factores para el correcto crecimiento del cultivo que se pretende realizar. Se debe tener en cuenta una serie de factores climatológicos que influirán en las solicitaciones de la estructura como el viento, del que se debe conocer su dirección dominante y su velocidad. De la misma manera también deben conocerse la dirección e intensidad de las corrientes y del oleaje. Otros factores como la intensidad de la luz y el fotoperiodo o el régimen de lluvias influyen en el buen desarrollo de las especies.

Respecto al agua y sus características, su importancia es fundamental, ya que su calidad incide directamente en el buen éxito de la empresa. El rango de temperaturas, de salinidad, de alcalinidad u incluso la turbidez, la penetración de la luz o cantidad de gases disueltos tienen que ser estudiados.

Respecto a la instalación marina son datos necesarios aspectos como el flujo de las mareas, las oscilaciones, coeficientes y alturas, presencia de corrientes y acción de las olas. Todos estos parámetros influirán en el diseño y por tanto en la selección del emplazamiento.

Con esto, se llega a la conclusión de que los factores a tener en cuenta para la selección del emplazamiento se pueden agrupar en 3 grupos. El primero correspondería a las condiciones ambientales y físico-químicas necesarias para las especies puedan crecer y desarrollarse en un ambiente óptimo, aquí se incluye la calidad del agua, la temperatura, contenido de oxígeno, así como la intensidad de las corrientes y mareas.

Principales indicadores de calidad del agua

- Salinidad
- Temperatura
- pH
- Concentración de oxígeno/anhidrido carbónico
- Concentración de amoníaco
- Concentración de nitrito, nitratos, fósforo, calcio, magnesio, cloro
- Partículas sólidas en suspensión
- Turbidez
- Metales pesados
- Fenoles y compuestos orgánicos



La temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad son parámetros que afectan directamente a la tasa de crecimiento, por otro lado, el pH disuelto afecta directamente a la fase de reproducción.

El segundo grupo correspondería a las condiciones que influyen sobre la estructura. En este punto se tendrán en cuenta las condiciones ambientales y solicitaciones sobre la estructura, así como las condiciones para mantener con éxito la estructura: profundidad y sustrato.

En el tercer grupo se van a incluir aspectos más técnicos y económicos como, la accesibilidad, proximidad al mercado, facilidad de abastecimiento, etc.

2. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Teniendo en cuenta los aspectos fisicoquímicos se buscará la proximidad a una costa en la que den las consigan las condiciones necesarias para el engorde de los alevines y de la que pueda obtener un agua con las condiciones más similares posibles. Una de las ubicaciones más ideales para la cría de la dorada es el Mediterráneo, donde abundan estas especies en estado salvaje. Por lo que las condiciones ambientales, temperatura del agua y salinidad son las apropiadas para el cultivo de dorada. Recordando los datos incluidos en el capítulo 2 sobre la producción de dorada en el mundo, el mercado está fuertemente dominado por Grecia y Turquía, ocupando España el tercer lugar.

Por este motivo se ha decidido emplazar la instalación en territorio nacional, donde hay una gran producción, lo que da cuenta de que se conocen los procedimientos y se dispone de los medios técnicos necesarios, pero no se llega a un nivel de producción tan alto como para que se pueda deducir que el mercado estará saturado y empezar la actividad será un negocio de alto riesgo y con grandes dificultades para llegar a ser competitivo.

Tomada esta decisión, se debe considerar dónde, dentro del territorio español, se ubicará la instalación, puesto que se dispone de zonas muy adecuadas para el cultivo de dorada en todo el litoral levantino, Andalucía y las Islas Canarias. Volviendo también a los datos incluidos en el capítulo 2, la producción a nivel nacional está liderada por dos comunidades la Comunidad Valenciana con un 41% y Murcia con un 31,9%. Además, se han encontrado inconvenientes para emplazar la instalación en otras de las comunidades en las que también se produce dorada: Canarias (15,1%), Andalucía (7,2%) y Cataluña (4,8%).

- **Canarias:** Presenta la gran ventaja de que en sus aguas tropicales el crecimiento de los individuos es más rápido, por la mayor estabilidad térmica del agua a lo largo del año. No obstante, se considera que la pequeña extensión disponible y la distancia al mercado peninsular son inconvenientes superiores a esta ventaja, que repercutirán negativamente en la actividad de cultivo.
- **Cataluña:** Esta actividad presenta muy poco desarrollo, por lo que comenzar desde cero resultará complicado, ya que será necesario iniciar la apertura del mercado, lo que llevará tiempo y repercutirá muy negativamente en la actividad durante los primeros años, que se podrán volver especialmente arduos.



- **Andalucía:** En esta comunidad la actividad tampoco se encuentra fuertemente desarrollada y estable. Además de esto, en el mercado andaluz existen otras especies con más cuota de mercado como el besugo de la pinta, la Acedía, el boquerón o la caballa. Por lo que la dorada, no tiene tanto arraigo en la población como en otras comunidades como la Comunidad Valenciana y Murcia.

Atendiendo ahora al segundo grupo de factores a tener en cuenta, los relativos a la instalación, dentro de las costas del Mediterráneo, más concretamente entre la Comunidad Valenciana y Murcia, los parámetros oceánicos como corrientes, oleaje, salinidad y temperatura no presentan valores extremos que permitan descartar un emplazamiento. Los datos oceánicos a analizar se van a obtener de las boyas de puertos del estado ubicadas por el litoral de la Comunidad Valenciana y Murcia.



Imagen 4-1. Situación de las boyas. Fuente: puertos.es

A continuación, se pueden observar los valores de los datos oceánicos para las boyas seleccionadas para un periodo anual entre diciembre de 2012 y noviembre 2013. Se van a estudiar un total de 5 boyas, tres de ellas costeras (Cabo de Palos, Alicante y Valencia) y dos boyas de Aguas profundas (Cabo de Palos y Valencia).

	Cabo de Palos	Alicante	Valencia
Profundidad (m)	67	50	50
Oleaje: altura sign. Media (m)	0,75	0,66	0,61
Oleaje: Altura sign. Max (m)	3,65	4,03	3,9

Tabla 4-1. Datos oceánicos boyas en aguas costeras



	Cabo de Palos	Valencia
Profundidad (m)	239	326
Oleaje: altura sign. Media (m)	1,08	0,86
Oleaje: Altura sign. Max (m)	5,7	3,99
Corrientes: Velocidad media (cm/s)	27,89	11,08
Corrientes: Velocidad máx.(cm/s)	96	44,5

Tabla 4-2. Datos oceánicos boyas en aguas profundas

Una característica importante es la velocidad de las corrientes, se buscan zonas con corrientes y oleaje moderado que permitan tener una buena renovación del agua, pero sin ser excesiva y perjudique el crecimiento de los peces o favorezca la deformación de las redes. Para este dato se van a tomar de referencia las boyas situadas en aguas profundas de Cabo de Palos y Valencia por no disponer de dichos datos para las zonas costeras.

Con estos valores y tomando como referencia lo expuesto por Huang, Tang & Liu, (2006) en [4] (imagen 2), se va a descartar la zona de Cabo de Palos por tener una velocidad de corriente excesiva para la mantener la forma de la jaula. Aunque es cierto, que en zonas más próximas a la costa se esperan velocidades de corriente menores se tomará el valor en aguas profundas como referencia.

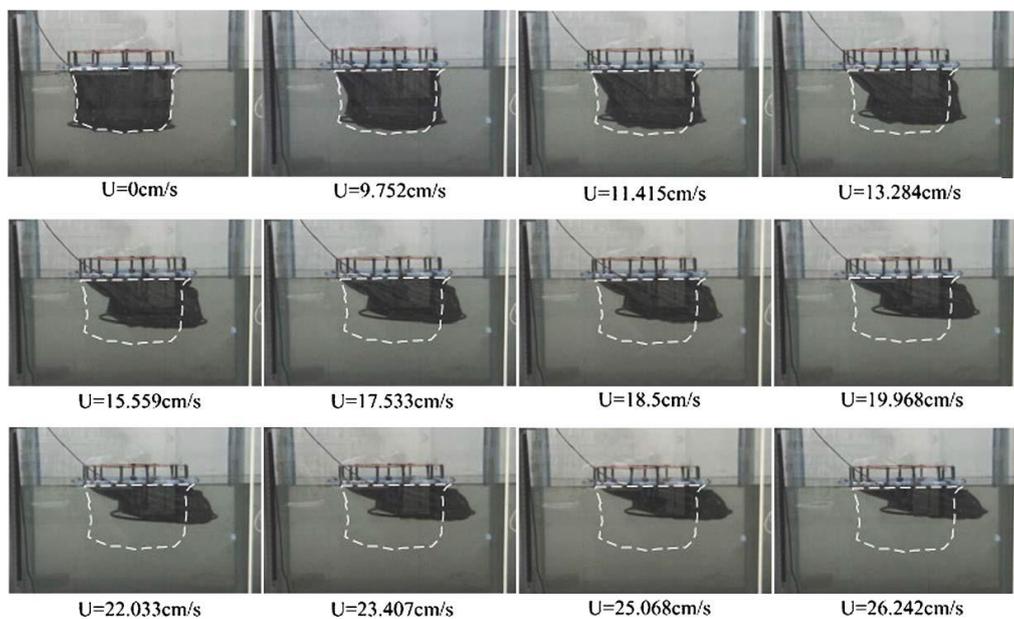


Imagen 4-2. Reducción del volumen de las redes con distintas velocidades de corrientes. Fuente: Huang et al. 2006

En el resto de la zona de estudio, aunque no se tengan datos a lo largo de todo el litoral, con el número de piscifactorías instaladas en toda el área se puede asegurar que se tiene unas condiciones ambientales en toda la zona de estudio para un intercambio de agua y crianza adecuadas.



Imagen 4-3. Instalaciones de acuicultura en el litoral mediterráneo. Fuente: Acuivisor.

Además, con la imagen 3 se puede reafirmar la decisión de descartar la zona de Cabo de Palos como posible localización de la instalación, ya que no existen instalaciones en esa área lo que hace pensar que se está en lo cierto al decir que las condiciones, en este caso la velocidad de las corrientes, no son las más adecuadas para el desarrollo de la actividad acuícola.

En cuanto a la profundidad a la que se va a situar la instalación, se requiere una profundidad suficiente para el uso de jaulas de cierta profundidad y alejadas de costa lo suficiente como para no estar afectadas por el mar de fondo. Se recomiendan profundidades superiores a 25m sin ser excesivas y así facilitar el fondeo de la instalación. Por esto mismo, también es interesante ubicar la instalación en fondos con poca pendiente.

Al mismo tiempo, es importante tener en cuenta el impacto ambiental que la instalación provocará en el medio e intentar que este sea el menor posible. En el mediterráneo hay que considerar las praderas de Posidonia oceánica, especie protegida por su gran interés ecológico e importancia en el medio, ya que es la principal fuente de oxigenación del agua, además de influir en la estructuración del fondo y ser el hábitat de más de 400 especies de plantas y 1.000 animales. Además, en varias CCAA como Cataluña y Valencia las praderas de Posidonia están protegidas y las actividades que pueden dañarlas se encuentran reguladas, en otras Comunidades no están protegidas como tal, pero si forman parte de los LICs (Lugares de Importancia Comunitaria), por lo que están regulados. Por tanto, a la hora de seleccionar la ubicación se buscará un fondo libre de esta especie.

En la zona norte de Castellón y la costa de la provincia de Valencia, no hay praderas de Posidonia, estas toman importancia en la provincia de Alicante y la Región de Murcia.

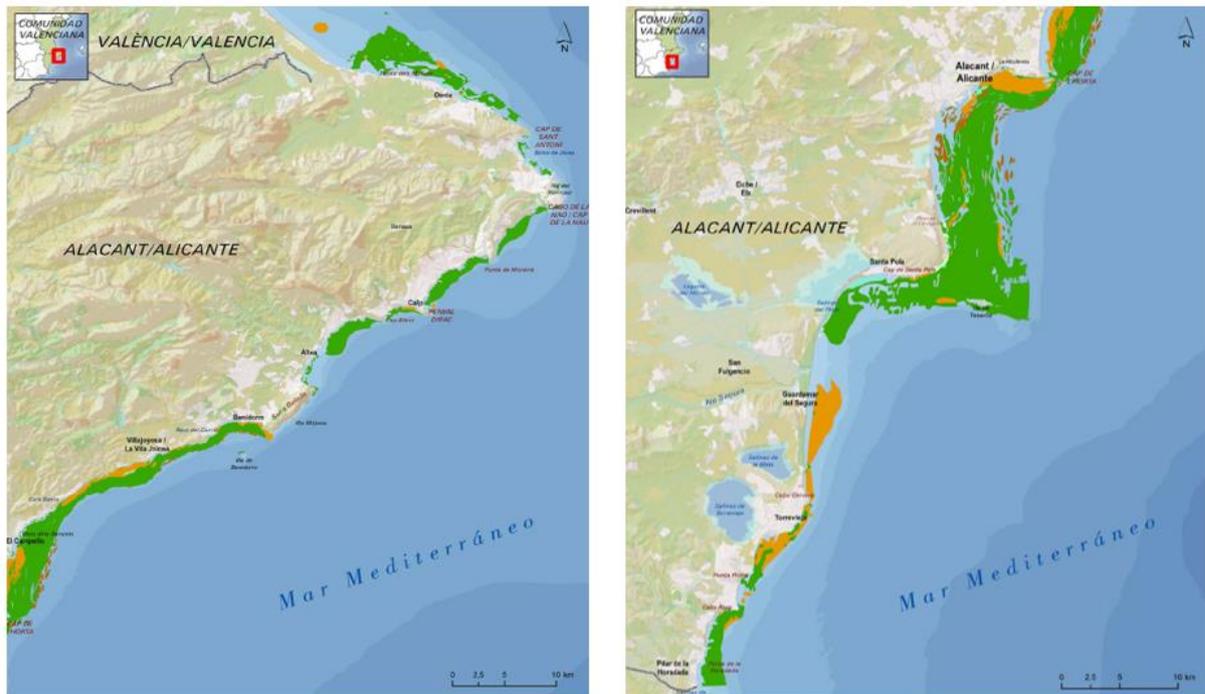


Imagen 4-4. Distribución praderas marinas en Alicante norte (Izquierda) y Alicante sur (Derecha). Fuente: Atlas praderas marinas de España ref. [7].

Se puede observar en la imagen 3 que en la bahía de Alicante las praderas de Posidonia, representadas en verde, son densas y continuas en casi toda la línea costera, aumentando la extensión sobre todo en la zona entre Campello y Santa Pola.

En la Región de Murcia desde San Pedro del Pinatar hasta Calblanque se tienen importantes praderas de Posidonia tanto por su gran extensión como por su densidad. En la bahía de Portman, y proximidades al puerto de Escombreras y Cartagena, las praderas próximas han desaparecido debido a la contaminación y los vertidos tóxicos.

Desde Cartagena a Águilas vuelven a aparecer estas praderas de Posidonia de forma continua, aunque con algunas interrupciones, desde Cabo Negrete hasta Cabo Tiñoso apenas hay Posidonia probablemente por la escasa profundidad de los fondos arenosos.

Dentro del grupo tres, donde se consideraban los factores técnicos y logísticos, uno de los aspectos más importantes a la hora de la selección del emplazamiento, ya que la instalación a proyectar se centra únicamente en la fase de engorde de la Dorada, es disponer de la fuente de aprovisionamiento de alevines cerca, ya que es el primer pilar fundamental de la cadena.

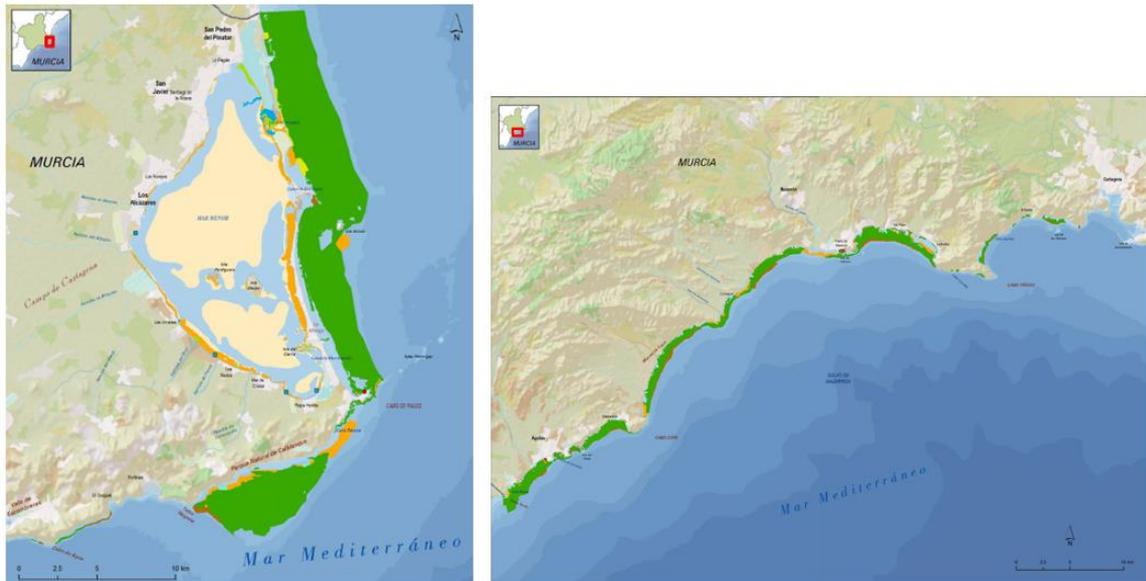


Imagen 4-5. Distribución praderas marinas en Murcia nordeste (Izquierda) y Murcia sudoeste (Derecha). Fuente: Atlas praderas marinas de España ref. [7].



Imagen 4-6. Proveedores de alevines. Fuente: elaboración propia

Con todo lo anteriormente descrito se va a elegir como ubicación para la instalación la zona de la costa de Guardamar, ya que, por un lado, las condiciones ambientales y fisicoquímicas son adecuadas por coincidir con un lugar donde de forma natural se encuentran estas especies. Además, es una zona libre de praderas de Posidonia, pero si cuenta con grandes de estas praderas muy cerca por lo que el agua en la zona cuenta con las ventajas de filtración y nivel de oxigenación que estas plantas aportan al medio.

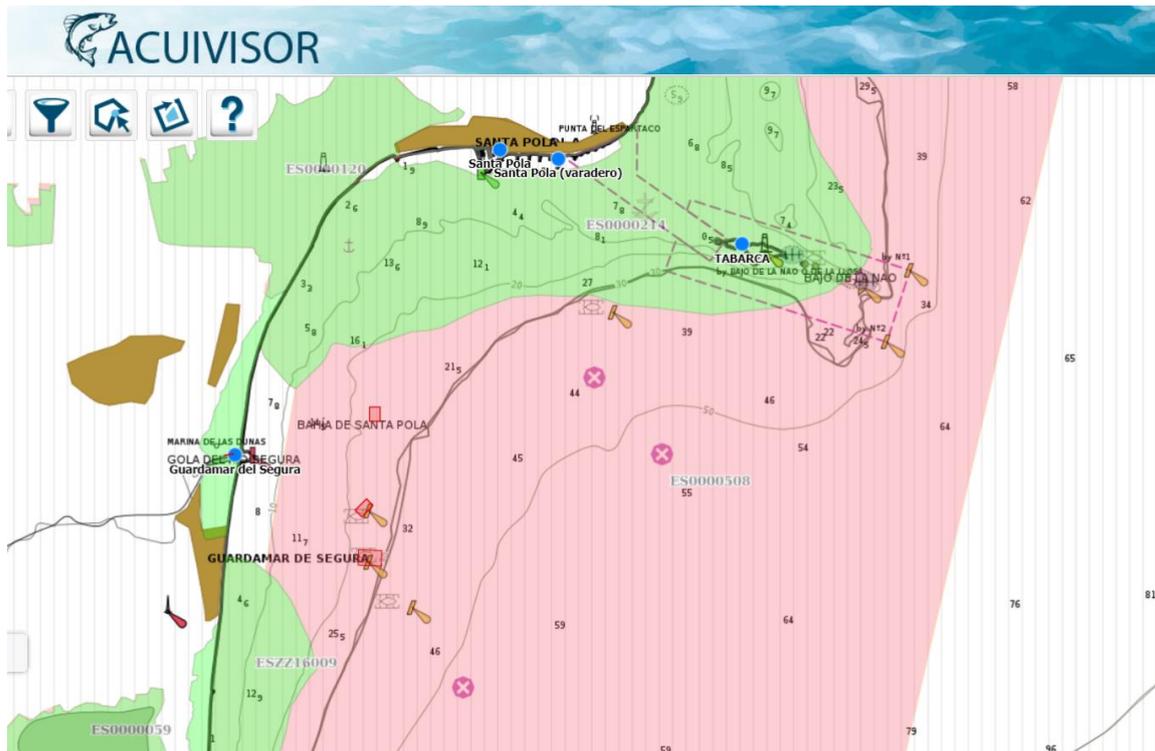


Imagen 4-7. Carta náutica zona de Guardamar. Fuente: Acuívisor

En la carta náutica aparecen representadas en color verde las zonas conocidas como LIC, lugares de importancia comunitaria, y en rojo las zonas ZEPAs, zonas de especial protección para aves, aunque estas últimas no limitan la ubicación de la instalación. Estas zonas forman parte de las zonas protegidas por el programa europeo Red Natura 2000, cuyo objetivo es la conservación de la biodiversidad de la fauna y flora en la Unión Europea. Como la instalación estará ubicada en profundidades alrededor de los 50m, no interfiere en ningún caso con las zonas LIC, aunque si con las ZEPAs, pero esto no supone un impedimento a la hora de ubicar la instalación.

La fuente de aprovisionamiento de alevines se encuentra en la propia costa lo que supone una gran ventaja. Además, si en algún momento hubiese algún problema inesperado con fuente de aprovisionamiento del lugar hay otras relativamente cerca como la ubicada en Águilas, lo que reduce riesgos en la producción establecida. Para el buen funcionamiento de la instalación resulta interesante contar con un muelle pesquero de apoyo como base de operación este será el de Guardamar, desde donde trabajarán las embarcaciones de apoyo. Además, muy cerca se encuentra el puerto pesquero de Santa Pola uno de los más importantes del mediterráneo español lo que resulta interesante para actividades que requieran mayor infraestructura, para la introducción en el mercado de la producción o para una futura ampliación y crecimiento de la instalación. En la Imagen 4-7, se encuentran representados con un punto azul los puertos de interés pesquero.



Imagen 4-8. Puerto deportivo y pesquero de Guardamar. Fuente: guardamarturismo.com

La ubicación final de la instalación será frente a las costas de Guardamar en la provincia de Alicante a 5.8 millas náuticas de la costa con una profundidad de 50m. La posición exacta se encuentra representada en la imagen 9.



Imagen 4-9. Ubicación de la instalación. Fuente: Acuivisor.



3. BIBLIOGRAFIA

- [1] Colectivo de autores (2009). *Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea 2. Acuicultura: Selección y Gestión de Emplazamientos*. Gland, Suiza y Málaga, España: UICN.
- [2] Corral, M.L., Grizel, H., Montes, J., Polanco, E. (2000). *La acuicultura. Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. Tomo I: análisis del desarrollo de los cultivos: medio, agua y especies*. Fundación Alonso Martín Escudero.
- [3] De Ambrosio, L., Segovia, E. (2000). *Las praderas de Posidonia: importancia y conservación Propuesta de WWF/Adena*. Madrid: World Wildlife Fund (WWF).
- [4] Huang, C., Tang, H., & Liu, J. (2006). *Dynamical analysis of net cage structures for marine aquaculture: Numerical simulation and model testing*. *Aquacultural Engineering*, 35(3), 258-270. doi: 10.1016/j.aquaeng.2006.03.003.
- [5] López-Alvarado, J. (2015). - *Construcción y funcionamiento de jaulas marinas en mar abierto: experiencia en Islas Canarias y tecnología para la diversificación de la acuicultura en el Ecuador*. Presentation, Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. VII.
- [6] Predicción de oleaje, nivel del mar; Boyas y mareógrafos | puertos.es. (2019). Retrieved February 2019, from <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- [7] Ruiz, J., Guillén, J., Ramos Segura, A., & Otero, M. (2015). *Atlas de las praderas marinas de España*. [El Campello, Alicante]: Instituto Español de Oceanografía,
- [8] Santos Rodríguez, L., & Nuñez Basañez, J. (1994). *Fundamentos de pesca*. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería naval. Visor Acuicultura. (2019). Retrieved March 2019, from <https://servicio.pesca.mapama.es/acuivisor/>





Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 5: DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

ÍNDICE DE ELEMENTOS	61
1. INSTALACIONES ACUICOLAS.....	63
2. GRANJAS PARA AGUAS ABIERTAS	64
3. FACTORES DE DISEÑO DE UNA GRANJA MARINA.....	66
4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS JAULAS	67
4.1 VOLUMEN DE LAS JAULAS.....	72
4.2 RECINTO DE RED	73
4.2.1 Lastre de la red	76
4.3 ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN	78
5. DIMENSIONES DE LA INSTALACIÓN.....	84
5.1 EQUIPAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	86
5.1.1 Clasificadoras de peces.....	86
5.1.2 Manipuladoras de peces.....	86
5.1.3 Alimentadora de peces	87
5.1.4 Sistemas de mantenimiento de redes	91
5.1.5 Sistema contraincendios	93
5.1.6 Sistema de achique	94
5.1.7 Bomba de servicio	94
5.1.8 Sistemas de control y comunicación	95
5.1.9 Potabilizadora de agua.....	95
5.2 BALANCE ELECTRICO Y PLANTA ELECTRICA.....	96
5.3 DISTRIBUCIÓN DE PESOS	102
5.4 RESISTENCIA LONGITUDINAL.....	104
6. BIBLIOGRAFIA	110



ÍNDICE DE ELEMENTOS

Imagen 5-1. Jaula flexible. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)	65
Imagen 5-2. Granjas rígidas. Fuente: asignatura pesca (UPCT)	65
Imagen 5-3. Jaula sumergible. Fuente: aqua.cl	66
Imagen 5-4. Jaulas de engorde. Fuente: www.portaldecadiz.com	67
Imagen 5-5. Formas jaulas flotantes	68
Imagen 5-6. Estructura de sustentación y flotación. Fuente: Desconocida	68
Imagen 5-7. Jaula marina con red anti pájaros. Fuente: desconocida	69
Imagen 5-8. Ejemplo de sistema de fondeo de un conjunto de jaulas off-shore. Fuente: UPM	70
Imagen 5-9. Tipos de fondeo. Fuente: TFE UPCT	71
Imagen 5-10. Esquema elementos de las líneas de fondeo. Fuente: JACUMAR	71
Imagen 5-11. Esquema partes de la red. Fuente: Elaboración propia	73
Imagen 5-12. Paño patrón de red de 1x1 metro	74
Imagen 5-13. Malla de red	74
Imagen 5-14. Elementos de soporte. Fuente: Akva group	78
Imagen 5-15. Catálogo jaulas marinas. Fuente: Akva	80
Imagen 5-16. Distribución del peso por secciones	81
Imagen 5-17. Curva de pesos	81
Imagen 5-18. Definición condición de carga	82
Imagen 5-19. Definición del tamaño de ola	82
Imagen 5-20. Curva de pesos, fuerzas cortantes y momentos flectores (Caso 1)	83
Imagen 5-21. Detalle de la retícula de una jaula. Fuente: Elaboración propia	84
Imagen 5-22. Dimensiones de la instalación. Fuente: Elaboración propia	85
Imagen 5-23. Maquinas clasificadoras de peces. Fuente: acuinuga.com	86
Imagen 5-24. Bomba de vacío/manipuladora. Fuente: Acuitec	87
Imagen 5-25. Sistema de alimentación. Fuente: Akvagroup	88
Imagen 5-26. Tabla de alimentación indicativa EFICO YM 863. Fuente: Biomar	89
Imagen 5-27. Compresor - Armario de carga. Fuente: Bauer Compressors	91
Imagen 5-28. Lavadora de redes. Fuente: Elimat	92
Imagen 5-29. Robot limpiador sumergible para redes en piscifactorías. Fuente: Yanmar	93
Imagen 5-30. Bomba centrífuga para CI. Fuente: Motorarg	94
Imagen 5-31. Bomba de servicio. Fuente: Pompes Japy	95
Imagen 5-32. Módulo potabilizador de agua. Fuente: Gefico	95
Imagen 4-33 Esquema de la planta eléctrica de la instalación. Fuente: Elaboración propia	97
Imagen 5-34. Tipos de paneles fotovoltaicos. Fuente: Ecofener	98
Imagen 5-35. Gráfica de irradiación solar media [1983-2005] provincia de Alicante. Fuente: Atlas de radiación solar.	99
Imagen 5-36. Introducción de datos en la herramienta web. Fuente: comisión europea	99
Imagen 5-37. Gráfico energía obtenida mes a mes por un panel solar. Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM	100
Imagen 5-38. Baterías de Litio solar. BYD B-Box 10. Fuente: Teknosolar.	101



Imagen 5-39. Generador eléctrico. Fuente: Inmesol	102
Imagen 5-40. Esquema disposición de la superestructura	103
Imagen 5-41. Esquema disposición interior	103
Imagen 5-42. Esquema disposición placas solares	104
Imagen 5-43 Definición del compartimentado	105
Imagen 5-44. Condición de carga caso 1	106
Imagen 5-45. Situación de equilibrio en aguas tranquilas. Caso 1	107
Imagen 5-46. Resultados análisis de equilibrio en aguas tranquilas caso 1	107
Imagen 5-47. Resultados análisis resistencia longitudinal caso 1	108
Imagen 5-48. Configuración final de la plataforma central. Fuente: Elaboración propia	109



1. INSTALACIONES ACUICOLAS

Las instalaciones acuícolas y sus equipos auxiliares tienen una gran importancia en el éxito o no de la producción. Un buen diseño de la instalación facilitará el buen funcionamiento de esta, facilitando su rentabilidad y alcanzar rendimientos óptimos.

Para el diseño de una instalación acuícola es fundamental tener en cuenta tres factores:

- Las características biológicas de la especie a cultivar
- Las características ambientales propias del emplazamiento de la piscifactoría
- El método de explotación

Los tipos de instalaciones acuícolas son muy diversos, en función del tipo de especie a cultivar o el tipo de cultivo a realizar. Desde los parques de engorde de moluscos, bateas para el engorde del mejillón y ostra, simplemente parcelas en zonas intermareales, piscifactorías continentales con estanques en tierra o granjas flotantes alejadas de la costa. También influye en la instalación las fases o etapas que se pretenden realizar, obtención de larvas, preengorde, engorde o la realización del cultivo integral de la especie.

Las jaulas flotantes son la estructura más utilizada para la producción de peces, estas instalaciones permiten mantener cautivas a las especies en el mismo medio en el que viven, proporcionándoles alimentación y de este modo acelerar su crecimiento. Algunas de las diferencias principales entre las jaulas flotantes y las piscifactorías continentales tradicionales están en que en las primeras la calidad del agua no se puede controlar o modificar, aunque el medio natural suele tener las condiciones adecuadas para el cultivo. Otra diferencia es la densidad de animales y las cargas medias y máximas admisibles, deben calcularse ya no por la calidad del agua sino por las corrientes y la capacidad de autodepuración de la masa acuática, ya que en este caso la contaminación generada no se puede eliminar. Por último, otra de las diferencias a mencionar es la baja necesidad de inversión inicial ya que la construcción de una jaula flotante es mucho más sencilla y económica que la construcción de estanques, red de tuberías, desagües, etc.

Se puede afirmar que si no existieran las jaulas flotantes no se podrían haber alcanzado los niveles de producción actuales a través de la acuicultura, además de que constituyen la única alternativa económicamente viable para la piscicultura marina.

