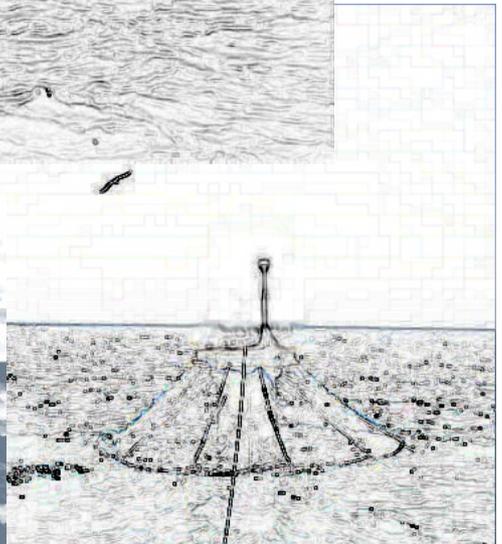
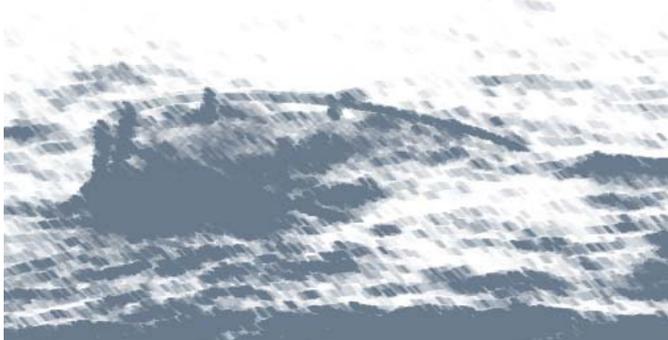
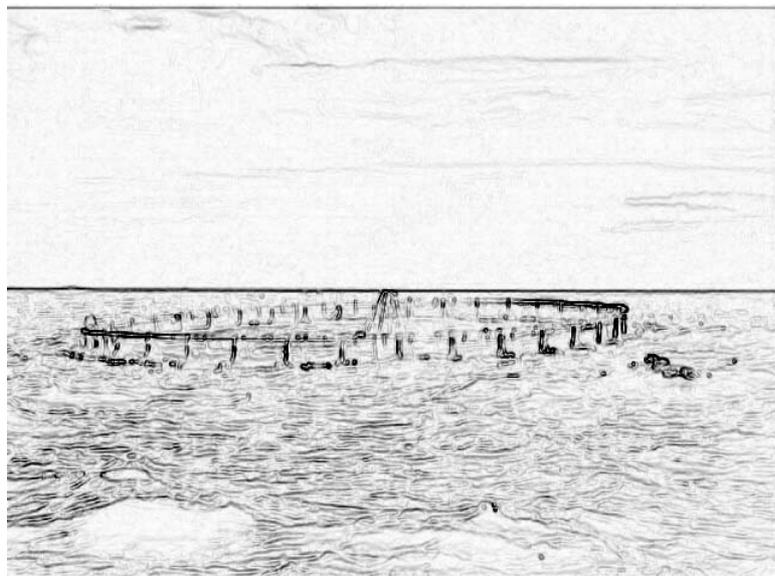


Proyecto para el Desarrollo de Artefactos Flotantes de la Bahía de Cadiz



Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA

INDICE.

- 1. Introducción.**
- 2. Antecedentes del proyecto. Breve historial de las instalaciones.**
- 3. Objetivos.**
- 4. Análisis previo de la localización.**
 - 4.1 Características generales del entorno marino del cultivo.**
 - 4.2.- Localización del proyecto.**
 - 4.3.- Características específicas del emplazamiento del cultivo.**
 - 4.4.- Selección del emplazamiento.**
- 5. Selección y descripción de las instalaciones.**
 - 5.1. Selección de las instalaciones.**

Descripción de las instalaciones.

Jaula Corelsa modelo Hércules.

 - 5.2.1.a. Redes Corelsa.**
 - 5.2.1.b. Estructura flotante-sustentante Corelsa.**
 - 5.2.1.c. Sistema de anclaje Corelsa.**

Jaula Refa modelo TLC.

 - 5.2.2.a. Red Refa.**
 - 5.2.2.b. Estructura flotante-sustentante Refa.**
 - 5.2.2.c. Sistema de anclaje Refa.**

Jaula Ocean Spar modelo Sea Station.

 - 5.2.3.a. Red Ocean Spar.**
 - 5.2.3.b. Estructura flotante-sustentante Ocean Spar.**
 - 5.2.3.c. Sistema de anclaje Ocean Spar.**
- 6. Fondeo e instalación de las estructuras.**

- 6.1- Montaje de la Jaula Hércules de Corelsa.**
- 6.2- Montaje de la jaula TLC de Refa.**
- 6.3. Montaje de la jaula Sea Station de Ocean Spar.**
- 7. Preengorde y siembra de los alevines.**
- 8. Seguimiento oceanográfico del medio y de los parámetros de cultivo.**
 - 8.1 Evolución oceanográfica.**
 - 8.2 Interacción física del medio con las estructuras.**
- 9. Evolución de las instalaciones.**
 - 9.1.1. Evolución Corelsa.**
 - 9.1.2. Evolución Refa.**
 - 9.1.3. Evolución Ocean Spar.**
 - 9.2. Comparativa de mantenimiento.**
- 10. Evolución biología. Resultados y comparativa.**
 - 10.1. Descripción de la técnica de cultivo.**
- Resultados biológicos.**
- Comparativa de crecimiento.**
- 11. Balance económico.**
- 12. Conclusiones.**

PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE ARTEFACTOS FLOTANTES DE LA BAHÍA DE CÁDIZ.

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA.

Servicio de Tecnología y Formación Pesquera y Acuícola.

Coordinación Técnica: D. José Carlos Manzano Harriero.

DIRECCIÓN FACULTATIVA.

D.G.I.F.A.P.

C.I.C.E.M. "El Toruño"

Director técnico: D. Alfonso Sánchez Lamadrid Rey. / José Luis Muñoz Pérez.

EJECUCIÓN.

Empresa Publica Para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía.

Subdirección de Servicios Pesqueros: D. Manuel Aguilar Perea.

Área de Recursos Pesqueros y Acuícolas: D. Javier Marco Mirallas.

Técnico Responsable del proyecto: D. Francisco Javier Padilla Magán.

Equipo Técnico:

D. Diego Gil Benítez. Técnico en granjas marinas.

D. Oscar Mansilla Reyes. Técnico en granjas marinas.

D. Jesús Martín Bejarano. Técnico en granjas marinas.

D. Romualdo Merino Parish. Patrón de embarcaciones.

D. Sebastián Pérez González. Patrón de embarcaciones.

1.- Introducción.

El origen de las jaulas de cultivo, esta probablemente, en las primeras trampas para peces utilizadas por los pescadores, y en el sucesivo aumento de volumen y tiempo de permanencia en ellas de las especies capturadas. Así pues, la acuicultura en jaulas no sería más que una línea de evolución natural de la actividad pesquera.

Aunque si entendemos por cultivo en jaulas, la actividad en la que peces u otros organismos son mantenidos durante largos periodos de tiempo en estructuras fabricadas por el hombre, y mientras se produce una ganancia de peso; las primeras referencias en textos a estas estructuras datan del año 1243 en la cuenca del Yangtze, sur de China. (*M Beveridge, M., Cage Aquaculture.*) Desde estas primeras jaulas, hechas de bambú y fina tela, hasta la actualidad se han perfeccionado las estructuras en las que quedan incluidos los peces siempre persiguiendo una misma meta, mantener los peces en su interior hasta que posean el tamaño adecuado. Este objetivo sigue siendo prioritario hoy en día, sin embargo, de un tiempo a esta parte, sé esta haciendo patente la necesidad de colonizar y extender la actividad a otras áreas; buscando condiciones de cultivo óptimas y una menor competencia por la ocupación del medio con otras actividades. Esta inclinación a la colonización de nuevas áreas, acarrea el ubicar las estructuras en zonas más inhóspitas. El punto de encuentro de estas dos tendencias no es otro que el desarrollo tecnológico en pos de una mayor resistencia de las estructuras.

Los componentes básicos de las modernas jaulas para cultivo de peces, que hicieron su meteórica aparición a principios de los años 60 en las costas noruegas, no difieren en gran medida de sus anteriormente mencionados ancestros; estando compuestas esencialmente, de una estructura que intenta mantener constante un volumen de red en el que quedan incluidos los especímenes a cultivar. Las combinaciones de estos componentes no solo deben cumplir requisitos de resistencia sino también de facilidad de alimentación y pesca, además de adecuarse a los requisitos de la especie a producir.

La diversidad de especies producida en este tipo de acuicultura aumenta día a día, augurándose en un futuro próximo un auge de la actividad, que debe estar directamente correlacionado con el aumento de especies reproducidas en

cautividad. Actualmente, y en el ámbito mundial, se cultivan especies tan variadas como: dorada, salmón, lubina, trucha, tilapia, atún, serviola, cojo, rodaballo, summer flounder,...

En el ámbito nacional, en lo que se refiere al cultivo en jaulas marinas, están plenamente consolidadas las producciones de dorada, lubina y atún; aunque comienzan a despuntar especies como el rodaballo, besugo, lenguado, dentón. Llegándose a una producción, en lo que a acuicultura marina se refiere, en el año 2001 de unas 20000 toneladas (fuente JACUMAR).

El principal medio de cultivo utilizado hasta el momento son las estructuras flotantes circulares de polietileno; de estas pendería una red, generalmente de nylon, y en la que quedan incluidos los peces. Los diámetros de jaulas utilizados varían entre los 16 y los 50 metros, aunque en el caso del cultivo del atún se llegan a dar diámetros de hasta 100 metros. La profundidad alcanzada por las redes oscila entre los 10 y 30 metros. Esta clase de estructuras esta suficientemente probado en todo el mundo, en zonas poco expuestas a los temporales; aunque no por ello se encuentran libres de problemas en momentos puntuales. Esta situación mantiene, hasta el momento, la zona de atlántica de nuestro litoral, huérfana de este tipo de industria.

El desarrollo de la acuicultura en Andalucía comienza a finales de los años setenta, a partir del aprovechamiento tradicional en salinas y lagunas litorales, con la introducción de las primeras técnicas para el cultivo de moluscos en las zonas intermareales, y con el inicio de proyectos experimentales para la obtención controlada de semillas y alevines de especies marinas autóctonas. Por tanto, la acuicultura marina es una actividad productiva relativamente reciente, aún emergente en Andalucía, donde tras una decisiva fase inicial ahora comienza a consolidarse. En nuestra comunidad se sigue la misma pauta de distribución de las instalaciones, concentrándose la gran mayoría de ellas en la zona mediterránea. Sin embargo la naturaleza semiexpuesta de nuestras costas mediterráneas, en comparación con otras áreas como los fiordos Noruegos o el litoral Griego; hacen adolecer a nuestra industria acuícola de la necesidad de un mayor desarrollo tecnológico para evitar pérdidas de peces, aumentar la seguridad y por lo tanto la consistencia de las empresas.

Como respuesta a esta situación, nace durante el año 2000, y en el seno de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, el Proyecto para el desarrollo de artefactos flotantes de la bahía de Cádiz; desarrollado por el Centro de Investigación de Especies Marinas “El Toruño”, y ejecutado por la Empresa Publica para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía bajo la dirección de este ultimo. Desde este proyecto se pretende potenciar el desarrollo tecnológico del sector, además de ampliar las imaginarias fronteras geográficas que posee en estos momentos la acuicultura en jaulas. Para ello se seleccionaron tres modelos diferentes de jaulas, que tienen la particularidad de enfrentarse de forma diferente a los efectos de los temporales; con el propósito de comprobar el grado de adecuación de cada uno de estos modelos a las condiciones oceanográficas locales, así como de comprobar en detalle las vicisitudes del manejo en cuanto al cultivo se refiere.

Los tres modelos elegidos fueron los siguientes: modelo Hércules de la empresa Corelsa, modelo TLC de la empresa Refa, modelo Sea Station de la empresa Ocean Spar.

2.- Antecedentes del proyecto.

En el periodo comprendido entre junio de 1999 y diciembre de 2000 se realizó un estudio para determinar la ubicación idónea del proyecto, dicho estudio se realizó; integrado dentro del proyecto “Bahía de Cádiz: protección de los recursos naturales pesqueros y aplicaciones para instalaciones acuícolas”(Sánchez Lamadrid et al.). Como conclusión se seleccionó un polígono de cultivo de 550 por 300 metros con centro en el punto: 36°34,2 N; 6°26,2 O.

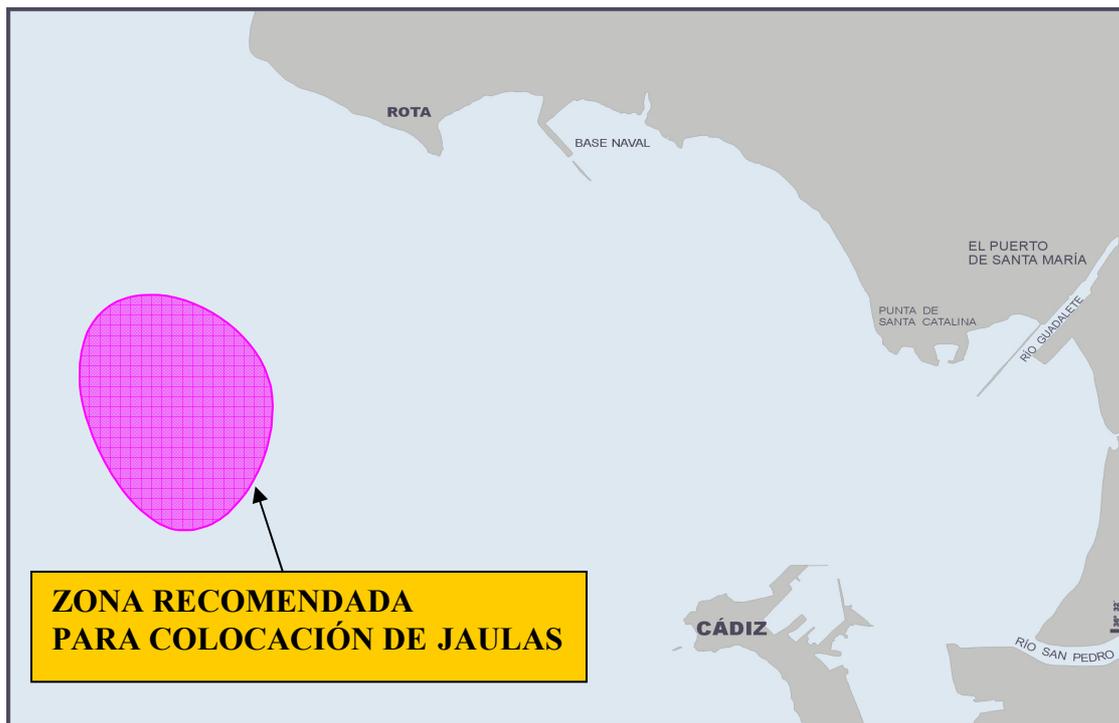


Figura 1. Resumen de las conclusiones de espaciales del estudio “Bahía de Cádiz: protección de los recursos naturales pesqueros y aplicaciones para instalaciones acuícolas”.

En marzo de 2000, la Consejería de Agricultura y Pesca presentó a la Junta Nacional de Cultivos Marinos (JACUMAR) un proyecto acerca de realizar una prueba de cultivo de peces en jaulas en mar abierto, a llevar a cabo en las costas atlánticas peninsulares. Esta propuesta fue aprobada, encargándose el desarrollo de la misma a la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se trataba por tanto de realizar una experiencia piloto en zonas de mar abierto expuestas, con jaulas existentes en el mercado internacional, desarrolladas para estas

condiciones, pero que todavía no han sido utilizadas en aguas peninsulares atlánticas.

Cada una de las estructuras seleccionadas posee un consistente historial, de creación y desarrollo, que reforzaron su elección, y que nos ayudaran a entender mejor las estructuras.

- Modelo Hércules de Corelsa. Esta empresa, que nació a partir de una empresa eléctrica Coruñesa, se encuentra actualmente plenamente centrada en el mundo de la acuicultura; siendo una de las empresas a tener en cuenta a nivel mundial. El modelo Hércules, surgió como desarrollo del modelo tradicional de jaula flotante de gravedad, tratando de aumentar en tamaño y mejorar los componentes de los componentes de las jaulas ya existentes en el mercado.

- Modelo TLC de Refa. Este modelo fue desarrollado mediante la colaboración de la empresa Refa Holding (que tiene sus orígenes y parte de sus actividades en la actualidad en la industria de las redes de pesca) con el Instituto de Investigación Marintek/Sintef, bajo los auspicios del Concilio Noruego para la Investigación Científica e Industrial. Marintek, cuyas siglas significan Instituto Noruego de Investigación Tecnológica Marina, forma parte del grupo Sintef y desarrolla una gran variedad de temas relacionados con la industria marítima como: vehículos marinos, maquinaria y operaciones técnicas, estructuras offshore y ingeniería estructural. Este modelo se basa en la búsqueda de un sistema que permita poder cultivar los peces en su hábitat de océano abierto y mantenerlos a la vez alejados del violento movimiento de las olas. Otro de los principios en los que se fundamenta el diseño de la estructura es el cuidadoso estudio de la biotecnología de la especie a cultivar, y de todos los parámetros operacionales; para así poder llegar a una exitosa explotación en mar abierto. El viento, la corriente y las olas son más fuertes en la superficie del mar, y este es el punto donde las fuerzas de flotabilidad están concentradas en las jaulas flotantes convencionales; otro de los problemas de los adolecen las estructuras flotantes es la acumulación de tensión en la interfase entre las líneas de anclaje y la unidad flotante. El modelo TLC trata de solucionar estos dos problemas mediante la inmersión de la jaula y el sistema de anclaje vertical; así pues teniendo en cuenta que las olas son secuencialmente filtradas al aumentar la profundidad al igual que la corriente

producida por el viento, la situación sumergida de la jaula evitaría el estrés en la estructura superficial. Lo que se buscaba al diseñar esta jaula era comportamiento general de la estructura, que podría describirse a modo de símil como un sistema que en vez de oponerse a las fuerzas marinas trata de moverse y adaptarse a ellas como un alga (Lisac, D. Aquatech 96 Conference Malasia).

- Modelo Sea Station. Se empezó a trabajar en este concepto de jaula a principios de 1990 en el seno de la empresa Net System, empresa dedicada a producir redes y equipamientos de pesca, cuya división de acuicultura recibe el nombre de Ocean Spar. En esta época la empresa recibió una ayuda del gobierno de los Estados Unidos para desarrollar un modelo de jaula con el que se pudiera pescar en los grandes modelos de jaulas que la empresa posee. Después de finalizar la Sea Station, los ingenieros de la empresa llegaron a la conclusión de que era una buena jaula por si misma, debido a su especial hidrodinámica y a la posibilidad de mantenerla sumergida en los temporales. La primera Sea Station fue instalada cerca de las oficinas de la empresa en Seattle, en la Isla de Bainbridge, esta jaula sigue en funcionamiento y es utilizada por la empresa como modelo para testar innovaciones. Actualmente 18 de estas jaulas están instaladas en todo el mundo en lugares como Bahamas, Puerto Rico, China, Filipinas, Costa este de USA, Hawai, Portugal y España. En los próximos 6 meses se prevé la instalación de 10 nuevas jaulas en Corea, Hawai, California, México y Bahamas.

Las mayores olas que la estructura a superado, se han registrado en la Bahía de New Hampshire (costa este de Estados Unidos); y alcanzaron una altura máxima de 12 metros mientras la estructura se encontraba sumergida. La máxima corriente registrada en una de estas jaulas ha sido de 1,25 nudos.

3.-Objetivos.

3.1.-Objetivo básico.

El objetivo básico del programa es la realización de experiencias pilotos en acuicultura de peces en distintos tipos de jaulas instaladas en mar abierto, a fin de promover la innovación tecnológica de las empresas acuícolas. A través de esta innovación tecnológica se pretende posibilitar la colonización de zonas mas expuestas y aumentar la seguridad y fiabilidad de las instalaciones existentes.

3.2.-Objetivos específicos:

- Comprobación de la resistencia de las estructuras a los temporales.
- Comprobación de la resistencia de las redes a los temporales.
- Comprobación de las mortandades de peces tras los temporales.
- Comprobación de las vicisitudes del mantenimiento, manejo y pesca de cada una de las instalaciones.
- Comprobación del tiempo de crecimiento hasta 400 g. de peso (dorada) en el aguas Atlánticas.
- Demostración a los empresarios de la viabilidad del sistema.

4.- Análisis previo de la localización.

El cultivo en sistemas flotantes, se lleva a cabo en un medio poco controlable en cuanto a factores físicos (meteorología, oleaje, corrientes, temperatura, etc.); Químicos (salinidad, oxígeno, contaminantes) y biológicos (fouling, contaminación, microbiológica, etc.), y por ello, la elección del emplazamiento es el primer problema que se plantea en la puesta en marcha de este tipo de cultivos, y por lo que necesitamos considerar factores como:

- Parámetros físico- químicos del medio.
- Oceanografía: Oleaje, Corrientes, Viento, etc.
- Profundidad de fondeo
- Efecto Ambiental sobre el medio.
- Tipología de los fondos marinos.
- Distancia a tierra e infraestructuras portuarias.

4.1 Características generales del entorno marino del cultivo.

En relación con las posibles zonas de instalación, cabe destacar que financiado por la Comunidad Autónoma Andaluza, durante los años 1999 y 2000 se estudio el ámbito de la bahía de Cádiz, con el fin de localizar el lugar más adecuado para la instalación de artefactos flotantes en el litoral Suratlántico, en compatibilidad con la protección ambiental de la bahía y la mejor ordenación acuícola y pesquera de la misma. La bahía de Cádiz se encuentra rodeada de diversas poblaciones con una importante tradición pesquera y acuícola, de hecho, las posibilidades de la acuicultura en mar abierto como complemento a la actividad extractiva para algunas Cofradías de pescadores de la zona impulsó este estudio. El trabajo realizado permite determinar zonas aptas para una acuicultura respetuosa con el medio. Además el conocimiento exhaustivo de las comunidades bentónicas- especialmente de los moluscos bivalvos y de las praderas vegetales- y de la capa de agua en una zona colindante con el Parque Natural de la Bahía de Cádiz, permitió determinar las zonas más adecuadas para su protección. La bahía de Cádiz destaca por sus importantes y variados recursos naturales, encontrándose una amplia diversidad de biotopos marinos y una rica y variada fauna.

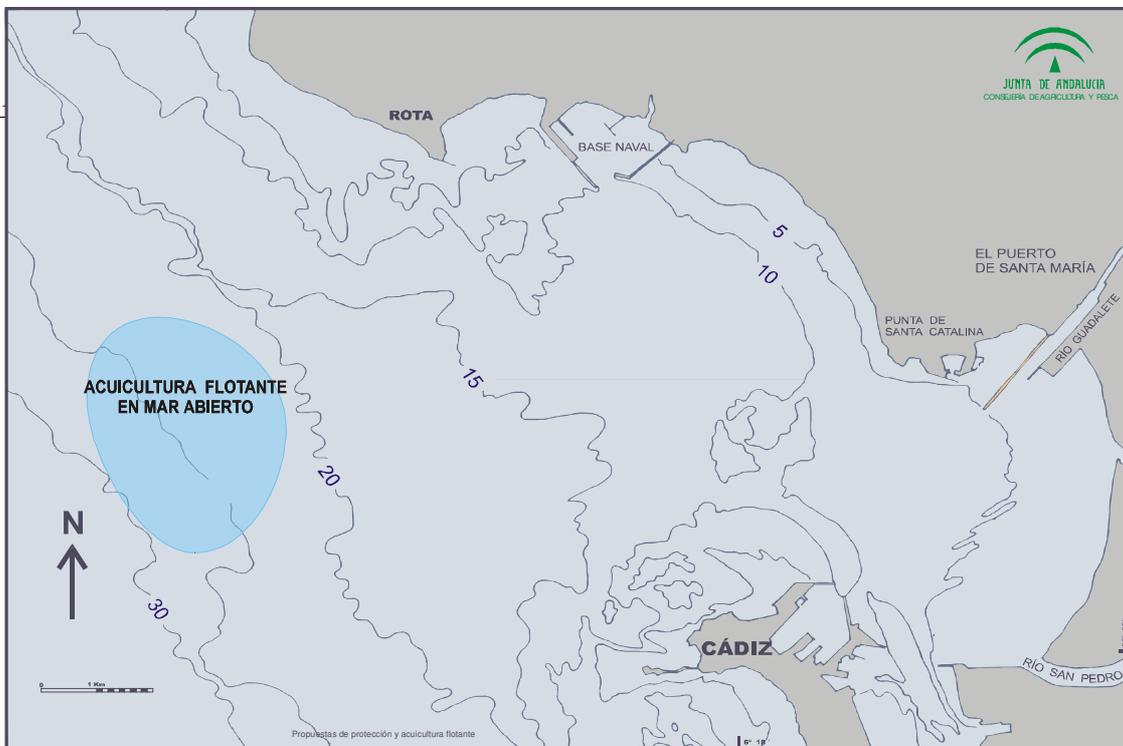
La calidad del agua para acuicultura flotante está influenciada por los bajos del centro de la bahía, y así el agua oceánica llega hasta estos bajos, donde comienza la zona de influencia del principal río de la zona, el Guadalete. Este río afecta negativamente a la calidad del agua, especialmente en épocas de lluvias, anulando las posibilidades de acuicultura flotante en sus zonas de influencia. Las características del agua son adecuadas en la zona de Rota, encontrándose en ella los mejores índices de calidad de toda la Bahía, alcanzando valores de hasta 9,5 - sobre un máximo de 10 - en un Índice de Calidad Total.

Respecto a condiciones oceanográficas, para este tipo de cultivos, es importante que la velocidad de las corrientes no sean elevadas, registrándose éstas dentro del rango entre 15 y 50 cm/s, salvo en los canales de navegación, donde son elevadas (mayores a 50 cm/s). El régimen de oleaje esperado con los temporales es bastante importante, pero tolerables por estas estructuras diseñadas para cultivo en mar abierto.

Los sedimentos predominantes de la bahía de Cádiz son arenosos o arenoso - fangosos, adecuados para el fondeo de estructuras flotantes, salvo una zona central que es más fangosa. El sedimento encontrado en la zona seleccionada es arena limosa, con algunas áreas de rocas, y la zona es de energía media, propio del transporte tractivo y en suspensión, con una probabilidad de removilización del fondo por el oleaje baja, en torno al 20%. En determinadas zonas de la concesión se ha detectado fondo rocoso, el cual esta siendo objeto de un especial seguimiento mediante un proyecto específico de impacto ambiental.

4.2.- Localización del proyecto.

El lugar previsto para la instalación de las estructuras de cultivo se sitúa en la provincia de Cádiz, frente al municipio de Rota, a una distancia de unas 4,8 millas de la línea de costa. Concretamente, del estudio del conjunto de los factores ambientales estudiados en el área de la Bahía de Cádiz, nos conduce a identificar la zona más adecuada para el cultivo en mar abierto y situarla al sudoeste de Rota, entre los 20 y los 35 m de profundidad.



El área de concesión solicitada queda definido por las siguientes coordenadas:

Estas coordenadas representan un polígono con una superficie aproximada de 163.340 m², donde se fondearon los diferentes sistemas de

Puntos/Vértice	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	X	Y	Longitud W	Latitud N
A	192262.00	4053050.00	6:26:19.52 W	36:34:21.90 N
B	192821.00	4053050.00	6:25:57.06 W	36:34:22.55 N
C	192821.00	4052750.00	6:25:56.63 W	36:34:12.83 N
D	192262.00	4052750.00	6:26:19.08 W	36:34:12.19 N

cultivo proyectados para su experimentación.

El área de concesión esta debidamente señalado por boyas reglamentarias según el tráfico marítimo de la zona, mediante las marcas y las luces que establece la Normativa de Señalización Marítima.

4.3 Características específicas del emplazamiento del cultivo.

4.3.a. Sedimentos.

La bahía externa presenta características de ensenada abierta, bien conectada con el Océano Atlántico, alcanzando profundidades superiores a los

20 m. Se trata de una zona muy afectada por los temporales de componente Oeste, en la que se pueden encontrar costas arenosas, rocosas y acantiladas y en la que predominan los fondos arenosos.

La arena es la fracción de tamaño dominante en los fondos de la bahía externa, con contenidos medios muy altos (76%), que pueden llegar a máximos de casi el 100% en muchas zonas.

En la bahía externa, los contenidos en materia orgánica son bastante más bajos, con valores medios del 2% y máximos del 6%, mostrándose su distribución espacial más heterogénea en concordancia con las trayectorias de distribución de materiales finos.

