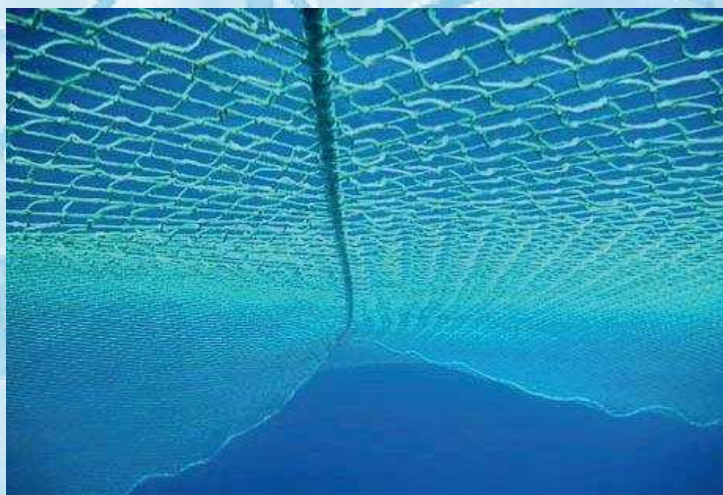


# Ingeniería de la Acuicultura Marina



Instalaciones de peces en el mar

JOSÉ DANIEL BEAZ PALEO





---

# **Ingeniería de la Acuicultura Marina**

**Instalaciones de peces en el mar**

**JOSÉ DANIEL BEAZ PALEO**

**OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO**

MADRID, 2008

---

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual.

Las noticias, asertos y opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, sólo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo general de publicaciones oficiales:

<http://www.060.es>

Serie:

**Publicaciones Científicas y Tecnológicas  
del Observatorio Español de Acuicultura**



© Editor Científico: Dr. Juan Espinosa de los Monteros

© CSIC

© José Daniel Beaz Paleo

ISBN: 978-84-00-08678-7

NIPO: 653-08-070-X

Depósito Legal: M-34091-2008

Diseño y maquetación: DiScript Preimpresión, S. L.



# PRESENTACIÓN

Mi amor al mar me lo crearon mi familia y todas las personas que me vieron crecer en ese rincón maravilloso que es la Ría de «O Barqueiro».

Hace 25 años, después de la muerte de mi padre, empecé a escribir sobre el Mar y Galicia, sobre Galicia y el Mar... Sobre el Mar de Galicia. Es realmente mi amor secreto.

En el año 1990 empiezo a «oficializar» mi pasión con el Primer Master de Pesca y Cultivos Marinos impartido por el IME – ICADE. Los cursos siguientes fui profesor de las áreas de «Acuicultura» y «Recursos Naturales Pesqueros».

«La Voz de Ortigueira» publicó mi primer libro «Bivalvos de la Ría de El Barquero (I)» en el año 1992. Es quizás el antecedente de este libro porque trata el mismo tema pero desde puntos de vista diferentes.

En el año 1997 me «profesionalicé» al crear la asignatura «Ingeniería de los Cultivos Marinos» en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) que fue impartida tanto presencial como virtualmente. A los pocos años se forma un equipo de trabajo, bajo mi dirección, que empezó su actuación en la Universidad y culminó sus trabajos en la «Spin-off» de la UPM «Global Aquafish» en el año 2005.

Estos años de trabajo han constituido la base de este libro que ahora ve la luz gracias a la fe y a la confianza que me ha regalado D. Juan Espinosa de los Monteros desde el «Observatorio Español de Acuicultura». Muchas gracias por tu apoyo.

El Autor.



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA JAULA</b> .....	23
<b>3. DESCRIPCIÓN DE JAULAS FLOTANTES</b> .....	29
3.1. ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN Y SUSTENTACIÓN.....	31
3.2. RECINTO O BOLSA DE RED .....	37
3.3. AGRUPAMIENTO DE JAULAS.....	66
3.4. SISTEMA DE FONDEO .....	68
3.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES A UTILIZAR .....	72
<b>4. VENTAJAS DE LAS JAULAS</b> .....	73
4.1. VENTAJAS GENERALES DE LAS JAULAS .....	75
4.2. VENTAJAS DE LAS JAULAS PARA EL CULTIVO DE PECES PLANOS .....	76
4.3. COMENTARIOS ADICIONALES .....	77
<b>5. TIPOS DE JAULAS</b> .....	79
5.1. JAULAS FLEXIBLES Y RÍGIDAS .....	81
5.2. CLASIFICACIÓN DE GARY F. LOVERICH .....	82
5.3. CLASIFICACIÓN CLÁSICA: MALCOLM BEVERIDGE .....	85
5.4. CLASIFICACIÓN DE SCOUT Y MUIR.....	88
5.5. CLASIFICACIÓN DE MUIÑA, MOREU Y ALÁEZ .....	91
5.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS JAULAS SUMERGIBLES .....	91
<b>6. INSTALACIONES EN MAR ABIERTO</b> .....	95
6.1. RAZONES .....	98
6.2. ESTRATEGIAS OPERACIONALES .....	98
6.2.1. Condiciones operacionales y de supervivencia.....	98
6.2.2. Infraestructura.....	100





6.2.3. Requerimientos biológicos .....	100
6.2.3.1. Tamaño de la red .....	100
6.2.3.2. Movimientos de la red .....	101
6.2.3.3. Configuración del sistema .....	101
6.3. REQUERIMIENTOS DE UNA INSTALACIÓN EN MAR ABIERTO .....	103
7. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO .....	105
7.1. CATEGORÍAS DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN .....	107
7.2. FACTORES RELACIONADOS CON LOS ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO .....	108
7.3. LIMITACIONES A CONSIDERAR EN EL EMPLAZAMIENTO .....	109
7.4. CRITERIOS AMBIENTALES .....	110
7.5. INTERFERENCIA CON OTROS SECTORES .....	115
8. CULTIVO EN JAULAS: PROBLEMAS <u>VS</u> SOLUCIONES .....	117
8.1. RESIDUOS .....	119
8.2. CONDICIONES AMBIENTALES .....	120
8.3. HIELO .....	125
9. ESTADO DEL ARTE: MODELOS DE JAULAS .....	127
9.1. PECES NADADORES .....	129
9.1.1. Aquasystem 104 .....	129
9.1.2. Bridgestone .....	130
9.1.3. Corelsa .....	133
9.1.4. Dunlop Aquaculture .....	134
9.1.5. Farmocean .....	136
9.1.6. Fusion Marine .....	138
9.1.7. Lithgow Aqua Services .....	139
9.1.8. Marina System Ibérica .....	139
9.1.9. Marine Costruction AS .....	142
9.1.10. Ocean Spar Sea Cage System (OSSCS) .....	143
9.1.10.1. Descripción general .....	143
9.1.10.2. Descripción detallada .....	146
9.1.11. Ocean Spar Sea Station .....	148



9.1.12.	Polarcirkel .....	152
9.1.13.	Quintas & Quintas .....	154
9.1.14.	Refa .....	154
9.1.15.	Sadco .....	158
9.1.16.	Simar .....	160
9.1.17.	Prototipo granja semi-rígida (UPM).....	161
9.1.18.	Ocean Globe .....	162
9.1.19.	«Trident Sea Cage».....	164
9.1.20.	Proyecto «IntelliSTRUCT» de SINTEF.....	166
<b>9.2.</b>	<b>PECES PLANOS .....</b>	<b>167</b>
9.2.1.	Aqualine: viveros para el cultivo del fletán .....	167
9.2.2.	Rodaballo y especies similares en Chile.....	168
9.2.3.	Vivero sumergible PDW. FMIRI (Shanghai) .....	169
9.2.4.	Experiencias en Galicia: viveros de experimentación .....	172
9.2.4.1.	Experiencias final década de los 80.....	172
9.2.4.2.	Experiencias final década de los 90.....	179
9.2.5.	Jaulas para peces planos del IBSS .....	186
9.2.6.	Experiencias de Loitamar en los últimos años .....	186
9.2.7.	Jaulas sumergidas en el Mediterráneo español.....	188
9.2.8.	Experiencias en el Mediterráneo Oriental .....	189
9.2.9.	Jaula sumergida Bahía de Nápoles. G.Paolillo y A. Ortega.....	191
9.2.10.	Autorización de experiencias en Nules (2006).....	193
9.2.11.	Jaulas cuadradas de POLAR CIRKEL.....	194
9.2.12.	Jaula para peces planos de PRONA .....	195
9.2.13.	Vivero de aluminio para peces planos de REFA.....	195
9.2.14.	Jaulas sumergidas en la Ría de Aldán y en Redondela .....	195
9.2.15.	Sea Station de Ocean Spar Technologies .....	197
9.2.16.	Estructura para cultivo de peces planos de la UPM.....	198
9.2.17.	Viveros con unidades «Jet – Float».....	202
9.2.18.	Fondos flexibles VS fondos rígidos .....	202
<b>10.</b>	<b>ESFUERZOS Y SOLICITACIONES SOBRE LA INSTALACIÓN.....</b>	<b>205</b>
<b>10.1.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS AGENTES EXTERNOS .....</b>	<b>209</b>
10.1.1.	Mareas.....	211
10.1.2.	Olas. Cálculo de alturas y frecuencia .....	212
10.1.3.	Acción del viento sobre la instalación.....	220
10.1.3.1.	Velocidad del viento .....	221



10.1.3.2.	Presión dinámica del viento.....	223
10.1.3.3.	Fuerzas de presión.....	223
10.1.3.4.	Punto de aplicación de la fuerza del viento .....	224
10.1.4.	Acción de la corriente sobre la instalación .....	225
10.1.5.	Hipótesis de carga .....	229
10.1.5.1.	Hipótesis de carga estáticas .....	230
10.1.5.2.	Hipótesis de carga de diseño .....	230
10.1.5.3.	Hipótesis de carga accidentales.....	231
<b>11.</b>	<b>ESTUDIO DE FLOTABILIDAD .....</b>	<b>233</b>
11.1.	CÁLCULO DE LAS FUERZAS ESTÁTICAS .....	235
11.2.	ESTUDIO DE FLOTABILIDAD .....	239
<b>12.</b>	<b>ESTUDIO DEL SISTEMA DE FONDEO DE VIVEROS .....</b>	<b>241</b>
12.1.	ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS .....	243
12.1.1.	Fondeos individuales .....	244
12.1.1.1.	Farmocean .....	245
12.1.1.2.	Gael Force .....	245
12.1.1.3.	Refa (TLC).....	246
12.1.1.4.	Ocean Spar Sea Cage System (OSSCS) .....	247
12.1.1.5.	Ocean Spar Sea Station .....	247
12.1.1.6.	Vivero SADCO .....	249
12.1.1.7.	Sistema de fondeo SEAFLEX .....	251
12.1.1.8.	SINTEF. «Novel Single Point Mooring Designs» .....	251
12.1.1.9.	«Trident Sea Cage» .....	255
12.1.1.10.	Sub-Marine Offshore Cage System. Marvel Investment Israel...	255
12.1.2.	Fondeos en grupo.....	256
12.2.	ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS .....	259
12.2.1.	Elementos de fijación: anclas y muertos .....	260
12.2.2.	Cadena .....	266
12.2.3.	Accesorios de unión.....	267
12.2.4.	Guardacabos .....	268
12.2.5.	Flotador de profundidad .....	268
12.2.6.	Estachas y cabos .....	270
12.2.6.1.	Materiales de las fibras sintéticas .....	271
12.2.6.2.	Tipos de cabos según su fabricación .....	273





12.2.6.3. Estachas y cabos utilizados en acuicultura: materiales .....	276
12.2.6.4. Estachas y cabos utilizados en acuicultura: ubicación .....	278
12.2.7. Plato de amarre .....	289
12.2.8. Boyas de fondeo .....	295
12.2.9. Balizamiento .....	297
<b>12.3. CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS .....</b>	<b>298</b>
12.3.1. Parámetros a definir de la instalación .....	300
12.3.2. Cálculo de las fuerzas dinámicas .....	303
12.3.2.1. Método sencillo utilizado por la industria .....	303
12.3.2.2. Otras fórmulas utilizadas .....	308
12.3.3. Consideraciones generales sobre los fondeos de viveros .....	320
12.3.4. La pretensión en los sistemas de fondeo de viveros .....	325
12.3.5. Cálculo de las líneas de fondeo .....	329
<b>13. CONSIDERACIONES OPERACIONALES .....</b>	<b>339</b>
<b>14. MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN .....</b>	<b>343</b>
14.1. SISTEMA DE FONDEO .....	345
14.2. ESTRUCTURA DE LAS JAULAS .....	346
14.3. BOLSA DE RED .....	347
14.4. ELEMENTOS DE SUPERFICIE .....	355
14.5. BOYAS DE BALIZAMIENTO .....	360
14.6. TENSIONADO DE LA INSTALACIÓN .....	361
14.7. VIVEROS «BRIDGESTONE» .....	362
14.8. RESUMEN ORIENTATIVO .....	363
14.8.1. Actividades a realizar diariamente de forma continua .....	363
14.8.2. Actividades a realizar semanalmente .....	363
14.8.3. Actividades a realizar a lo largo de los meses .....	364
14.9. ENSAYOS DE REDES .....	364
14.9.1. Introducción .....	364
14.9.2. Beneficios .....	365
14.9.3. Objetivos .....	365
14.9.3.1. Obtención de información .....	365
14.9.3.2. Definición de los materiales a investigar y su estado .....	366
14.9.3.3. Obtención de datos de los fabricantes de redes .....	366



14.9.3.4. Realización de ensayos .....	366
14.9.3.5. Analizar los resultados obtenidos frente a los datos facilitados.....	366
14.9.3.6. Recopilar todas las actividades en un informe final.....	366
14.9.4. Plan de trabajo .....	366
14.9.5. Identificación de accidentes y sus causas.....	366
14.9.6. Identificación de los principales problemas de las redes .....	367
14.9.7. Identificación de las redes en relación con las especies a cultivar ....	367
14.9.8. Identificación de los materiales a investigar .....	367
14.9.9. Definición del estado de los materiales a investigar.....	368
14.9.10. Obtención de datos de los fabricantes de redes .....	368
14.9.11. Ensayos a realizar .....	368
14.9.12. Normas de aplicación a los ensayos .....	370
14.9.13. Comparación de los resultados obtenidos con los datos facilitados.....	371
14.9.14. Discusión de los resultados con los fabricantes de redes y con las empresas de cultivo.....	371
14.9.15. Informe final.....	371
<b>15. ESPECIES QUE SE CULTIVAN EN VIVEROS .....</b>	<b>373</b>
15.1. EL ABADEJO .....	375
15.2. EL ATÚN ROJO .....	375
15.3. EL BACALAO .....	376
15.4. EL BESUGO .....	376
15.5. EL BORRIQUETE.....	377
15.6. LA CORVINA .....	378
15.7. EL DENTÓN .....	379
15.8. LA DORADA .....	380
15.9. EL ESTURIÓN .....	380
15.10. LA HURTA .....	381
15.11. EL LENGUADO .....	382
15.12. LA LUBINA .....	383
15.13. EL MERO .....	383

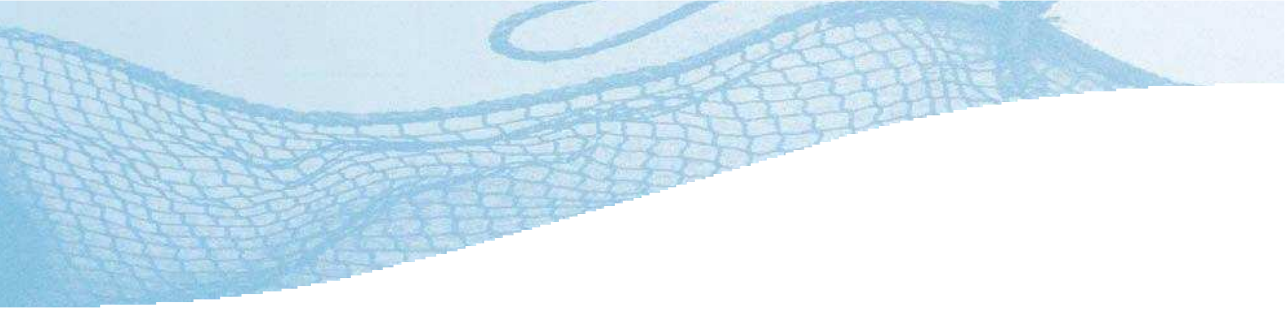


15.14. LA PAGURTA .....	384
15.15. EL PARGO .....	385
15.16. EL PARRACHO .....	385
15.17. EL REO .....	386
15.18. EL RODABALLO .....	386
15.19. EL SALMÓN .....	387
15.20. EL SALMONETE .....	388
15.21. EL SARGO COMÚN .....	388
15.22. EL SARGO PICUDO .....	389
15.23. LA SERIOLA .....	390
<b>16. ENGRASE DEL ATÚN ROJO EN VIVEROS .....</b>	<b>391</b>
16.1. INTRODUCCIÓN .....	393
16.2. PROCESO DE CULTIVO .....	394
16.3. PROCESADO Y COMERCIALIZACIÓN .....	397
16.4. ACTIVIDADES DE INGENIERÍA .....	398
16.5. PROYECTO DE FUTURO .....	399
<b>17. MATERIALES ANTI-INCRUSTANTES («ANTIFOULINGS») .....</b>	<b>401</b>
<b>18. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: UN CICLO COMPLETO .....</b>	<b>407</b>
18.1. MONTAJE DE LA JAULA .....	409
18.2. FONDEO DE LAS JAULAS .....	410
18.3. PROCESO PRODUCTIVO .....	411
18.4. ALIMENTACIÓN EN LA JAULA .....	416
18.5. DESPESQUE Y TRASLADO A TIERRA .....	417
<b>19. ETAPAS DE UN PROYECTO .....</b>	<b>419</b>
19.1. ESTUDIOS PREVIOS .....	421
19.1.1. Estudio de viabilidad biológica .....	421
19.1.2. Identificación y análisis de emplazamientos .....	421
19.2. SOLICITUD DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	422





19.3. AUTORIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS.....	422
19.4. PROYECTO DETALLADO .....	423
19.4.1. Estudio de mercado.....	423
19.4.2. Memoria .....	424
19.4.3. Estudio de viabilidad técnica.....	425
19.4.4. Estudio de viabilidad económica.....	425
19.4.5. Plan de producción.....	426
19.4.6. Estudio biológico.....	443
19.4.7. Estudio de Impacto Ambiental.....	443
19.4.8. Especificación técnica de diseño.....	444
19.4.9. Emplazamiento.....	447
19.4.10. Presupuesto .....	447
19.4.11. Estudio de seguridad.....	447
19.4.12. Instrucciones de operación .....	448
 20. PROBLEMAS DE LAS JAULAS IDENTIFICADOS POR EL SECTOR.....	 449
 21. CONCLUSIÓN.....	 453
 REFERENCIAS .....	 459
 AGRADECIMIENTO.....	 465



# INTRODUCCIÓN

Los cultivos de peces en el mar fueron la consecuencia lógica, en las últimas décadas, de las instalaciones en tierra.

Los altos costes de bombeo y la necesidad de optimizar la rentabilidad de las instalaciones forzaron el traslado, al menos de la fase de engorde de los peces, hacia el mar.

Los resultados económicos fueron espectaculares, así como los biológicos y patológicos, lo que impulsó el desarrollo exponencial de la acuicultura de peces en el mar, primero en aguas cercanas a la costa y más tarde en mar abierto.

La acuicultura «offshore» es ya hoy una realidad esplendorosa y representa el futuro de esta actividad.

Este segundo tomo de la serie sobre «Ingeniería de los Cultivos Marinos» va a tratar de cubrir las instalaciones que han hecho posible el cultivo de peces en el mar.

Aunque existen varios tipos de instalaciones, las jaulas o viveros flotantes constituyen la mayoría de los artefactos utilizados para el cultivo de peces en el mar, por lo tanto el contenido de este libro se centrará en estas estructuras.

A lo largo de los capítulos se detallarán los siguientes aspectos:

- Características generales de las jaulas,
- Descripción de las mismas.
- Ventajas.
- Tipos de viveros.
- Instalaciones en mar abierto.
- Selección del emplazamiento.
- Problemas y posibles soluciones de los cultivos en jaulas.



- Estado del arte de los viveros para peces nadadores y para peces planos.
- Esfuerzos y solicitudes sobre la instalación.
- Estudio de flotabilidad.
- Estudio del sistema de fondeo.
- Consideraciones operacionales.
- Mantenimiento e inspección.
- Especies que se cultivan en viveros.
- Engrase del atún rojo.
- Materiales anti-incrustantes.
- Descripción de un ciclo completo de operación.
- Problemas identificados por el sector.
- Conclusiones.

La idea que ha presidido la preparación de este libro es la misma que la del primer volumen y destacada por la crítica de una revista especializada del sector (IPAC): la practicabilidad.

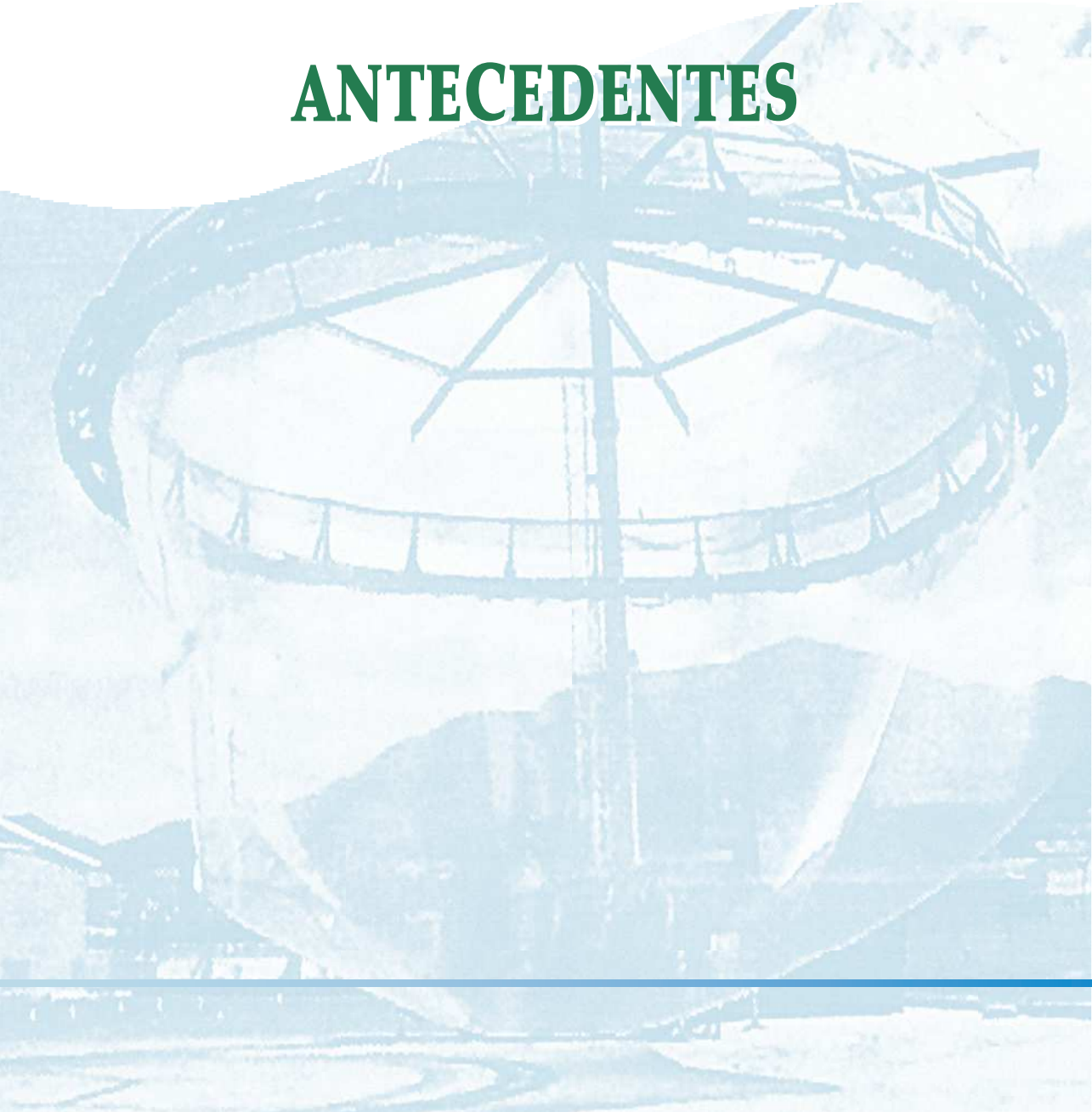
Como ya decía en la introducción del primer libro...«*Espero que este trabajo sea ayuda y apoyo a cualquier persona que se enfrente con la preparación de un proyecto de instalación de peces en el mar, y que le sirva para desarrollar su idea específica. Siempre es difícil empezar un proyecto pero si hay ya algo en que apoyarse, algo que ayude a iniciarlo, siempre será más fácil aunque el resultado final no se parezca nada a esta base. Si se logra este objetivo de ayuda y apoyo, el propósito de este trabajo se habrá logrado: semilla de proyectos futuros*».

Las imágenes con este icono , son vídeos.  
Pinche sobre la imagen para activarlos.



# 1

## ANTECEDENTES







# 1

## ANTECEDENTES

Por todos los datos que conocemos, el estanque natural o artificial fue el primer sistema para conservar los peces vivos y alimentarlos.

Cuando se utilizó la red para su captura, debió emplearse también para mantenerlos en cautividad en el agua, pero durante muy poco tiempo, porque no permitían ni el movimiento ni la alimentación correcta.

Las jaulas fueron, probablemente, las primeras estructuras usadas por los pescadores para mantener vivos a los peces capturados durante la jornada de trabajo hasta su venta en el mercado.

En Asia oriental se empezó a utilizar una empalizada de bambú para albergar los peces en movimiento pudiendo ser alimentados hasta su venta. Esta práctica puede ser el antecedente del concepto de jaula (figura 1.1).

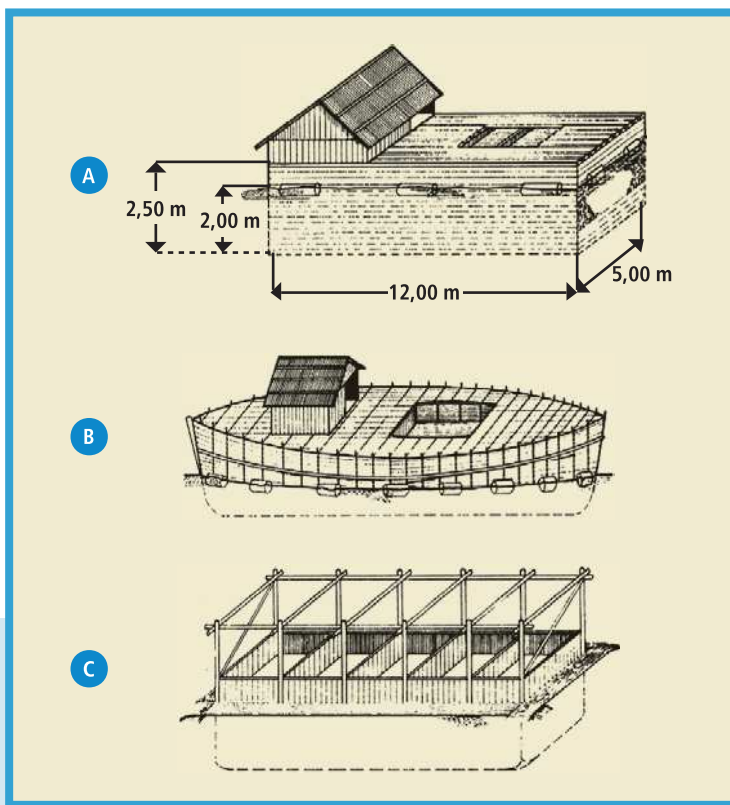
Realmente el cultivo en jaulas es de origen reciente y parece que se ha desarrollado independientemente en varios países a la vez, todos en el sudoeste de Asia. En Kampuchea las jaulas flotantes han estado



**FIGURA 1.1.**  
Jaulas de bambú  
fijas (Beveridge).

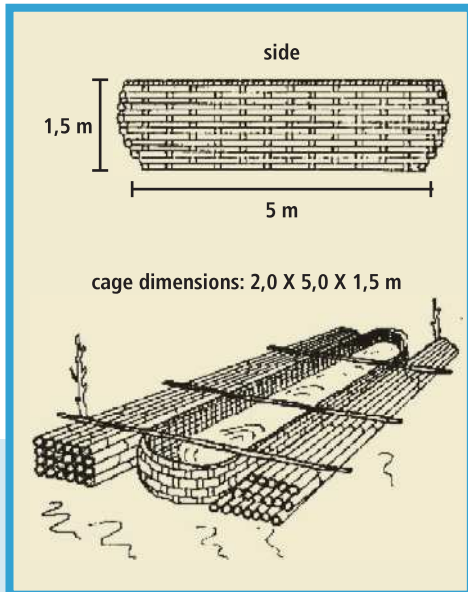


utilizándose desde el final del siglo pasado. Peces gato y góbidos se mantenían en jaulas de bambú y se comercializaban en Phon Penh. Las jaulas se construían como un artefacto flotante o se incorporaban a la estructura de un barco (figura 1.2 A, B, C). Este tipo de cultivo se extendió durante este siglo al delta del Mekong y en Vietnam.



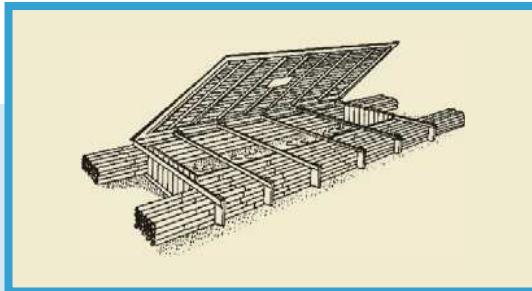
**FIGURA 1.2.**  
Antecedentes  
del cultivo en  
jaulas (Beveridge).

En Indonesia, las jaulas flotantes de bambú se han utilizado en la década de los años 20 y evolucionaron hasta 1940, siendo utilizadas para peces de agua dulce. En Bangkok, pequeñas jaulas de madera y de bambú, se anclaban al fondo en los ríos y canales, con carpas que se alimentaban de los residuos e invertebrados que eran arrastrados por la corriente (figuras 1.3). Otros modelos ya se anticipaban al diseño de las actuales jaulas flotantes (figuras 1.4 y 1.5).



**FIGURA 1.3.**  
Jaulas flotantes  
primitivas  
(Beveridge).

**FIGURA 1.4.**  
Jaulas flotantes  
primitivas (Beveridge).



**FIGURA 1.5.**  
Jaulas flotantes  
primitivas  
(Beveridge).

El cultivo tradicional en jaulas se basaba en materiales de construcción de la naturaleza y la alimentación a base de residuos, práctica aún normal en muchas zonas de Indonesia y China. Aunque estos métodos han tenido cierto éxito en las zonas citadas para el cultivo de peces, realmente no han influido directamente en la industria actual de cultivo en jaulas. Las jaulas modernas utilizan materiales sintéticos para las redes y mallas y tienen collares





para la flotación y el soporte fabricados de polímeros sintéticos y metales.

Es difícil situar los orígenes de las jaulas modernas, aunque probablemente iniciaron este cultivo los japoneses de la década de los 50. El profesor Hamada, Director del Laboratorio de Pesca de la Universidad de Kinki, construyó con carácter experimental la primera jaula en 1954 y estableció el cultivo comercial de seriola tres años más tarde. En Noruega, las jaulas se han utilizado para el cultivo del salmón atlántico desde principios de la década de los 60, y en Escocia la «White Fish Authority» hizo sus primeros intentos de salmón en jaulas en 1965.

El gran crecimiento del cultivo moderno en jaulas se produjo en las décadas de los 70 y 80. El desarrollo de las jaulas ha sido paralelo al de la acuicultura no solo marina sino continental.

En efecto, el sistema de jaulas se ha utilizado también en lagos y embalses para peces de agua dulce. La ausencia de mareas y de otros fenómenos ambientales, no ha hecho necesario mayores desarrollos para este tipo de jaulas, y ha sido la acuicultura de peces marinos la que ha impulsado su diseño.

Cada especie y cada zona de cultivo necesitan una jaula que responda a sus características y a sus necesidades. El cultivo de salmón en los fiordos noruegos no tiene nada que ver con el «engrase» de atún en las costas mediterráneas, con el engorde de dorada y lubina en las costas canarias o con el cultivo de peces planos en Galicia.

A continuación se visualizan algunas jaulas de primera generación. La figura 1.6 muestra una jaula rígida de pequeñas dimensiones. La estructura de flotación de una jaula muy sencilla para remansos fluviales



**FIGURA 1.6.**  
Jaula rígida (Beveridge).



**FIGURA 1.7.**  
Jaula flotante fluvial (Beveridge).



se visualiza en la figura 1.7. El antecedente directo de las jaulas modernas se puede apreciar en la figura 1.8. Una variante con la estructura de la bolsa movable y basculante se aprecia en la figura 1.9.