Las ventajas que ofrecen las jaulas marinas son:

- Permiten aprovechar gran cantidad de agua sin tener un gasto en bombeo para la renovación.
- La calidad del agua en el interior de la jaula es estable e igual en todos los lugares de la jaula y en cualquier momento. Además, si la red está en buenas condiciones no quedan zonas muertas, sin corriente o sin oxígeno, ya que el agua circula de forma más uniforme en el interior de la jaula.
- El coste de capital por tonelada de pescado producida es inferior que cualquier tipo de estanque.
- Aunque como ya se ha dicho la capacidad de carga depende de la capacidad de autodepuración, se pueden mantener cargas muy elevadas superiores a las de los estanques.



- En caso de que sea necesario y que las condiciones de producción lo demanden, las jaulas pueden trasladarse, incluso con los peces dentro, a otros emplazamientos más adecuados.

Como es normal, el empleo de jaulas marinas también presenta inconvenientes.

- Las jaulas son instalaciones muy susceptibles al 'fouling' por los organismos vivos presentes en la fauna y flora naturales del medio.
- A veces, se puede presentar una competencia perjudicial por el alimento entre los peces pequeños del medio y los propios del cultivo.
- Los gastos de mantenimiento y reparación de las jaulas marinas son superiores a esta partida en los estanques.
- Hay que revisar las redes con frecuencia y reparar los orificios para evitar que los peces puedan escarpase. También están más expuestos a los predadores.
- El manejo de los peces, su observación y clasificación se dificulta. Además de convertirse en casi imposible realizarles tratamientos higiénico-sanitarios sin medios auxiliares.

2. GRANJAS PARA AGUAS ABIERTAS

Hoy en día la necesidad de aumentar la producción utilizando jaulas de mayor tamaño, la propia contaminación que generan las jaulas y la búsqueda de mejores condiciones para el cultivo hace que las granjas se sitúen en zonas cada vez más alejadas de la costa, en zonas de mayor profundidad y por tanto expuestas a condiciones de oleaje y corrientes más severas.

En estas condiciones el riesgo de perder la producción por temporales o desgaste de las estructuras aumenta al ser zonas más expuestas, pero también, estas zonas, permiten una mayor renovación de agua lo que reduce el riesgo de enfermedades y en general mejora las condiciones del cultivo y los resultados productivos.

En este sentido, se están desarrollando proyectos de granjas marinas en los que las estructuras son flexibles (granjas semirrígidas) y proyectos en los que la estructura es rígida. Un punto en común es que ambas opciones están diseñadas siguiendo la tecnología off-shore.

- Estructuras semirrígidas

Como ya se ha mencionado el principal problema, de alejar las granjas marinas de las costas, es que pasan a estar más expuestas a los agentes ambientales, corrientes y oleaje. Las estructuras flexibles y articuladas reducen este hándicap ya que, al deformarse con la excitación producida por las fuerzas externas, evita esfuerzos y aceleraciones excesivas, tanto en la estructura de soporte como en el sistema de fondeo y redes. En este caso, el sistema de fondeo es un elemento fundamental para el mantenimiento de la forma y fijación de la estructura en su posición.

Por otro lado, las granjas semirrígidas son más difíciles de manejar cuando están en operación, ya que se mueven con las sollicitaciones del mar, por lo que si no está preparada



para los trabajos abordado como alimentación, captura, limpieza, etc. estas tareas tienen que realizarse desde una embarcación auxiliar, aumentando su complejidad.



Imagen 5-1. Jaula flexible. Fuente: Asignatura pesca (UPCT)

- Estructuras rígidas

Las estructuras rígidas pueden ser de acero o de hormigón, de formas muy variadas desde la de una plataforma semisumergible hasta la de una barcaza. Este caso los criterios de diseño del proyecto son los de cualquier estructura offshore, mantenida en su posición por el sistema de fondeo. En este caso, al ser rígidos todos los elementos participan en la resistencia a la acción de las fuerzas exteriores.

Actualmente, este tipo de instalaciones se utilizan para la fase de engorde del pez, en ellas hay que realizar las actividades típicas de limpieza, mantenimiento y reparación, alimentación de los peces, reclasificación por tamaños, etc.

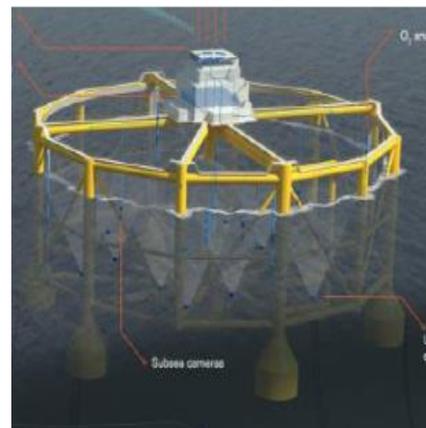


Imagen 5-2. Granjas rígidas. Fuente: asignatura pesca (UPCT)

Además, de estos diseños existen otras alternativas, como las jaulas sumergibles. La principal ventaja de este tipo de instalación es que al sumergirse y poder ser mantenida entre dos aguas, está alejada de la zona de batida y las sollicitaciones debidas a fuerzas ambientales son menores, estaría sometida a cargas menores. Además, se pueden mover dentro de la columna de agua buscando las mejores condiciones o temperatura del agua para el cultivo. Por el contrario, la accesibilidad, manejo de los peces y otras actividades cotidianas se dificulta.



Imagen 5-3. Jaula sumergible. Fuente: aqua.cl

3. FACTORES DE DISEÑO DE UNA GRANJA MARINA

Como no es de extrañar con todo lo anteriormente descrito, unos de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar estas instalaciones son el viento, las olas y las corrientes. De la intensidad de estas fuerzas van a depender los esfuerzos que la estructura tendrá que soportar y los movimientos. Sin embargo, para del desarrollo del proyecto de este tipo de instalaciones deben tenerse en cuenta muchos más aspectos que influirán de una manera u otra, con mayor o menor intensidad en el buen comportamiento en servicio de la instalación.

De forma general, los factores más significativos a tener en cuenta para el diseño de un artefacto flotante son:

- Tipo de trabajo que se va a realizar
- Tipo y características propias de la instalación.
- Profundidad de operación
- Características estáticas y dinámicas de la plataforma y del equipo
- Características de las corrientes (Velocidad, dirección y posibles variaciones)
- Características del viento (Velocidad, dirección y posibles variaciones)
- Características de otros agentes atmosféricos (Temperatura, hielo, ...)
- Características de las olas (-longitud, altura, periodo, dirección, etc.)
- Anclajes (número de líneas, tipos, ...)
- Posición relativa con respecto a otras estructuras (Costas, bajos, muelles, ...)
- Distancia a posibles refugios.
- Intensidad del tráfico marítimo en la zona.
- Duración de las posibles condiciones adversas.
- Factores humanos.



4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS JAULAS

Tras los resultados y decisiones tomadas en el capítulo 2 de selección de la especie, se llegó a la conclusión de que para lanzar al mercado las tres partidas al año, eran necesarias 7 jaulas.

Para el engorde de doradas la opción más utilizada es el engorde en jaulas flotantes. Este sistema está basado en los modelos escandinavos para la cría del salmón, consiste en jaulas de poliuretano de alta densidad, con una doble corona de flotación y una barandilla superior. Por norma general, suele tener un diámetro entre los 16 y los 25 metros y una profundidad de entre 10 y 12 metros, lo que da lugar un volumen de jaula de 2.000 – 6.000 m³ de capacidad.



Imagen 5-4. Jaulas de engorde. Fuente: www.portaldecadiz.com

Un dato imprescindible a tener en cuenta a la hora de dimensionar las jaulas es la máxima densidad asegurable, este valor depende de la especie a cultivar. Según [25], para la dorada la densidad de cultivo es de 25-30 kg/m³. En este caso se va a utilizar un valor de 27 kg/m³ para tener un margen de seguridad respecto al valor máximo.

Las jaulas flotantes pueden encontrarse con gran variedad de tamaños y formas, dependiendo de las características del cultivo. Entre las más comunes se encuentran las jaulas cuadradas, jaulas cilíndricas o jaulas cilíndricas con inclinación.



JAULA CUADRADAS/RECTANGULARES

JAULA CIRCULAR CON INCLINACIÓN

JAULA CILINDRICA

Imagen 5-5. Formas jaulas flotantes

Para el caso de estudio, se instalarán jaulas cilíndricas, ya que resultan más adecuadas para las especies gregarias, como la dorada, que en cautividad tienen a nadar en círculos, por lo que esta configuración resulta beneficiosa y menos estresante.

Las jaulas flotantes constan de tres elementos fundamentales, estos son:

- Estructura de flotación y sustentación, fabricada en polietileno de alta intensidad (HDPE).
- Recinto o red, con un tamaño y forma adecuado para la especie a cultivar sin interferir en las corrientes marinas.
- Sistema de fondeo, compuesto por muertos, cadenas y estachas de fondeo y boyas.

ESTRUCTURA DE SUSTENTACIÓN Y FLOTACIÓN

Esta estructura en forma de collar o anillo es la encargada de sostener la red, está formada por los propios elementos de flotación, la barandilla y los elementos de soporte de la red.

Además, también es la encargada de resistir los esfuerzos variables del fondeo en las diferentes condiciones ambientales y proporcionar la flotabilidad necesaria.



Imagen 5-6. Estructura de sustentación y flotación. Fuente: Desconocida

Al principio estas estructuras eran rígidas, actualmente, de forma general, suelen ser flexibles ya que tienen un mejor comportamiento frente a las solicitaciones del mar. La



forma de estas estructuras suele ser en la mayoría de los casos circular, ya que al no tener esquinas no existen puntos de concentración de tensiones y por tanto son más resistentes. El tamaño varía en función de la producción de la instalación y del tamaño de la especie a cultivar.

RECINTO O RED

Las redes se encuentran colgadas de la estructura de flotación y delimita en espacio en el que se encontraran los peces para el cultivo. La red deberá emerger una cierta altura de la superficie del agua para evitar el salto del pez o su fuga por acción del oleaje. Además, es habitual proteger la superficie de estos recintos con una malla en la parte superior para evitar la acción de los depredadores aéreos.

Las mallas actualmente son flexibles, las rígidas están, a día de hoy, prácticamente es desuso. La forma de malla es cuadrada o hexagonal y preferiblemente sin nudos para evitar descamados y daños en los ojos de los peces, además, las redes sin nudos tienen un menor peso (hasta un 50 %), son más baratas y fáciles de manejar. Los materiales más habitualmente utilizados para la red sin nudos son el nylon, el polietileno y el poliéster

Las características técnicas que pueden definir una red son las siguientes:

- Material (Polietileno, poliéster, nylon, polipropileno...).
- Tipo de fibra (sencilla o múltiple).
- Grado de torsión
- Método de fabricación (Raschel o torsionado japonés).
- Tamaño de malla.
- Diámetro de la bolsa.
- Requerimientos especiales: “antifouling”, rigidizadores.

El tamaño de la malla debe ser lo suficientemente pequeño para evitar que los peces escapen, pero también lo más grande posible para favorecer el intercambio de agua, vital para la renovación del oxígeno y la eliminación de los residuos; minimizar la deformación por las corrientes y los esfuerzos dinámicos y aumentar su resistencia al fouling.



Imagen 5-7. Jaula marina con red anti pájaros. Fuente: desconocida



SISTEMA DE FONDEO

En una instalación acuícola en alta mar una de las partes fundamentales es el fondeo, ya que es el encargado de mantener la posición de las jaulas frente a las fuerzas ambientales a las que están expuestas tales como viento, corrientes, olas, mareas, etc.

El fondeo dependerá de diversos factores como son:

- La profundidad y el tipo de suelo
- Condiciones ambientales y oceanográficas
- Disposición: individual o en grupo
- Tipo de jaula: rígida o flexible; flotante, semisumergible o sumergible; etc.

La práctica común es el agrupamiento de las jaulas para su anclaje, ya que supone una simplificación del sistema y mayor rentabilidad al disminuir los elementos. Aunque, por otro lado, esta alternativa tiene sus inconvenientes, ya que la rotura de algún elemento podría poner en peligro

El dimensionamiento del fondeo es una tarea difícil ya que deben tenerse en cuenta diversos factores como son la profundidad, el tipo de suelo, las condiciones ambientales, el tipo de jaula: rígida o flexible; flotante, semisumergible o sumergible, o aspectos como la disposición: individual o en grupo. Además de todos estos factores, la propia rigidez del fondeo debe ser la correcta para que las redes no queden sueltas y, por tanto, por acción de las corrientes y los movimientos del mar se reduzcan el volumen de cultivo ocasionando estrés y alteraciones en los peces o provocando variaciones en la disposición. Ni tampoco que la red quede demasiado tensada que pueda favorecer el deterioro de la red por fatiga o que pueda provocar daños por rozaduras en la biomasa.

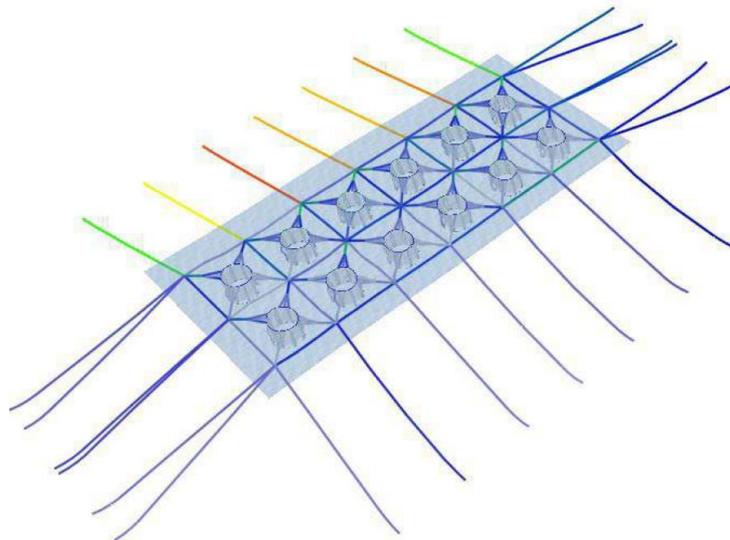


Imagen 5-8. Ejemplo de sistema de fondeo de un conjunto de jaulas off-shore. Fuente: UPM

Dentro de los sistemas de fondeo se pueden diferenciar distintos tipos: de dos puntos (bidireccional), radial y ortogonal. Los dos primeros tienen como ventaja su sencillez, aunque son menos seguros ya que las cargas que tienen que soportar son mayores y, en especial el primer tipo, tienen muy baja redundancia. El fondeo ortogonal tiene una redundancia mucho mayor y por tanto las cargas a las que están sometidas las líneas son



menores, supone un fondeo mucho más seguro y la forma más habitual para grupos de jaulas.

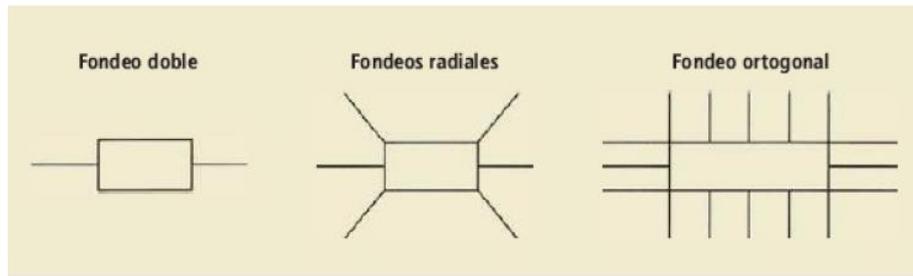


Imagen 5-9. Tipos de fondeo. Fuente: TFE UPCT

Una configuración habitual de estas líneas de fondeo, en grupos de jaulas en mar abierto, está formada, desde la superficie del agua hasta el fondo, por:

- Entramado del conjunto de jaulas, constituye el punto de unión entre el fondeo y las propias jaulas.
- Boya de superficie: evita que el peso de la línea de fondeo recaiga sobre el conjunto de jaulas, por lo que puede considerarse como el punto final de la línea de fondeo.
- Estacha: constituye en sí la línea de fondeo suele ser de fibra para aportar elasticidad además de que supone un peso mucho menor que la cadena.
- Flotador de profundidad: la misión de este flotador es que el tramo de estacha roce con el fondo, lo que aceleraría la degradación de este, para lo que se eleva el extremo inicial del tramo de cadena.
- Tramo de cadena: El tramo final de la línea de fondeo será de cadena y descansará sobre el fondo marino amortiguando los esfuerzos sobre el ancla o el muerto.
- Ancla o muerto: será el último elemento de la línea de fondeo.

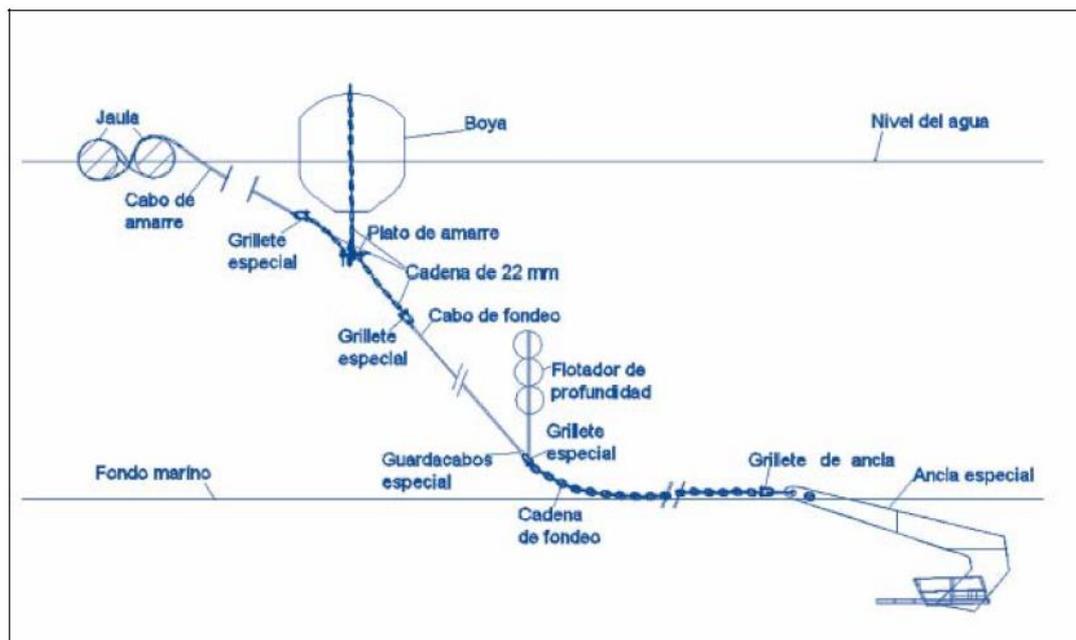


Imagen 5-10. Esquema elementos de las líneas de fondeo. Fuente: JACUMAR



4.1 VOLUMEN DE LAS JAULAS.

Para calcular el volumen necesario en las jaulas se van a utilizar los valores de la partida de diciembre, por ser la de mayor cantidad. El caso de mayor volumen correspondería al final del ciclo para el grupo de ‘cuerpo y cabeza’, que recordando correspondía a un 80% del total de alevines introducido (190.477 alevines). Cuando estos alevines alcancen el tamaño de venta (350gr) el peso total será de 53.334kg, por lo que volumen mínimo de la jaula tendrá que ser de 1976 m³.

Una dimensión importante y que influye en la salud y el rendimiento del cultivo es la profundidad. Jaulas con poca profundidad, menos de 1.5m, retardan el engorde de los peces, mientras que profundidades excesivas, mayores de 12-14 metros, no deben utilizarse por la variación de condiciones como la temperatura o la intensidad de la luz.

$$V_{min} = \frac{M_t}{\rho_s} \quad (5. 1)$$

DIÁMETRO (m)	PROFUNDIDAD (m)	VOLUMEN (m3)
14	8	1231,50432
	10	1539,3804
	12	1847,25648
15	8	1413,716694
	10	1767,145868
	12	2120,575041
16	8	1608,495439
	10	2010,619298
	12	2412,743158
17	8	1815,840554
	10	2269,800692
	12	2723,760831
18	8	2035,75204
	10	2544,690049
	12	3053,628059

Tabla 5-1. Opciones de dimensionamiento de las jaulas

Con el volumen mínimo necesario calculado se ha analizado las posibles opciones de diámetro y profundidad de las jaulas partiendo de los valores habituales que suelen tener este tipo de recintos (Tabla 5-1).

Con este pequeño análisis, se tienen tres posibles opciones las cuales se encuentran destacadas en la tabla. De estas tres, se descarta la opción del diámetro de 15m, para evitar un sobredimensionamiento excesivo y finalmente, se ha seleccionado un diámetro de 16m y una profundidad de jaula de 10m, ya que los volúmenes de ambas opciones son muy similares, pero se ha considerado más ventajoso una mayor profundidad frente a un mayor diámetro. Por lo que las dimensiones de las jaulas serán:



DIÁMETRO	16m
PROFUNDIDAD	10m
VOLUMEN	2010,6 m ³

Tabla 5-2. Dimensiones principales de las jaulas de engorde

4.2 RECINTO DE RED

La definición del recinto puede dividirse en dos partes, la primera la propia red y, la segunda, el lastre de la jaula que permite que el recinto mantenga su posición hasta la fuerza de las corrientes, evitando su deformación.

Para el cálculo del peso de la red, se puede dividir ésta en tres partes:

1. Red sumergida, R1
2. Red emergida (anti-saltos laterales), R2
3. Red antipájaros, R3

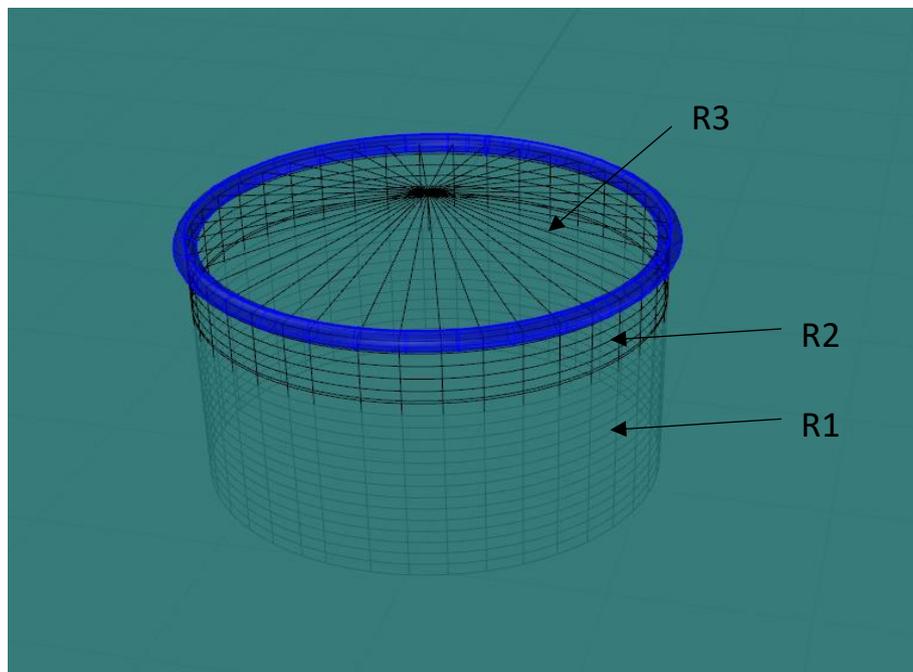


Imagen 5-11. Esquema partes de la red. Fuente: Elaboración propia

Para calcular el peso de la red, en kg, se utilizará la siguiente fórmula:

$$P_R = \frac{n \cdot l_{pe} \cdot R_{tex}}{10^3} \quad (5.2)$$

Donde:

n: número de hileras en sentido vertical del paño

l_{pe} : longitud del paño estirado

R_{tex} : peso de 1000m de hilo de red



Esta formulación es válida para jaulas de tipo rectangular, en este caso, al ser una jaula cilíndrica se utilizará esta ecuación para calcular el peso de la red para un paño cuadrado de 1x1, obteniendo así el peso por metro de la red. Por último, se multiplicará el valor obtenido por el área de la red en cada una de las partes en las que se ha dividido.

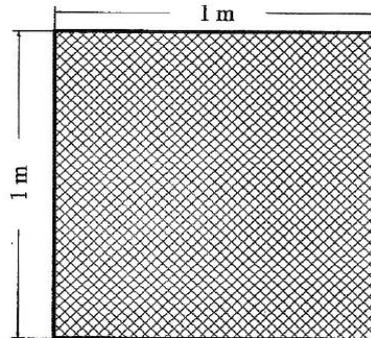


Imagen 5-12. Paño patrón de red de 1x1 metro

La red corresponderá a una malla de nylon cuyas características son:

Material	Nylon
Tipo de malla	Cuadrada
Luz malla	18 mm
α	90°
Diámetro hilo	2.5 mm
Densidad	1200 kg/m ³

Tabla 5-3. Características de la red

Las mallas se supondrán rígidas e inextensibles por lo que la apertura vertical de éstas será igual a la luz de malla.

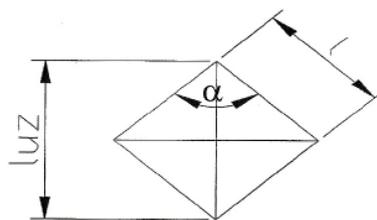


Imagen 5-13. Malla de red

Para calcular el número de mallas tanto vertical como horizontal, que coincidirán por ser el paño patrón cuadrado 1x1, sólo será necesario dividir la altura de paño entre la luz de malla, lo que da un total de 5,55 hileras tanto verticales como horizontales. Por lo tanto, el número total de hileras será de 11,11.

$$n = n_v = n_h = \frac{h}{luz} \quad (5.3)$$



$$n_{TotalHileras} = 2 \cdot n \quad (5.4)$$

La segunda incógnita será la longitud del paño estirado, cuya expresión es:

$$L_{pe} = L \cdot n_h \quad (5.5)$$

Donde L, es la longitud de la malla en sentido horizontal, que se obtiene mediante la fórmula 5.6.

$$L = 2l + g \quad (5.6)$$

En la que l, es la longitud del lado de la malla, obtenido trigonométricamente a partir de la luz de malla (Imagen 5-13Imagen 5-12. Paño patrón de red de 1x1 metro), y g es el diámetro de los nudos. En este caso, el valor de g será 0, a ser una red sin nudos.

Por último, como se ha dicho anteriormente R_{tex} corresponde al peso de 1.000m de hilo de red, que se obtendrá fácilmente conocida la densidad y diámetro del hilo de la red.

n	55,556
L_{pe} (m)	1,414
R_{tex} (kg)	5,890
$P_{Rpatrón}$ (kg)	0,116

Tabla 5-4. Cálculo del peso red patrón

Con esto se tiene el peso por metro cuadrado de la red a utilizar, por lo que multiplicando este valor por el área de la red se tendrá el peso total. De esta forma y para simplificar, se va a considerar la red anti-pájaros (R3) de las mismas características que el resto de red. Además, con el fin de calcular la estructura de flotación, en la parte de la red sumergida (R1) habrá que considerar su empuje, y así obtener su peso efectivo.

- Red sumergida, R1

$$A_{R1} = \pi HD + \frac{\pi D^2}{4} \quad (5.7)$$

$$P_{R1-seco} = A_{R1} \cdot P_{Rpatrón} \quad (5.8)$$

$$P_{R1-agua} = P_{R1-seco} - empuje \quad (5.9)$$

$$Empuje = P_{R1-seco} \cdot \left(\frac{\rho_{agua}}{\rho_{nylon}} \right) \quad (5.10)$$

En el peso de la red sumergida, se tendrá en cuenta el aumento de peso debido al *fouling* para ello se considerará 2 veces el peso original de la red.



- Red emergida, R2

$$A_{R2} = \pi hD \quad (5.11)$$

$$P_{R2} = A_{R2} \cdot P_{Rpatrón} \quad (5.12)$$

- Red anti-pájaros, R3

$$A_{R3} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5.13)$$

$$P_{R3} = A_{R3} \cdot P_{Rpatrón} \quad (5.14)$$

PESO R1	
A _{R1}	703,717m ²
P _{R1-seco}	123,107 kg
Empuje	105,257 kg
P _{R1-agua}	17,851 kg
P _{R1-agua+fouling}	35,701 kg
PESO R2	
A _{R2}	60,319 m ²
P _{R2}	10,552 kg
PESO R3	
A _{R3}	201,062 m ²
P _{R3}	35,173 kg
PESO TOTAL RED	81,427 kg

Tabla 5-5. Cálculo peso de la red

4.2.1 Lastre de la red

Para mantener la red estirada y vertical será necesario colocar lastre en la parte inferior de la jaula. El lastre debe ser el suficiente como para oponerse a la acción de la corriente, esto es, que el momento creado por las fuerzas de corriente respecto al punto central de la jaula debe ser igual al momento creado por el peso de la red y del lastre respecto al mismo punto.

$$\frac{F_c}{g} \cdot B_{fc} = (P_R + P_l) \cdot B_p \quad (5.15)$$

Siendo el brazo de las fuerzas de la corriente la mitad de la profundidad de la jaula y el brazo para los pesos de la red y del lastre el radio de la jaula.

Para el cálculo de las fuerzas de corriente se seguirá la fórmula general de las fuerzas hidrodinámicas:



$$F_c = \frac{1}{2} C_D \rho A_c V_c \quad (N) \quad (5.16)$$

Donde el coeficiente de carga hidrodinámico para la red atiende a la ecuación 5.17.

$$C_D = 3,12 \left(\frac{\emptyset}{l}\right)^2 + 2,37 \left(\frac{\emptyset}{l}\right) + 1 \quad (5.17)$$

Siendo \emptyset el diámetro del hilo de la red y l el lado de la malla.

La FAO en su documento ‘Aquaculture operation is flotating HDPE cages’ fija como velocidad óptima de corriente en las jaulas de acuicultura ubicadas en el mar mediterráneo en un valor entre 10-20 cm/s, sin exceder los 60 cm/s. Para evaluar el caso más desfavorable, se tomará para evaluar las fuerzas provocadas por la corriente una velocidad de corriente de 60 cm/s. Para el área expuesta, y con el fin de simplificar, al tratarse de una red y, por tanto, permitir el paso del agua y teniendo en cuenta que se va a producir el *fouling*, se va a considerar que del rectángulo expuesto el 50% serán huecos.

$$A_c = 0.5 D H \quad (m^2) \quad (5.18)$$

Sustituyendo en las expresiones anteriores se obtiene el peso de lastre necesario

LASTRE	
A_c (m ²)	80
C_D	1,59
V_c (m/s)	0,6
F_c (kg)	2006,94
P_L (kg)	1172,91

Tabla 5-6. Cálculo peso del lastre necesario

Conocido el peso del lastre, ya se puede obtener el volumen de hormigón necesario y las dimensiones del tubo de PVC que contendrá el lastre.

$$V_{hormigón} = \frac{P_L}{\rho_h} \quad (m^3) \quad (5.19)$$

$$r = \sqrt{\frac{V_{hormigón}}{\pi \cdot L}} \quad (5.20)$$

$$L = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \quad (5.21)$$



Tomando un tubo de PVC de espesor 5mm, el peso total del lastre será el peso del hormigón más el peso del tubo en el agua.

Peso hormigón	1173
Densidad hormigón (kg/m ³)	2300
Volumen hormigón (m ³)	0.51
L (m)	50.26
Radio interior (m)	0.057
Radio exterior (m)	0.062
V _{PVC} (m ³)	0.094
Densidad PVC (kg/m ³)	1380
Peso tubo PVC (kg)	129.29
Empuje (kg)	619.34
PESO TOTAL LASTRE (kg)	1921.54
PESO EFECTIVO LASTRE (kg)	1302.20

Tabla 5-7. Peso total del lastre

4.3 ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN

La estructura de flotación comprende los elementos que aportan flotabilidad y estabilidad, sosteniendo la red. Estos elementos serán construidos con un material flexible, que resista las condiciones adversas del mar. En el caso de las jaulas circulares esta estructura estará formada por dos flotadores en forma de anillos de polietileno de alta densidad (HDPE, High-density Polyethylene), el interior de estos anillos estará relleno de espuma de poliestireno expandido, para que en caso de rotura no se produzca una pérdida de flotabilidad.