En la parte occidental de la bahía externa, a medida que aumenta la profundidad, disminuye la probabilidad de removilización del sedimento del fondo por el oleaje, entre 20 y 30%, lo que permite el depósito de sedimento fino en los fondos que se encuentran bajo la acción de las corrientes de reflujo mareal.

En general se observa una dirección predominante de transporte hacia el Oeste y SO, lógica dada la dirección predominante de la costa de NO a SE y la abertura al Oeste de la ensenada que constituye la parte externa de la bahía de Cádiz, factores que condicionan la dirección de todo tipo de flujos y corrientes hacia mar abierto.

De los datos y análisis realizado se deduce que los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz, por su naturaleza arenosa y rocosa, su relieve suave, salvo la existencia de algunos bajos rocosos, y suave pendiente, constituyen un sustrato adecuado para asentar y/o anclar cualquier objeto, siempre que éste posea las cualidades técnicas, de resistencia hidrodinámica e instalación mínimamente exigidas para este tipo de estructuras.

4.3.b. Calidad del agua.

Temperatura

Como se puede observar en el figura 1, el conjunto de la bahía de Cádiz presenta, durante la práctica totalidad del período de estudio, temperaturas adecuadas para realizar cultivos marinos y únicamente durante los meses de diciembre y enero se observan temperaturas medias que están por debajo del rango óptimo de crecimiento. A partir de esos meses, la temperatura media

comienza a crecer hasta alcanzar de nuevo su máximo anual durante el mes de julio.

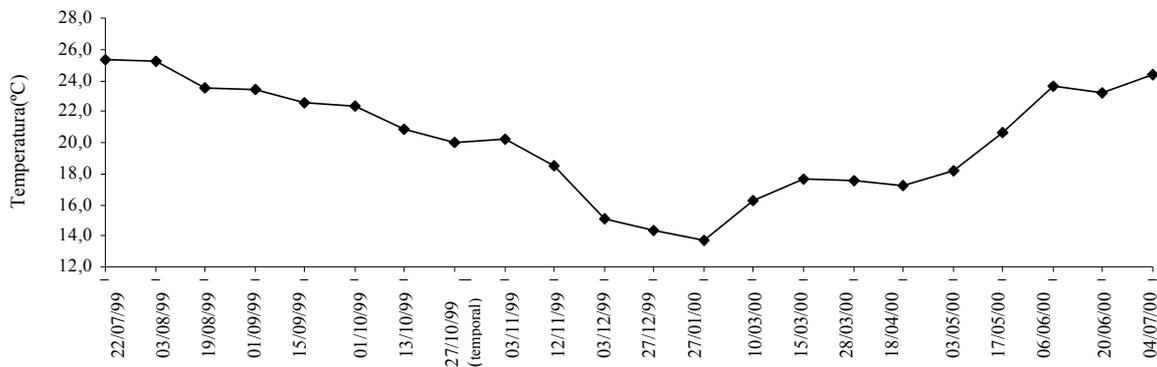


Figura 1: Evolución anual de la temperatura promedio en el área de estudio

Desde el punto de vista de la temperatura la mejor área de cultivo se encuentra precisamente en las zonas más externas por tener mayores temperaturas en invierno y poseer un mayor taponamiento térmico. En cualquier caso las diferencias espaciales de temperatura en la bahía son sólo de unos pocos grados para un momento determinado del año.

Oxígeno

Los 50000 valores de oxígeno recogidos en la bahía se mantienen por encima de los 3 mg/l, valor considerado en las explotaciones de acuicultura como el mínimo para no generar problemas de anoxia en los peces. La tendencia general es de incremento en los meses de invierno y decremento en los de verano (Figura 2), efecto debido fundamentalmente a los cambios de la temperatura del agua durante el ciclo anual y a la mayor solubilidad de este gas en el agua de mar cuando ésta está a temperaturas más bajas.

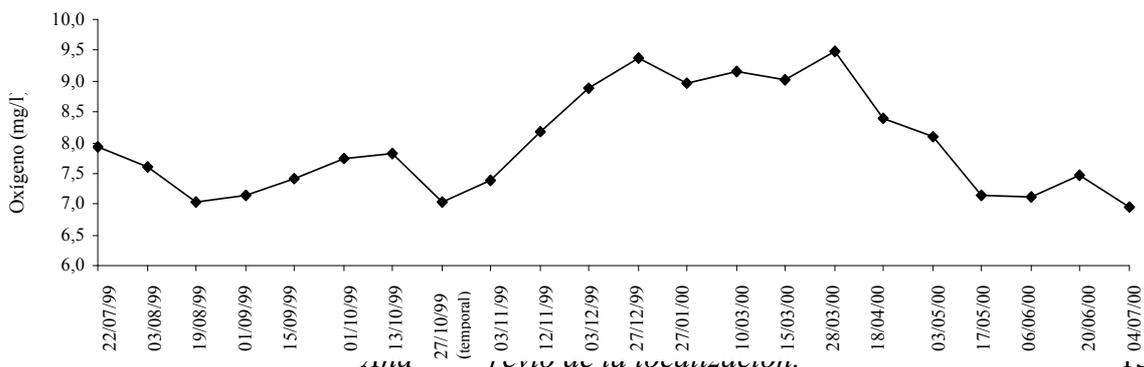


Figura 2: Evolución anual del oxígeno promedio en el área de estudio

Salinidad

Los valores de salinidad media del agua superficial se mantienen estables en torno a 37 ‰ durante los meses de julio, agosto y septiembre, mientras que en octubre y noviembre sufre una serie de oscilaciones asociadas a las lluvias que acontecen durante este período (Figura 3). Tras este período de lluvias, vuelve de nuevo a valores cercanos a 37 ‰ hasta que las lluvias de primavera durante los meses de abril y mayo la hacen decrecer de nuevo. Este descenso es de menor intensidad que las oscilaciones de octubre y se recupera durante el mes de junio para volver de nuevo al entorno del 37 ‰.

Valorada en su conjunto, la salinidad media de la bahía es adecuada para el cultivo de especies marinas ya que los descensos asociados a las lluvias no la hacen bajar a valores que pudieran considerarse nocivos para la acuicultura marina.

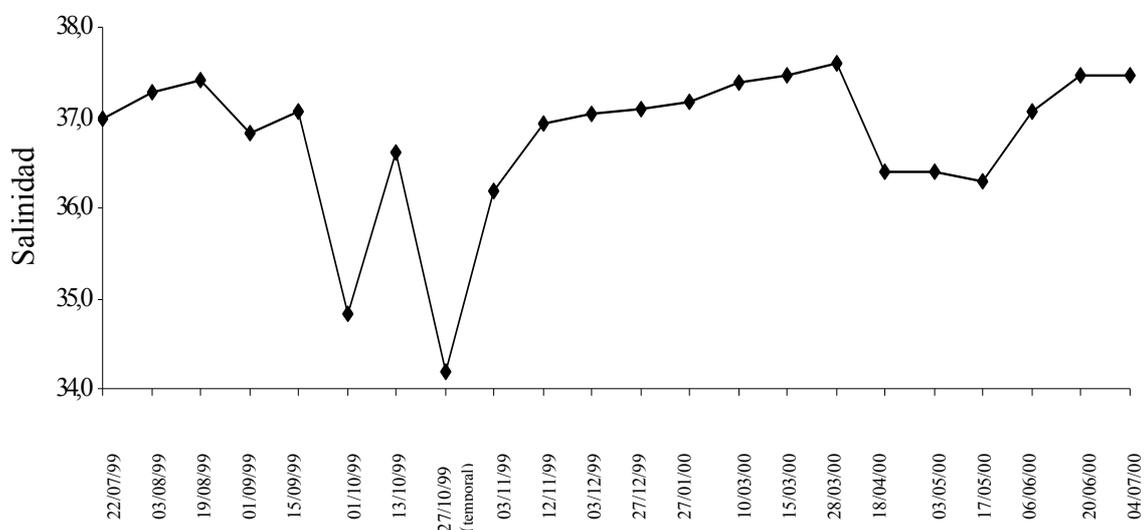


Figura 3 Evolución anual de la salinidad promedio en el área de estudio

PH

Los valores de pH se normalizaron para una temperatura de 20 °C para todos los muestreos realizados. Todos ellos se situaron dentro del rango óptimo de crecimiento para las especies marinas a cultivar. La tendencia general es a obtener valores de pH más ácidos cuando la influencia de las

aguas continentales es mayor, y en cualquier caso las alteraciones son del orden de décimas y rara vez hacen bajar al pH del valor 8.

Clorofila

Para producir importantes floraciones de fitoplancton en una masa de agua son necesarias tres condiciones: una capa de mezcla superficial poco profunda, elevada intensidad de luz incidente y nutrientes.

Las concentraciones de clorofila en el semiciclo anual oscilaron entre mínimos cercanos a cero y máximos en torno a 7 µg/l., (Figura 4). En ningún caso puede considerarse que se alcanzaran concentraciones lo suficientemente altas para ser preocupantes por el posible colapso del bloom y la consiguiente generación de abundante materia orgánica en degradación que podría perjudicar a las poblaciones de especies marinas tanto naturales como cultivadas.

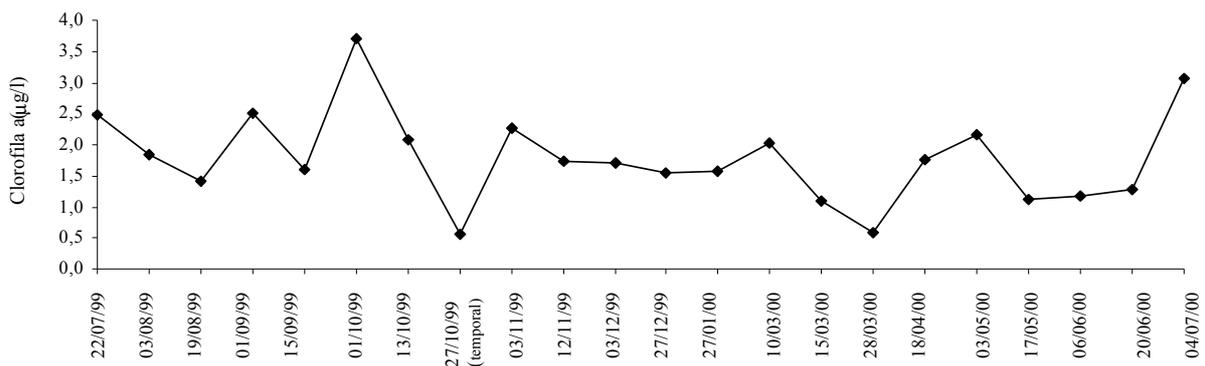


Figura 4 : Evolución anual de la concentración media de clorofila a en el área de estudio

A medida que avanza el invierno la concentración de nutrientes se incrementa pero no se produce un aumento de clorofila por el bajo nivel de luz incidente al disminuir las horas de sol, por factores astronómicos ligados al ciclo estacional y por el paso de borrascas, así como su ángulo de incidencia.

Fitoplancton

La evolución temporal de la concentración de clorofila en las estaciones y período (01/10/99 a 17/08/00) en que ha sido estudiado el fitoplancton muestra escasas variaciones.

Durante el otoño, invierno y parte de la primavera, las especies dominantes son diatomeas, y solo en los meses de octubre y noviembre de 1999 se observa, en algunas estaciones, un porcentaje superior de dinoflagelados.

Los cambios de composición más relevantes se registran a finales de primavera y en verano. En el muestreo de junio (06/06/00) se produce una clara dominancia de los dinoflagelados, manteniéndose los niveles de clorofila, es decir, hay un cambio de especies dominantes sin que la biomasa de fitoplancton registre cambios apreciables. En este período se produce el mayor incremento en la temperatura media de las aguas de la bahía, aspecto que podría estar relacionado con este cambio sucesional.

En julio (04/07/00) la biomasa fitoplanctónica, expresada como clorofila, muestra un notable incremento, con un patrón espacial caracterizado por una mayor concentración en las aguas más orientales. Es destacable, que la distribución de dicha biomasa se corresponde con la dominancia relativa de los dinoflagelados sobre las diatomeas. Es decir, en aquellas zonas con mayor concentración de clorofila, las más interiores, hay un claro predominio de dinoflagelados.

En las aguas más abiertas, con menor biomasa fitoplanctónica, la dominancia corresponde a las diatomeas.

En definitiva, la distribución de clorofila en este período está explicada por la concentración de dinoflagelados. Este grupo es el que presenta un mayor número de especies tóxicas, por lo que podría esperarse un riesgo potencial de toxicidad mayor en especies cultivadas en la zona oriental de aguas interiores.

Sin embargo, las concentraciones de especies tóxicas registradas, aunque con densidades ligeramente superiores en estas aguas, no muestran una distribución espacial clara. En cualquier caso, las densidades de estas especies no superaron en el período estudiado valores que puedan ser considerados peligrosos.

Sólidos en Suspensión/Turbidez.

Los valores más altos de sólidos en suspensión se han encontrado en las cercanías de la costa, habitualmente en las estaciones más cercanas a la desembocadura del río Guadalete o en el estrecho de Puntales.

Estas concentraciones rara vez superan los 20 mg/l durante el período estival del año 1999. A lo largo del período que abarca desde otoño del año 1999 hasta la primavera del 2000 se producen tres períodos de lluvias, y entonces cuando alguno de los muestreos se realizó poco después de lluvias intensas se registró un incremento de la cantidad de sólidos en suspensión en la bahía. En cualquier caso estos aportes de material parecen afectar mucho más a la sección oriental de la bahía, mientras que en la zona occidental, incluso en los momentos en los que la calidad del agua de la sección oriental es inadecuada (durante el temporal), no se registran valores por encima de 20 mg/l que pueden empezar a ser perjudiciales para posibles cultivos.

Nutrientes

En la evolución de los nutrientes se distinguen dos períodos claros cuyo origen está condicionado por la climatología y por la cantidad de radiación incidente en la bahía. La primera fase engloba los meses de primavera y verano. Durante este período las concentraciones de todos los nutrientes son bajas pues las elevadas irradiancias asociadas a la época estival permiten a las poblaciones de fitoplancton la asimilación activa de los mismos en el proceso fotosintético. De esta forma, cualquier entrada esporádica (sea de origen antropogénico o natural) de nutrientes durante este período repercute en un incremento rápido de las poblaciones de fitoplancton que los retiran de la fase disuelta. Durante este período en el que los niveles de luz son suficientes para permitir un crecimiento rápido del fitoplancton, el nitrógeno parece ser el elemento limitante de la producción primaria ya que se mantiene siempre con valores por debajo de 1 μM , valores que empiezan a ser limitantes para numerosos especies de fitoplancton.

Ni el sílice ni el fósforo parecen actuar como limitantes durante este período, ya que sus concentraciones están por encima de 1 y 0.1 μM respectivamente, las cuales se empiezan a considerar como limitantes para la producción fitoplanctónica.

La distribución espacial de los nutrientes refleja claramente la influencia del río Guadalete tanto durante el período estival como otoñal. En las cercanías de este río las concentraciones de nitrato no suelen alcanzar valores que puedan ser considerados como limitantes de la producción primaria. El resto de la bahía mantiene valores bajos durante el período estival con excepción de la mancha que se observa el día 15 de septiembre, en el que la interacción entre la mar de fondo con los bajos de la Galera y el Diamante pudiera haber originado concentraciones superiores a las del resto de la bahía.

Las concentraciones de nitrito marcan claramente su origen en las aportaciones del río Guadalete, patrón que puede observarse tanto durante el período estival como en el posterior.

En el caso de los fosfatos, además del Guadalete, parecen existir otras fuentes de aportes puntuales a la bahía. Otros aportes de fosfato a la bahía externa parecen proceder de las cercanías de la costa oriental de Cádiz, bien por vertidos en esta misma zona o en la bahía interna con posterior evacuación a través del estrecho de Puntales.

Por último, las concentraciones de silicato tienen un patrón de distribución que viene en parte marcado por el Guadalete pero que también muestra otras fuentes importantes de aportación a la bahía. En ocasiones, días 22 de julio y 3 de noviembre, este aporte parece tener su origen en la bahía interna o en el estrecho de Puntales.

4.3.c. Condiciones ambientales y oceanográficas.

Climatología

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la estación meteorológica de Cádiz (Instituto Nacional de Meteorología) y contienen información de presión atmosférica, horas de insolación, pluviosidad, temperatura y velocidad del viento durante los meses que van de junio de 1999 a julio de 2000.

A lo largo de estos meses se producen lluvias esporádicas en la última quincena de septiembre que sin ser elevadas en magnitud si que, como se verá posteriormente, han afectado a la dinámica de las poblaciones de fitoplancton de la bahía. Sin embargo, las precipitaciones más abundantes tuvieron lugar entre los días 19 y 27 de octubre de 1999 en los que se acumula una cantidad

total de 165 litros por metro cuadrado (Figura 5). El efecto de estas abundantes precipitaciones sobre la calidad de las aguas de la bahía es muy intenso, fundamentalmente sobre los sólidos en suspensión, y es objeto de un análisis detallado posteriormente. Las precipitaciones esporádicas que se producen durante los meses de abril y mayo no parecen tener un impacto especialmente intenso sobre las aguas de la bahía. Estas lluvias coinciden con el paso de borrascas, que se pueden detectar como descensos bruscos de la presión atmosférica hasta valores cercanos a los 1000 milibares.

El descenso más brusco se observa durante el mes de abril de 2000 en el que el paso de la borrasca que genera las lluvias de este mes produce un descenso brusco de la presión hasta valores cercanos a 990 milibares. Este descenso se ve acompañado de fuertes vientos que superan los 100 kilómetros por hora el día 7 de abril de 2000.

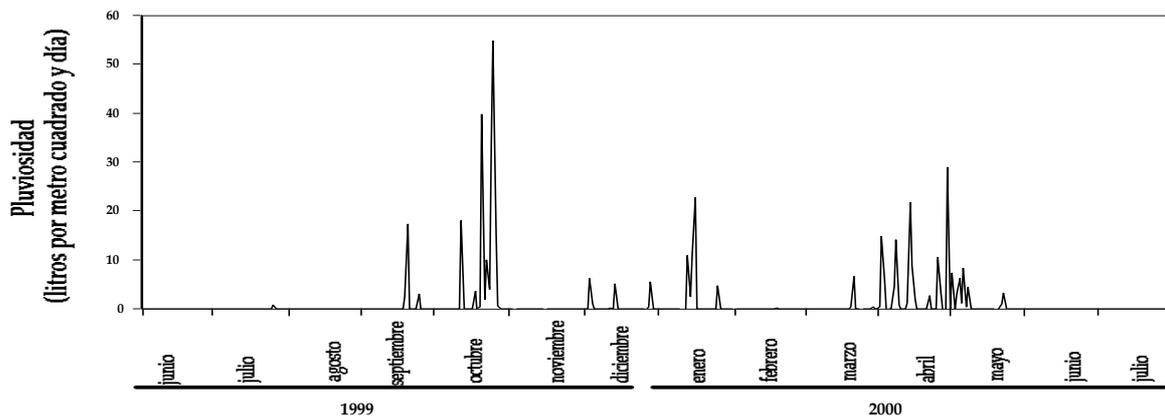


Figura 5: Pluviosidad durante el período de estudio

Los vientos de levante, siendo menos frecuentes que los de poniente, sí que presentan velocidades mayores. Los vientos de componente norte o sur fueron poco frecuentes y en general de baja intensidad.

Este patrón general aparece especialmente marcado durante los meses de junio, julio y septiembre del año 1999. Durante estos meses, los vientos de levante son muy escasos pero cuando ocurren lo hacen con una intensidad muy elevada (Figura 6). A medida que avanza el otoño los vientos de componente este se hacen más frecuentes y durante el invierno podemos encontrar meses como enero y febrero del año 2000 en los que los vientos de componente norte son abundantes. No obstante, en ningún caso llegan estos vientos de componente norte a tener intensidades tan elevadas como los

vientos de levante. Durante la primavera podemos encontrarnos meses (marzo de 2000) en los que los vientos de levante predominan tanto en frecuencia como en intensidad.

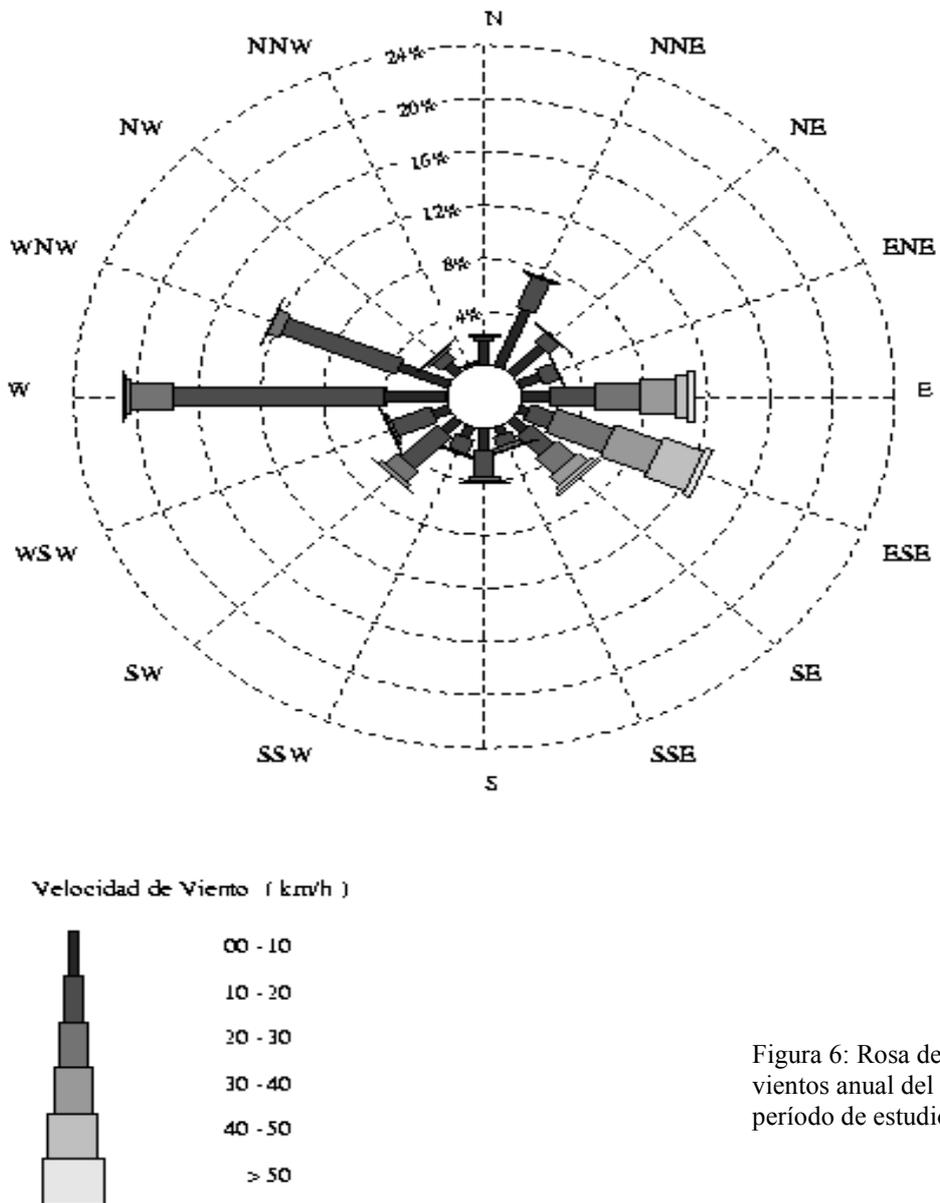


Figura 6: Rosa de vientos anual del período de estudio

Corrientes

En la bahía exterior las corrientes son más débiles, salvo en la zona del canal de navegación, por donde discurre principalmente el agua creciente o vaciante del estrecho de Puntales. En la bahía externa influyen en la corriente además de la marea, la morfología del fondo, los vientos y la presión atmosférica.

La segunda zona es la que se encuentra entre los bajos de la Galera y del Diamante. En los correntímetros situados al sudoeste de Rota, se observa que la señal de marea es muy débil, dominando la variabilidad de las fluctuaciones de largo período y las de más corto que seis horas. Estas oscilaciones corresponden a ondas propias de la plataforma continental y a la meteorología del momento, lo que nos indica que las pautas observadas en los muestreos realizados, no pueden extrapolarse para el resto del año, sino que tienen un significado exclusivo para los momentos en que fueron tomados. En todo caso, parece que por este sector, al tener mayor sección por donde entrar o salir el agua, las corrientes son de menos intensidad, por lo que resulta más difícil detectar una residual. Probablemente exista una corriente residual creciente o entrante, puesto que por el sur es la vaciante. Los resultados de calidad de agua avalan este sector como lugar de mejor calidad de agua. Por lo tanto toda esta área sería una zona aconsejable, desde el punto de vista de las corrientes, para su explotación piscícola. En ésta zona las corrientes no parece que se detengan nunca, dando un flujo continuo de agua, y siendo la media de 15 cm/s (coincidiendo ésta tanto en abril como en noviembre). Además, su máxima alcanza los 25 cm/s, no superando, ni siquiera rondando cerca de los 50 cm/s limitantes. (Figura 9),.

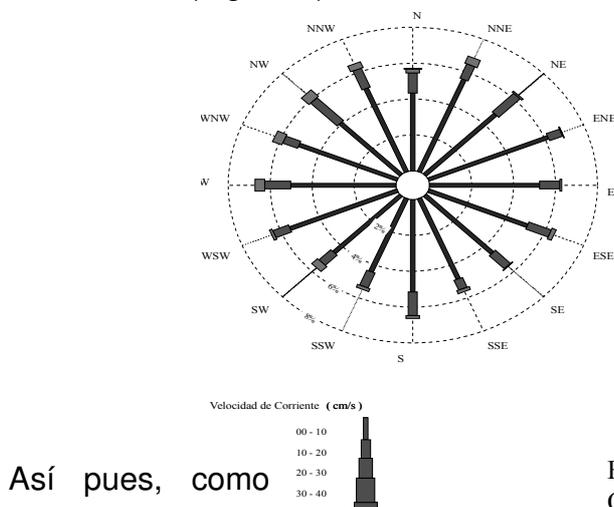


Figura 9: Rosa de corrientes del Quemado (febrero- marzo 1992)

Así pues, como

por los datos tomados, como por las series más largas de datos consultados, podemos decir que las corrientes en la bahía de Cádiz, salvo los canales de navegación, son aptas para la colocación de estructuras flotantes, considerando exclusivamente el punto de vista de las corrientes.

En la bahía de Cádiz, la masa de agua parece que entra principalmente por la zona norte, entre Rota y el bajo de la Galera y sale por el canal de navegación, al sur de la misma. Según esto, cualquier partícula que entre en la bahía, tendería a salir de la misma con el tiempo, lo que resulta una protección natural de la misma frente a posibles impactos ambientales.

Oleaje

Los datos de oleaje han sido extraídos de “Recomendaciones para obras marítimas” ROM 0.3-91 del M.O.P.T. (1992), y calculados a partir de la información instrumental obtenida en la zona de Cádiz. La boya de Cádiz se encuentra muy cerca de la zona de estudio, frente al castillo de San Sebastián en el veril de los 22 m (L 36°30'20; I 6°20'10).

A esa zona pueden afectarle fuertes temporales con direcciones comprendidas entre el NW y el SE, y el oleaje más suave generado por los vientos de levante. La probabilidad de oleaje según el viento se muestra en la siguiente tabla:

Dirección	Probabilidad (%)
N	12
NW	23
W	17
SW	11
S	5
SE	8
E	17
NE	7

La altura de ola significativa con probabilidad de ocurrencia del 50 % ($H_{s50\%}$), es aquella H_s tal que la probabilidad de que una cualquiera sea

superior o inferior es de una entre dos. Para Cádiz es $H_{s50\%} = 0,70$ m. Por otro lado, el oleaje umbral establecido como temporal en Cádiz es $H_s = 1,50$ m., es decir, la altura de ola significativa a partir de la cual se considera temporal. Esto significa un número medio de días de tormenta al año de 20.

Los datos de oleaje extremo, representan el tiempo medio para el que se miden olas del tamaño indicado y se muestran en la siguiente tabla:

Período de retorno (años)	H_s metros (medio)	Confianza 90%
5	5,60	6,70
10	6,20	7,30
20	6,80	8,00
50	7,50	9,00
100	8,00	10,00

4.4.- Selección del emplazamiento.

A la hora de localizar las zonas preferentes para la instalación del polígono de cultivo experimental, y de acuerdo a la conclusión técnica del estudio “Bahía de Cádiz: Protección de los recursos naturales pesqueros y aplicaciones para instalaciones acuícolas” (proyecto que se desarrolló entre junio de 1999 y diciembre de 2000), y en el que después de analizar todas las zonas disponibles para cultivos marinos en el ámbito de la bahía, se selecciono una zona situada a unas 4 millas de la costa de Rota, competencia de la Jefatura Provincial de Costas de Cádiz, de la Dirección General de Costas, con forma de polígono y centro en el punto $36^{\circ}34,2$ N; $6^{\circ}26,2$ W.