**FIGURA 1.8.** Jaula flotante precursora (Beveridge).



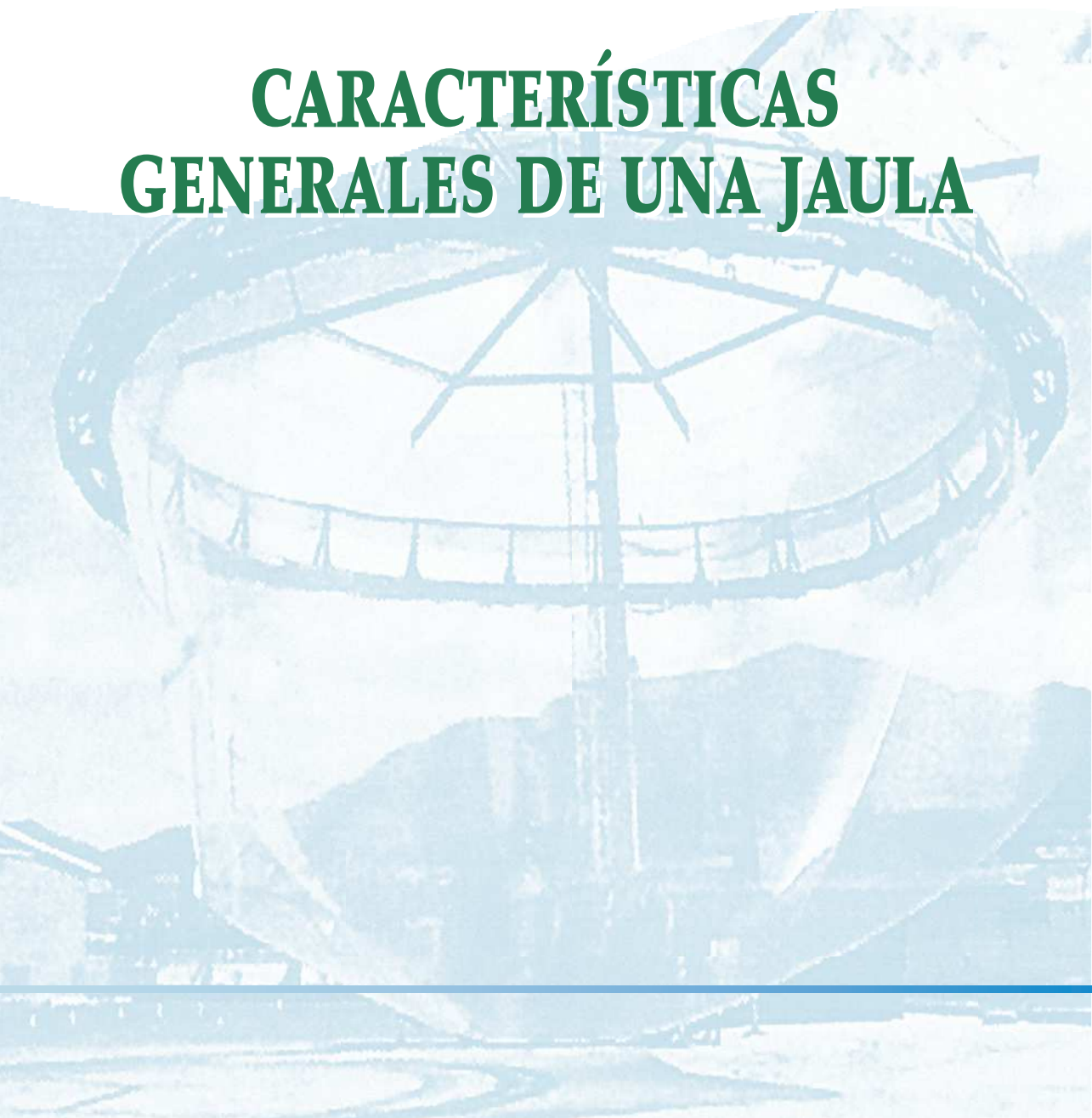
**FIGURA 1.9.**  
Jaula flotante con bolsa móvil (Beveridge).





# 2

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA JAULA**







## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA JAULA

Una jaula para el cultivo de peces es una estructura con flotadores de la cual se suspende una bolsa de red.

Las jaulas, como estructuras flotantes, deben cumplir una serie de condiciones que se resumen a continuación:

- Proporcionar un recinto cerrado para el crecimiento de los peces, que mantenga la forma, evitando de este modo el stress de la biomasa.
- Facilitar el intercambio de agua para asegurar una correcta renovación del oxígeno y la dispersión de los residuos.
- Resistencia y flexibilidad frente al viento y al oleaje.
- Capacidad de absorción de las fuerzas estáticas (pesos, «fouling»,...) y dinámicas (corrientes, mareas, olas, vientos...) por el conjunto jaula-fondeo.
- Proporcionar una zona de trabajo segura y eficiente: pasarelas, barandillas...
- Viabilidad económica: reduciendo en la manera de lo posible los costes de operación y mantenimiento.

Hay también una serie de decisiones que se deben tomar, después de una cuidadosa evaluación de las posibles alternativas, antes de iniciar el diseño de los viveros individuales. Algunas de ellas se esquematizan a continuación:

- Emplazamiento.
- Monocultivo o Policultivo.
- Especies a cultivar.
- Tipo de jaulas: flotante, sumergible, sumergida...
- Tipos de elementos de flotación, fondeos y conexiones.
- Pasillo de trabajo o plataformas parciales.



- Configuración de la flotilla.
- Jaulas fondeadas separadamente.
- Material, tipo y tamaño de malla.
- Materiales de los componentes.
- Conexiones y uniones entre los viveros y con las líneas de fondeo.
- Medios para controlar la forma y volumen de la red en el caso de corrientes muy fuertes.
- Red anti depredadores.
- Red de pájaros.
- Composición del biofouling y tasas de crecimiento sobre los elementos de la instalación.
- Procedimientos de operación y servicios.
- Procedencia de semillas y / o alevines.
- Parámetros de despesque.
- Actividades preliminares de marketing.
- Esquema de servicios y mantenimiento.
- Plan de diseño, construcción y puesta en operación.
- Capacidad de producción (inicial y futura).
- Plan de operación (estacional o anual).
- Estimación de la biomasa (normal y máxima).
- Condiciones ambientales.
- Localización de las bases de apoyo.
- Vida en operación.
- Redundancia y fiabilidad.
- Niveles de experiencia de los trabajadores.
- Planes de futuro.

La forma y el tamaño de las jaulas pueden ser influenciados por una combinación de los factores siguientes:

- Especies a cultivar.
- Condiciones ambientales.
- Método de cultivo.
- Propiedades y disponibilidad de los materiales.
- Condiciones locales.



El diseño de la jaula debe empezar por la **bolsa**, cuya forma debe adaptarse a los requisitos de la especie a cultivar. Las instalaciones circulares son las más adecuadas para especies de cría gregarias, como el salmón y la dorada, que tienden a nadar en círculos cuando están encerradas y por lo tanto esta forma es menos estresante para ellas. Hay otras especies, no tan activas nadando, que la forma no les importa.

La influencia de la superficie y la profundidad de las jaulas en la salud y en el rendimiento del cultivo también se deben considerar. Jaulas con menos de 1.5 m de profundidad retardan el engorde de los peces, mientras que profundidades mayores que 10 ó 12 m no se deben utilizar porque las condiciones de temperatura y luminosidad suelen ser adversas. Las excepciones son las jaulas para peces planos en las que se recomiendan profundidades entre 0.9 y 1.6 m, y las jaulas para el besugo que se deben situar a partir de doce metros de profundidad.

Las jaulas de gran tamaño son más adecuadas para especies grandes y rápidas, como los atunes. Desde el punto de vista del cultivador, un aumento del tamaño de la jaula supone una disminución del coste por unidad de volumen, y esta es la razón principal de la tendencia para ir a jaulas de mayor tamaño. Sin embargo las jaulas mas grandes exigen materiales y tecnología mas sofisticados.

Las condiciones ideales para los **materiales** empleados en las jaulas son las siguientes:

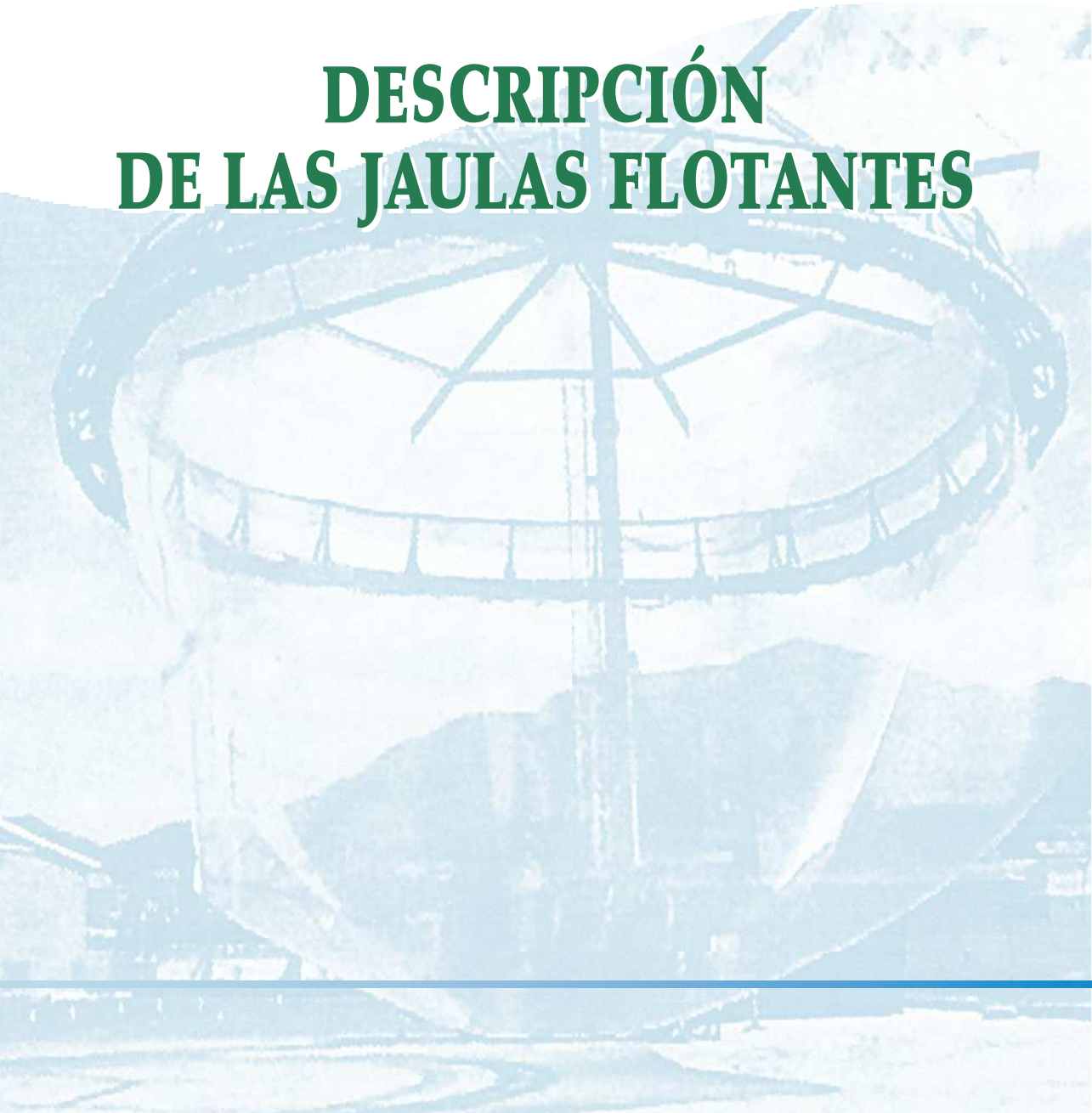
- Fortaleza.
- Poco peso.
- Resistencia a la intemperie y a la corrosión.
- Resistencia al «fouling».
- Facilidad para trabajar y reparar.
- Resistencia aerodinámica.
- Textura suave y no dañina para los peces.





# 3

## DESCRIPCIÓN DE LAS JAULAS FLOTANTES







## DESCRIPCIÓN DE LAS JAULAS FLOTANTES

Los tres elementos esenciales de las jaulas o viveros flotantes son: la estructura de flotación y sustentación, el recinto o bolsa de red y el sistema de fondeo. A continuación se incluye una descripción general de cada uno de ellos. La figura 3.1 visualiza estos elementos.

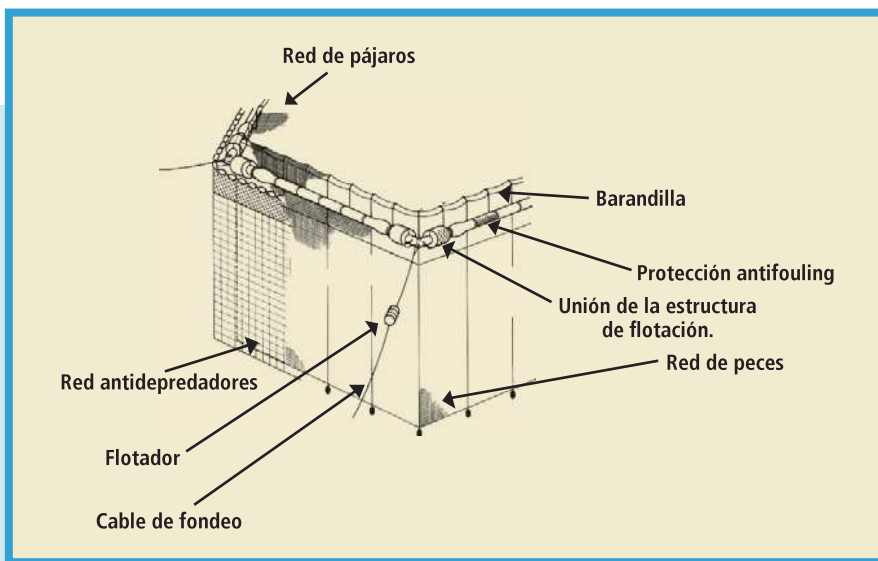


FIGURA. 3.1. Esquema de una jaula (Global Aquafish).

### 3.1. ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN Y SUSTENTACIÓN

Esta estructura es un collar o anillo que sostiene la bolsa de red (parte a través de la barandilla y parte a través de los anillos de flotación),



sirve de auxiliar para la operación y resiste los esfuerzos variables del fondeo en las diferentes condiciones ambientales, y además, proporciona la necesaria flotabilidad (los valores de este parámetro suelen oscilar entre 40 y 120 Kg. / m. según sean las dimensiones del vivero).

Los viveros, como todo cuerpo flotante, tienen un centro de gravedad (G) y un centro de empuje (B) (centro de gravedad del agua desplazada) cuando están en reposo.

Cuando pasa una ola el collar se inclina un ángulo pequeño ( $\theta$ ). Aunque el centro de gravedad permanece en su sitio, el centro de empuje traslada su posición a  $B_1$  (figura 3.2). La intersección de la vertical que pasa por  $B_1$  con la vertical que pasa por el centro de empuje inicial se denomina metacentro (M). Entonces el momento que intenta recuperar el equilibrio será:

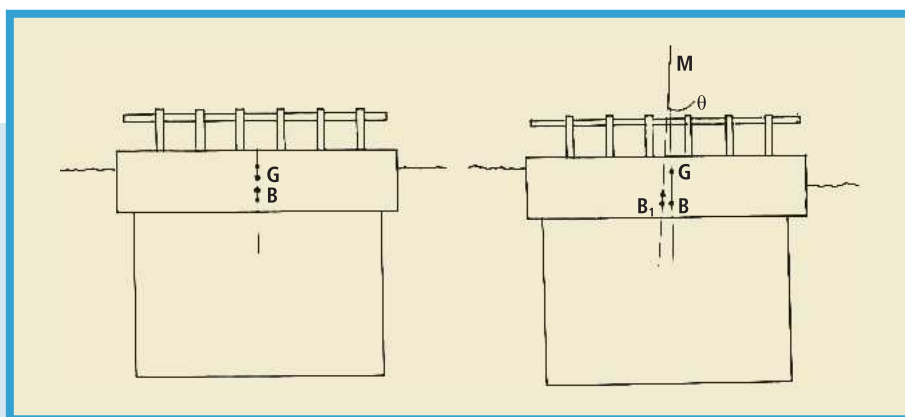
$$\text{Momento recuperador} = W GM \text{ sen } \theta$$

Siendo:

$W$  = Masa total del vivero.

$GM$  = Altura metacéntrica.

Si el empuje o flotabilidad del vivero se aumenta sin incrementar su peso, por ejemplo utilizando materiales de baja densidad, como el poliuretano expandido o el poliestireno, entonces el centro de gravedad se eleva con lo cual el momento recuperador disminuye porque tanto  $W$  como  $GM$  se hacen más pequeños. Este hecho es beneficioso para



**FIGURA 3.2.** Centros de empuje y de gravedad de un vivero (Beveridge).



la estructura, ya que al disminuir el par recuperador disminuyen los esfuerzos sobre el vivero, y los movimientos son más lentos y por lo tanto más confortables. Además si estos movimientos de recuperación son muy rápidos, también inducirían deformaciones rápidas de la red que pueden originar estrés y daños en los seres en cultivo.

Como las fuerzas de las olas y de las corrientes son proporcionales también a la superficie expuesta del sistema de flotación, otra recomendación importante es disminuir la máximo las dimensiones del collar.

Dos conclusiones importantes después de este razonamiento:

- Disminuir al máximo el peso del sistema de flotación utilizando materiales de baja densidad.
- Disminuir al máximo las dimensiones del sistema de flotación.

Si esta estructura es ancha, facilita mucho los trabajos de alimentación, cambio de redes y despesque. Los collares de los primeros diseños eran rígidos, pero actualmente se tiende a estructuras flexibles, ya que resisten mejor las condiciones del mar, que en el caso de emplazamientos expuestos, es fundamental (Figura 3.3, vídeo).

El módulo de elasticidad del material es una medida de su rigidez y su valor ( $E$ ) relaciona la carga con la deformación no permanente. El acero tiene un valor de  $E$  muy alto y el polietileno muy bajo.

La mayor parte de los fabricantes, en estos momentos, se inclinan por un diseño de dos o más anillos de polietileno de alta densidad (HDPE) de diámetros entre 200 y 315 mm., rellenos o no de poliestireno expandido, con unos soportes verticales que rigidizan el conjunto de los anillos y soportan la barandilla o pasamanos de operación y parte del peso de la red. La figura 3.4 muestra una estructura típica. Las dimensiones de estas jaulas circulares varían entre 20 y 120 metros de diámetro.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 3.3.** Flexibilidad de las jaulas.





**FIGURA 3.4.**  
Estructura  
de flotación  
y sustentación.

Sobre el collar actúan fuerzas estáticas y dinámicas. Las **fuerzas estáticas** actúan verticalmente y son debidas al peso de la bolsa, a la superestructura y a las cargas adicionales que se pueden originar durante los trabajos habituales (personal, alimentadores y equipo auxiliar, bombas, aireadores...) y todas estas variables se deben considerar para diseñar el sistema de flotación. El cálculo siguiente, desarrollado por Beveridge, sirve de ejemplo (este método es el más sencillo pero para una primera aproximación es correcto, más adelante se desarrollan sistemas de cálculo más específicos y precisos):

- Dimensiones de la bolsa =  $5 \times 5 \times 5 \text{ m} = 125 \text{ m}^3$ .
- Material: Nylon de 24 mm de malla.
- Densidad:  $0.24 \text{ Kg. / m}^3$ .
- Peso total de la bolsa en el aire limpia y seca: 30 Kg.
- Se considera un aumento de 15 veces de su peso en el aire debido al «fouling».
- Peso total de la bolsa en el aire con fouling: 450 Kg.
- Cuerda necesaria para el armazón de la bolsa: 90m.
- Densidad:  $10 \text{ Kg} \times 100 \text{ m}^{-1}$ .
- Peso total de la cuerda en el aire y seca: 9 Kg.
- Se considera un aumento de 2 veces de su peso en el aire debido al «fouling».





- Peso total de la cuerda en el aire con fouling: 18 Kg.
- Máxima densidad de peces: 25 Kg. / m<sup>3</sup>  $\Rightarrow$  3125 Kg. de peces.
- Se asume que el 10% de los peces son soportados por la red durante el despesque = 313 Kg.
- Peso de la superestructura + personal + equipo = 500 Kg.
- Peso TOTAL de la jaula en el aire = 1272 Kg.
- Asumiendo un factor de seguridad de 1.25, las cargas verticales de diseño son 1591 Kg.

Para calcular el peso en el agua habría que considerar el empuje del agua desalojada. En esta primera aproximación no se considera esta realidad.

En algunos diseños el sistema de flotación es el propio collar. Otros ejemplos, mas normales en nuestras latitudes, incorporan gas a presión o poliuretano expandido o espuma de poliestireno rellenando los tubos de goma sintética o polietileno que sirven de estructura básica del collar. Si se seleccionan materiales densos, tales como aleaciones de acero o aluminio, para aumentar la resistencia, se necesita proporcionar mayor flotabilidad mediante flotadores o bloques de polímeros sintéticos expandidos.

Algunos materiales, tales como los flotadores de acero o materiales sintéticos, acumulan rápidamente incrustaciones («fouling») lo que reduce su capacidad de flotación e incrementa el esfuerzo del sistema de anclaje. Esto implica una elevación de los costes de mantenimiento por el tiempo gastado en limpieza. Las pinturas anti-fouling retrasan considerablemente este proceso. El empleo de la fibra de vidrio reforzada en todos estos componentes es una buena alternativa.

Las **fuerzas dinámicas** que actúan sobre el collar son horizontales, principalmente producidas por el viento, las corrientes y las olas, teniendo estas últimas también una componente vertical.

Una ecuación muy sencilla que puede servir para calcular la fuerza originada por el viento es la siguiente:

$$F = 0.0965 \times A \times V^2$$

Siendo:

F = Fuerza del viento en Kg.

A = Área sobre la que actúa en m<sup>2</sup>.

V = Velocidad del viento en m / seg.



Como la mayor parte de la energía de las olas será absorbida por el collar podemos suponer, conservadoramente, que la absorbe toda y una ecuación par el cálculo de la fuerza horizontal de las olas sobre el collar es la siguiente:

$$F = K \times \rho \times \mu^2 \times A$$

Siendo:

F = Fuerza en Newtons.

K = Constante adimensional que depende de la naturaleza del collar (material, forma, construcción...) y que se determina empíricamente.

$\rho$  = Densidad del agua en Kg. / m<sup>3</sup>.

$\mu$  = Componente horizontal de la velocidad orbital de las partículas de la ola en m / seg<sup>2</sup>.

A = Área del collar de la jaula perpendicular al tren de olas en m<sup>2</sup>.

La fuerza vertical originada por las olas se puede estimar en un 80 % de la horizontal.

Esta fórmula también podría utilizarse para las fuerzas originadas por las corrientes, que se puede asumir que solo crean fuerzas horizontales. Como rara vez las corrientes en las zonas donde están instaladas las jaulas superan la velocidad de 1.5 m / seg, es una buena estimación emplear este valor para la velocidad de las mismas.

Los criterios a considerar para lograr una jaula «robusta» (capaz de resistir las condiciones ambientales adversas) son los siguientes:

- Propiedades del material de construcción y tamaño y perfil de los componentes estructurales.
- Resistencia de las juntas entre componentes estructurales, especialmente cuando hay concentración de esfuerzos. Por esta razón se abandonaron las jaulas cuadradas y hexagonales (poligonales) a favor de las circulares, ya que en los vértices se producía la citada concentración.
- Grado de distribución de flexibilidad en juntas y componentes.
- Diseño y situación de los puntos de anclaje para distribuir los esfuerzos resultantes.

Todas las estructuras tienen cierto grado de flexibilidad, y para la mayor parte de las jaulas es muy deseable, ya que les permite «cabal-



gar» sobre las olas, reduciendo las fuerzas sobre el collar y las estructuras (Figura 3.3).

La mayoría de las jaulas tienen collares que sirven como plataformas de trabajo. Entonces no solo deben tener la flotabilidad adecuada, sino que también deben proporcionar una zona amplia y segura para el trabajo, que suele tener alrededor de 1 m de anchura. En estas zonas de trabajo se pueden colocar unas pequeñas estructuras, para facilitar las labores de los operarios, tales como las mostradas en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 (video).

### 3.2. RECINTO O BOLSA DE RED

El recinto limita el volumen de agua donde los peces se confinan para realizar el cultivo semi-intensivo. Las formas son variables, pero para las especies gregarias (dorada, salmón...) es preferible hacerlas redondas, ya que tienden a nadar en círculos cuando están en cautividad.

Los materiales de la malla se definen normalmente en términos de densidad (peso por metro cuadrado de panel), carga de rotura del material, diámetro de los hilos de la malla y el tamaño específico de la



**FIGURA 3.5.**  
Plataforma de trabajo.



**FIGURA 3.6.** Plataforma de trabajo.

Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 3.7.** Plataforma de trabajo.

mallas que se comenta en el párrafo siguiente. La forma de la malla es cuadrada o hexagonal. Las mallas actualmente son flexibles, las rígidas han dejado de utilizarse.

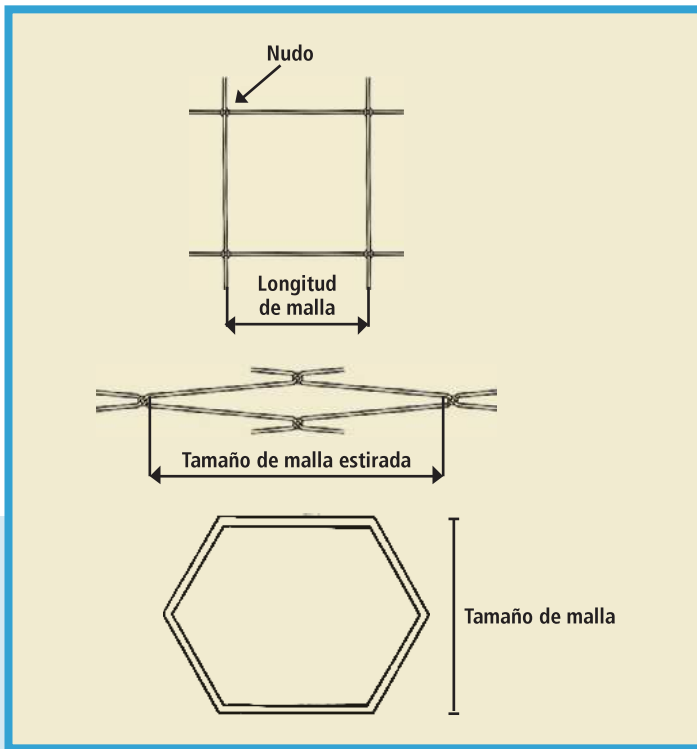
Aparte del diámetro de los hilos, se utilizan otras dimensiones para definir las mallas. La distancia entre hilos (bar length) es la distancia entre dos nudos o esquinas, también llamada mallero o longitud de la media malla. La luz o tamaño de la malla es la distancia entre nudos o esquinas cuando la red se estira. La figura 3.8 visualiza estas dos medidas. La luz de malla también puede referirse a la distancia entre hilos con lo cual a veces existen confusiones en esta característica de las redes. Teniendo en cuenta esta última definición, las mallas cuadradas más utilizadas, excepto para el atún rojo, están entre 4 – 6 mm. y 20 – 25 mm. En las mallas hexagonales, la luz de malla es la distancia entre las dos barras paralelas de mayor longitud (figura 3.8).

Otra expresión interesante es la que define como el panel de red en el mar está estirado en las direcciones de los ejes «x» e «y». Este parámetro podría denominarse coeficiente de manejo ( $C_M$ ) y sería el cociente entre la longitud de la malla de red en la dirección donde está sujeta ( $L_x$ ) y la longitud de la malla estirada ( $L_y$ ):

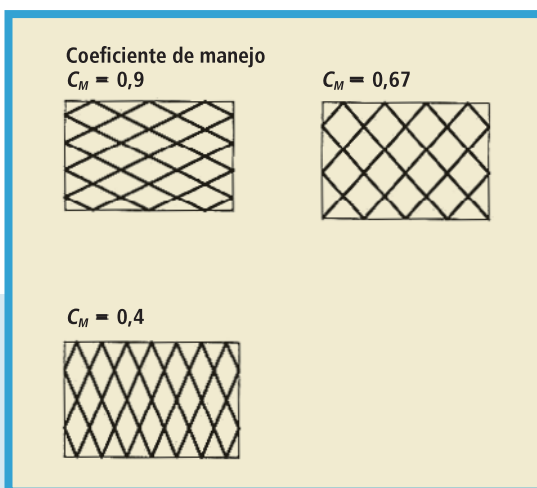
$$C_M = L_x / L_y$$

La figura 3.9 muestra varias imágenes con diferentes valores del coeficiente de manejo. En Acuicultura este valor oscila entre 0,6 y 0,9 y en cambio en pesca está entre 0,4 y 0,6, lo que significa que las redes de pesca están más estiradas que las de acuicultura.





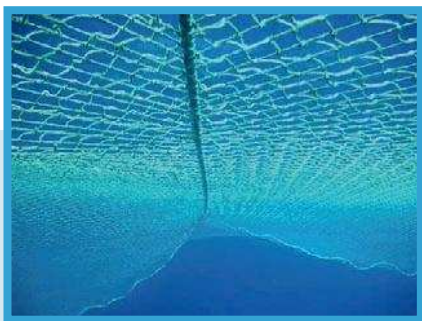
**FIGURA 3.8.**  
Malla de red  
(Beveridge).



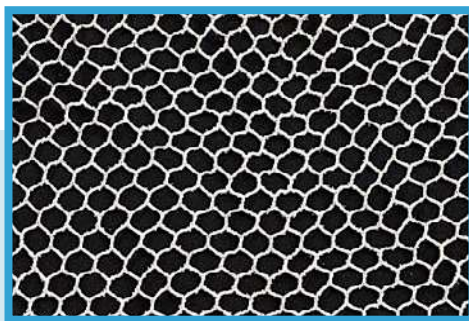
**FIGURA 3.9.**  
Coficiente de manejo (Lekang).



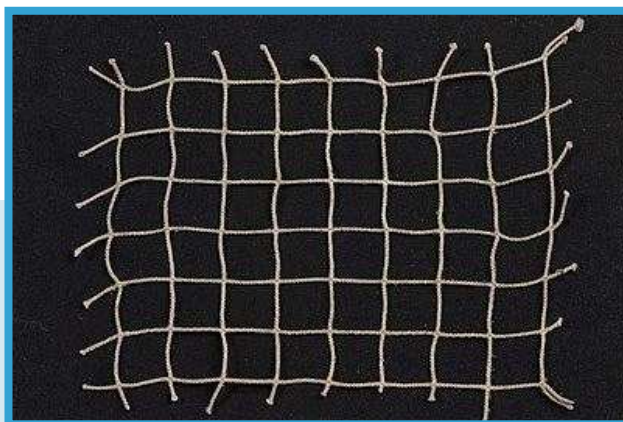
Lo ideal es que las mallas no estén estiradas y si son cuadradas mantengan esta forma, lo que significa que no soportan esfuerzos. La figura 3.10 muestra la posición ideal de las mallas. En esta situación la longitud de los paños de red es mayor que la distancia entre los cabos verticales y horizontales y por lo tanto los esfuerzos los soportan los cabos y no la red que es la parte más débil. Las figuras 3.11 y 3.12 muestran mallas de red hexagonales y cuadradas en reposo, sin tensión. La figura 3.13 visualiza un tipo especial de malla hexagonal denominado «Ultra Cross Dyneema» (en esta figura se identifica el número de fibras primarias trenzadas).



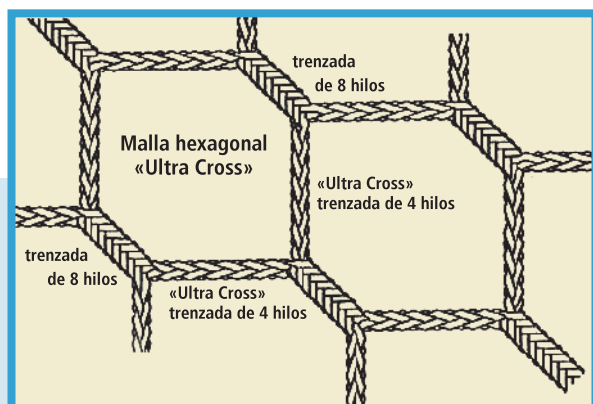
**FIGURA 3.10.** Mallas de red sin estirar (Global Aquafish).



**FIGURA 3.11.** Malla hexagonal (Global Aquafish).



**FIGURA 3.12.** Malla cuadrada (Global Aquafish).



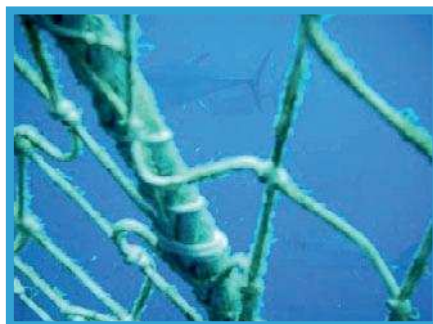
**FIGURA 3.13.** Malla hexagonal «Ultra Cross Dyneema» (Global Aquafish).

En el caso de que las mallas estén en forma de rombo, quiere decir que están soportando parte de los esfuerzos, y entonces se acumulan tensiones en los vértices de la malla y en la unión con los cabos, que supone una alta probabilidad de rotura del material más débil que es la red. La figura 3.14 muestra esta posibilidad.

Además las mallas de red cuanto más abiertas estén, sin estirar y sin «fouling», favorecen la circulación del agua (figura 3.15).



**FIGURA 3.14.** Mallas de red con tensión (Global Aquafish).



**FIGURA 3.15.** Malla abierta (Global Aquafish).



Como normalmente las redes están estiradas, en función del coeficiente de manejo se puede calcular la longitud de la red tanto en condiciones normales como en tensión con las fórmulas siguientes:

$$L_s = L_D / (1 - r)$$

Siendo:

$L_s$  = Longitud de la red estirada.

$L_D$  = Longitud de la red en condiciones normales.

$r$  = Coeficiente de manejo. Para esta fórmula, el coeficiente de manejo se define como el tanto por ciento que le falta a la malla para estar estirada totalmente. Por ejemplo si la malla está estirada al 70 %, su coeficiente de manejo será 0,3.

En el caso de la profundidad de la red la fórmula será:

$$D_s = D_D / (2 r - r^2)$$

Siendo:

$D_s$  = Profundidad de la red estirada.

$D_D$  = Profundidad de la red en condiciones normales.

En el caso del número de mallas la fórmula será:

$$N_m = D_D / (2 r - r^2) l$$

Siendo:

$N_m$  = Número de mallas.

$l$  = Longitud de la malla estirada.

Otro parámetro la «solidez», da la «tirantez» y el «llenado» de la red (¡Cuánto está sólida!), y es el cociente entre el área total que cubre la red y el área que ocupan los hilos y los nudos. Esta relación es importante cuando se calcula la resistencia de la red frente al caudal del agua. El «fouling» incrementa la solidez de la red porque aumenta la superficie cubierta de la misma.

Idealmente, las redes de las jaulas deben ser ligeramente más densas que el agua para facilitar su manejo, pero no tan densas que dificulten su manejo y que afecten a la flotabilidad y al fondeo de la instalación.