Las jaulas estarán armadas con soportes, llamados brackets, los cuales tienen dos funciones principales: mantener la forma estructural de la jaula y servir como barandilla para el amarre de la red lateral anti-salto. Los brackets van espaciados a lo largo del perímetro de las jaulas aproximadamente cada 1,8-2 metros. En este caso, se van a colocar los soportes con un espaciado de 1,8m lo que hace un total de 28 soportes por jaula.

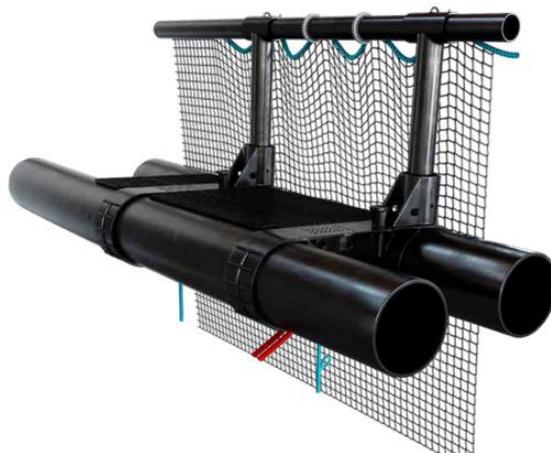


Imagen 5-14. Elementos de soporte. Fuente: Akva group



Para dimensionar estos anillos, deben tenerse en cuenta los pesos de todos los elementos, estos son:

- Peso de la red
- Peso del lastre
- Peso por apoyo de peces
- Peso de la barandilla y soportes
- Peso propio de la estructura
- Peso operarios y útiles
- Peso estachas

El peso de la red y del lastre, ya han sido calculados anteriormente. En el caso del peso por apoyo de los peces, se puede estimar que durante el despeque pueden apoyarse sobre la red un 2% del total de la carga, por lo que el peso por apoyo de peces es:

$$P_p = 0,02 \cdot V_j \cdot \rho_{cultivo} \quad (5. 22)$$

Volumen jaula (m ³)	2010.6
densidad de cultivo (kg/m ³)	27
Peso peces (kg)	1085.7

Tabla 5-8. Cálculo peso de los peces

Se sabe del fabricante, que el peso de cada bracket para una disposición de dos anillos de flotación ronda un peso de 2,3kg por soporte, como se ha mencionado anteriormente, cada jaula tendrá un total de 28 soportes, lo que hace un total de 64,4kg. El peso de la barandilla se va a estimar como un 1% del peso total de los soportes, por lo que el peso de la barandilla y los soportes será de 70,84 kg.

Además, también se van a considerar el peso de los posibles operarios y del equipo usado, que durante las operaciones en la jaula (curas, despeque, supervisión, etc.) puede apoyarse sobre la estructura de flotación de la jaula y, por último, se va a considerar el peso de las estachas de sujeción de la jaula.

Resumen pesos	
Peso de la red	81.43
Peso del lastre	1302.20
Peso peces	1085.72
Peso barandilla y soportes	70.84
Peso operarios y útiles	210.00
Estachas	160.00
TOTAL (kg)	2910.19

Tabla 5-9. Resumen pesos

Por último, el peso propio de la estructura de flotación dependerá del tamaño de esta. Tomando como referencia un catálogo del mercado, se ve que para jaulas de un diámetro de 16m, la estructura de flotación tiene como diámetros 250mm y 315mm.



Plastic Cage Specifications



C A G E S

Cage Models:	225/250	315	400	450	500	630	Comments
Cage sizes – Floating pipe diameter:	225/250mm (9"/10")	315mm (12")	400mm (16")	450mm (18")	500mm (20")	630mm (26")	Imperial sizes to be confirmed.
Cage sizes – Standard circumferences:	40 - 90m (130 - 300')	60 - 100m (200 - 330')	90 - 160m (300 - 530')	120 - 160m (400 - 530')	130 - 200m (430 - 660')	160 - 260m (530 - 860')	At centre of inner floating pipe.
Cage sizes – Standard diameters:	13 - 29m (42 - 94')	19 - 32m (63 - 104')	29 - 51m (94 - 167')	38 - 51m (125 - 167')	41 - 64m (136 - 209')	51 - 83m (167 - 272')	At centre of inner floating pipe.
Center - center distance between floating pipes:	52cm (20")	66cm (26")	85cm (33")	100cm (39")	110cm (43")	140cm (56")	
Bracket – PE Injection Moulded (new PIM Type):	*	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	PIM Bracket (Pressure Injection Moulded Bracket) with plastic uprights.
Connection for bird net support poles:	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Available as option.
Standard distance between brackets:	2m (6' 7")	2m (6' 7")	2.5m (8' 2")	2.5m (8' 2")	2.7m (8' 6")	2.7m (8' 6")	Can be customized to fit nets.

Imagen 5-15. Catálogo jaulas marinas. Fuente: Akva

Se analizarán varios casos, fijando los espesores de tubo a 1.5, 2 y 2.5 cm.

Diámetro (m)	Espesor (m)	Peso tubo (kg)	Peso espuma (kg)	Total flotadores (kg)	Peso total (kg)
0.25	0.01	185.7	36.38	444.18	3354.37
	0.015	275.7	34.88	621.20	3531.39
	0.02	363.8	33.41	794.50	3704.69
0.315	0.010	185.7	58.76	488.93	3399.13
	0.015	275.7	56.85	665.13	3575.33
	0.020	363.8	54.97	837.61	3747.80

Tabla 5-10. Peso de la estructura y total

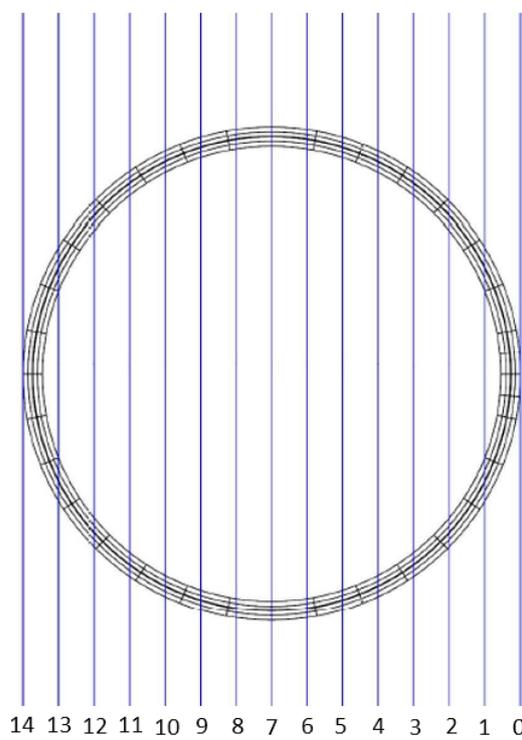
Para seleccionar las dimensiones de los flotadores, se va a estudiar el momento flector máximo al que está sometido la estructura cuando se encuentra en una ola, cuya longitud de onda coincide con el diámetro de la jaula, condición más desfavorable. Para ello, se seguirá la teoría del buque viga, representando la estructura circular de la jaula como una viga apoyada, con lo que el momento flector obtenido será mayor que en el caso real, ya que la resistencia de la viga circular es mayor que la de la estructura considerada.

Para obtener en momento flector se utilizará el *software* Maxsurf, donde se definirá la geometría y la condición de carga con la curva de pesos de la estructura y el resto de los pesos anteriormente calculados. Los datos obtenidos del programa serán por un lado el calado de proyecto y por otro, el momento flector máximo generado por una ola de longitud de onda igual al diámetro de la jaula.

El primer paso será obtener la curva de pesos de la estructura, a continuación, se muestra el peso de cada sección para el primer caso de estudio, que corresponde a un diámetro de



tubo de 0.25m y un espesor de 1.5cm. El resto de los pesos se considerarán distribuidos uniformemente a lo largo de toda la estructura.



	Área Sección(m ²)	Peso (kg)
Sección 14	0	0
Sección 13	0.85	57.6
Sección 12	0.56	38.4
Sección 11	0.47	31.9
Sección 10	0.42	28.6
Sección 9	0.39	26.8
Sección 8	0.38	25.9
Sección 7	0.38	25.6
Sección 6	0.38	25.9
Sección 5	0.39	26.8
Sección 4	0.42	28.6
Sección 3	0.47	31.9
Sección 2	0.56	38.4
Sección 1	0.85	57.6
Sección 0	0	0
		444.2

Imagen 5-16. Distribución del peso por secciones



Imagen 5-17. Curva de pesos



Conocida la distribución de pesos, se definirá en el software la condición de carga y mediante un análisis de equilibrio, resultante de igualar pesos y empuje en aguas tranquilas se obtendrá el calado de proyecto para los distintos casos a analizar.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1	Estruct1	1	0,444	0,444			0,000			0,000	0,012
2	Resto pesos	1	2,910	2,910			0,000	-8,600	8,600	0,000	0,013
3	Total Loadcase			3,354	0,000	0,000	0,000			0,000	0,013

Imagen 5-18. Definición condición de carga

Una vez conocido el calado de proyecto se realiza un análisis de resistencia longitudinal con el que se obtendrá el momento flector producido por una ola de longitud de onda igual al diámetro de jaula. Con este dato se calculará la tensión producida por la ola, este valor deberá ser menor a la tensión de proyecto.

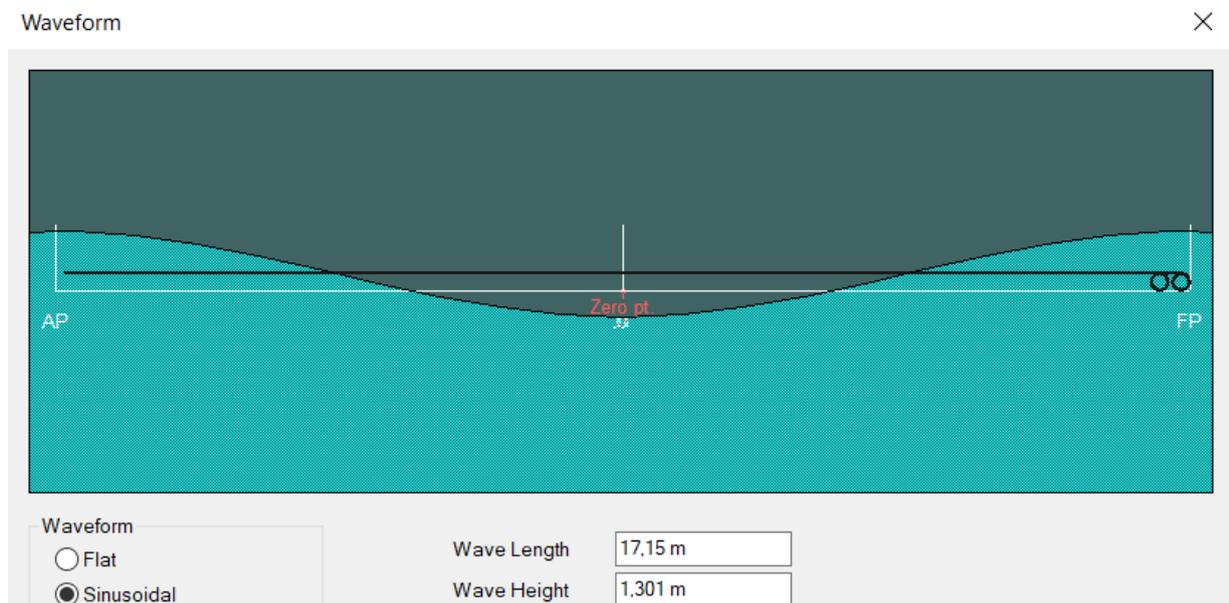


Imagen 5-19. Definición del tamaño de ola

A continuación, se muestra las curvas de pesos, fuerzas cortantes y momentos flectores para el primer caso de estudio.

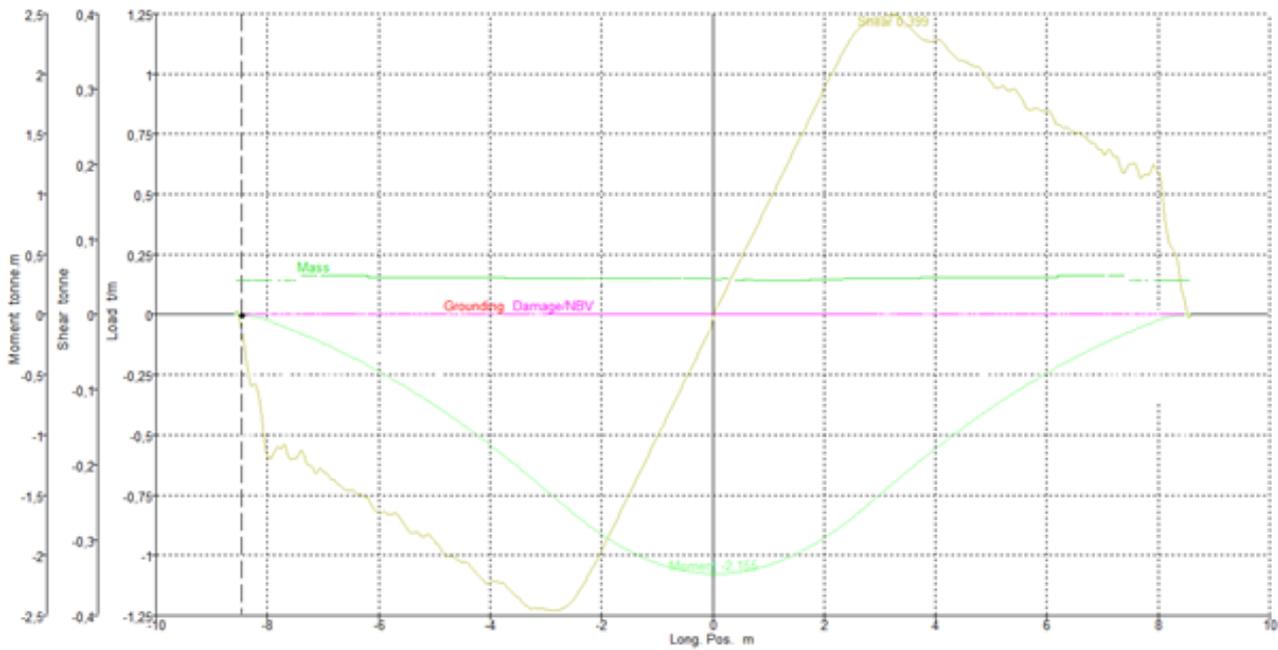


Imagen 5-20. Curva de pesos, fuerzas cortantes y momentos flectores (Caso 1)

La tensión de proyecto se obtendrá a partir de la tensión a flexión del HDPE ($2,8 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$), valor al que se le aplicará un margen de seguridad de 2.

$$\sigma_{\text{Máx admisible}} = 2 \cdot \sigma_{\text{HDPE}} \quad (5.23)$$

Con esto, se comprobará que el esfuerzo máximo producido por la ola es inferior a la tensión de proyecto. Este procedimiento se repetirá para todos los casos, con el fin de seleccionar la configuración más adecuada.

Diámetro (m)	Espesor (m)	Calado (m)	Mom. Flector (kg·m)	Inercia (m ⁴)	Módulo (m ³)	Tensión (kg/m ²)	σ_{proyecto} (kg/m ²)	Cumple/No
0,25	0,01	0,141	2155	1,09E-04	1,36E-05	1,59E+06	1,40E+06	No Cumple
	0,015	0,145	2104	1,54E-04	1,92E-05	1,10E+06	1,40E+06	Cumple
	0,02	0,148	2047	1,93E-04	2,41E-05	8,50E+05	1,40E+06	Cumple
0,315	0,010	0,177	4066	2,23E-04	2,79E-05	1,60E+06	1,40E+06	No Cumple
	0,015	0,180	4049	3,19E-04	3,99E-05	1,02E+06	1,40E+06	Cumple
	0,020	0,183	4028	4,05E-04	5,06E-05	7,95E+05	1,40E+06	Cumple

Tabla 5-11. Dimensionamiento de la estructura de flotación

Para disponer de mayor francobordo, sin sobredimensionar en exceso, se ha seleccionado como dimensiones de la estructura de flotación, tubos de diámetro 315mm y espesor 15mm.



5. DIMENSIONES DE LA INSTALACIÓN

Las jaulas irán situadas dentro de una retícula formada por estachas que irán atadas a los soportes de amarre, a la plataforma central y a las boyas, manteniendo de este modo, la posición de las jaulas. Para conocer la longitud de la retícula donde irán situadas las jaulas, se parte de la colocación de la jaula de cultivo en el centro de un cuadrado que forma parte de esta retícula. Se supondrá una separación entre jaulas de 14 metros, valor habitual en este tipo de instalaciones, que facilitará la maniobra de una embarcación auxiliar.

La longitud del lado del cuadrado en el que se encuentra situada la jaula es de 31,2m.

$$s = 2 \cdot R_{\text{máx}} + c \quad (5. 24)$$

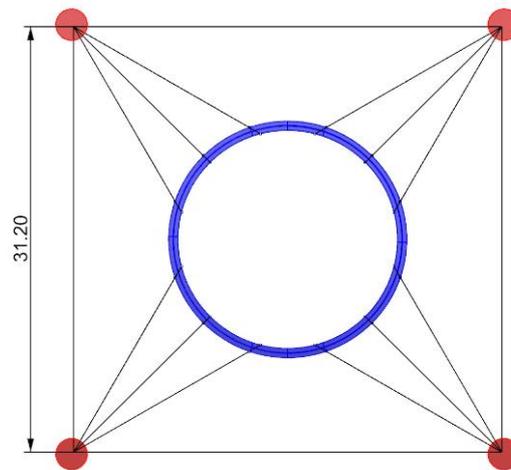


Imagen 5-21. Detalle de la retícula de una jaula. Fuente: Elaboración propia

$R_{\text{máx}}$ (m)	8,6
c (m)	14
s (m)	31,2

Tabla 5-12. Longitud estachas

Por otro lado, las dimensiones de la plataforma central vendrán determinadas por el número de jaulas de la instalación. En este caso, aunque según el plan de producción son necesarias 7 jaulas, se dispondrán 8 jaulas con el fin de dar continuidad a la instalación, y disponer de una jaula adicional para labores de mantenimiento o en caso de rotura en alguna de las jaulas.

Como se puede observar en la siguiente imagen (Imagen 5-21) Las dimensiones de la plataforma serán 62,4m de eslora y 31,2m de manga. Alrededor de esta se situará la estructura reticular con las jaulas.

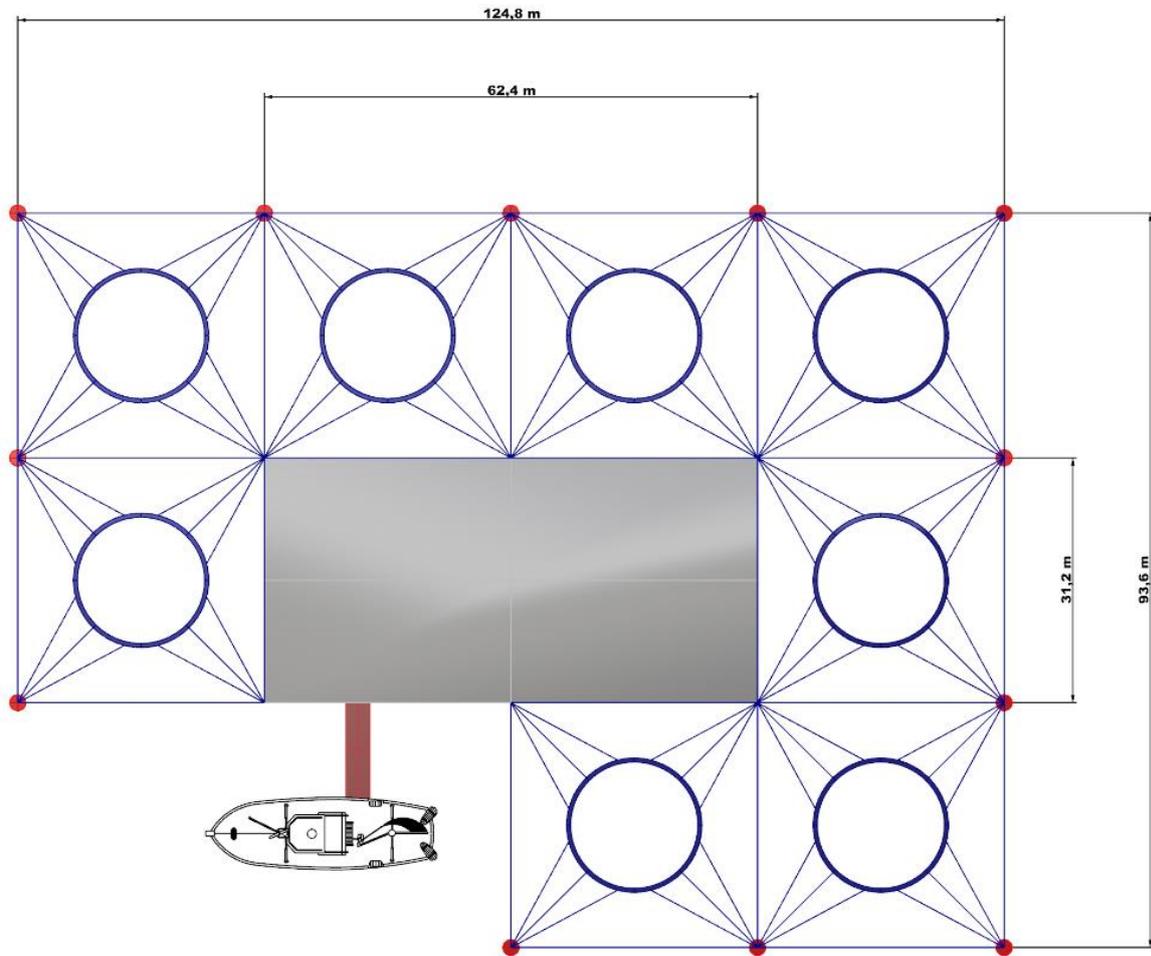


Imagen 5-22. Dimensiones de la instalación. Fuente: Elaboración propia

El puntal de la plataforma viene determinado por el francobordo mínimo que se requiere por normativa y el calado producido por la condición de carga. Para partir de un valor de francobordo mínimo se va a equiparar la plataforma central a un buque de eslora igual a la de la plataforma, asumiendo esto, se tiene que el francobordo mínimo será de 613mm.

TABLA A

Tabla de francobordo para buques de tipo "A"

Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
24	200	59	559	94	1044
25	208	60	573	95	1059
26	217	61	587	96	1074
27	225	62	600	97	1089
28	233	63	613	98	1105
29	242	64	626	99	1120
30	250	65	639	100	1135

Tabla 5-13. Francobordo mínimo. Fuente: Convenio internacional sobre líneas de carga



5.1 EQUIPAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Para continuar con el dimensionamiento de la plataforma central es necesario conocer los equipos que irán instalados en ella, los requerimientos energéticos de estos y los equipos para satisfacer estas necesidades energéticas. Una vez conocidos todos estos elementos se elegirá la distribución de estos, obtenido así la condición de carga.

En la instalación no se realizarán operaciones de tratamiento de pescado por lo que no se necesitarán equipos para la refrigeración, producción de hielo o corte y empaquetado. Si serán necesarios una serie de sistemas de asistencia a la producción que contribuirán a aumentar el rendimiento del cultivo y a mejorar la instalación.

5.1.1 Clasificadoras de peces

Como se comentó en el capítulo 2, en el plan de producción, con el fin de optimizar el crecimiento de los peces y calcular las cantidades de alimento, a mitad del ciclo, se realizaba una clasificación por tamaños de los individuos, para ello se necesitan clasificadoras de peces. Esto favorece la reducción del canibalismo y, además, da como resultado una mayor homogeneidad en los lotes y un mejor crecimiento del cultivo.

Estas máquinas van asociadas a bombas de extracción que les suministran los individuos para su clasificación. En el mercado se pueden encontrar varios tipos de máquina desde unas bandejas con ranuras de un determinado tamaño a equipos más complejos en los que las aberturas van siendo cada vez mayores, y los peces a medida que van avanzando en la cinta caen por gravedad en un compartimento u otro, en función de la talla que tengan.



Imagen 5-23. Maquinas clasificadoras de peces. Fuente: acuinuga.com

5.1.2 Manipuladoras de peces

Se denomina así todas las máquinas que sirven para manejar los peces y trasladarlos de un sitio a otro. Para esto se puede utilizar desde una red hasta bombas de vacío.

En la instalación de van a instalar bombas de vacío para la introducción de alevines a las jaulas de engorde y para la manipulación de los peces (reclasificación, despeque, ...) durante en engorde.



Su funcionamiento consiste en establecer un vacío con lo que se produce la succión de agua y un arrastre de los peces que van en ella. Consta de un motor eléctrico y una tubería de aspiración.



Imagen 5-24. Bomba de vacío/manipuladora. Fuente: Acuitec

5.1.3 Alimentadora de peces

En las piscifactorías convencionales la alimentación se realiza de forma manual con la ayuda de un buque auxiliar, instalaciones con cierto grado de automatización utilizan sistemas para la distribución de alimento.

Existen varios tipos de alimentadoras en función del tipo de instalación y las dimensiones de esta, con funcionamientos distintos. Algunos de los tipos más utilizados son:

- Alimentadora de cinta: consiste en una cinta sin fin que permite el suministro directo de alimento a una velocidad fijada. Además, pueden contar con temporizadores para regular las dosis de alimentación.
- Alimentadoras de demanda voluntaria: Este sistema suministra alimento cuando el pez lo requiere. Normalmente, consiste en un péndulo sumergido en el agua que dispensa alimento cuando el pez lo golpea. Con este sistema se evita el desperdicio de pienso y, por tanto, se disminuye el ensuciamiento del agua.
- Alimentadoras electrónicas: estas alimentadoras se controlan electrónicamente desde una unidad de control. En este caso las dosis de alimentación y los ciclos son calculados, normalmente de forma automática, en función de varios parámetros como las características de agua y biomasa.

La instalación contará con un sistema de alimentación automatizado y optimizado. El sistema entregará la cantidad de alimento correcta, a una tasa óptima y a tiempo.

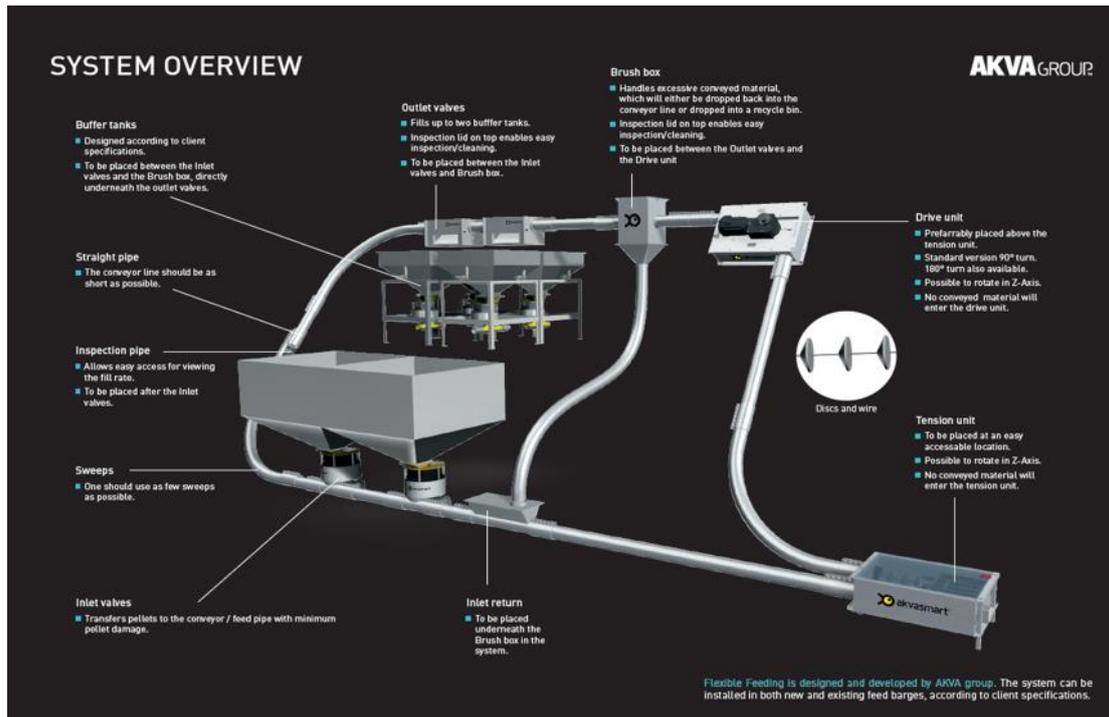


Imagen 5-25. Sistema de alimentación. Fuente: Akvagroup

Este sistema de distribución permite distribuir el alimento desde todas las bodegas hasta todas las jaulas de la instalación. El sistema cuenta con unos silos intermedios y un sistema transportador que traslada el pienso desde las bodegas de almacenamiento hasta estos silos intermedios. El pienso es descargado en los silos intermedios a través de las válvulas de salida, y enviado hasta cada jaula a través del sistema de alimentación central. Además, el sistema cuenta con una caja de cepillado que se encarga del exceso de material transportado, devolviéndolo a la línea transportadora o depositándolo en un contenedor de reciclaje.

5.1.3.1 Bodegas para almacenar pienso

El sistema de alimentación automático requerirá el almacenamiento de comida que abastecerá el sistema para la distribución del alimento hasta las jaulas.

Para saber el volumen necesario de las bodegas, se va a realizar una aproximación de la cantidad de pienso necesario para 7 días. Esta aproximación se va a realizar a partir de los datos proporcionados por el fabricante en la ficha técnica.

El pienso seleccionado para utilizar en la instalación de cultivo de doradas es concretamente el EFICO YM 863 de Biomar.

**Tabla de alimentación indicativa (Kg de alimento por día por 100 Kg de peces)**

Tamaño del pez	Pellet	Temperatura (°C)										
		12 °C	14 °C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C	28 °C	30 °C	32 °C
gram	mm											
30 - 50	3,0	0,44	0,96	1,23	1,42	1,61	1,84	2,10	2,36	2,48	2,21	1,10
50 - 80	3,0	0,37	0,80	1,03	1,19	1,35	1,54	1,76	1,97	2,07	1,85	0,92
80 - 100	3,0	0,33	0,71	0,91	1,06	1,20	1,37	1,57	1,75	1,84	1,64	0,82
100 - 150	4,5	0,29	0,63	0,81	0,94	1,06	1,21	1,39	1,56	1,64	1,46	0,72
150 - 250	4,5	0,25	0,53	0,68	0,79	0,90	1,02	1,17	1,31	1,38	1,23	0,61
250 - 350	4,5	0,21	0,46	0,59	0,68	0,77	0,88	1,01	1,13	1,19	1,06	0,53
350 - 450	6,5	0,19	0,41	0,53	0,61	0,70	0,80	0,91	1,02	1,07	0,96	0,47
450 - 600	6,5	0,17	0,38	0,48	0,56	0,63	0,72	0,82	0,92	0,97	0,87	0,43
600 - 800	6,5	0,16	0,34	0,43	0,50	0,57	0,65	0,74	0,83	0,87	0,78	0,39
800 - 1000	9,0	0,14	0,31	0,40	0,46	0,52	0,59	0,68	0,76	0,80	0,71	0,35
1000 - 1200	9,0	0,13	0,29	0,37	0,42	0,48	0,55	0,63	0,71	0,74	0,66	0,33
1200 - 1500	9,0	0,12	0,27	0,34	0,39	0,45	0,51	0,58	0,65	0,69	0,61	0,30

Imagen 5-26. Tabla de alimentación indicativa EFICO YM 863. Fuente: Biomar

La estimación de la necesidad de alimento va a calcularse a partir de los datos de la Imagen 5-15 y considerando la temperatura media del agua del mar de 20°C para la zona de ubicación.

Según el plan de producción, el pico de requerimiento de alimento se producirá los meses que llegan a coincidir 4 partidas de producción (tres de un año y la cuarta correspondiente al año siguiente. Con todo esto, se ha obtenido que la máxima necesidad de alimento en un día será de 1.268kg. lo que equivale a 2m³ de pienso. (Tabla 5-15).