5. -Selección y descripción de las instalaciones.

5.1-Selección de las instalaciones.

La selección de las instalaciones fue realizada de acuerdo con las necesidades del sector, y atendiendo a las posibilidades de transferencia tecnológica. Previamente a la elección de los modelos se realizaron visitas y consultas a empresas del sector con el objetivo de plasmar las inquietudes de los productores en las estructuras seleccionadas. Ante todo se buscaron modelos que estuvieran suficientemente probados en el ámbito mundial con resultados satisfactorios, y que además poseyeran cierto grado de adaptación a las condiciones expuestas. Es de destacar que se entro en contacto con algunas empresas que declinaron su participación en el proyecto.

Atendiendo a estas líneas de selección, y las que a continuación se detallan para reforzar la elección de cada modelo, se escogieron los tres siguientes modelos de jaulas:

➤ **Jaula Hércules de Corelsa**, de 6000 m³(metros cúbicos).

Este tipo de estructura se clasifica comúnmente como jaula de gravedad, ya que su mecanismo de funcionamiento se basa fundamentalmente en el equilibrio entre este tipo de fuerzas y las de flotación. Así, este artefacto se compone básicamente de una estructura flotante de polietileno de 25 m de diámetro de la que pende una red en la que quedan incluidos los peces. La estructura flotante se fija al fondo mediante un conjunto de cables, estachas y cadenas, y finalmente anclas. Posee 8 puntos de anclaje, 4 de ellos reforzados con muertos de 5 toneladas.

Las líneas consideradas a la hora de realizar esta elección fueron:

- La gran difusión de este tipo de jaula en el sector, sobre todo en la zona mediterránea, por lo que se pretendía probar el grado de adecuación de esta estructura a las condiciones de expuestas.
- Su bajo coste por metro cúbico.
- Su facilidad de despesque y manejo, lo que la hacen complementaria en algunas instalaciones que poseen otros modelos de jaulas.

➤ **Jaula TLC de Refa**, de 1800 m³ (metros cúbicos).

En este caso se trata de una estructura sumergible de polietileno fondeada en la vertical y cuyo principio de acción se basa en la capacidad de sumergirse cuando la corriente supera los 0,5 nudos, debido al reducido volumen de la parte emergida.

La red mantiene su posición mediante boyas de profundidad. El sistema de anclaje vertical esta compuesto por 6 pesos de hormigón de 3,5 toneladas.

La selección de este modelo se vio apoyada por:

- Su bajo coste, tanto por unidad como por metro cúbico.
- La reducida superficie de fondeo que ocupa.
- Se considero interesante su mecanismo de auto reacción a las condiciones adversas.

➤ **Jaula Sea Station de Ocean Spar**, de 3000 m³ (metros cúbicos).

Este modelo de jaula de flotabilidad controlable está construido en acero galvanizado. Consta de un eje cilíndrico vertical en cuyos extremos se fija la red, la cual mantiene el volumen de la estructura gracias a la acción de un anillo circular también de acero. Dentro de la estructura vertical existe un depósito de aire que hace que la jaula pueda variar su posición en la columna de agua. La instalación se fondea mediante cuatro puntos de anclaje y es de destacar el material que compone la red, llamado Dynnema, que se caracteriza por su alta resistencia. Las conexiones entre la red y las estructuras rígidas se realizan mediante cabos de alta resistencia y grilletes, estos cabos de alta resistencia recorren verticalmente toda la estructura sirviendo de refuerzo. Cada una de las líneas de anclaje posee una boya estabilizadora, que tiene la función de mantener la tensión de las líneas cuando se varia la posición de la jaula en la columna de agua.

Para sustentar la elección de esta instalación de cultivo, nos apoyamos en:

- El hecho de que la estructura esta instalada con éxito en zonas tan expuestas como las islas Hawai, el Golfo de México, o las costas de Nueva York.
- La alta calidad y resistencia de los materiales utilizados en la red, cabos, etc.

- La posibilidad de mantener la jaula sumergida durante los temporales.

5.2-Descripción de las instalaciones.

Tras la breve introducción realizada sobre cada modelo vamos a pasar a describir mas en profundidad cada una de las estructuras. Aunque algunas de las empresas utilizan otro numero de unidades o módulos a la hora de describir sus instalaciones, desde este proyecto hemos tratado de diferenciar tres partes en cada una de las jaulas para así tener mas capacidad comparativa En cada una de la instalaciones de cultivo podemos diferenciar tres partes:

- Red.
- Estructura flotante-sustentante del volumen.
- Sistema de anclaje.

5.2.1- Jaula de la empresa Corelsa modelo Hércules.

Este es un modelo existen tres partes claramente diferenciadas: la red, la estructura flotante de polietileno que mantiene el volumen de la red y el sistema de anclaje.

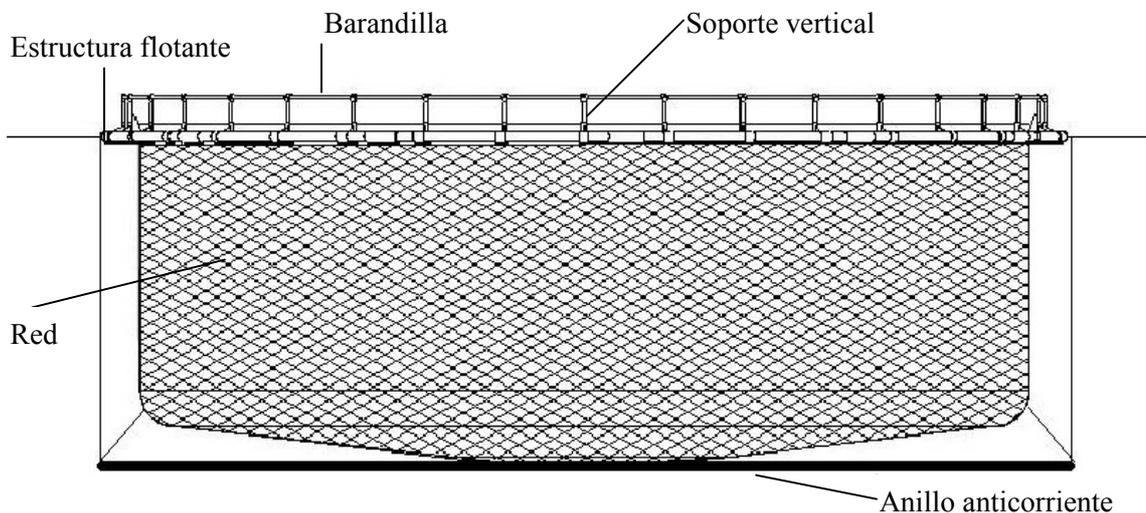


Figura 1. Jaula, dispositivo anticorriente y red Corelsa.

5.2.1.a. Redes Corelsa.

Para realizar un ciclo de cultivo y con objeto de realizar los pertinentes cambios de red, la empresa Corelsa suministro tres redes de nylon, el nylon es

un poliamida sintética de cadena larga en la cual menos del 85% de las uniones amida están unidas a dos anillos aromáticos. El nylon posee una densidad algo superior al agua alrededor de $1,1\text{gr/cm}^3$, alta tensión de rotura comparada con otros materiales como el poliéster o el polietileno, alta elongación antes de la rotura. Este tejido sintético se dispone en filamentos, los cuales se unen para formar hilos, que a su vez se entrelazan dando forma a la red. La unión de los hilos se realiza mediante el entrelazado de forma que las uniones de la red no presentan nudo, esto es muy importante para evitar que los peces se dañen.

La red viene dispuesta en paños rectangulares que se encuentran cosidos unos a otros y a los cabos de refuerzo que recorren toda la estructura. Los cabos de refuerzo, de 16 y 18 mm de diámetro, se disponen transversal y verticalmente y a su vez sirven de sujeción a los puntos de amarre con las estructuras de polietileno. La red se une a la estructura en superficie y al anillo anticorriente mediante cabos. La forma final que posee el conjunto es la de un cilindro abierto en superficie, y cerrado en su base por una ligera forma cónica que ayuda a la recolección de las bajas. Además la red posee un cabo de plomo (1 kg/metro) situado en la base del cilindro que tiene la función de dar peso a la red de forma que esta se mantenga vertical. Las características de las redes suministradas son las siguientes:

➤ Red de 10mm de luz de malla cuadrada, 7 metros de calado y 1,15 de altura, ref. B210/60. Antes de continuar, debemos aclarar el significado de estas cifras. La primera de ellas corresponde al *denier*, antigua moneda francesa que se usaba para pesar hilos de seda con el objetivo de determinar su delgadez, en la actualidad es usada como unidad de peso para expresar el tamaño de gran parte de las fibras y hilos hechos por el hombre; significa el peso en gramos de 9000 metros de filamento, cuanto más bajo es el *denier* más delgado es el hilo. La segunda de las cifras hace referencia al número de hilos. Sin embargo la gran cantidad de fabricantes y variación de composición del nylon provoca que redes con el mismo *denier* y número de hilos posean tensiones de rotura diferentes. Esta red se utiliza en la primera etapa del cultivo, cuando los peces poseen un pequeño tamaño.

➤ Red de 24 mm. de luz de malla, la luz de malla es medida como la máxima apertura interna entre los dos nudos opuestos de la red, hexagonal, 10

metros de calado, ref. B210/60. Esta es la segunda red en ser colocada. Para instalar esta red fue necesario aumentar la profundidad del anillo anticorriente de 8 a 11 metros, hay que tener en cuenta que la red debe quedar por encima del anillo anticorriente para evitar rozamientos.

➤ Red de 35 mm de luz de malla, 10 metros de calado, ref. B210/72. Esta es la red con la que se finaliza el cultivo.

5.2.1.b. Estructura flotante-sustentante Corelsa.

Cuando hablamos de estructura flotante sustentante, nos referimos a todos los componentes de la instalación que en última instancia mantienen el volumen de la red. En la estructura flotante englobaremos todos los componentes de la jaula que ayudan a mantener el volumen de las redes, estos serían la estructura principal flotante de superficie, el dispositivo anticorriente y el artilugio para elevar la red antipajaros.

➤ La estructura circular de superficie está compuesta por dos anillos, uno interno y otro externo, concéntricos de 25 metros de diámetro interior, lo que proporciona un perímetro de 80 metros. Estos anillos son dos tubos de polietileno de alta densidad, PN6 (*el indicativo PN hace referencia a la presión nominal que soporta la tubería) y espesor 16,6 mm, y su diámetro es de 280mm. Esta estructura posee una corona superior, también de 25 metros de diámetro, que está compuesta de polietileno de 110 cm de diámetro (PN10), y que hace las funciones de barandilla. La barandilla se encuentra a 110cm por encima de la superficie, y se une a los anillos principales mediante 40 soportes de polietileno rotomoldeado. El conjunto se completa con 12 piezas que sirven de punto de amarre de la estructura y que reciben el nombre de “H” por su forma. El conjunto de toda esta estructura tiene un peso de 5 toneladas, mientras que la flotabilidad de la estructura es de 10,2 toneladas; los que nos dan un remanente de 4,8 toneladas de flotabilidad en condiciones óptimas.

➤ El dispositivo anticorriente está constituido por un anillo de polietileno de 200mm de diámetro, PN10, de 80 metros de diámetro. En el interior del tubo posee una cadena cuyo peso total es de 900 kg. Este anillo se coloca colgando de la estructura flotante principal mediante cabos, posee por lo tanto una profundidad variable dependiendo del calado de la red, y tiene la función de mantener constante el volumen de esta en profundidad.

➤ El artilugio para elevar la red antipajaros esta formado por dos pirámides unidas entre sí por tubos de 90mm, PN 16. La pirámide superior esta hecha con tubo de 110mm, PN 6; y la inferior con tubo de 180mm en PN 6. Este artilugio se coloca en el centro de la estructura superficial mediante cabos, y tiene la función de mantener la red antipajaros alejada de la superficie del agua.

5.2.1.c. Sistema de anclaje Corelsa.

El sistema de anclaje esta compuesto por el entramado superficial y las líneas de anclaje.

➤ El entramado superficial esta formado por 4 boyas de polietileno rotomoldeado de 1000 litros, estas boyas están rellenas de poliuretano y de ellas cuelga una cadena de 3 metros de longitud que las une mediante grilletes a un entramado de 4 cables mixtos(PP-acero) de 40 metros de longitud y 28 mm de diámetro. El conjunto forma un cuadrado de 40 metros de lado, situándose cada una de las boyas en los vértices y dejando la jaula de cultivo en el centro. Bajo cada una de las boyas existen unas argollas especiales que sirven de punto de unión entre los distintos componentes, en estas argollas a su vez se fijan las líneas de anclaje a razón de dos por argolla. Los cables quedan a 3 metros de profundidad para permitir el paso de los barcos. De cada una de las aristas del cuadrado parten tres estachas de 26 mm de diámetro y 15 toneladas de tensión de rotura, que sirven de amarre a la jaula.

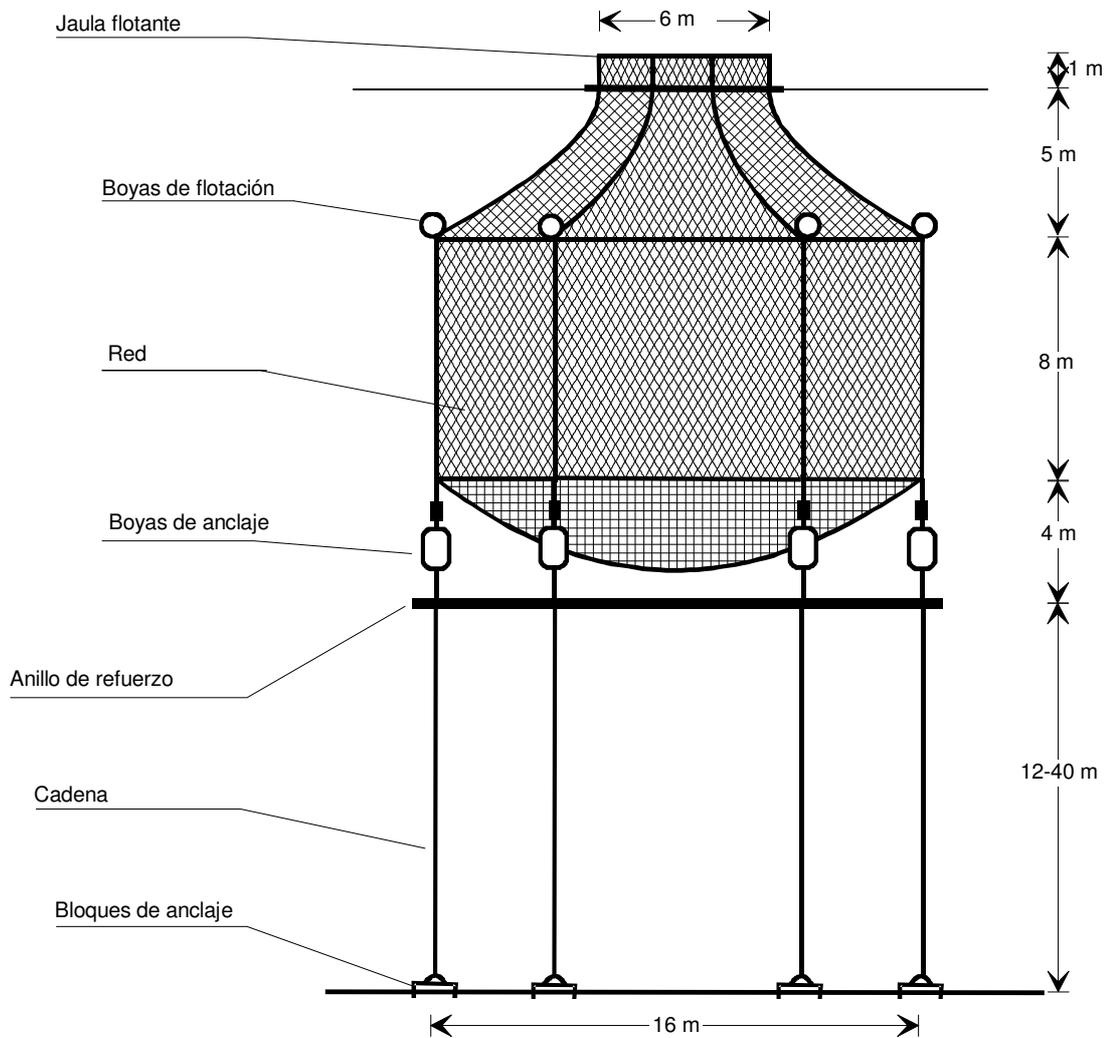
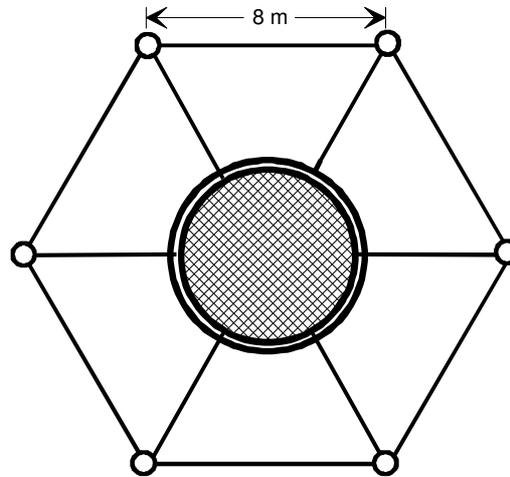
➤ La instalación posee 8 líneas de anclaje, compuestas cada una por un ancla de 900 kg, un tramo de cadena de 32 mm de grosor y 30 metros de longitud, y finalmente una estacha de 140 metros de longitud, 40 mm de grosor y 30 toneladas de tensión de rotura. La estacha de mm se une a las argollas del entramado superficial mediante un nudo, lo cual permite variar la longitud de las líneas y en consecuencia la tensión del entramado. El resto de las uniones entre cadena-ancla y cadena-estacha se realizan mediante grilletes de 1 1/8" galvanizados. Cuatro de las líneas de anclaje se reforzaron con pesos de hormigón de 5 toneladas, al encontrarse estas sobre fondo duro; estos puntos de anclaje coincidían con las direcciones de oleaje más importantes en la zona, por lo que se considero adecuado reforzarlos colocando estos pesos unidos al ancla mediante una cadena.

5.2.2- Jaula Refa modelo TLC.



TLC 1800M

Dimensiones principales



5.2.2.a. Red Refa.

La red posee una serie de boyas que tienen la función de mantener la el volumen interior donde permanecen los peces. La red esta compuesta de poliamida, malla cuadrada y su luz de malla es de 210/72 y 24mm de luz malla. La tensión de rotura para este tipo de malla especificada por el fabricante es de 98 kg/m². La red posee un tratamiento de antifouling, para evitar el crecimiento de algas y incrustaciones, el principio activo de este antifouling es el óxido de cobre, aunque la fórmula exacta no ha querido ser desvelada por la empresa por motivos técnicos. Es de destacar en la construcción de la red, el perfecto acabado de las costuras, tanto entre paños como a los cabos de refuerzo, compuestos de polysteel. Existen gran cantidad de refuerzos, consistentes en un paño de red cosido a la red principal, con los cuales no se ha escatimado en tamaño. Estos refuerzos están colocados en cada uno de los puntos críticos de la red; tales como inmediaciones de conexiones de boyas, líneas verticales que unen la estructura de polietileno con las boyas, estas líneas se corresponden con las zonas superficiales de mayor tensión ya que transmiten la tensión generada por la parte superior de la jaula al tren de anclaje. La red esta dividida en dos partes mediante una cremallera, la parte inferior cilíndrica que corresponde a la parte principal y la parte superior cónica. La existencia de esta cremallera se justifica en la búsqueda de la posibilidad de sustraer la parte superior abriendo la cremallera, y permitido así unir la parte cilíndrica de la red a una jaula normal de 16 metros de diámetro. Esta posibilidad puede resultar muy útil para operaciones como pescas, transportes, trasvases de peces, etc. Para el caso particular del área de Cádiz, Sintef en colaboración con Refa desarrollo un sistema adaptativo para la importante carrera de marea existente en la zona 3,8 metros; este sistema consiste en una mayor longitud de la parte superior cónica y la adhesión de unas pequeñas boyas a la red que tienen la función de mantener el volumen de la red en bajamar.

5.2.2.b. Estructura flotante-sustentante Refa.

Se trata de una estructura circular flotante típica, de 5,5 metros de diámetro interior. Esta compuesta por dos tubos basales de polietileno de 110 cm de diámetro y una barandilla superior de 90cm de diámetro. Los dos anillos se unen por soportes compuestos por piezas de tubos de polietileno soldadas.

La flotabilidad del conjunto es de 150 litros, lo que permite a la estructura sumergirse fácilmente sin que los amarres de la red sufran daños. Dentro de este módulo sustentante del volumen de cultivo, incluiremos las 6 boyas de presión de 120 litros cada una, que tienen la función de mantener abierta la parte superior del cilindro.

5.2.2.c. Sistema de anclaje Refa.

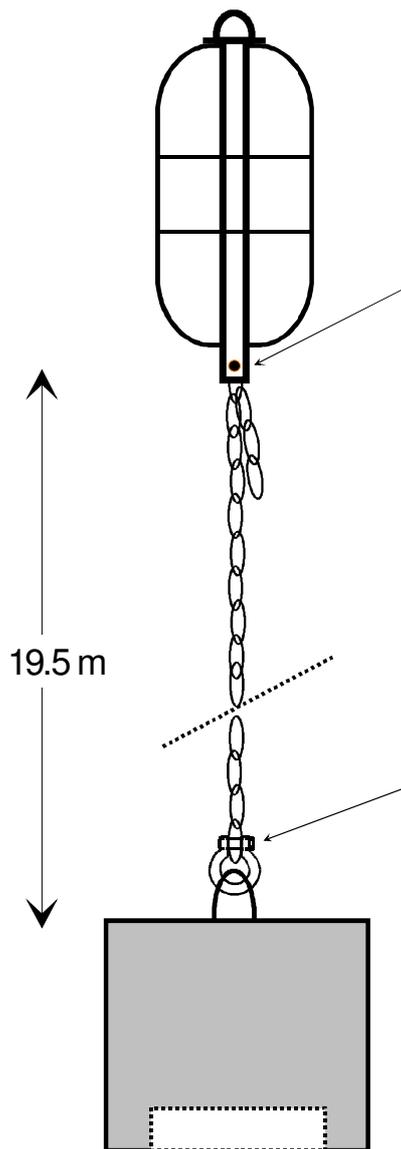
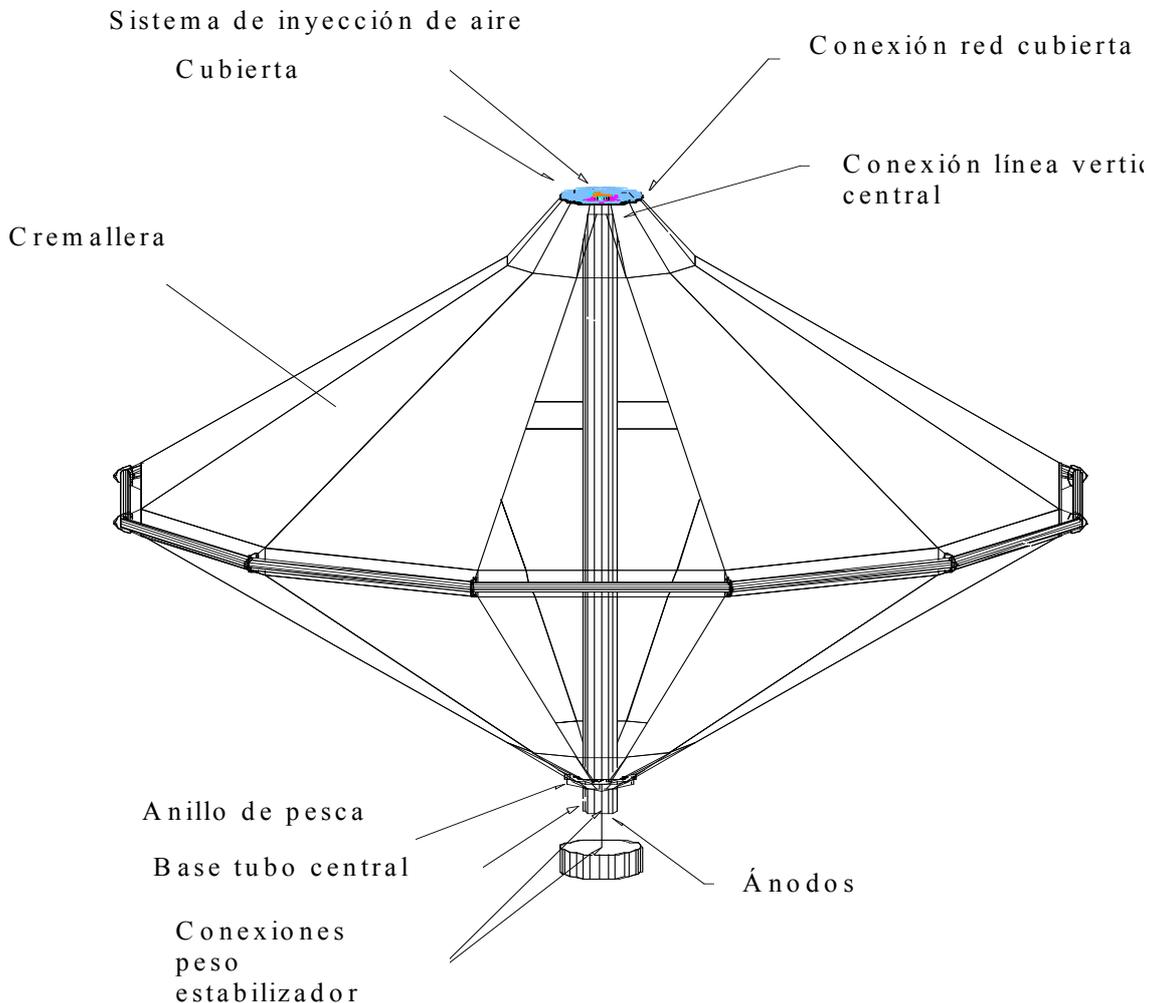


Figura 1: Pata de fondeo.

Este modelo es denominado por la empresa como jaula de patas de tensión (Tensión Leg Cage), haciendo referencia a las 6 líneas de fondeo vertical que anclan la estructura al fondo. Cada una de estas patas esta compuesta por un peso de hormigón de 3,5 Toneladas, una cadena, y una boya sumergible de 120 litros. La cadena es denominada por la empresa como “cadena ultraresistente”, posee un grosor de 11 mm y una tensión de rotura de 12,5 toneladas. La cadena se une al muerto de hormigón mediante un grillete bloqueado mediante soldadura en superficie, y en su extremo superior esta cadena se une a la boya a través de un tornillo pasante. La presencia de soldaduras en esta estructura obliga a que cada una de estas líneas se monte en tierra previamente al fondeo. El muerto posee un espacio hueco de 10 cm. en su base para aumentar el poder de adhesión al sedimento. En la parte superior de estas boyas existe una argolla donde se amarran los cabos de la red. Este amarre se realiza mediante un cabo que une la gaza de la red y la argolla de la boya. La

distancia constante entre las boyas es mantenida por un anillo de refuerzo de polietileno.

5.2.3- Jaula Ocean Spar modelo Sea Station.



5.2.3.a. Red Ocean Spar.

La robustez de esta parte de la instalación de cultivo es la base del funcionamiento de la estructura, ya que el conjunto necesita que la red se mantenga con una gran tensión para funcionar correctamente; y esto se hace posible gracias a la mencionada solidez y calidad de la red y los cabos que la componen. La red está compuesta de Dynnema, el Dynnema es un polímero del polietileno de alto peso molecular, donde la orientación paralela de las moléculas es mayor de un 95% y además posee un nivel de cristalinidad mayor del 85%. El Dynnema posee alta dureza específica, alta resistencia a la abrasión, alto poder de absorción de energía, baja elongación hasta llegar a la rotura y baja densidad, por lo que flota en el agua. Los cabos verticales que

unen el tubo central con el anillo perimetral, están costurados a la red salvo en el extremo superior y inferior, donde se unen al tubo mediante grilletes; esto confiere mas seguridad, ya que en caso de romperse uno de estos cabos no se rompería la red. Estos cabos verticales están compuestos de plasma de 12mm de diámetro y su tensión de rotura es de 12 toneladas. La red además dispone de 2 cremalleras que permiten el acceso de los buzos, la introducción de los peces y las pescas.

5.2.3.b. Estructura flotante-sustentante Ocean Spar.