La resistencia de los materiales de la red, expuestos a la luz del sol (rayos ultravioleta), viento, lluvia, lluvia ácida y otros agentes atmosféricos, se reduce. Este hecho implica su envejecimiento. El PVC es el material más re-





sistente a este fenómeno, seguido por el polietileno y el nylon y en último lugar el polipropileno. La vida en operación se puede aumentar aplicando un antioxidante pero actualmente este tratamiento no se utiliza.

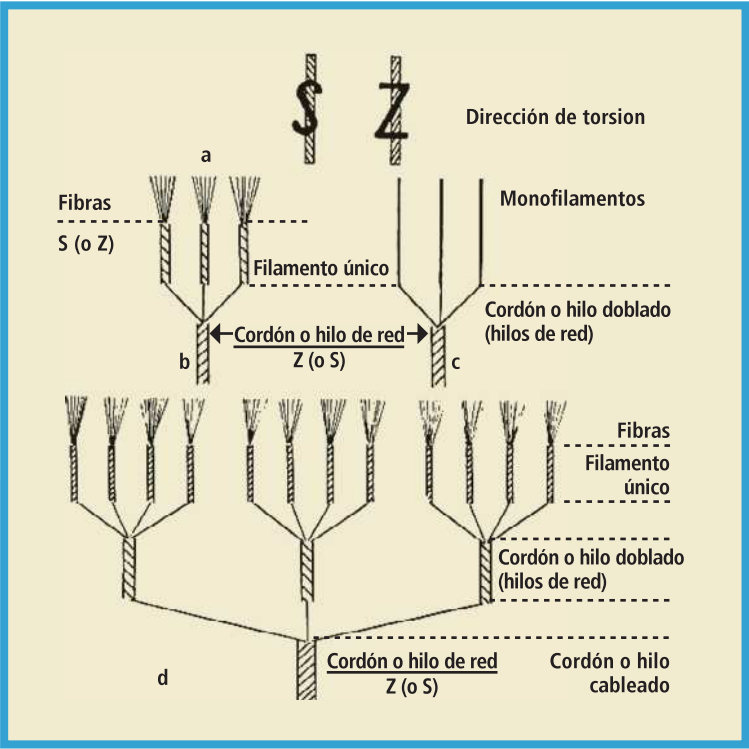
La vida en operación de las redes de malla flexible es muy variable de un emplazamiento a otro, pero se puede estimar entre tres y cinco años. Otro parámetro muy importante para controlar el envejecimiento de las redes, o lo que es lo mismo su vida en operación, es el control de su carga de rotura. Las redes en operación deben conservar siempre un valor mínimo de la carga de rotura que varía según las leyes de cada país. Normalmente ronda el 65 %.

En las **mallas flexibles** las fibras naturales no se utilizan para las redes de la bolsa, por su mayor susceptibilidad a la depredación y a la pérdida de fortaleza. Las redes modernas se fabrican de fibras sintéticas y los tipos más comunes son el nylon o poliamida (PA), el poliéster (PES), el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el Dyneema.

El nylon y el poliéster son fabricados de filamento continuo (también llamado multifilamento) que está compuesto por fibras finas de gran longitud y de un diámetro muy pequeño (menos de 50  $\mu$ ). Algunas redes de polipropileno son fabricadas también con filamento continuo, y otras con fibras producidas por torsión de películas de plástico o fibriladas mecánicamente de la película plástica después de la extrusión. Las redes de polietileno se fabrican con monofilamentos doblados, que son similares a los filamentos continuos pero con mucho más espesor (100 – 500  $\mu$ ). Todas estas fibras son conocidas como hilos y son los componentes básicos de los cordones de la red.

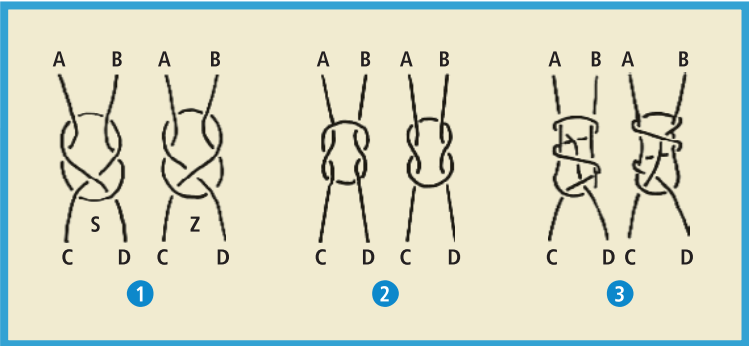
Los cordones de la red pueden ser trenzados o cableados. Para la fabricación de redes con nudo se utilizan los cordones cableados y su proceso es el siguiente ilustrado por la figura 3.16:

- Las fibras se combinan tal y como se describía en los párrafos anteriores hasta formar un filamento sencillo (a).
- Varios de estos filamentos sencillos, generalmente tres, son torsionados conjuntamente (en dirección S o Z) para formar un filamento único (b, c).
- Varios filamentos, usualmente tres, vuelven a ser torsionados, en direcciones alternativas en cada proceso de fabricación, para formar un cordón cableado (d).



**FIGURA 3.16.**  
Construcción de  
cordones de red  
(Beveridge).

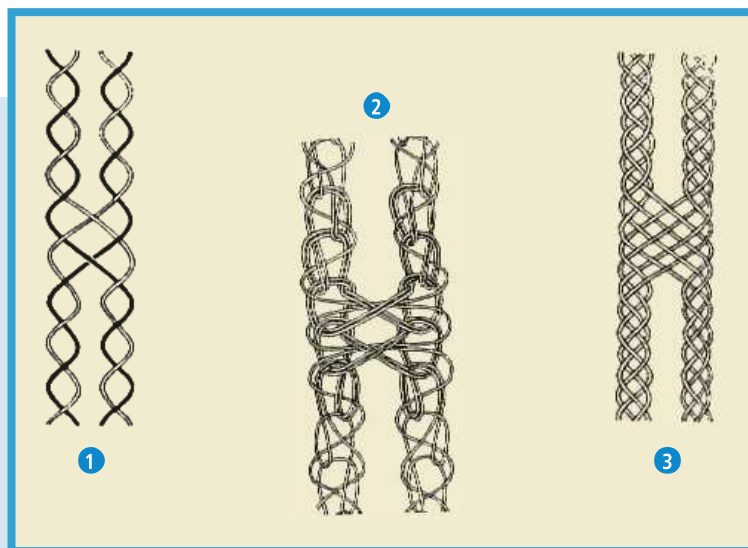
Los nudos más usuales se visualizan en la figura 3.17: el nudo inglés (1), el nudo japonés (2) y le nudo doble (inglés) (3).



**FIGURA 3.17.** Tipos de nudos (Beveridge).



Los materiales mas utilizados en la fabricación de redes sin nudos son el nylon, el poliéster y el polietileno. Los tres tipos de red sin nudos que se fabrican se muestran en la figura 3.18 y son los siguientes: japonés (1), Raschel (2) y trenzado (3). El Raschel es el utilizado más universalmente, el japonés se fabrica y utiliza casi exclusivamente en Japón y el trenzado se recomienda para mar abierto donde las cargas cíclicas pueden producir un fallo por fatiga.



**FIGURA 3.18.** Tipos de red sin nudo (Beveridge).

El nylon es el material más utilizado actualmente. Se fabrica con varias fibras delgadas que se hilan entre si dando lugar a un cordón y a su vez se pueden trenzar también varios cordones. Esta estructura multifilamentosa tiene ventajas muy interesantes: dobla fácil, se trabaja muy bien, resiste cargas superiores y es más resistente al roce.

Al principio se usaban las redes con nudos, habituales en la pesca, después se paso a las sin nudos para evitar los roces con el pez y por la manía de la dorada de morder los nudos y actualmente, y en todo el mundo, se utilizan ambos modelos.

El cuadro 3.19 recoge algunas características de cinco fibras sintéticas según Milne y Klust:


**CUADRO 3.19.** Características de fibras sintéticas (Milne y Klust).

	PA <sup>a</sup> 66	PA 6	PES <sup>b</sup>	PE <sup>c</sup>	PP
Densidad de la fibra (g / cm <sup>3</sup> )	1.14	1.14	1.38	0.96	0.91
Resistencia a la rotura	Muy alto	Muy alto	Alto	Alto	Alto
Resistencia a la rotura húmeda, % Rs. en seco	85-95 <sup>d</sup>	85-95 <sup>d</sup>	100	110	100
Peso en el agua, en % del peso en seco	12	12	28	0 (Flotante)	0 (Flotante)
Extensibilidad húmeda	Alto	Alto	Bajo	Intermedio entre PA y PES	Bajo
Rigidez	Flexible	Flexible	Moderadamente rígido	Rígido	Rígido
Ductilidad	Suave	Suave	Moderado	Duro	Duro
Resistencia a la acción del tiempo, Sin tratamiento ni teñido	Medio	Medio	Alto	Medio	Bajo-medio
Resistencia al «fouling»	Moderado	Moderado	–	Bajo	Moderado

<sup>a</sup> Polyamida. <sup>b</sup> Poliester tipo terylene/dacron/diolen/tergal/tedron/trevira.

<sup>c</sup> Polietileno de alta densidad, polimerizado a baja presión. <sup>d</sup> Filamento continuo.

El cuadro 3.20, también preparado por Klust, es incluido por la FAO en su documento «Netting Material Characteristics. Food Agriculture Organization of United Nations».

**CUADRO 3.20.** Características de fibras sintéticas (Klust).

CARACTERÍSTICAS	MATERIAL			
	POLIETILENO (PE)	POLIESTER (PES)	POLIAMIDA (PA)	POLIPROPILENO (PP)
Densidad de la fibra, g/cm <sup>3</sup>	0,96	1,38	1,14	0,91
Resistencia a la rotura en seco	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Resistencia a la rotura húmeda, % Rs. en seco	110	100	85 - 95	110
Encogimiento en agua a 100 °C, en %	5-10	8	10	3
Tenacidad, gr. / denier (en seco y en húmedo)	4,5-6,0 en seco 4,5-6,0 húmedo	6,0-7,0 en seco 6,0-7,0 húmedo	7,0-8,5 en seco 6,0-7,8 húmedo	8,0-8,5 en seco 8,0-8,5 húmedo
Alargamiento hasta rotura, en %	3,6	16	25	–
Extensibilidad húmeda (cualitativo)	Entre PA y PES	Baja	Alta	Baja
Peso en el agua, en % del peso en seco	No absorbe agua	1 28%	1 12%	No absorbe agua
Resistencia a la acción del tiempo, (sin tratamiento ni teñido)	Mediana	Alta	Mediana	Baja-Mediana





Como complemento de las tablas anteriores, se incluyen las características de un material que ha aparecido en los últimos años: el dyneema. Este material es una fibra sintética derivada del petróleo, polimerizada a baja presión y de alta densidad (polietilenos de peso molecular ultra alto).

Características del dyneema	
Peso específico	160
Número de Fibras Primarias	160
Denier (1)	1.600
Tenacidad (gr./denier)	32
Elongación, % (2)	3,5
Carga de Rotura (lbs)	36,2
Carga de Rotura mojado (lbs)	36,2
Grado de Abrasión mojado	Muy bajo
Encogimiento después de usado	1,2 (%)

- (1) Unidad de peso que define los gramos que pesa una fibra primaria de 9000 metros de longitud.
- (2) Máximo estiramiento de una fibra primaria sometida a tracción, antes de producirse la rotura.

Una observación muy importante se debe tener en cuenta cuando se considera el dyneema frente a los materiales convencionales (nylon por ejemplo), en lo que se refiere a su resistencia y a su elongación. La resistencia del dyneema es mayor pero su elasticidad respecto al nylon es menor, la mitad, o sea que el intervalo entre su límite elástico y su carga de rotura, medido en la longitud que se alarga, es mucho menor. Esto significa que el esfuerzo que tiene que soportar el dyneema es mucho mayor al no tener elasticidad para liberar las tensiones.

Este hecho se debe tener muy en cuenta ya que si se utiliza un cabo de nylon y una red de dyneema, como el alargamiento del nylon es mucho mayor, puede ser que el cabo al alargarse quede «en banda» y todos los esfuerzos tengan que ser absorbidos por el componente más débil, la red, y pueden originar una incidencia catastrófica.



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

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

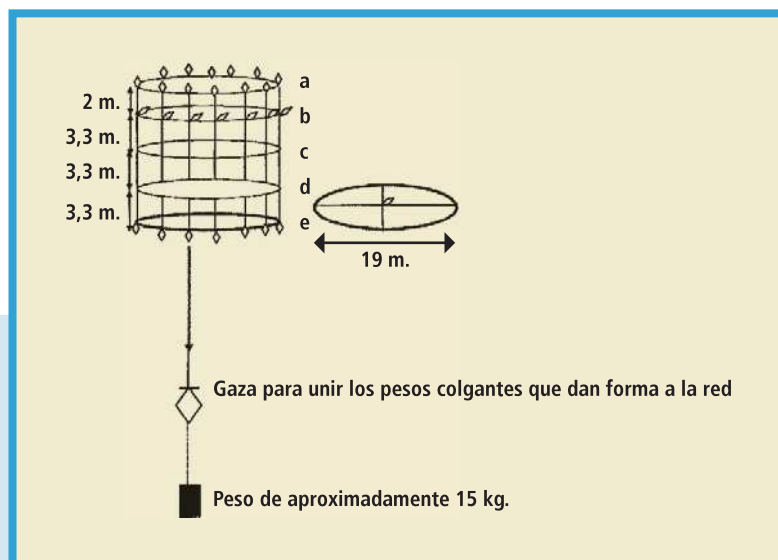
A continuación se incluye una especificación técnica de compra de redes que puede ser de utilidad. La figura 3.21 visualiza un esquema de la red para una jaula de gravedad de 19 metros de diámetro (en rojo los parámetros para jaulas de 16 metros).

Para comprender mejor la figura 3.21 se aclara el significado de cada uno de los niveles identificados con letras minúsculas:

- a = Parte superior de la barandilla de la jaula donde se amarra el extremo superior de la red mediante unas gazas (boca).
- b = Nivel del agua, donde se vuelve a amarrar la red, esta vez a los aros de flotación.
- c y d = Niveles intermedios.
- e = nivel inferior que coincide con el fondo de la red.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Altura total de la red: 10+2 metros. Es decir: 10 m. bajo el nivel del agua y 2m. en la superficie
- Cuerdas verticales: 32 (24) desde la boca (a) hasta el fondo (e).
- Gazas de amarre: 32 (24) por línea transversal (a, b, e). En la unión de la línea transversal con las cuerdas verticales.
- 5 anillos transversales (horizontales) de cuerda.
- Espesor de las cuerdas verticales y gazas de amarre: 18 mm de diámetro.
- 32 (24) pesos colgantes de 15 Kg. para dar forma a la red.
- Material de los cabos: a definir.
- En los puntos de unión de los cabos verticales con el anillo e, la red debe estar suelta 15 cm., a lo largo de los tres cabos que confluyen en la gaza.



**FIGURA 3.21.**  
Esquema red  
para jaula  
de 19 metros  
de diámetro  
(ADSA).

- El anillo del fondo llevará alma de plomo y dos cabos a 90 grados.
- La anchura de los paños de red que serán cosidos a los cabos verticales y horizontales serán definidos por el suministrador.

La comparación directa de redes con o sin nudo es muy difícil, porque muchos de los ensayos mecánicos utilizados normalmente en redes con nudo no pueden ser realizados en redes sin nudo. Pero se pueden hacer algunas comparaciones cualitativas. El problema de las redes con nudos son precisamente los nudos ya que son costosos, tanto en tiempo como en material, y aumentan mucho el peso de la red. El nudo constituye el punto más débil de la red, aumenta la capacidad de arrastre y la adherencia del fouling así como produce daños en los peces. La red sin nudos, en cambio, pesa menos (hasta un 50 %), es mas barata, es más fácil de manejar, se fabrica fácilmente en máquinas automáticas con menos material, la resistencia a la abrasión es más alta porque su superficie es más suave pero es algo menos resistente al desgaste por fatiga.

Los materiales mas habitualmente utilizados para la red sin nudos son el nylon, el polietileno y el poliéster. Este último es más caro y por



eso se utiliza menos. Desde el punto de vista económico todas las ventajas están con el nylon que compensan sus desventajas (mayor rigidez y menor resistencia al mojado). El polietileno es una alternativa al nylon porque es más barato y su disponibilidad es muy alta en todo el mundo, sin embargo sus características son inferiores.

Las redes deben de ser bastante fuertes para resistir el impacto de objetos flotantes y el ataque de predadores y también ser capaces de soportar la biomasa de los peces que se están cultivando. Otra característica es su extensibilidad, de tal forma que resista pequeños esfuerzos sin romperse y también es deseable su resistencia a la abrasión y a la corrosión. Por otra parte la red tiene que tener una textura suave y blanda para minimizar el daño a la piel, escamas, aletas y ojos de los peces. Sin embargo la suavidad y la resistencia son a veces contradictorias en las redes de fibra sintética. También la elasticidad y la resistencia no son compatibles ya que un aumento importante de la segunda implica una disminución considerable de la primera.

Otras propiedades deseables son las bajas resistencias, tanto como sean posibles, a las corrientes de agua para minimizar la deformación y los esfuerzos dinámicos; y también deben ser resistentes al «fouling», para minimizar el incremento del peso que perjudica la flotabilidad y exige mayores esfuerzos al sistema de fondeo. Finalmente hay que decir que la durabilidad, disponibilidad, coste y mantenimiento son variables extremadamente importantes.

Los materiales más habituales para las **mallas rígidas** son el plástico rígido (netlon fabricado por extrusión) y las mallas metálicas. El primero no se ha usado muy extensamente con lo cual sus características no están muy probadas. Su resistencia a la corrosión y al desgaste es alta, y ante el «fouling» aunque supera a las mallas flexibles es inferior al acero galvanizado o a las aleaciones de cobre. En cambio las mallas metálicas se han utilizado mas pero su auténtico «talón de Aquiles» es la corrosión.

A continuación se citan los materiales que mas se han utilizado para las mallas rígidas:

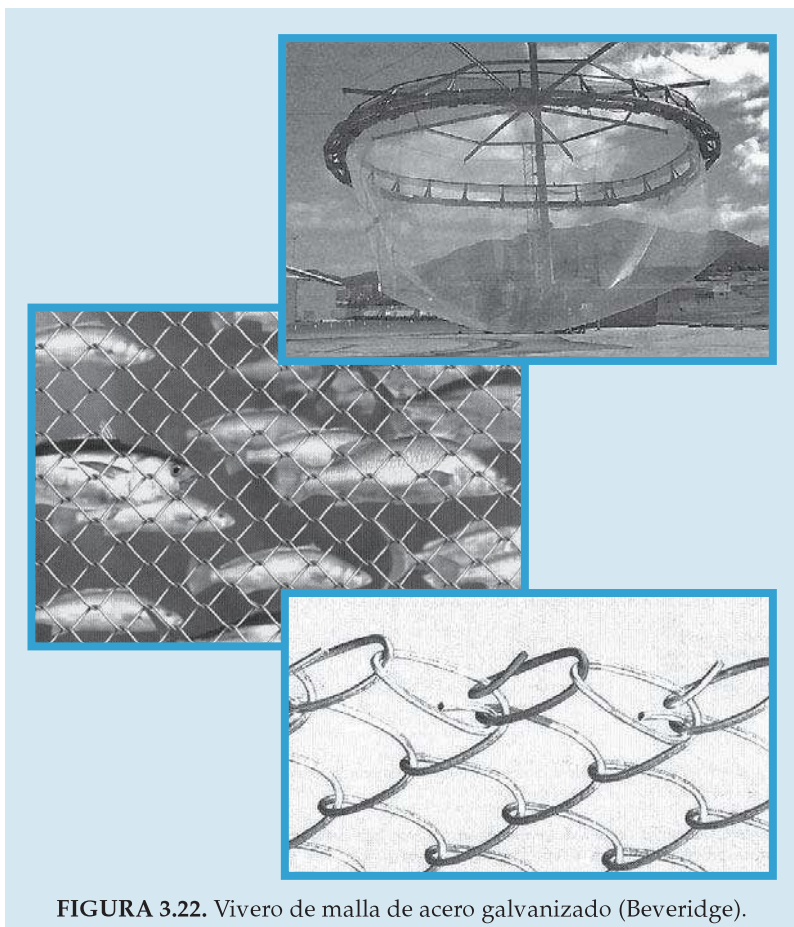
- Netlon.
- Metal expandido: 90-10 Cu-Ni.
- Acero galvanizado con malla soldada.





- Acero galvanizado con unión en forma de cadena.
- Plastabond (PVC con recubrimiento metálico).

La figura 3.22 muestra un vivero con malla de acero galvanizado, una imagen de los peces en la jaula y un detalle de las mallas.



**FIGURA 3.22.** Vivero de malla de acero galvanizado (Beveridge).

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



«fouling». Tampoco hay que ir al tamaño más grande posible porque pueden penetrar los alevines de los depredadores y engordar en la jaula hasta volverse peligrosos. La forma de la malla puede ser cuadrada o poligonal preferiblemente sin nudo.

El volumen del recinto es muy variable. Aunque existe un mínimo, alrededor de los 700 m<sup>3</sup>, por debajo del cual el coste de la jaula por unidad de volumen no es rentable, los peces se sienten «agobiados» en un recinto tan pequeño y la renovación del agua y del oxígeno no es la adecuada. El máximo, en cambio, solo está limitado por la capacidad de cada instalación para realizar los trabajos de operación y mantenimiento. Actualmente, para dorada y lubina, se está llegando a 6.000 m<sup>3</sup>. Como dato anecdótico se puede decir que los noruegos tienen ya redes para el cultivo de salmón en mar abierto de más de 100.000 m<sup>3</sup>.

Otra característica importante de la red es que mantenga al máximo su forma cilíndrica cuando las corrientes son elevadas, ya que si esto no sucede se disminuye el volumen del recinto y los peces pueden dañarse al rozar con la red o entre sí. En lugares expuestos no se deben utilizar redes estrechas y profundas. Se recomienda que la profundidad de la red sea entre 0,8 y 1,25 veces el diámetro de la bolsa.

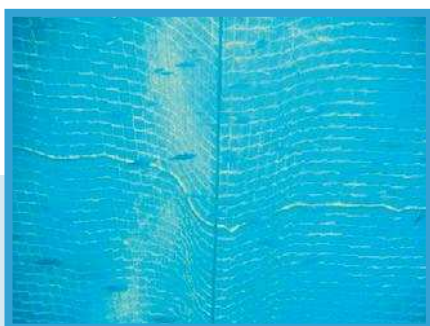
Para lograr la tensión necesaria que evite la deformación, se utilizan unos contrapesos de hormigón colgados de un cabo que se coloca como una generatriz del cilindro de red; realmente hay que decir que este sistema no es totalmente efectivo (figura 3.23). Como auxilio a veces se coloca un cabo con alma de plomo en la línea de fondo de la bolsa de red. Otro sistema, utilizado para poca profundidad, es el amarrar directo al fondo. Se están investigando en este sentido, diferentes alternativas que permitan mantener el volumen de la jaula constante: aro con una cadena alojada en su interior (figura 11.2), aro relleno de hormigón situado en el fondo de la bolsa, estructuras radiales (figura 11.3), sistemas de fondeo vertical (figura 9.50), pesos colgados de una boya, combinación de varios de los citados... Hay que tener también muy en cuenta que todos estos pesos aumentan las fuerzas dinámicas y deben ser tenidos en cuenta.

Una red cilíndrica estándar está constituida por elementos primarios y elementos secundarios. Los elementos primarios son dos, los cabos rigidizadores y los paños.



**FIGURA 3.23.**  
Contrapesos de  
hormigón (Global  
Aquafish).

La función de los cabos rigidizadores es la de dotar a la red de la forma adecuada para su instalación en la jaula, y la de absorber las tensiones que se puedan producir, debidas principalmente al propio peso de la red, a las corrientes, a las olas, al peso del lastre o de tensionado, y transmitirlos a la jaula. **ES MUY IMPORTANTE QUE LOS CABOS ABSORVAN LAS TENSIONES Y NUNCA LA RED DEBE «SUFRIR» LOS ESFUERZOS.** La figura 3.24 muestra esta situación: los paños de la red están «en banda», por lo tanto no soportan tensiones, y en cambio los cabos están tirantes. Las figuras 3.25 y 3.26 muestran, en cambio, los cabos en banda y el cabo mas largo que el paño de red con lo cual todos los esfuerzos los soportará la parte más débil: la red. Por el tamaño de los hilos y la configuración de los paños, la resistencia a la rotura de las redes es bastante baja y sin los cabos no podrían resistir ni las cargas estáticas (peso elementos...).



**FIGURA 3.24.** Tensiones  
en los cabos NO en la  
red (Global Aquafish).



**FIGURA 3.25.**  
Cabos en banda  
(Global Aquafish).



**FIGURA 3.26.**  
Cabo más largo  
que el paño (Global  
Aquafish).

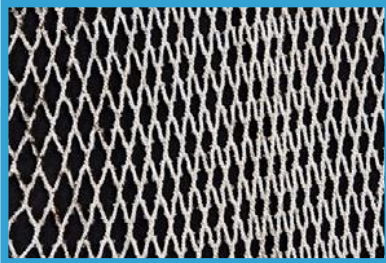
A modo de ejemplo se puede citar que la carga de rotura de un cabo de la red puede ser alrededor de los 3.000 kilos y la de los hilos del paño de 100 kilos.

Si se comenta la adaptabilidad a las tensiones en determinadas direcciones de los diversos tipos de malla hay que considerar que la hexagonal tiene más facilidad para deformarse que la cuadrada. Las figuras 3.27 y 3.28 muestran las posibles deformaciones de las mallas hexagonales en el sentido horizontal y vertical para responder a las tensiones en esas direcciones. Este hecho implica que el área se reduce apareciendo tensiones en algunas zonas. Si esto sucede de una forma



**FIGURA 3.27.**  
Deformación horizontal  
malla hexagonal (Global  
Aquafish).

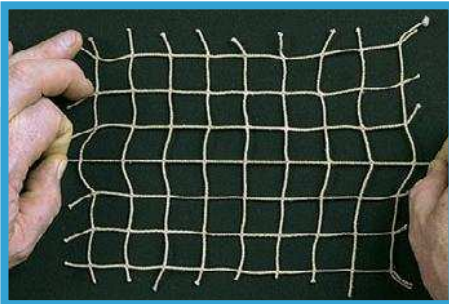




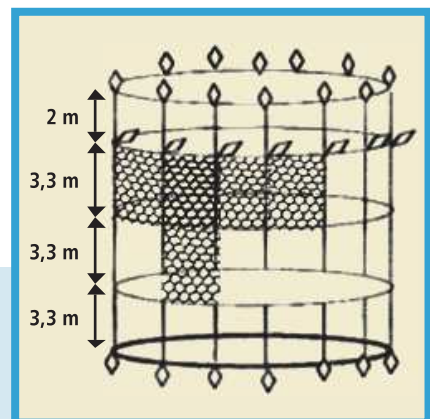
**FIGURA 3.28.** Deformación vertical malla hexagonal (Global Aquafish).

regular y continua, las fibras primarias de la red rozan unas con otras y se dañan entre sí, causando el debilitamiento de la red y su posterior fallo catastrófico. Por otra parte, la red de malla cuadrada se deforma muy poco (figura 3.29), y la única forma de absorber las tensiones es mediante el alargamiento y tensionado de las fibras primarias, lo que puede provocar su rotura si la situación es muy repetitiva.

El conjunto de los cabos, constituyen «el esqueleto» o «armadura» de la red. Éste está formado por dos tipos de cabos, los horizontales y los verticales, según se aprecia en la figura 3.30. Una red estándar



**FIGURA 3.29.** Deformación malla cuadrada (Global Aquafish).



**FIGURA 3.30.**  
Recinto o bolsa de red  
(Global Aquafish).



está fabricada con 7 cabos horizontales: 5 que corresponderían con las circunferencias de las secciones a distintas alturas del hipotético cilindro con planos horizontales y dos en forma de cruz en la base. Por otra parte, en función del diámetro de la jaula donde se vaya a instalar la red se disponen entre 24 y 32 cabos verticales.

Los cabos verticales también se llaman nervios o cabos laterales.

Los cabos horizontales tienen varios nombres según su función: las relingas son los cabos horizontales paralelos a la superficie. Hay varias relingas según su posición: superior o de barandilla; de flotación (de superficie o principal situado a 0,5 metros de profundidad) y la de fondo o inferior. Normalmente hay cabos horizontales adicionales, cada cinco metros, entre la relinga de superficie y la de fondo. La relinga de fondo suele ir plomada o compuesta de dos cabos, uno de ellos con alma de plomo. El cabo transversal o relinga de fondo es paralelo a la superficie, como ya se ha dicho, y constituye la prolongación de un nervio o cabo lateral a lo largo del fondo (solo o unido) hasta el lateral opuesto. Normalmente existen dos cabos transversales, como mínimo, de cabo con plomo para mantener la forma de la red. Recientemente, y en base a la experiencia obtenida con las roturas de red del paño de fondo, se recomienda la instalación de un mínimo de cuatro y para jaulas de 20 metros o más de diámetro, un mínimo de nueve.

El cabo de levantamiento va desde la relinga de barandilla o superior hasta el fondo y continúa convirtiéndose en transversal.

Las bolinas son los cabos que amarran la relinga de superficie o de flotación a los aros flotantes (figura 3.31 y 3.32). Otro método para fijar la red a los tubos de flotación es dejar una longitud extra en los nervios verticales y amarrar las bolinas a estos extremos de los nervios para que sean ellos los que trabajen y no la red.

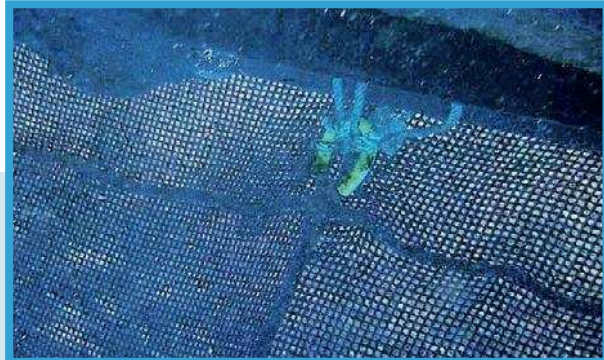
Los cabos de unión a la barandilla son los que amarran la relinga de barandilla o superior a la barandilla o pasamanos de la estructura rígida.

Las cuerdas de unión amarran los cabos laterales, transversales y relingas a la red.

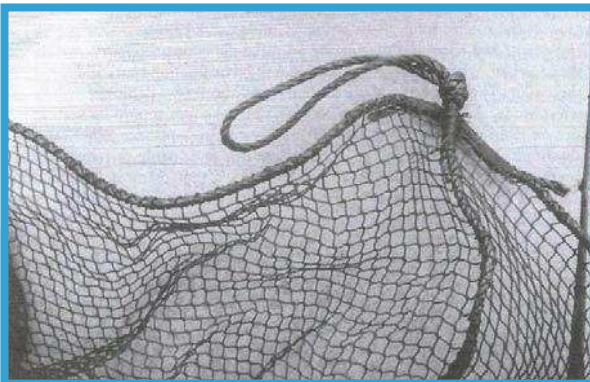
La gaza es un lazo que se forma en el extremo de un cabo con una costura o introduciendo un cabo en otro y que sirve como zona de enganche. La figura 3.33 muestra una gaza.



**FIGURA 3.31.**  
Bolinas (Global Aquafish).



**FIGURA 3.32.**  
Unión de la línea  
de agua a los aros  
(Besmar).



**FIGURA 3.33.**  
Gaza de una red  
(Beveridge).



La principal y casi única función del otro elemento primario, los paños, es la de confinar a los peces en el volumen del cilindro evitando que se escapen. Tres zonas componen la bolsa que forman los paños:

- La red antisaltante, de barandilla, espejo o velo: es la parte de la red que hay entre la barandilla o pasamanos y los aros de flotación.
- La pared: es la parte de la red que queda sumergida y perpendicular a la superficie. La profundidad de la bolsa de red es la longitud de la pared.
- El fondo: es la base de la bolsa que también queda sumergida. La zona del centro del fondo se denomina copo.

Los elementos secundarios o auxiliares se colocan de manera opcional y son los siguientes:

- Los flotadores: se colocan en hileras en la superficie y ayudan a soportar el peso de la red y amortiguar los esfuerzos bruscos entre la red y los aros de flotación (figura 3.31. y 3.34). Estos esfuerzos se crean porque el comportamiento de los aros y de la red frente al oleaje es muy diferente, ya que la estructura de la jaula es mucho más flexible y la de la red mucho más rígida lo que motiva los citados esfuerzos cíclicos.
- La cremallera que se coloca normalmente en el fondo de la bolsa (en un lateral de las jaulas sumergibles como las «Sea Station». Vídeo de la figura 3.35) sirve para facilitar el trabajo de los buzos en el interior de los viveros y retirar los peces muertos.



**FIGURA 3.34.**  
Flotadores.





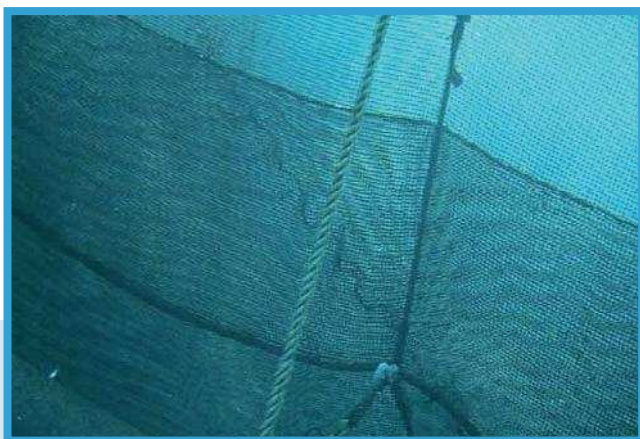
Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 3.35.**  
«Sea Station»  
con cremallera.

- El anillo de fondo está compuesto por dos anillos concéntricos que se sitúan en el centro del fondo de la bolsa de red y que sirven de enganche.