Según el fabricante, se sabe que el pienso puede estar hasta un máximo de 15 días almacenado en silos sin perder sus propiedades. En este caso la instalación se va a proyectar para una capacidad de pienso suficiente para 7 días, de forma que se requiera un viaje a la semana del buque suministrador de alimento.

	<i>m³ totales</i>
1 día	2
7 días	14

Tabla 5-14. Capacidad de alimento de la instalación



kg alim. (20 °C)	PARTIDA 1 (kg)				PARTIDA 2 (kg)				PARTIDA 3 (kg)				PARTIDA 4 (kg)				PARTIDA 5 (kg)				Kg totales	m3 totales
	Tamaño (gr)	kg peces	kg alimento/día	m ³ pienso	Tamaño (gr)	kg peces	kg alimento/día	m ³ pienso	Tamaño (gr)	kg peces	kg alimento/día	m ³ pienso	Tamaño (gr)	kg peces	kg alimento/día	m ³ pienso	Tamaño (gr)	kg peces	kg alimento/día	m ³ pienso		
1,61	30	142.857ale.																			0	
1,35	55	4286	69	0,11																	69	0,1
1,2	79	7802	105	0,16																	105	0,2
1,06	104	11319	136	0,21																	136	0,2
1,06	128	14835	157	0,24																	157	0,2
0,9	153	18352	195	0,30																	195	0,3
0,9	178	21868	197	0,30	30	142857															197	0,3
0,9	202	25385	228	0,35	55	4286	69	0,11													297	0,5
0,9	227	28901	260	0,40	79	7802	105	0,16													365	0,6
0,77	252	32418	292	0,45	104	11319	136	0,21	30	190476 ale.											428	0,7
0,77	276	35934	277	0,43	128	14835	157	0,24	55	5714	92	0,14									526	0,8
0,77	301	39451	304	0,47	153	18352	195	0,30	79	10403	140	0,22									639	1,0
0,77	325	42967	331	0,51	178	21868	197	0,30	104	15092	181	0,28	30	142.857ale.							709	1,1
0,77	350	46483	358	0,55	202	25385	228	0,35	128	19780	210	0,32	55	4286	69	0,11					865	1,3
0,77		45000	347	0,53	227	28901	260	0,40	153	24469	259	0,40	79	7802	105	0,16					971	1,5
					252	32418	292	0,45	178	29157	262	0,40	104	11319	136	0,21					690	1,1
					276	35934	277	0,43	202	33846	305	0,47	128	14835	157	0,24					739	1,1
					301	39451	304	0,47	227	38535	347	0,53	153	18352	195	0,30					845	1,3
					325	42967	331	0,51	252	43223	389	0,60	178	21868	197	0,30	30	142.857ale.			917	1,4
					350	46483	358	0,55	276	47912	369	0,57	202	25385	228	0,35	55	4286	69	0,11	1024	1,6
						45000	347	0,53	301	52601	405	0,62	227	28901	260	0,40	79	7802	105	0,16	1117	1,7
									325	57289	441	0,68	252	32418	292	0,45	104	11319	136	0,21	869	1,3
									350	61978	477	0,73	276	35934	277	0,43	128	14835	157	0,24	911	1,4
										100000	770	1,18	301	39451	304	0,47	153	18352	195	0,30	1268	2,0
													325	42967	331	0,51	178	21868	197	0,30	528	0,8
													350	46483	358	0,55	202	25385	228	0,35	586	0,9
														45000	347	0,53	227	28901	260	0,40	607	0,9
																	252	32418	292	0,45	292	0,4
																	276	35934	277	0,43	277	0,4
																	301	39451	304	0,47	304	0,5
																	325	42967	331	0,51	331	0,5
																	350	46483	358	0,55	358	0,6
																	45000	347	0,53		347	0,5

Tabla 5-15. Estimación de necesidad de alimento al día. Fuente: Elaboración propia



Se debe considerar que como mínimo se necesitan dos bodegas, ya que se tienen dos tamaños de pienso, en función del tamaño del pez.

Con estas necesidades, se va a disponer en la plataforma de 3 bodegas para el pienso de dimensiones 2x2x1,5, lo que hará un total de 18 m³ destinados al almacenamiento del pienso.

5.1.4 Sistemas de mantenimiento de redes

Un elemento fundamental de la instalación son las redes. Un mantenimiento adecuado de estas minimiza los futuros costes de averías, roturas, etc. y las grandes consecuencias que conllevan, principalmente la pérdida de biomasa.

Dentro del mantenimiento de las redes se consideran dos tareas principales, la primera referida a los trabajos de supervisión y control del estado de las redes y la segunda corresponde a los trabajos de limpieza y reparación, que se realizarán de forma periódica según el plan de mantenimiento de la instalación.

5.1.4.1 Equipos de asistencia a buzos

La primera de las tareas mencionadas es realizada diariamente mediante la inmersión de los buzos, los cuales inspeccionarán las posibles roturas y realizarán un proceso de limpieza periódico para eliminar el fouling que se haya podido adherir a las redes. Por ello, es necesario que la instalación cuente con los equipos necesario de asistencia a buzos.

- Compresor – armario de carga
- Equipo ligero de buceo (Traje, gafas, aletas, cinturón de lastre, cuchillo)
- Equipo pesado (Jacket, reguladores, botellas)

El compresor/armario de carga que se colocará en la instalación será eléctrico con una capacidad de recarga de 595 l/min, concretamente será el modelo O20-E3 de Bauer Compressors.



Imagen 5-27. Compresor - Armario de carga. Fuente: Bauer Compressors



El número total de buzos que trabajaran en la instalación será 3, dos en operación y el buceador de socorro en superficie. La profundidad máxima de trabajo será de 30m en casos de revisión de los sistemas de anclaje y alrededor de los 10-15m en las labores diarias, por lo que en ningún caso deben entrar en descompresión. El equipamiento completo de los buzos se estima en un peso de 25kg (botella, jacket, cinturón de lastre, grifería y equipo ligero), además se contará con un equipo de respeto y dos botellas adicionales.

<i>Equipo completo buzo</i>	2x35 kg
<i>Equipo de respeto</i>	35 kg
<i>Botellas extra</i>	2x30 kg
TOTAL (kg)	165

Tabla 5-15. Estimación peso equipamiento de buzos

5.1.4.2 Equipos para el mantenimiento de redes

Es muy importante revisar la red de forma exhaustiva después de 18-24 meses de uso y comprobar que su resistencia no ha disminuido más de un 35% de la resistencia inicial, en este caso deberá ser sustituida por una red nueva. En caso de que no haya alcanzado este deterioro, se deberán realizar tareas de limpieza y aplicación de tratamientos a las redes.

Para estas operaciones de recambio y limpieza de redes serán necesarios ciertos equipos y sistemas:

- Grúa de izado (Buque auxiliar)
Se requieren grúas de izado para la operación de recambio, las cuales debido a la periodicidad con las que se va a necesitar, irán instaladas en el buque auxiliar.
- Lavadoras de redes (Puerto base)
Una actividad importante en el mantenimiento de las redes es la limpieza de estas. Esta operación entra dentro de la programación del mantenimiento y se hará con una cierta periodicidad.
Esta operación puede realizarse de forma manual con aire y agua a presión, aunque lo habitual es utilizar lavadoras de redes. Por la complejidad de la instalación que requieren (generador de agua dulce, tanque para la gestión de



Imagen 5-28. Lavadora de redes. Fuente: Elimat



residuos, ...) la lavadora de redes estará instalada en el puerto base y allí se realizarán las tareas de limpieza y tratamientos antifouling.

El método de limpieza de redes está evolucionando, con la incorporación del uso de drones para esta tarea. Ya existen opciones en el mercado que aseguran buenos resultados con cortos periodos de tiempo y ahorros en mano de obra.

Por las ventajas que aportan, los pocos recursos que requieren y la facilidad de adquisición e instalación puede resultar interesante su futura incorporación en la instalación.



Imagen 5-29. Robot limpiador sumergible para redes en piscifactorías. Fuente: Yanmar

5.1.5 Sistema contraincendios

De acuerdo con la normativa de DNV-GL para instalaciones offshore, la protección contra incendios debe incluir:

- Protección pasiva contraincendios
- Protección activa contraincendios
- Sistemas contraincendios

5.1.5.1 Extintores portátiles

Siguiendo la normativa aplicable ref. [10] se instalarán tantos extintores portátiles de forma que se pueda acceder a ellos en una distancia de 15m.

Además, se instalará 1 extintor en la sala de control de las fuentes de energía eléctrica y otro adicional adecuado para incendios eléctricos para los cuadros generales dispuestos. Para el espacio destinado a los cuadros generales principales se instalarán dos extintores en las inmediaciones

En la sala de máquinas se instalarán dos extintores portátiles, como complemento al sistema fijo de extinción de incendios (una aspersión de agua a presión fija o un sistema fijo de extinción de incendios por gas).



5.1.5.2 Bombas contra incendios

Se instalarán al menos dos bombas de accionamiento independiente, cada una de las cuales estará preparada para extraer directamente del mar y descargar en un colector contra incendios fijo. Una de ellas deberá estar dedicada exclusivamente a la lucha contra incendios y disponible en todo momento.

Siguiendo con esto, y de acuerdo con la normativa se instalarán dos bombas centrífugas independientes una de 26m³/h de capacidad y la segunda de 30m³/h.



Imagen 5-30. Bomba centrífuga para CI. Fuente: Motorarg

5.1.5.3 Alarmas y detectores

La instalación contará con sistemas de detección de incendios y alarmas contra incendios. Por lo que además de los sistemas descritos anteriormente, siguiendo las indicaciones del solas, se instalarán detectores de humo en el espacio destinado a la habitación y en todos los espacios destinados a servicio y control.

5.1.6 Sistema de achique

De acuerdo a lo indicado en la normativa seguida las bombas de lastre, de sentina o de servicio general podrán aceptarse como bombas contra incendios siempre que no se utilicen para el bombeo de petróleo. Por lo que, para el achique, siguiendo la normativa, habrá que instalar una bomba de mínimo 29m³/h, por lo que se utilizará para este servicio la bomba de 30m³/h anterior.

5.1.7 Bomba de servicio

Además de las bombas listadas anteriormente, se instalará otra bomba de servicio para la distribución y trasiego de agua. Esta bomba tendrá una capacidad de 10m³/h



Imagen 5-31. Bomba de servicio. Fuente: Pompes Japy

5.1.8 Sistemas de control y comunicación

La instalación deberá estar dotada de los sistemas necesarios para el control de los sistemas y comunicación. Además, de contar con un cuadro de control de los sistemas de detección y lucha contra incendios, contará con equipos de radio e intercomunicaciones.

Por otro lado, el sistema de alimentación requiere un ordenador para la monitorización y control y actuación sobre el sistema, así como para el procesamiento de datos.

La instalación también contará con equipos meteorológicos y sensores para el control de las condiciones del cultivo.

5.1.9 Potabilizadora de agua

La instalación contará con una potabilizadora de agua, para cubrir los requerimientos y las necesidades de agua dulce y potable. Esta potabilizadora operará bajo el principio de osmosis inversa, directamente con agua de mar, y tendrá una capacidad de generación de 18m³/día. Además, el módulo contará con la bomba de alimentación de agua de mar.



Imagen 5-32. Módulo potabilizador de agua. Fuente: Gefico



5.2 BALANCE ELECTRICO Y PLANTA ELECTRICA

Una vez conocidos todos los equipos principales y sus consumos se puede dimensionar la planta eléctrica. Para ello se van a considerar dos condiciones de carga, una para la situación de consumo diario y otra para situación de emergencia, en ambas se aplicará un margen de seguridad del 5%.

Consumidor	Carga (kW)	Máxima (100%)		Consumo diario		Emergencia	
		CS	Kwh	CS	Kwh	CS	Kwh
Clasificadora de peces	2	1	2	0,1	0,2		0
Manipuladora de peces	5,5	1	5,5	0,1	0,55		0
Alimentadora	23	1	23	0,5	11,5	0,3	6,9
Compresor	11	1	11	0,5	5,5	0,2	2,2
Alumbrado	1,5	1	1,5	0,7	1,05	0,1	0,15
Alarmas e indicadores	1	1	1	0,5	0,5	0,1	0,1
Bomba CI (26m3/h)	1	1	1	0,5	0,5	1	1
Bomba CI/achique (30m3/h)	1,3	1	1,3	0,5	0,65	1	1,3
Bomba de servicio	1	1	1	0,4	0,4	0,3	0,3
Potabilizadora	8,5	1	8,5	0,6	5,1		0
Sist. Ventilación CM	16	1	16	0,7	11,2	0,2	3,2
Sist. Ventilación A/A	16	1	16	0,5	8	0,2	3,2
Estación meteorológica	1,1	1	1,1	0,5	0,55		0
Equipo de radio	3	1	3	0,4	1,2	0,5	1,5
Otros	1	1	1	0,5	0,5		0
Sumatorio			92,9		47,4		19,85
Margen 5%			4,65		2,37		0,99
TOTAL (kWh)			98		50		21

Tabla 5-16. Estimación de los requerimientos de energía

Los elementos que compondrán la planta eléctrica de la instalación será por un lado las placas fotovoltaicas encargadas de la generación eléctrica, aprovechando la alta radiación solar de la zona de ubicación y la gran superficie de la que se dispone, baterías que acumularán la energía generada y darán suministro los días con baja radiación solar y un inversor que convertirá la energía proveniente de los paneles, corriente continua, en corriente alterna. Por otro lado, también se contará con uno o varios diésel-generador de emergencia que cubrirán la potencia necesaria en caso de que por razones climáticas, altos consumos puntuales o situaciones de emergencia sea necesario contar con este aporte de energía. A continuación, se puede ver un esquema de los elementos que formarían la planta eléctrica.

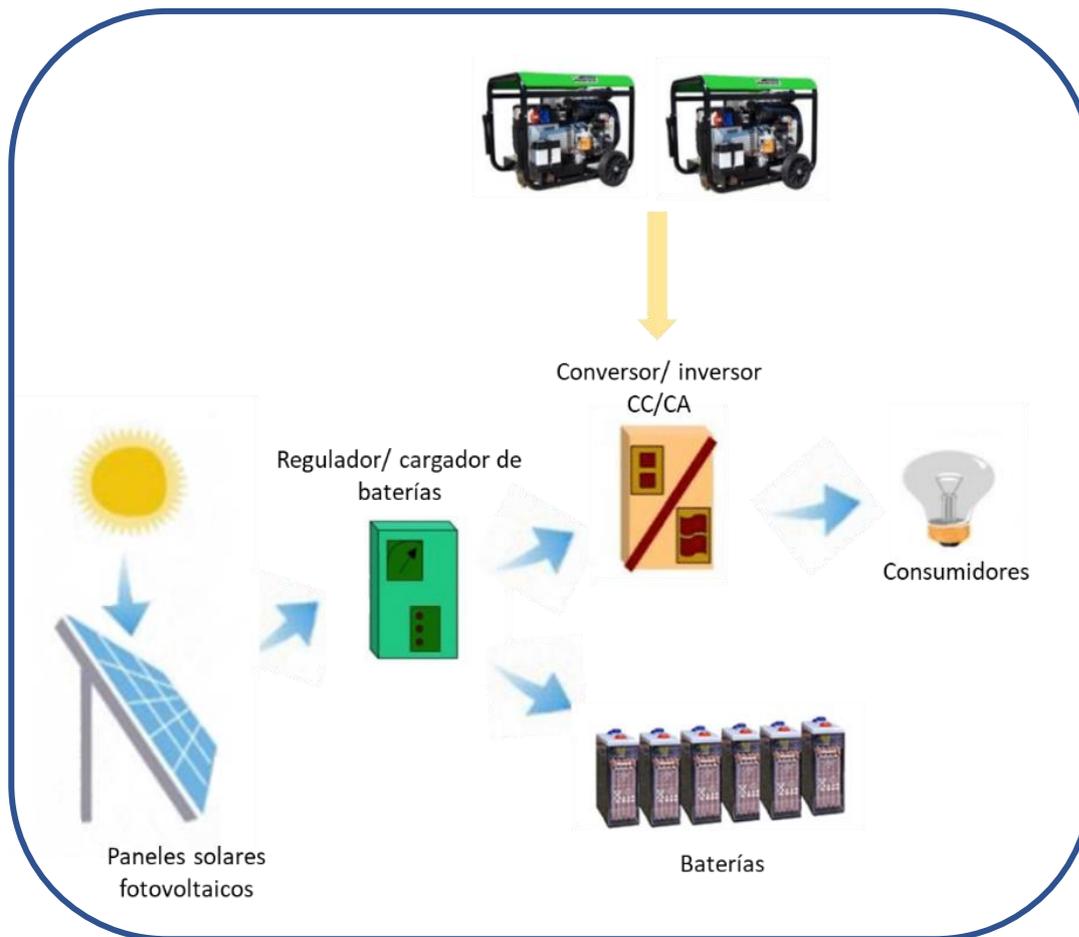


Imagen 4-33 Esquema de la planta eléctrica de la instalación. Fuente: Elaboración propia

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de paneles fotovoltaicos, estos se clasifican en función del tipo de célula que los forman. Los paneles solares se pueden clasificar en:

- **Monocristalinos:** las células están compuestas por un único cristal de silicio. Este tipo tiene mayor eficiencia respecto al policristalino, aunque también el tiempo de fabricación es mayor. Visualmente es reconocible por tener un color más oscuro. Este tipo de celdas son de gran utilidad cuando se requiere un panel de mayor potencia.
- **Policristalinos:** En este caso para la solidificación del silicio se han utilizado múltiples cristales. Este tipo de paneles son muy adecuados para instalaciones de bajo consumo.
- **Amorfos:** es muy poco común, se caracteriza porque en este caso no se produce la cristalización del silicio. Se pueden encontrar de tipo flexible por lo que son muy adecuados para pequeñas aplicaciones.

Además de estos, en el mercado se puede encontrar lo que se conoce como paneles de película delgada o *thin flim*, en este caso las celdas solares están fabricadas con una o más capas delgadas de material fotovoltaico.

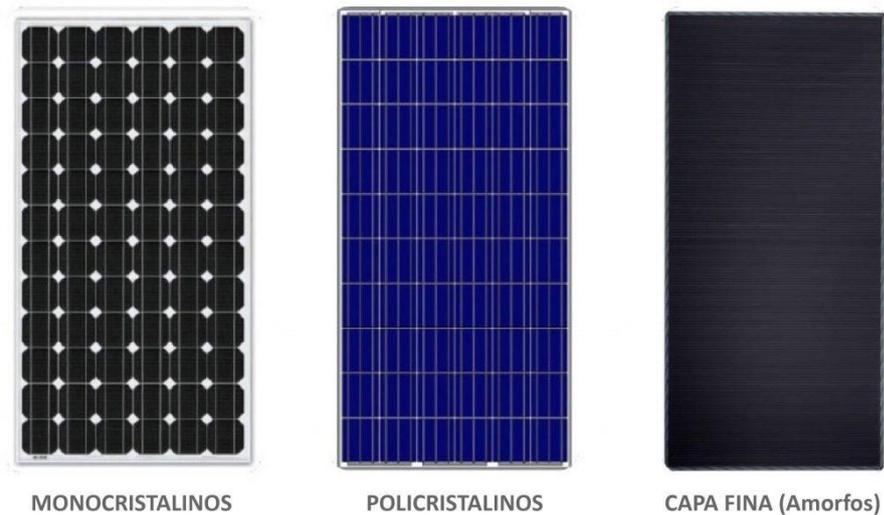


Imagen 5-34. Tipos de paneles fotovoltaicos. Fuente: Ecofener

Como ya se ha comentado los módulos monocristalinos presentan una mayor eficiencia esto se debe a que la estructura interna de las células es más uniforme y, por tanto, facilita el desplazamiento electrónico al ofrecer menor resistencia. Por ello para la instalación se van a utilizar paneles fotovoltaicos con módulos monocristalinos de 72 células.

Se selecciona de la oferta disponible en el mercado, los paneles LG Neón 2 cuyas características se muestran a continuación.

Datos técnicos LG NEON 2	
Características del producto	Monocristalino de tipo N 72 célula (6x12)
Energía	395W
Eficiencia modular	18,70%
Peso	22,1 kg
dimensiones	2064x1024x40mm

Tabla 5-17. Especificación panel fotovoltaico



Conocidas las características de los paneles a utilizar y la irradiancia solar de la zona de ubicación se puede conocer la energía obtenida por los paneles fotovoltaicos.

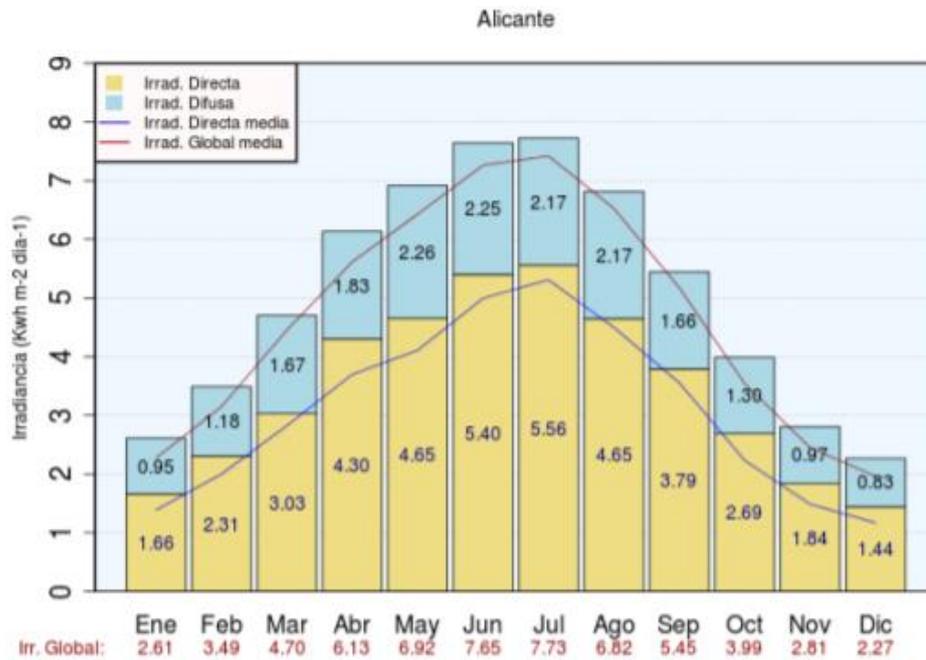


Imagen 5-35. Gráfica de irradiación solar media [1983-2005] provincia de Alicante. Fuente: Atlas de radiación solar.

Para conocer la energía obtenida se ha utilizado la herramienta web proporcionada por la comisión europea, en esta se introducen las características de los paneles a instalar y se define la ubicación de la instalación.

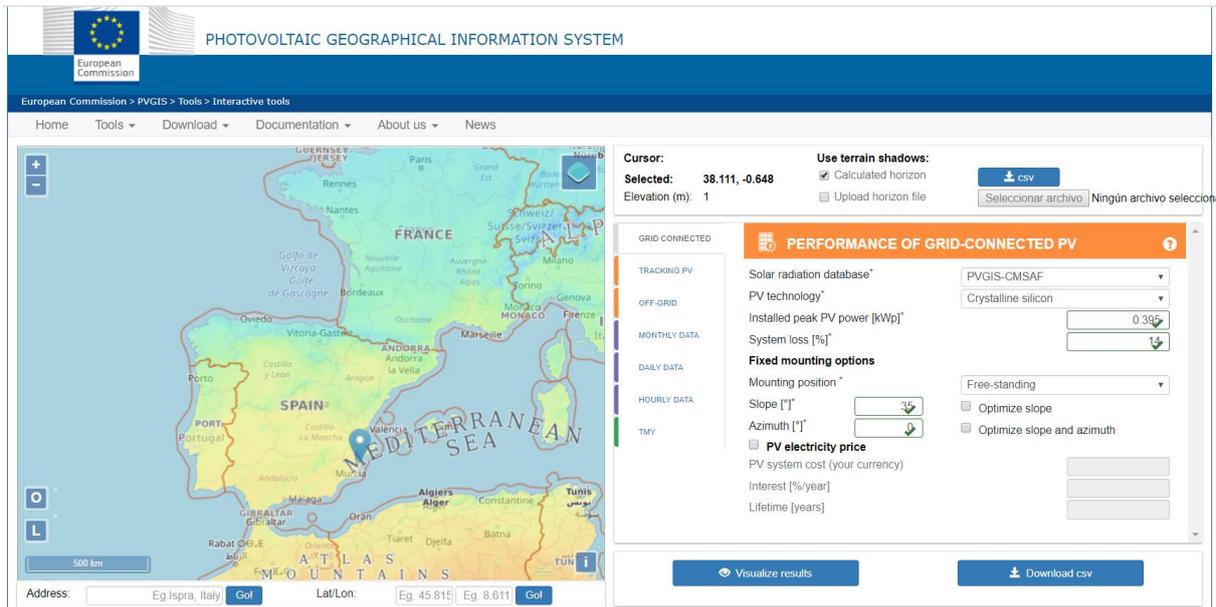
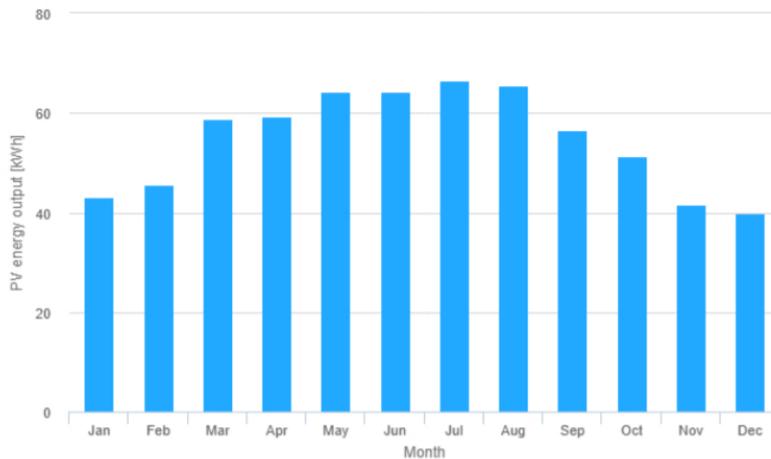


Imagen 5-36. Introducción de datos en la herramienta web. Fuente: comisión europea

Considerando un ángulo de inclinación de 35°, la energía que se obtiene de un panel solar en un año se puede ver en la siguiente gráfica



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Mes	Energía obtenida (kWh)
Enero	43
Febrero	45,6
Marzo	58,7
Abril	59,2
Mayo	64,3
Junio	64,2
Julio	66,6
Agosto	65,5
Septiembre	56,6
Octubre	51,4
Noviembre	41,7
Diciembre	40

Imagen 5-37. Gráfico energía obtenida mes a mes por un panel solar. Fuente: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

El número de paneles solares a instalar se va a calcular con el mes de menor producción para considerar la situación más desfavorable. La producción de energía en el mes de diciembre es de 40kwh, lo que corresponde a 1,3kwh al día. Para cubrir los 50 kWh de demanda, considerando un rendimiento de la instalación del 75%, serán necesario un total de 50 paneles. Con el fin de tener un exceso de producción, y poder acumular el sobrante en las baterías, se instalarán un total de 72 placas fotovoltaicas.

Mes	Energía/mes (kWh)	Energía/placa (kWh)	48 paneles (kWh)	72 paneles (kWh)
Enero	43	1,43	53,75	77,40
Febrero	45,6	1,52	57,00	82,08
Marzo	58,7	1,96	73,38	105,66
Abril	59,2	1,97	74,00	106,56
Mayo	64,3	2,14	80,38	115,74
Junio	64,2	2,14	80,25	115,56
Julio	66,6	2,22	83,25	119,88
Agosto	65,5	2,18	81,88	117,90
Septiembre	56,6	1,89	70,75	101,88
Octubre	51,4	1,71	64,25	92,52
Noviembre	41,7	1,39	52,13	75,06
Diciembre	40	1,33	50,00	72,00

Tabla 5-18. Producción de energía por mes.

Otro componente fundamental de una instalación fotovoltaica son las baterías. En el mercado se pueden encontrar distintos tipos de baterías para este tipo de instalaciones en función de diferentes características como con la vida útil, el tamaño de la instalación, la capacidad de almacenamiento, el rendimiento, número de ciclos de descarga, etc.

Baterías monoblock: son baterías de plomo ácido que están en un único recipiente, en una única carcasa. Estas baterías son adecuadas para instalaciones pequeñas o con un consumo bajo. Tienen una capacidad de carga reducida y una vida útil corta. No son



recomendables en instalaciones grandes o con aparatos complejos, como pueden ser motores, lavadoras, bombas de agua, etc. ya que no soportan bien los picos de arranque que producen estos elementos.

Baterías AGM: estas baterías utilizan placas de fibra de vidrio para estabilizar el electrolito, con lo que se consigue una mayor vida útil, además, no requieren de un mantenimiento periódico. Tienen también una capacidad de carga reducida, aunque superior al primer tipo, al ser monobloques. Este tipo si es apta para picos de arranque y descargas de energía constante. Son utilizadas en instalaciones de tamaño medio.

Baterías estacionarias: este tipo de baterías están formadas por vasos independientes de 2V que se pueden ir concretando entre si formando sistemas de 12, 24 o 48V. Existen dos tipos principalmente OPzS y las OPzV, en función de si el electrolito está en forma líquida o en forma de gel, respectivamente. Tienen un mantenimiento menor y una capacidad mucho mayor que las anteriores. Son las más utilizadas en medias o grandes instalaciones.

Baterías de litio: las baterías de litio han desbancado a las tradicionales anteriormente descritas. Su ciclo de vida es muy superior a las anteriores incluso con ciclos de descarga de hasta un 80%, sin reducir su vida útil. Son las materias con mayor capacidad, además, con un tamaño inferior.

La instalación contará con dos bloques de 5 armarios de baterías de litio. Cada armario está formado por 4 módulos de 2.56kWh por lo que el total de capacidad de las baterías será de 102,4 kWh, suficiente para abastecer la instalación durante dos días.



Imagen 5-38. Baterías de Litio solar. BYD B-Box 10. Fuente: Teknosolar.

Por último, la planta eléctrica también contará con dos diésel-generadores de 25,5 kW. Uno de ellos, de respeto, que cubrirá la potencia necesaria para situaciones de emergencia, y el segundo destinado a situaciones en las que, por razones climáticas, altos consumos puntuales u otras necesidades no sea suficiente la producción de los paneles fotovoltaicos.



Imagen 5-39. Generador eléctrico. Fuente: Inmesol

5.3 DISTRIBUCIÓN DE PESOS

La disposición de los equipos arriba descritos se realizará en dos niveles, superestructura e interior de la plataforma. La gran mayoría, para mejorar la accesibilidad en unos casos y, en otros, para disponer de una mejor ventilación de forma natural, se situarán en la superestructura.

La superestructura se dividirá en 5 espacios, uno destinado al mando y control, donde se ubicará un ordenador para el manejo del sistema de alimentación y control de los datos recogidos por los sensores como temperatura del agua, nivel de opacidad del agua, concentración en oxígeno, pH, etc. así como los sistemas de comunicación y equipos meteorológicos. El segundo espacio irá destinado a los buzos, allí se dispondrá el compresor para la recarga de botellas, así como una zona para almacenar todo el equipamiento necesario y un espacio para el aseo personal de los trabajadores.

Otro compartimento irá destinado a la generación de energía allí se dispondrán los generadores eléctricos, las baterías, y los cuadros eléctricos. Además, habrá una zona destinada a las maquinas del sistema de ventilación y de aire acondicionado.

El cuarto espacio se empleará para la manipulación del pescado allí irá ubicado el sistema de alimentación, la clasificadora de peces y la manipuladora. Por último, también se dispondrá de una zona de almacenaje.