En este punto incluiremos todos elementos que dan forma a la red, como son el tubo central, el anillo perimetral y el peso estabilizador. El tubo central es un cilindro de acero galvanizado de 19 metros de largo y 1,1 metros de diámetro, su peso total es de unas 4 toneladas. En él existe una válvula en la parte superior mediante la que se insufla y extrae el aire del interior, controlando así su posición en la columna de agua. El anillo perimetral esta compuesto por 12 segmentos huecos de acero galvanizado de 350 kg cada uno. Por ultimo el peso estabilizador, consiste en un peso de hormigón de 4,5 Toneladas que cuelga mediante un grillete de la base del cilindro central. La base del tubo central posee una estructura móvil que se denomina anillo de pesca y que se puede ascender a la superficie trayendo consigo la red y facilitando así la pesca.

5.2.3.c. Sistema de anclaje Ocean Spar.

El sistema de anclaje esta compuesto por cuatro líneas de fondeo, constituidas cada una por un ancla, un tramo de cadena y una estacha que finaliza en la jaula. El ancla es de 1000 kg de peso y alto poder de agarre (25 Toneladas, lo que nos da un coeficiente de agarre de 25), cada uno de los tramos de cadena posee 20 metros de longitud y esta compuesto por eslabones con conrete de 32mm de diámetro y carga de rotura mínima de 583KN. Tanto la cadena como el ancla han sido una elección del proyecto ya que la empresa productora de las jaulas solo suministra las líneas para evitar los excesivos costes de transporte. El ultimo componente del tren de anclaje son las estachas que unen la cadena y la jaula, el material que forma estas estachas es tenex de 32 mm de diámetro y su carga de rotura es de 25

toneladas. Cada una de estas estachas esta dividida en dos tramos, uno de 90 metros y otro de 40 metros. En la unión de ambos tramos se sitúa una boya de 1000 litros que tiene función estabilizadora cuando la jaula se encuentra sumergida. Tanto las conexiones con la boya como con la cadena y la jaula están realizadas mediante grillete.

6.-Fondeo e instalación de las estructuras.

6.1- Montaje de la Jaula Hércules de Corelsa.

El primer paso en el montaje de esta jaula fue la delimitación del perímetro de trabajo mediante el fondeo de 4 boyas cardinales en sus vértices. La señalización de los cuatro puntos que delimitan el polígono se realizó mediante GPS diferencial.



Figura 1. Boyas de señalización del perímetro de la concesión.

El marcaje de los puntos donde se ubicarían las anclas se realizó mediante pesos unidos en el fondo mediante cabos, que nos darán la separación entre anclas. Los pesos quedan balizados mediante pequeñas boyas que nos indicaran en superficie el punto de fondeo. Este, podemos decir que es el sistema de fondeo tradicional.

Seguidamente se preparó en tierra el fondeo de las anclas conectando ancla, cadena y estacha, estibándolo en el barco que se contrató para la ocasión.



Figura 2.
Anclas
estivadas
antes del
fondeo.

La maniobra de fondeo se realizó entonces sacando el ancla de la bodega, poniéndola a son de mar y aproximándose al punto señalado como lugar de fondeo mediante la mencionada boya de superficie puesta a pique, de forma que cuando se liberaba el ancla el barco siguiera ligeramente adelante en dirección a donde se ubicaría la jaula para así estirar la línea de fondeo. El extremo de la estacha se dejaría balizado en el fondo a la espera de traer el resto de la estructura.



Figura 3. Anclas saliendo de la bodega.



Figura 4. Anclas a son de mar.

El siguiente paso fue el montaje en tierra del entramado superficial; se conectaron los cables a los aros metálicos y a las boyas, obteniendo así un cuadrado de 40 metros de lado que se adujó y sacó a remolque de la playa asfáltica del puerto deportivo de Rota. Todos los grilletes se conectaron en tierra para así realizar el menor numero de trabajos en el mar.



Figura 5. Boya y cable adujadas listas para salir. Como se puede ver se le colocó al cable una pequeña boya para evitar su hundimiento. Estos componentes conformarán posteriormente el entramado superficial. Para unirlos se colocaron un total de 28 grilletes.

Una vez en la instalación se conectaron los vértices de esta a las estachas de fondeo, a razón de dos por vértice.

Para montar la estructura flotante, el primer paso fue el pegado de los tubos de polietileno de 280 milímetros de diámetro mediante temperatura y presión. Una vez unidos los tubos se obtuvieron dos tramos de 80 metros de longitud que se corresponde con el perímetro de la jaula.



Figura 6. Proceso de pegado de los tubos.

A través de estos dos tubos se pasaron los 40 soportes de plástico rotomoldeado.

Habiendo colocado éstos y las piezas de refuerzo de los puntos de amarre se procedió a cerrar la estructura circular utilizando una carretilla. Posteriormente se transportó esta a la concesión donde se amarró a los vértices del entramado superficial mediante 12 estachas.

6.2- Montaje de la jaula TLC de Refa.

El montaje de esta instalación se divide en dos fases; la primera de ellas corresponde al sistema de anclaje, y la segunda a la colocación de la red.

El sistema de anclaje utilizado está constituido por 6 pesos de 3,5 toneladas, contruidos según las especificaciones de la empresa suministradora de la jaula. Estos pesos deben ser colocados en el fondo en su posición exacta, con un margen de error de 25 cm.

Para conseguir este propósito y realizar el trabajo lo mas rápidamente posible, se construyeron los pesos en el puerto y se les conectó la cadena y la boya de profundidad, para acortar los trabajos a realizar bajo el agua.



Figura 7. Pesos con cadena y boyas conectadas.

Las 6 unidades de fondeo se colocaron mediante un barco con grúa en el área establecida, para después colocarlos en su posición exacta, mediante globos. Una vez hecho esto se conectó a ellos el anillo de refuerzo, que tiene la función de mantener el volumen en la parte sumergida en condiciones de fuertes corrientes.

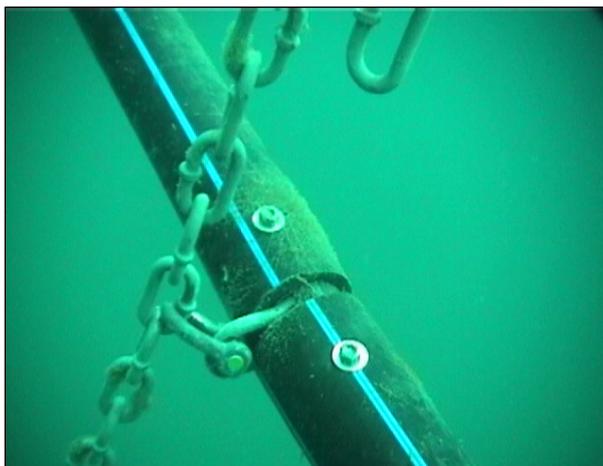


Figura 8. Detalle de la conexión entre el anillo de refuerzo y la cadena de fondeo.

Al igual que en el caso anterior, paralelamente se fueron realizando los trabajos de montaje de la estructura flotante de polietileno y el anillo de refuerzo.

El siguiente paso fue el montaje de la red para lo cual se amarró primero ésta a la estructura de superficie, dejándola caer por gravedad y conectándola a las boyas de profundidad. Seguidamente se colocaron el resto de las boyas que mantienen el volumen de la red.

6.3. Montaje de la jaula Sea Station de Ocean Spar.

Previamente al montaje se preseñalizó la zona de fondeo de las anclas de acuerdo con las especificaciones de la empresa OCEAN SPAR. Al tratarse de solo 4 puntos de fondeo se seleccionó un ancla especial de una tonelada con un poder de agarre de 25 toneladas.

En primer lugar se realizaron las conexiones entre ancla, cadena y estacha en el puerto. Se adujaron estas mediante cabos de sacrificio y se trasladaron hasta la barcaza que realizaría los fondeos.

Estos cabos de sacrificio son posteriormente cortados por buceadores en la superficie cuando se introduce la línea de fondeo en el agua.

En el puerto de Cádiz, se realizó el ensamblaje de las distintas estructuras de la jaula, como la soldadura de las dos partes del cilindro central, y la conexión de las distintas piezas del anillo.



Figura 9.
Descarga
de los
materiales
en el puerto
de Cádiz.

Posteriormente se colocó el cilindro central en el agua, en el centro del anillo, mediante la grúa del barco; no obstante el peso del cilindro central es de 5 toneladas, pero al poseer una cámara de aire flota por sí mismo.

De la base del cilindro central se colgó un peso de 5 toneladas de hormigón y para mantener su posición horizontal se utilizaron 4 boyas de 1000 litros de las líneas de fondeo.

Una vez asegurada la estructura de remolque, se procedió a su traslado a la concesión; donde se conectó a las 4 estachas que la esperaban.



Figura 10. Remolque del anillo perimetral y el tubo central hasta la concesión.

Esta conexión se realiza mediante grilletes, por lo que no se puede variar la longitud de la línea. Esto obliga a dar tensión a las líneas de anclaje moviendo las anclas, por lo que se utiliza un remolcador para dar dicha tensión.

Seguidamente se inició el montaje de la red, para lo que previamente se cortaron las boyas de 1000 litros que mantenían el cilindro central en posición horizontal, lo que provocó el adrizamiento del mismo.

A continuación se conectó la red en la base y en la parte superior y por último, se tensó la red amarrándola al anillo.

Para finalizar el montaje se tensó mediante gravedad las conexiones superiores e inferiores del cilindro central.



Figura 11. Finalización de la conexión superior de la red con el cilindro central. Esta conexión se realiza cosiendo la red a una pieza de red de alta resistencia que esta fija en la jaula. Esta es la única parte de la jaula donde la red carece de tensión.

7.-Preengorde y siembra de los alevines.

A principios de Abril del 2002 se recibieron los ejemplares de dorada *Sparus aurata* procedentes de la empresa Tinamenor con un peso medio de 5,6gr , esta empresa fue seleccionada mediante concurso en que se evaluaban distintas variables como: coste, calidad, % de deformidad, posibilidad de suministro en el tamaño adecuado y fecha de entrega. El conteo de los peces en origen se realizo mediante un contador de electronico modelo IMPEX, el conteo fue constatado en la ultima criba manual cuando los peces poseían 2 gr; esta criba tiene la función de clasificar y eliminar deformidades. La edad media de los ejemplares al llegar al ser recibidos en el “Toruño” era de 167 días. En las características de los alevines ofrecidos por la empresa se afirmaba dispersión de talla menor del 20% y deformidades menores del 10%; para conseguir estos objetivos se realiza una exhaustiva criba manual. Para corroborar estos datos se desplazo un técnico a la Hatchery de la empresa realizando un muestreo, chequeo del aparato de conteo de peces y corroboración de las deformidades mediante radiografías de los peces muestreados.



Figuras 1 y 2. Radiografía y foto correspondiente al lote recibido.



Los alevines fueron trasladados en un camión de transporte de peces, suministrado por la empresa productora, desde la norte de España hasta las instalaciones del "CICEM el Toruño" en el Puerto de Santa Maria (Cádiz); donde fueron dispuestos en dos tanques de 80 m³ .

La carga inicial en los tanques fue inferior a 4 kg/m³ , el sistema de cultivo utilizado fue en circuito abierto con una renovación de 40 m³/hora. Se colocó un sistema de inyección de oxígeno tipo venturi en cada uno de los caudales de entrada de agua para así mantener una alta concentración de oxígeno en el tanque de cultivo, lo cual aumenta el crecimiento de los individuos y disminuye la toxicidad de las sustancias derivadas de las excreciones de los peces. consumo de oxígeno de la dorada es de 200 mg/kg/Hr

Durante los dos meses que duró el periodo del preengorde se realizaron controles diarios de temperatura y oxígeno, y dos medidas semanales de los valores de NO₂ y NH₃. Las temperaturas oscilaron entre los 15 y los 23º y los valores de NO₂ y NH₃ no superaron los valores normales. Diariamente se extrajeron las bajas y se sifonaron los tanques, además se colocaron desengrasadores en superficie. Se llevó a cabo una renovación semanal del 50% del tanque para asegurar la erradicación de zonas de aguas muertas en el tanque. Los datos de crecimiento en este periodo serán presentados con más detalle en el capítulo de evolución biológica.

A finales de Junio del 2002 los peces fueron sacados de los tanques y transportados mediante un camión, al puerto de Rota donde fueron depositados en jaulas con el propósito de aclimatarlos antes de su transporte a la concesión. Anteriormente a cada transporte se mantuvieron los peces en ayuno durante 48 horas. En este momento los ejemplares poseían un peso medio de 18 gr, fueron estabulados a razón de 42000 en la jaula Corelsa y 21000 en la jaula Refa, quedando la instalación Ocean Spar a la espera de recibir ejemplares de borriquete procedentes de una exitosa puesta obtenida en el "CICEM El Toruño". Como jaula de aclimatación se utilizó para los 42000 alevines de Corelsa la propia jaula de cultivo de 25 metros de diámetro y se colocó la red de 10mm de luz de malla suministrada por la empresa; en el caso de Refa se utilizó una red de 5,5 metros de diámetro y una jaula Corelsa de 5,5 metros para preengorde y de 5mm de luz de malla.

Una vez aclimatados se acometió el traslado a la concesión. Los alevines incluidos en la jaula Corelsa se transportaron directamente con dentro de la jaula, arrastrando la estructura. Esta es una operación sumamente delicada para lo cual el anillo anticorriente debe colocarse exactamente a 2,9 metros de profundidad, y el exceso de red provocado debe recogerse en la barandilla de la jaula para evitar embolsamientos. Esto se realiza así para permitir el paso de toda la instalación de cultivo por encima del entramado superficial que posee un cable horizontal a 3 metros de profundidad. El remolque de la estructura se debe realizar a una velocidad que no supere los 0,5 nudos, y con una separación entre barco y estructura superior a los 50 metros para evitar que las burbujas producidas por la hélice del barco produzcan estrés en los peces. El proceso de arrastre y afirmado de la jaula en su lugar de destino tuvo una duración total de 14 horas, ya que la concesión se encuentra a 5 millas del puerto, y tras hacer firme la jaula al entramado es indispensable poner el anillo a su profundidad correcta.

Los 21000 ejemplares destinados a la jaula Refa se extrajeron de la jaula de aclimatación, y se transportaron en tanques a bordo de un barco hasta la jaula instalada en la concesión; este modo de proceder fue condicionado por la imposibilidad de mover la jaula una vez instalada. Este es el procedimiento que debería seguirse para el caso de la siembra de la jaula Ocean Spar, ya que esta aunque si puede ser transportada, necesitaría un calado mínimo de unos 15 metros en el puerto y durante todo el recorrido hasta la concesión lo cual es muy difícil de conseguir.

7.-Preengorde y siembra de los alevines.

A principios de Abril del 2002 se recibieron los ejemplares de dorada *Sparus aurata* procedentes de la empresa Tinamenor con un peso medio de 5,6gr , esta empresa fue seleccionada mediante concurso en que se evaluaban distintas variables como: coste, calidad, % de deformidad, posibilidad de suministro en el tamaño adecuado y fecha de entrega. El conteo de los peces en origen se realizo mediante un contador de electronico modelo IMPEX, el conteo fue constatado en la ultima criba manual cuando los peces poseían 2 gr; esta criba tiene la función de clasificar y eliminar deformidades. La edad media de los ejemplares al llegar al ser recibidos en el “Toruño” era de 167 días. En las características de los alevines ofrecidos por la empresa se afirmaba dispersión de talla menor del 20% y deformidades menores del 10%; para conseguir estos objetivos se realiza una exhaustiva criba manual. Para corroborar estos datos se desplazo un técnico a la Hatchery de la empresa realizando un muestreo, chequeo del aparato de conteo de peces y corroboración de las deformidades mediante radiografías de los peces muestreados.



Figuras 1 y 2. Radiografía y foto correspondiente al lote recibido.



Los alevines fueron trasladados en un camión de transporte de peces, suministrado por la empresa productora, desde la norte de España hasta las instalaciones del "CICEM el Toruño" en el Puerto de Santa Maria (Cádiz); donde fueron dispuestos en dos tanques de 80 m³.

La carga inicial en los tanques fue inferior a 4 kg/m³, el sistema de cultivo utilizado fue en circuito abierto con una renovación de 40 m³/hora. Se colocó un sistema de inyección de oxígeno tipo venturi en cada uno de los caudales de entrada de agua para así mantener una alta concentración de oxígeno en el tanque de cultivo, lo cual aumenta el crecimiento de los individuos y disminuye la toxicidad de las sustancias derivadas de las excreciones de los peces. consumo de oxígeno de la dorada es de 200 mg/kg/Hr

Durante los dos meses que duro el periodo del preengorde se realizaron controles diarios de temperatura y oxígeno, y dos medidas semanales de los valores de NO₂ y NH₃. Las temperaturas oscilaron entre los 15 y los 23º y los valores de NO₂ y NH₃ no superaron los valores normales. Diariamente se extrajeron las bajas y se sifonaron los tanques, además se colocaron desengrasadores en superficie. Se llevo a cabo una renovación semanal del 50% del tanque para asegurar la erradicación de zonas de aguas muertas en el tanque. Los datos de crecimiento en este periodo serán presentados con mas detalle en el capítulo de evolución biológica.

A finales de Junio del 2002 los peces fueron sacados de los tanques y transportados mediante un camión, al puerto de rota donde fueron depositados en jaulas con el propósito de aclimatarlos antes de su transporte a la concesión. Anteriormente a cada transporte se mantuvieron los peces en ayuno durante 48 horas. En este momento los ejemplares poseían un peso medio de 18 gr, fueron estabulados a razón de 42000 en la jaula Corelsa y 21000 en la jaula Refa, quedando la instalación Ocean Spar a la espera de recibir ejemplares de borriquete procedentes de una exitosa puesta obtenida en el "CICEM El Toruño". Como jaula de aclimatación se utilizó para los 42000 alevines de Corelsa la propia jaula de cultivo de 25 metros de diámetro y se colocó la red de 10mm de luz de malla suministrada por la empresa; en el caso de Refa se utilizó una red de 5,5 metros de diámetro y una jaula Corelsa de 5,5 metros para preengorde y de 5mm de luz de malla.

Una vez aclimatados se acometió el traslado a la concesión. Los alevines incluidos en la jaula Corelsa se transportaron directamente con dentro de la jaula, arrastrando la estructura. Esta es una operación sumamente delicada para lo cual el anillo anticorriente debe colocarse exactamente a 2,9 metros de profundidad, y el exceso de red provocado debe recogerse en la barandilla de la jaula para evitar embolsamientos. Esto se realiza así para permitir el paso de toda la instalación de cultivo por encima del entramado superficial que posee un cable horizontal a 3 metros de profundidad. El remolque de la estructura se debe realizar a una velocidad que no supere los 0,5 nudos, y con una separación entre barco y estructura superior a los 50 metros para evitar que las burbujas producidas por la hélice del barco produzcan estrés en los peces. El proceso de arrastre y afirmado de la jaula en su lugar de destino tuvo una duración total de 14 horas, ya que la concesión se encuentra a 5 millas del puerto, y tras hacer firme la jaula al entramado es indispensable poner el anillo a su profundidad correcta.

Los 21000 ejemplares destinados a la jaula Refa se extrajeron de la jaula de aclimatación, y se transportaron en tanques a bordo de un barco hasta la jaula instalada en la concesión; este modo de proceder fue condicionado por la imposibilidad de mover la jaula una vez instalada. Este es el procedimiento que debería seguirse para el caso de la siembra de la jaula Ocean Spar, ya que esta aunque si puede ser transportada, necesitaría un calado mínimo de unos 15 metros en el puerto y durante todo el recorrido hasta la concesión lo cual es muy difícil de conseguir.

8.- Seguimiento oceanográfico del medio y de los parámetros de cultivo.

El cultivo de peces en mar abierto, posee particularidades oceanográficas y ambientales con respecto al clásico cultivo en jaulas en zonas confinadas. Así una situación de cultivo tipo en mar abierto se puede definir por(Muir, J):

- Proximidad a la costa mayor de 2 Km.
- La altura significativa $H_s = 5\text{m}$, o mayor; regularmente se registran oleajes tipo swell de entre 2-3 metros.
- No es posible el acceso en un 20 % de los casos, llegando a alcanzarse periodos de entre 3 y 10 días sin disponibilidad de llegar al área de cultivo.

Durante el periodo de realización del cultivo se ha realizado una monitorización de los parámetros principales de cultivo, como son la temperatura y el oxígeno. Además y debido a la naturaleza del proyecto se ha realizado un seguimiento de otros parámetros que influyen en el cultivo y en la evolución de las instalaciones, para comprobar y contrastar si realmente la zona se ajusta a esta y descripciones similares de una zona marítima expuesta.

8.1.- Evolución oceanográfica.

Se han desarrollado un año y dos meses de cultivo con éxito soportándose un total de 70 días con olas por encima de 1,5 metros (esta es la altura a partir de la cual el R.O.M. del MOPU considera como temporal esta zona). Los vientos han alcanzado los 135km/h y el oleaje máximo registrado ha sido de 5,5 metros; las corrientes máximas han alcanzado los 1,1 nudos. Es de destacar, no solo la magnitud de los picos de corriente y oleaje, sino también la alta frecuencia de observada en estos sucesos.

Se describirán a continuación mas detalladamente, los registros de corriente y oleaje observados, haciendo hincapié en la distribución de frecuencias ya que como veremos mas adelante esto limita en gran manera, y condiciona los trabajos, tanto a nivel de mantenimiento como de alimentación.

Los datos de oleaje han sido obtenidos diariamente de la boya de medición de oleaje que el Instituto Nacional de Meteorología posee en la Bahía de Cádiz con las coordenadas Latitud: $36^\circ 28.80'$, Longitud: $6^\circ 19.80'$.

Fecha	V viento (nudos)	V viento (Km/h)	Direcc. viento	H(max)	T
26-8-2002	24	44	W	1,7	
14-9-2002	25	46	S	1,8	
15-9-2002	27	50	S	1,6	
16-9-2002	29	54	S	2,2	
17-9-2002	37	69	S	2,5	
1-10-2002	33	61	SE	1,2	
19-10-2002	39	72	SE	1,6	
20-10-2002	30	56	SSW	2,6	
21-10-2002	27	50	SW	3,1	
14-11-2002	72	133	SW	4,2	7,2
19-11-2002	22	41	SW	2,4	
20-11-2002	24	44	W	2,6	
21-11-2002	19	35	SW	2,7	8
23-11-2002	18	33	W	2,6	6,4
24-11-2002	44	81	WSW	2,7	5,6
24-11-2002		0		3,6	6,3
24-11-2002		0		4	6,9
26-11-2002		0		1,9	7,1
9-12-2002	39	72	S	2,3	6,2
10-12-2002	27	50	WSW	2,9	6,8
13-12-2002	38	70	S	3	7,2
17-12-2002	30	56	SW	3,1	8,1
18-12-2002	30	55	S	3,6	7
19-12-2002		0		2,7	7,9
24-12-2002		0		2,9	8,5
27-12-2002	49	91	WSW	4,2	9,8
28-12-2002	22	41	NW	3,6	8,5
30-12-2002	20	37	W	2,4	7,7
31-12-2002		0		2,6	10,9
3-1-2003	18	33	W	2,2	7,8
4-1-2003	40	74	WSW	2,4	5,7
5-1-2003	22	41	NW	2,3	5,5
6-1-2003	35	64	SW	1,4	7,2
7-1-2003	25	46	W	2,4	5,7
8-1-2003	25	47	NW	2,5	5,6
9-1-2003	25	47	NW	2,6	5,7
12-1-2003	26	47	N	0,8	
19-1-2003	22		NW	2,9	5,9
20-1-2003	36		SW	2,5	5,6
21-1-2003	15	28	W	3,7	6,4
22-1-2003	30	56	WSW	1,9	6,7
4-2-2003	21	39	NW	3,2	10,2
10-2-2003	19	35	W	1,8	5,2
18-2-2003	22	41	NW	2,1	5,6
19-2-2003	34	63	W	3,2	6,2
21-2-2003	21	39	W	2,3	7,9
22-2-2003	28	52	W	3,2	7,7
23-2-2003	29	54	SE	2,7	8
24-2-2003	36	67	E	1,5	4,1
25-2-2003	22	41	W	2,3	5,2
26-2-2003	39	71	W	2,9	5,8

5-3-2003	25	46	SE	2	7,3
11-3-2003	35	65	E	2,1	5,8
12-3-2003	33	61	E	1,5	5
16-3-2003	47	87	E	1,6	3,9
17-3-2003	51	94	E	2,3	4,5
27-3-2003	22	41		1,8	4,8
28-3-2003		0		1,7	5,7
29-3-2003	18	33		2,1	5,1
30-3-2003	21	39		2,9	6,2
13-4-2003	34	63	SW	4,4	8,3
14-4-2003	22	41	W	5,5	8,9
15-4-2003	19	35	W	2,4	6
19-4-2003	23	43	NW	1,7	4,6
20-4-2003	16	30	NW	2,2	4,8
22-4-2003	32	59	W	4	7,3
23-4-2003	17	31	W	3,1	6,3
25-5-2003	25	46	W	1,6	4,6
28-5-2003	38	70	ENE	1,5	3,9

Figura 1. Registro de oleaje durante el periodo de cultivo. H max: Altura máxima de oleaje registrado, T: corresponde al periodo de esta altura máxima. Solo se han registrado en esta tabla los valores de oleaje que exceden los 1,5 metros, independientemente de la fuerza que el viento haya alcanzado; por lo que existen días con gran fuerza de viento, preferentemente en temporales de levante, que no quedan reflejados en esta tabla. El número de días totales en los que no se pudo llegar a la concesión fue de 81.

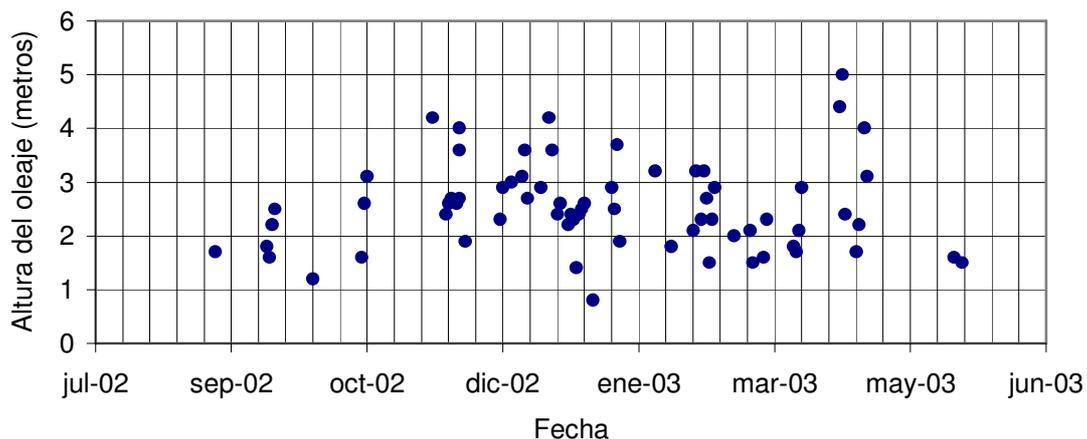


Figura 2. Evolución de la altura del oleaje a lo largo del período de cultivo.

En la figura 2 se puede ver claramente como los meses mas duros corresponden a la época comprendida entre los meses de noviembre y abril.

Además se ha realizado un seguimiento de las corrientes mediante el fondeo de un correntímetro RCM 9, este aparato ha estado fondeando un periodo total de 5 meses, que se corresponden con un periodo de 3 meses en Abril-Mayo-Junio del 2002, y un periodo de 2 meses en Febrero-Marzo 2003. La corriente máxima registrada por este correntímetro fue de 48 cm/seg.