Es recomendable también que las bolsas de red lleven varios refuerzos que aseguran su integridad: 0,5 metros a cada lado de la relinga de flotación o de superficie por el interior del paño (doble paño de la línea de agua); doble red de 0,5 metros a cada lado de la relinga de fondo o inferior (doble paño de fondo, figura 3.36) y 0,5 metros a cada lado de todos los nervios o cabos laterales. En la colocación de estos dobles paños es importante tener en cuenta dos recomendaciones: coserlos a mano (ya que las máquinas debilitan los paños) y dejar el paño doble sin tensar para evitar desgastes.



**FIGURA 3.36.** Doble paño  
de fondo (Besmar).





Como complemento a la información incluida sobre las redes se esquematizan las principales operaciones a realizar durante la fabricación de las mismas:

- **Selección del material indicado en la especificación.** Por una parte hay que elegir el material, el diámetro de los hilos, la longitud y el tipo de malla y los tratamientos superficiales solicitados, además del número de paños necesario. Por otra parte los cabos en número y longitud adecuada para obtener las dimensiones especificadas de la red. Es muy importante elegir la superficie de los paños adecuada para evitar que al montarse con los cabos existan tensiones en la red, como por ejemplo si tienen que estirarse. Los cabos y los paños deben tener una elongación más o menos semejante.
- **Estirado de los cabos rigidizadores.** Esta operación, tantas veces presenciada en los puertos pesqueros que realizan los marineros antes de que las rederas comiencen a coser, es fundamental para asegurar que el cabo ya no se va a estirar más durante su vida en operación. De este modo se evita que los cabos queden en «banda» o flojos y las tensiones tengan que soportarlas los paños de la red.
- **Montaje de los paños con los cabos.** El método usual para hacer el montaje es coser con un hilo doble los extremos de los dos paños de red a unir, debiéndose incorporar a la costura de unión entre los paños más de una malla de éstos (mejor 3 ó 4), formando como un «dobladillo». Si esta costura no coincide con un cabo vertical, la unión debe coserse, una segunda vez, con otro hilo doble. Si la costura coincide con un cabo vertical, éste se une a la costura con otro hilo doble. En este caso, el cabo le proporciona una estructura de refuerzo. Hay que evitar el montaje mostrado en la figura 3.37 en el que se realiza la unión entre paños con malla única.
- **Montaje de gazas y elementos de amarre.**

Los cuadros 3.38 y 3.39 desarrollan los requerimientos del estándar noruego NS 9415.E definiendo las clases de dimensiones (relación entre el largo y el perímetro de la bolsa de la red) y los requisitos de di-



**FIGURA 3.37.** Unión de paños con malla única (Global Aquafish).

seño y materiales para las clases de dimensiones antes definidas. Estas tablas han sido preparadas por IRC (Internacional de Redes y Cuerdas) basándose en las tablas 12 y 13 de la norma noruega ante citada.

La parte superior del recinto tiene que ser protegido con otra red para salvaguardar a los peces de los predadores aéreos, tales como la gaviota o el albatros (Figura 3.40). La red de pájaros es especialmente importante en jaulas de preengorde o alevinaje, cuando el tamaño del pez es todavía atractivo para las diferentes especies depredadoras. Se utilizan normalmente redes de nylon de malla cuadrada entre 100 y

**CUADRO 3.38.**  
Clase de dimensión.

Largo (m)	Perímetro o Circunferencia (m)									
	<49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-109	110-129	130-149	150-179	180<
0-5	I	I	–	–	–	–	–	–		0
5-10	I	I	II	III	III	IV	–	–		0
10-15	I	II	II	III	IV	IV	V	V	VI	0
15-20	–	II	II	IV	IV	IV	V	VI	VII	0
20-30	–	–	–	IV	IV	V	V	VI	VII	0
40<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**CUADRO 3.39.**  
Requisitos de diseño y materiales.

Mallero (mm)	Clases de dimensión						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Carga de rotura mínima (kg.)						
≤6.0	21	21	21	–	–	–	–
6.1-8.0	25	31	31	39	–	–	–
8.1-12.0	31	39	47	55	63	–	–
12.1-16.5	39	47	55	63	71	79	95
16.6-22.0	47	63	71	79	95	118	136
12.1-35.0	63	71	79	95	118	136	151
Cantidad mínima de verticales	4	8	16	16	16	24	32
Cantidad mínima de cabos de levantamiento	2	2	4	4	8	8	16
Cantidad mínima de cabos transversales	1	1	2	2	4	4	8
Carga de rotura mínima de cuerda de unión [Kgf]	1900	1900	2800	3400	4100	4100	5000

200 mm. Cuando las jaulas tienen un diámetro superior a 16 metros, se suele utilizar un soporte central para la red anti-pájaros por dos motivos: evitar su contacto con el agua (fouling) y el exceso de tensión sobre la barandilla. En jaulas de diámetro pequeño esta red puede servir también para evitar las pérdidas de peces por la parte superior. Cuando se utilizan viveros con diámetros grandes es necesario utilizar una red especial como tapadera, que se comenta en el apartado siguiente. La figura 3.41 (vídeo) da una visión submarina de la bolsa de red de las jaulas.

Cuando el oleaje es muy grande las olas pueden sobrepasar la barandilla o pasamanos y entonces los peces que estén en la superficie del vivero pueden salir despedidos hacia el mar.

Normalmente en condiciones de mal tiempo los peces no comen y se refugian en el fondo de la bolsa de red, pero si estas condiciones persisten pueden tratar de subir hacia la superficie porque están hambrientos. En estos momentos, las olas de gran altura pueden echarlos fuera del vivero. Este fenómeno ha sido observado en la industria del



FIGURA 3.40. Soporte red anti-pájaros.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



FIGURA 3.41. Vista submarina jaulas.

salmón. Su importancia es enorme ya que la biomasa ha disminuido y al mantener el ritmo de alimentación se produce una pérdida económica.

Para paliar esta incidencia se pueden colocar redes, de la misma malla que la bolsa, en la superficie del vivero, a modo de «tapadera».

Los **criterios de diseño** se desarrollan a continuación.

Dos tipos de fuerzas principales actúan sobre la bolsa: estáticas y dinámicas. Las cargas estáticas actúan verticalmente y son impuestas por el peso de la bolsa más el «fouling» o ensuciamiento.

Estas cargas se pueden estimar a partir del área y de la densidad de los materiales utilizados, del «fouling», de la biomasa de los peces, de las cuerdas y del peso de las estructuras. Aunque es importante cuantificar estas cargas, son las menos críticas en el diseño de la bolsa.

El cuadro 3.42 muestra las densidades en kilos por metro cuadrado de algunos de los materiales utilizados en las redes de acuicultura.

Las fuerzas dinámicas son las más importantes, y se originan por las corrientes que actúan horizontalmente, aunque las olas superficiales inducidas por el viento actúan sobre el collar creando algunas cargas dinámicas verticales. La cuantificación de las corrientes y la respuesta de los materiales puede ayudar a predecir como funcionará cada diseño en términos de intercambio de agua y de deformación de la bolsa, así como ayudará en el diseño de las estructuras para mallas rígidas y en los sistemas de izado de las redes.

**FIGURA 3.42.**  
Densidades materiales redes.

Material	Densidad (kg/m <sup>2</sup> )
Courlene	0,20
Galvanizado (cadena)	2,03
Galvanizado (soldadura)	3,40
Netlon	0.34
Nylon	0,23
Plastabond	3,25
Polietileno	0,18
Ulstron	0,34

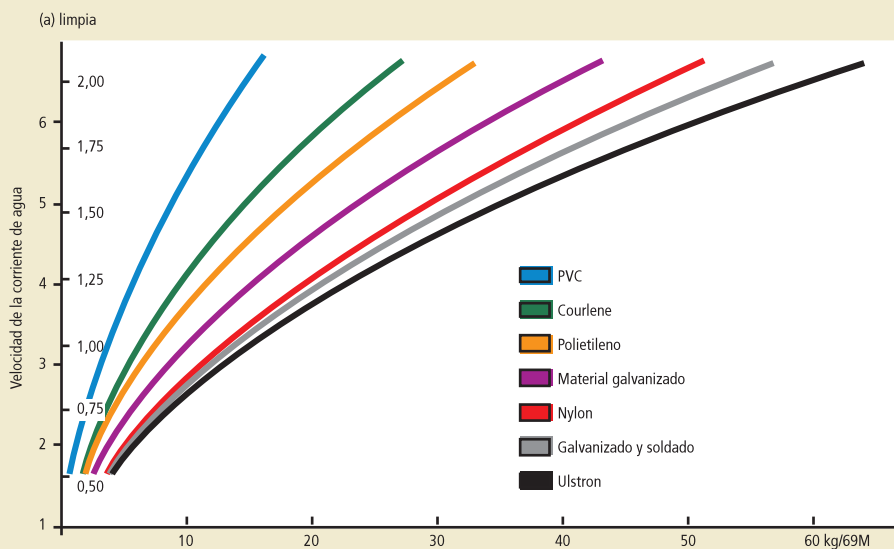
Las figuras 3.43 y 3.44 visualizan el efecto de las corrientes sobre una jaula mostrando que las fuerzas que actúan sobre la bolsa se incrementan con la velocidad de la corriente y varían con los materiales empleados, implicando una reducción del volumen de la red (figura 3.45).

Resumiendo, podemos decir que es importante usar un tamaño de malla tan grande como sea posible para minimizar el grado de «fouling». No se necesitan cálculos detallados para la construcción de jaulas pequeñas, mientras que las bolsas grandes han evolucionado gracias a un proceso continuo de realimentación por parte de los cultivadores y por las innovaciones tecnológicas, más que por la vía de la experimentación.

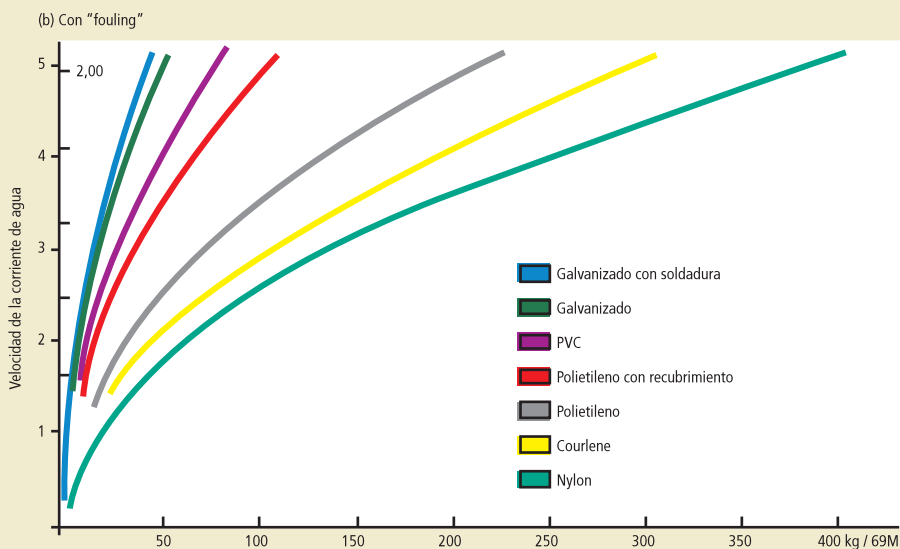
Los materiales para **mallas rígidas** están normalmente disponibles en un rango pequeño de tamaños con lo cual limita también la forma y el diseño de la propia jaula.

Las estructuras sencillas y pequeñas se pueden construir de madera, metales o material sintético. Hay que elegir cuidadosamente las abrazaderas o elementos fijadores no solo para que sean suficientemente fuertes, sino también para evitar el efecto de pila galvánica. Los materiales plásticos, las cuerdas de nylon y las fibras sintéticas son inertes y apropiados. Quizá el material ideal sea la fibra de vidrio ya que es ligero, fuerte, muy resistente a las condiciones ambientales y además se puede fabricar en una gran variedad de formas y tamaños, pero su gran inconveniente es el precio.



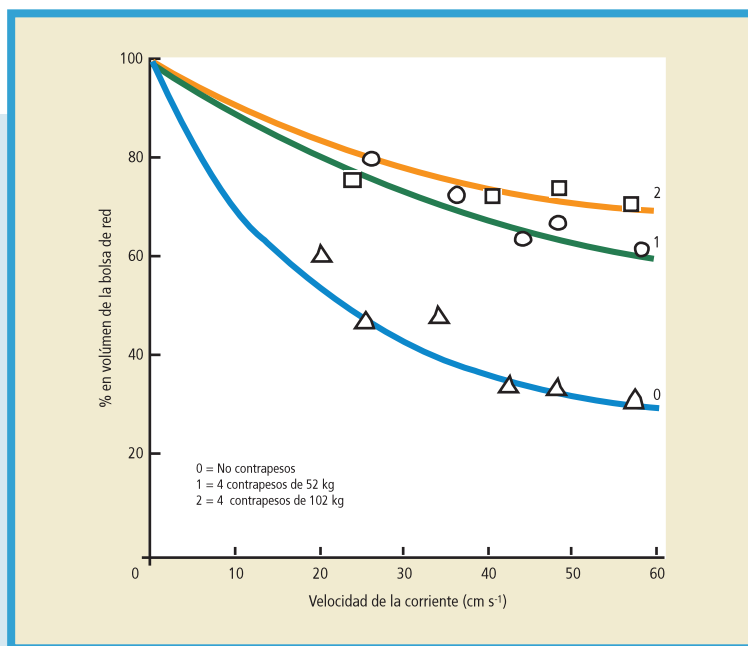


Esta figura fue presentada en un informe previo (Milne) como la fuerza en libras en un entrepaño de 10 pies cuadrados de red limpia.



Esta figura fue presentada en un informe previo (Milne) como la fuerza en libras en un entrepaño de 10 pies cuadrados de red con "fouling"

**FIGURAS 3.43 Y 3.44.** Corrientes VS fuerzas sobre la bolsa (Beveridge).



**FIGURA 3.45.** Corrientes VS deformación de la bolsa (Beveridge).

### 3.3. AGRUPAMIENTO DE JAULAS

Aunque algunas jaulas muy flexibles son ancladas individualmente, la práctica común es agruparlas, no solo porque simplifica y minimiza los costes de fondeo, sino también por razones de manejo y mantenimiento. El número y la disposición de las jaulas en grupos dependen de varios factores:

- El tamaño de la piscifactoría.
- El tamaño y naturaleza del emplazamiento.
- La forma y el diseño de las jaulas y de su sistema de unión.
- Las dificultades de anclaje.
- Consideraciones ambientales.

Para grandes instalaciones, el cultivador puede desear organizar su producción en varios grupos o flotillas. El tamaño, forma, profundidad y características físicas del emplazamiento pueden restringir la situación de las jaulas e imponer el número de cada uno de los grupos.



Mientras que las jaulas cuadradas y rectangulares se pueden montar en una gran variedad de configuraciones, los diseños hexagonales, octogonales o circulares son mas limitativos. También la disponibilidad de áreas de anclaje en el emplazamiento puede imponer restricciones.

Las consideraciones ambientales son también muy importantes. En un estudio de caudales a través de jaulas vacías, fabricadas con red de 2.4 cm. de malla, ancladas juntas, orientadas perpendicularmente a la corriente, se verificó que la tasa de transmisión caía dramáticamente desde 0.8 en la primera jaula, a 0.59 en la segunda y a 0.35 en la tercera. En otros intentos realizados simultáneamente con malla de 0.9 cm., los resultados fueron peores. La transmisión cayó desde 0.7 en la primera jaula a 0.35 en la segunda y 0.2 en la tercera. Aunque la presencia de peces probablemente mejora estas tasas de caudal, puede haber aun notables diferencias en la calidad del agua del exterior y del interior del grupo. Por esta razón es recomendable el que aunque en longitud se agrupen de 8 a 10 jaulas, en anchura nunca más de 2 ó 3 jaulas.

El agrupamiento de jaulas reduce considerablemente las fuerzas que actúan sobre las jaulas individuales y modifica su comportamiento, suavizando sus movimientos lineales y rotacionales. Las uniones entre las jaulas se deben diseñar para que el movimiento de cabeceo se amortigüe moderadamente, mientras que el balanceo y la subida de la ola se mantengan en un mínimo. Existen razones para esta recomendación. No solo es difícil y caro construir juntas que permitan el movimiento universal para facilitar el movimiento libre de las jaulas, sino que tampoco es deseable tanto desde el punto de vista de los peces como del personal. Por otra parte si las uniones son muy rígidas, habrá una gran concentración de esfuerzos en estos puntos. Las fuerzas mas destructivas que actúan sobre el collar son las olas, en parte porque tiene componentes horizontales y verticales y en parte por su naturaleza cíclica. Inducen fuerzas de pandeo y de cizalladura cuyas magnitudes son función de la altura de la ola y son mas grandes cuando la longitud de onda de la ola y el tamaño del componente rígido mas grande de la estructura son aproximadamente iguales, normalmente entre 0,5 y 1,25 veces la longitud del componente rígido.

En capítulos posteriores se hace una descripción pormenorizada de las flotillas de jaulas, sus componentes y los cálculos correspondientes.



### 3.4. SISTEMA DE FONDEO

Este sistema es fundamental para mantener la ubicación de la instalación y para amortiguar los movimientos bruscos del mar, evitando que las fuerzas generadas se transmitan a la estructura flotante y a las redes.

El agrupamiento de jaulas es la práctica común para su anclaje, no solo porque simplifica y minimiza los costes, sino también por razones de manejo y mantenimiento.

Las variables a considerar en el estudio del fondeo son las siguientes:

- Resistencia del recinto al agua y al viento (olas, corrientes...)
- Características de los fondos (rocoso, arenoso, fangoso...)
- Profundidad del anclaje.
- Variación del nivel de agua (mareas).

El sistema de fondeo moderno que se emplea en los emplazamientos de jaulas, consta de los siguientes elementos empezando por el fondo: anclas especiales o muertos, cadena, cabo de fibras sintéticas, trozo de cadena o peso de compensación en el centro de la línea de fondeo, cabo de fibra sintética, boya de amortiguamiento antes de la boya principal, pieza de distribución de esfuerzos con la boya principal y cadena o cabo o una combinación de los dos hasta la jaula.

Las líneas de anclaje deben realizar dos funciones: resistir y transmitir las fuerzas. Las cargas impuestas a un sistema de anclaje son principalmente dinámicas y por lo tanto es importante que tengan una alta resistencia a la rotura y puedan absorber la mayor parte de la energía cinética de las fuerzas que cambian rápidamente, tales como los esfuerzos provocados por las olas y los esfuerzos repentinos de las ráfagas del viento; todas estas fuerzas serán transmitidas directamente a las anclas o a los muertos que necesitan una gran capacidad de absorción y retención.

La cuerda de fibra natural no es muy adecuada para las líneas de anclaje dado que es fácilmente degradable por organismos vivos. El cable de acero, aunque mucho mas fuerte, es caro y pesado y tiene poca elasticidad, aunque se utiliza a veces para anclar jaulas a tierra. La cadena es extremadamente fuerte pero se utiliza muchas veces asociada a cuerdas de fibra sintética.



Los cabos de fibra sintética no deben amarrarse directamente a las anclas o elementos de fondeo, sino conectarse con una cadena intermedia. La cadena sirve para aumentar la efectividad del sistema de anclaje, por una parte porque su masa y su forma actuarán como un anclaje eficiente, y por otra parte porque asegura la catenaria de la línea de anclaje, que mejora el poder de retención del fondeo al reducir el ángulo entre esta última y el ancla, e incrementa las propiedades de absorción de la línea. La longitud de la cadena es normalmente inferior a un tercio de la longitud total de la línea de anclaje. La longitud total de esta línea debe ser por lo menos tres veces la máxima profundidad del emplazamiento.

El uso de elementos auxiliares tales como grilletes, guardacabos o anillas se debe restringir al máximo.

Una precaución importante, en el momento de la instalación, es dejar un exceso de línea para luego ajustar de forma segura y definitiva la jaula.

La figura 3.46 (vídeo) visualiza un sistema de fondeo habitual.

Los sistemas de fondeo dependen del diseño de la instalación, del tipo de jaulas y de las características del emplazamiento. El procedimiento normal es cuantificar las fuerzas que probablemente actuarán sobre las jaulas, en las condiciones climatológicas más adversas que se podrían producir en el emplazamiento, y evaluar la energía que el grupo de jaulas puede absorber. Parte de esta energía debe ser transferida desde las jaulas al sistema de anclaje. Las experiencias realizadas en este campo permiten destacar los siguientes aspectos:

- Las fuerzas horizontales ejercidas por las corrientes son mucho más grandes que las originadas por el viento y las olas.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 3.46.**  
Sistema de fondeo.





- Como todas las fuerzas son funciones dependientes del cuadrado de la velocidad, las velocidades de diseño son esenciales.
- El efecto de aumentar el número de jaulas a un grupo no influye decisivamente en las condiciones de anclaje, sobre todo si el grupo es grande.

Hay dos tipos de sistemas de anclaje: único y múltiple. El segundo proporciona mas seguridad y el primero permite el movimiento circular de las jaulas. El anclaje único es mas común con jaulas cuadradas o rectangulares con diseños de collar rígidos. Utilizan menos cable y cadena y adoptan una posición de menor resistencia respecto a los vientos predominantes, olas y corrientes. Aunque podrían ser recomendadas para emplazamientos de condiciones adversas hay que tener en cuenta también los enormes esfuerzos que van a soportar.

Las jaulas con sistema único de anclaje distribuyen los residuos en una zona considerablemente más amplia que el sistema múltiple. Se podría estimar que esta área de dispersión es entre 20 y 40 veces mayor. La carga de residuos sobre los sedimentos juega un papel esencial en lo que se refiere a la calidad del agua y a la salud de los peces, sobre todo en zonas marítimas. Sin embargo el sistema de anclaje único también reduce el área del emplazamiento útil para la producción de peces. Como regla general, con el sistema de anclaje múltiple se ocupa entre un 20 y un 30 % del emplazamiento, mientras que con el anclaje único solo se ocupa un área entre el 2 y el 4 %.

La elección de la orientación de las jaulas con anclaje múltiple depende de la naturaleza del emplazamiento y de la configuración del grupo de jaulas. Si el lugar está expuesto a las inclemencias del tiempo y las corrientes son fuertes, entonces es mejor elegir una situación de menor resistencia para evitar o prevenir las fuerzas del viento o de la corriente. Por otra parte si la zona es tranquila y la circulación de agua no muy intensa, entonces es mejor anclar las jaulas donde se maximiza el intercambio de agua.

En la figura 3.47 se visualizan varios sistemas de anclaje.

Una clasificación muy sencilla de los sistemas de fondeo se visualiza en la figura 3.48: doble, radial y ortogonal. Las ventajas de los dos primeros se basan en su sencillez y la tercera en que las cargas son menores, utiliza anclas mucho más pequeñas y tiene una gran redundancia.

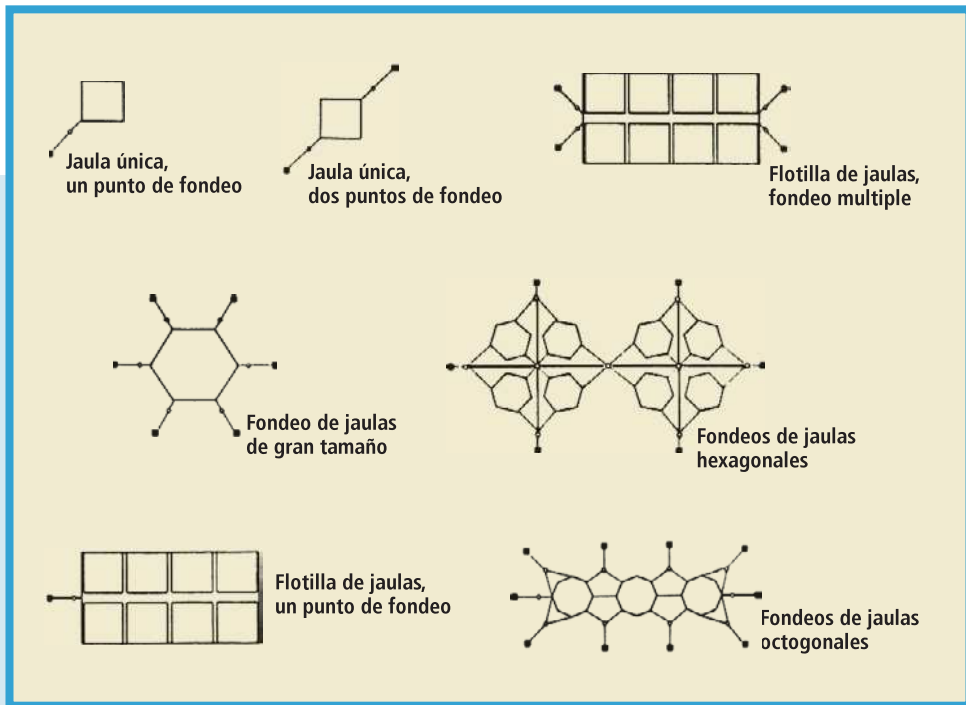


FIGURA 3.47. Sistemas de fondeo (Beveridge).

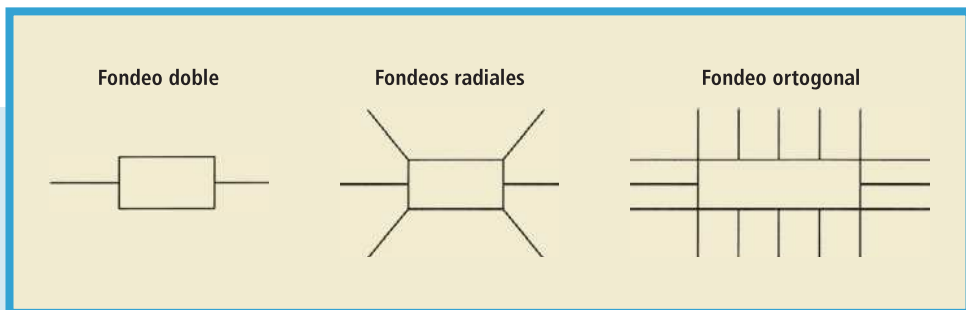


FIGURA 3.48. Sistemas de fondeo (Muir).

Los inconvenientes de los dos primeros son las altas cargas que tienen que soportar, las anclas deben ser muy grandes y tienen muy baja redundancia. El sistema ortogonal tiene como inconveniente principal la necesidad de elementos en contacto con el fondo como las cadenas.



Antes de instalar los sistemas de anclaje es necesario investigar el tipo de fondo, y en el momento de su instalación se deben situar con un exceso de línea para luego ajustar de forma segura la jaula.

En capítulos posteriores se hace una descripción pormenorizada de los sistemas de fondeo, sus componentes y los cálculos correspondientes.

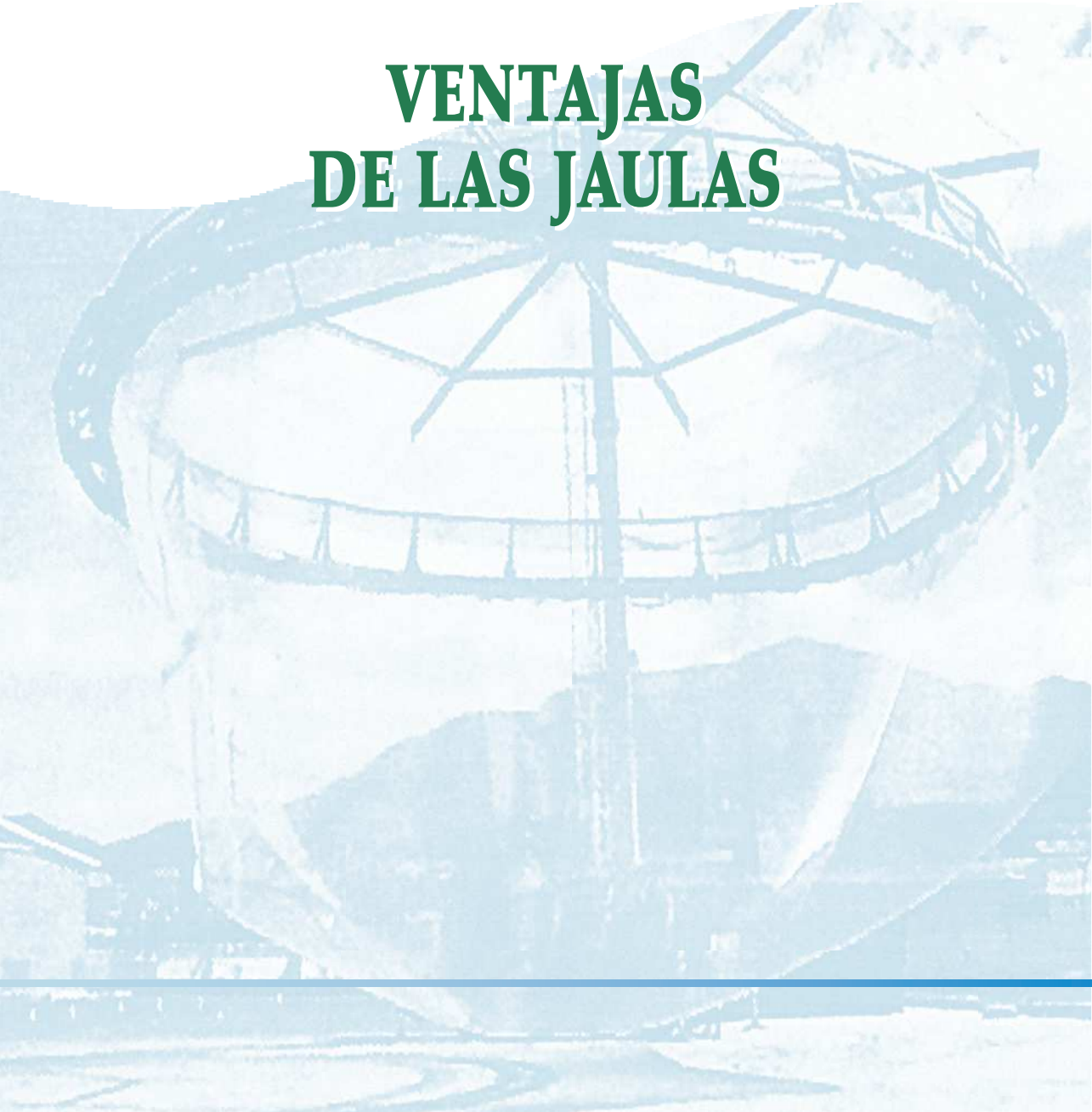
### 3.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

Las condiciones ideales para los **materiales** a emplear en las jaulas son las siguientes:

- Fortaleza.
- Poco peso.
- Resistencia a la intemperie, a la corrosión y a la putrefacción.
- Resistencia al «fouling».
- Facilidad para trabajar y reparar.
- Resistencia aerodinámica.
- Textura suave y no dañina para los peces.
- Bajo precio.

4

## VENTAJAS DE LAS JAULAS









# 4

## VENTAJAS DE LAS JAULAS

Las ventajas de las jaulas se describirán en los dos párrafos siguientes: el primero dedicado a las jaulas en general y el segundo focalizado en el cultivo de peces planos en jaulas. Esta sección se cierra con unos comentarios adicionales.

### 4.1. VENTAJAS GENERALES DE LAS JAULAS

A continuación se esquematizan las ventajas generales de las jaulas:

- *Aprovechamiento del agua. Cultivo tridimensional.*

La posibilidad de un cultivo en tres dimensiones se puede realizar en el mar, donde los emplazamientos elegidos pueden ofrecernos profundidades importantes. El cultivo en tierra obliga a la construcción de tanques, que no suelen tener excesiva profundidad, lo cual convierte al cultivo casi en bidimensional.

- *Reducción de costes.*

La alternativa al cultivo en jaulas es la instalación de una piscifactoría en tierra, siendo necesario la obtención de unos terrenos adecuados cerca del mar (lo cual cada vez es más difícil y costoso), así como el coste adicional que supone el bombeo de agua y la inyección de oxígeno.

- *Auto-depuración del agua.*

El emplazamiento estratégico de un polígono de jaulas, donde la corriente sea la adecuada, puede asegurar un movimiento continuo de agua, permitiendo que la biomasa se encuentre constantemente con las mejores condiciones de cultivo.



- *Auto-oxigenación.*

En las mismas condiciones mencionadas en el apartado anterior, puede asegurarse la continua renovación de agua y por consiguiente de oxígeno, sin la necesidad de instalar bombas e inyectores.

- *Posibilidades de traslado. Rotación de emplazamientos.*

La creciente preocupación por parte de las diferentes administraciones en temas de impacto ambiental, está provocando unas condiciones cada vez más exigentes a la hora de otorgar emplazamientos. Una posible solución, que ya está siendo desarrollada en países nórdicos es la rotación de emplazamientos, de modo que una instalación no permanezca más de dos o tres años en un mismo sitio. Es evidente que esta alternativa solamente se puede contemplar con los polígonos de jaulas en el mar, ya que sería inviable para una instalación en tierra.

- *Reducción del período de engorde.*

Se ha demostrado con experiencias reales que el crecimiento de las diferentes especies es considerablemente más rápido en instalaciones ubicadas en el mar, lo cual resulta más que evidente, al ofrecer al pez unas condiciones más próximas a su hábitat natural.

## 4.2. VENTAJAS DE LAS JAULAS PARA EL CULTIVO DE PECES PLANOS

Las posibles ventajas de las jaulas para el cultivo de peces planos se esquematizan a continuación:

- **Biológicas**

- Condiciones naturales de renovación de agua y aporte de oxígeno que implican mejor calidad de la carne de los peces y menos enfermedades.
- Condiciones más parecidas a su vida salvaje que disminuyen el «stress».

- **Medio ambientales.**

- Mayor control del impacto ambiental «real» frente a las instalaciones de tierra con régimen de circuito abierto.
- Consumo del pienso sobrante por los peces salvajes que viven a su alrededor.