En el nivel inferior, habrá una bodega donde se dispondrán las bombas y la potabilizadora, y 3 bodegas más pequeñas para el almacenamiento del pienso. El resto del espacio estará destinado a los tanques de lastre, tanque de agua dulce, de aceite, y de combustible

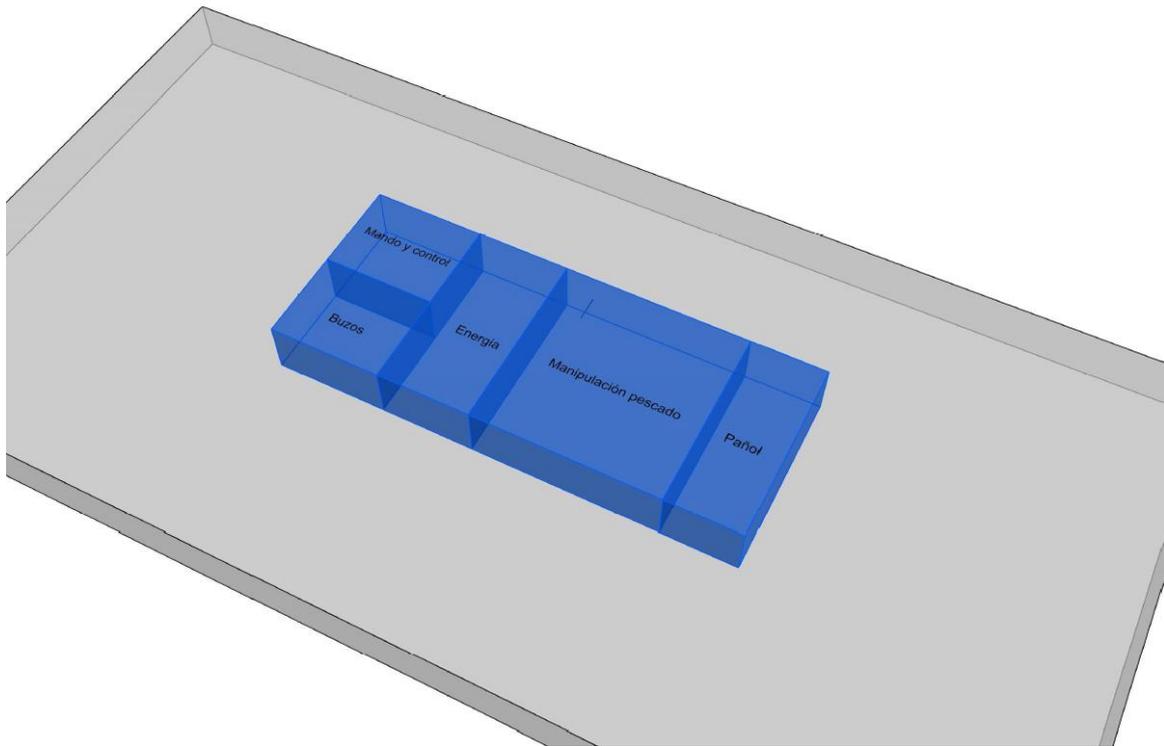


Imagen 5-40. Esquema disposición de la superestructura

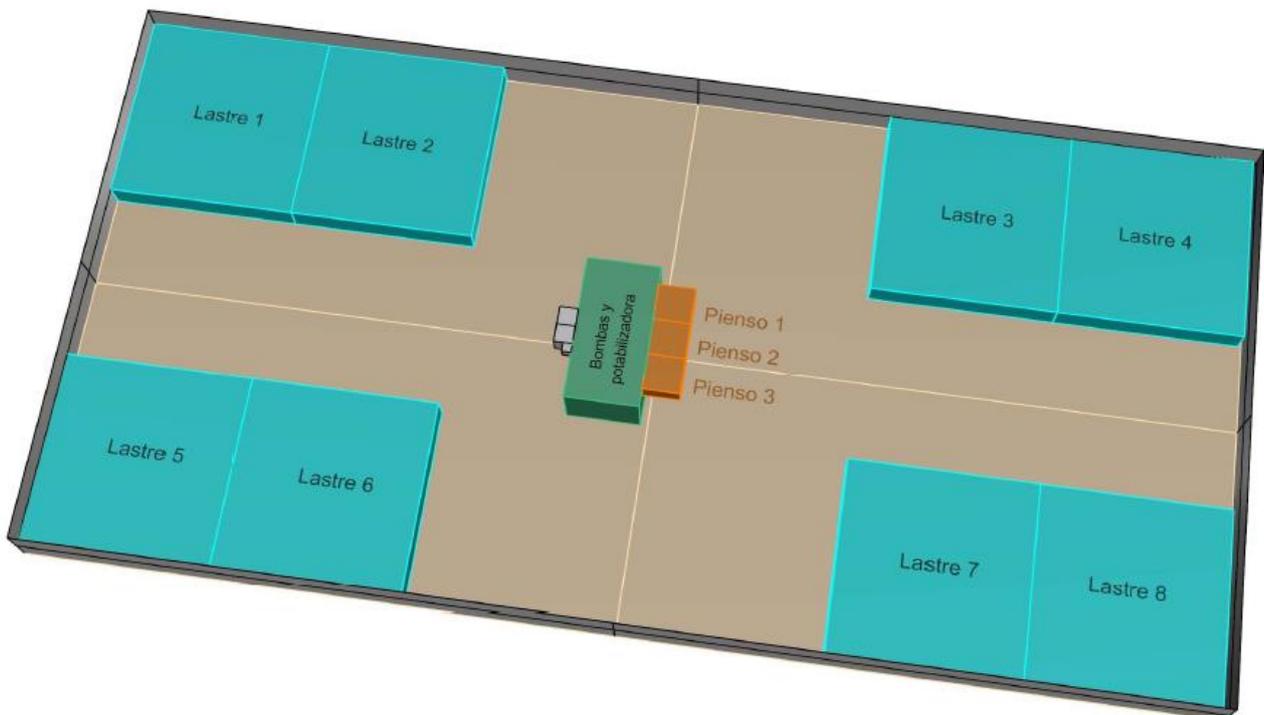


Imagen 5-41. Esquema disposición interior



Por último, quedaría la disposición de los paneles, para los cuales se aprovechará la parte superior de la superestructura, el resto irán situados en la cubierta.

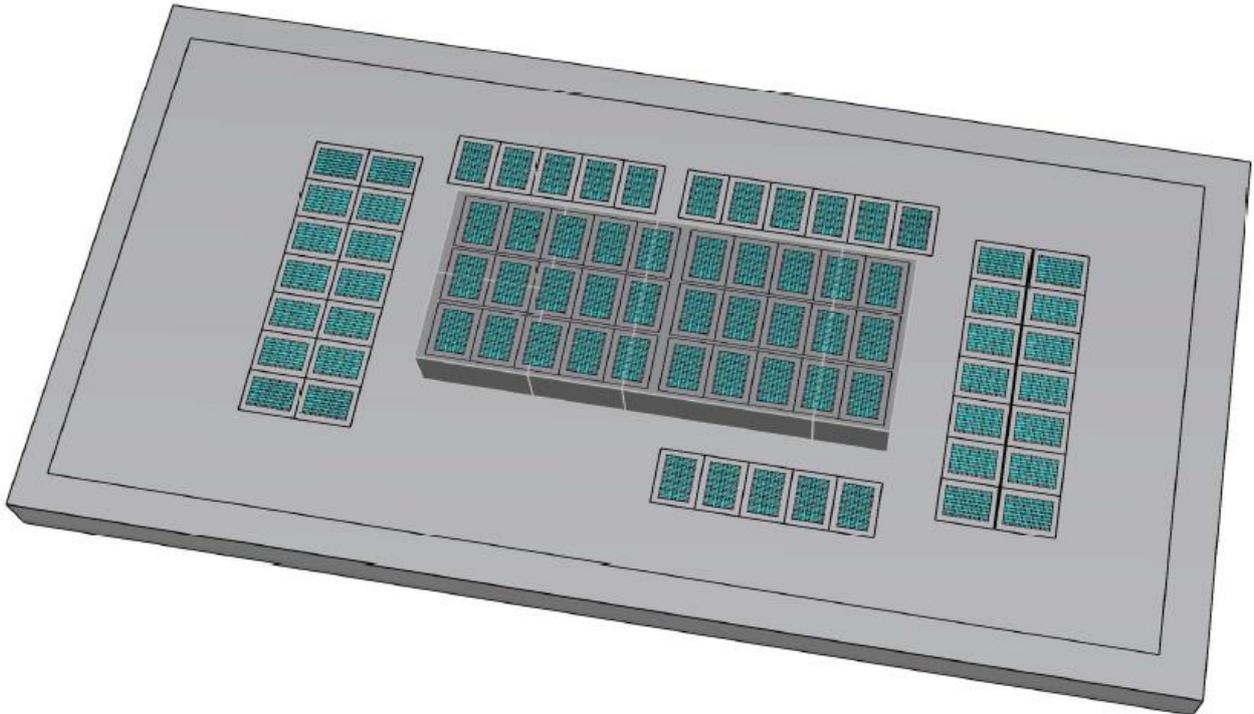


Imagen 5-42. Esquema disposición placas solares

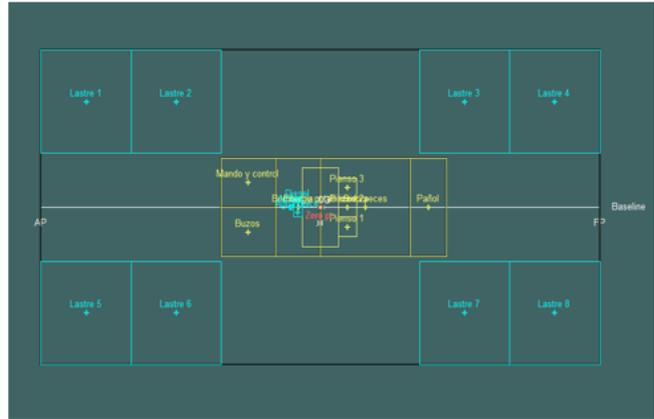
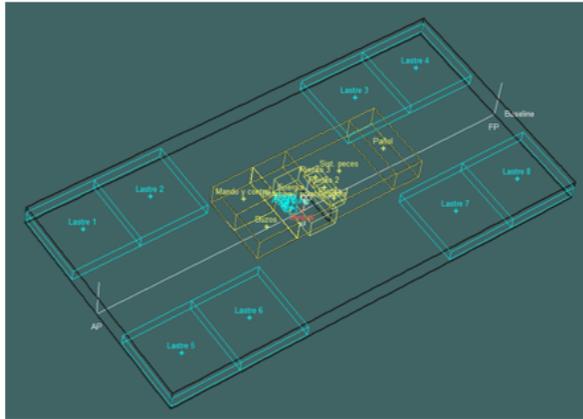
5.4 RESISTENCIA LONGITUDINAL

Para determinar el puntal de la plataforma, se van a considerar varias configuraciones y se calculará el momento flector que produce una ola de longitud de onda igual a la eslora de la plataforma, considerando así el caso más desfavorable, en cada una de estas configuraciones. Conocido el momento flector, se calculará la tensión que este produce sobre la estructura y se comparará con la tensión de proyecto.

La tensión de proyecto será el límite elástico del acero, en este caso 235 N/mm^2 que corresponde al acero laminado en caliente según la norma UNE-EN-10025-2, con un factor de seguridad de 1,5.

$$\sigma_{\text{proyecto}} = 156,7 \text{ N/mm}^2$$

La obtención del momento flector se realizará a través del software Maxsurf. Para ello, se definirán los compartimentos y los tanques y se definirá la condición de carga con la disposición definida en el apartado anterior.



	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m
1	Sist. peces	Compart	100	100			none	0	10	-5	5	6	3
2	Energia	Compart	100	100			none	-5	0	-5	5	6	3
3	Buzos	Compart	100	100			none	-11	-5	0	5	6	3
4	Mando y control	Compart	100	100			none	-11	-5	-5	0	6	3
5	Pañol	Compart	100	100			none	10	14	-5	5	6	3
6	Bombas y potabilizadora	Compart	100	100			none	-2	2	-4	4	3	0,5
7	Pienso 1	Compart	100	100			none	2	4	1	3	3	2
8	Pienso 2	Compart	100	100			none	2	4	-1	1	3	2
9	Pienso 3	Compart	100	100			none	2	4	-3	-1	3	2
10	Agua dulce	Tank	100	100	1	Fresh Wate	none	-3	-2	0	1	3	2
11	Diesel	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	-3	-2	-1	0	3	1,5
12	Aceite	Tank	100	100	0,92	Lube Oil	none	-3,5	-3	-0,25	0,25	3	2,5
13	Lastre 1	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-31	-21	-16	-5,5	2	0,5
14	Lastre 2	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-21	-11	-16	-5,5	2	0,5
15	Lastre 3	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	11	21	-16	-5,5	2	0,5
16	Lastre 4	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	21	31	-16	-5,5	2	0,5
17	Lastre 5	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-31	-21	5,5	16	2	0,5
18	Lastre 6	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	-21	-11	5,5	16	2	0,5
19	Lastre 7	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	11	21	5,5	16	2	0,5
20	Lastre 8	Tank	100	100	1,025	Water Balla	none	21	31	5,5	16	2	0,5

Imagen 5-43 Definición del compartimentado

Para la definición de la condición de carga, además de la disposición de los equipos, hay que tener en cuenta el peso de la estructura, el cuál variará en función de las distintas configuraciones.

Las condiciones a estudiar serán puntales de 3 y 3,5 metros, tanto para un compartimentando 3x3 como 4x3, considerando espesores uniformes de 10 y 15 mm.

Puntal (m)	Compartimentado	Espesor de plancha (mm)
3	3x3	10
		15
	4x3	10
		15
3,5	3x3	10
		15
	4x3	10
		15

Tabla 5-19. Configuraciones a estudiar

En la estimación del peso, se tomará para las planchas de la superestructura un espesor constante de 5mm en todas las configuraciones.

El cálculo del peso de la estructura para el primer caso de estudio, 3m de puntal, compartimentado 3x3 y 10mm de espesor, puede verse en la Tabla 5-20.



Peso estructura Caso 1				
Zona	Área (m ²)	Espesor(m)	Volumen (m ³)	Peso (t)
Fondo	1922	0,01	19,22	150,877
Doble fondo	1922	0,01	19,22	150,877
Cubierta	1922	0,01	19,22	150,877
Costado estribor	186	0,01	1,86	14,601
Costado babor	186	0,01	1,86	14,601
Costado proa	93	0,01	0,93	7,301
Costado popa	93	0,01	0,93	7,301
Mamp. Tranv 1	93	0,01	0,93	7,301
Mamp. Tranv 2	93	0,01	0,93	7,301
Mamp. Long 1	186	0,01	1,86	14,601
Mamp. Long 2	186	0,01	1,86	14,601
Costado supest. Estribor	75	0,005	0,375	2,944
Costado supest. Babor	75	0,005	0,375	2,944
Superst. Proa	30	0,005	0,15	1,178
Superst. Popa	30	0,005	0,15	1,178
Mamp. Superst. Trans 1	30	0,005	0,15	1,178
Mamp. Superst Trans 2	30	0,005	0,15	1,178
Mamp. Superst Trans 3	30	0,005	0,15	1,178
Mamp. Superst Long 1	18	0,005	0,09	0,707
				552,719

Tabla 5-20. Cálculo del peso de la estructura caso 1

Sabidos todos los pesos y la posición del centro de gravedad de estos ya puede comenzarse el cálculo. Primero se realizará un análisis de equilibrio en aguas tranquilas, para comprobar que la distribución de pesos es adecuada, y no se producen ni escoras ni trimados.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1	Estructura3m3x310mm	1	552,724	552,724			0,023	0,000	1,158
2	Paneles2	1	1,800	1,800			1,063	0,000	4,250
3	Equipos	1	18,562	18,562			0,429	-0,015	0,981
4	Agua dulce	100%	1,000	1,000	1,000	1,000	-2,500	0,500	2,500
5	Diesel	100%	1,260	1,260	1,500	1,500	-2,500	-0,500	2,250
6	Aceite	100%	0,115	0,115	0,125	0,125	-3,250	0,000	2,750
7	Lastre 4	100%	161,429	161,429	157,49	157,4	26,000	-10,750	1,250
8	Lastre 1	100%	161,429	161,429	157,49	157,4	-26,000	-10,750	1,250
9	Lastre 2	100%	161,438	161,438	157,50	157,5	-16,000	-10,750	1,250
10	Lastre 3	100%	161,438	161,438	157,50	157,5	16,000	-10,750	1,250
11	Lastre 5	100%	161,429	161,429	157,49	157,4	-26,000	10,750	1,250
12	Lastre 6	100%	161,438	161,438	157,50	157,5	-16,000	10,750	1,250
13	Lastre 8	100%	161,429	161,429	157,49	157,4	26,000	10,750	1,250
14	Lastre 7	100%	161,438	161,438	157,50	157,5	16,000	10,750	1,250
15	Total Loadcase			1866,929	1262,5	1262,	0,009	0,000	1,225
16	FS correction								0,000
17	VCG fluid								1,225

Imagen 5-44. Condición de carga caso 1



A continuación, se muestran los resultados obtenidos, donde se comprueba que con la distribución definida no se producen escoras ni trimados. Y el calado obtenido cumple con el francobordo mínimo.

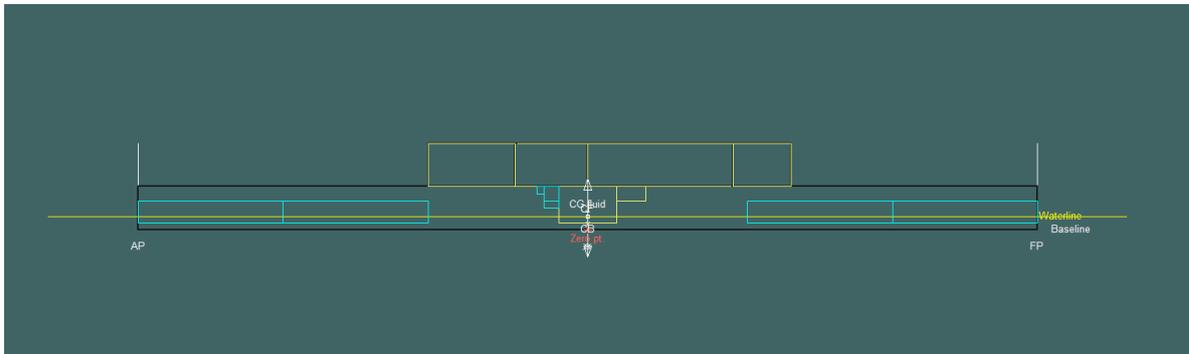


Imagen 5-45. Situación de equilibrio en aguas tranquilas. Caso 1

Propiedad	Valor
1 Draft Amidships m	0,918
2 Displacement t	1867
3 Heel deg	0,0
4 Draft at FP m	0,919
5 Draft at AP m	0,917
6 Draft at LCF m	0,918
7 Trim (+ve by stern)	-0,002
8 WL Length m	62,000
9 Beam max extents	32,000
10 Wetted Area m ²	2156,5
11 Waterpl. Area m ²	1983,9
12 Prismatic coeff. (Cp)	0,999
13 Block coeff. (Cb)	0,999
14 Max Sect. area coe	1,000
15 Waterpl. area coeff.	1,000
16 LCB from zero pt. (0,011
17 LCF from zero pt. (0,000
18 KB m	0,459
19 KG fluid m	1,225
20 BMT m	92,951
21 BML m	348,93
22 GMt corrected m	92,186
23 GML m	348,16
24 KMT m	93,410
25 KML m	349,39
26 Immersion (TPc) to	20,336
27 MTc tonne.m	104,83
28 RM at 1deg = GMt.	3003,6
29 Max deck inclinatio	0,0018
30 Trim angle (+ve by	-0,001

Imagen 5-46. Resultados análisis de equilibrio en aguas tranquilas caso 1

A continuación, se realizará el análisis de resistencia longitudinal con el que se obtendrá el momento flector, este caso en una situación de ola de longitud de onda igual a la eslora de la plataforma.

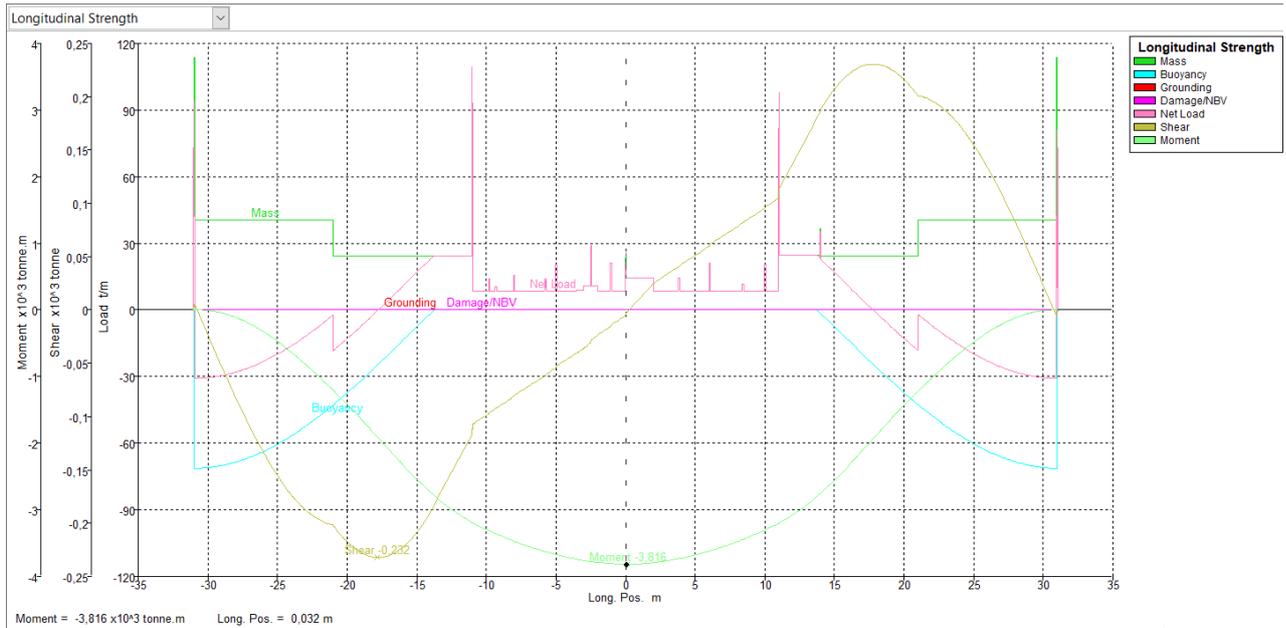


Imagen 5-47. Resultados análisis resistencia longitudinal caso 1

El siguiente paso será obtener la tensión que produce este momento flector, para ello será necesario conocer el módulo de la sección.

$$Z = \frac{\sum I_{xx}}{h_{EN}} \quad (5.25)$$

$$h_{EN} = \frac{\sum M'}{\sum A} \quad (5.26)$$

$$\sigma = \frac{M_f}{Z} \quad (5.27)$$

Este proceso se ha repetido para todas las configuraciones propuestas.

Puntal (m)	espaciado	t (mm)	Calado (m)	Mf(tm)	Mf(kNm)	Z	σ
3	3x3	10	0,918	3816	37434,96	0,15	254
		15	1,051	3473	34070,13	0,22	154
	4x3	10	0,922	3879	38052,99	0,18	208
		15	1,083	3495	34285,95	0,27	125
3,5	3x3	10	0,924	4729	46391,49	0,20	229
		15	1,065	4664	45753,84	0,30	150
	4x3	10	0,927	4859	47666,79	0,25	190
		15	1,069	4683	45940,23	0,38	122

Tabla 5-21. Modulo según configuraciones propuestas

$$\sigma_{proyecto} = 156,7 \text{ N/mm}^2$$



De las cuatro configuraciones que cumplen la tensión del proyecto ($\sigma_{proyecto} = 156,7 N/mm^2$) se ha seleccionado una configuración con 3 metros de puntal un compartimentado 3x3 y un espesor de plancha uniforme de 15mm, con el fin de no sobredimensionar la instalación en exceso ni tener un peso excesivo con el sobrecoste que ello supondría. Hay que tener en cuenta, que el análisis que se ha realizado sigue la teoría del buque viga, por lo que el momento flector obtenido es mayor que en el caso real.

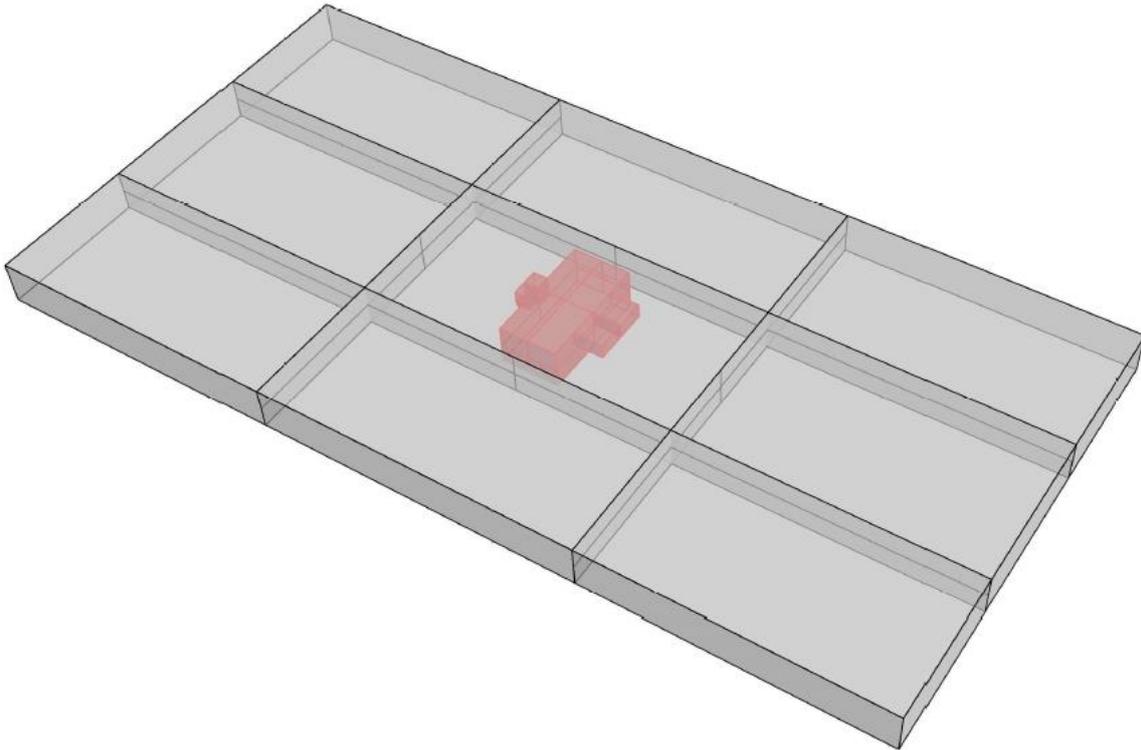


Imagen 5-48. Configuración final de la plataforma central. Fuente: Elaboración propia



6. BIBLIOGRAFIA

- [1] ACUICULTURA. (2019). Retrieved February 2019, from <http://www.elimat.es/acuicultura.html>
- [2] ACUITEC Aquaculture & water technology. (2019). Retrieved April 2019, from <http://www.acuitec.es/web.php?m=2&c=28&s=218>
- [3] ACUITEC Aquaculture & water technology. (2019). Retrieved 5 April 2019, from <http://www.acuitec.es/web.php?m=2&c=28&s=50>
- [4] AENOR (2006). *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados*. UNE-EN-10025-2:2006
- [5] AKVA (2019). Retrieved May 2019, from <https://www.akvagroup.com/cultivos-en-jaulas-flotantes/sistemas-de-alimentaci%C3%B3n/alimentaci%C3%B3n-flexible>
- [6] Batería Litio para Instalación Solar BYD B-Box 10. (2019). <https://www.tutiendaenergetica.es/bateria-litio-fotovoltaica-byd>
- [7] Clasificadoras de peces - Acuinuga. (2019). <http://www.acuinuga.com/es/producto/clasificadoras-de-peces/>
- [8] Colectivo de autores. (2015), *Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages. A field handbook*. FAO Fisheries and aquaculture technical paper 593.
- [9] Corriente continua, Por tecnología, Pompes Japy. (2019). <https://www.bomba-japy.es/R-39-A1-0-bombas-electricas-corriente-continua.html>
- [10] Det Norske Veritas (2013), *OFFSHORE STANDARD, Fire Protection*. DNV-OS-D301 October 2013.
- [11] DNV GL (2017). *Rules for classification: Offshore fish farming units and installations*. DNVGL-RU-OU-0503 Edition July 2017.
- [12] Domínguez Pérez, L. & Domínguez Pérez, N., *Proyecto para el Desarrollo del Cultivo de Especies Marinas en Instalaciones en Mar Abierto*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [13] Fridman, A. L. Prof. Dr Tech Sc (1986), *Calculations for Fishing Gear Designs*. FAO Fishing Manuals.



- [14] García, J., Rouco Yáñez, A. & García, B., (2002), *Directrices Generales de Diseño de Explotaciones de Engorde de Especies Acuícolas en Jaulas en Mar*. Publicado en ARCHIVOS DE ZOOTÉCNIA. 2002 vol.51, nº156, pp.496-472.
- [15] Gefico | Productos y Servicios. (2019). <http://www.gefico.com/es/productos-y-servicios#product2>
- [16] Gómez, A., Acuicultura en aguas abiertas. Proyecto Final de Carrera.
- [17] Grupo electrógeno 30-32 kVA, AAD-032, DEUTZ, 50 Hz - TRIFÁSICO-MECC-ALTE (400/230). (2019). <http://www.inmesol.es/grupos-electrogenos/mas-info/AADI0032540T3110050M>
- [18] JACUMAR, *Foro JACUMAR de Jaulas de Cultivo*. ETSI Navales Marzo 2007.
- [19] Lavadoras de redes. (2019). <http://www.elimat.es/lavadoras-de-redes.html>
- [20] López Alvarado, J. (2015). *Proyectos para el desarrollo de sistemas de acuicultura offshore*. Presentation, TALLER DE ACUICULTURA MARINA Y MEDIO AMBIENTE, At Santa Elena, Ecuador.
- [21] López Alvarado, J., & -Ruiz, W. (2015). *Manual de construcción y manejo de jaulas flotantes para la maricultura del Ecuador*. Instituto Nacional de Pesca.
- [22] López-Alvarado, J. (2015). - *Construcción y funcionamiento de jaulas marinas en mar abierto: experiencia en Islas Canarias y tecnología para la diversificación de la acuicultura en el Ecuador*. Presentation, Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. VII.
- [23] Mascaraque Ramírez, C.A. (2018). *Apuntes de la asignatura: Ingeniería de sistemas de pesca y cultivos marinos. Tema 10: Instalaciones*. ETSINO (UPCT).
- [24] OffShore | BAUER Compressors Espanol. (2019). <https://www.bauercomp.com/es/productos-y-soluciones/sistemas-de-aire-respirable/buceo/offshore>
- [25] Ortega, A. (2008). *Cuadernos de acuicultura. Cultivo de Dorada (Sparus aurata)*. Madrid, Fundación observatorio español de acuicultura.
- [26] Revuelta Betanzos, R., *Diseño y optimización de una granja acuícola*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- [27] Santos Rodríguez, L., & Nuñez Basañez, J. (1994). *Fundamentos de pesca*. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería naval.





Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 6: FONDEO

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

ÍNDICE DE ELEMENTOS	115
1. INTRODUCCIÓN.....	116
2. CONDICIONES AMBIENTALES.....	118
2.1 CÁLCULO DE LA FUERZA DEL OLEAJE.....	119
2.2 CÁLCULO DE LA FUERZA DEL VIENTO.....	121
2.3 CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORRIENTE.....	122
3. PROCESO DE CALCULO CUASI-ESTÁTICO SEGÚN REGLAMENTO	124
3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FONDEO	125
3.2 DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL FONDEO.....	129
3.3 OBTENCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN	132
3.4 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO.....	135
3.5 COMPROBACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD	135
4. SELECCIÓN DE LA CADENA.....	136
5. CONFIGURACIÓN DEL FONDEO DE LA INSTALACIÓN.....	136
6. BIBLIOGRAFIA.....	138
CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO.....	139



ÍNDICE DE ELEMENTOS

Imagen 6-1. Ejemplo de sistema de fondeo de un conjunto de una granja marina. Fuente: UPM	116
Imagen 6-2. Esquema de la línea de fondeo. Unión cadena, estacha y flotador.	117
Imagen 6-3. Detalle retícula. Fuente: Elaboración propia.....	118
Imagen 6-4. Serie temporal de la velocidad del viento máximos y medias temporales, periodo 2007-2019. Fuente: Puertos del estado	121
Imagen 6-5. Rosa de velocidad media del viento, periodo 2007-2019. Fuente: puertos del estado	121
Imagen 6-6. Serie temporal de la velocidad de corriente máximos y medias temporales, periodo 2007-2019. Fuente: Puertos del estado	123
Imagen 6-7. Características de cadena sin contrete. Fuente: Aquaculture operations in floating HDPE cages	125
Imagen 6-8. Desplazamiento medio. Fuente: Elaboración propia.....	126
Imagen 6-9. Estructura de flotación y anillo de lastre, programa SeaFEM.....	127
Imagen 6-10. Volumen de control creado en SeaFem.....	127
Imagen 6-11. Detalle mallado estructura de flotación.....	128
Imagen 6-12. Definición de la red. Fuente: Elaboración propia	128
Imagen 6-13. Esquema configuración del fondeo. Fuente: Elaboración propia	129
Imagen 6-14. Boya. Fuente: Rotogal.....	130
Imagen 6-15. Definición de la estructura: Flotadores, anillos de lastre y boyas. Fuente: Elaboración propia.....	130
Imagen 6-16. Definición de la retícula. Fuente-. Elaboración propia	131
Imagen 6-17. Definición de las líneas de fondeo tipo catenaria. Fuente-. Elaboración propia.....	131
Imagen 6-18. Configuración del fondeo en el programa SEAFEM. Fuente: Elaboración propia.....	132
Imagen 6-19. Definición del problema en SEAFEM. Fuente: Elaboración propia.....	132
Imagen 6-20. Espectro de movimiento en el dominio del tiempo, simulación de primer orden	133
Imagen 6-21. Espectro de movimiento en el dominio del tiempo, simulación de segundo orden	134
Imagen 6-22. Definición de la instalación. Fuente: Elaboración propia	136
Imagen 6-23. Configuración del fondeo.....	137



1. INTRODUCCIÓN

En este tipo de instalaciones el sistema de fondeo es fundamental no solo para mantener la ubicación de la instalación sino también para amortiguar los movimientos bruscos del mar, evitando que estos esfuerzos se transmitan a la estructura flotante.

Inicialmente, era común realizar fondeos individuales de las jaulas, lo que permitía a la jaula a orientarse en la dirección del viento o de las corrientes y de esta forma disminuir los esfuerzos que actuaban sobre las líneas de anclaje. La tendencia a tener cada vez instalaciones con mayor número de jaulas llevó al agrupamiento de las jaulas en flotillas consiguiendo aumentar la seguridad del conjunto y aprovechando mejor el espacio disponible, además de disminuir los costes y facilitar las operaciones de mantenimiento al resultar más sencillo su manejo. En los materiales también se ha tenido a lo largo del tiempo una evolución pasando de cabos de fibras naturales a líneas de fibras sintéticas y a nuevos materiales más resistentes y con menor mantenimiento.

Actualmente, el sistema de fondeo tiene una importancia mayor, ya que debido a la necesidad de aumentar la producción se tienen instalaciones de mayor tamaño y el aumento de zonas protegidas junto con limitaciones ambientales más restrictivas, está llevando a instalar las granjas marinas en zonas más profundas donde las condiciones ambientales son más severas.

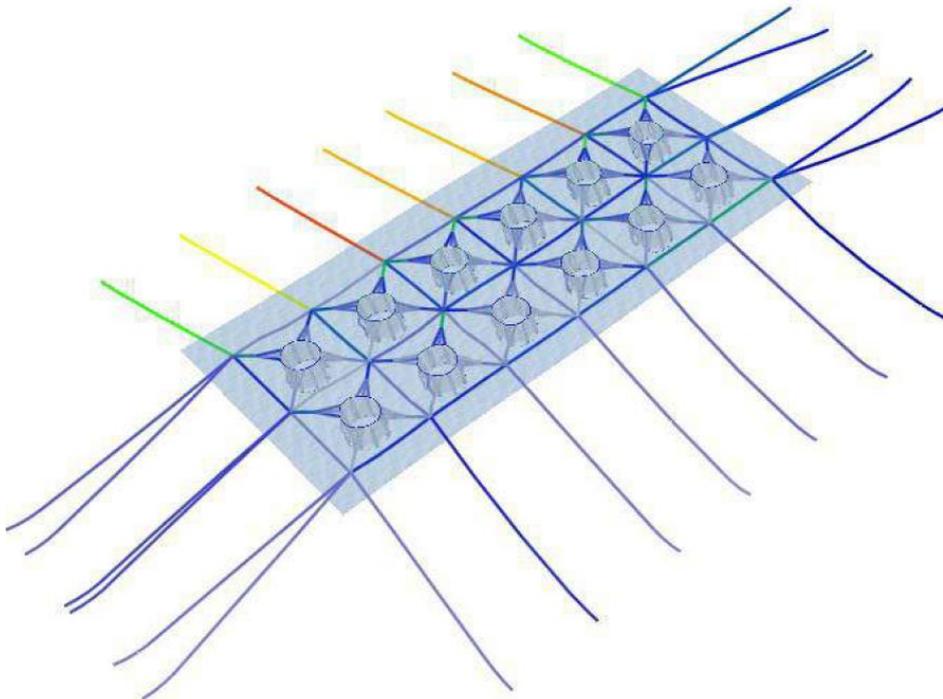


Imagen 6-1. Ejemplo de sistema de fondeo de un conjunto de una granja marina. Fuente: UPM

La integración de una jaula en una granja de cultivos marinos tenga el número de jaulas que tenga, se lleva a cabo a través del sistema de fondeo, que permite mantener a la jaula o al conjunto de jaulas en la posición deseada, soportando la acción de las fuerzas externas y manteniendo la forma de la jaula en aguas tranquilas evitando que sufra grandes

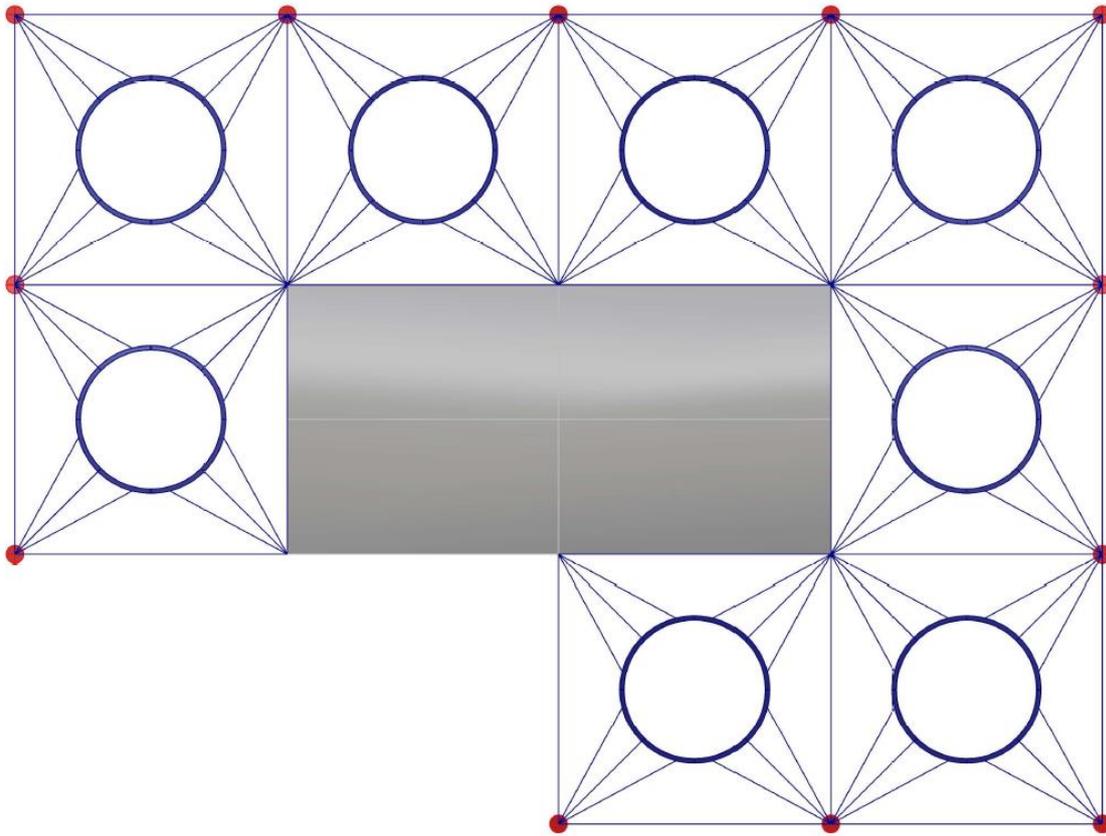


Imagen 6-3. Detalle retícula. Fuente: Elaboración propia

A las boyas, representadas en rojo en la Imagen 6-3, se le unen las líneas de fondeo formadas, como se ha dicho anteriormente, por una estacha unida por su otro extremo a una cadena que finalmente va unida a un muerto de hormigón o un ancla.

Las fuerzas externas que influirán en el sistema son fundamentalmente las fuerzas ambientales:

- Fuerza debida a la corriente.
- Fuerza debida al viento.
- Fuerza debida a las olas.

2. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales, dependen directamente del emplazamiento escogido. Dentro de estas se deben considerar principalmente cuatro las fuerzas producidas por las mareas, por el viento, por las olas y por las corrientes. Al estar ubicada la instalación en el mar mediterráneo no es necesario considerar la influencia de las mareas, ya que la variación entre las pleamares y las bajamares no son importantes.



2.1 CÁLCULO DE LA FUERZA DEL OLEAJE

La fuerza que ejerce el oleaje sobre las estructuras constituye uno de los factores primordiales en el diseño de artefactos en alta mar. Se caracteriza por tener un carácter cíclico. Las olas son causadas fundamentalmente por la acción del viento sobre la superficie libre del mar, transmitiendo energía a las partículas de agua. Hay que distinguir entre las olas que son provocadas localmente por la acción del viento y el oleaje resultante de la acción del viento en una determinada zona durante un tiempo. Por último, las olas también pueden ser generadas por otros fenómenos como corrientes, explosiones, corrimientos de tierra, etc.

Las olas creadas por el viento son las que más afectan a las instalaciones de cultivo. Las creadas por circunstancias naturales excepcionales (tsunamis) son difíciles de evitar y normalmente no se contemplan en el diseño de las instalaciones en el mar.

Cuando los vientos soplan en la superficie del agua, su fuerza de arrastre empuja al agua creando una ola. Cuanta más energía suministre el viento mayor será la altura de la ola. La ola viajará en la misma dirección del viento hasta que un obstáculo (tierra, otro viento...) consuma su energía.

En condiciones de mar abierto, sin limitaciones en la duración del viento, la altura de la ola dependerá únicamente de la longitud efectiva de formación de olas y de la velocidad del viento.

Para el cálculo de la fuerza producida por las olas se van a considerar los datos obtenidos de la boya de puertos del estado más cercana, en este caso, es la boya costera de Alicante situada a una profundidad de 50m, misma profundidad que el emplazamiento seleccionado.

Periodo	Altura sig. Media (m)	Altura sig. Máxima (m)
Dic. 2008 - Nov. 2009	0,63	2,29
Dic. 2009 - Nov. 2010	0,64	3,42
Dic. 2010 - Nov. 2011	0,76	4,15
Dic. 2011 - Nov. 2012	0,65	3,44
Dic. 2012 - Nov. 2013	0,66	4,03
Dic. 2012 - Nov. 2013	0,66	4,03
Dic. 2013 - Nov. 2014	0,65	3,32

Tabla 6-1. Datos de oleaje boya de Alicante costa. Fuente: Puertos del estado

A partir de las tablas Hs vs. Tp obtenidas de la web de puertos del estado para la boya de alicante se obtendrá el valor del periodo pico con el que calcular las fuerzas del oleaje sobre la instalación. Se van a analizar dos datos para un periodo de tiempo comprendido entre 2007 y 2014.



EFICACIA: 82.09%												
AÑO: 2009-2014		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Hs (m)	0.5	---	2.161	9.018	11.82	7.418	4.789	2.267	0.492	0.147	0.043	38.155
	1	---	2.027	7.126	11.024	11.886	6.657	5.719	2.099	0.837	0.021	47.396
	1.5	---	---	0.509	2.234	2.615	2.229	1.298	0.837	0.535	0.14	10.396
	2	---	---	---	0.157	0.613	0.977	0.551	0.328	0.25	0.05	2.926
	2.5	---	---	---	---	0.059	0.135	0.216	0.128	0.109	0.005	0.654
	3	---	---	---	---	---	0.024	0.138	0.095	0.045	0.021	0.323
	3.5	---	---	---	---	---	---	0.026	0.05	0.038	0.002	0.116
	4	---	---	---	---	---	---	---	0.005	0.021	---	0.026
	4.5	---	---	---	---	---	---	---	---	0.007	---	0.007
	TOTAL	---	4.188	16.652	25.235	22.592	14.812	10.216	4.033	1.989	0.283	100%
		0	12.56	66.61	126.18	135.55	103.68	81.73	36.30	19.89	3.11	5.86

Tabla 6-2. Hs vs. Tp (Boya de Alicante costa)

Con los valores de la tabla y realizando la media ponderada en función de la frecuencia con la que se ha dado cada periodo pico, se ha obtenido un valor de 5.86 s.

Siguiendo el DNV, las fuerzas de oleaje, o de deriva, pueden estimarse a través de la siguiente expresión:

$$F_d = \frac{3}{2\pi} \rho k C_d D A^3 \quad (6.1)$$

Siendo k es el número de onda, C_d el coeficiente de arrastre que toma el valor de 0.6, D el diámetro del cilindro y A la amplitud del oleaje.

La relación entre la frecuencia angular ω y el número de onda k viene dado por la relación de dispersión.

$$\omega^2 = kg \tanh(kh) \quad (6.2)$$

Donde h corresponde a la profundidad en metros.

H _{máx} (m)	3.44
A (m)	1.72
ρ (kg/m ³)	1026
g (m/s ²)	9.81
T _p (s)	5.86
ω	1.07
h (m)	50
k	0.11
C _d	0.6
D (m)	16
F_d (N)	2615.6

Tabla 6-3. Cálculo de las fuerzas de oleaje

2.2 CÁLCULO DE LA FUERZA DEL VIENTO

Del mismo modo que el caso del oleaje, se tomarán los datos de los vientos existentes en la zona a partir de la información proporcionada por la web de puertos del estado. En la Imagen 6-4 se puede observar la serie temporal de la velocidad media y máxima del viento.

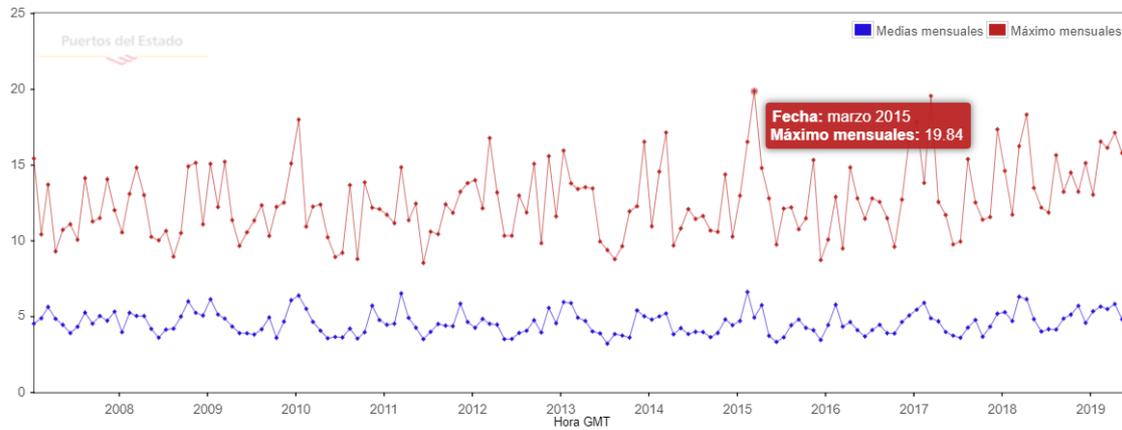


Imagen 6-4. Serie temporal de la velocidad del viento máximos y medias temporales, periodo 2007-2019. Fuente: Puertos del estado

ROSA DE VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO en SIMAR 2077097 en el periodo 2007-2019

WIND SPEED ROSE at SIMAR Point 2077097 , period 2007-2019

LUGAR/LOCATION: SIMAR 2077097 MUESTREO/SAMPLING: 1Hor.
 PERIODO/PERIOD: 2007-2019 INTERVALO/INTERVAL: Global
 EFICACIA/EFFIC.: 95.79 % CALMAS/CALMS,<1.0 m/s : 3.63 %

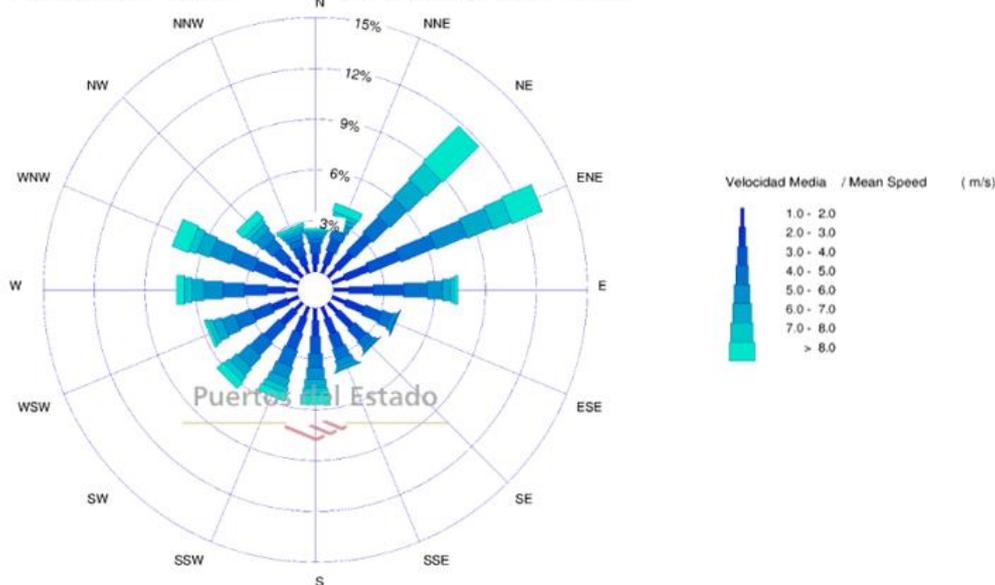


Imagen 6-5. Rosa de velocidad media del viento, periodo 2007-2019. Fuente: puertos del estado

Las cargas del viento son determinadas, según API, mediante la siguiente expresión:

$$F_v = C_w \sum (C_h C_s A) U_v^2 \quad (6.3)$$



Siendo C_w un coeficiente que toma 0,615 (Ns^2/m^4), C_h un coeficiente de altura, que toma el valor 1 si el puntal sobre la superficie libre es menor de 15 y 1,1 si es mayor o igual a 15, C_s es un coeficiente de forma que en este caso por el tipo de estructura coge el valor de 0.6, A es el área proyectada expuesta al viento y U_v la velocidad del viento.

Para el cálculo de la fuerza se va a tomar la velocidad del viento más alta que se ha dado en la serie temporal estudiada con el fin de tener la condición más desfavorable. En la Imagen 6-4 se puede comprobar que el máximo se obtuvo en marzo del 2005 con una velocidad de 19.84 m/s

A_p flotador (m ²)	2.25
A_p red (m ²)	9.60
C_w	0.62
C_h	1.00
C_s	0.60
U_v (m/s)	19.84
F_v (N)	3141.75

Tabla 6-4. Cálculo de las fuerzas del viento

2.3 CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORRIENTE

Las fuerzas generadas por las corrientes son las importantes por ser las que mayores esfuerzos generan sobre la estructura.

Las corrientes pueden ser inducidas por multitud de causas: distribución de la batimetría en un emplazamiento, mareas, regímenes de viento, etc. Por lo que existen diversos tipos de corrientes: de circulación oceánica, geostrofica, de mareas, generadas por la acción del viento o superficiales, termohalinas, así como otro tipo provocadas por fenómenos geológicos o de cualquier otra índole. Por regla general, la corriente disminuye con la profundidad.

Para establecer los parámetros más importantes de las corrientes, velocidad o intensidad y dirección se partirá de los datos facilitados por Puertos del Estado.

En la Imagen 6-5 se puede ver la serie temporal de la velocidad de corriente, con el valor máximo registrado 107.80 cm/s. En este caso se han cogido los datos pertenecientes a la boya de Valencia por lo tener valores en la zona de ubicación, al estar esta boya situada en aguas profundas (260m) las condiciones serán más severas que las del lugar de ubicación, tomando de este modo una posición conservadora.

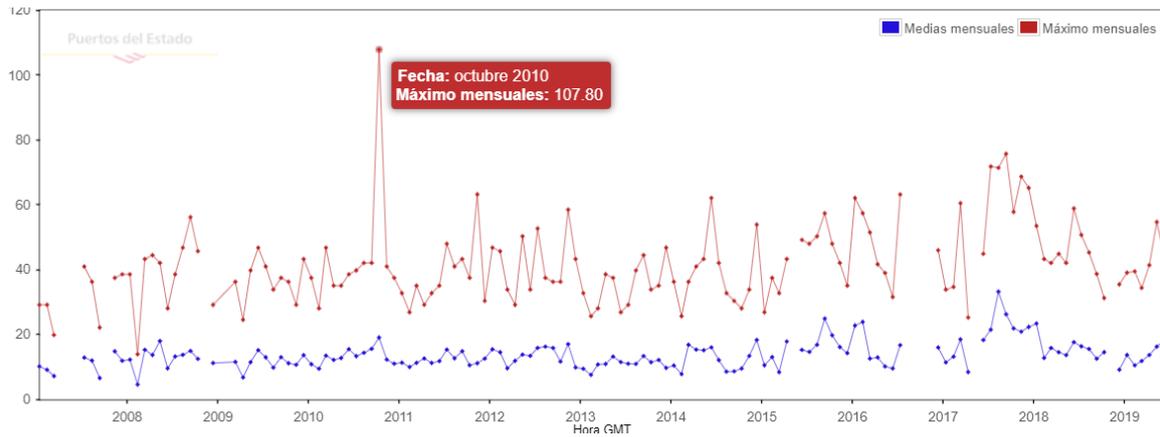


Imagen 6-6. Serie temporal de la velocidad de corriente máximos y medias temporales, periodo 2007-2019. Fuente: Puertos del estado

Las cargas de corrientes pueden ser estimadas a través de la siguiente expresión:

$$F_c = C S_m U_c^2 \quad (6.4)$$

Donde C es un coeficiente que toma el valor de $72,337 \text{ (Ns}^2/\text{m}^4)$ al considerar mares de proa. S_m es la superficie mojada y U_c es la velocidad de corriente.

La superficie mojada corresponderá a la suma del área del anillo de lastre y la superficie mojada de los dos anillos de flotación. Estas áreas se van a obtener a través de Rhinoceros.

S_m lastre (m^2)	20.19
S_m anillo int (m^2)	26.87
S_m anillo ext (m^2)	28.25

Tabla 6-5. Total valores de superficie mojada

Como velocidad de corriente se va a tomar el valor más elevado de la serie registrada (Imagen 6-6) para considerar la condición más desfavorable.

$C \text{ (Ns}^2/\text{m}^4)$	72.34
$S_m \text{ (m}^2)$	75.32
$U_c \text{ (cm/s)}$	107.80
$U_c \text{ (m/s)}$	1.08
$F_c \text{ (N)}$	6331.29

Tabla 6-6. Cálculo de las fuerzas de la corriente

Con todo esto ya se conocerían el total de las fuerzas ambientales que actúan sobre la instalación.

Fuerzas de oleaje (N)	2615.6
Fuerzas del viento (N)	3141.75
Fuerzas de la corriente (N)	6331.29
TOTAL FUERZAS AMBIENTALES (N)	12088.6

Tabla 6-7. Fuerzas ambientales



3. PROCESO DE CALCULO CUASI-ESTÁTICO SEGÚN REGLAMENTO

El objetivo fundamental del proceso de cálculo es conocer el máximo desplazamiento de la instalación debido a cargas exteriores, esto dará como resultado las máximas tensiones en la línea de fondeo.

Para obtener las tensiones en las líneas según el procedimiento cuasi-estático hay que seguir los siguientes pasos:

1. Se escoge un valor inicial de pretensión del sistema de fondeo, este valor podrá ser el peso de la línea, y se define el número de líneas.
2. Se determinan las fuerzas ambientales que actuarán sobre el sistema de fondeo. Las fuerzas ambientales son la resultante de las fuerzas de viento, corrientes y olas.
3. Se desplaza la unidad la cantidad correspondiente al máximo de los movimientos de primer y segundo orden.

El máximo desplazamiento que considera el reglamento DNV es el máximo de los siguientes:

$$X_{MAX} = X_m + X_{sig}^1 + X_{max}^2 \quad (6.5)$$

$$X_{MAX} = X_m + X_{max}^1 + X_{sig}^2 \quad (6.6)$$

La suma del desplazamiento medio (X_m), desplazamiento significativo de primer orden (X_{sig}^1) y desplazamiento máximo de segundo orden (X_{max}^2) o La suma del desplazamiento medio (X_m), desplazamiento máximo de primer orden (X_{max}^1) y desplazamiento significativo de segundo orden (X_{sig}^2).

El desplazamiento medio se obtiene de la deriva producida por las fuerzas ambientales (Viento, corrientes y olas). El desplazamiento de primer orden se obtiene de la respuesta de la unidad a un determinado estado de mar y el movimiento de segundo orden solo puede ser hallado mediante estudios experimentales o procedimientos numéricos complejos ya que depende de la rigidez del sistema adoptado.

4. Se calcula la tensión en las líneas correspondiente a la nueva posición y las longitudes usando las ecuaciones de la catenaria.

$$h = \frac{T_h}{w} \left[\cosh \left(\frac{w}{T_h} x \right) - 1 \right] \quad (6.7)$$

Donde h es la profundidad del emplazamiento, T_h es la tensión horizontal, w es el peso por metro de la línea de fondeo y x el desplazamiento.



$$l_{sus} = \sqrt{h \left(h + 2 \frac{T_h}{w} \right)} \quad (6.8)$$

Por último, la longitud total de la línea será la longitud suspendida más la parte de línea que yace en el suelo (d).

$$l_t = l_{sus} + d \quad (6.9)$$

5. Con la nueva tensión T_d^{max} . Se verificará que cumple el reglamento DNV para el diseño ULS design (ultimate limit state).

$$T_d^{max} > 1,7 T_R \quad (6.10)$$

3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FONDEO

Se va a comenzar con un estudio preliminar del sistema de fondeo para una de las jaulas que componen la instalación. En primer lugar, se parte de un fondeo propuesto con un peso por metro de la línea seleccionada de catálogo y una posición inicial de la línea catenaria.

Diameter (Ø) (mm)	B × A (mm)	Safe working load (tonnes)	Breaking Load (tonnes)	Weight (kg/m)
7	21 × 10.5	1.2	6.1	1.1
10	40 × 15	2.6	12.6	2.2
13	52 × 19.5	4.3	21.2	3.7
16	64 × 24	6.4	32.2	5.6
19	76 × 28	9.0	45.4	7.1
22	88 × 33	12.0	60.0	10.0

Imagen 6-7. Características de cadena sin contrete. Fuente: Aquaculture operations in floating HDPE cages

Como punto de partida se escoge una cadena inicial de 16mm de diámetro con un peso por metro de 5,6 kg/m. y se fija una proyección horizontal inicial de 100m. Con estos datos y sabiendo que la profundidad de la ubicación son 50m, se puede sustituir en la ecuación (6. 7), y de esta forma obtener la tensión horizontal inicial. La longitud suspendida se obtendrá a partir de la ecuación (6. 8).



Profundidad, h (m)	50
Diámetro, d (mm)	16
Peso por metro, w (kg/m)	5.6
Peso por metro, w (N/m)	54.94
Proyección horizontal, x^0 (m)	100
Tensión horizontal, T_h^0 (N)	5901.89
longitud suspendida, l_{sus}^0 (m)	115.08

Tabla 6-8. Tensión horizontal y longitud suspendida etapa 0

Con esta situación de partida, se va a determinar la posición final tras actuar las fuerzas ambientales. Para esto se considera que las fuerzas ambientales en sentido horizontal, calculadas en el apartado anterior, son iguales a la tensión de la línea catenaria.

$$\sum F_{amb} \equiv T_h$$

Las fuerzas ambientales serán la suma de las fuerzas debidas al viento, las fuerzas debidas al oleaje y las fuerzas debidas a la corriente.

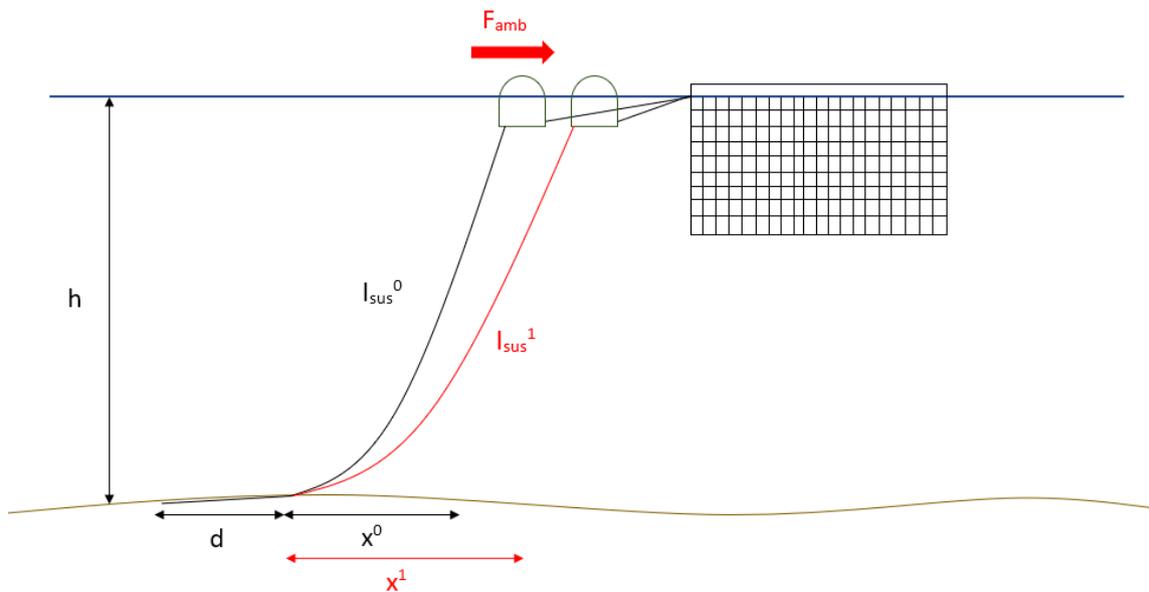


Imagen 6-8. Desplazamiento medio. Fuente: Elaboración propia

De la misma forma que anteriormente, a través de la formulación de la línea catenaria (6.7) se va a obtener el desplazamiento medio tras actuar las fuerzas ambientales.

Tensión horizontal, T_h^1 (N)	12088.6
Desplazamiento, x^1 (m)	145.8

Tabla 6-9. Desplazamiento medio etapa 1

Recordado el proceso de cálculo descrito anteriormente, en el apartado 3 el objetivo era encontrar el desplazamiento máximo, para ello primero se debe conocer el valor del desplazamiento medio (X_{mean}) que corresponde a la diferencia entre la proyección inicial propuesta y la obtenida tras tener en cuenta las fuerzas ambientales.



$$X_{mean} = X^1 - X^0 = 45,8 m$$

Para obtener el desplazamiento máximo ((6. 5), (6. 6)) se deben conocer también los desplazamientos de primer y segundo orden. Ambos formados por un desplazamiento significativo y uno máximo.