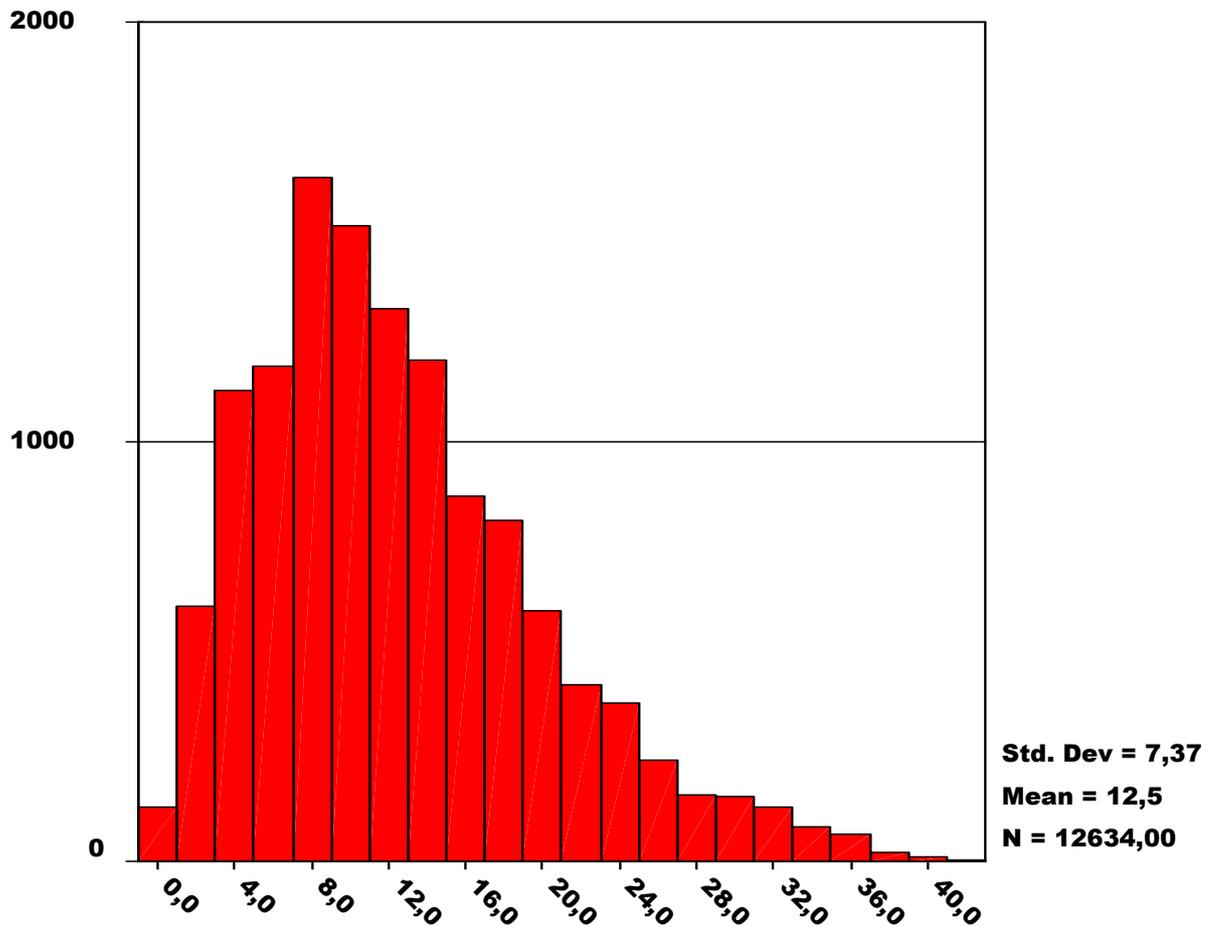


Figura 3. Frecuencia para cada una de las velocidades de corriente observadas mediante u correntímetro RCM9 durante los meses de abril-mayo-junio 2002 y febrero-marzo 2003. Velocidad en (cm/seg), frecuencia en numero de casos. La media de corriente observada es de 12,5 cm/seg.

En esta grafica podemos ver como las corrientes mas frecuentes oscilan entre los 2 y los 20 cm/seg.

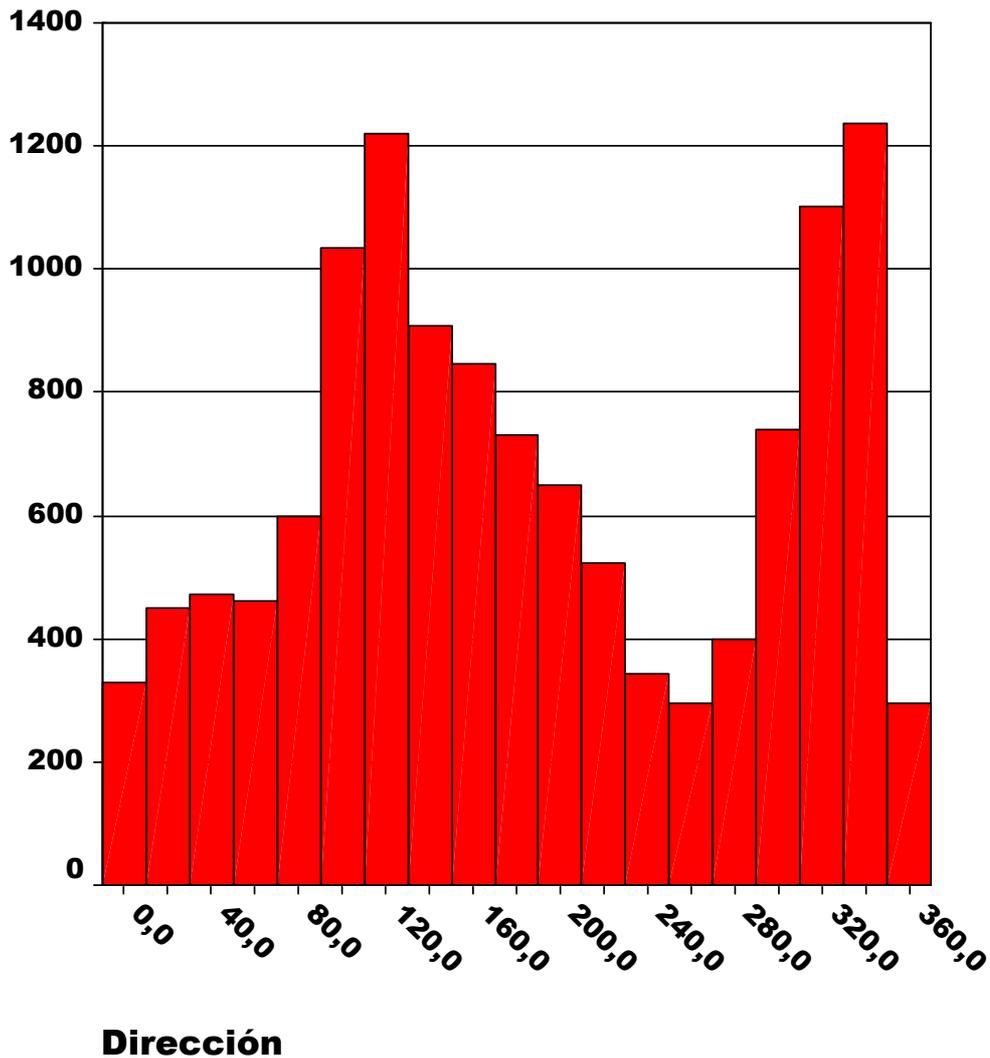


Figura 4. Se representa la frecuencia de cada una de las direcciones de corriente, en numero de casos, en los meses mencionados. Se puede observar en ella como las dos direcciones predominantes son la 120º y el 320º. Estas mediciones coinciden con las observaciones visuales de los operarios, apreciándose además una clara periodicidad con reparos cada 6 horas. Por todo esto se puede concluir que la principal componente en el análisis de las corrientes en la zona es mareal, este hecho ya fue constatado por Sánchez la Madrid et al. (Bahía de Cádiz: Protección de los Recursos Naturales Pesqueros y Aplicaciones para Instalaciones Acuícolas, 2001). Las direcciones de la corriente, como se puede observar, corresponden a dos sentidos prácticamente opuestos y con frecuencias máximas similares.

8.2.-Interacción física del medio con las estructuras.

Estas extremas situaciones, descritas en el apartado anterior, provocaron pequeños problemas en las instalaciones que se han ido solucionando con una atención y mantenimiento exhaustivos; estos problemas son analizados con mayor profundidad en el apartado 9 evolución de las instalaciones. En todo caso no se han detectado aperturas en la red que permitan la fuga de peces.

8.2.1.-Interacción de las corrientes con las estructuras.

Las corrientes se han manifestado como un factor de al menos igual importancia que el oleaje. Las fuerzas producidas por la corriente en un panel de red, se denominan fuerzas de arrastre y fueron descritas por Loland(1993), de la siguiente forma:

$$dFD = 1/2 d CD (\alpha) U^2 dA$$

CD =coeficiente de arrastre(esta en función de α)

α = ángulo entre la dirección del flujo y el ángulo normal a la red

U = velocidad de la corriente

d = densidad del agua

dA = superficie de la red

Como podemos, deducir de esta formula, la fuerza de arrastre es directamente proporcional a la velocidad de la corriente, a la superficie de la red. Estas dos son las principales variables que manejamos, la primera, velocidad de la corriente vendrá condicionada por la situación oceanográfica. Mientras que la segunda, superficie de la red, estará determinada por el tamaño de malla elegido y por la cantidad de fouling que acumule la red. Es necesario tener en cuenta que las fuerzas de arrastre aumentan con el cuadrado de la velocidad de la corriente por lo que un pequeño aumento en la corriente producirá unos grandes incrementos.

Otro factor a tener en cuenta al analizar la importancia de la corriente, es si la corriente esta originada directamente por el viento, o si por el contrario es de origen oceanográfico. Una corriente de originada por el viento tendrá un perfil clásico de disminución con la profundidad, mientras que una corriente

oceanográfica no tiene porque presentar este perfil y puede ser constante en la columna de agua en dirección y intensidad.

En estas dos gráficas podemos observar claramente, los dos tipos de perfil de corriente. Los datos están obtenidos mediante un perfilador de corrientes Doppler en el área de la concesión dos días diferentes, uno con condiciones de viento duras y otro con un viento en calma.

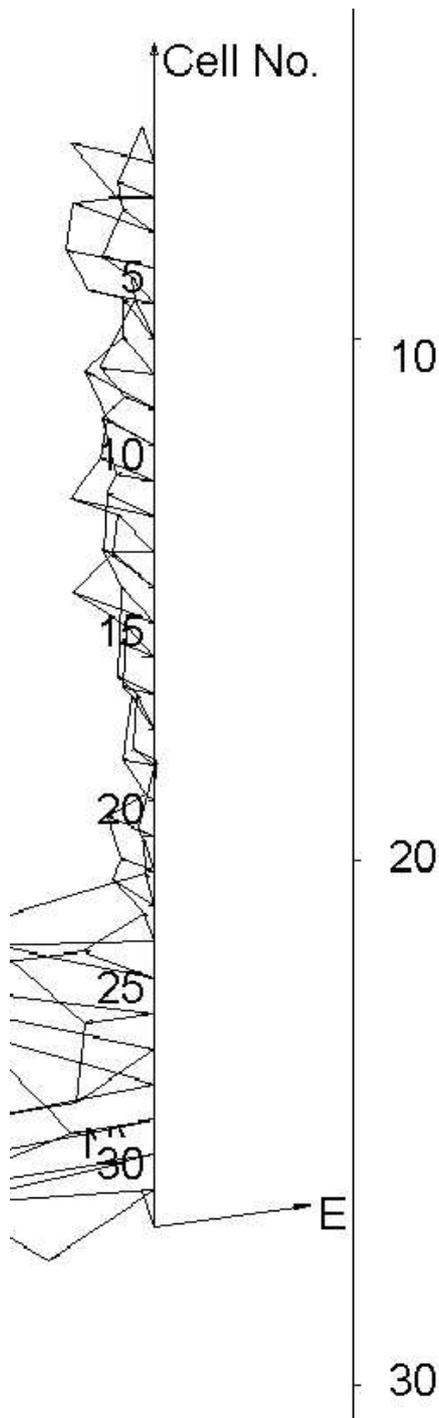


Figura 5. Perfil de corriente oceanográfica.

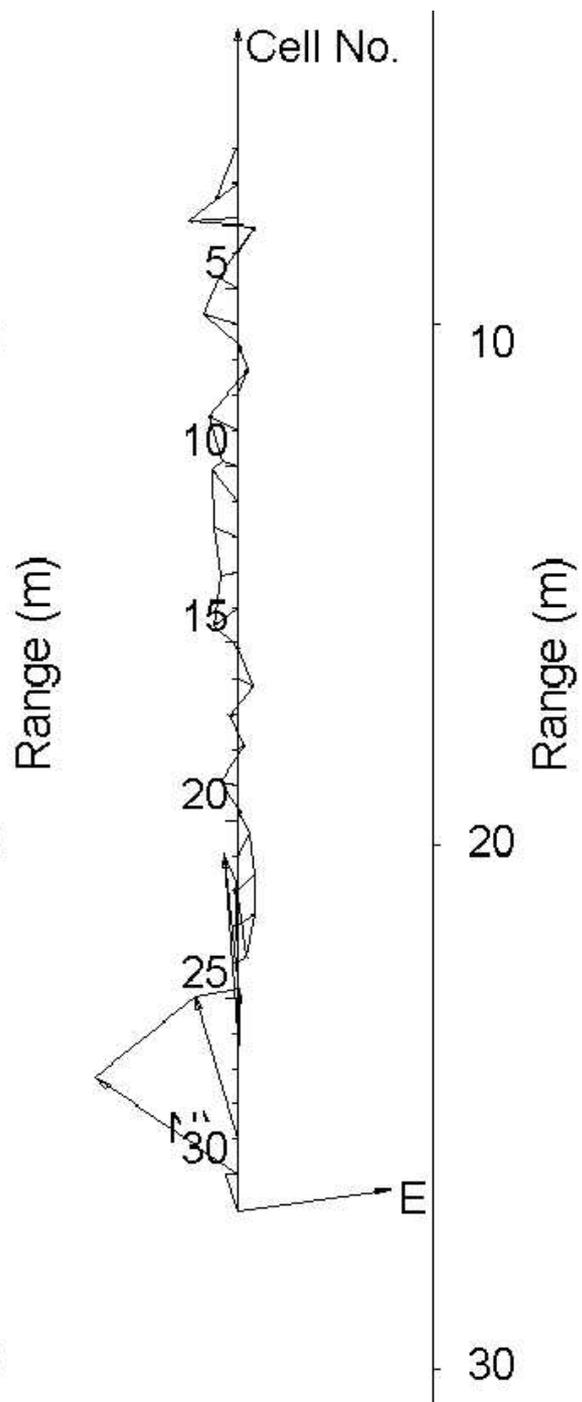


Figura 6. Perfil de corriente originada por el viento.

Los valores anómalos visualizados a partir de los 25 metros corresponden a la distorsión de la señal producida por el lecho marino y carecen de relevancia. En la figura 6, además podemos el efecto del transporte de Ekman, el cual produce un giro en la dirección de la corriente al aumentar la profundidad.

En Julio del 2003 se detectaron corrientes importantes en la zona, así se tomaron medidas en las jaulas mediante un “Perfilador de corrientes Doppler” (ADP), el resultado de estas medidas fue de una velocidad de corriente máxima de 61cm/seg. Los tamaños de malla utilizados en las tres jaulas de cultivo, son similares y cercanos a los 25mm al final del cultivo, como se ha descrito en el apartado 5 descripción y selección de las instalaciones. Con el fin de caracterizar la interferencia de la corriente con las estructuras se realizaron una serie de pruebas usando el ADP, colocándolo delante y detrás de las estructuras durante un tiempo de unos 10 minutos. En la figura 7 hemos representado el tanto por ciento de la corriente que absorbe cada jaula. Los valores negativos indican aceleraciones de la corriente tras pasar por la jaula, y coinciden con los contornos de la jaula. Los resultados muestran valores altísimos de absorción que en el caso de corelsa llegan a un, máximo de 72% a 3 metros, en el caso de Refa un máximo de 50% a 20 metros y en el caso de la sea station un máximo de un 63% a 18metros de profundidad.

Profundidad (metros)	CORELSA %	REFA %	SEA STATION%
1	69	18	-5
2	68	36	-12
3	72	34	2
4	61	39	-1
5	68	25	-10
6	52	22	-9
7	47	27	-26
8	50	32	7
9	30	34	1
10	5	27	10
11	14	34	2
12	-9	26	4
13	7	41	25
14	7	20	34
15	3	26	37
16	19	33	42
17	12	42	53
18	-6	35	63
19	18	37	55
20	2	50	58
21	-9	22	42
22	-11	31	52
23	-5	25	38
24	-13	-18	17
25	4	-6	21
26	-4	-7	-6
27	26	0	-6
28	-23	-18	-38
29	58	41	47

Figura 7. Absorción producida por las distintas estructuras de cultivo.

Si nos fijamos en cada estructura entenderemos estos valores:

- Corelsa. El anillo anticorriente se elevó a superficie, a unos 3 metros, produciendo una disminución del volumen del cultivo cercana al 30%. Se produjo una extrema deformación de la estructura de superficie, sin llegar a

producirse daños. Los soportes verticales de la estructura fueron reforzados con tensores y cabos para evitar el abatimiento, además se tensó la red de los amarres de superficie para descargar tensión de la barandilla. En el caso corelsa vemos como los 3 metros coinciden con la profundidad a la que asciende el anillo anticorriente, produciéndose además un efecto vela en la red que aumenta la absorción. Esta zona coincide con la zona donde más problemas se detectan.

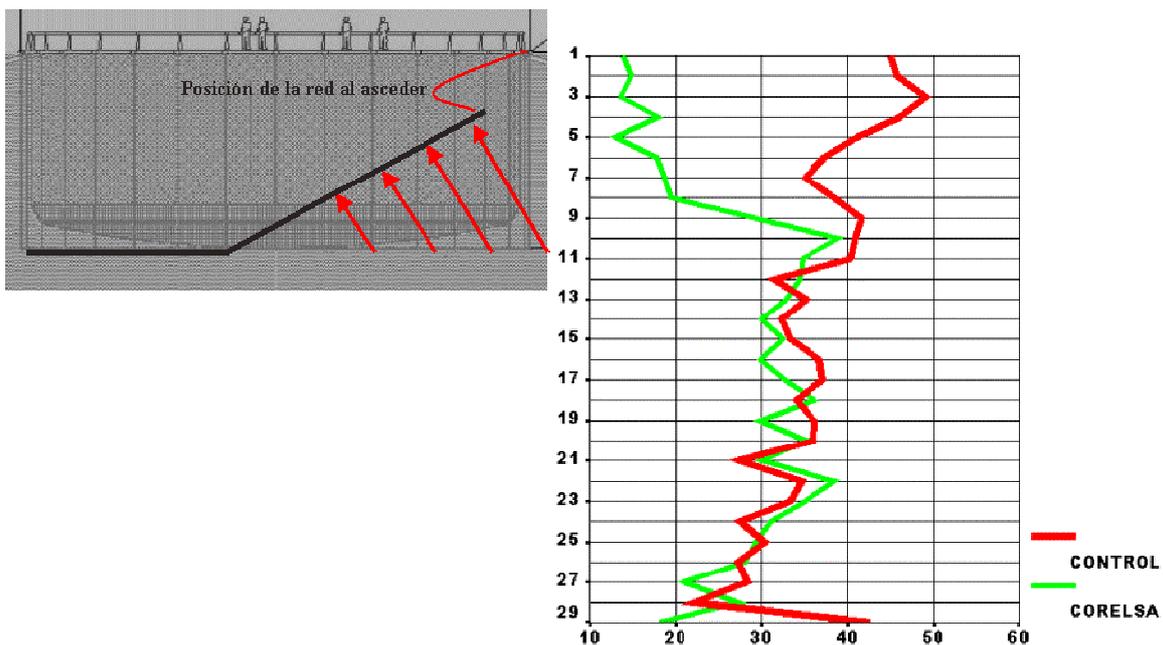


Figura 8. Interferencia de las corrientes con la jaula Corelsa.

- Refa. En el caso de Refa los máximos de absorción están mas dispersos debido a la forma que adquiere la estructura. El máximo coincide con la situación de la parte mas profunda de la red.

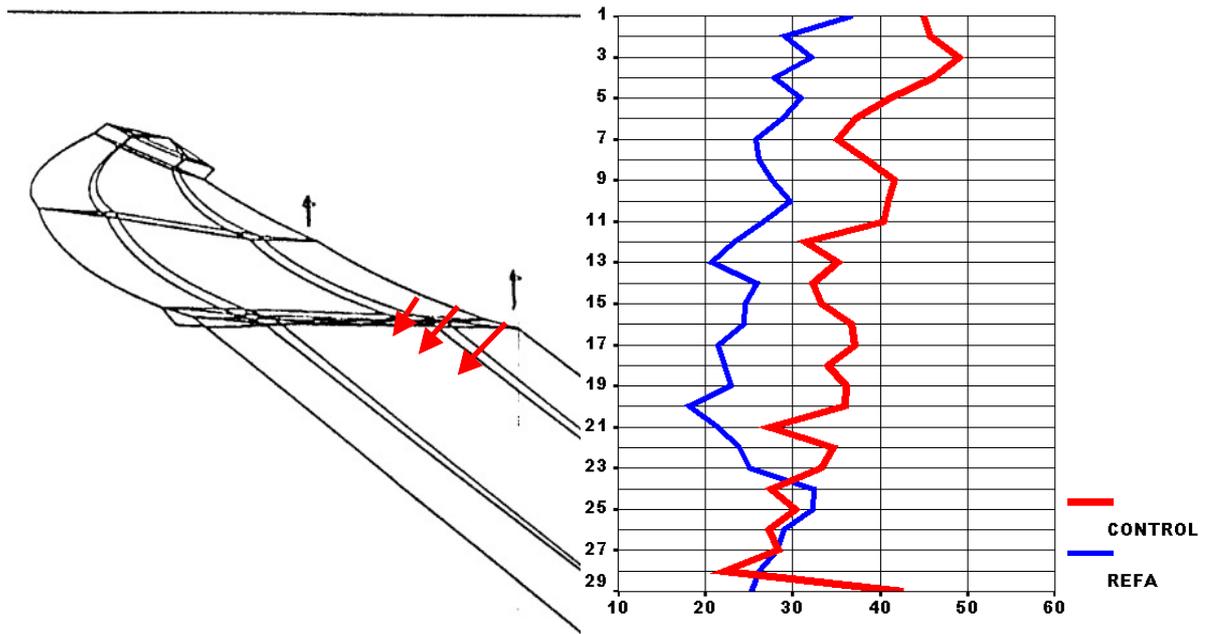


Figura 9. Interferencia de las corrientes con la jaula Refa.

•Ocean Spar. En el caso de la Sea station el los 18 metros coinciden con la profundidad a la que se encuentra el anillo exterior. Donde además existe una zona plana de la red, que es la zona más sensible de la estructura.

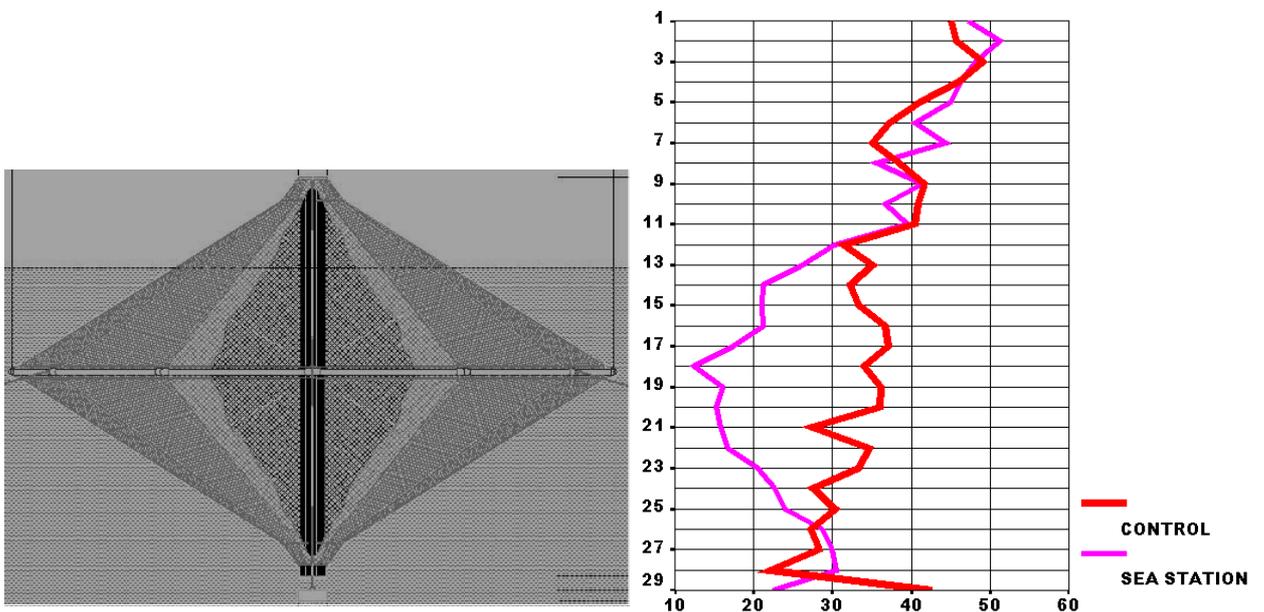


Figura 9. Interferencia de las corrientes con la jaula Sea Station.

Otra de las restricciones ocasionadas por las corrientes, esta en relación con operaciones de mantenimiento delicadas, tales como cambios de red. A este respecto debemos mencionar que se debieron cancelar cambios de red

con corrientes superiores a 35 cm/seg; debido a que la imposibilidad de soltar la red del anillo anticorriente en la jaula tipo Corelsa, ya que en este momento se produce un atrapamiento de los peces. Este hecho, nos hace considerar, la importancia de realizar el menor número de operaciones de este tipo, ya sean, cambios de red, trasvases de peces, etc.

8.2.2.- Interacción de las estructuras con el oleaje.

Las olas son producidas por la acción de fricción del viento durante una superficie determinada. Así, el tamaño de la ola está determinado por la velocidad del viento, el periodo de tiempo que este viento está soplando, y la distancia a lo largo de la cual está soplando (Bascom, 1964). El tamaño de las olas irá variando desde olas pequeño tamaño, y corto periodo en el área de generación a mayores alturas y periodos a medida que aumentan los tres parámetros antes definidos.

Un estado de la mar es comúnmente descrito como un espectro de oleaje. El espectro, describe la distribución de energía a diferentes longitudes de onda en un estado de la mar irregular. A modo informativo, ya que no es el objetivo de este trabajo el realizar una descripción exhaustiva, diremos que el espectro más utilizado es el de Pierson Moskovic que se describe como:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{1}{\omega} * 173 * \frac{H_s^2}{T_a^4} * e^{-\frac{691}{T_a^4 * \omega^4}}$$

La elevación de la ola, la velocidad y la aceleración, dependerán de la profundidad y se calculan a partir de la fórmula anteriormente descrita.

Generalmente podemos decir que el movimiento generado por el oleaje desciende exponencialmente con la profundidad, desde la superficie, y se reduce a cero a una profundidad correspondiente a la mitad de la longitud de onda del oleaje.

En base a esto las estructuras que se encuentran en superficie soportarán en mayor medida los embates del oleaje. Además en una estructura flotante, la parte que más sufre es sin duda la conexión de la red con la superficie, ya que la red tiende a seguir el movimiento del oleaje con una

inercia condicionada por su masa, y la estructura flotante sustentante reacciona al oleaje con una inercia diferente motivada por su diferente masa y capacidad de flotación. Esta situación provoca en algunos casos, auténticas catástrofes en los amarres de superficie de la red, al producirse desfases entre los movimientos de una y otra estructura.

El efecto descrito es el que se produce en jaulas flotantes de gran envergadura como son las tipo Corelsa, por esto para paliarlo se implementaron soluciones como la colocación de un collar de boyas de amortiguación en superficie. Otra opción, para atenuar este efecto es mantener los amarres de superficie algo mas sueltos de los normal, de forma que se transfiere algo mas de la tensión que transmite la red a la barandilla; esto tiene el inconveniente de que en situaciones de corrientes fuertes los soportes deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el abatimiento, o no permitir que se produzca. Para concluir, diremos que la tensión en el punto de amarre de superficie debe ser la justa. Esta solución ha sido la implementada por este proyecto, y a través de la cual se han soportado temporales como los anteriormente descritos sin experimentar él más mínimo daño o rotura de la red en sus amarres superficiales.

La contraposición de fuerzas de inercia entre red y estructura flotante, se ve drásticamente reducido en el caso de Refa, al poseer la estructura flotante unas dimensiones muy reducidas en cuanto peso y volumen.

El modelo Ocean Spar , sin embargo basa su principio de acción en la tensión de la red, y la unión de la red con la estructura en superficie se realiza mediante cabos.

8.- Seguimiento oceanográfico del medio y de los parámetros de cultivo.

El cultivo de peces en mar abierto, posee particularidades oceanográficas y ambientales con respecto al clásico cultivo en jaulas en zonas confinadas. Así una situación de cultivo tipo en mar abierto se puede definir por(Muir, J):

- Proximidad a la costa mayor de 2 Km.
- La altura significativa $H_s = 5\text{m}$, o mayor; regularmente se registran oleajes tipo swell de entre 2-3 metros.
- No es posible el acceso en un 20 % de los casos, llegando a alcanzarse periodos de entre 3 y 10 días sin disponibilidad de llegar al área de cultivo.

Durante el periodo de realización del cultivo se ha realizado una monitorización de los parámetros principales de cultivo, como son la temperatura y el oxígeno. Además y debido a la naturaleza del proyecto se ha realizado un seguimiento de otros parámetros que influyen en el cultivo y en la evolución de las instalaciones, para comprobar y contrastar si realmente la zona se ajusta a esta y descripciones similares de una zona marítima expuesta.

8.1.- Evolución oceanográfica.

Se han desarrollado un año y dos meses de cultivo con éxito soportándose un total de 70 días con olas por encima de 1,5 metros (esta es la altura a partir de la cual el R.O.M. del MOPU considera como temporal esta zona). Los vientos han alcanzado los 135km/h y el oleaje máximo registrado ha sido de 5,5 metros; las corrientes máximas han alcanzado los 1,1 nudos. Es de destacar, no solo la magnitud de los picos de corriente y oleaje, sino también la alta frecuencia de observada en estos sucesos.