- **Operacionales: frente a las instalaciones en tierra.**
  - Ausencia de equipos auxiliares de las instalaciones en tierra que exigen un gran mantenimiento y redundancia: bombas de alimentación.
  - Ausencia de componentes que implican grandes trabajos de limpieza: tuberías, tanques y áreas de manipulación.
  - Reducción drástica de la superficie de terreno necesaria para el cultivo, pasando de unas naveas enormes a una simple instalación de oficinas y almacén.
- **Económicas.**
  - Inversión inicial muy inferior.
  - Reducción drástica de los costes de mantenimiento.
  - Disminución de los costes fijos.
  - Aumento del precio de mercado al mejorar la calidad.
- **Institucionales.**
  - Traslado de los cultivos desde las instalaciones en tierra al mar que implica el ahorro de concesiones en tierra y en un futuro a largo plazo la utilización de los terrenos de las actuales piscifactorías para otros usos.
- **Sociales.**
  - Posible reconversión de puestos de trabajo de la pesca.
  - Construcción de barcos auxiliares y plataformas de apoyo a la explotación.

### 4.3. COMENTARIOS ADICIONALES

El **impacto medioambiental** es debido a su misma presencia como objeto flotante y al método de cultivo. Las jaulas ocupan un espacio que puede crear dificultades a la navegación, puede reducir las zonas de pesca, altera las corrientes e incrementa las tasas de sedimentación. Con respecto al método de cultivo, puede introducir enfermedades o parásitos en la zona, puede cambiar la flora y la fauna acuática y puede alterar el comportamiento y la distribución de la fauna local. Asociado con el cultivo intensivo está la incorporación al medio marino del alimento no consumido y de las heces, estimulando la producción primaria y afectando adversamente a la calidad del agua si la dispersión no es adecuada.



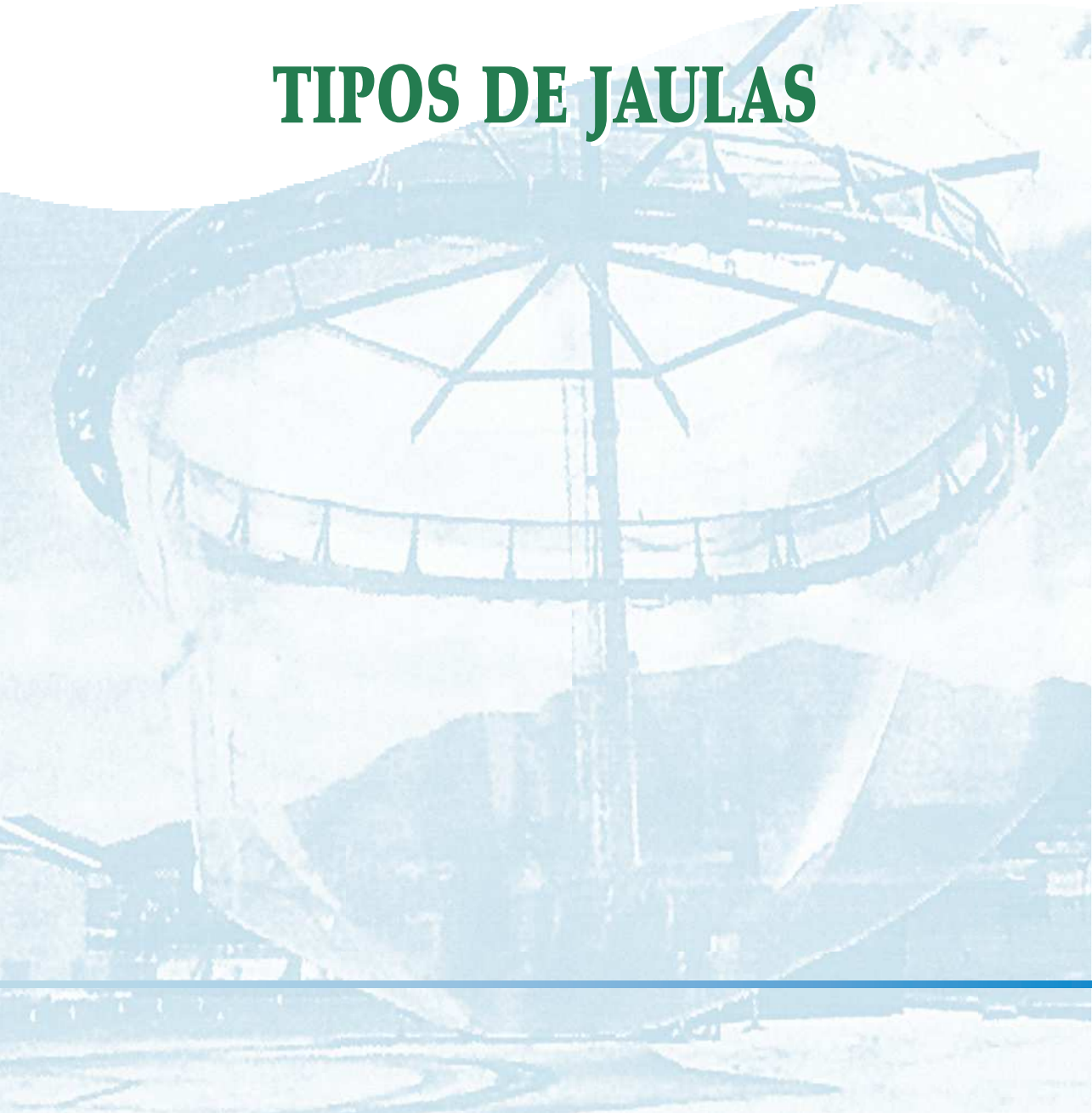
En cuanto al **rendimiento económico** y aunque las diferencias con los «raceways» y tanques es grande, se pueden extraer algunas conclusiones. La inversión de capital y los costes de operación del cultivo en jaulas son considerablemente mas bajos que los métodos alternativos que implican bombeo de agua de mar y tanques e instalaciones construidas en tierra.

La mayor desventaja de los sistemas de cultivo de este tipo puede ser definida con una palabra...**vulnerabilidad**. Las jaulas se sitúan a menudo en zonas donde el agua tiene un uso público o semipúblico y los cultivadores no pueden detener o controlar la contaminación.

Las jaulas son más susceptibles a los daños por tormenta que los estanques, tanques o «raceways» y en zonas de gran actividad tormentosa, como los trópicos, pueden ser mas recomendables las instalaciones en tierra.

# 5

## TIPOS DE JAULAS







## TIPOS DE JAULAS

Existen varias formas de clasificar las jaulas: según su tamaño, material, forma, etc. En este trabajo se ha creído conveniente incluir la diferenciación entre jaulas flexibles y rígidas, la clasificación definida en los trabajos de Gary Loverich (OST), la clásica de Malcolm Beveridge, otra planteada por Scott y Muir y la primera realizada en España por Muiña, Moreu y Aláez.

### 5.1. JAULAS FLEXIBLES Y RÍGIDAS

#### Jaulas flexibles

La tendencia actual es la instalación de jaulas flexibles, que permiten reducir el nivel tensional de la estructura. El objetivo es, tal y como se aprecia en la figura 5.1 (vídeo), que la jaula «cabalgue» sobre la ola, adaptándose a la forma de la misma.

En los últimos años la Administración española está concediendo emplazamientos cada vez más alejados de la costa, para instalaciones de jaulas marinas. Esta tendencia obliga a los fabricantes a diseñar

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 5.1.**  
Jaulas «cabalgando».



jaulas que se adapten mejor a las condiciones en mar abierto: olas más grandes, fuertes corrientes y temporales. Es razonable pensar que las jaulas flexibles son las que pueden proporcionar las mejores características para afrontar estas condiciones.

### Jaulas rígidas

El origen de este tipo de jaulas se relaciona con instalaciones situadas en aguas protegidas o interiores, donde las corrientes son pequeñas y el oleaje mínimo. Es en Noruega, donde actualmente pueden observarse un mayor número de jaulas rígidas, gracias a las magníficas condiciones que ofrecen los fiordos. En España, podrían encontrarse unas condiciones similares en las Rías Gallegas.

Aún así siguen ensayándose estructuras totalmente rígidas para lugares expuestos, ya que estas, aunque más costosas, ofrecen una mayor seguridad a la hora de controlar la biomasa. En la figura 5.2 se puede contemplar una estructura totalmente rígida en la Costa Mediterránea, construida por Marina System Ibérica.

## 5.2. CLASIFICACIÓN DE GARY F. LOVERICH

La segunda clasificación que se va a incluir es la realizada por Gary F. Loverich, que incorpora los diferentes diseños de jaulas «Offshore» actualmente utilizadas y las próximas generaciones. Los criterios para esta



**FIGURA 5.2.** Jaula rígida (Marina System Ibérica).



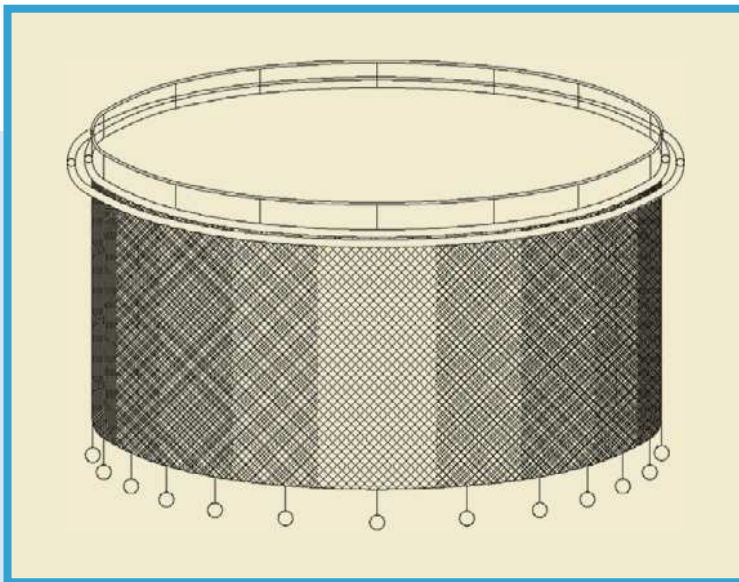


clasificación han sido los requisitos de habitabilidad de los peces y las habilidades de ingeniería para una geometría estable y bien definida, que se traducen en unos medios estructurales que mantienen el volumen necesario para el engorde de los peces. Esta clasificación define 4 categorías:

**La jaula de gravedad categoría 1:** la flotabilidad de su estructura superior y el peso mantienen la forma y el volumen frente a las fuerzas aplicadas desde el exterior. Su volumen depende de la interrelación entre las fuerzas de la gravedad y las fuerzas del movimiento del agua. La mayor parte de los diseños actualmente instalados son de este tipo (Bridgestone, Corelsa, Dunlop, Farm Ocean, Quintas & Quintas, Wave-master...). La figura 5.3 esquematiza la jaula de gravedad.

El primer diseño de este tipo lo realizó Bridgestone para los pescadores de atún japoneses que querían mantener vivos los peces en alta mar hasta el momento de su transporte a tierra.

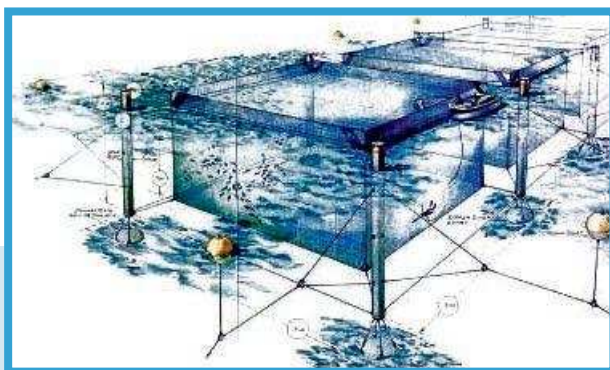
**La categoría 2** es una jaula tensionada por anclajes que mantiene su forma y volumen gracias a esta tensión. La aplicación de fuerzas exteriores, debidas al movimiento del agua sobre la red originará un aumento de las tensiones en la línea de anclaje pero se minimiza la deformación.



**FIGURA 5.3.** Jaula de gravedad.

Sin embargo no mantienen la forma sin la tensión de los anclajes. Unas boyas en forma de tubo, cuyo movimiento vertical esta amortiguado por unos discos de lastre situados en su parte inferior, actúan como postes y conectados por cabos a la red mantienen la estructura en tensión asegurando su posición con los anclajes correspondientes. Este diseño conserva el 90 por ciento de su volumen en corrientes superiores a 3 nudos (1.75 m / seg.). Sus cifras de renovación de agua son también espectaculares: con corrientes de 2.5 nudos, sus 6200 m<sup>3</sup> se renuevan cada 20 segundos. Se aprecia su diseño en la figura 5.4.

**Las jaulas de categoría 3** se tensionan y se soportan por si mismas, manteniendo la forma sin la necesidad de los efectos de la gravedad y también sin las tensiones de las líneas de anclaje. La «Sea Station» es un ejemplo de este tipo donde, la flotación, la estabilidad y la rigidez se logran gracias a una boya central tubular de acero de 15 metros de longitud, rodeada por un anillo de 80 metros de diámetro que forman su estructura, cubierta por la red sin nudos. Con corrientes de 1 m / seg. mantienen el 90 por ciento de su volumen. Otra característica muy interesante de este tipo de jaulas es su capacidad de inmersión cuando las condiciones ambientales son severas, evitando así la acción de las olas. Este sistema se sumerge y emerge variando la flotabilidad de su boya central, empleando en cada operación alrededor de 15 minutos. Los cálculos teóricos y su extrapolación, gracias a los resultados obtenidos de la experiencia con el prototipo, avalan la capacidad de estas jaulas para resistir olas de al menos 12 metros. La figura 5.5 muestra un vídeo de la «Sea Station».

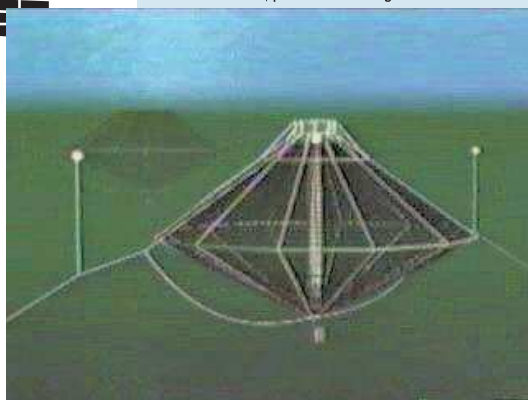


**FIGURA 5.4.**  
Jaula «Ocean Spar».





Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 5.5.**  
«Sea Station».

**Las jaulas de categoría 4** se caracterizan por poseer estructuras rígidas y que se soportan a si mismas, formadas por vigas y columnas capaces de resistir cargas de compresión, tensión y pandeo.

Este tipo ha sido experimentado en los últimos años y un ejemplo lo tenemos en la plataforma construida por «Marina System Iberica», instalada en Arenys de Mar y, con capacidad para una producción de 450 toneladas anuales de dorada y lubina. La estructura de 50 x 50 metros está construida con tubos de acero y mediante el lastrado de los verticales puede variar la altura de su obra muerta entre 1,5 y 5,5 metros. Sobre la plataforma existen 4 habitáculos destinados al generador de electricidad, al laboratorio biológico, al almacén del pienso y al dormitorio de la tripulación. Esta anclada a dos millas de la costa y es capaz de resistir las condiciones mas adversas de la zona. La figura 5.6 nos muestra el aspecto de esta plataforma.

### 5.3. CLASIFICACIÓN CLÁSICA: MALCOLM BEVERIDGE

Una clasificación clásica dada por Malcolm Beveridge en la Biblia del cultivo en jaulas, « Cage Aquaculture », considera la evolución desde sus orígenes que hoy ha dado como fruto una gran diversidad de tipos y diseños. La figura 5.7 (Beveridge) visualiza una posible clasificación. Hay 4 tipos básicos: fijas, flotantes, sumergibles y sumergidas.

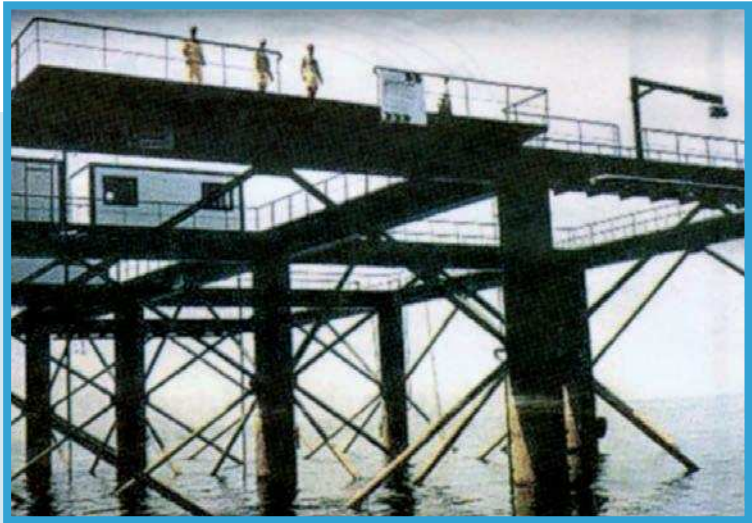


FIGURA 5.6. Plataforma de «Marina System Iberica».

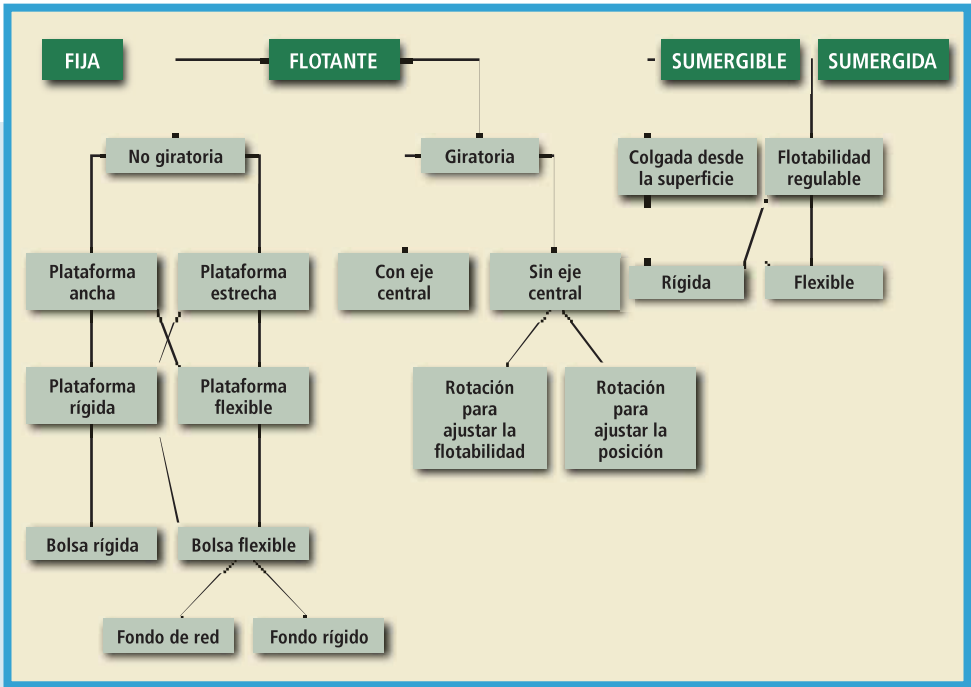


FIGURA 5.7. Clasificación de jaulas según Beveridge.



Las **jaulas fijas** tienen una bolsa de red soportada por postes enterrados en el fondo de ríos o lagos. Son habitualmente empleadas en algunos países tropicales como Filipinas, donde su fabricación es sencilla y barata en comparación con otros diseños. Sus limitaciones son el tamaño y la forma y su uso restringido a fondos de poca profundidad con sustratos adecuados (Figura 1.1).

En las zonas del mundo donde se utilizan, el bambú es el material usado para los postes. Este material tiene buenas propiedades pero un gran inconveniente: su corta vida útil. Su destrucción se precipita por la acción de insectos perforadores que a veces llegan a provocar su inundación interior perdiendo su flotabilidad. Su vida útil ronda los 18-24 meses en agua dulce y los 12-18 meses en agua salada.

Los postes de una jaula fija deben realizar las mismas funciones que el collar en una jaula flotante, o sea deben ser capaces de resistir las fuerzas verticales estáticas originadas por el peso de la red y del personal, y las fuerzas horizontales dinámicas ejercidas por el viento, las olas y las corrientes.

Las **jaulas flotantes** incorporan una bolsa soportada por un collar o estructura que actúa como una boya. Este tipo es el más utilizado y existe una enorme variedad de formas y tamaños. Son también menos restrictivas en cuanto a su adaptación a los lugares de cultivo. Algunos diseños pueden girar o rotar para controlar el ensuciamiento provocado por la adherencia de seres vivos («fouling»). Algunas rotan por medio de un eje central situado en el collar y otros diseños lo hacen moviendo elementos suplementarios de flotación o cambiando la flotabilidad de la estructura (figuras 1.9 y 5.6).

El collar o estructura soporte puede ser ancho o estrecho. Si esta estructura es ancha sirve como plataforma de trabajo, facilitando los trabajos rutinarios. La mayor parte de los collares son rígidos y para zonas con condiciones de mar más duras se hacen flexibles. Los collares estrechos, más sencillos y baratos, se fabrican con cuerda y boyas, pero este tipo es de difícil manejo. Los collares estrechos rígidos se construyen de fibra de vidrio y boyas y este diseño implica que los trabajos habituales se tienen que realizar desde un barco o pontón. Los diseños de malla rígida deben utilizar, por supuesto, un collar rígido.



Algunos de los diseños flotantes tienen un fondo sólido utilizado para peces planos.

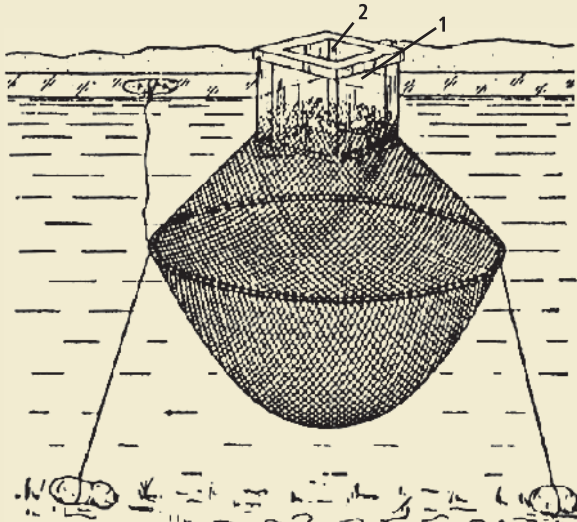
Las bolsas de red o de mallas de las **jaulas sumergibles** no tienen collar pero si incorporan una estructura o elementos de izado para mantener la forma. La ventaja de su diseño sobre los demás es que su posición, en la columna de agua, puede ser regulada para adaptarse a las condiciones ambientales. Algunos diseños suspenden simplemente la red de unas boyas o estructura flotante, mientras otros poseen flotabilidad variable. El mantener la forma de la bolsa sumergida es difícil y algunas especies no se adaptan bien a este tipo de jaulas.

Aunque se han realizado varios diseños de **jaulas sumergidas**, pocos realmente se han probado e instalado. Algunos diseños muy sencillos se utilizan en aguas corrientes en Indonesia (figura 1.3) y en algunas repúblicas rusas (figuras 5.8 y 5.9). Estos diseños son fundamentalmente cajas de madera con aberturas que permiten el paso del agua y se fijan al fondo con postes o piedras. Un diseño muy simple y rudimentario. Actualmente hay algunos intentos con este tipo de jaulas: en Nueva Escocia en Bras D'Or Lakes el «Artic charr» se mantiene bajo hielo en jaulas sumergidas durante un período de tres meses ya que esta especie, durante este tiempo, tiene un nivel de actividad muy bajo y su alimentación es muy infrecuente.

### 5.4. CLASIFICACIÓN DE SCOTT Y MUIR

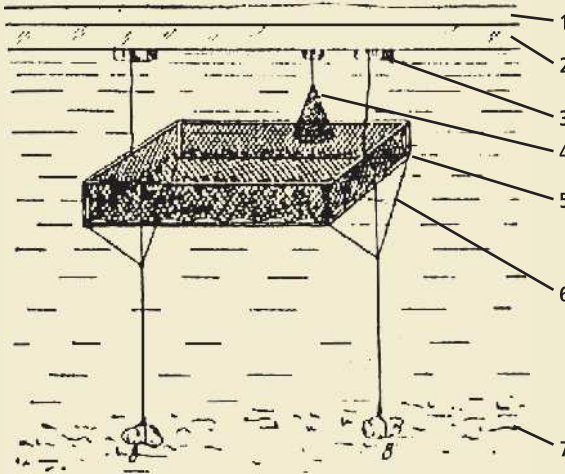
Otra clasificación, un poco más detallada, es la propuesta por Scott y Muir que considera el tipo de estructura. Se esquematiza a continuación, citando algunos modelos comerciales en cada uno de los tipos identificados:

- Flexible flotante: Aqualine, Aquasystem, Bridgestone, Corelsa, Dunlop, Ocean Spar Net Pen, Polar Cirkel, Quintas & Quintas...
- Rígida flotante: Cruive, Marina System Ibérica.
- Flexible semi sumergida: Refa.
- Rígida semi sumergible: Farmocean, Ocean Spar Sea Station.
- Rígida sumergible: Marine Industries, Sadco, Sea Trek, Trident.



1. Estructura de 1m x 1m x 1,2 m (altura) que mantiene suspendida la jaula; en invierno el agua se congela alrededor de la estructura y los peces se alimentan a través de su abertura.
2. Cubierta plástica para facilitar la entrada de la luz en la jaula.

**FIGURA 5.8.**  
Jaula sumergida.



**FIGURA 5.9.**  
Jaula sumergida.





Los viveros **flexibles flotantes** han sido ampliamente comentados en las páginas precedentes. El vídeo de la figura 5.10 muestra el montaje de la estructura de flotación de unos viveros de sección cuadrada.

Los viveros **rígidos flotantes** son de diseño muy diferente. El objetivo es resistir las inclemencias del tiempo mediante estructuras fuertes de acero o de hormigón ayudadas por sus capacidades de lastrado. Normalmente incorporan instalaciones para facilitar las operaciones de cultivo tales como sistemas de alimentación, equipos para el despesque, pequeños laboratorios, generadores de electricidad, talleres de mantenimiento y la habilitación correspondiente. Algunos diseños son autopropulsados. Son normalmente las instalaciones más caras para mar abierto, pero su viabilidad económica debe ser considerada al proporcionar facilidades adicionales que no tienen los sistemas de jaulas flotantes flexibles. Su experiencia comercial no es muy amplia. El vídeo de la figura 5.11 muestra brevemente los viveros rígidos frente a los flexibles.

Los viveros **semi sumergibles** se caracterizan por su capacidad de inmersión durante los períodos en que las condiciones ambientales son adversas unida a su diseño sencillo y ligero. Estas condiciones de cultivo más apacibles favorecen las condiciones de cría y la disminución del estrés. En principio podría parecer que este sistema de viveros sería más sencillo, más seguro y más barato. Sin embargo los dos modos de operación de estos sistemas, en superficie y sumergidos, y la necesidad de su control implica más riesgo y complejidad.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 5.10.**  
Montaje de viveros flotantes.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 5.11.**  
Viveros rígidos VS flexibles.



Los viveros **sumergibles rígidos** son, en teoría, la solución ideal para los cultivos en mar abierto en condiciones ambientales adversas, ya que normalmente operan a una profundidad en la que dichas condiciones no manifiestan sus efectos. Pueden evitar incluso la presencia de hielo en invierno. Estos sistemas aunque tienen cierta independencia necesitan el apoyo de barcos auxiliares. La diferencia entre las estructuras semi sumergibles y sumergibles podría ser si en las condiciones normales de cultivo operan en la superficie o totalmente sumergidas.

Los viveros sumergibles son, en algunos casos, la única alternativa válida para determinadas especies que poseen condiciones de vida muy particulares. El bacalao, y quizás otros peces demersales, son muy sensibles a la exposición al sol sobre todo en su parte dorsal, además sufre bastante en las capas de agua más superficiales por su temperatura más alta. Por estas razones, evitar el sol y bajar temperaturas, el bacalao debe cultivarse durante varios meses en jaulas sumergidas. El besugo es otra de las especies «amantes» de las aguas profundas (más de 12 metros) por sus condiciones habituales de vida, ausencia de luz, que obligan a su cultivo en jaulas de profundidad.

## 5.5. CLASIFICACIÓN DE MUIÑA, MOREU Y ALÁEZ

Esta es la primera clasificación, desde el punto de vista de la ingeniería, que probablemente se haya hecho en España. Data de 1987 (XXVII Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval) y fue realizada por Arturo Muiña, Manuel Moreu y Antonio Aláez Zazurca. Se diferencia de las demás en que clasifica las jaulas según las características de los componentes principales de una jaula: elementos estructurales flotadores, red y sistema de amarre. El cuadro 5.12 la muestra.

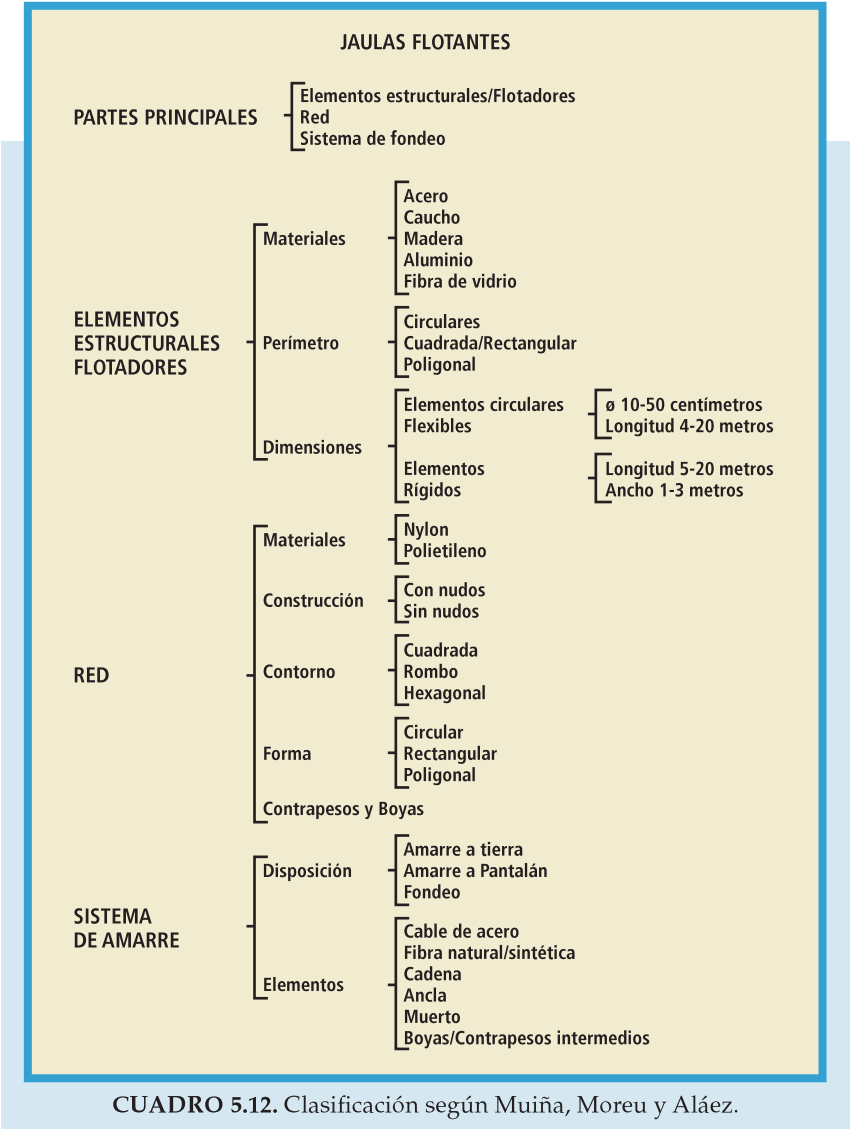
## 5.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS JAULAS SUMERGIBLES

A continuación, y siguiendo a Willkinson y Huguenin, se esquematizan las ventajas y desventajas de las jaulas sumergibles frente a las jaulas flotantes de superficie:



VENTAJAS DE LAS JAULAS SUMERGIBLES

- La inmersión evita la mayor parte de las fuerzas de las olas durante las tormentas.
- La inmersión reduce considerablemente el estrés inducido por las olas durante las tormentas.





- La inmersión evita impactos y daños estructurales contra objetos a la deriva.
- Se evitan completamente las fuerzas del viento.
- La inmersión aumenta el volumen útil de la jaula, reduciendo la densidad durante su operación sumergida.
- Se reduce el «biofouling».
- Se reducen los riesgos de vandalismo y colisión.
- Mayor estabilidad térmica y de salinidad.
- Condiciones mejores para peces demersales.
- Actividades de servicios y mantenimiento en superficie.

#### DESVENTAJAS DE LAS JAULAS SUMERGIBLES

- Vigilancia y operación más difíciles.
- La estructura de la jaula es más compleja y más cara.
- El fondeo es más complejo.
- Algunas especies no pueden estar lejos de la superficie por mucho tiempo debido a problemas fisiológicos.
- Elevación lenta después de una etapa prolongada de inmersión para evitar problemas de descompresión.

En el capítulo 9 se describen detalladamente varios modelos comerciales de jaulas.







# 6

## INSTALACIONES EN MAR ABIERTO







# 6

## INSTALACIONES EN MAR ABIERTO

Como introducción a este capítulo se puede visualizar el vídeo de la figura 6.1 que muestra una imagen virtual de estas instalaciones.

La imagen real de una instalación en aguas protegidas contrasta con las instalaciones en mar abierto que se describen en este capítulo (figura 6.2).

Unas distinciones entre los cultivos en aguas protegidas y en mar abierto, preparadas por Muir, se detallan a continuación:

Características	Aguas protegidas	Mar abierto
Emplazamiento	0,5-3Km., 10-50 m. prof.	+ 2 Km.
Ambientales	HS < 3-4 m., normalmente < 1m.	HS > 5 m. Normal 2-3-m.
	Períodos de viento cortos.	Oleaje oceánico.
	Corrientes costeras localizadas.	Períodos de viento variables.
	Corrientes mareales fuertes.	Menor efecto corrientes.
Acceso	> 95 %. Accesible una vez al Día.	>80 %. Accesibilidad a Veces cada 3-10 días.
Operación	Regular, actuaciones manuales.	Operaciones control remoto.
		Alimentación automática.
		Vigilancia a distancia.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 6.1.**

Instalación en mar abierto (AKVA).