Para la obtención del desplazamiento de primer se tiene que obtener la curva del espectro de energía del movimiento de la plataforma para el espectro de mar de la ubicación donde irá instalada la instalación. El primer paso para obtener esto es definir la estructura en el programa.

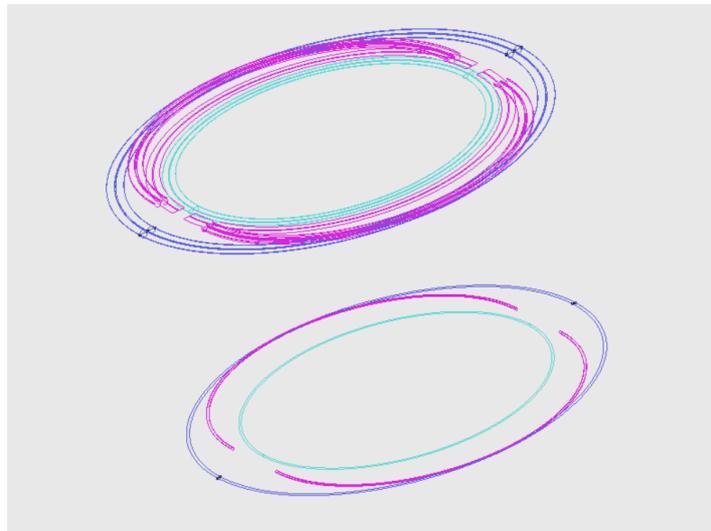


Imagen 6-9. Estructura de flotación y anillo de lastre, programa SeaFEM

A continuación, se generan los volúmenes de control, estos serán dos, uno interno más próximo a la estructura y otro de mayor tamaño. La generación de dos volúmenes será muy útil a la hora de realizar el mallado, donde se le asignará un tamaño de malla más pequeño al volumen interior y otro tamaño mayor al exterior.

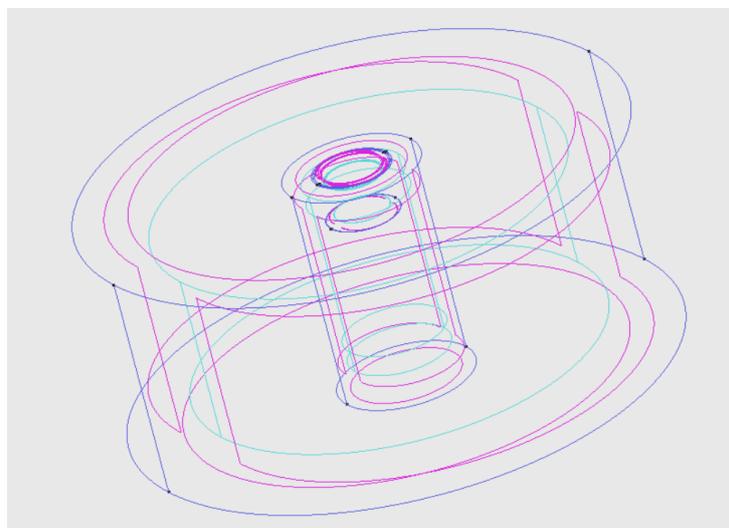


Imagen 6-10. Volumen de control creado en SeaFem



Con esto ya se puede realizar el mallado, y crear líneas que unan los flotadores con el anillo de lastre que represente la red. Estas líneas se van a modelar como barras elásticas de área igual a la parte de red que representa (Imagen 6-12). Se calcula en primer lugar con todos los grados de libertad desactivados, excepto la arfada, y sin olas, y después activando los grados de libertad para comprobar que todo está correcto, que se puede ver si el movimiento de arfada en las primeras iteraciones oscila y después se estabiliza.

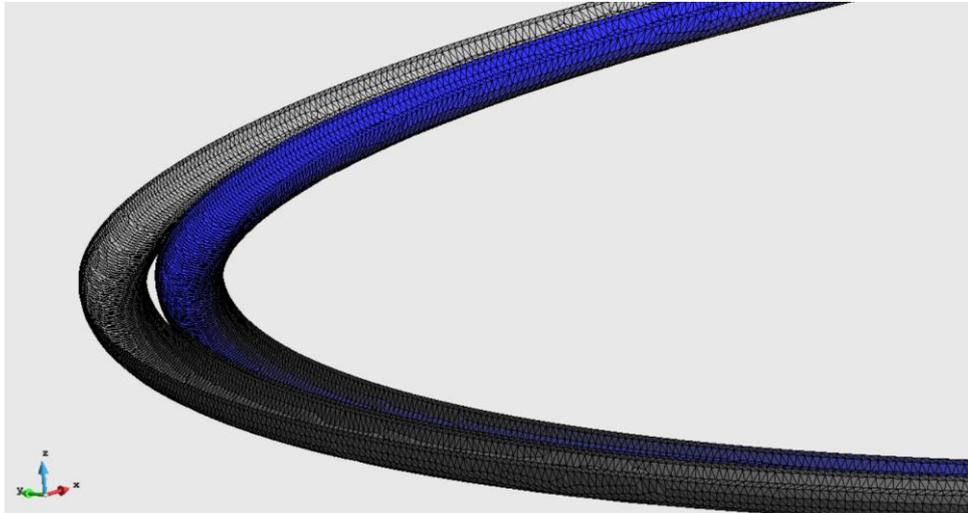


Imagen 6-11. Detalle mallado estructura de flotación

```
#####
# upper part: net
#####
set w 1 1.25
set l 1 10.6
set a 1 0.000193
set E 1 2600000000.0
set type 6
set n1 5
set d1 0.1
set d2 0.1
set S 0
# $S $n1 $d1 $d2]

# fishing cage 1 #####
set x 0.0
set y 0.0
set z 0.0

set net_c1_1 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {8.0 + $x}] [expr {0.0 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {8.0 + $x}] [expr {0.0 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_2 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p1 + $x}] [expr {$p2 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p1 + $x}] [expr {$p2 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_3 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p3 + $x}] [expr {$p3 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p3 + $x}] [expr {$p3 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_4 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p2 + $x}] [expr {$p1 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p2 + $x}] [expr {$p1 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]

set net_c1_5 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {0.0 + $x}] [expr {8.0 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {0.0 + $x}] [expr {8.0 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_6 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p2 + $x}] [expr {$p1 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p2 + $x}] [expr {$p1 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_7 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p3 + $x}] [expr {$p3 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p3 + $x}] [expr {$p3 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_8 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p1 + $x}] [expr {$p2 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p1 + $x}] [expr {$p2 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]

set net_c1_9 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {-8.0 + $x}] [expr {0.0 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {-8.0 + $x}] [expr {0.0 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_10 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p1 + $x}] [expr {- $p2 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p1 + $x}] [expr {- $p2 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_11 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p3 + $x}] [expr {- $p3 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p3 + $x}] [expr {- $p3 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_12 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {- $p2 + $x}] [expr {- $p1 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {- $p2 + $x}] [expr {- $p1 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]

set net_c1_13 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {0.0 + $x}] [expr {-8.0 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {0.0 + $x}] [expr {-8.0 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_14 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p2 + $x}] [expr {- $p1 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p2 + $x}] [expr {- $p1 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_15 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p3 + $x}] [expr {- $p3 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p3 + $x}] [expr {- $p3 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
set net_c1_16 [create_mooring_segment $anillo1 $type [expr {$p1 + $x}] [expr {- $p2 + $y}] [expr {-10.6 + $z}] [expr {$p1 + $x}] [expr {- $p2 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
$w 1 $l 1 $a 1 $E 1 $S $n1 $d1 $d2]
```

Imagen 6-12. Definición de la red. Fuente: Elaboración propia



Comprobado esto, se puede seguir con la simulación para ello es necesario primero definir la configuración del fondeo.

3.2 DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL FONDEO

Como ya se definió en el capítulo anterior, cada jaula irá ubicada dentro de una retícula, considerando una única jaula, en cada esquina de esta retícula se colocará una boya que soportará el peso de la línea de fondeo, de las estachas que forman la retícula y de las estachas que unen la boya con la estructura de flotación de la jaula. Se considera que de estas últimas la mitad del peso de las estachas recaerá sobre los anillos de flotación de la jaula.

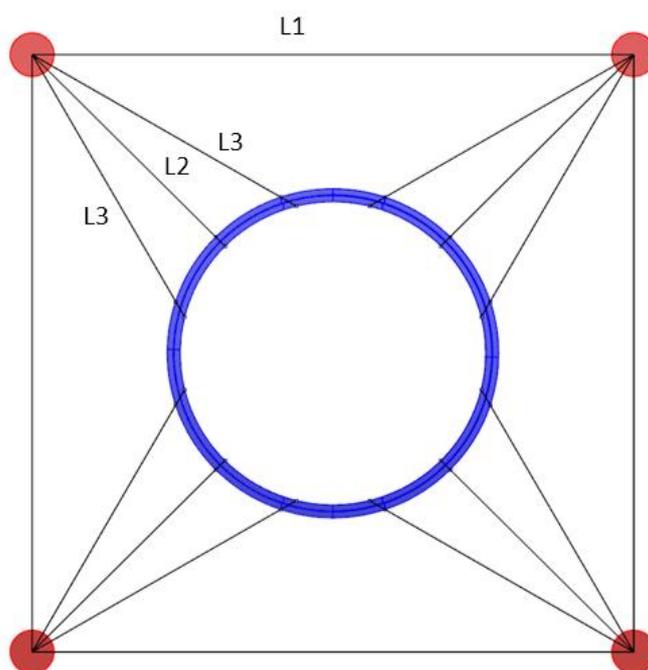


Imagen 6-13. Esquema configuración del fondeo. Fuente: Elaboración propia

Para la retícula y la unión de la estructura de flotación con las boyas se eligen estachas de polysteel de 48mm de diámetro, 1.04 kg/m de peso efectivo y 33.770 kg de carga de rotura. Con esta configuración la boya tendrá que soportar, por un lado, el peso de la línea suspendida de cadena, y el equivalente a una cuadrícula de la retícula de la jaula. Además, se considera que la mitad del peso de las líneas que unen la boya con los anillos de flotación recaerá sobre estos.

	Longitud (m)	Peso/metro (kg/m)	Peso total (kg)
Cadena	145.8	5.6	816.6
Estacha retícula (L1)	15.6	1.04	16.2
Estacha jaula-boya (L2)	6.695	1.04	7.0
Estacha jaula-boya (L3)	7.39	1.04	15.4
			855.1

Tabla 6-10. Estimación del peso de las estachas de fondeo

Conocido el peso que tendrá que soportar la boya, se ha seleccionado del mercado la boya rígida BA1000 de Rotogal de 1000L, especialmente indicada para proporcionar sustentación en los sistemas de fondeo de granjas de acuicultura.



Imagen 6-14. Boya. Fuente: Rotogal

Según muestra el esquema de la Imagen 6-13 se colocarán 4 boyas, una en cada esquina de la retícula. Estas boyas serán introducidas en el programa como cilindros de igual desplazamiento que la boya seleccionada.

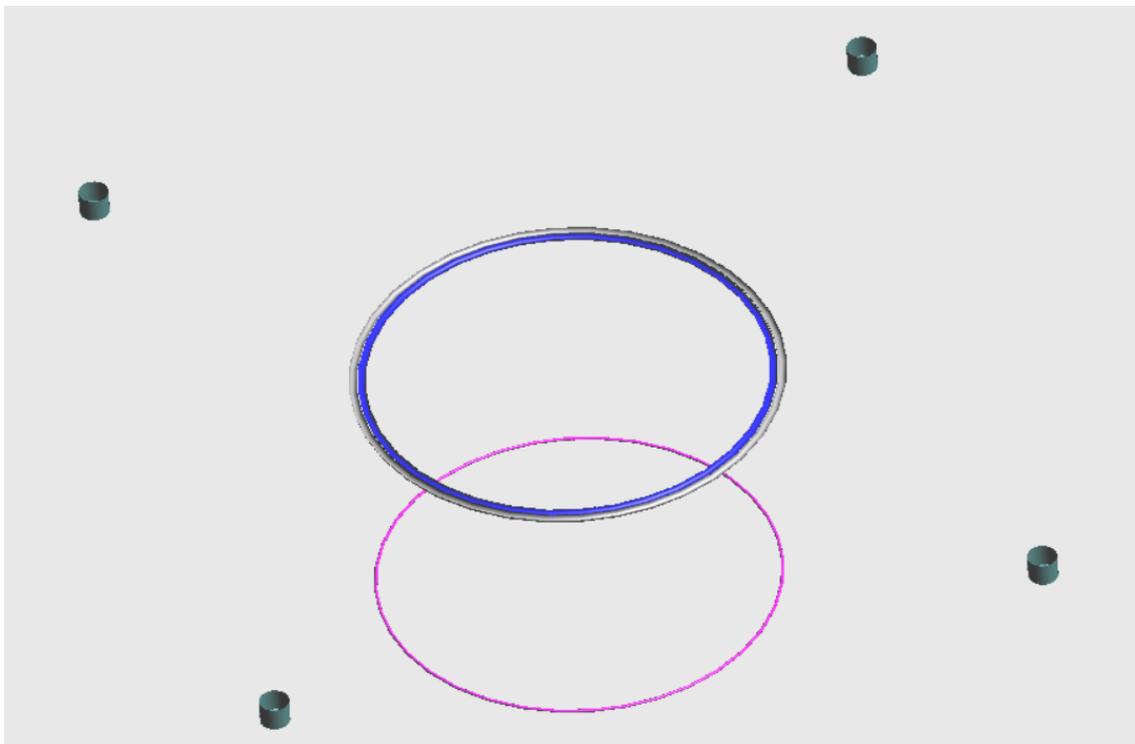


Imagen 6-15. Definición de la estructura: Flotadores, anillos de lastre y boyas. Fuente: Elaboración propia

También se introducirá en el programa las líneas que forman la retícula y las líneas de fondeo tipo catenaria a través de un script, de igual forma que se introdujo la red anteriormente.

Tanto los lados que forman la cuadrícula (*sides*), como las líneas que unen las boyas con los flotadores (*arrays*) serán modelados con barras elásticas (*spring*) de propiedades iguales a las estachas seleccionadas (3.2 DEFINICIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL FONDEO). Las líneas de fondeo serán tipo catenaria, con las propiedades de la cadena



seleccionada y considerando la longitud suspendida obtenida al aplicar las fuerzas ambientales.

```
#####
# sides: spring
#####
set w_3 10.192
set l_3 31.2
set a_3 0.007238
set E_3 69000000
set type 1

# fishing cage 1 #####
set x 0.0
set y 0.0
set z 0.0

set side_c1_1 [create_mooring_segment $boya1 $type [expr {-15.6 + $x}] [expr {-15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}] [expr {-15.6 + $x}] [expr {15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
               $w_3 $l_3 $a_3 $E_3]
set side_c1_2 [create_mooring_segment $boya2 $type [expr {-15.6 + $x}] [expr {15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}] [expr {15.6 + $x}] [expr {15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
               $w_3 $l_3 $a_3 $E_3]
set side_c1_3 [create_mooring_segment $boya3 $type [expr {15.6 + $x}] [expr {15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}] [expr {15.6 + $x}] [expr {-15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
               $w_3 $l_3 $a_3 $E_3]
set side_c1_4 [create_mooring_segment $boya4 $type [expr {15.6 + $x}] [expr {-15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}] [expr {-15.6 + $x}] [expr {-15.6 + $y}] [expr {0.0 + $z}]
               $w_3 $l_3 $a_3 $E_3]

create_mooring_link $side_c1_1 $boya2
create_mooring_link $side_c1_2 $boya3
create_mooring_link $side_c1_3 $boya4
create_mooring_link $side_c1_4 $boya1

TdynTcl_Message "Step 2: cell 1" notice

TdynTcl_Message "Step 3: Fishing cages spring ropes creation finished!!!" notice
```

Imagen 6-16. Definición de la retícula. Fuente-. Elaboración propia

```
#####
# moorings
#####
set w_5 36.26
set l_6 256.54
set a_5 2.01e-04
set E_5 1.57e+09
#set n_5 20
#set d_1 0.1
#set d_2 0.1
set S 1
set type 4
set scope 245.8
# $n_5 $d_1 $d_2]

#set moor_line_1 [create_mooring_segment $boya1 $type -15.6 -15.6 0.0 -189.41 -191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S $n_5 $d_1 $d_2]
#set moor_line_2 [create_mooring_segment $boya2 $type -15.6 15.6 0.0 -189.41 191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S $n_5 $d_1 $d_2]
#set moor_line_3 [create_mooring_segment $boya3 $type 15.6 15.6 0.0 189.41 191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S $n_5 $d_1 $d_2]
#set moor_line_4 [create_mooring_segment $boya4 $type 15.6 -15.6 0.0 189.41 -191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S $n_5 $d_1 $d_2]

set moor_line_1 [create_mooring_segment $boya1 $type -15.6 -15.6 0.0 -189.41 -191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S]
set moor_line_2 [create_mooring_segment $boya2 $type -15.6 15.6 0.0 -189.41 191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S]
set moor_line_3 [create_mooring_segment $boya3 $type 15.6 15.6 0.0 189.41 191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S]
set moor_line_4 [create_mooring_segment $boya4 $type 15.6 -15.6 0.0 189.41 -191.316 -50 $w_5 $l_6 $a_5 $E_5 $S]

TdynTcl_Message "Step 4: Mooring lines creation finished!!!" notice
```

Imagen 6-17. Definición de las líneas de fondeo tipo catenaria. Fuente-. Elaboración propia

En la siguiente Imagen 6-18 se puede observar la definición del fondeo en el programa y su configuración tras cargar el script.



Imagen 6-18. Configuración del fondeo en el programa SEAFEM. Fuente: Elaboración propia.

3.3 OBTENCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN

Una vez definido totalmente tanto la geometría como el fondeo, y comprobar a través de varias simulaciones primero sin ola y luego con olas de altura significativa 0.1m que funciona correctamente. Se pasa a definir el problema, con las condiciones reales obtenidas de los datos de las boyas de puertos del estado (2. CONDICIONES AMBIENTALES).

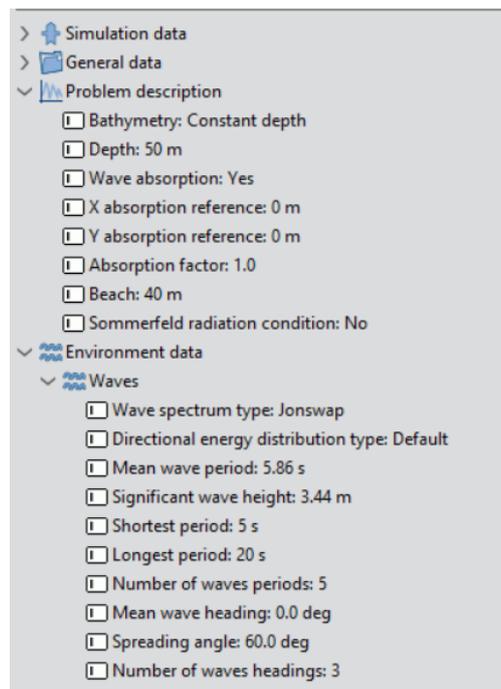


Imagen 6-19. Definición del problema en SEAFEM. Fuente: Elaboración propia



La obtención de los movimientos significativo y máximo, tanto de primer orden como de segundo orden, puede realizarse siguiendo las siguientes expresiones:

$$X^{SIG} = 2 \cdot \sigma = 2 \cdot \sqrt{m_0} \quad (6.11)$$

$$X^{MAX} = \sigma \cdot \sqrt{\ln N} \quad (6.12)$$

Donde el momento espectral de orden cero:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\eta\eta}(\omega) d\omega \quad (6.13)$$

Siendo $S_{\eta\eta}(\omega)$ el espectro de energía del movimiento de la plataforma.

Por otro lado, para el cálculo del número de ciclos N , se toma la duración de la tormenta como 3 horas, según reglamento DNV.

$$N = \frac{t_t}{T_0} = \frac{3 \cdot 3600}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}} \quad (6.14)$$

El momento espectral de segundo orden se puede calcular siguiendo la siguiente expresión:

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 \cdot S_{\eta\eta}(\omega) d\omega \quad (6.15)$$

Primero se realiza la simulación en el software, solo teniendo en cuenta el desplazamiento de primer orden, para comprobar que la simulación avanza correctamente, y los resultados convergen.

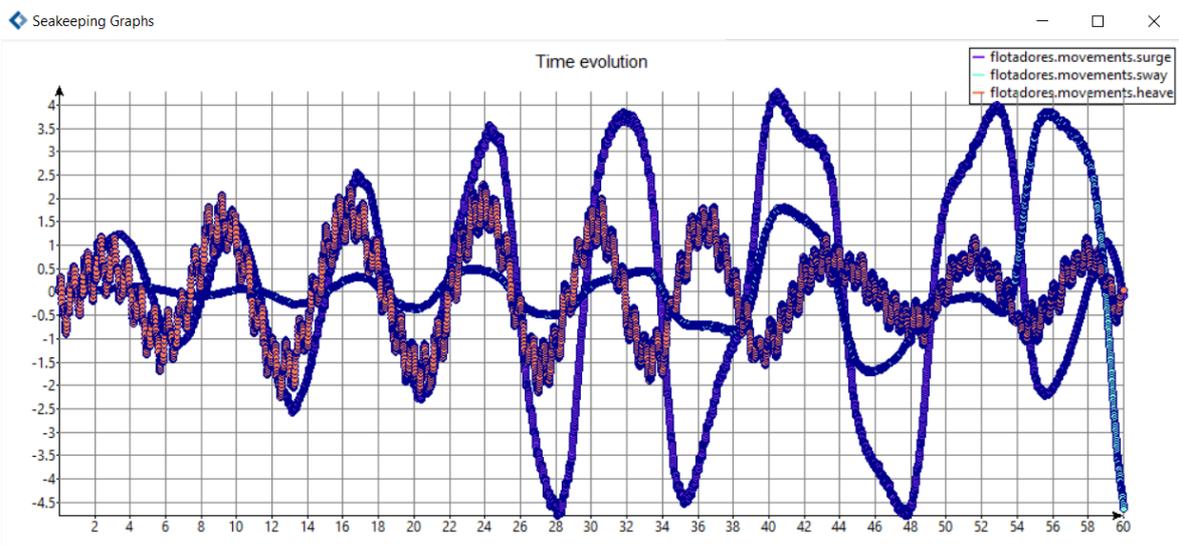


Imagen 6-20. Espectro de movimiento en el dominio del tiempo, simulación de primer orden



Posteriormente, se realiza la segunda simulación, esta vez teniendo en cuenta los movimientos de segundo orden.

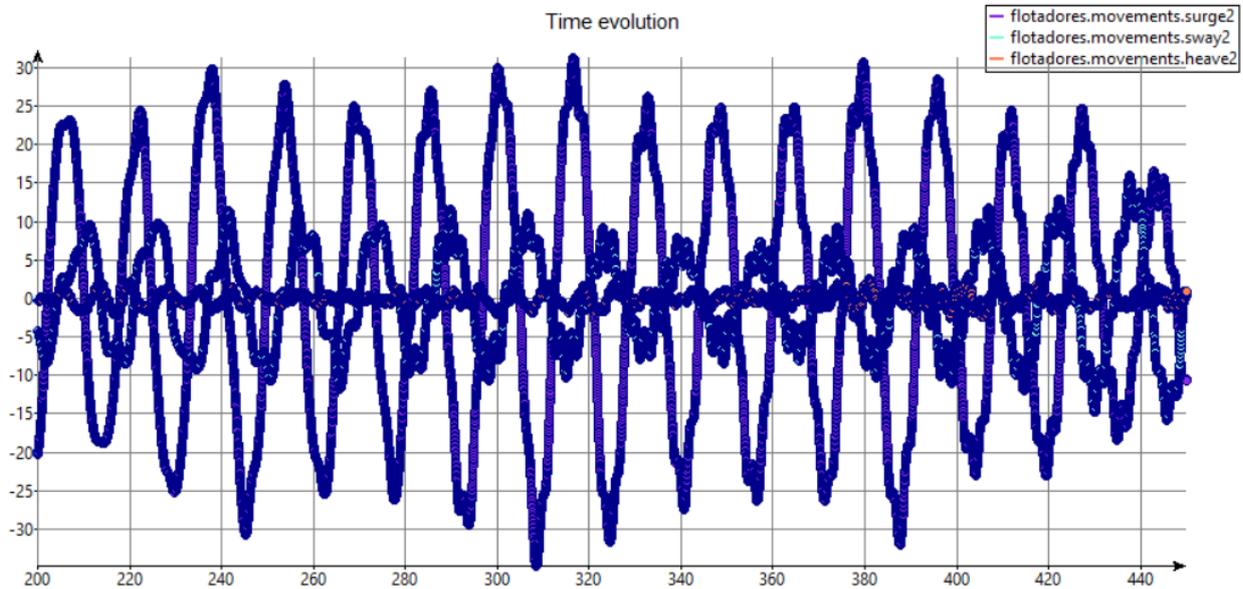


Imagen 6-21. Espectro de movimiento en el dominio del tiempo, simulación de segundo orden

Tras realizar la simulación en el software, de él se obtiene el espectro de movimiento para las diferentes direcciones (*heave*, *surge*, *sway*) en el dominio del tiempo. Se puede observar como la dirección con mayor energía corresponde al *Surge* por coincidir con la dirección del oleaje y es la dirección donde la componente de segundo orden tiene mayor influencia. En la Imagen 6-20 se puede observar el espectro de movimiento para las tres direcciones en la simulación de primer orden y en la Imagen 6-21 para la simulación de segundo orden.

Para realizar la integración de la curva de energía es necesario obtener el espectro de energía del movimiento en el dominio de la frecuencia para lo que se utilizará la transformada de Fourier.

Sustituyendo en las ecuaciones (6. 13) y (6. 15) se obtienen los momentos espectrales de orden cero y de segundo orden, respectivamente. Y, por último, los movimientos significativos y máximos a través de las ecuaciones (6. 11) y (6. 12).

	1 orden	2 orden
m_0	0.741	30.445
m_2	1440.162	59339.888
X_{sig}	1.722	11.035
X_{max}	2.886	18.496

Tabla 6-11. Resultados movimientos significativos y máximos



3.4 CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO MÁXIMO

Recordando el punto 3 del proceso de cálculo cuasi-estático el desplazamiento máximo corresponde al máximo de los movimientos de primer y segundo orden. DNV, considera que el máximo de los desplazamientos corresponde al máximo de los siguientes (Ecuaciones (6. 5) y (6. 6))

$$X_{MAX,1} = X_m + X_{sig}^1 + X_{max}^2$$

$$X_{MAX,2} = X_m + X_{max}^1 + X_{sig}^2$$

Sustituyendo en estas, se han obtenido los siguientes resultados:

X_m	145.80	X_m	145.80
$X_{sig (WF)}$	1.72	$X_{sig (LF)}$	11.04
$X_{max (LF)}$	18.50	$X_{max (WF)}$	2.89
$X_{MAX,1} (m)$	166.02	$X_{MAX,2} (m)$	159.72

Tabla 6-12. Desplazamiento máximo

Por tanto, el desplazamiento máximo será 166,02m.

3.5 COMPROBACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Conocido el desplazamiento máximo, se calcula la tensión horizontal de las líneas de fondeo para este desplazamiento máximo (Ecuación (6. 7))

Desplazamiento, x^2 (m)	166.02
Tensión horizontal, T_h^2 (N)	15580.4

Tabla 6-13. Tensión horizontal etapa 2

Con la nueva tensión T_h^{max} . Se verificará que cumple el reglamento DNV para el diseño ULS design (ultimate limit state), ecuación (6. 10).

$$T_h^{max} > 1,7 T_R$$

En este caso la tensión de rotura de la cadena seleccionada es de 62.78 kN, por lo que el factor de seguridad es de 4, cumpliendo ampliamente con el reglamento.

Tensión horizontal, T_h^{max} (N)	15580
Tensión de rotura (N)	62784
Factor Seguridad	4.03

Tabla 6-14. Factor de seguridad



4. SELECCIÓN DE LA CADENA

El sistema de fondeo de la instalación proyectada tendrá las siguientes características:

Disposición	Catenaria
Diámetro de la cadena	16mm
Peso por metro	5.6 kg/m – 54.94 N/m
Tensión horizontal máxima	15580 N
Proyección horizontal	166.02 m
Longitud suspendida	175.67 m

Tabla 6-15. Características de la cadena

5. CONFIGURACIÓN DEL FONDEO DE LA INSTALACIÓN

Debido a la alta necesidad computacional que exige el cálculo del fondeo de la instalación completa, dicho cálculo no se ha podido realizar, por lo que se asume que los valores y resultados obtenidos para el cálculo de una sola jaula son extrapolables a la instalación completa.

Repitiendo el proceso para la instalación completa, el primer paso será la modelización de la geometría en el software, la cual se puede observar en la Imagen 6-22. Definición de la instalación. Fuente: Elaboración propia, donde se encuentran modelizados los flotadores y los anillos de lastre de las 8 jaulas que forman la instalación, las boyas que delimitan el fondeo y la plataforma central.

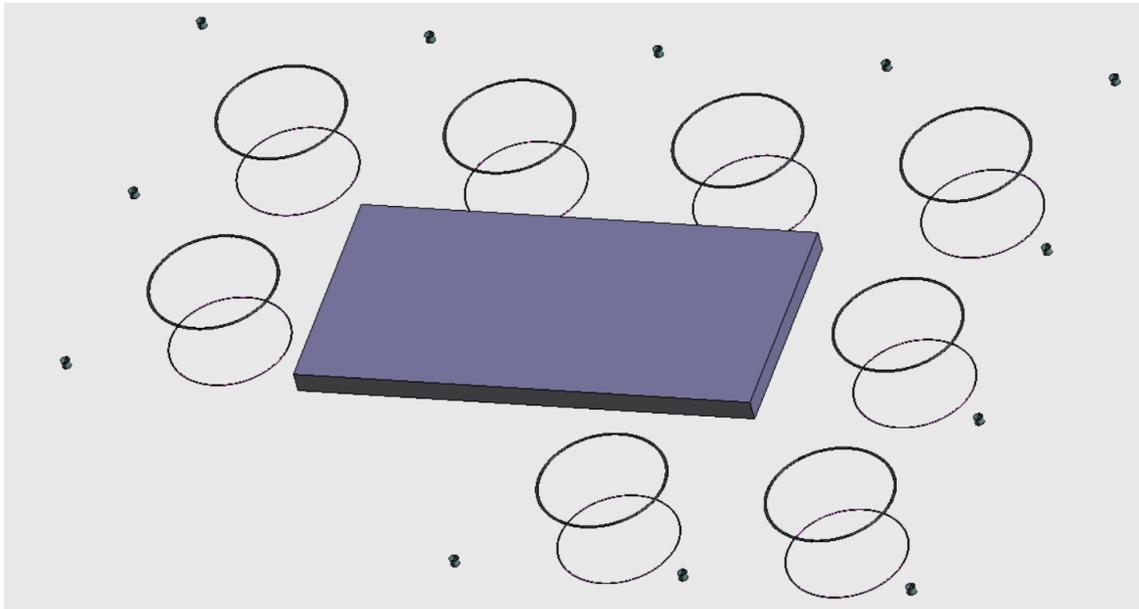


Imagen 6-22. Definición de la instalación. Fuente: Elaboración propia



Posteriormente, igual que se hizo en el caso de la jaula individual, se crea el volumen de control y se pasa a mallar el modelo, donde se ha obtenido una malla de algo más de tres millones de elementos.

El fondeo se ha definido, igual que en el caso anterior a través del script, el cual ha sido ampliado con las siete jaulas restantes. La configuración del fondeo para la instalación completa puede observarse en la imagen 6-23.