Se describirán a continuación mas detalladamente, los registros de corriente y oleaje observados, haciendo hincapié en la distribución de frecuencias ya que como veremos mas adelante esto limita en gran manera, y condiciona los trabajos, tanto a nivel de mantenimiento como de alimentación.

Los datos de oleaje han sido obtenidos diariamente de la boya de medición de oleaje que el Instituto Nacional de Meteorología posee en la Bahía de Cádiz con las coordenadas Latitud: $36^\circ 28.80'$, Longitud: $6^\circ 19.80'$.

Fecha	V viento (nudos)	V viento (Km/h)	Direcc. viento	H(max)	T
26-8-2002	24	44	W	1,7	
14-9-2002	25	46	S	1,8	
15-9-2002	27	50	S	1,6	
16-9-2002	29	54	S	2,2	
17-9-2002	37	69	S	2,5	
1-10-2002	33	61	SE	1,2	
19-10-2002	39	72	SE	1,6	
20-10-2002	30	56	SSW	2,6	
21-10-2002	27	50	SW	3,1	
14-11-2002	72	133	SW	4,2	7,2
19-11-2002	22	41	SW	2,4	
20-11-2002	24	44	W	2,6	
21-11-2002	19	35	SW	2,7	8
23-11-2002	18	33	W	2,6	6,4
24-11-2002	44	81	WSW	2,7	5,6
24-11-2002		0		3,6	6,3
24-11-2002		0		4	6,9
26-11-2002		0		1,9	7,1
9-12-2002	39	72	S	2,3	6,2
10-12-2002	27	50	WSW	2,9	6,8
13-12-2002	38	70	S	3	7,2
17-12-2002	30	56	SW	3,1	8,1
18-12-2002	30	55	S	3,6	7
19-12-2002		0		2,7	7,9
24-12-2002		0		2,9	8,5
27-12-2002	49	91	WSW	4,2	9,8
28-12-2002	22	41	NW	3,6	8,5
30-12-2002	20	37	W	2,4	7,7
31-12-2002		0		2,6	10,9
3-1-2003	18	33	W	2,2	7,8
4-1-2003	40	74	WSW	2,4	5,7
5-1-2003	22	41	NW	2,3	5,5
6-1-2003	35	64	SW	1,4	7,2
7-1-2003	25	46	W	2,4	5,7
8-1-2003	25	47	NW	2,5	5,6
9-1-2003	25	47	NW	2,6	5,7
12-1-2003	26	47	N	0,8	
19-1-2003	22		NW	2,9	5,9
20-1-2003	36		SW	2,5	5,6
21-1-2003	15	28	W	3,7	6,4
22-1-2003	30	56	WSW	1,9	6,7
4-2-2003	21	39	NW	3,2	10,2
10-2-2003	19	35	W	1,8	5,2
18-2-2003	22	41	NW	2,1	5,6
19-2-2003	34	63	W	3,2	6,2
21-2-2003	21	39	W	2,3	7,9
22-2-2003	28	52	W	3,2	7,7
23-2-2003	29	54	SE	2,7	8
24-2-2003	36	67	E	1,5	4,1
25-2-2003	22	41	W	2,3	5,2
26-2-2003	39	71	W	2,9	5,8

5-3-2003	25	46	SE	2	7,3
11-3-2003	35	65	E	2,1	5,8
12-3-2003	33	61	E	1,5	5
16-3-2003	47	87	E	1,6	3,9
17-3-2003	51	94	E	2,3	4,5
27-3-2003	22	41		1,8	4,8
28-3-2003		0		1,7	5,7
29-3-2003	18	33		2,1	5,1
30-3-2003	21	39		2,9	6,2
13-4-2003	34	63	SW	4,4	8,3
14-4-2003	22	41	W	5,5	8,9
15-4-2003	19	35	W	2,4	6
19-4-2003	23	43	NW	1,7	4,6
20-4-2003	16	30	NW	2,2	4,8
22-4-2003	32	59	W	4	7,3
23-4-2003	17	31	W	3,1	6,3
25-5-2003	25	46	W	1,6	4,6
28-5-2003	38	70	ENE	1,5	3,9

Figura 1. Registro de oleaje durante el periodo de cultivo. H max: Altura máxima de oleaje registrado, T: corresponde al periodo de esta altura máxima. Solo se han registrado en esta tabla los valores de oleaje que exceden los 1,5 metros, independientemente de la fuerza que el viento haya alcanzado; por lo que existen días con gran fuerza de viento, preferentemente en temporales de levante, que no quedan reflejados en esta tabla. El número de días totales en los que no se pudo llegar a la concesión fue de 81.

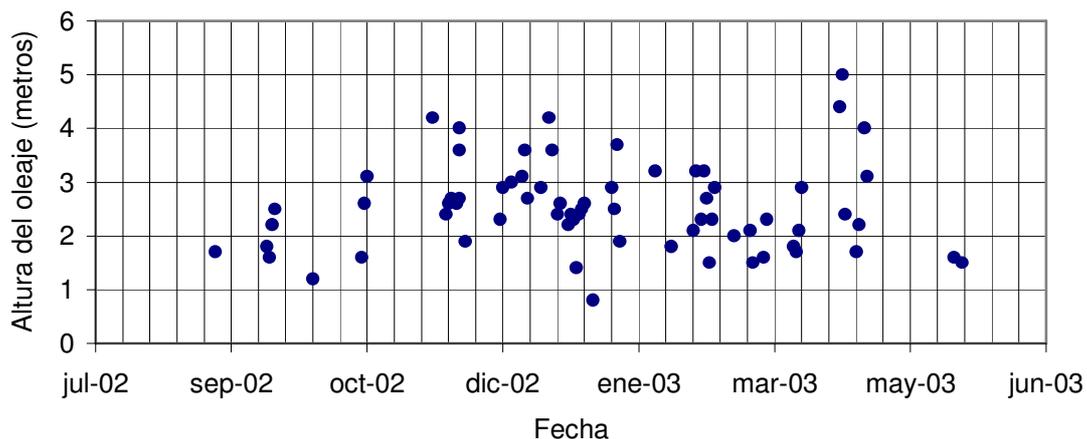


Figura 2. Evolución de la altura del oleaje a lo largo del período de cultivo.

En la figura 2 se puede ver claramente como los meses mas duros corresponden a la época comprendida entre los meses de noviembre y abril.

Además se ha realizado un seguimiento de las corrientes mediante el fondeo de un correntímetro RCM 9, este aparato ha estado fondeando un periodo total de 5 meses, que se corresponden con un periodo de 3 meses en Abril-Mayo-Junio del 2002, y un periodo de 2 meses en Febrero-Marzo 2003. La corriente máxima registrada por este correntímetro fue de 48 cm/seg.

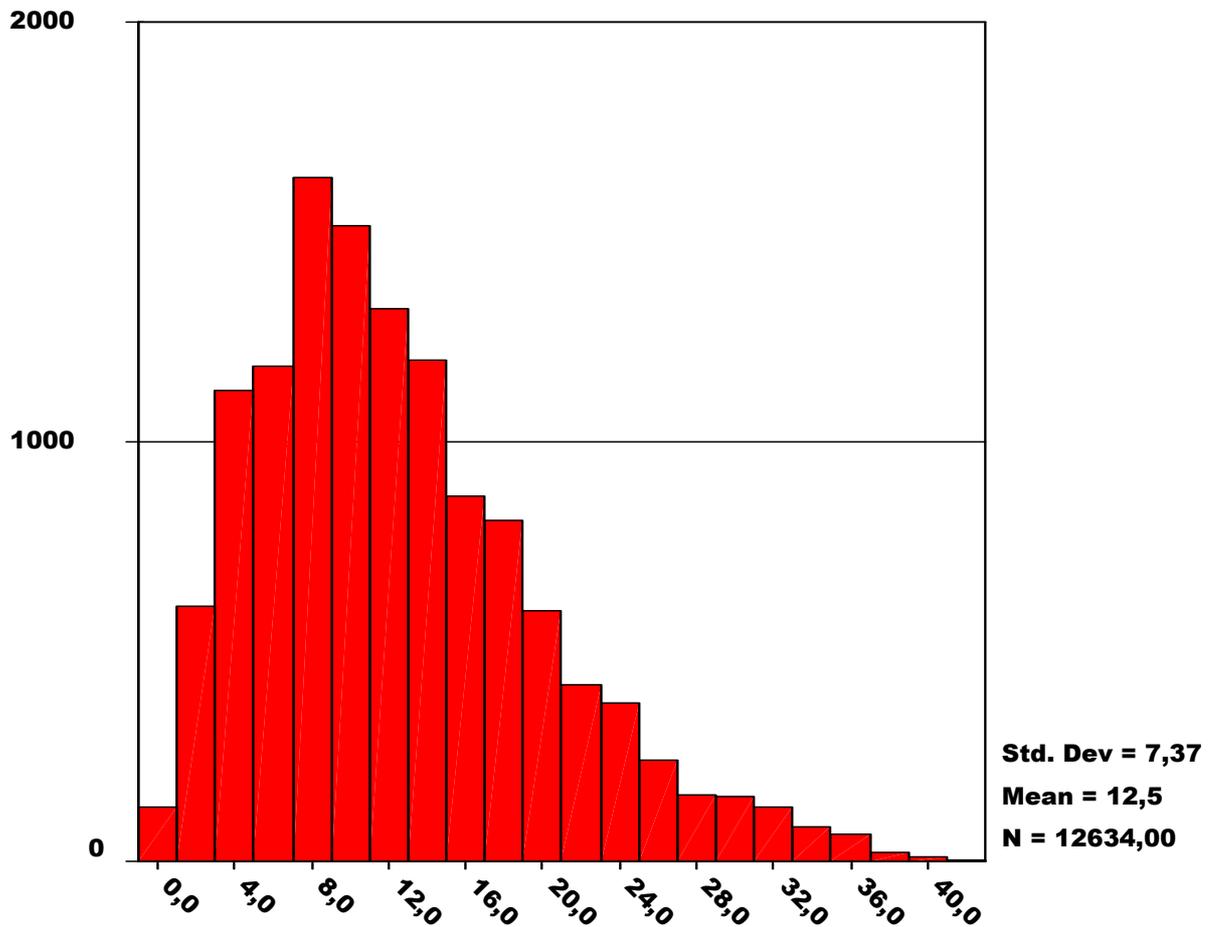


Figura 3. Frecuencia para cada una de las velocidades de corriente observadas mediante u correntímetro RCM9 durante los meses de abril-mayo-junio 2002 y febrero-marzo 2003. Velocidad en (cm/seg), frecuencia en numero de casos. La media de corriente observada es de 12,5 cm/seg.

En esta grafica podemos ver como las corrientes mas frecuentes oscilan entre los 2 y los 20 cm/seg.

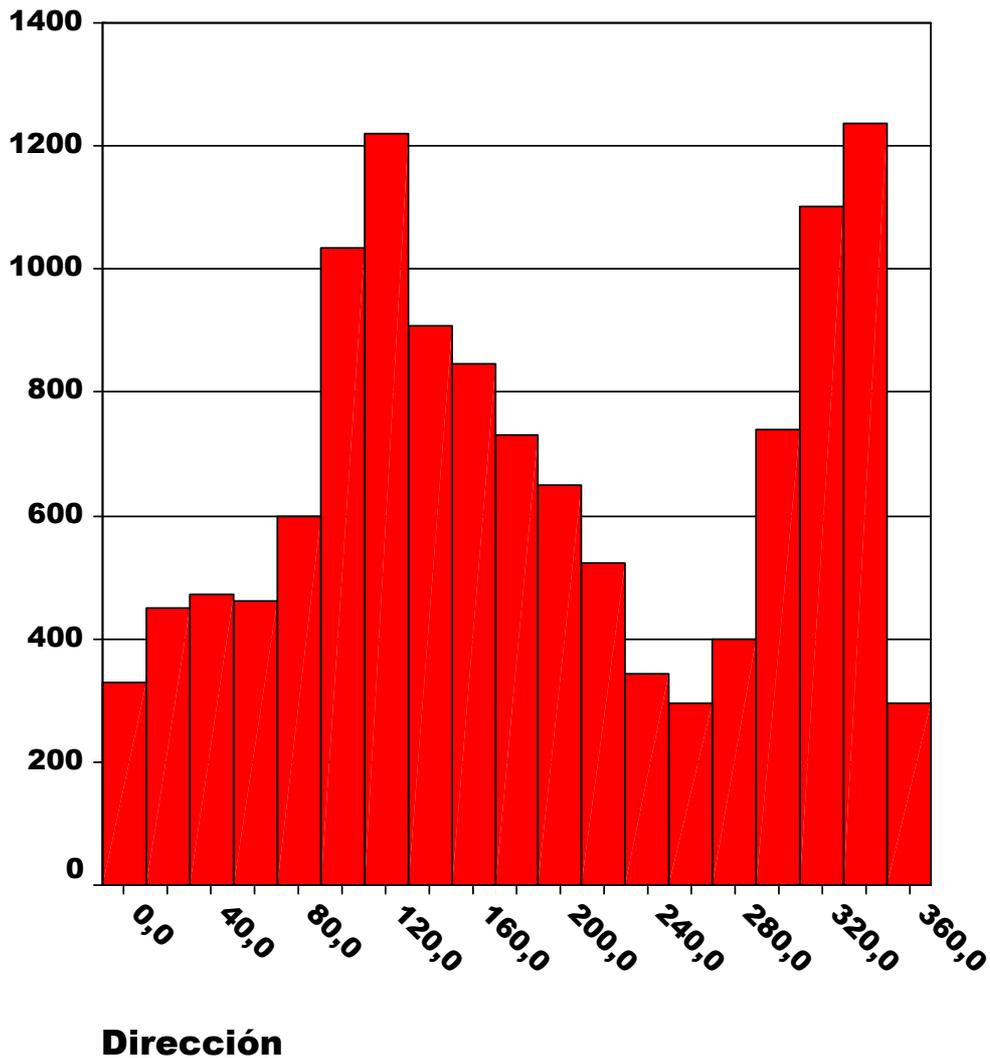


Figura 4. Se representa la frecuencia de cada una de las direcciones de corriente, en numero de casos, en los meses mencionados. Se puede observar en ella como las dos direcciones predominantes son la 120º y el 320º. Estas mediciones coinciden con las observaciones visuales de los operarios, apreciándose además una clara periodicidad con reparos cada 6 horas. Por todo esto se puede concluir que la principal componente en el análisis de las corrientes en la zona es mareal, este hecho ya fue constatado por Sánchez la Madrid et al. (Bahía de Cádiz: Protección de los Recursos Naturales Pesqueros y Aplicaciones para Instalaciones Acuícolas, 2001). Las direcciones de la corriente, como se puede observar, corresponden a dos sentidos prácticamente opuestos y con frecuencias máximas similares.

8.2.-Interacción física del medio con las estructuras.

Estas extremas situaciones, descritas en el apartado anterior, provocaron pequeños problemas en las instalaciones que se han ido solucionando con una atención y mantenimiento exhaustivos; estos problemas son analizados con mayor profundidad en el apartado 9 evolución de las instalaciones. En todo caso no se han detectado aperturas en la red que permitan la fuga de peces.

8.2.1.-Interacción de las corrientes con las estructuras.

Las corrientes se han manifestado como un factor de al menos igual importancia que el oleaje. Las fuerzas producidas por la corriente en un panel de red, se denominan fuerzas de arrastre y fueron descritas por Loland(1993), de la siguiente forma:

$$dFD = 1/2 d CD (\alpha) U^2 dA$$

CD =coeficiente de arrastre(esta en función de α)

α = ángulo entre la dirección del flujo y el ángulo normal a la red

U = velocidad de la corriente

d = densidad del agua

dA = superficie de la red

Como podemos, deducir de esta formula, la fuerza de arrastre es directamente proporcional a la velocidad de la corriente, a la superficie de la red. Estas dos son las principales variables que manejamos, la primera, velocidad de la corriente vendrá condicionada por la situación oceanográfica. Mientras que la segunda, superficie de la red, estará determinada por el tamaño de malla elegido y por la cantidad de fouling que acumule la red. Es necesario tener en cuenta que las fuerzas de arrastre aumentan con el cuadrado de la velocidad de la corriente por lo que un pequeño aumento en la corriente producirá unos grandes incrementos.

Otro factor a tener en cuenta al analizar la importancia de la corriente, es si la corriente esta originada directamente por el viento, o si por el contrario es de origen oceanográfico. Una corriente de originada por el viento tendrá un perfil clásico de disminución con la profundidad, mientras que una corriente

oceanográfica no tiene porque presentar este perfil y puede ser constante en la columna de agua en dirección y intensidad.

En estas dos gráficas podemos observar claramente, los dos tipos de perfil de corriente. Los datos están obtenidos mediante un perfilador de corrientes Doppler en el área de la concesión dos días diferentes, uno con condiciones de viento duras y otro con un viento en calma.

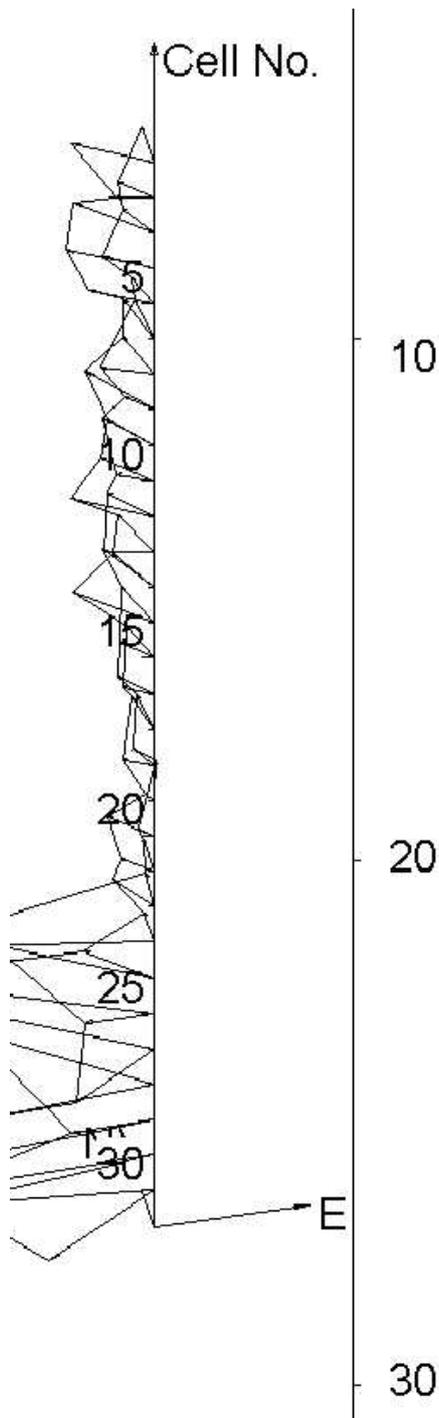


Figura 5. Perfil de corriente oceanográfica.

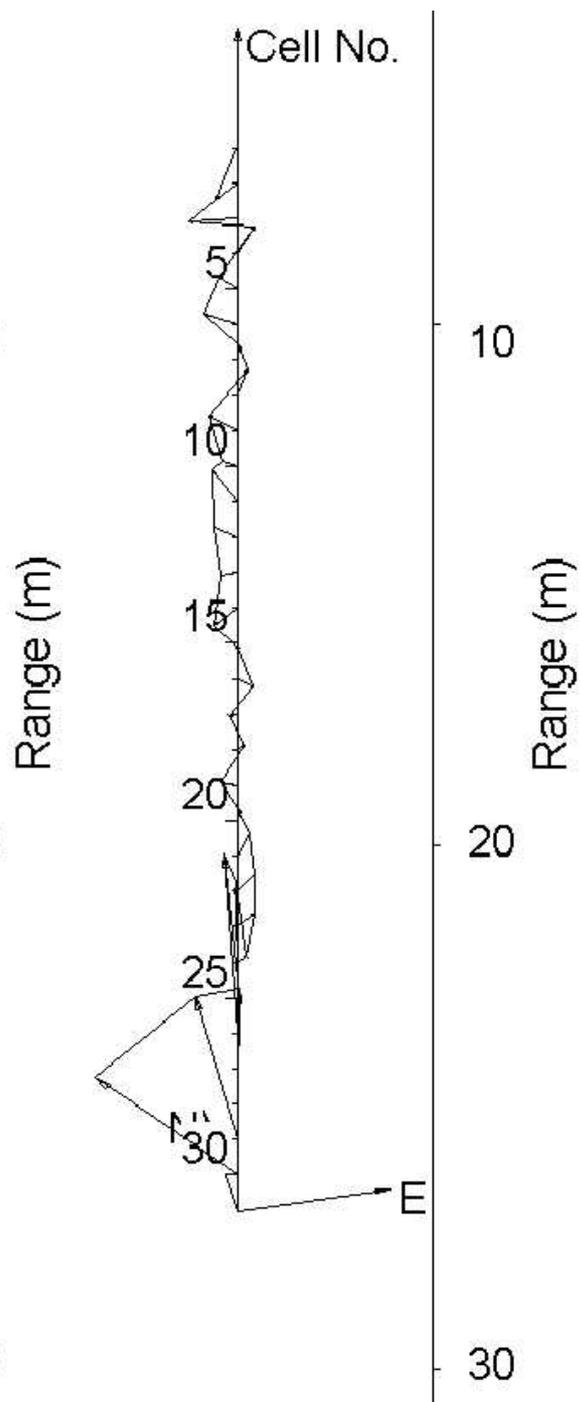


Figura 6. Perfil de corriente originada por el viento.

Los valores anómalos visualizados a partir de los 25 metros corresponden a la distorsión de la señal producida por el lecho marino y carecen de relevancia. En la figura 6, además podemos el efecto del transporte de Ekman, el cual produce un giro en la dirección de la corriente al aumentar la profundidad.

En Julio del 2003 se detectaron corrientes importantes en la zona, así se tomaron medidas en las jaulas mediante un “Perfilador de corrientes Doppler” (ADP), el resultado de estas medidas fue de una velocidad de corriente máxima de 61cm/seg. Los tamaños de malla utilizados en las tres jaulas de cultivo, son similares y cercanos a los 25mm al final del cultivo, como se ha descrito en el apartado 5 descripción y selección de las instalaciones. Con el fin de caracterizar la interferencia de la corriente con las estructuras se realizaron una serie de pruebas usando el ADP, colocándolo delante y detrás de las estructuras durante un tiempo de unos 10 minutos. En la figura 7 hemos representado el tanto por ciento de la corriente que absorbe cada jaula. Los valores negativos indican aceleraciones de la corriente tras pasar por la jaula, y coinciden con los contornos de la jaula. Los resultados muestran valores altísimos de absorción que en el caso de corelsa llegan a un, máximo de 72% a 3 metros, en el caso de Refa un máximo de 50% a 20 metros y en el caso de la sea station un máximo de un 63% a 18metros de profundidad.

Profundidad (metros)	CORELSA %	REFA %	SEA STATION%
1	69	18	-5
2	68	36	-12
3	72	34	2
4	61	39	-1
5	68	25	-10
6	52	22	-9
7	47	27	-26
8	50	32	7
9	30	34	1
10	5	27	10
11	14	34	2
12	-9	26	4
13	7	41	25
14	7	20	34
15	3	26	37
16	19	33	42
17	12	42	53
18	-6	35	63
19	18	37	55
20	2	50	58
21	-9	22	42
22	-11	31	52
23	-5	25	38
24	-13	-18	17
25	4	-6	21
26	-4	-7	-6
27	26	0	-6
28	-23	-18	-38
29	58	41	47

Figura 7. Absorción producida por las distintas estructuras de cultivo.

Si nos fijamos en cada estructura entenderemos estos valores:

- Corelsa. El anillo anticorriente se elevó a superficie, a unos 3 metros, produciendo una disminución del volumen del cultivo cercana al 30%. Se produjo una extrema deformación de la estructura de superficie, sin llegar a

producirse daños. Los soportes verticales de la estructura fueron reforzados con tensores y cabos para evitar el abatimiento, además se tensó la red de los amarres de superficie para descargar tensión de la barandilla. En el caso corelsa vemos como los 3 metros coinciden con la profundidad a la que asciende el anillo anticorriente, produciéndose además un efecto vela en la red que aumenta la absorción. Esta zona coincide con la zona donde más problemas se detectan.

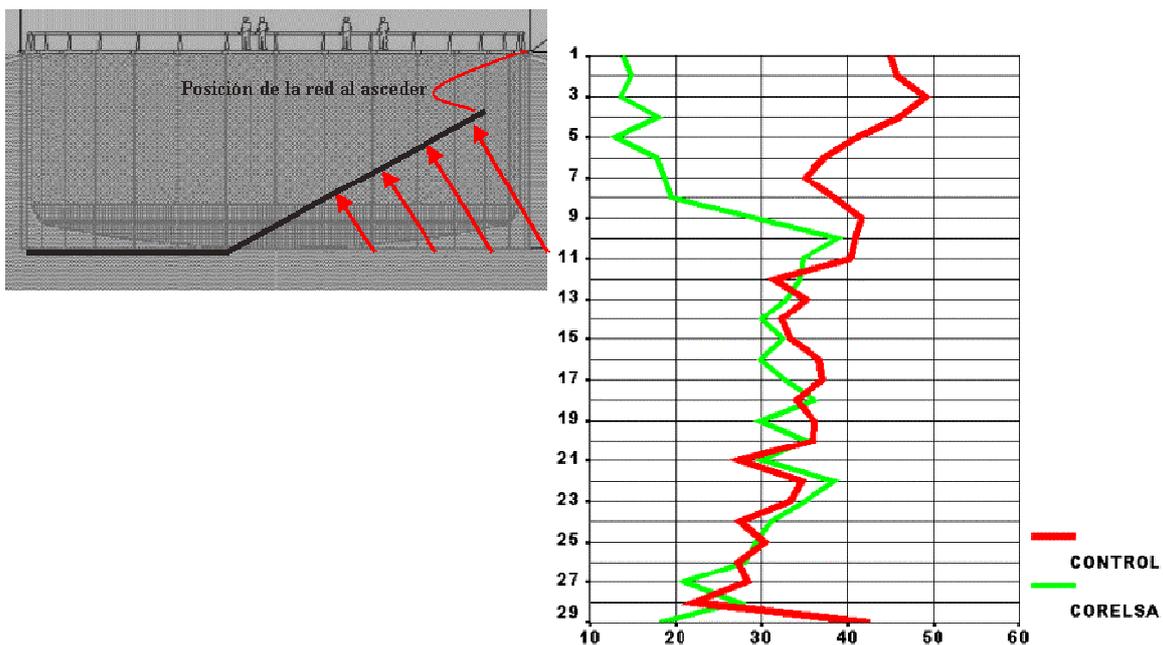


Figura 8. Interferencia de las corrientes con la jaula Corelsa.

- Refa. En el caso de Refa los máximos de absorción están mas dispersos debido a la forma que adquiere la estructura. El máximo coincide con la situación de la parte mas profunda de la red.

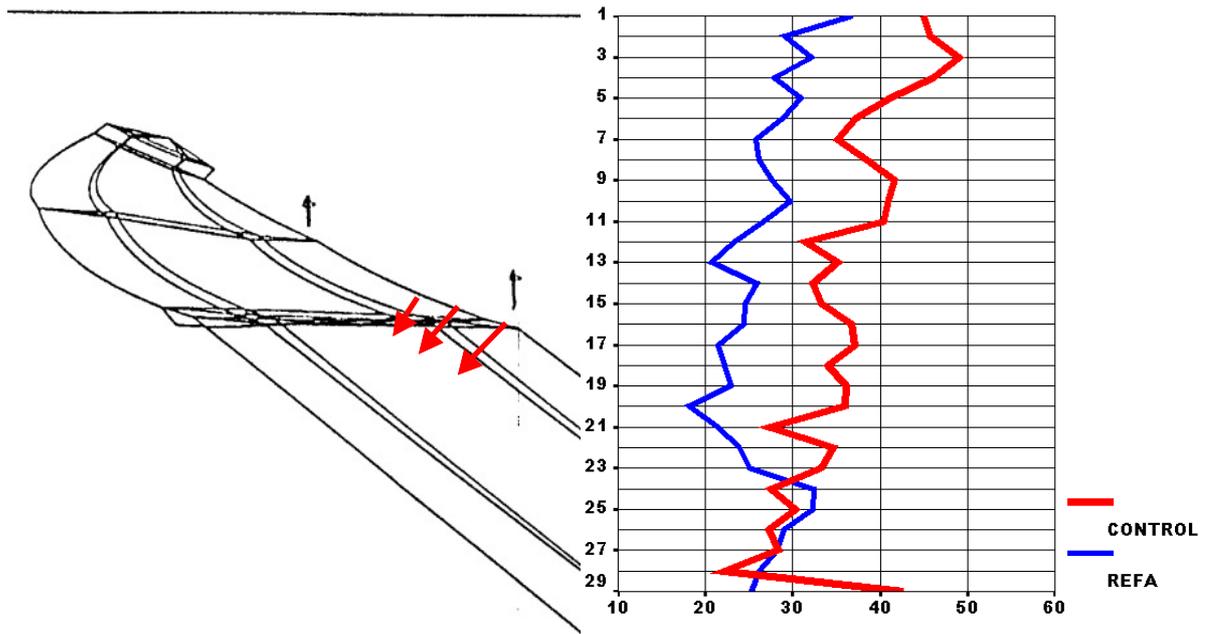


Figura 9. Interferencia de las corrientes con la jaula Refa.