**FIGURA 6.2.** Instalación en aguas protegidas (Culmarex).



### 6.1. RAZONES

Los factores decisivos a favor de la maricultura en zonas expuestas o en mar abierto (offshore) se pueden considerar desde dos puntos de vista: el gubernamental y el empresarial.

Las decisiones desde las Administraciones del Estado a favor de estos cultivos se basan en los hechos siguientes:

- Los problemas medio ambientales creados por las instalaciones en tierra y en aguas marinas o salobres próximas a la costa.
- Las áreas con gran cantidad de residuos en las zonas costeras.
- Las bajas posibilidades de dispersar o evitar las enfermedades.

Las empresas privadas están optando en algunos países por los cultivos en mar abierto por las siguientes consideraciones:

- Posibilidades de costes de producción más bajos por kilo de pez cultivado.
- Mejores condiciones ambientales y de crecimiento para los peces.
- Menor riesgo de aparición de enfermedades.
- Inversiones razonables.
- Mayor flexibilidad de las granjas.
- Potencial de volúmenes de producción más grandes.
- Dificultad para obtener nuevos permisos en aguas protegidas.

El cuadro 6.3 esquematiza las ventajas y desventajas de los emplazamientos situados cerca de la costa en aguas abrigadas y de los ubicados en mar abierto según Huguenin.

### 6.2. ESTRATEGIAS OPERACIONALES

El potencial de rentabilidad es grande en este tipo de instalaciones en mar abierto pero hay que considerar algunos aspectos muy importantes que se describen a continuación:

#### 6.2.1. Condiciones operacionales y de supervivencia

El impacto ambiental de las corrientes y el viento son consideraciones clásicas en el mundo de la ingeniería y que ya se han comentado. Pero hay otros problemas, tan importantes como la resistencia estruc-



**CUADRO 6.3.**  
Aguas abrigadas VS mar abierto.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>AGUAS ABRIGADAS</b>	
Protección contra olas y vientos	Altas corrientes en las tormentas
Fácil acceso	Calidad agua impredecible
Actividades conocidas	Contaminación por otras actividades
Pocos desconocimientos	Probabilidad de conflictos
Mas experiencia	Probabilidad limpieza inadecuada
Más fácil evaluar riesgos	Posibilidad de auto contaminación
<b>MAR ABIERTO</b>	
Mejor calidad del agua	Más vulnerable a olas y vientos
Menores corrientes mareales	Dificultades de acceso
Mejor circulación y limpieza	Nuevas estrategias de operación
No contaminación por otras actividades	Probabilidad de impactos
Menos interacción con otras actividades	Mayores pérdidas de peces por olas
Menor riesgo de enfermedades	

tural de los sistemas de fondeo, relacionados con la disponibilidad y posibilidades de engorde de los peces en los emplazamientos en mar abierto. En el mundo del mar se definen muy a menudo las condiciones de supervivencia y de operación.

La **condición de supervivencia** es la condición ambiental mas adversa sin que se produzcan daños importantes, mientras que la **condición de operación** es aquella en la que la instalación mantiene el propósito para el que fue construida. En el caso de cultivo de peces la condición de supervivencia es aquella en la que se producen las peores circunstancias ambientales en los que tanto la instalación como los peces sobreviven sin mayores daños. Si una gran cantidad de peces tienen que ser sacrificados porque tienen daños en su piel debido a golpes con la red, entonces la condición de supervivencia ha sido excedida.





El principal objetivo de una piscifactoría es alimentar a los peces para obtener la mejor calidad con las mejores condiciones de crecimiento y engorde. El límite operacional de una granja marina se podría definir como el límite hasta que el pez puede alimentarse. Por encima de este límite la alimentación se detiene por alguna razón. Para los salmónidos la alimentación no es tan crítica en cortos períodos de tiempo ya que pueden compensarlos y recuperarse pero para otros peces si.

Es importante valorar las estrategias operacionales considerando estos dos límites: el de supervivencia y el operacional.

### 6.2.2. Infraestructura

Tanto desde el punto de vista de producción como de mercado se debe considerar el nivel de dependencia de la base en tierra.

- **Dependientes:** La alimentación deberá realizarse desde una estación central cercana a la costa, con una distancia máxima de separación de 1.000 m. Y otra posibilidad es el empleo de barcos con base en la costa.
- **Independientes:** Unidades con sistemas de alimentación auto-suficientes instalados en la estructura o sistemas integrados con jaulas anclados cerca de una plataforma de servicios.

### 6.2.3. Requerimientos biológicos

Cualquier sistema de cultivo se debe optimizar para cada especie y el emplazamiento se debe elegir para satisfacer las necesidades de los peces. Desde este punto de vista hay tres parámetros esenciales desde el punto de vista biológico: el tamaño de la bolsa de red, los movimientos de la red y la configuración del sistema.

#### 6.2.3.1. Tamaño de la red

Tomando como ejemplo el salmón, quizá la especie mas utilizada para el cultivo en jaulas grandes (más de 50.000 m<sup>3</sup>), se podrían enumerar las ventajas observadas:

- Crecimiento más rápido.
- Tasa de conversión más baja.



- Menos enfermedades y mortalidad.
- Mayor resistencia contra las enfermedades.
- Detección más fácil de las enfermedades.
- Menor «fouling».
- Mayor dispersión de los residuos.

Las desventajas de los grandes volúmenes se relacionan con el manejo de la red y con la gestión del «stock». Estas desventajas se pueden paliar con barcos eficientes, plataformas de trabajo y equipos de vigilancia y control que utilizan cámaras de vídeo y ordenadores.

#### 6.2.3.2. Movimientos de la red

Este es un tema que se tiene muy en cuenta actualmente, sobre todo después de la experiencia en Noruega durante los inviernos de 1988 y 1989 donde hubo que sacrificar muchas toneladas de salmones por los daños sufridos al golpearse con la red. El concepto es conseguir la forma adecuada de la red sin aumentar mucho su peso y también lograr el movimiento ideal con las corrientes y las olas para minimizar la frecuencia de colisión entre los peces y la red. El aro de lastre inferior y algunos diseños tensionados tratan de mantener la forma de la bolsa y son tratados en otro capítulo.

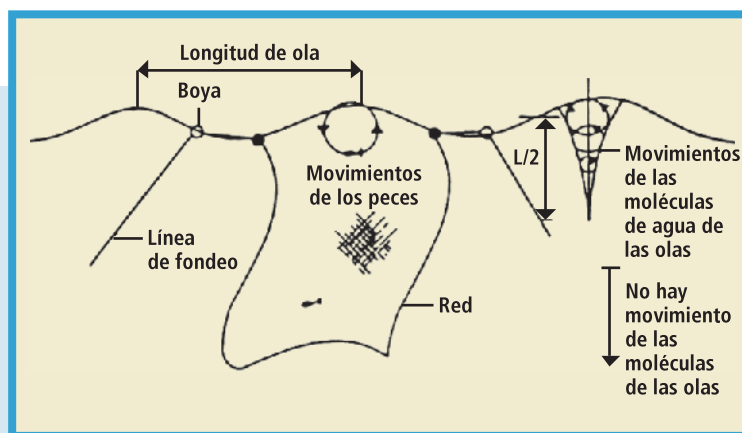
La figura 6.4 ilustra la ventaja de utilizar redes profundas en zonas expuestas ya que a partir de una profundidad pequeña el movimiento de las partículas de agua debido a las olas no existe.

Sin embargo, con estas redes de gran profundidad, las fuerzas originadas por las corrientes son mucho mayores debido a que el área expuesta de red es mas grande. Conseguir el equilibrio entre estas dos tendencias es el reto actual de los fabricantes de redes.

La red, la jaula y el sistema de anclaje deben ser diseñados como un sistema integrado ya que las fuerzas y movimientos de la red dependen también en gran manera de la elasticidad del sistema de anclaje.

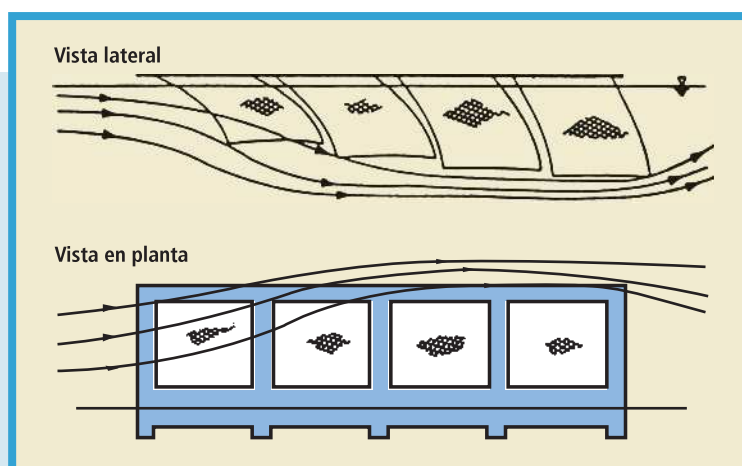
#### 6.2.3.3. Configuración del sistema

La tasa de intercambio de agua es un criterio de diseño muy importante. La razón es la necesidad del transporte de oxígeno y la eliminación de los residuos de los peces a través de la columna de agua delimitada por la red.



**FIGURA 6.4.** Olas y movimiento de las partículas del agua (Beveridge).

Es importante guiar el caudal de la corriente a través de la red y no alrededor de ella, y también evitar el efecto «pantalla», o sea que unas jaulas desvíen el caudal de las siguientes con lo que las mas interiores tendrían menos oxigenación y menos eliminación de residuos. Este efecto se visualiza en la figura 6.5 y es una de las razones principales de la tendencia en algunos países como Noruega, Escocia y otros productores de salmón, de ir a jaulas más grandes y ancladas a una cierta distancia para evitarlo.



**FIGURA 6.5.** Efecto pantalla (Beveridge).



### 6.3. REQUERIMIENTOS DE UNA INSTALACIÓN EN MAR ABIERTO

A continuación se esquematizan estos requerimientos:

- Resistencia a fuerzas de grandes dimensiones, tales como las provocadas por tormentas y tifones.
- Sumergible a profundidades opcionales, lo cual asegura que puede proteger a los peces frente a invasiones de algas, tormentas, variaciones de temperatura...
- Acceso seguro a la instalación y condiciones de trabajo seguras para el personal (altura de trabajo mínima sobre el nivel del mar).
- No utilizar buceadores para las inspecciones diarias y los trabajos de mantenimiento.
- La limpieza y el cambio de redes debe poder hacerse sobre el nivel del mar de una forma segura y eficaz.
- La eliminación de los peces muertos debe poder hacerse fácil y frecuentemente.
- Despesque fácil y seguro.
- Evitar el riesgo de escapes durante las operaciones de mantenimiento.
- Posibilidad de alimentar efectivamente aún en su posición sumergida.
- Costes de producción bajos.
- La operación de la instalación debe ser respetuosa con el medio ambiente.
- Movimientos relativos bajos entre los peces y el vivero.
- Disponibilidad de oxígeno dentro del vivero.
- Red para evitar a los depredadores.
- Reducir al mínimo la posibilidad de colisión con los barcos.
- Reserva de flotabilidad permanente para evitar el hundimiento del vivero.
- Facilidad de montaje.

El vídeo de la figura 6.6 visualiza una experiencia muy interesante realizada por la Junta de Andalucía, a cinco millas de Rota, para el ensayo de tres tipos diferentes de jaulas en mar abierto. El vídeo 6.7 muestra la selección de los viveros a utilizar en la instalación y en el vídeo 6.8 se puede apreciar como se introdujeron los alevines en cada jaula.



Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 6.6.**  
Instalación en mar abierto  
de la Junta de Andalucía.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 6.7.**  
Selección de viveros mar  
abierto (Junta de Andalucía).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 6.8.**  
Siembra de viveros mar abierto  
(Junta de Andalucía).



# 7

## SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO





# 7

## SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

### 7.1. CATEGORÍAS DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios para la selección de los emplazamientos adecuados para las jaulas pueden ser agrupados en tres categorías que se esquematizan a continuación:

La primera categoría contempla las condiciones físico-químicas que determinarán las especies que puedan vivir en ese ambiente:

- Temperatura
- Afloramientos de algas.
- Contaminación.
- Olas.
- Corrientes.
- Viento.
- Mareas.
- Ensuciamiento (fouling).
- Intercambio de agua. Contenido de oxígeno (oxígeno disuelto).
- Organismos patógenos.
- Salinidad.
- Sólidos en suspensión.
- PH.
- Turbidez.
- Amonio.
- Nitritos.
- Nitratos.
- Nitrógeno total.
- Fósforo.
- Fosfatos.





- Silicatos.
- Clorofilas.
- DBO.

La segunda recoge las condiciones que se deben considerar para mantener con éxito la estructura de la jaula: entorno, profundidad y sustrato.

La tercera considera aquellos factores que determinan las posibilidades de establecer la piscifactoría y el rendimiento de la empresa: acceso, aspectos legales, proximidad a los mercados y seguridad.

### **7.2. FACTORES RELACIONADOS CON LOS ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO**

A continuación se esquematizan una serie de factores del emplazamiento relacionados con los aspectos técnicos del proyecto y que es conveniente conocer. No se incluyen aspectos sociales, políticos, legales y económicos que son también muy importantes y muchas veces críticos en la elección de un emplazamiento:

- Factores meteorológicos:
  1. Vientos: direcciones predominantes, velocidades, variaciones estacionales, intensidad y frecuencia de las tormentas. «Tormenta de diseño»: la mayor a considerar en periodos de tiempo dados (5, 20 ó 100 años)
  2. Luz: energía solar anual total, intensidad, fotoperiodo.
  3. Temperaturas del aire y sus variaciones.
  4. Humedad relativa y sus variaciones.
  5. Lluvias: cantidad, distribución anual, frecuencias.
- Factores locales:
  1. Mareas: alturas, oscilaciones, variaciones estacionales.
  2. Olas: amplitud, longitud, dirección, variaciones estacionales.
  3. Profundidades y tipos de fondos.
  4. Calidad del agua.
  5. Corrientes: magnitud, dirección, variaciones, tasas de intercambio.
  6. Instalaciones actuales.



7. Accesibilidad.
  8. Historia del emplazamiento.
- Factores biológicos:
    1. Productividad primaria.
    2. Ecología local: niveles tróficos, especies dominantes.
    3. Poblaciones silvestres de las especies a cultivar.
    4. Predadores: presencia y concentraciones.
    5. Parásitos y afloramientos algales.

### **7.3. LIMITACIONES A CONSIDERAR EN EL EMPLAZAMIENTO**

Una lista de limitaciones que se deben considerar al elegir el emplazamiento se detalla a continuación:

- Distancia excesiva o acceso limitado entre la instalación en el mar y la base de apoyo. Esto se traduce en pérdidas de tiempo excesivas e implica un control y vigilancia de los cultivos más deficiente.
- Infra estimación de los efectos de los predadores indígenas.
- Vertidos de plantas industriales o municipales en condiciones inusuales, extremas o infrecuentes que pueden dañar la calidad del agua y provocar altas mortalidades.
- Alta producción de biofouling. En casos extremos la lucha contra el biofouling puede consumir el 40 % del esfuerzo de los trabajadores.
- Enfriamientos extremos en invierno: detención del crecimiento y alta mortalidad en casos extremos.
- Calentamientos excesivos en verano: alta mortalidad.
- Cambios rápidos de salinidad.
- Corrientes no previstas que pueden dañar las estructuras y el sistema de fondeo.

Aunque muchos datos se pueden obtener por análisis e investigación, la información más valiosa se puede lograr hablando con las personas del entorno para conocer de primera mano las circunstancias de la zona.





### 7.4. CRITERIOS AMBIENTALES

A continuación se comentan con cierto detalle algunos criterios ambientales:

Las **olas** suelen ser normalmente el factor más limitante para la selección del emplazamiento de una instalación de viveros.

Varios conceptos se utilizan para definir una ola y se resumen a continuación. La figura 7.1 facilita la comprensión de estos conceptos.

- *Cresta*: el punto más alto de la ola.
- *Valle*: el punto mas bajo de la ola.
- *Altura de ola*: distancia vertical entre el valle y la cresta (H en metros).
- *Máxima altura de la ola*: la más grande altura medida de una ola ( $H_{MAX}$ ).
- *Altura de ola significativa ( $H_s$ )*: este valor no es la máxima altura de la ola. Las olas en un emplazamiento real no tienen todas la misma altura. Se definen con un espectro de olas. La altura de ola significativa es una medida del espectro de la media de las tres alturas de olas más grandes en un período de tiempo (20...100 años). Esta consideración se aproxima a la altura de ola registrada por los observadores y a la ola de energía principal. La altura de ola máxima puede estar entre 1, 8 y 2 veces la altura de ola significativa.
- *Amplitud de la ola*: distancia desde la superficie del mar en calma a la cresta o al valle. Es la altura de la ola dividido por dos:  $a = H/2$ .
- *Longitud de la ola*: la distancia horizontal entre dos crestas o dos valles seguidos (L en metros).
- *Período de la ola*: el tiempo que tarda la cresta de una ola en recorrer una distancia igual a la longitud de onda (T en segundos).
- *Frecuencia de la ola*: el inverso del período. Equivale al número de olas que pasan por un punto dado en la unidad de tiempo (f en  $\text{seg.}^{-1}$ ).
- *Movimientos orbitales de las partículas de agua de la ola*: durante el paso de la ola por un punto de la superficie, las partículas de agua se mueven de una forma orbital. En la profundidad del agua estas órbitas son circulares. El período orbital es igual al período



de la ola, y su diámetro orbital es la altura de la ola. Una aproximación a la velocidad de las partículas orbitales se puede obtener dividiendo el diámetro orbital por el período de la ola.

- *Modelización matemática de una ola:* es un proceso iterativo realizado con ordenador, donde las olas son procesadas a intervalos en la profundidad del agua. En cada intervalo se hacen cálculos de difracción y refracción, y además se considera la alteración de la altura de la ola debido al cambio de energía de la misma. El procesado de la ola se puede llevar hasta la rotura y disipación de la misma en aguas someras. La mayor precisión del modelo requiere datos precisos de las profundidades, parámetros del agua de la ola, batimetría y rugosidad del fondo. En algunos casos los modelos se calibran con parámetros reales de las olas.
- *Espectro de olas:* muy raras veces las olas se presentan de una forma sencilla, donde cada una tiene la misma altura, período y longitud de onda que la que la precede. Las olas «reales» se presentan con pequeñas variaciones de frecuencia y se analizan mejor mediante un espectro de olas. Existen varios espectros, tales como los de Pierson-Moskowitz y JONSWAP, los cuales están tabulados en relación con la longitud de «fetch» y la velocidad del viento, y son el resultado del análisis de datos de olas. Estos espectros se pueden utilizar para hacer predicciones de los parámetros de las olas.

La operación de los viveros con olas menores de dos metros no presenta problemas.

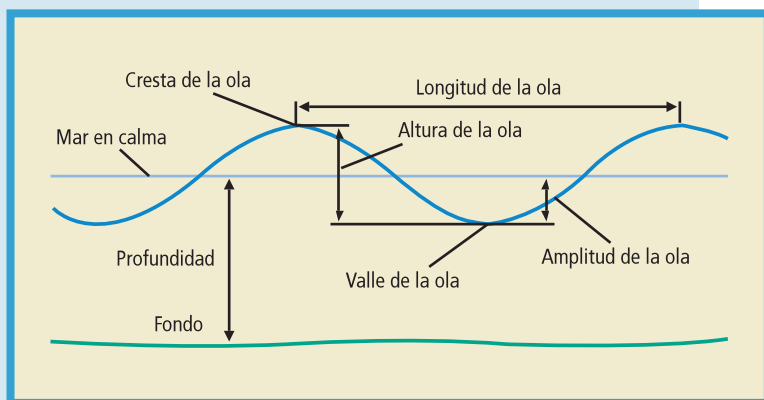
Aunque hay jaulas que resisten olas de 4 a 5 metros y otras, las oceánicas, que pueden llegar a olas de 7 a 8 metros, todas ellas necesitan utilizar procedimientos de operación especiales para operar en condiciones extremas.

El cultivo en jaulas ideal debe tener una buena **calidad del agua** lo que significa que no solo debe estar libre de contaminantes tóxicos, tales como amoníaco, nitritos, metales pesados y componentes fenólicos, sino también deben ser cuidadosamente considerados los requisitos tales como el Ph, la temperatura, el oxígeno y la salinidad.

En las áreas marinas, las variaciones de la **temperatura** con la distancia a la costa y la profundidad se complican por los efectos de la **salinidad**.



**FIGURA 7.1.**  
Parámetros de una  
ola (Lekang).



El régimen de temperaturas de las áreas costeras marinas, habitualmente utilizadas para el cultivo en jaulas, está influido por los vertidos desde tierra. En regiones templadas, las descargas de los ríos y aguas dulces serán mas frías en invierno y mas calientes en verano que las aguas costeras; mientras que en el trópico, las aguas dulces estarán mas calientes que el mar durante la estación seca pero pueden estar más frias durante la estación húmeda. Como la densidad del agua está determinada por la salinidad y la temperatura (figura 7.2), la mezcla de los efluentes terrestres con el agua del mar depende también en gran manera de las corrientes y mareas.

Un buen **intercambio de agua** es fundamental en el cultivo en jaulas para minimizar el impacto de los residuos. Este intercambio depende de las corrientes y también, aunque en menor medida, de la salinidad, temperatura y topografía. Una velocidad del agua superior a 0,1 m / seg. asegura este parámetro.

La figura 7.3 muestra la circulación en un fondo que visualiza como los efluentes terrestres provocan una corriente de compensación del agua de mar, siendo la zona de mezclado máximo donde existe una irregularidad en el fondo. También en esta figura se aprecia que en el valle interior a la colina (zona de menor profundidad) pueden los residuos estabilizarse porque no hay corrientes que los dispersen. Esta situación no es favorable ya que la descomposición bajo condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) produce el gas sulfuro de hidró-

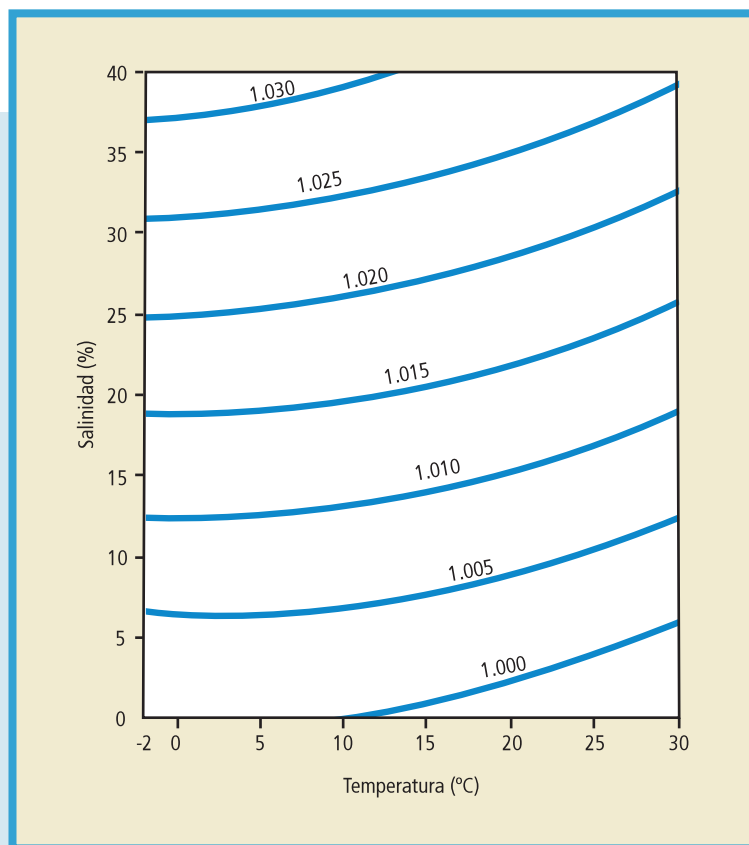


FIGURA 7.2. Densidad VS salinidad y temperatura (Beveridge).

geno ( $H_2S$ ) que es tóxico para los peces cuando se libera de los sedimentos del fondo.

El **«fouling»** reduce el tamaño de la malla de la red e incrementa su superficie. La reducción de malla restringe el caudal de agua a través de las jaulas y por lo tanto reduce la tasa de oxígeno y la eliminación de los residuos que perjudica a los peces.

El aumento de resistencia al caudal de agua provoca, a menudo, una deformación de la red que implica una disminución del volumen útil imponiendo además esfuerzos adicionales a la estructura de la jaula y a los anclajes. El peso adicional del «fouling» puede provocar la rotura de la red y además dificulta el cambio de la misma.

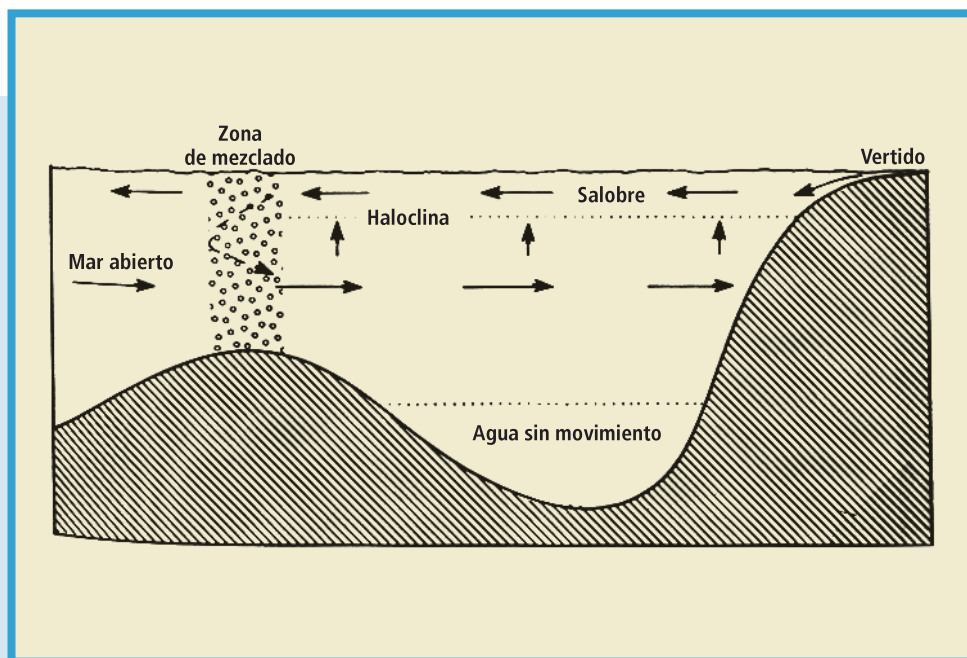


FIGURA 7.3. Intercambio de agua (Beveridge).

Las jaulas flotantes, en teoría, pueden instalarse en cualquier **profundidad** aunque el coste del sistema de fondeo aumentará con este parámetro.

Lo ideal es situar las jaulas en una zona de profundidad suficiente para maximizar el intercambio de agua y mantener el fondo de las jaulas sin interferencia con el sustrato.

Aunque la relación entre el cultivo en jaulas, la sedimentación de los residuos, la calidad del agua y las enfermedades no se conoce en profundidad, es mejor evitar riesgos innecesarios manteniendo a los peces por lo menos 15 m por encima de los sedimentos.

Las mareas también tienen que ser consideradas en los cálculos de profundidad.

En los emplazamientos marinos es mejor elegir **fondos** rocosos, que implican la existencia de buenas corrientes de agua, que reducirán el riesgo de acumulación de residuos. Sin embargo los sistemas de fondeo en estos lugares son más dificultosos.





## 7.5. INTERFERENCIA CON OTROS SECTORES

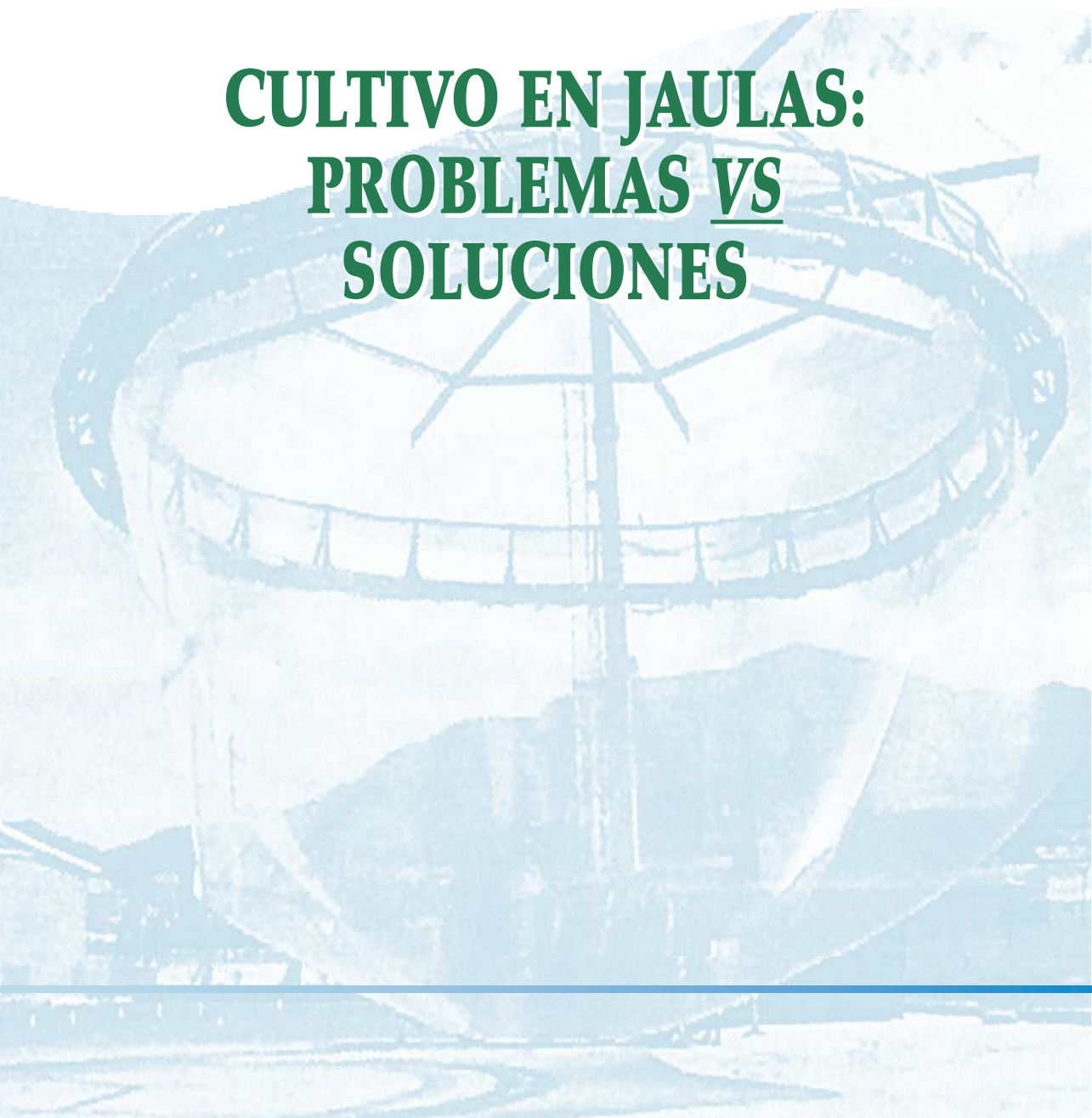
Y ya para terminar este capítulo se comenta brevemente la interferencia con otros sectores.

- **Defensa.** El Ministerio de Defensa limita ciertas zonas por ser declaradas de interés para la Seguridad Nacional: paso de submarinos, campos de tiro, zonas de maniobras...
- **Marina Mercante.** Existen rutas de navegación para la Marina Civil que no pueden ser ocupadas por ningún tipo de Artefacto Flotante.
- **Medio Ambiente.** El Ministerio de Medio Ambiente es especialmente exigente con el emplazamiento elegido para la ubicación de las jaulas. Existen zonas donde no está permitida su instalación: praderas de posidonia, reservas naturales, red natura...
- **Pesca.** Las Cofradías de Pesca tienen derechos sobre determinadas áreas marítimas que son declaradas bancos naturales de pesca, y por tanto zonas no aptas para la ubicación de jaulas marinas.
- **Turismo.** Este sector es especialmente exigente respecto a la interferencia que las instalaciones de cultivos marinos producen en su negocio. El impacto visual es su alegación más importante.



# 8

## **CULTIVO EN JAULAS: PROBLEMAS VS SOLUCIONES**







# 8

## CULTIVO EN JAULAS: PROBLEMAS VS SOLUCIONES

En este capítulo se comentarán los problemas que pueden presentar los cultivos en jaulas y algunas de las posibles soluciones.

### 8.1. RESIDUOS

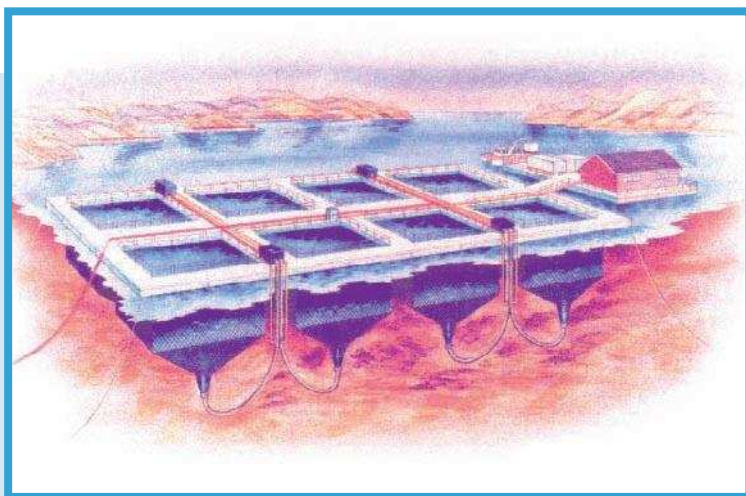
Las cantidades de los sedimentos que se depositan debajo de las jaulas de cultivo son de un orden de magnitud más alto que las de zonas controladas sin presencia de cultivos. La mayor parte de este material es el alimento no consumido y las heces de los peces.