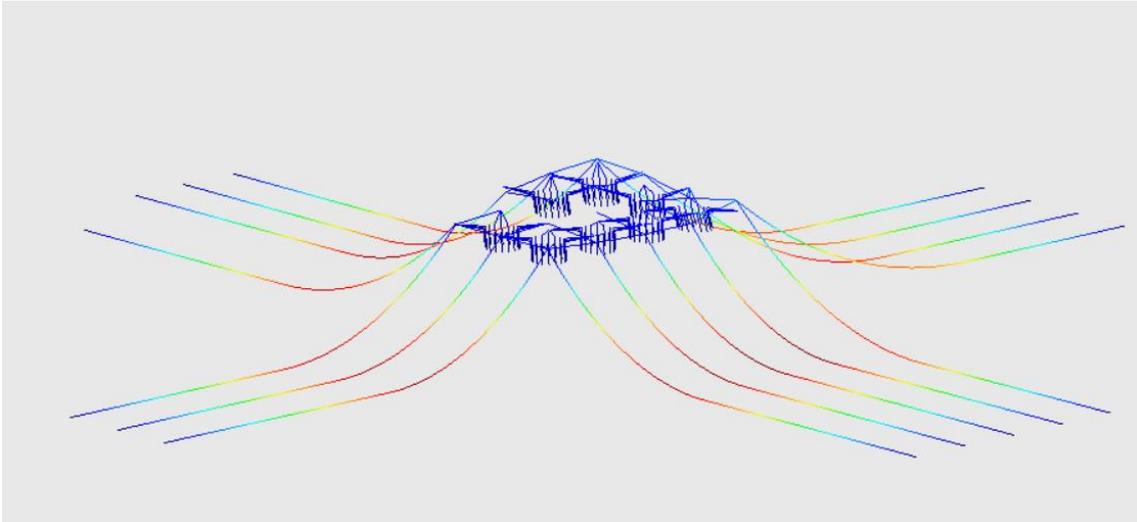


Imagen 6-23. Configuración del fondeo



6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Domínguez Pérez, L. and Domínguez Pérez, N., *Proyecto para el Desarrollo del Cultivo de Especies Marinas en Instalaciones en Mar Abierto*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [2] FAO (2015), *Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages. A field handbook*. FAO Fisheries and aquaculture technical paper 593.
- [3] Gutiérrez Romero, J.E., *Introducción al ambiente marino*. Capítulo 3. Proyecto de Construcción de Plataformas y Artefactos. Máster Universitario en Ingeniería Naval. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica.
- [4] Gutiérrez Romero, J.E., *Sistemas de Posicionamiento en Estructuras Oceánicas*. Capítulo 7. Proyecto de Construcción de Plataformas y Artefactos. Máster Universitario en Ingeniería Naval. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica.
- [5] JACUMAR, *Foro JACUMAR de Jaulas de Cultivo*. ETSINavalesMarzo2007.
- [6] Predicción de oleaje, nivel del mar; Boyas y mareógrafos | puertos.es. (2019). Retrieved Juny 2019, from <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- [7] Revuelta Betanzos, R., *Diseño y optimización de una granja acuícola*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- [8] Visor Acuicultura. (2019). Retrieved Juny 2019 from <https://servicio.pesca.mapama.es/acuivisor/>



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	141
2.	PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN	141
2.1	ESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA CENTRAL	141
2.2	MATERIALES DE LAS JAULAS DE CULTIVO	144
2.3	ESTACHAS Y LÍNEAS DE FONDEO	145
2.4	EQUIPOS Y MAQUINARIA AUXILIAR	146
2.5	SERVICIOS TÉCNICOS	147
2.6	APOYO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	147
2.7	MANO DE OBRA.....	148
3.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	148
4.	BIBLIOGRAFIA	150



1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se pretende realizar un presupuesto aproximado para la construcción de la instalación destinada al cultivo de doradas. El presupuesto es uno de los puntos más importantes de un proyecto ya que este debe ser lo más ajustado posible para conseguir un producto competitivo, que se encuentre dentro de un intervalo económico adecuado para su adquisición y que satisfaga las necesidades del cliente.

Dentro del presupuesto se distinguirán varios grupos de coste, estos serán los incluidos en la Imagen 7-1.

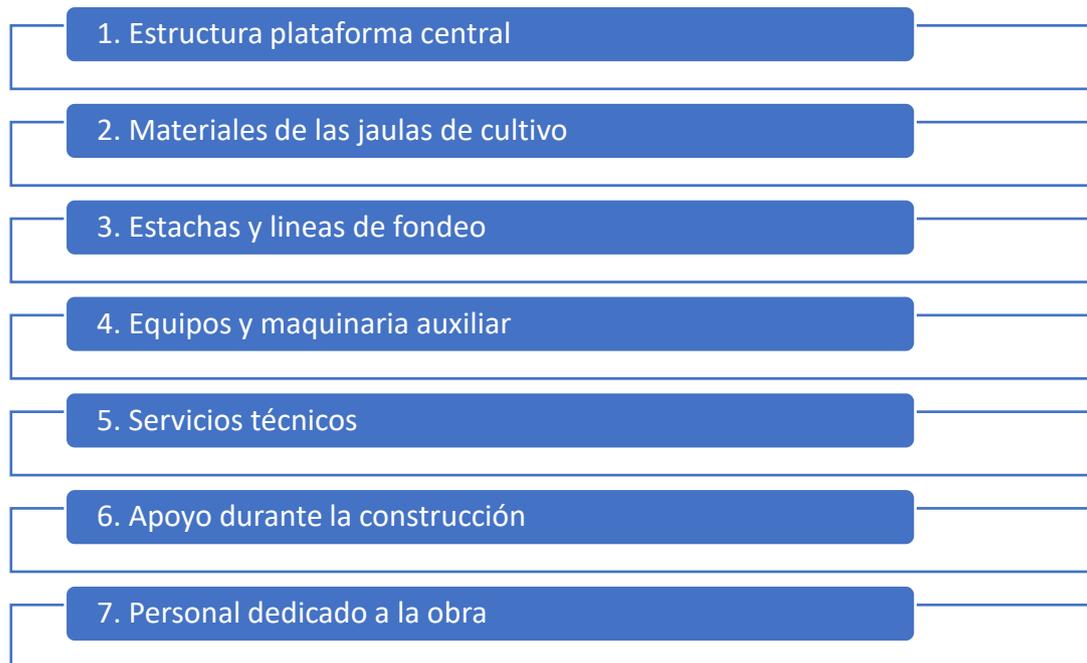


Imagen 7-1. Grupos de coste. Fuente: Elaboración propia

2. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

2.1 ESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA CENTRAL

Dentro de este conjunto se incluye el coste del acero laminado utilizado para la plataforma central. Para el cálculo del coste del acero se tomará el peso total de la plataforma calculado en el capítulo 4, dimensionamiento de la instalación.

A forma de recordatorio de las propuestas, la configuración seleccionada corresponde a la plataforma de 3 metros de puntal, con un compartimentado 3x3 y un espesor de plancha uniforme de 15mm. Las planchas de la superestructura tendrán un espesor constante de 5mm.



Dentro de este conjunto se incluyen además del coste del acero laminado, procedimientos de preparación de este, coste de las piezas fundidas y forjadas requeridas, pinturas y tratamientos para la corrosión, materiales auxiliares.

Peso estructura (emparrillado 3x3)				
Zona	Área	Espesor	Volumen	Peso (t)
Fondo	1922	0.015	28.83	226.3
Doble fondo	1922	0.015	28.83	226.3
Cubierta	1922	0.015	28.83	226.3
Costado estribor	186	0.015	2.79	21.9
Costado babor	186	0.015	2.79	21.9
Costado proa	93	0.015	1.395	11.0
Costado popa	93	0.015	1.395	11.0
Mamp. Tranv 1	93	0.015	1.395	11.0
Mamp. Tranv 2	93	0.015	1.395	11.0
Mamp. Long 1	186	0.015	2.79	21.9
Mamp. Long 2	186	0.015	2.79	21.9
Costado supest. Estribor	75	0.005	0.375	2.9
Costado supest. Babor	75	0.005	0.375	2.9
Superst. Proa	30	0.005	0.15	1.2
Superst. Popa	30	0.005	0.15	1.2
Mamp. Superst. Trans 1	30	0.005	0.15	1.2
Mamp. Superst Trans 2	30	0.005	0.15	1.2
Mamp. Superst Trans 3	30	0.005	0.15	1.2
Mamp. Long 1	18	0.005	0.09	0.7
				822.8

Tabla 7-1. Peso de la estructura

Para estimar el coste de la estructura se va a partir del valor del precio del acero laminado de acuerdo con la ref. [1], 1,24 €/kg.

- **Acero laminado**

El coste del acero laminado se estimará a partir de la siguiente fórmula:

$$C_{AL} = WST \cdot ps \cdot cas \cdot ccs \quad (7.1)$$

Donde,

WST es el peso de acero

ps , el precio unitario del acero (acero de calidad A)

cas , coeficiente de aprovechamiento del acero (1.08-1.15, según el tamaño de la estructura)

ccs , coeficiente de coste ponderado de las distintas calidades de acero (1.05-1.1)



- **Piezas fundidas y forjadas**

El coste de las piezas fundidas y forjadas se estimará:

$$C_{FF} = 40 \cdot L \cdot H \quad (7.2)$$

- **Materiales auxiliares de construcción**

Se estima su costo en 50€ por cada tonelada de acero estructural.

$$C_{aux} = 50 \cdot WST \quad (7.3)$$

- **Preparación de superficies**

En este apartado se incluyen los trabajos de imprimación y granallado, tomándose un coste unitario de 15€ por metro cuadrado.

- **Pintura y control de corrosión**

Dentro de este apartado se diferenciarán varios subapartados:

- *Coste de pintado de la plataforma:* Se emplea un valor medio de 25€/m² para la pintura a utilizar en la obra viva y de 8€/m² en la pintura de la obra muerta.
- *Galvanizado y cementado:* El costo supone el 7% del costo total del pintado del casco
- *Protección catódica:* La protección catódica por ánodos de sacrificio se puede aproximar mediante la siguiente expresión:

$$C_{pc} = 1,55 \cdot S_m \quad (7.4)$$

Con todo esto, el total para la estructura de la plataforma será el incluido en la tabla 7-2.

1- ESTRUCTURA PLATAFORMA	
	TOTAL
Acero laminado	1.290,644 €
Piezas fundidas y forjadas	7.488 €
Materiales auxiliares de construcción	41.140 €
Preparación de superficies	170.060 €
Pintura y control de corrosión	
<i>Coste Pintado del Buque</i>	127.140€
<i>Galvanizado y cementado</i>	8.899€
<i>Protección catódica</i>	3.322€
	1.648.695 €

Tabla 7-16. Coste estructura de la plataforma



2.2 MATERIALES DE LAS JAULAS DE CULTIVO

En este grupo se incluye el coste de todos los elementos que forman las jaulas, esto es redes, estructura de flotación, brackets, etc. La instalación tiene un total de 8 jaulas de 16 metros de diámetro y 10 metros de profundidad

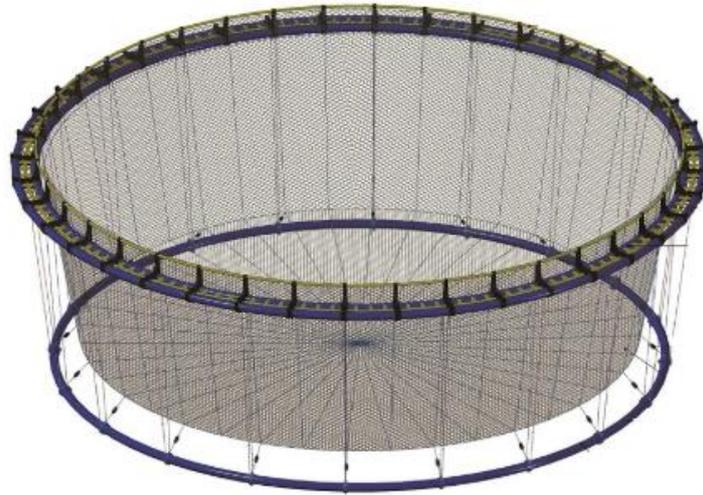


Imagen 7-2. Jaula marina. Fuente: Aquatec

- **Recinto de red**

Dentro de este apartado se pueden diferenciar dos la red propia del recinto y la red antipájaros. La red del recinto corresponde a una malla de nylon con luz de malla de 18mm y un diámetro de hilo de 2.5mm. Se puede estimar el precio del metro cuadrado de la red de dichas características en 5,54 €/m².

La red antipájaros tiene como función la acción depredadora de las aves, aunque por simplificación en el cálculo del dimensionamiento se tomó de las mismas características que la red del recinto, en este caso no se asumirá esta simplificación. El precio de la red antipájaros se estimará en 3,58 €/m².

- **Flotadores**

Para los flotadores se han empleado tuberías de HDPE de 315mm de diámetro. El suministro se realiza en barras de 10 metros cuyo precio unitario es de 121,16 €.

- **Anillo de lastre**

El anillo de lastre estará formado por un tubo de HDPE de 63mm de diámetro. El precio por metro del tubo es de 6,34 €/m.

- **Barandilla**

Para las barandillas se han empleado tubos de HDPE de 90mm de diámetro, en este caso el precio por metro del tubo es de 8,24 €/m siendo necesario 50.265 m de tubo por jaula.



- **Brackets**

Cada jaula tendrá un total 28 soportes, donde cada unidad tiene un precio de 68.5€

El total de las jaulas de cultivo se recoge en la siguiente tabla.

2- MATERIALES JAULA DE CULTIVO	
	TOTAL
Redes del recinto	4.953 €
Flotadores	609 €
Anillo lastre	319 €
Barandilla	414 €
Brackets	1.918 €
TOTAL 1 jaula	8.212 €
TOTAL 8 jaulas	65.699 €

Tabla 7-17. Coste materiales jaulas de cultivo

2.3 ESTACHAS Y LÍNEAS DE FONDEO

En este grupo se va a estimar el coste tanto de las líneas de fondeo como de todas las estachas que forman la retícula en la que van ubicadas las jaulas, así como también de las boyas que delimitan dicha retícula y grilletes y anillas necesarias para su anclaje.

- **Estachas de la retícula**

Tanto las estachas que forman parte de la cuadrícula como las que unen esta cuadrícula con los anillos de flotación son estachas de polysteel de 48mm de diámetro. Cada bobina de 200m tiene un precio de 943,8€. La longitud total de cabo necesario son 1998,4 metros por lo que se necesitan 10 bobinas.

- **Línea de fondeo**

El fondeo de la instalación completa contará con 12 líneas de fondeo con una longitud suspendida de 175,67 metros cada una según se calculó en el capítulo 5, fondeo, con lo que la longitud total de cadena necesaria es de 2108 metros. En el mercado el precio del bidón de 100 metros de la cadena seleccionada de 16mm tiene un precio de 1773,3 €.

- **Grilletes y anillas**

Para el anclaje de las líneas de fondeo será necesario un grillete y una anilla para cada línea de fondeo, el precio por unidad a 12,92€ y 65€ respectivamente.



- **Boyas fondeo**

La instalación contará con un total de 12 boyas que delimiten las retículas en las que se encuentran las jaulas, cada una de ellas tiene un precio unitario de 416€.

El presupuesto asociado a las estachas y líneas de fondeo queda resumido en la tabla 4

3- ESTACHAS Y LINEAS DE FONDEO	
	TOTAL
Estacha cuadrícula	9.738 €
Cadena fondeo	41.439 €
Grillete y anilla	935 €
Boyas fondeo	5.760 €
	57.872 €

Tabla 7-4. Coste estachas y líneas de fondeo

2.4 EQUIPOS Y MAQUINARIA AUXILIAR

En este grupo se incluirá en coste de los principales equipos de la instalación, así como la generación de energía y resto de servicios.

4- EQUIPOS Y MAQUINARIA AUXILIAR			
	UNIDADES	PRECIO/UNIDAD	TOTAL
Clasificadora de peces	1	17.400	17.400 €
Manipuladora de peces	1	30.800	30.800 €
Alimentadora	1	355.500	355.500 €
Compresor	1	6.100	6.100 €
Bomba CI (26m3/h)	1	320	320 €
Bomba CI/achique (30m3/h)	1	355	355 €
Bomba de servicio	1	270	270 €
Potabilizadora	1	47.250	47.250 €
Generador	2	2.895	5.790 €
Paneles fotovoltaicos	74	345	25.530 €
Baterías	10	5.250	52.500 €
			541.815 €

Tabla 7-5. Coste equipos y maquinaria auxiliar



2.5 SERVICIOS TÉCNICOS

El coste de los servicios técnicos se calcula por medio de un porcentaje sumatorio al total del resto de conceptos que constituyen el presupuesto, teniendo en cuenta el coste asociado al personal.

Dentro de este conjunto se incluyen los siguientes conceptos:

- Planos de construcción
- Estudios, modelos y maquetas,
- Especificaciones de pruebas
- Experiencias de estabilidad y pesos
- Mantenimiento
- Aparatos de medida
- Documentación técnica
- Gastos de viaje
- Sociedad de clasificación
- Seguro de construcción

El coste de todos estos conceptos ascenderá a:

5 SERVICIOS TÉCNICOS	
	TOTAL
Porcentaje correspondiente a servicios técnicos	2%
Importe resto costes (1-4 + mano de obra)	2.256.595 €
	45.132 €

Tabla 7-6. Coste servicios técnicos

2.6 APOYO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Igual que el conjunto anterior, se calcula de forma porcentual respecto al total de los costes del resto de conceptos. En este se encuentran incluidos:

- Ensayos y pruebas
- Botadura
- Andamios y camas
- Garantía
- Inspección de la instalación
- Servicio de limpieza
- Instalación provisional de fuerza y alumbrado
- Manipulación de materiales
- Seguro de construcción

**6 APOYO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN**

	TOTAL
Porcentaje correspondiente al apoyo durante la construcción	6%
Importe resto costes (1-4 + mano de obra)	2.256.595
	135.396

Tabla 7-7. Coste de apoyo durante la construcción

2.7 MANO DE OBRA

Como en todo proyecto naval, una de las mayores partidas del presupuesto está destinado al personal, en este se incluye tanto la mano de obra como ingeniería.

Para la estimación del coste de la mano de obra en el proyecto se ha dividido el conjunto, distinguiendo por un lado el personal técnico, es decir ingenieros en los diversos departamentos (diseño, producción, compras, calidad), de los cuales serán necesarios para la ejecución del proyecto un total de 6 personas durante 10 meses. Por otro lado, se ha considerado, el personal administrativo y de gestión, el cual se requerirá un total de 4 empleados durante 10 meses completos. Y, por último, los operarios tanto en la fase de producción como en la fase final de producción y garantía, de los cuales se ha estimado en la primera fase que serán necesarios 4 operarios para el montaje de las jaulas y 8 dedicados a la plataforma central lo que hace un total de 12 y para la fase de garantía 2 operarios.

7 MANO DE OBRA

	Nº personal	meses	horas	€/h	TOTAL
PERSONAL TECNICO	6	10	1600	40	384.000 €
ADM Y APOYO	4	10	1600	35	224.000 €
OPERARIOS PRODUCCIÓN	12	5	800	30	288.000 €
OPERARIOS FASE GARANTIA	2	2	320	30	19.200 €
					915.200 €

Tabla 7-18. Coste mano de obra

3. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Una vez analizados y calculados todos los conceptos que constituyen el presupuesto de la instalación, se puede ver el coste total de la construcción en la tabla 7-8.

En el importe total, debe incluirse el beneficio del astillero, el cual suele variar entre un 5% y un 15% y el impuesto sobre el valor añadido (IVA), el cual es de un 21%.



Además, también se va a incluir un 10% sobre el total de los distintos conceptos contemplados como margen de contingencia y reserva de gestión, se esta forma se considera en el presupuesto cualquier desviación que pueda producirse.

CONCEPTO	IMPORTE
1 ESTRUCTURA PLATAFORMA CENTRAL	1.648.695 €
2 MATERIALES JAULA DE FONDEO	65.699 €
3 ESTACHAS Y LINEAS DE FONDEO	57.872 €
4 EQUIPOS Y MAQUINARIA AUXILIAR	541.815 €
5 SERVICIOS TECNICOS	45.132 €
6 APOYO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	135.396 €
7 PERSONAL DEDICADO A LA OBRA	915.200€
Margen de contingencia y reserva de gestión (10%)	340.981€
COSTE TOTAL DE CONSTRUCCIÓN	3.750.791 €

MARGEN DE BENEFICIO	15%
IMPORTE PRESUPUESTADO	4.313.410 €
IMPORTE PRESUPUESTADO (IVA)	5.219.226 €

Tabla 7-19. Resumen presupuesto

Analizando la partida presupuestaria de forma porcentual, los tres principales grupos de coste son la plataforma central, mano de obra y equipos y maquinaria con un 44%, un 24% y un 14%, respectivamente. En contraposición, las tres partidas con menor peso sobre el presupuesto son los materiales de las jaulas de cultivo, las estachas y líneas de fondeo y el coste relativo a los servicios técnicos, suponiendo cada una de ellas menos de un 2% sobre el total.

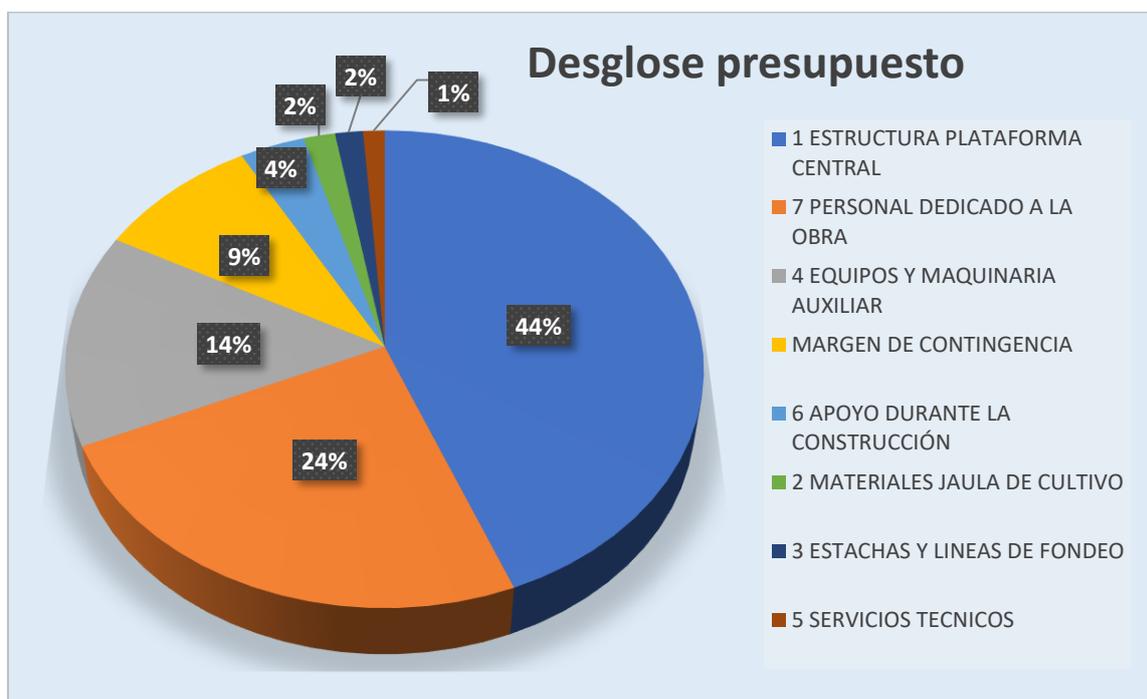


Imagen 7-3. Desglose del presupuesto. Fuente: Elaboración propia



4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alvariño Castro, R. (2007). *El proyecto básico del buque mercante*. Madrid: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.

- [2] BASE DE PRECIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL GOBIERNO DE EXTREMADURA. (2019). Retrieved September 2019, from <http://basepreciosconstruccion.gobex.es/p/p03al/p03al.html>

- [3] estacha polysteel - cuerdayredes.com. (2019). Retrieved 5 September 2019, from <https://www.cuerdayredes.com/108-estachas-trenzadas-8-cordones>

- [4] Marco Jornet, P. *Optimización del proceso de construcción de un buque tipo Ferry*. Universidad Politécnica de Cartagena.

- [5] PMBOK® Guide – Sixth Edition (2017).

- [6] Tubo de polietileno alta densidad PE-100. (2019). Retrieved 5 September 2019, from http://www.rekalde.com/es_Tubo_de_polietileno_alta_densidad_PE-100.aspx

- [7] (2019). Retrieved September 2019, from http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/calculaprecio.asp?Valor=7%7C0_0%7C1%7CIUA020%7Ciua_020:0_2_2_6_0



Diseño de una granja marina autosostenible para aguas abiertas

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

PALOMA MARCO JORNET

Director: Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Universidad
Politécnica
de Cartagena





A lo largo de este trabajo se ha realizado el diseño de una granja marina autosostenible en aguas abiertas, desarrollando y cumpliendo cada uno de los objetivos marcados al comienzo de este documento.

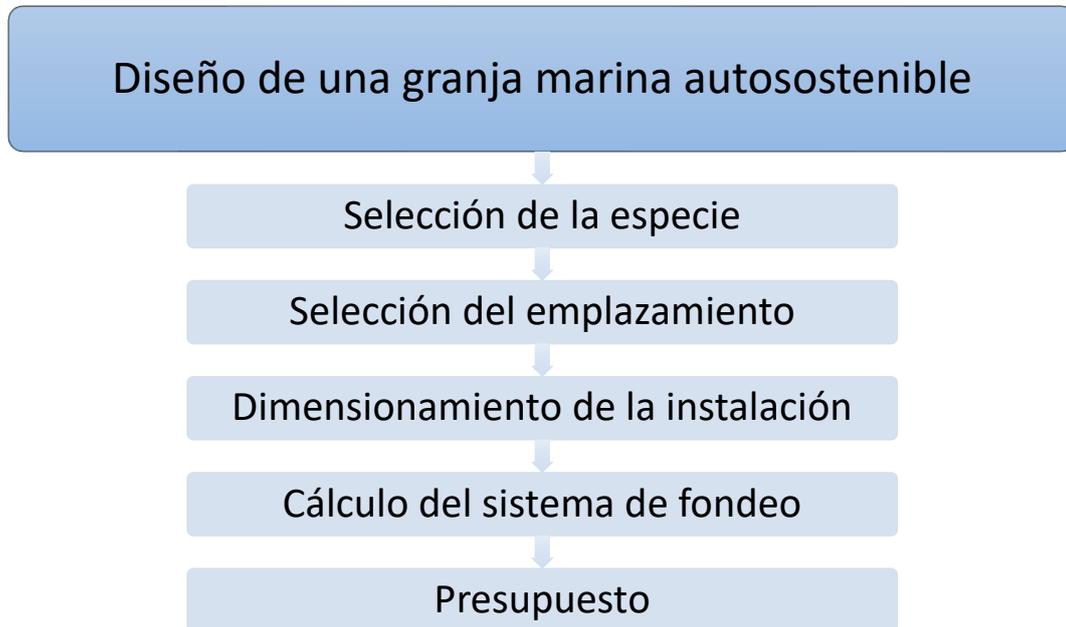


Imagen 8-1. Objetivos del proyecto

En primer lugar, tras la realización de un estudio de mercado siguiendo criterios biológicos, de mercado y de producción, se ha seleccionado la dorada como especie a cultivar en la instalación, ya que es una de las especies de crianza que mejor aceptación tienen en el mercado, además sus condiciones biológicas y fisiológicas son bien conocidas y se sabe que es una especie óptima para su cría en cautividad.

En la selección del emplazamiento, se ha buscado una ubicación con condiciones ambientales similares al hábitat natural de la especie de esta forma desarrollar el cultivo en un ambiente óptimo para la cría de los individuos. Por ello, se ha seleccionado en territorio nacional, la costa del mediterráneo, donde hay una gran producción, lo que da cuenta de que supone un lugar idóneo para el cultivo de la dorada, aunque sin llegar a un nivel muy alto de producción que suponga una saturación del mercado. Por último, se ha seleccionado la costa de Guardamar del Segura como localización para la instalación, ya que al centrarse la instalación únicamente en la fase de engorde es importante disponer de una fuente de aprovisionamiento cerca.

Una vez, conocida la especie a cultivar y sus necesidades y el lugar de ubicación de la instalación, el siguiente objetivo era definir la instalación. En el capítulo 4, se ha calculado el volumen de las jaulas necesario para cumplir en plan de producción y de esta forma obtener el número y dimensiones de las jaulas que compondrán la instalación. La granja contará con un total de 8 jaulas de cultivo de 16m de diámetro y 10m de profundidad. Las dimensiones de la plataforma central vienen condicionadas por el número de jaulas y las solicitaciones a las que estará expuesta la estructura, con ello se ha llegado a unas



dimensiones de 62,4 metros de eslora y 31,2 metros en el sentido de la manga. En esta plataforma irá instalados todos los equipos así como los paneles solares que abastecerán la instalación.

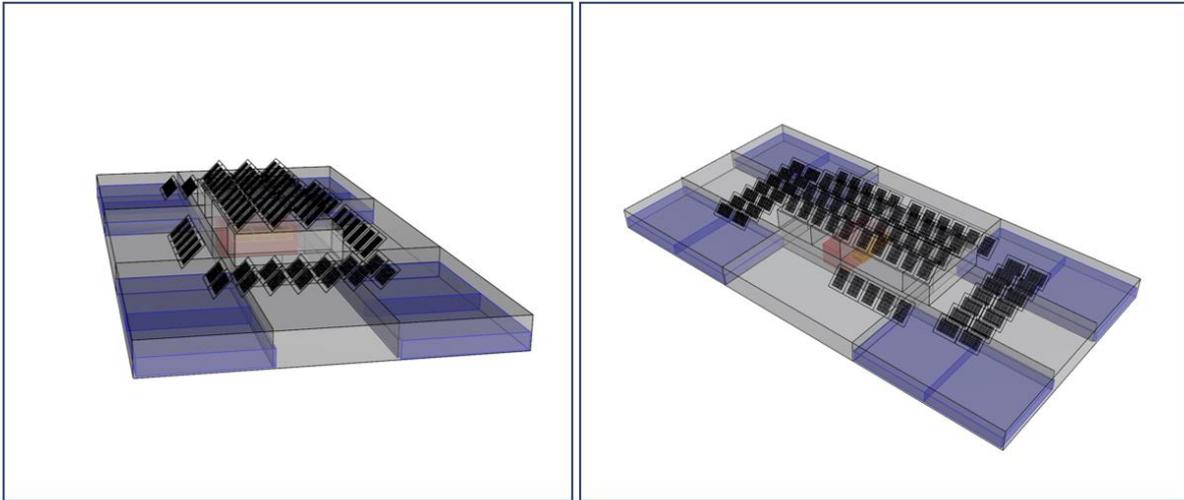


Imagen 8-2. Esquema disposición de la plataforma central. Fuente: Elaboración propia

Se ha comprobado que es posible tener una instalación totalmente autosostenible, en este caso abastecida con energía solar, aunque por cuestiones de seguridad se han instalado dos diésel generadores, para poder abastecer la instalación en situación de emergencia o cuando, por razones climáticas, altos consumos puntuales u otras necesidades no sea suficiente la producción de los paneles fotovoltaicos.

Una vez definida la plataforma entera, el siguiente paso que se planteó fue el dimensionamiento del sistema de fondeo. Para ello, se ha seleccionado una cadena comercial y las estachas que forman la retícula que contienen las jaulas para después con las condiciones ambientales obtenidas de las boyas de puertos del estado, comprobar que la configuración del fondeo propuesta cumple con el criterio de estado ultimo (ULS desing) del reglamento DNV. Las simulaciones realizadas para comprobar dicho criterio han sido realizadas con el software *SeaFEM*.

Por último, se ha realizado una estimación del presupuesto del proyecto para comprobar la viabilidad de este. Para el presupuesto se ha desglosado el proyecto en siete grupos de coste: estructura de la plataforma central, materiales de las jaulas de cultivo, estachas y líneas de fondeo, equipos y maquinaria auxiliar, servicios técnicos, apoyo durante las construcción y personal dedicado a la obra. Además de estos grupos se ha añadido un margen de contingencia y reserva de gestión de un 10%, con el fin de tener margen si se produce alguna desviación durante la ejecución del proyecto. Con todo esto, el presupuesto total de la instalación asciende a 5.219.226 €.