•Ocean Spar. En el caso de la Sea station el los 18 metros coinciden con la profundidad a la que se encuentra el anillo exterior. Donde además existe una zona plana de la red, que es la zona más sensible de la estructura.

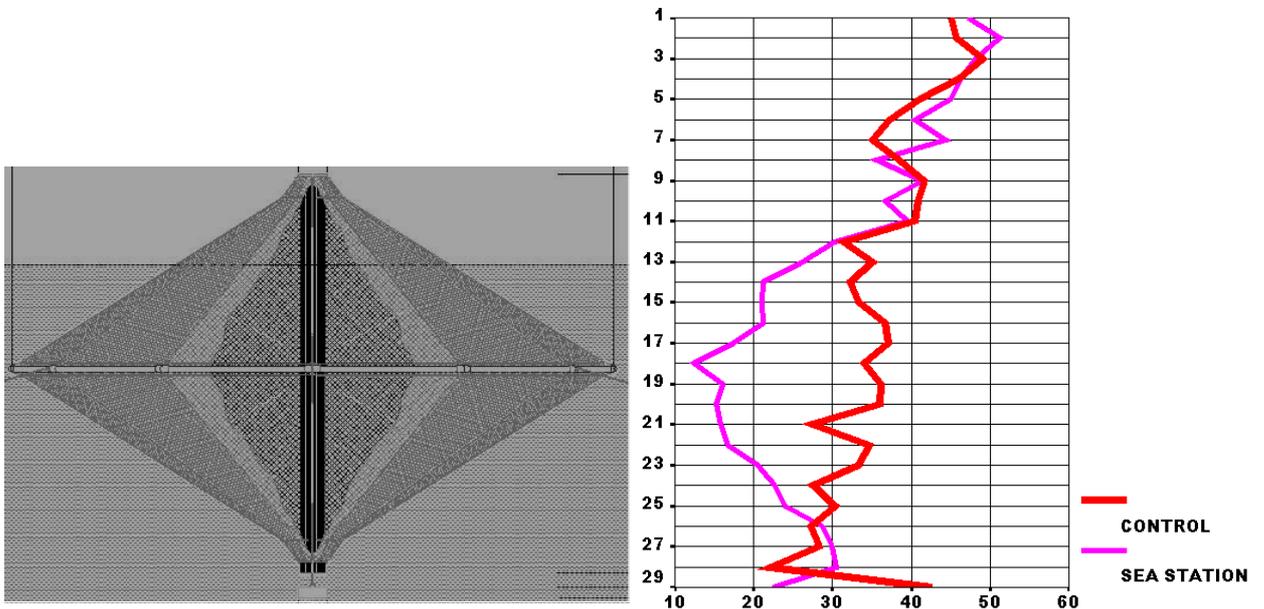


Figura 9. Interferencia de las corrientes con la jaula Sea Station.

Otra de las restricciones ocasionadas por las corrientes, esta en relación con operaciones de mantenimiento delicadas, tales como cambios de red. A este respecto debemos mencionar que se debieron cancelar cambios de red

con corrientes superiores a 35 cm/seg; debido a que la imposibilidad de soltar la red del anillo anticorriente en la jaula tipo Corelsa, ya que en este momento se produce un atrapamiento de los peces. Este hecho, nos hace considerar, la importancia de realizar el menor numero de operaciones de este tipo, ya sean, cambios de red, trasvases de peces, etc.

8.2.2.- Interacción de las estructuras con el oleaje.

Las olas son producidas por la acción de fricción del viento durante una superficie determinada. Así, el tamaño de la ola esta determinado por la velocidad del viento, el periodo de tiempo que este viento esta soplando, y la distancia a lo largo de la cual esta soplando (Bascom, 1964). El tamaño de las olas ira variando desde olas pequeño tamaño, y corto periodo en el área de generación a mayores alturas y periodos a medida que aumentan los tres parámetros antes definidos.

Un estado de la mar es comúnmente descrito como un espectro de oleaje. El espectro, describe la distribución de energía a diferentes longitudes de onda en un estado de la mar irregular. A modo informativo, ya que no es el objetivo de este trabajo el realizar una descripción exhaustiva, diremos que el espectro mas utilizado es el de Pierson Moskovic que se describe como:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{1}{\omega} * 173 * \frac{H_s^2}{T_a^4} * e^{-\frac{691}{T_a^4 * \omega^4}}$$

La elevación de la ola, la velocidad y la aceleración, dependerán de la profundidad y se calculan a partir de la formula anteriormente descrita.

Generalmente podemos decir que el movimiento generado por el oleaje desciende exponencialmente con la profundidad, desde la superficie, y se reduce a cero a una profundidad correspondiente a la mitad de la longitud de onda del oleaje.

En base a esto las estructuras que se encuentran en superficie soportarán en mayor medida los embates del oleaje. Además en una estructura flotante, la parte que más sufre es sin duda la conexión de la red con la superficie, ya que la red tiende a seguir el movimiento del oleaje con una

inercia condicionada por su masa, y la estructura flotante sustentante reacciona al oleaje con una inercia diferente motivada por su diferente masa y capacidad de flotación. Esta situación provoca en algunos casos, auténticas catástrofes en los amarres de superficie de la red, al producirse desfases entre los movimientos de una y otra estructura.

El efecto descrito es el que se produce en jaulas flotantes de gran envergadura como son las tipo Corelsa, por esto para paliarlo se implementaron soluciones como la colocación de un collar de boyas de amortiguación en superficie. Otra opción, para atenuar este efecto es mantener los amarres de superficie algo mas sueltos de los normal, de forma que se transfiera algo mas de la tensión que transmite la red a la barandilla; esto tiene el inconveniente de que en situaciones de corrientes fuertes los soportes deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el abatimiento, o no permitir que se produzca. Para concluir, diremos que la tensión en el punto de amarre de superficie debe ser la justa. Esta solución ha sido la implementada por este proyecto, y a través de la cual se han soportado temporales como los anteriormente descritos sin experimentar él más mínimo daño o rotura de la red en sus amarres superficiales.

La contraposición de fuerzas de inercia entre red y estructura flotante, se ve drásticamente reducido en el caso de Refa, al poseer la estructura flotante unas dimensiones muy reducidas en cuanto peso y volumen.

El modelo Ocean Spar , sin embargo basa su principio de acción en la tensión de la red, y la unión de la red con la estructura en superficie se realiza mediante cabos.

9.-Evolución de las instalaciones.

9.1- Evolución de la jaula Hércules de CORELSA.

Este tipo de instalación es la que requiere más labores de mantenimiento, ya que hay que realizar cambios de red en periodos que no excedan los 3 ó 4 meses, debido a que las redes no fueron tratadas con antifouling. En cuanto a la primera de las redes de cultivo colocadas, hay que poner de manifiesto que su reducida luz de malla 10mm, la hacen poco recomendable para zonas con corrientes importantes; si bien no se detectaron mayores problemas gracias al pequeño calado de la red 7 metros. La disminución del calado de la red reduce la superficie expuesta a las corrientes, por lo que disminuyen las fuerzas de arrastre que se producen en la estructura, ya que estas son proporcionales a la intensidad de la corriente y a la superficie de la red. El primer cambio de red se realizó en Septiembre del 2002, de forma que nos encontrásemos con la nueva red en perfecto estado y limpia a la espera de la época principal de temporales, esto asegura una mejor circulación de agua, genera la disminución de las fuerzas de arrastre de la estructura y aumenta la resistencia de los materiales. El segundo cambio de red se suspendió en marzo del 2002 debido a la no-consecución de la prórroga de la concesión. Adicionalmente se han realizado limpiezas de red con la máquina de limpieza de redes Idema-net cleaner in situ, de la empresa Ocean Spar, la utilización de esta máquina posibilita mantener la red en unas condiciones de limpieza y flujo de agua óptimas, aunque hay que tener en cuenta el mantener la red lo más tensa posible.

En cuanto a la red antipajaros, ésta sufrió daños importantes durante el primer temporal ocurrido 15 días después de la instalación de la jaula. Este hecho podría corregirse aumentando la altura de la estructura, favoreciendo así una menor tensión de la red, mejora que se espera acometer. Las sucesivas redes antipajaros suministradas por la empresa no han dado resultados satisfactorios, optándose finalmente por retirar esta estructura ante el riesgo de que la red rota produzca daños en los peces.

En lo que se refiere a la estructura, es de destacar la instalación de un collar de boyas de amortiguamiento entre la red y la estructura de polietileno con el fin de paliar el efecto del oleaje en superficie. Este collar de

amortiguamiento esta dando excelentes resultados frente al oleaje, no detectándose rotura alguna en esta zona.

Los amarres de superficie de la red, junto con los amarres del anillo anticorriente situado a 11 metros son los puntos más delicados de la red. En los segundos se colocaron cabos de sacrificio de tensión de rotura inferior a la de la red, de forma que en caso de soportar grandes esfuerzos éstos se rompan más fácilmente que la red. Tanto en los amarres de superficie como en los amarres del anillo no se han detectado problemas lo que prueba la eficacia del sistema utilizado.

Debido a las fuertes corrientes existentes en la zona se han detectado daños en los soportes verticales de la barandilla, para prevenir estos daños se han colocado cabos que impiden el abatimiento de los soportes, además se han colocado diez tensores que realizan la misma función en las zonas mas expuestas a las corrientes.



Figura 1. En ella podemos observar el soporte vertical de la barandilla roto en su base debido a un abatimiento lateral.

Otro problema detectado es el deslizamiento de las piezas que sirven de amarre a la jaula (estas piezas se denominan normalmente "H" debido a su forma), esto también ha provocado la rotura de algunos soportes de la barandilla. El deslizamiento de estas "H" se produce por la rotura de la pieza soldada que impide su movimiento. Este problema que en principio parece pequeño, puede derivar en situaciones complicadas en las duras condiciones de la zona, ya que una sola "H" ha llegado a arrastrar y desplazar dos soportes, dejando una longitud de barandilla de más de 4 metros abatida y desprotegida. El número total de soportes dañados ha sido de 18.

Hay que destacar la colaboración de la empresa Corelsa en este sentido, ya que ha suministrado soportes nuevos, que se pueden colocar en el mar, para sustituir los dañados. Al colocar estos soportes que van atornillados se debe tomar la precaución de colocar los salientes hacia arriba, ya que estos pueden cortar la red.

Sé esta trabajando conjuntamente con la empresa Corelsa para mejorar estos puntos débiles, y las modificaciones sugeridas por este proyecto serán probadas el año próximo.

En cuanto al sistema de amarre, se han sustituido las estachas de 26mm. originales de amarre a la jaula, por unas de mayor diámetro 40mm.; esta sustitución se realizó por rotura y desgaste de las originales con la llegada de los primeros temporales.

Al ser la longitud del entramado de cable de solo 40 metros, se han detectado problemas, ya que la jaula posee más capacidad de movimiento dentro del cuadrado en bajamar, al tener los amarres menos tensión. Esto a provocado situaciones conflictivas al colocarse la jaula rozando el entramado.

9.2- Evolución de la jaula TLC de REFA.

Esta estructura es la que menos mantenimiento ha requerido hasta el momento. Aunque se trata de una instalación de apariencia frágil, su estructura absorbe y disipa con éxito los efectos del oleaje y las corrientes. Sin embargo, la modificación realizada para adaptarla a las mareas predominantes en la zona, produce pliegues en la red en bajamar.



Figura 2. Pliegue producido en la parte superior de la red en bajamar.

Además se necesita una corriente mayor para que se produzca el hundimiento de la parte superior de la jaula, impidiendo que se sumerja cuando coinciden temporales con bajamar. Esta situación provoca daños en la estructura superficial de polietileno en estas condiciones, por lo que finalmente se sustituyó por una estructura Corelsa de las mismas características; este cambio fue autorizado por los técnicos de Refa y no supone ningún perjuicio para el funcionamiento de la estructura.

La red posee refuerzos en las zonas que sufren fuertes tensiones que hacen aumentar la seguridad. Se han detectado efectos erosivos en la parte superficial de la red por rozamiento con la estructura de polietileno superficial, aunque no se han llegado a producir roturas.

El tratamiento de la red con antifouling funciona correctamente, habiéndose completado los 12 meses de cultivo sin apenas acumular algas ni incrustaciones. Es de destacar que la parte superior, colocada oblicuamente a la influencia de los rayos solares, acumula sensiblemente más fouling que la inferior; este hecho también se explica por la extinción vertical de la luz.

El punto débil de esta estructura es la reducción de volumen producida como reacción ante fuertes corrientes, que en algunos momentos puede llegar a un 30%, si bien es matizable, puesto que la zona inferior, donde suelen refugiarse los peces en esta situación del mal tiempo, sufre una deformación

bastante menor. Este problema esta causado en parte por la inundación de las boyas de profundidad, una vez desmontada la estructura se ha comprobado que la totalidad de las boyas se encontraban inundadas, aumentando su peso hasta los 100- 150 kg. cada una. Este aumento de disminuye la flotabilidad efectiva de las boyas y aumenta el abatimiento de la estructura, lo que explica los extremos resultados que se describen para esta jaula en el apartado de interacción del medio con las estructuras.

Es de resaltar la existencia de una cremallera en el lugar de unión entre la parte inferior, de forma cilíndrica, y la superior, de forma cónica, cuya función es facilitar el despesque. Así, para evitar problemas de rotura se procedió a reforzarla con cabos por recomendación de la empresa suministradora de la instalación. No se han detectado problemas en esta zona.

Además, desde el punto de vista de la alimentación, hay que tener en cuenta otro inconveniente que se da cuando la red desaparece de la superficie, por lo que habría que optar por métodos alternativos de alimentación, por este tema se han detectado crecimientos diferenciales con respecto a Corelsa. Es de destacar también que el reducido diámetro superficial de la jaula que hace que el volumen de la misma disminuya hacia la superficie, incrementa el riesgo de pérdida de pienso, debido a que éste sale del recinto en menor tiempo.

Este modelo ha sido modificado por la empresa productora, gracias a la colaboración desinteresada de este proyecto, aumentando el volumen total y la superficie de la parte superior.

9.3- Evolución de la jaula Sea Station de OCEAN SPAR.

En este caso, el mantenimiento de la jaula consiste fundamentalmente en la limpieza de la red, la cual acumula fouling a una velocidad mayor que las otras estructuras debido a la inclinación de los flancos, que hace que la superficie expuesta a la radiación solar aumente.

Las labores de limpieza de la red se realizan utilizando un aparato suministrado por la empresa, que consigue eliminar los organismos blandos de la red en un tiempo de unas 8 horas. En este caso, se ha realizado una limpieza mensual, operación de suma importancia para el normal funcionamiento de la estructura, ya que permite mantener el flujo de agua a través de la red y evitar el incremento de las fuerzas de arrastre. Durante los

meses de fuertes tormentas no se pudo desarrollar esta tarea con normalidad, esto posibilitó el crecimiento de organismos duros en la red los cuales no se eliminan con el aparato de limpieza cuando tienen un tamaño aproximadamente superior a 1 cm.



Figura 3. Buceador limpiando la red.

Otra de las labores importantes es la de mantener la tensión de las conexiones con el cilindro central, labor que se suele realizar semanalmente y antes de un temporal. En lo que respecta a las cremalleras, su tamaño y funcionamiento son perfectos. Es de destacar la calidad de los materiales utilizados en la construcción de la red, sobre todo en lo que a cabos se refiere, compuestos de fibras sintéticas de alta resistencia; estas fibras poseen alta resistencia al rozamiento, aunque su reducido diámetro y la alta tensión que poseen las hacen más sensibles al corte. Se ha observado una pérdida de tensión en la red desde su montaje hasta la actualidad, esto es debido a las propiedades del dynnema que tiene posee una elongación inicial cuando los hilos que conforman la red no están preestirados; esta pérdida de tensión en los paños de red produce un pequeño efecto de vela que aumenta las fuerzas

de arrastre producidas por la estructura. Recordemos que la elongación es el incremento de longitud de un material sometido a tensión. A su vez la mencionada pérdida de tensión produce un movimiento armónico de la red como respuesta al oleaje. Durante un temporal, se produjo la rotura de una de las conexiones a las conexiones de entre la red y el anillo, mientras la jaula estaba en superficie; la rotura no fue importante y se solucionó con facilidad, pero este hecho alerta sobre la conveniencia de mantener la estructura sumergida. Esta rotura fue ocasionada por el movimiento armónico que produce el oleaje en la red, este tipo de movimiento ha sido descrito por otros autores en esta misma estructura para el movimiento del tubo central DW Fredrikson et al. *Aquaculture Engineering* 27 (2003).

Con respecto a los puntos de anclaje, es de destacar el hecho de que la conexión de la red con estos puntos es fija, por lo que para mantener la tensión de las líneas de anclaje es necesario mover las anclas, con el consiguiente gasto de tiempo y dinero. Las líneas de anclaje suministradas por la empresa se mostraron excesivamente sensibles al rozamiento, llegando en algunos casos a romperse; por lo que se sustituyeron las 4 líneas por unas de poliestil de 48mm. de diámetro y 37 toneladas de tensión de rotura, que han funcionando perfectamente. Se aprovechó esta sustitución de las líneas para colocar en las jaulas un sistema que permitiera variar la longitud de los amarres y así la tensión en cada línea de anclaje. Las boyas estabilizadoras de las líneas de fondeo también han presentado problemas ya que al estar llenas de aire han implosionado al aumentar su profundidad; al respecto hay que mencionar que las boyas se colocan en una profundidad que varía entre los 5 y los 15 metros, se llenan con aire mediante buceadores y se tapan para evitar la fuga del aire. Una vez hecha esta operación se produce una variación de la profundidad de la boya al tensar las líneas que se oponen a la corriente, produciéndose así el sumergimiento de la boya y su posterior implosión. Se están probando unas boyas nuevas de un fabricante español, que en caso de funcionar serán costeadas por la empresa Ocean Spar y suministradas junto con la jaula a los sucesivos compradores.

Una vez desmontada la jaula y retirados sus elementos a tierra, se ha observado el perfecto estado de los elementos de acero galvanizado, tubo central y distintas piezas del anillo.

9.2. Comparativa de mantenimiento.

Se ha realizado un exhaustivo control del mantenimiento realizado en cada una de la jaulas, con el objetivo de caracterizar los costes y esfuerzos que vienen adosados al correcto manejo de cada una de estas instalaciones en mar abierto. Antes de entrar en materia describiremos al personal que compone la plantilla, y los medios de que se disponen.

Los componentes de la plantilla son 6 operarios con la siguiente capacitación:

- Un Técnico Responsable- buceador.
- Tres buceadores.
- Un patrón-buceador.
- Un patrón.

Esta es la composición mínima, necesaria para llevar a cabo el seguimiento, control y alimentación de un proyecto de este tipo, sin incurrir en horas extraordinarias; y teniendo en cuenta que se deben cubrir fines de semana y festivos.

Como tareas de mantenimiento, hemos considerado todos los trabajos típicos encaminados a mantener el correcto estado de cada instalación. No se han incluido aquí los tiempos invertidos en alimentación y revisión de estructuras. El tiempo de alimentación se ha excluido de la comparativa, ya que este es proporcional a la biomasa de cada jaula. En cuanto a los tiempos empleados en revisiones, estos también se han descartado para evitar la influencia de elementos subjetivos en la comparación, es decir, el número de horas empleadas en la revisión de jaulas dependerá de factores varios como biomasa, tipo de especie, superficie de la estructura, condiciones oceanográficas y gestión de la instalación; siendo este último el parámetro que está más sometido a variaciones entre los productores.

Así pues los resultados presentados en la figura corresponden principalmente a labores de cambio de red, limpieza de redes, tensado de cabos, amarre de cabos sueltos, reparaciones de redes insitu, sustitución de grilletes y reparaciones de desperfectos.

	Horas totales	% de horas	Horas/m3
Corelsa	639,20	60,76	0,107
Refa	200,80	19,09	0,100
Ocean Spar	212,00	20,15	0,071
Total	1052,00	100,00	

Figura 1. Comparativa de horas de mantenimiento en cada una de las jaulas, donde cada uno de los parámetros representan. Las horas totales representan la suma de horas diarias empleadas por cada operario. El % de horas representa el porcentaje de los trabajos totales. Las horas/m3 representan el cociente, entre las horas totales empleadas en cada jaula y los metros cúbicos de cultivo de cada una.

En esta tabla comparativa podemos ver como las horas de mantenimiento totales son bastante superiores en el caso Corelsa, seguida por la jaula Ocean y finalmente tenemos el modelo Refa en el que se ha empleado el menor número de horas de mantenimiento. En la columna de % horas podemos percibir el porcentaje de esfuerzo empleado por la plantilla en cada una de las instalaciones, resultando en este caso el modelo Corelsa también muy superior. En cuanto a las horas totales empleadas por metro cúbico, podemos observar como las diferencias se reducen al ser mayor el volumen de cultivo Corelsa; es aquí donde Refa pierde puestos al poseer el menor volumen de cultivo, por su parte disminuye en este sentido notablemente sus valores de mantenimiento por metro cúbico.

Otra de las consideraciones importantes cuando hablamos de acuicultura en mar abierto, es el número de días en los que se puede acceder a la zona de cultivo. En nuestro caso el número total de días en los que no se pudo llegar a las jaulas fue 81 días, siendo asimismo el número de días consecutivos de 3. Este número de días supone un 22% anual, esta cifra es considerablemente alta, por lo que sería conveniente implementar medidas correctoras tales como mecanismos de alimentación a distancia, y medios de monitorización y control desde tierra tales como cámaras, correntímetros y boyas de medición de oleaje. El poder disponer de datos sobre el estado del medio en tiempo real, permitiría, junto con una adecuada previsión

meteorológica, centralizar y optimizar los trabajos de mantenimiento en los momentos delicados. Además de esta forma se dispondría de un registro exacto de cual ha sido el historial de oceanográfico de la instalación, haciendo hincapié en el mantenimiento posterior, en las zonas de las jaulas mas afectadas por las corrientes y el oleaje.

10.-Evolución biológica. Resultados y comparativa.

10.1.-Descripción de la técnica de cultivo.

El crecimiento de las especies poiquilotermas, y en concreto de las cultivadas en acuicultura depende fundamentalmente de tres parámetros, la temperatura del agua, el peso del organismo, y la ración de alimento suministrada. En la especie que nos atañe *Sparus aurata* la temperatura afectara el crecimiento, al afectar directamente a los procesos corporales; así la temperatura optima descrita para la que se produce un mayor crecimiento en la dorada es de 25°C, produciéndose un decaimiento de la ganancia de peso hacia los extremos de 12°C y 32,9°C (Ravagnan 1984, Barnabé 1991). El aumento de peso produce una disminución de la tasa de crecimiento, en el intervalo de tamaño de estudio de 3 a 500 gr. Por ultimo la ración de alimento suministrada debe estar en función de los requerimientos y del estado del pez, y a su vez depende de principalmente de los dos factores anteriormente mencionados. Actualmente en cuanto a administración de alimento se refiere hay dos principales tendencias, alimentación ad libitum o a saciedad; y alimentación mediante la dosis calculada a través de tablas empíricas, usualmente proporcionadas por las empresas productoras de pienso. En este proyecto nos hemos decantado por la alimentación mediante tablas, con el objetivo de eliminar factores subjetivos en la respuesta de los peces. Además, el uso de tablas nos permitirá comparar el crecimiento, con el crecimiento teórico propuesto por esta tabla.

Las cargas de cultivo utilizadas son muy bajas, la carga final ronda los 4 kg/m³. Esto es debido a dos motivos, el primero que el objetivo fundamental de este proyecto es comprobar algunas de las jaulas existentes en el mercado internacional en mar abierto, principalmente en cuanto a su adecuación a las condiciones ambientales; por lo que los peces incluidos en las jaulas se colocaron para fundamentalmente comprobar mortalidades tras los temporales y demás vicisitudes operacionales del cultivo. Hay que considerar además que la inversión necesaria para un proyecto de este tipo sería inalcanzable para una institución dedicada a I+D en caso de introducir los peces necesarios para obtener las biomásas máximas en jaulas de gran volumen, como son las adecuadas para el cultivo en mar abierto.

El alimento utilizado ha sido pienso para dorada de diferentes empresas productoras de pienso, siendo su contenido en grasas de un 22%, y el contenido proteico de un 47%. Estos son los piensos de gama media usualmente utilizados por las empresas de engorde.

10.2.- Resultados biológicos.

Analizaremos en este apartado el crecimiento experimentado en las dos jaulas en las que se han incluido peces ya que desgraciadamente en el modelo Ocean Spar no se han podido introducir peces debido a la insuficiencia de alevines. Así pues, nos centraremos en un análisis y comparativa de crecimiento entre los modelos Refa y Corelsa.

Con el objetivo de caracterizar el crecimiento de la población se han utilizado los siguientes parámetros:

- El SGR (specific growth rate), también llamado factor de crecimiento específico; que es un parámetro adimensional muy utilizado, y define el grado de crecimiento de una especie. :

$$\text{SGR} = (\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})) \times 100 / \text{tiempo en días}$$

- El GF3 (growth factor 3), o tasa de crecimiento 3 que es una medida del crecimiento del pez, la cual a diferencia del SGR toma en cuenta la temperatura; y es calculado de acuerdo con esta formula:

$$\text{GF3} = (\text{Peso final}^{1/3} - \text{peso inicial}^{1/3}) \times 1000 / \sum \text{grados T}^{\text{a}} \text{ día}$$

- El FCR (feed conversion rate), o factor de conversión; el cual nos da una idea de la eficiencia de conversión de alimento suministrado al lote. Es calculado utilizando la siguiente formula:

$$\text{FCR} = \text{Cantidad en peso de alimento suministrado} / \text{Incremento de peso}$$

10.2.1.- Corelsa.

Los peces incluidos en la jaula Corelsa han experimentado a siguiente evolución de sus parámetros de crecimiento, calculados de acuerdo con las formulas anteriormente descritas.

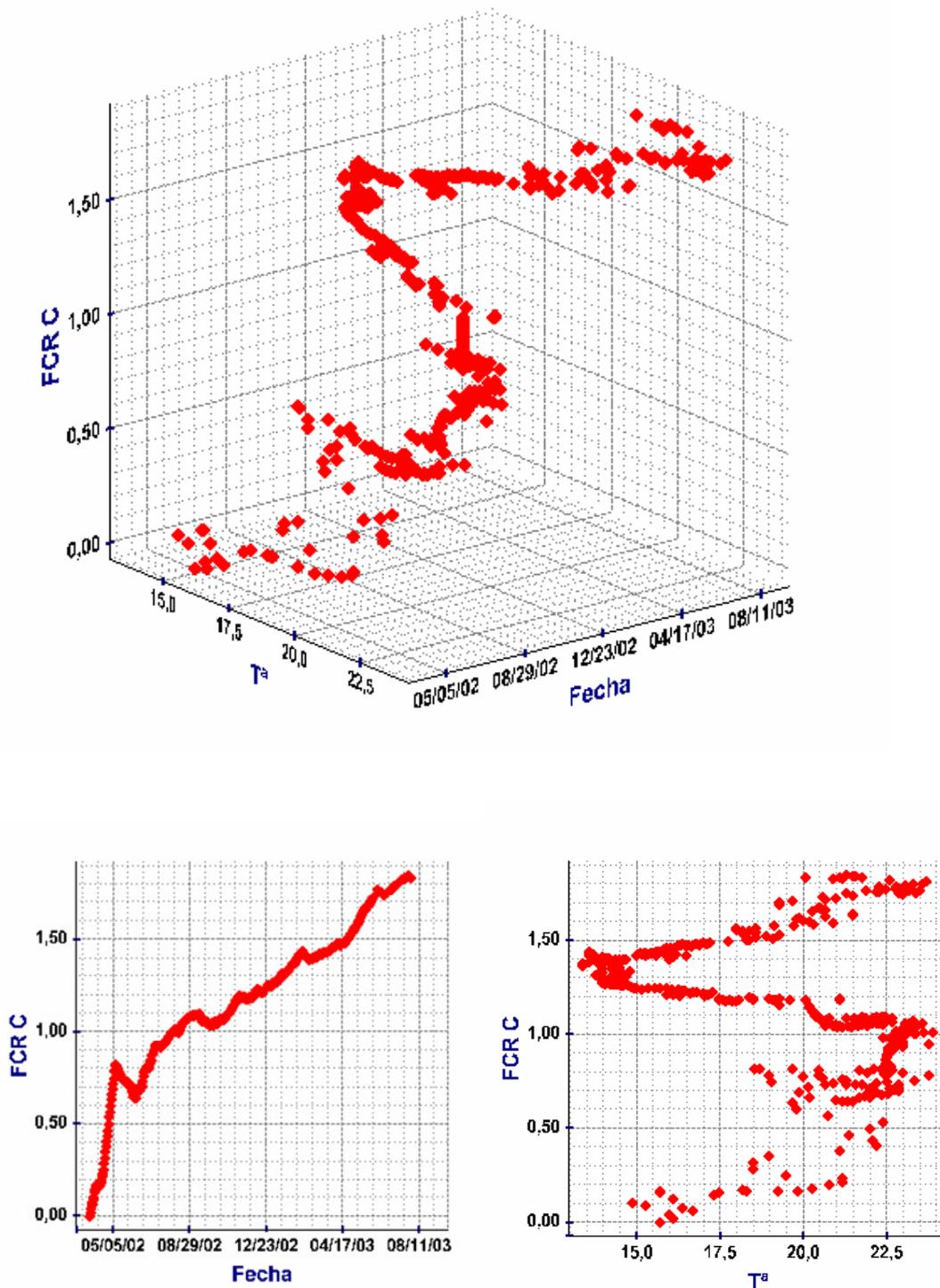


Figura 1. Evolución del FCR de Corelsa con la temperatura y la fecha.