Uno de los intentos para controlar y gestionar este tipo de residuos se comenta a continuación. Se situaron «embudos» de PVC en el fondo de las jaulas e inmediatamente después de la alimentación, se arrancaban unas bombas sumergidas durante varios minutos y el resto del alimento y las heces se bombeaban a la superficie donde se filtraban y los piensos no consumidos se separaban y devolvían a las jaulas. La figura 8.1 esquematiza todo este proceso.

El análisis de los resultados mostró que el 71% del fósforo proporcionado se recuperaba y al evitar la pérdida de pienso se ahorra entre un 25 y un 30% de los costes de alimentación. El análisis coste-beneficio mostró que la inversión se recuperaba en 2-3 años. El único aspecto a considerar es la calidad y el sabor del pienso recuperado.

La eliminación periódica de residuos sedimentados, usando bombas sumergibles, ha sido realizada en un gran número de jaulas de salmón en Noruega durante 5 ó 6 años y se han establecido algunas compañías especializadas en estos trabajos. Los residuos, ricos en minerales orgánicos y en nutrientes, se pueden utilizar como fertilizantes. Sin embargo, aunque el método parece efectivo, es difícil y no sin riesgo, y además se sugiere apartar los peces de las jaulas en el momento del bombeo.





**FIGURA 8.1.** Sistema de recuperación de residuos.

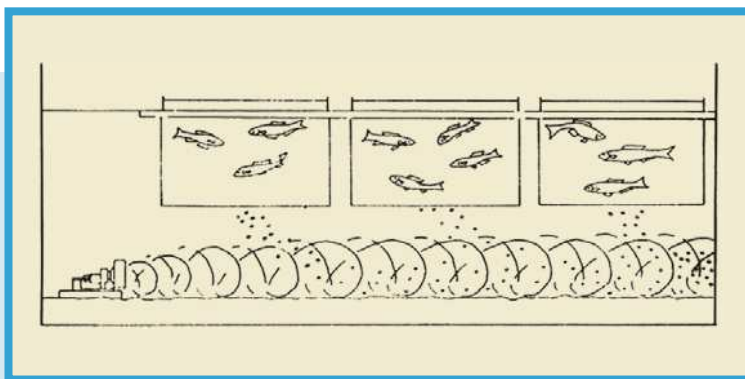
La dispersión de residuos, usando mezcladores eléctricos sumergibles, se ha hecho en algunas granjas de jaulas en Noruega. Parece ser que el mezclador es más efectivo si se opera desde un barco que se mueve alrededor de la granja y si se va posando en el fondo tal como se aprecia en la figura 8.2. Como medida de precaución la bolsa de las jaulas vecinas debe ser izada mientras dura la operación. La reducción de residuos se estimó en un 60-75%.

El cambio de emplazamiento de las jaulas podría ser otra solución al problema de los residuos pero esto implica que el cultivador tiene que tener otro emplazamiento alternativo. La legislación actual no contempla la posibilidad de trasladar la granja a un nuevo emplazamiento o instalarse alternativamente en dos.

El control de la alimentación y de los residuos será tratado ampliamente en los volúmenes IV y V de este estudio sobre la «Ingeniería de los Cultivos Marinos».

### **8.2. CONDICIONES AMBIENTALES**

En las áreas donde hay tormentas frecuentemente y se producen olas de consideración se pueden utilizar «rompeolas» para proteger las



**FIGURA 8.2.** Dispersador de residuos (Beveridge).

instalaciones de jaulas. Hay dos tipos básicos: fijos al fondo y flotantes. Los fijos son, normalmente, estructuras de hormigón o de grandes piedras cuya misión es reflejar la energía de la ola. Tienen una vida útil larga y bajos costes de mantenimiento pero son tremendamente caros y además tiene otras desventajas desde el punto de vista de la maricultura en jaulas:

- Reducen o interfieren las corrientes.
- Restrigen el espacio en las aguas someras.
- Son difíciles de instalar en fondos blandos.
- Son difíciles de modificar ante circunstancias cambiantes.
- Constituyen una obra desmesurada que normalmente solo tiene utilidad en cortos periodos de tiempo.

Los «rompeolas» flotantes son, en cambio, mucho mas adecuados para los requerimientos de los cultivos en jaulas; son relativamente baratos y pueden ser anclados en aguas someras o profundas, no interfieren con las corrientes y pueden ser cambiados de sitio o modificados fácilmente si la granja se extiende o cambia de emplazamiento.

Los «rompeolas» flotantes redistribuyen la energía de las olas de las formas siguientes:

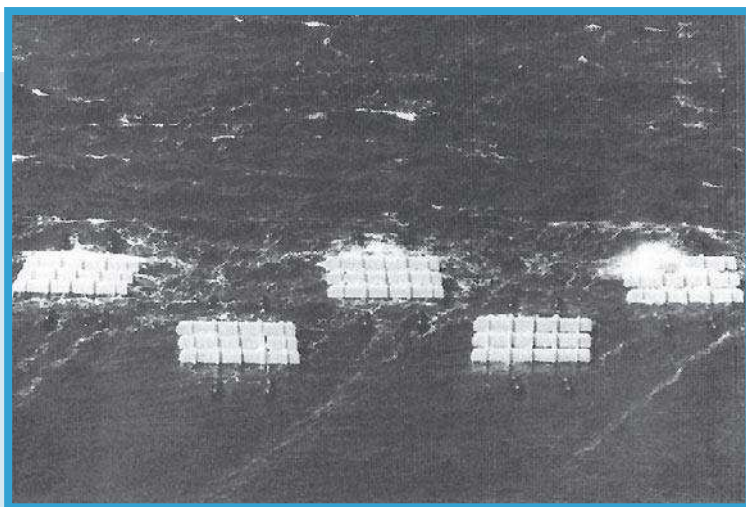
- Reflexión.
- Disipación en la estructura.
- Transmisión de energía.
- Difracción del tren de olas.



- Generación de olas por el movimiento del mismo rompeolas que interfieren con las incidentes.

La importancia relativa de cada uno de estos efectos depende del diseño. En un extremo están los pontones flotantes que reflejan la mayor parte de la energía mientras que en el opuesto están las planchas flotantes que absorben y disipan casi toda la energía por fricción. Los pontones flotantes son muy efectivos pero muy difíciles de anclar de una forma segura, y las planchas flotantes no son prácticas porque para obtener el suficiente amortiguamiento es necesario que la longitud de la plancha sea más de 10 veces la longitud de las olas incidentes. Las estructuras flotantes que incorporan las propiedades de los dos diseños citados (redistribuyen la energía de la ola incidente por reflexión y por absorción) serían ideales.

Se ha investigado mucho en los últimos años en este campo y ya hay estructuras comerciales disponibles. En Japón, por ejemplo, han desarrollado un diseño en los últimos 15 años, y se está utilizando en varios proyectos de maricultura en jaulas. El diseño consiste en módulos de fibra de vidrio rellenos de gomas sintéticas (12 x 17 m ó 10 x 17 m) unidos entre si y situados a barlovento de la granja. La figura 8.3 muestra uno de los diseños de Bridgestone.



**FIGURA 8.3.** Rompeolas de Bridgestone.



Un tipo de rompeolas flotante, que ha tenido un gran éxito, es el mostrado en la figura 8.4, hecho con ruedas de coches, se le denominó FTP (FLOATING TYRE BREAKWATER). El aire atrapado en el hueco interior de las ruedas da a cada modulo flotabilidad suficiente para soportar el peso de un hombre. El movimiento de los módulos por la acción de las olas es suficiente para mantener estas bolsas de aire y únicamente en periodos de calma prolongados el aire se disuelve lentamente en el agua de mar perdiendo flotabilidad.

La mejor protección con los FTB's se consigue orientando el rompeolas a 90° con respecto a las mayores olas. Si vienen de varias direcciones habrá que llegar a una dirección de compromiso. Las jaulas se deben situar a sotavento y a una distancia de los viveros de cuatro longitudes de onda de la ola más frecuente. Su anchura debe ser del orden de la anchura de la flotilla de jaulas a ser protegida, un valor recomendable de esta anchura es 1.5 veces su longitud porque las longitudes de onda más perjudiciales están entre 0,5 y 1,25 veces la longitud de la estructura. Una gran ventaja de los FTB's es que se mue-

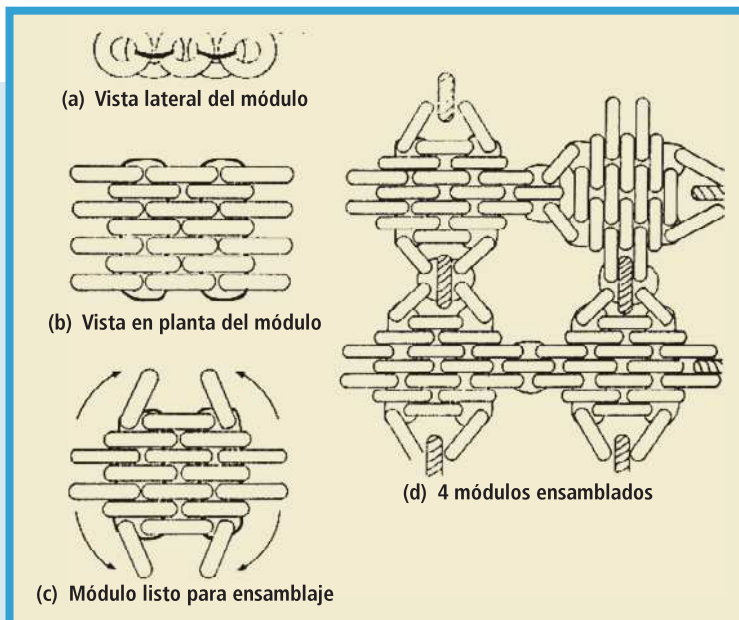


FIGURA 8.4. Floating tyre brakewater (Beveridge).



ven fácilmente de sitio y asumiendo que las ruedas son de deshecho su coste es alrededor de un 10 a un 20% menos que otros sistemas.

Otro método para modificar las olas implica el uso de una barrera neumática, producida por aire comprimido bombeado a través de una tubería perforada sumergida. El esquema de esta idea se muestra en la figura 8.5. Esta barrera neumática provoca cuatro efectos:

- Introduce corrientes de agua.

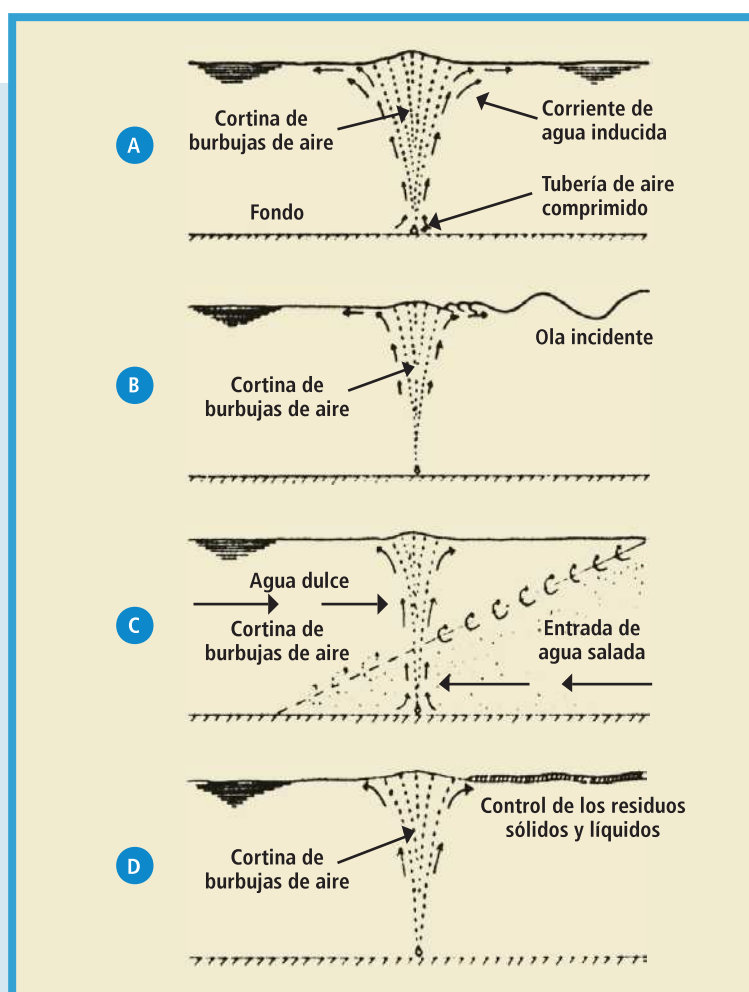


FIGURA 8.5. Barrera neumática.





- Reduce la altura de las olas.
- Previene o limita la incursión de agua salada.
- Detiene la contaminación de petróleo y residuos.

Otra alternativa es diseñar jaulas que se puedan sumergir durante las tormentas o resistirlas. En otros capítulos se describen estos diseños.

### 8.3. HIELO

En Rusia se utilizan dos tipos de jaulas sumergibles para evitar los problemas del hielo; una para peces, tales como la trucha arco-iris, que necesitan alimentación durante el invierno, y otro diseño para los peces que no comen durante la estación fría (pez gato, carpa).

En el otoño, antes de la formación del hielo, las truchas se transfieren a jaulas, como las mostradas en la figura 5.8. La parte superior incorpora una «chimenea» de plexiglass que sirve para soportar la jaula cuando se forma el hielo y también como una ventana por donde penetra el aire, la luz y el alimento.

El diseño de la figura 5.9 se usa para carpas y peces gato durante el invierno y se coloca a una profundidad de 1-1,2 metros por debajo de la superficie del hielo.

En los emplazamientos marinos, rara vez la congelación puede suponer un problema, a menos que las jaulas estén situadas en un fiordo o en un estuario con agua dulce abundante. Esto sólo ha sucedido en la costa oeste de Escocia, en una ocasión, y un barco de pesca rompió el hielo para resolver el problema.



# 9

## **ESTADO DEL ARTE: MODELOS DE JAULAS**







# ESTADO DEL ARTE: MODELOS DE JAULAS

En este capítulo se describen los modelos comerciales mas habitualmente utilizados, tanto para peces nadadores (tipo dorada y lubina) como para peces planos, con el objetivo de facilitar el conocimiento de la situación tecnológica del sector.

## 9.1. PECES NADADORES

### 9.1.1. Aquasystem 104

Estos viveros de estructura rígida flotante, diseñados en Noruega, tienen forma de barco con una eslora de 126 m y una manga de 32 m. con 12 viveros de 2.000 m<sup>3</sup> y una producción de alrededor de 500 T. Este diseño incorpora toda la infraestructura necesaria para su operación incluyendo los sistemas de alimentación. La primera instalación en Irlanda tuvo problemas con las redes bajo condiciones climatológicas extremas. La figura 9.1 muestra este modelo comercial.

A continuación se esquematizan las ventajas y desventajas de los viveros de estructura rígida flotante:

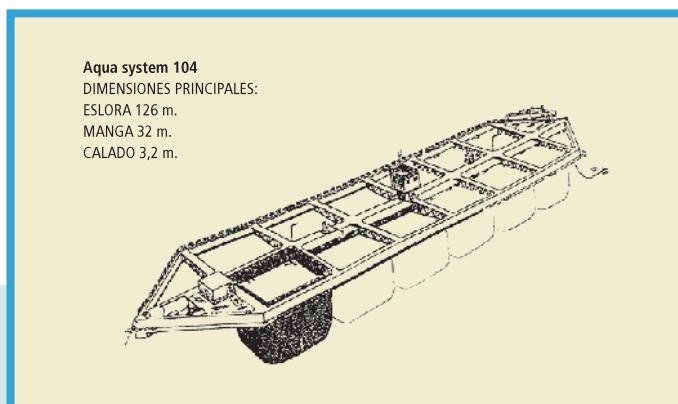
- **Ventajas:**

1. Plataforma de trabajo estable.
2. Sistema integral de alimentación y despesque.
3. Fácil atraque de los barcos auxiliares.
4. Mejora de la seguridad y eficiencia.
5. Construcción y reparación en astilleros convencionales.

- **Desventajas:**

1. Las estructuras grandes y pesadas requieren medios caros para su instalación.
2. Posibles fallos estructurales en condiciones extremas.





**FIGURA 9.1.**  
Vivero Aquasystem 104.

3. Sistemas de fondeo complicados por su gran porte.
4. Alto coste económico: inversión, protección y mantenimiento.
5. No hay experiencia probada.

### 9.1.2. Bridgestone

Este tipo de jaulas utiliza mangueras de goma diseñadas originalmente para descargar crudo desde los petroleros a las terminales en tierra.

Bridgestone realizó el primer diseño de jaulas de gravedad o de estructura flexible flotante para los pescadores de atún japoneses, que querían mantener vivos los peces en alta mar hasta el momento de su transporte a tierra. La primera jaula se instaló en Japón en 1983 y en Europa una granja de Irlanda adquirió la primera en el verano de 1984.

La figura 3.1 muestra un esquema de estas jaulas y las figuras 9.2 y 9.3 unas imágenes de una jaula en mar abierto y las mangueras de goma de la estructura de flotación.

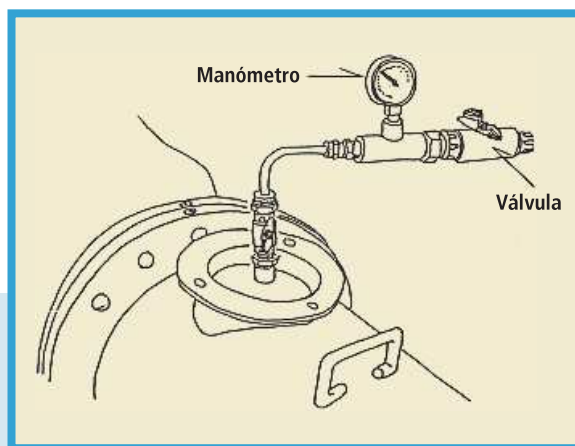
Las mangueras utilizadas son de 16 ó 20 metros y la forma de los viveros puede ser cuadrada, hexagonal u octogonal. Las mangueras se unen en las esquinas mediante juntas de acero, incorporan flotadores adicionales y unas válvulas que sirven como puntos de inflado (figura 9.4) ya que en el interior de las mangueras se inyecta aire a presión.



**FIGURA 9.2.**  
Vivero Bridgestone.



**FIGURA 9.3.** Mangueras de goma vivero Bridgestone.



**FIGURA 9.4.**  
Puntos de inflado  
vivero Bridgestone.

El collar se utiliza principalmente para mantener la forma de la red. No está diseñado para trabajar sobre el. La unión del collar y la red, para transmitir las cargas de esta última al primero, se ha encomendado a una línea de flotadores unida a una red muy resistente que se une a la red de la bolsa entre 1 y 2 metros por debajo de la superficie del mar y de esta forma soporta el peso de la red y absorbe los esfuerzos generados por el mar.

A continuación se esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:

- **Ventajas:**

1. Resistencia alta a los esfuerzos creados por las olas.
2. Tiempo de servicio superior a 10 años.
3. Buena resistencia al impacto.
4. Sistema de manejo de las redes adecuado.
5. Posibilidad de varias configuraciones.
6. Rentabilidad económica para grandes volúmenes.

- **Desventajas:**

1. Problemas de los soportes (doblado).
2. Cara para volúmenes pequeños.
3. Dificil acceso del personal al collar.
4. Dificultades para la instalación de la red anti pájaros.
5. Necesidad de barcos auxiliares de gran porte.



### 9.1.3. Corelsa

El vídeo de la figura 9.5 describe uno de los modelos de este fabricante español, pionero de la industria de la acuicultura en nuestro país. En el vídeo de la figura 9.6 se aprecian los detalles del montaje de esta jaula en el proyecto experimental de la Junta de Andalucía en la Bahía de Cádiz (Rota).

El video de la figura 9.7 visualiza y explica las ventajas e inconvenientes detectados en el emplazamiento de Rota de la Junta de Andalucía.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.5.** Descripción jaula Hércules de Corelsa (Junta de Andalucía).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.6.** Montaje jaula Hércules de Corelsa (Junta de Andalucía).



Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.7.**  
Evolución vivero  
Hércules de Corelsa  
(Junta de Andalucía).



### 9.1.4. Dunlop Aquaculture

Dunlop Aquaculture ha utilizado la experiencia de Dunlop Oil & Marine en estructuras petrolíferas flotantes, para el diseño de sus jaulas, llamadas **Dunlop Tempest**.

Los viveros fabricados por DUNLOP son similares en su concepción a los ya descritos en los párrafos dedicados a BRIDGESTONE. Una pequeña diferencia es la existencia de pequeñas plataformas en las esquinas de las jaulas para facilitar la alimentación manual y la observación.

Comercializan tres tipos, según su forma:

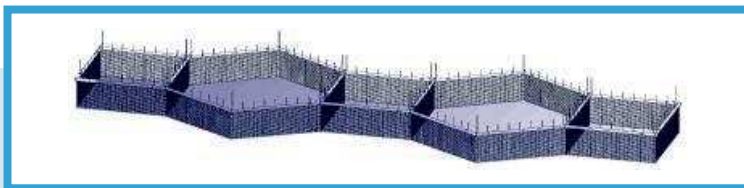
- Cuadradas (12, 15, 16 y 20 m. de lado), su diseño modular permite multitud de combinaciones de montaje incluso con otros modelos del mismo fabricante (figura 9.8).
- Hexagonales (de 16 y 20 m de lado) con un diseño similar a las cuadradas, puede llegar a producir 100 toneladas de pescado en sus 6.600 metros cúbicos. Es posible amarrarlas independientemente o en grupo (Figura 9.9).
- Octogonales (de 16 y 20 m de lado). De las tres, es la de menor coste por metro cuadrado, tiene un volumen de 16.000 m<sup>3</sup> y una capacidad de producción de 200 toneladas. Puede acoplarse a una jaula cuadrada en uno de sus lados como jaula de sacrificio u otro tipo de función (Figura 9.10).

La figura 9.11 visualiza el detalle de la unión de dos de los lados del polígono de la jaula.





**FIGURA 9.8.**  
Jaulas cuadradas DUNLOP.



**FIGURA 9.9.** Jaulas hexagonales DUNLOP.



**FIGURA 9.10.**  
Jaula octogonal DUNLOP.

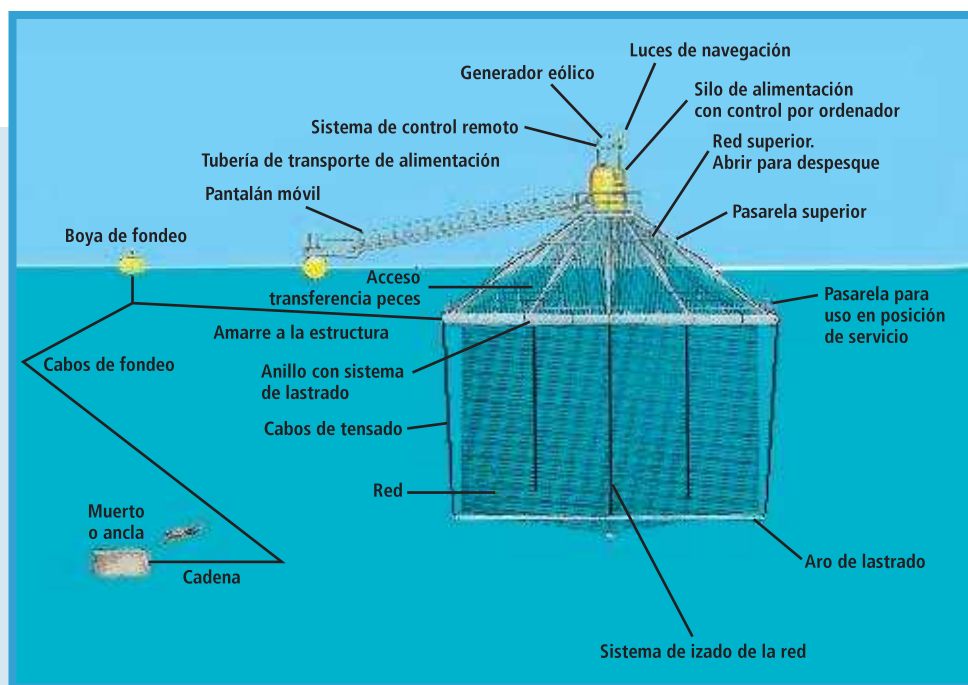


**FIGURA 9.11.** Detalle unión jaulas DUNLOP.

### 9.1.5. Farmocean

La empresa sueca Farmocean ha creado un diseño de vivero de estructura rígida semi sumergible, cuya característica principal es que su capacidad de flotación no está en la superficie del mar, como la mayoría de las jaulas, sino varios metros por debajo de ella, reduciendo los esfuerzos originados por las tormentas.

La estructura en forma de paraguas hexagonal está soldada a un aro superior sobre el que se instala la unidad de alimentación automática, con una capacidad de 3 T, y los controles necesarios. En la parte inferior cuelga un anillo de lastre para mantener la forma de la bolsa. El módulo de alimentación posee una plataforma de acceso flotante que facilita la operación cuando el vivero está sumergido. La carga del silo se realiza desde el barco con una soplante y alimentador giratorio. La figura 9.12 muestra el conjunto del vivero y las 9.13 y 9.14 la estructura superior.



**FIGURA 9.12.** Vivero Farmocean.

**FIGURA 9.13.**

Estructura superior flotando.  
Vivero Farmocean.

**FIGURA 9.14.**

Estructura superior.  
Vivero Farmocean.

El diseño ha previsto que el alimentador y la plataforma de acceso permanezcan sobre la superficie del agua siempre, pero la mayor parte del volumen del vivero está sumergido, con lo cual se minimizan las partes expuestas en la parte superior de la columna de agua.

La estructura hexagonal puede ser deslastrada con aire comprimido para tener acceso desde la superficie del mar a la estructura principal y a la red para los trabajos de limpieza, mantenimiento y manejo de la biomasa. Esta estructura tiene seis tanques de lastre atornillados en cada esquina mediante unas bridas.

El diseño estándar es capaz de resistir corrientes hasta 2-2,5 nudos sin deformaciones importantes de la red y puede ser fondeado entre 25 y 100 metros de profundidad.

Su capacidad de producción máxima es de 150 toneladas, existiendo cuatro modelos dependiendo de su volumen: 2.500, 3.500, 4.500 y 6.000 m<sup>3</sup>. El fondeo se realiza mediante tres puntos de anclaje.

A continuación se esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:

- **Ventajas:**

1. Experiencia probada de 12 años en condiciones severas.
2. Sistema de alimentación integrado.
3. Volumen estable de la bolsa.
4. Buen desarrollo de la biomasa



- **Desventajas:**

1. Inversión alta.
2. Dificultades de acceso para el despesque.
3. Dificultades para el cambio y la limpieza de las redes.
4. Limitación del área de alimentación cuando está sumergida.
5. Mantenimiento y protección regular de la estructura de acero.

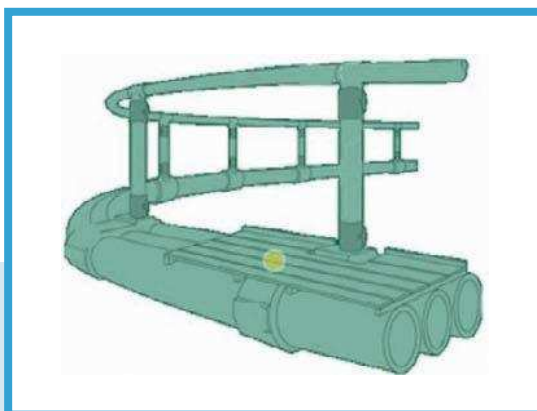
### 9.1.6. Fusion Marine

Esta empresa tiene una gran variedad de modelos de viveros tanto en forma como en diámetros. Uno de estos es el OCEAN-FLEX, construido en polietileno de alta densidad (PEAD), con collar de tres aros de 315 mm. de diámetro y con una plataforma de trabajo amplia. Es utilizada en mar abierto. La figura 9.15 muestra un detalle.

Las dimensiones de los viveros cuadrados varían desde 5 x 5 a 20 x 20 m, y se disponen en grupos de 2, 4, 6 o más. Sus soportes pueden ser de acero o de polietileno. La figura 9.16 visualiza varios modelos.

Una variante del modelo OCEANFLEX es la HIGH PERFORMANCE que aprovecha las propiedades del PEAD 100 para dotarla con una mayor resistencia.

El vídeo de la figura 9.17 visualiza una instalación de jaulas de «Fusion Marine».



**FIGURA 9.15.**  
Vivero OCEANFLEX  
de «Fusion Marine».



**FIGURA 9.16.**  
Viveros cuadrados  
de «Fusion Marine».

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.17.**  
Instalación de «Fusion Marine».

### 9.1.7. Lithgow Aqua Services

El vivero Cruivre, desarrollado recientemente por el grupo Lithgow en Escocia, es flotante y rígido. Las dimensiones de su estructura son 45 m x 45 m e incorpora cuatro viveros de 20 m x 20 m y 20 – 25 m de profundidad, con un volumen total entre 32.000 y 40.000 m<sup>3</sup>. La estructura puede equipar silos y sistemas de alimentación, grúas, equipo para el manejo de las redes y otros equipos auxiliares. La figura 9.18 muestra esta estructura y la figura 9.19 un esquema de los viveros.

El coste básico de la estructura puede ser comparativamente razonable porque alberga un gran volumen de cultivo. Pero al incorporar el equipamiento el coste es alto aunque uno de los más bajos entre las estructuras rígidas flotantes.

### 9.1.8. Marina System Ibérica

El concepto básico es mantener una plataforma estable en mar abierto cualquiera que sea el estado del mar.

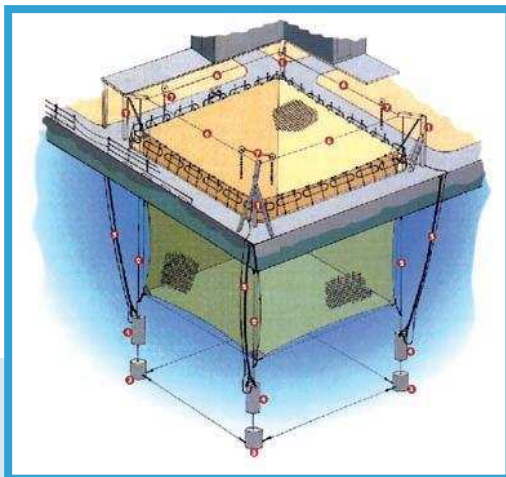
Sus dimensiones permiten albergar en su cubierta los elementos para poder trabajar: la planta de energía, una sala de generadores, la bomba de trasiego de peces, el contador y clasificador de peces y el





**FIGURA 9.18.**

Vivero rígido flotante de Lithgow.



**FIGURA 9.19.**

Esquema viveros Lithgow.

alimentador automático de pienso. Se puede instalar una caseta que pueda servir de oficina y laboratorio. Y en el resto de la superficie se instalan las bolsas de cultivo. La figura 5.2 muestra la botadura de una de estas estructuras (hexagonal) y da una idea de su conjunto. La figura 5.6. visualiza una estructura cuadrada.

Se utiliza la columna central como silo de almacenamiento de pienso para poder tener una reserva de alimento para 7 días o más (75 T).

La plataforma siempre estará en su posición de máximo francobordo (4,5 m, figura 9.20) y cuando se tenga que trasladar peces, hacer el despesque o los muestreos se puede bajar el francobordo a 1,50 metros permitiendo el acceso a las jaulas desde la plataforma .

Con la plataforma elevada se reduce la vigilancia de la plataforma y se puede tener la seguridad de que no sufrirá daños lo que está sobre la cubierta de la plataforma y cuando haya que trabajar, que es cuando el estado del mar es bueno, se baja el nivel al de trabajo. En el cuadro 9.21 se detallan las especificaciones técnicas de uno de los modelos.



**FIGURA 9.20.** Plataforma MSI con máximo francobordo.

#### CUADRO 9.21.

Especificaciones técnicas de una plataforma de MSI.

Especificaciones técnicas	
ESLORA	16 m.
MANGA	16 m.
PUNTAL	8,50 m.
FRANCOBORDO	1.50 m. - > 4.50 m.
CAPACIDAD SILO	75 Tm.
PERSONAL	3 marineros.

Cultivos Marinos del Maresme contrató la construcción de la primera plataforma de Marina System Ibérica para el cultivo de dorada y lubina. La estructura es cuadrada similar a la ya citada, con una superficie de cubierta de 870 m<sup>2</sup> y 11,5 m de puntal, diez de los cuales están normalmente sumergidos. Consta de 9 módulos, que se convierten en otras tantas jaulas de cultivo de 15 m de diámetro por 10 de profundidad, con una capacidad global de 18.086 m<sup>3</sup>.

Esta plataforma se ha anclado a 1,3 millas de la costa en Arenys de Mar, mediante 8 grupos de anclas y muertos con estachas y cadenas. Es capaz de soportar olas de 6 m y vientos de hasta 150 Km. / h. El arqueado bruto aproximado es de 115 TRB. La cubierta dispone de 4 casetas para laboratorio, generadores, almacenes, camarotes para el personal, comedor y taller. El francobordo es variable desde la posición



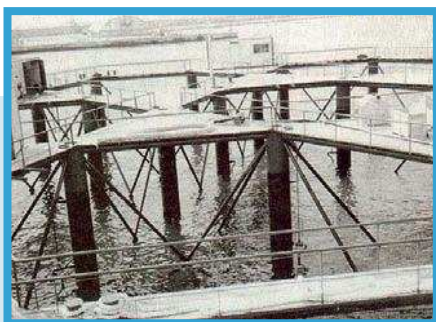
normal de operación (1,5 m) hasta la posición de emergencia (5,5 m). Esta flotabilidad variable se consigue gracias a un sistema de lastre hidráulico en el que participan los 16 tubos verticales y los 24 del fondo. El lastrado se efectúa mediante bombas y el deslastrado por medio de la apertura de válvulas. En esta plataforma se criaron durante el primer año 250 T de dorada y se ha alcanzado una producción de 400/500 T entre dorada y lubina al año.

El impacto ambiental de las heces, residuos metabólicos y alimentación (piensos) perdida, se ha estimado en 130 T/año para una producción de 225 T. Se estima que estos residuos quedan diluidos con ayuda de las corrientes marinas pero, en cualquier caso, la contaminación puede ser controlada visualmente y mediante la toma periódica de muestras.