En estas graficas observamos como el FCR, factor de conversión de alimento aumenta claramente al aumentar el tamaño del pez, sufriendo pequeñas oscilaciones directamente relacionadas con la variación de temperatura.

Es de destacar que el FCR final obtenido en esta jaula es de 1,9, siendo este valor muy inferior al valor medio aceptado para un cultivo de dorada en jaulas el cual es de 2,3. Este exitoso resultado es achacado principalmente una adecuada evolución de las temperaturas en la zona de cultivo, y a la baja carga de cultivo.

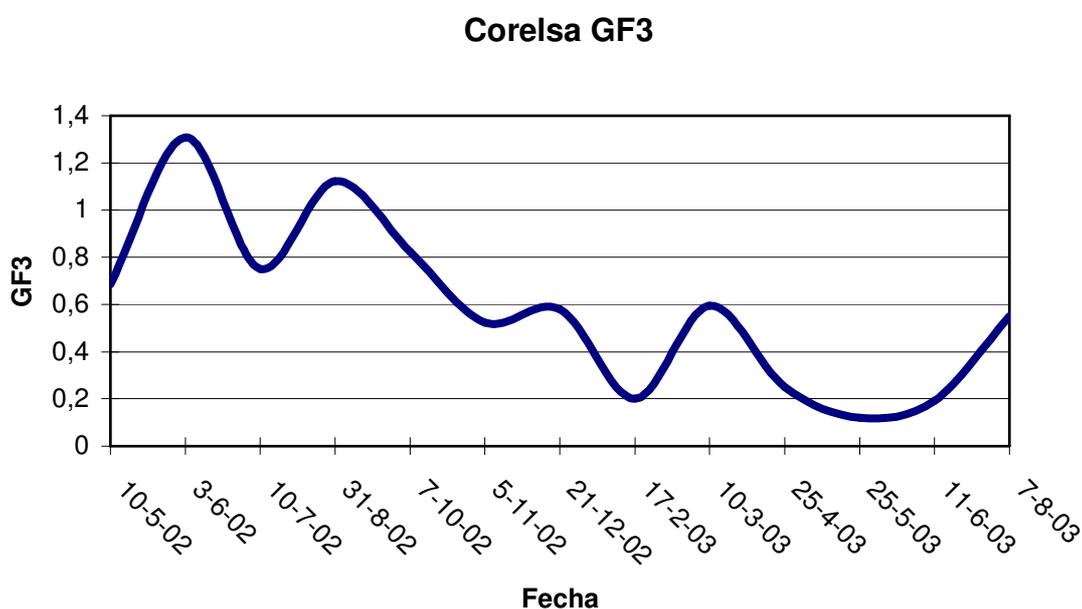


Figura 2. Evolución del GF3 de la jaula Corelsa a lo largo del periodo de cultivo.

Esta ultima grafica muestra claramente un decaimiento del crecimiento del lote introducido en la jaula al aumentar su peso; esto se puede observar claramente al comparar el GF3 calculado en agosto 2002 y el calculado en agosto del 2003.

Tras realizar la pesca en Agosto del 2003, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Corelsa: Se cosecharon un total de 17958 Kg, con un peso medio de 464 gr.. La tasa de mortalidad obtenida durante los meses de cultivo es de un 7,9 %.

10.2.2.- Refa.

Los peces introducidos en la jaula Refa han experimentado la siguiente evolución de sus parámetros de crecimiento, calculados de acuerdo con las formulas descritas en el apartado 10.2.

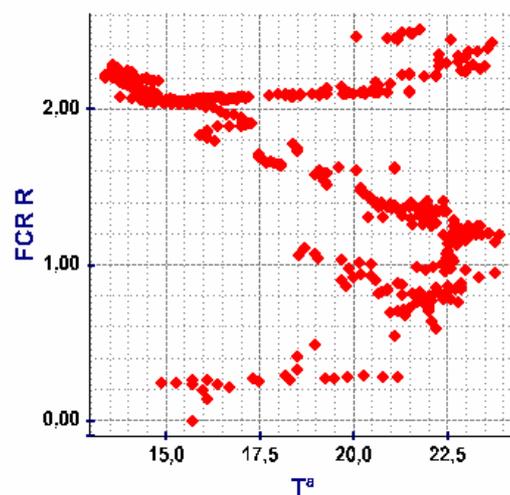
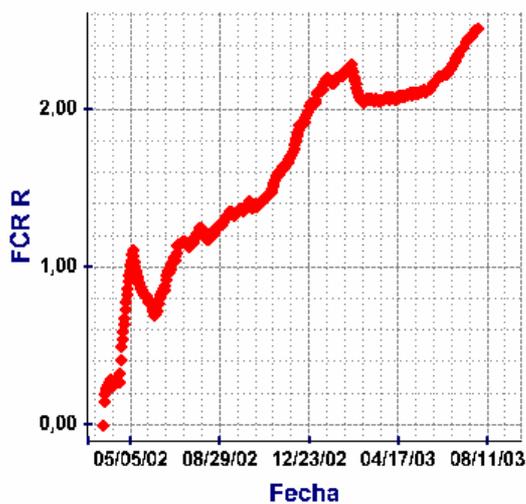
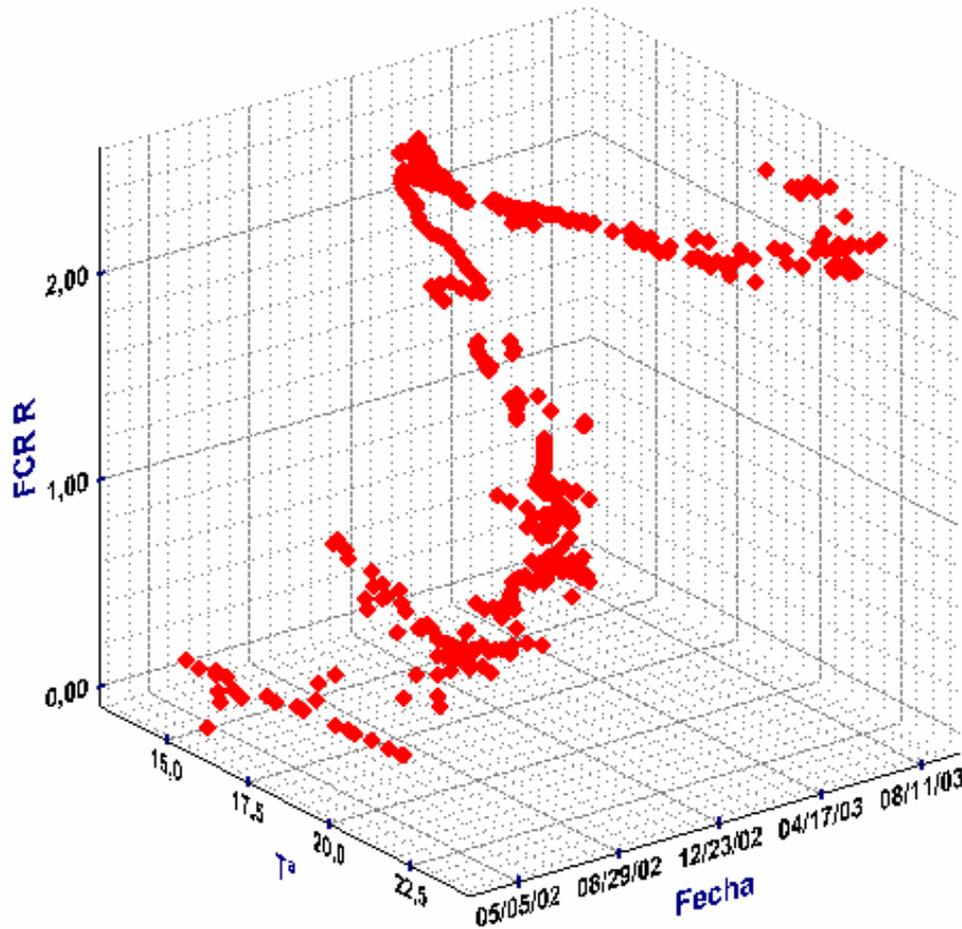


Figura 3. Evolución del FCR de Refa con la fecha y la temperatura.

Podemos observar en estas graficas como además de la evolución normal de incremento de este índice con el tamaño del pez, y de producirse fluctuaciones ocasionadas por la variación de temperatura; se produce un pico anómalo en los meses de invierno. Este pico es debido a una mayor perdida de pienso en los meses de temporales frecuentes, añadido al efecto natural de aumento del FCR que se produce en la dorada al disminuir la temperatura.

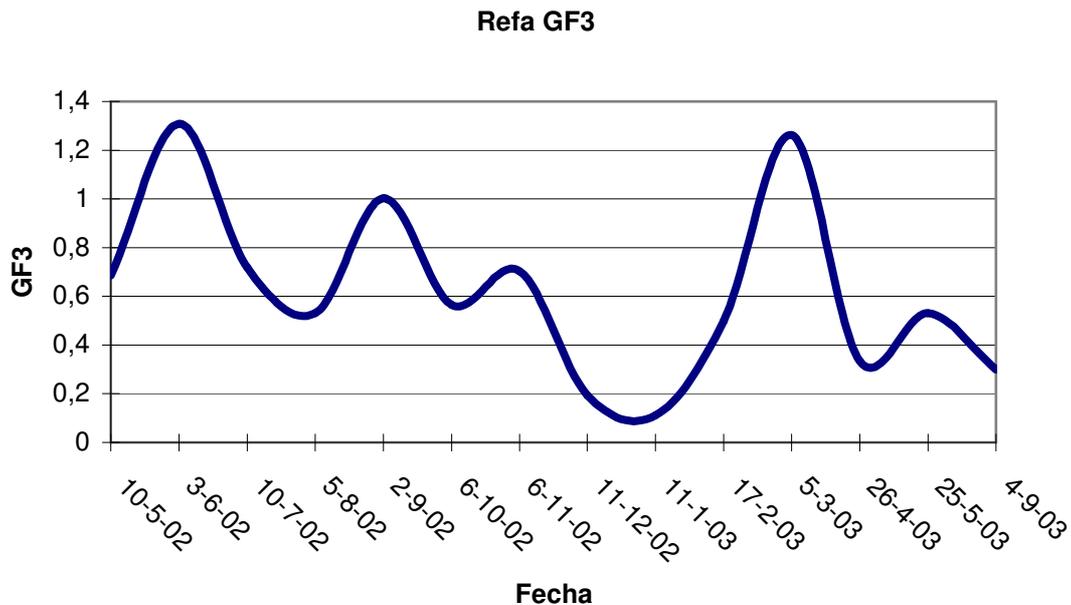


Figura 4. Evolución del GF3 de los peces en la jaula Refa.

Esta grafica vuelve a apoyar la gran disminución de crecimiento observada en la época invernal, observándose un fuerte pico de crecimiento en marzo. La fuerte diferencia entre estos dos picos se puede explicar por una posible baja representatividad en el muestreo, de forma que la oscilación en esta parte de la curva se suavizaría.

En esta jaula se cosecharon 6971 Kg., con un peso medio de 395gr.. La tasa de mortalidad obtenida en esta jaula es de un 16,2%. Esta tasa de mortalidad es excesivamente alta, aunque debemos considerar que un 3,35% de esta cantidad se corresponde con la perdida de peces ocurrida asociada al atrapamiento de peces entre paños de red.

10.3.- Comparativa de crecimiento.

La evolución del crecimiento en ambas jaulas se puede observar en la siguiente figura.

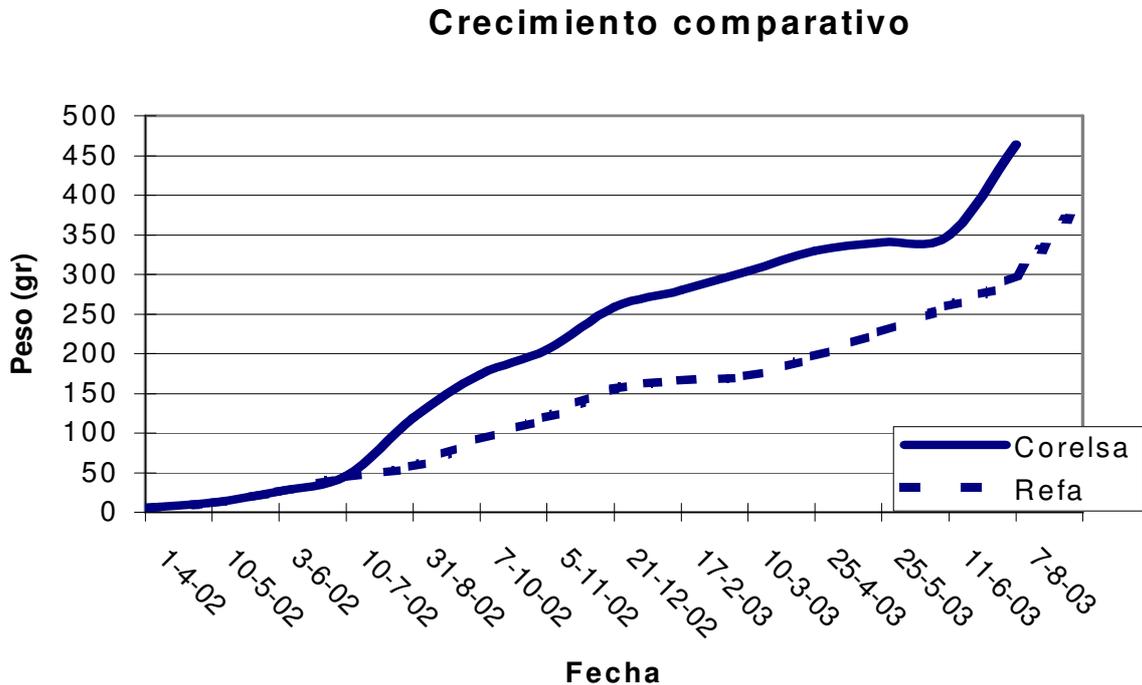


Figura 5. Comparativa de crecimiento entre la jaula Refa y la Corelsa. Donde Peso R = peso medio Refa; y Peso C = peso medio Corelsa.

La temperatura mínima registrada, durante el periodo que los peces han permanecido en las jaulas ha sido de 13,8 °C, esto ha propiciado el que se pase de 18 a 400gr en 12 meses.

Se ha registrado una diferencia de crecimiento entre los peces de la jaula Refa y los de la Corelsa; esto es debido a dos motivos: el menor diámetro de superficie de la jaula Refa(5,5 metros) provoca una mayor pérdida de pienso; el otro motivo la imposibilidad de alimentar los peces con normalidad cuando la jaula Refa desaparece de la superficie, hecho este que ocurre normalmente cuando la corriente supera los 0,5 nudos y en condiciones de marea media alta. Estos motivos además han causado una mayor dispersión de tallas en la jaula Refa como se puede apreciar en la grafica de distribución de tallas. Figura 6.

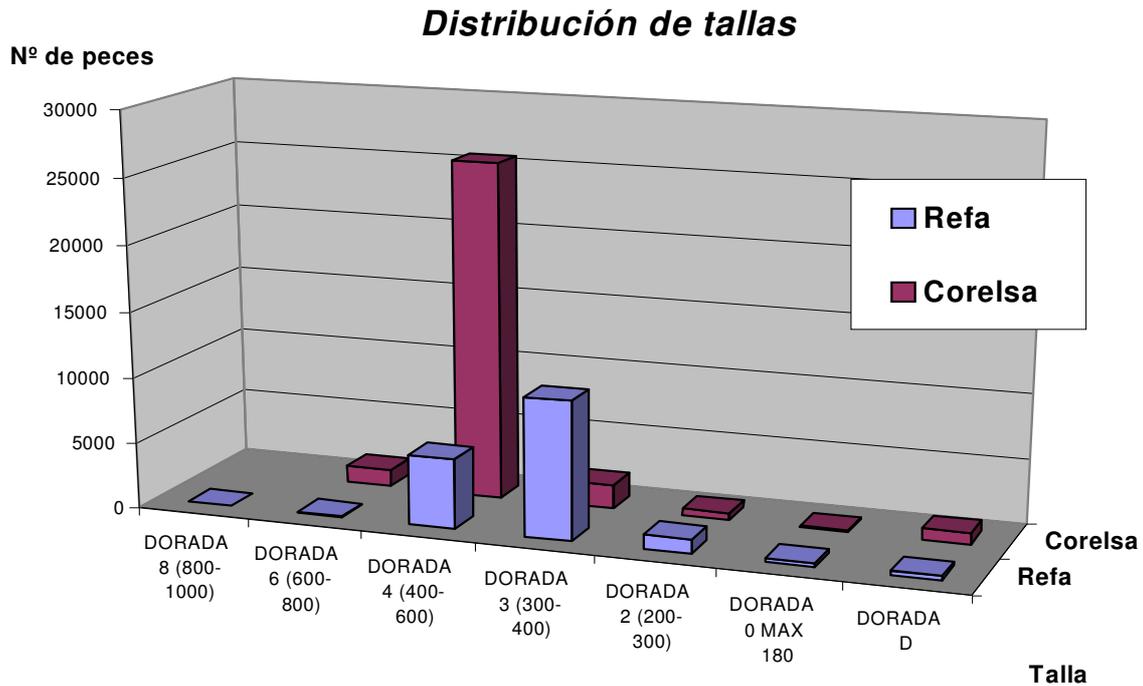


Figura 6. Distribución de tallas Refa-Corelsa.

En el lote de peces que se cultivaron en la jaula Refa se han obtenido ejemplares superiores a los 800 gr.; esto es achacable al efecto competitivo que produce la poca superficie de alimentación, situación que se ve agravada por las persistentes y fuertes corrientes de la zona. Estas corrientes están principalmente originadas por la marea, como indica la periodicidad y los reparos observados en el registro del correntímetro. Esto cobra aun mayor importancia si tenemos en cuenta que nos encontramos en una zona expuesta donde los registros de corriente indican que la media de corriente en la zona es de 12,5cm/seg.

Si consideramos la talla de comercial como el momento en el que el primero de los individuos alcanza un peso de 300gr o superior; y teniendo en cuenta que en e momento de ser recibidos los alevines en el centro de experimentación, poseían 167 desde la eclosión obtenemos un periodo de cultivo para la jaula Corelsa de 16,5 meses y de 18,5 para Refa.

La mortalidad observada en la jaula Corelsa ha sido de un 7%, mientras que en la jaula Refa a sido de un 16%; considerando que la mortalidad

aceptada en jaulas oscila entre un 7-10%, podemos considerar estos resultados como muy buenos. En el caso de la jaula Refa el aumento de mortalidad se corresponde en parte, con la pérdida de un 3,5% de los peces en el mencionado hueco entre redes(cantidad que se corresponde con 705 ejemplares); además debemos considerar que el reducido número de peces aumenta la importancia de las pérdidas en tanto por ciento.

El producto final a sido calificado de alta calidad por la empresa comercializadora (Copropesa), y por el cliente final.

11.-Balance económico.

Hemos realizado un análisis de costes de cada una de las jaulas. En la figura 1 podemos ver el coste de cada jaula y el coste instalada.

	Coste jaula	Coste jaula inst	m3	coste/m3	Biom max	coste/kg
Corelsa	94298	94298	6000	15,7	90000	1,0
Refa	54287	56138	1800	31,2	27000	2,1
Sea Station	119424	152820	3000	50,9	90000	1,7

Figura 1. Comparativa de costes y potencial productivo de cada jaula.

En el caso de corelsa el coste de la jaula instalada no varia en comparación con el coste de adquisición de la estructura ya que la empresa realizo el montaje completo. Los costes por metro cúbico muestran a Corelsa como la estructura de coste mas reducido, seguida de Refa y por ultimo la Sea Station. El coste por metro cúbico de la Refa y Corelsa se puede reducir eligiendo mayores volúmenes, no así en el caso de Sea station ya que este es el mayor volumen disponible. Aunque la densidad de cultivo máxima que la jaula Sea Station puede soportar según la empresa asciende a 30 kg/m3, en base a la total indeformidad de la estructura y a la presencia de mayores corrientes presentes en mar abierto. Hemos de recordar que a mayor presencia de corrientes mayor oxigeno disponible y mayor carga máxima se podrá soportar.

Esta cifra dobla las cifras de carga máxima utilizadas en cultivos normales en jaulas que es de 15kg/m3 y que hemos utilizado para calcular la biomasa máxima en los otros dos casos. Así aplicando este valor obtenemos el mismo potencial productivo en Corelsa que en la Sea Station, con lo que finalmente el obtenemos la empresa con menor coste por kg de peces producido a Corelsa seguido de Sea Station y finalmente Refa. Estos resultados solo tienen en cuenta las instalaciones utilizadas por este proyecto y es de destacar que los costes por metro cúbico dependerán del volumen de jaula elegido en todos los casos. Aunque un hecho irrefutable es que las estructuras tipo Sea Station tienen mayor capacidad de carga de cultivo debido como ya hemos dicho antes a su total indeformabilidad.

Finalmente recordar que estos son los costes correspondientes al 2001 para una única estructura de cultivo en cada caso.

12.-Conclusiones.

La evolución tecnológica experimentada en la última década en la industria de la acuicultura en jaulas, se ha desarrollado principalmente sobre las siguientes líneas: nuevos sistemas y conceptos de jaulas, estructuras más voluminosas, reducción de las restricciones estacionales y locales. (Basurco 2001). Esta evolución debe proseguir en las mismas direcciones de desarrollo, potenciando y mejorando tanto el diseño de las estructuras como los medios de control de estas.

Los resultados obtenidos, deben ser extrapolables con sumo cuidado al sector, debido a que en este proyecto solo se han utilizado una unidad de cada uno de estos tres tipos de modelos; y el aumentar el número de jaulas a escala industrial puede ocasionar que factores que durante este proyecto se han mostrado problemáticos se conviertan en limitantes con un número elevado de jaulas.

Se ha finalizado el proyecto con éxito tras el despesque de los peces, sin haberse producido fugas de peces. En cuanto a los desperfectos ocasionados en las jaulas, estos han sido corregidos por el equipo de técnico y de mantenimiento reforzando las instalaciones antes de los temporales y solucionando los problemas provocados durante y después de estos. A través del seguimiento diario de las instalaciones se han llegado a determinar los siguientes puntos fuertes y débiles de cada una de las instalaciones:

-Corelsa.

Características positivas: buenas prestaciones para alimentación desde superficie, facilidad de despesque, posibilidad de alcanzar grandes volúmenes con una sola jaula (este punto es de vital importancia para el cultivo de especies como el atún), bajo precio, permite la posibilidad de cambio de red, el anillo anticorriente posee unas características adecuadas lo que produce que la red no se deforme, a este respecto se han soportado corrientes de hasta 48 cm/s sin que el anillo anticorriente suba a superficie, con corrientes superiores se produce el ascenso de este anillo a superficie.

Puntos débiles: el mantenimiento necesario para tener la estructura en perfectas condiciones en una zona de mar abierto es importante, se necesitan gran cantidad de puntos de amarre de la red para aumentar la seguridad, los

topes que impiden el movimiento de la “H” que sirven de punto de amarre a la jaula se rompen en condiciones extremas, la barandilla se desliza en los soportes lo cual provoca la rotura de los mismos.

Hay que tener en cuenta en este tipo de estructuras, el efecto que produciría un aumento del número de jaulas tanto a nivel cargas sobre el sistema de fondeo y el entramado.

Si bien una estructura de polietileno común, con el adecuado sistema de anclaje puede llegar a soportar una altura de ola de 6m (Lisac, Darko; Aquatech 96); creemos que el mantenimiento necesario para alcanzar estos valores con seguridad es un punto muy importante y que finalmente será el factor limitante.

-Refa

Características positivas: el funcionamiento de la estructura correcto, reaccionando exactamente como describe la empresa productora, la resistencia y el diseño de la red, además del adecuado antifouling, que permite un ciclo de cultivo completo, hacen de esta jaula una estructura muy fiable, el sistema de fondeo vertical que utiliza provoca que ocupe una reducida área de concesión; esto junto con su reducido coste suponen unos de los principales puntos fuertes de esta jaula.

Puntos débiles: El principal inconveniente de este modelo de reducido volumen es la dificultad de alimentación, la red no se puede cambiar hasta la finalización del cultivo, lo que no permitiría sustituir la red en caso de ocurrir una rotura importante. Existe una mayor dificultad de pesca en esta estructura, por lo que la empresa productora recomienda la utilización de una jaulas flotante convencional de 16 metros de diámetro como apoyo en las pescas.

-Ocean Spar.

Características positivas: No es necesario el cambio de red, el sistema de limpieza submarino funciona correctamente finalizando la limpieza de la red en un tiempo efectivo de unas 8 horas, la estructura es sumergible con facilidad en menos de 5 minutos, la resistencia de la red y de los cabos que la componen es muy alta, posee una alta fiabilidad de resistencia frente a temporales cuando se encuentra sumergida. Quizás el punto más interesante

de esta estructura es su gran versatilidad y abanico de posibilidades como: instalación de comederos tanto sumergibles como flotantes y colocación de red interior para introducir alevines lo que permitiría utilizar una mayor luz de malla en la red principal.

Puntos débiles: posee un alto coste de adquisición, la longitud fija de las líneas de fondeo obliga a mantener la tensión moviendo las anclas lo cual puede resultar un problema, esta estructura se encuentra fondeada por solo 4 puntos de anclaje lo cual traslada el punto débil de la estructura al sistema de fondeo, dificultad para limpieza del fouling duro y las incrustaciones de la red utilizando la maquina de limpieza, el tejido sintético que compone la red no admite el antifouling. Además, la estructura posee un peso de 5 Toneladas colgando de la base del Spar que tiene una función estabilizadora, este peso se encuentra unido a la estructura mediante cadena y grillete, esta configuración puede producir situaciones críticas en el futuro, ya que el péndulo erosiona las conexiones que de no reemplazarse producirían la suelta del peso estabilizador. El que no se pueda cambiar la red puede ser un inconveniente en caso de ocurrir desperfectos graves en esta.

13.- Bibliografía.

- Sintef annual report 2002. Facst 2003. Sintef NO-7465 Trondheim.
- Lisac, D. Aquatech 96. New developments in cage systems for open-sea environments. Conference. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lisac, D. 1996. Últimos avances en instalaciones de cultivo en mar abierto: experiencia práctica con la estructura Refa Tension Leg Cage.. Internacional Workshop on Seabass and Seabream Culture, Verona, Italy, October 96.
- Barnabé, G. 1991. Acuicultura vol II. Omega, España.
- Ravaganan, G. 1984. L`elevage du loup et de la daurade en valliculture. L`Aquaculture Du Bar Et Des Sparides. INRA, Paris.
- Holmefjord, I.; Asgard, T.; Einen, O.; Thoesen, J.; Roem, A. "Growth factor, GF3- a new, improved measure for growth" ACR Update, Nutreco Aquaculture Research Centre, Norway. Vol. 3. No 2/95.
- Fredikson, David W. Fish cage and mooring system dynamics using physical and numerical models with field measurements. Aquacultural Engineering 27 (2003) 117-146.
- Sanchez La-madrid, A. Bahía de Cádiz: Protección de los Recursos Naturales Pesqueros y Aplicaciones para Instalaciones Acuícolas, 2001. CICEM "El Toruño". Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- Loland, G. Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms. Aquaculture International. 1. 1993.
- Basurco, B. Status of marine fish farming in Mediterranean Aquaculture. The Offshore Alternative. CIHEAM. 2001.