La figura 9.22 muestra otro detalle de la cubierta de la plataforma y la figura 9.23 visualiza la plataforma en su lugar de operación.

### 9.1.9. Marine Construction AS

Esta empresa fabrica viveros rígidos y flotantes de acero. Son sistemas integrados y modulares que prácticamente son autosuficientes ya que incorporan sistemas de alimentación y pueden realizar la mayor parte de las operaciones sin auxilio exterior. La figura 9.24 muestra un esquema de las instalaciones, la figura 9.25 visualiza un sistema de acero y las 9.26 y 9.27 detalles de los amplios pasillos y de las estructuras para mar abierto.



**FIGURA 9.22.**  
Cubierta de la plataforma MSI.



**FIGURA 9.23.**  
Plataforma MSI en operación.



**FIGURA 9.24.**  
Esquema de las instalaciones  
Marine Construction AS.



**FIGURA 9.25.**  
Jaulas rígidas cuadradas  
Marine Construction AS.

Merece la pena señalar una característica importante de estas instalaciones: su pasillo central, con un ancho de hasta 3,15 m, que permite trasladar equipos y maquinaria con un peso mayor de 3 toneladas (Figura 9.26).

### 9.1.10. Ocean Spar Sea Cage System (OSSCS)

Los viveros de este sistema son del tipo flotante flexible.

#### 9.1.10.1. Descripción general

Es un sistema de ingeniería singular que evita las fuerzas de las olas y disminuye los efectos de las corrientes (Figura 9.28).

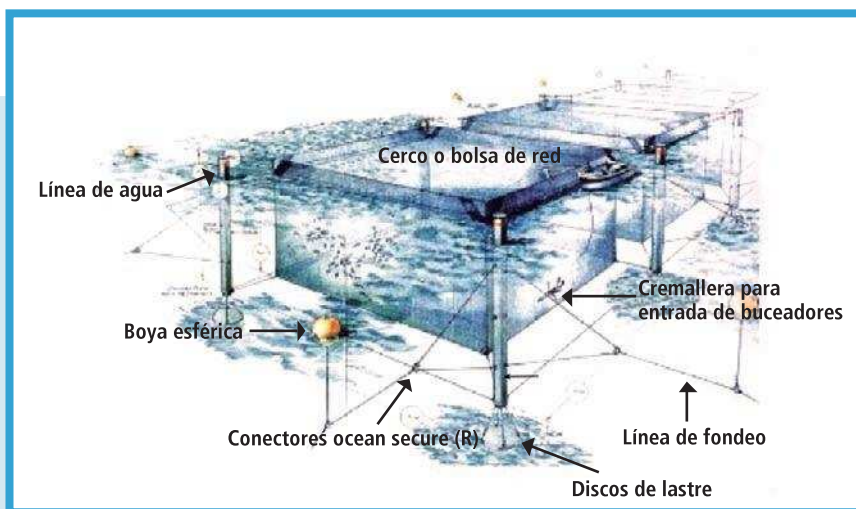
Las boyas tubulares o «spars», sirven como estructura de soporte para la bolsa de red de la jaula



**FIGURA 9.26.**  
Pasillo central de los viveros  
Marine Construction AS.



**FIGURA 9.27.**  
Estructura para mar abierto  
Marine Construction AS.



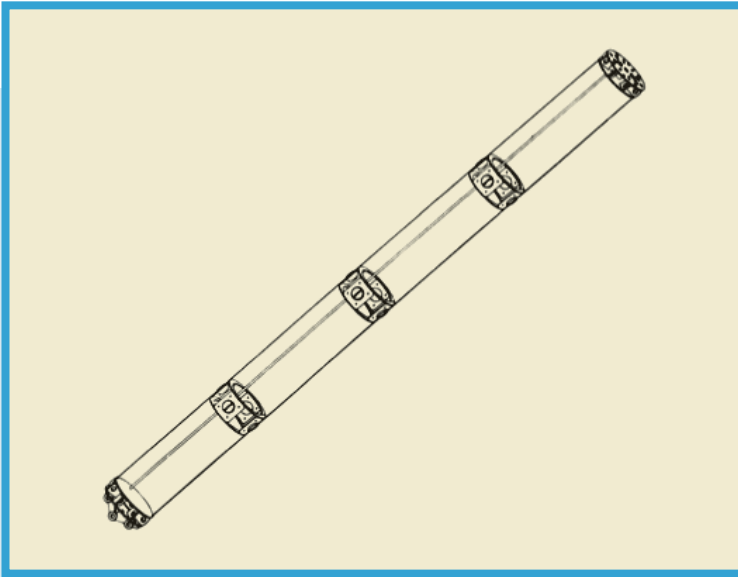
**FIGURA 9.28.** Vivero Ocean Spar.

marina. Los «spars» se sostienen en su posición por un sistema de anclas y cables tensionado por pesos que evitan el movimiento. Las conexiones de la bolsa de red con el sistema de fondeo están hechas en la parte superior y en el fondo de los «spars», evitando de esta forma la necesidad de incorporar volúmenes de flotación a los que las olas y el viento puedan hacer trabajar en contra. Por otra parte, como la estructura de sujeción queda, en su mayor parte, debajo de la superficie, el sistema es más atractivo visualmente que el tradicional de jaulas con anillos flotantes.

Estos «spars» ofrecen baja resistencia a las olas, permitiéndoles moverse a través del sistema en lugar de contra él. Al reducirse las fuerzas actuantes, se minimizan los componentes de desgaste y la posibilidad de fracaso de la jaula.

Estas boyas mástil se construyen de tubo de acero galvanizado de 92 cm. de diámetro y 12 m de longitud. Estos mástiles se lastran con unos discos de hormigón de 2.75 m de diámetro que permiten dejar fuera del agua 1.33 m. del mástil y controlan las oscilaciones verticales. La vigilancia de la presión interna de los mástiles, que tienen un sistema de lastre variable, permite detectar posibles fallos. Un esquema de este componente se muestra en la figura 9.29.





**FIGURA 9.29.** Esquema de una boya mástil (OST).

El sistema ha sido probado con olas de más de siete metros de altura y en corrientes superiores a 3 nudos. Todo esto supone un ambiente de crecimiento de los peces más saludable y seguro en condiciones de mar de alta energía.

Las principales **características del sistema** se detallan a continuación:

– **Volumen mayor en corrientes fuertes.**

En corrientes de 1 metro por segundo (2 nudos), los sistemas convencionales (viveros de gravedad) puede perder más del 80 por ciento de su volumen inicial en situación estacionaria. El sistema Ocean Spar, sin embargo, mantiene por encima del 90 por ciento de su volumen en corrientes de 1.75 metros por segundo (más de 3 nudos). El resultado es una forma de red estable, un volumen más grande y un ambiente mejor para el crecimiento del pez.

– **Resistencia a predadores:** en el sistema de Ocean Spar, los paños de red se tensan firmemente dentro del marco de los «spars» y hace difícil para los predadores deformar la red y atrapar algún pez.



- **Limpieza:** como los paneles de la red se sostienen tensos, la limpieza submarina, con un limpiador hidráulico, es más fácil que en bolsas de red tradicionales.
- **Densidades de cultivo con corrientes altas:** en viveros convencionales, el volumen de la bolsa de red se reduce por la acción de las fuerzas de arrastre causadas por la corriente. Con el sistema de jaulas marinas Ocean Spar (OSSCS), la densidad de cultivo puede ser más alta porque las corrientes no consiguen disminuir el volumen útil.

### 9.1.10.2. Descripción detallada

El sistema de viveros marinos Ocean Spar, consiste en una o varias jaulas ortoédricas (figura 9.30), colgantes, cuya estructura de sustentación está constituida por unas boyas tubulares o flotadores cilíndricos verticales (1), que se mantienen en su posición mediante una estrella de líneas ortogonales que forman el sistema de fondeo. Mediante éste, cada flotador queda fijado en cuatro direcciones (2) cuyas proyecciones son perpendiculares entre sí (proyección ortogonal) mediante cabos que se mantienen en tensión por un sistema de bloques de fondeo.

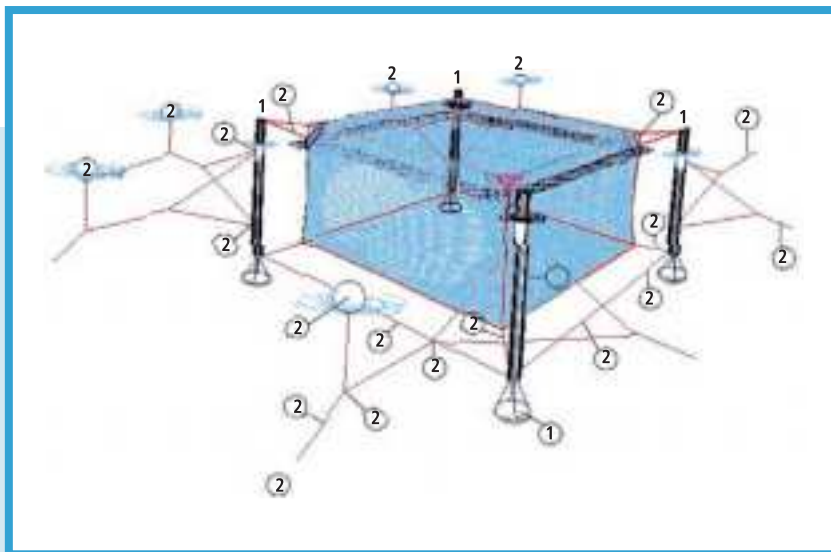


FIGURA 9.30. Detalles del vivero Ocean Spar.



La sujeción de cada línea de fondeo se hace con un bloque de hormigón o muerto (3) cuya forma, a modo de zapata, le obliga a actuar como un ancla que se clava en el fondo del mar ante los tirones de la línea de fondeo, manteniendo así la posición de los «spars» (1).

Del muerto (3), sale un cable (4) con una pendiente determinada, cuyo extremo o chicote superior se fija a un enganche (5) al que se unen dos cables más, uno en el que se instala una boya esférica (6), cuya función es mantener los cables tirantes, y otro que se fija a una pieza de distribución de esfuerzos (7) (Ocean secure connector) de la que salen dos bridas que se fijan al flotador («spar») en dos puntos, uno bajo la flotación (8) y otro en la base (9). La pieza de distribución es una placa de acero cuadrada con cuatro agujeros, de los que se usan tres.

Los flotadores o «spars» son cilindros de acero huecos. Pueden inundarse con agua de lastre para aumentar su peso y su estabilidad. EL vaciado de esta agua se realiza soplando aire comprimido.

De la base de cada flotador pende, mediante un cabo único, un lastre sólido en forma de disco de hormigón armado (10), que mejora la estabilidad del flotador bajando su centro de gravedad.

Los flotadores se unen dos a dos por dos tirantes horizontales (11).

De esta forma, con cuatro flotadores se consigue un recinto paralelepípedo en el que se sitúa la red, que se cuelga de la parte superior y se tensiona en la inferior de los «spars» mediante unos cabos con tensión (12). Entre los dos niveles de tirantes, en la parte superior y en el fondo de la red, se disponen unos cabos verticales a los que se sujetan los paños de la red para mantenerlos en vertical, de modo que se conserven la forma y el volumen interior de la jaula.

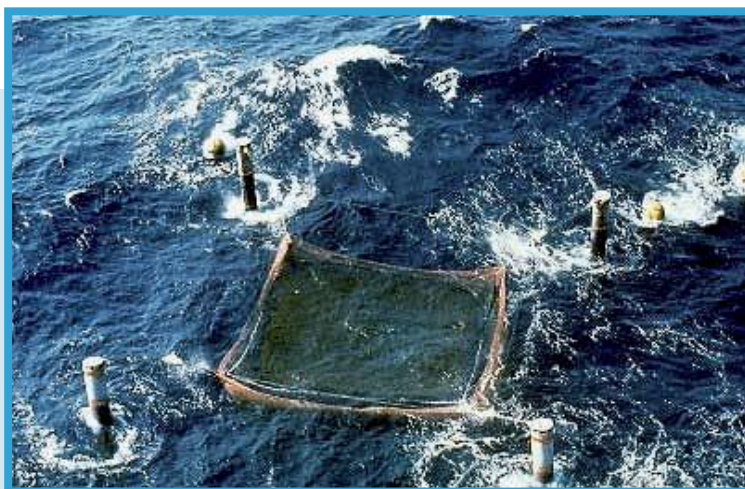
Con esta disposición se consigue una estructura flexible, que se adapta a la mar y cuya posición y su forma se mantienen por el equilibrio de las tensiones que se producen en los tirantes entre los flotadores y en las líneas de fondeo.

La figura 9.31 muestra una vista aérea de estos viveros.

A continuación se resumen y esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:

- **Ventajas:**

1. Mantiene el 90 % del volumen de la red en corrientes fuertes (hasta 3 nudos).



**FIGURA 9.31.** Vista aérea del vivero Ocean Spar.

2. Impacto visual pequeño.
3. Buena resistencia a los predadores por la tensión de sus redes.
4. Posible viabilidad económica en grandes emplazamientos.
5. Variedad de configuraciones.

• **Desventajas:**

1. Sistema de fondeo complejo.
2. Dificultades para el cambio de red.
3. Poca experiencia comercial.
4. No hay plataforma de trabajo.
5. Necesidad de barcos auxiliares de gran porte.

### 9.1.11. Ocean Spar Sea Station

Este vivero rígido puede ser semisumergible o sumergible. Este diseño lo componen dos estructuras en forma de paraguas unidas por su base a un anillo central, y soportadas por un flotador («spar») vertical central que proporciona la flotabilidad necesaria y distribuye los esfuerzos a la red y al anillo central gracias a la estructura radial (Figura 9.32 y vídeo 9.33).

El anillo central de acero mantiene la forma de la red y también coopera a la flotabilidad. Estas características le proporcionan una



**FIGURA 9.32.**  
Sea Station (Ocean Spar).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.33.**  
Vídeo Sea Station (Ocean Spar).

gran estabilidad y le permiten mantener el 90 % de la forma de la red con corrientes de 1 m / seg. En condiciones severas ambientales puede sumergirse para evitarlas (maniobra que dura 15 minutos) gracias al cambio de flotabilidad que le permite su «spar» central (vídeo 9.34).

Otra característica importante es un aro movable solidario al extremo de la red, situado en el parte inferior de la boya tubo, al elevar este aro, se reduce el volumen de la jaula facilitando la labor de manipulación de los peces (figura 9.35).

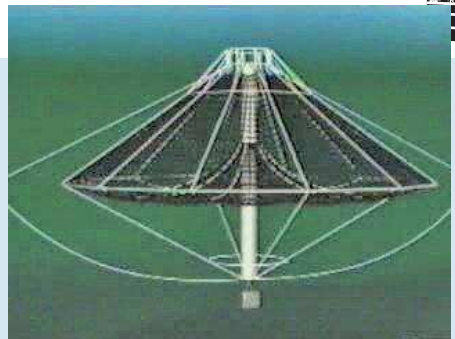
La alimentación se puede realizar de una forma automática tal como se aprecia en el vídeo 9.36.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.34.**  
Maniobra de inmersión (Sea Station).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.35.**  
Operatividad de la Sea Station.





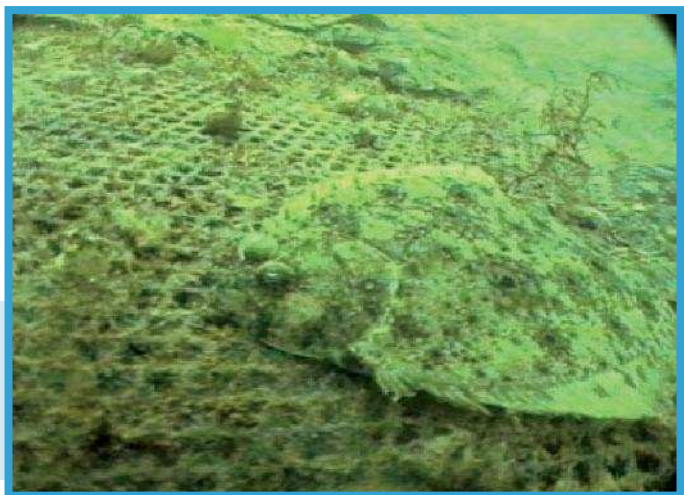
Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.36.**  
Alimentación en la Sea Station.

Pueden ser cultivadas una gran cantidad de especies de peces, desde doradas y lubinas, hasta peces planos, aunque para estos últimos el diseño varía, ya que es necesaria una superficie plana con mínima deformación (figura 9.37). También es posible utilizarla para el engorde de peces que necesiten una profundidad elevada como es el caso del besugo.

Los vídeos de las figuras 9.38, 9.39 y 9.40 muestran las experiencias en mar abierto en la bahía de Cádiz realizadas por la Junta de Andalucía.



**FIGURA 9.37.**  
Sea Station para  
peces planos.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.38.**  
Descripción Sea Station  
(Junta de Andalucía).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.39.**  
Montaje Sea Station  
(Junta de Andalucía).

A continuación se resumen y esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:

- **Ventajas:**

1. Estructura sencilla.
2. Distorsión mínima por el efecto de las corrientes.
3. Facilidades para el despesque.
4. Fácil remolque.
5. Fondeos sencillos.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.40.**  
Evolución Sea Station  
(Junta de Andalucía).



- **Desventajas:**

1. Inversión alta para los volúmenes disponibles.
2. No gran experiencia comercial.
3. Dificultades para la alimentación y el cambio de red.

El vídeo de la figura 9.41 muestra el procedimiento de limpieza de este vivero.

### 9.1.12. PolarCirkel

Esta empresa diseña y fabrica viveros flexibles flotantes y sumergibles y sistemas integrales de cultivo (vídeo 3.45). Su línea actual de diseños se dirige a viveros de grandes dimensiones (70 a 90 metros de circunferencia) por tres razones:

- Los costes de inversión por metro cúbico de cultivo son más bajos.
- Los volúmenes más grandes mejoran la calidad de los peces y bajan la tasa de mortalidad.
- La tasa de crecimiento se mejora.

La figura 9.42 visualiza el nuevo diseño que reduce el mantenimiento. El diseño de los soportes del vivero permite un mantenimiento y

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.41.**

Limpieza de la «Sea Station».



**FIGURA 9.42.**

Viveros circulares de polarCirkel.



recambio sencillo, sin necesidad de soldadura (9.43). La figura 9.44 muestra las plataformas de trabajo.

Los elementos del soporte se citan a continuación con su número de identificación de la figura 9.43:

1. Tubos de flotación.
2. Tubo de unión.
3. Cubierta del tubo de unión.
4. Pieza angular.
5. Conexión para la barandilla.
6. Tubo soporte de la barandilla.
7. Barandilla.
8. Tornillo de unión.
9. Pieza de amarre para la red superior.
10. Poliestireno expandido.
11. Rail supletorio.

Los viveros sumergibles de polarCirkel tienen la particularidad de ser flotantes y sumergibles gracias a los tubos de flotación que se pueden lastrar a voluntad. Este diseño les permite soportar condiciones atmosféricas adversas, grandes variaciones de temperatura y evitar el fouling y la



**FIGURA 9.43.**  
Soporte de los  
viveros  
(polarCirkel).



**FIGURA 9.44.**  
Plataforma de trabajo  
(polarCirkel).



polución ya que se pueden sumergir cuando es necesario. Los vídeos de las figuras 9.45 y 9.46 muestran el funcionamiento de estos viveros.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.45.**  
Esquema de la jaula sumergible de Polar Cirkel.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.46.**  
Jaula sumergible de polarCirkel.

### 9.1.13. Quintas & Quintas

La división de Acuicultura de Quintas & Quintas se ha asentado en España desde hace pocos años pero sus diseños robustos y bien calculados le han facilitado su introducción en el mercado.

Las jaulas grandes (hasta 120 metros de diámetro) han sido muy bien recibidas por los cultivadores de atún (figura 9.47). El diseño innovador de un nuevo soporte vertical ha sido clave en el buen comportamiento de sus viveros flotantes flexibles (figuras 9.48 y 9.49).

### 9.1.14. Refa

El vivero diseñado por Refa denominado «Tension Leg» es semi sumergible y flexible. Sencillamente se puede decir que es un vivero tradicional girado 180 grados. La estructura de soporte de la flotación es

**FIGURA 9.47.**  
Vivero de Quintas & Quintas.





**FIGURA 9.48.**

Detalle de los soportes de Quintas & Quintas.

**FIGURA 9.49.**

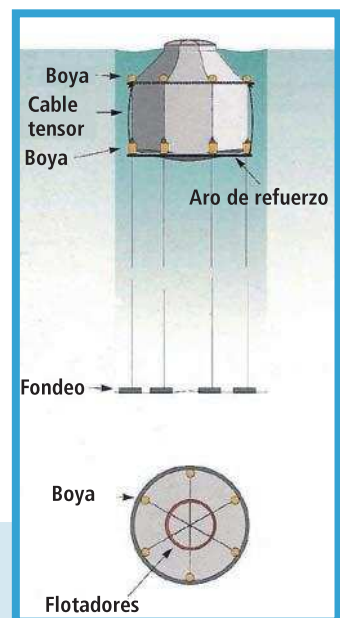
Soporte de Quintas & Quintas.

Para activar el video, pinche sobre la imagen.



un anillo de polietileno situado por debajo de la bolsa de red en vez de por encima como en los diseños clásicos. El fondeo se realiza mediante cabos verticales unidos a bloques de hormigón. La red mantiene su forma gracias a boyas sub superficiales. La sección cónica superior permite el acceso desde la superficie y puede ser desmontada para operaciones como el despesque o el cambio de redes, utilizando un aro de flotación auxiliar tal como se aprecia en el vídeo 9.51. La figura 9.50 visualiza este diseño.

Durante las tormentas o con corrientes fuertes el vivero responde automáticamente hundiéndose la red bajo el agua y evitando los efectos del temporal. De este modo, los componentes estructurales más vulnerables a las condiciones adversas del mar, se encuentran por debajo de la superficie, donde las tensiones son menores, evitando también una reducción del volumen de la red. Otra de las características importantes es su reducida área de fondeo comparada con los viveros tradicionales. El vídeo de la figura 9.51 muestra este vivero en operación.

**FIGURA 9.50.**  
Alzado y planta del vivero de Refa.



**FIGURA 9.51.** Vivero Refa.

Los vídeos de las figuras 9.52, 9.53 y 9.54 visualizan una descripción de este vivero, su montaje y su evolución.

A continuación se resumen y esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:

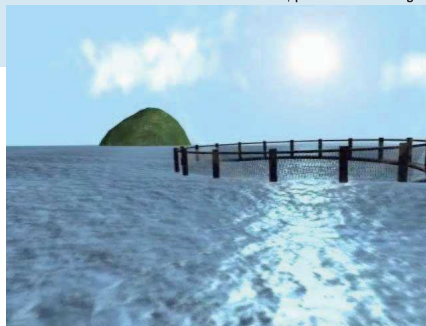
• **Ventajas:**

1. Diseño sencillo. Respuesta automática.
2. Área mínima ocupada por el sistema de fondeo.
3. Combina la operación convencional con la protección frente a las tormentas.
4. Máxima reducción de volumen en las tormentas o con corrientes fuertes: 25 %.
5. Inversión relativamente rentable.

• **Desventajas:**

1. La alimentación se debe realizar en inmersión requiriendo sistemas de alimentación independientes.
2. Instalación más difícil de los muertos de hormigón frente a las anclas.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.52.**  
Descripción vivero  
Refa (Junta de Andalucía).



**FIGURA 9.53.**  
Montaje vivero Refa  
(Junta de Andalucía).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 9.54.**  
Evolución vivero Refa  
(Junta de Andalucía).



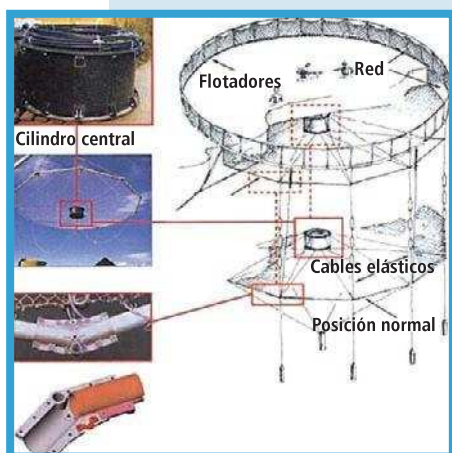
Otro diseño muy interesante de REFA es el vivero de aluminio para la aclimatación de bacalao y para el cultivo de peces planos. La figura 9.55 muestra un esquema de esta estructura.

La profundidad del fondo se puede regular neumáticamente inflando o desinflando el cilindro central de posicionamiento lo que permite llevarlo hasta la superficie donde los operarios pueden inspeccionar fácilmente los peces gracias a la red tensa superior. El fondo se mantiene siempre horizontal gracias a unos cabos elásticos que impiden el movimiento vertical.

La estructura de flotación de aluminio cubierta con una red tensada soporta el fondo de una red tradicional. La superficie del área de apoyo en el fondo es de 180 m<sup>2</sup> y la estructura está formada por doce tubos conectados con doce codos que se aprecian en la parte inferior de la figura 9.55. Alrededor de diez toneladas de peces planos se pueden cultivar en cada jaula.

La jaula y la red están siendo ensayadas para cubrir los siguientes objetivos:

- Almacenar bacalao salvajes, donde se requiere un fondo plano para la estabulación adecuada y su aclimatación antes de ser transferidos a las jaulas tradicionales.
- Estabulación de especies capturadas sin vejiga natatoria tales como la platija, el lenguado, el fletán o el pez lobo.



**FIGURA 9.55.**  
Jaula de aluminio  
para el cultivo  
de peces planos.



- Cultivo del fletán y del pez lobo.
- Almacenamiento intermedio de los peces antes de su estabulación definitiva.

Como **conclusión** se puede decir que esta jaula, operada con aire comprimido, elimina la mayor parte de los trabajos difíciles del día a día en la acuicultura marina con base en el mar, y también el fondo de red tensa asegura que las operaciones de inspección, clasificación y medicación puedan ser realizadas como si se estuviera en una instalación de tanques en tierra.

Dentro de los diseños clásicos fabrican viveros de PEAD, modelo Futur, con dimensiones hasta 160 metros de diámetro y 30 metros de profundidad de red (para atunes fundamentalmente). La figura 9.56 visualiza los detalles de la jaula y de sus soportes.



FIGURA 9.56. Detalles jaula Futur de REFA.

### 9.1.15. Sadco

Este diseño ruso ha evolucionado desde la década de los 80 hasta nuestros días. Sus primeros modelos de menos de 100 m<sup>3</sup> de capacidad resistieron tormentas con olas de hasta 12 m en el Caspio y en le Mar Negro. Son viveros rígidos sumergibles.

Los modelos actuales se basan en una superestructura hexagonal de acero, con posibilidad de lastrado y situada en la parte superior que soporta la red y que mantiene su forma gracias a otra estructura inferior poligonal. La figura 9.57 muestra un esquema de este vivero y la 9.58 una imagen de la estructura superior.



**FIGURA 9.57.**  
Esquema del vivero Sadco.



**FIGURA 9.58.**  
Vivero Sadco.

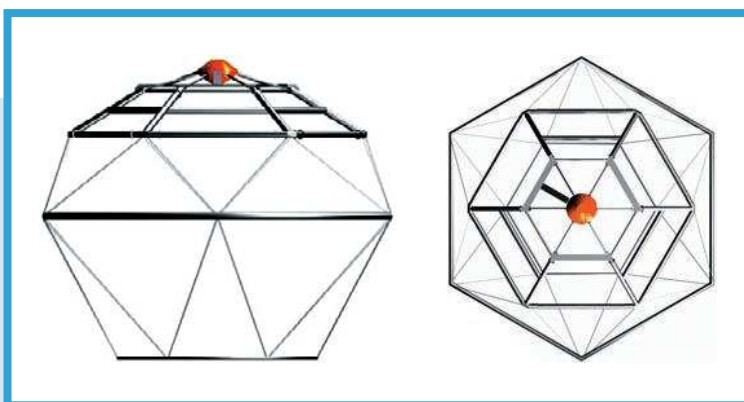
Este diseño novedoso, en forma de nuez, permite evitar temporales y de esta forma disminuir el posible stress ocasionado a los peces.

La altura de ola máxima de diseño es, en superficie de 2 m, y sumergida de 15 m, la velocidad del viento de 35 m/s y la de las corrientes de 1,5 m/s.

El vivero Sadco 4000, con una capacidad de producción de hasta 120 toneladas, también construido en acero, tiene una altura de 20 m y una anchura de 21 m, de formas prácticamente esféricas (figura 9.59).

La estructura incorpora un alimentador que puede actuar bajo el agua.

A continuación se resumen y esquematizan las ventajas y desventajas de este tipo de viveros:



**FIGURA 9.59.**  
Alzado y planta del vivero Sadco 4000.





- **Ventajas:**

1. Los diseños sumergibles evitan la contaminación superficial y el hiello.
2. Disminuye las interferencias con el tráfico marítimo.
3. Minimiza el impacto visual.
4. Evita el efecto de las tormentas.
5. Las exigencias de la resistencia estructural son menores que en los viveros en superficie.

- **Desventajas:**

1. Falta de visibilidad en operación normal.
2. Mantenimiento y servicio de los viveros sumergidos más difícil.
3. Más complejidad en la operación.
4. Costes mas altos.

### 9.1.16. Simar

Simar lo forman un grupo de empresas chilenas dedicadas al diseño y producción de artículos marinos, desde viveros, hasta cámaras submarinas o barcas auxiliares.

Las jaulas de acero, presentan un innovador sistema de articulación de las piezas que forman los pasillos de los viveros (figura 9.60), que absorbe los esfuerzos provocados por las olas permitiendo un movimiento tridimensional de la estructura y aumentando su flexibilidad. Sus dimensiones varían desde la de 10 x 10 m hasta 30 x 30 m (figura 9.61).



**FIGURA 9.60.**  
Articulación de los pasillos de los viveros de Simar.



**FIGURA 9.61.**  
Jaulas metálicas cuadradas de Simar.



Los viveros de polietileno constan de 2 o 3 anillos de flotación de 250 y 280 mm., y diámetros desde 15 a 40 metros, con los soportes que unen los anillos a la barandilla cada dos metros (figura 9.62).

#### 9.1.17. Prototipo granja semi-rígida (UPM)

Este prototipo fue diseñado por tres Ingenieros Navales, D. Arturo Muiña, D. Manuel Moreu y D. J. Antonio Aláez, específicamente para instalaciones en mar abierto (figura 9.63).

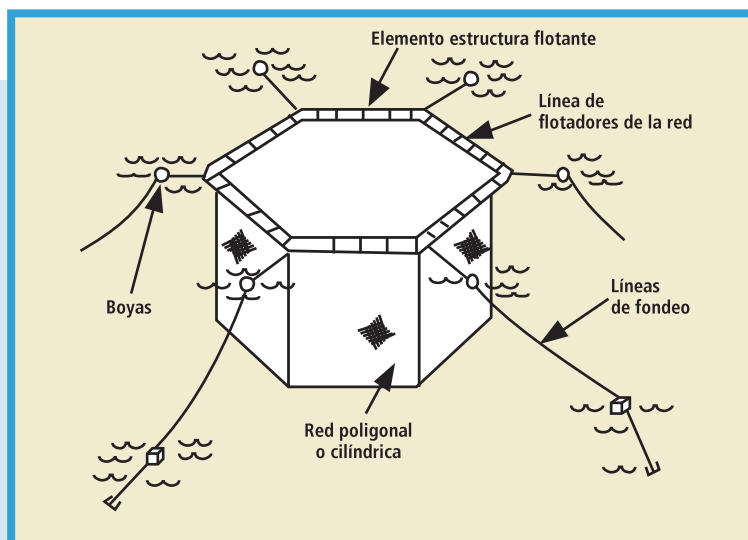
El **flotador** es de forma hexagonal de tubos de acero o neopreno reforzado de 508 y 325 mm. de diámetro respectivamente. La reserva de flotabilidad en el caso del acero es del 158% lo que supone que puede soportar la pérdida de flotación de 3 tubos sin el colapso de la instalación. Y en el caso del neopreno la reserva es del 315% con lo que puede soportar la pérdida de flotación en cuatro tubos sin el hundimiento total de la instalación. Si se considera necesario, se pueden rellenar parcial o totalmente los tubos con espuma de poliuretano expandido para conseguir una flotabilidad positiva, aún en el caso de pérdida de flotabilidad en todos los tubos. Respecto a la forma del flotador se puede decir que la circular se descartó por ser más costosa. Y en cuanto a la forma poligonal se intentó ir a formas lo mas circulares posibles debido, por una parte, a la tendencia de muchas especies a nadar en círculo y, por otra, a la reducción de las fuerzas ambientales sobre la instalación. Por esta razón se rechazó la forma cuadrada y entre la hexagonal y la octogonal se optó por la primera ya que no requiere tantas líneas de amarre.



FIGURA 9.62.

Vivero de polietileno de Simar.

El **sistema de fondeo**, suponiendo una profundidad de 10 m., consta de 6 líneas de 38 m., con el anclaje al fondo situado a 35 m. de la granja y en un punto situado a 20 m de la granja se engancha una boya con una flotabilidad entre 200 y 300 kilogramos, que mantiene la línea en tensión y la forma de la granja, en mar calma.



**FIGURA 9.63.** Granja semi rígida (UPM).

Para el material de las líneas de anclaje se han considerado tres posibilidades: el polipropileno, el cable de acero y la cadena. Pero también se podrían utilizar soluciones mixtas, habitualmente utilizadas en la industria «offshore», tales como cadena y cable de acero o cadena y estacha de polipropileno.

La **red** considerada en este diseño es cilíndrica, de fondo plano, 8 metros de profundidad, 40 mm. de malla y 3 mm. de diámetro de hilo, con contra pesos en el fondo para mantener la forma. La red sería de malla cuadrada y sin nudos ya que la ausencia de estos minimiza los problemas de desescamado y daño en los ojos de los peces, y la forma cuadrada de la malla mejora la tendencia a cerrarse con el arrastre que tienen las redes tradicionales de malla de rombo, dificultando la renovación del agua y reduciendo el volumen de la bolsa. El uso de redes de mayor tamaño es favorable, tanto desde el punto de vista económico (son más baratas) como de cargas ambientales (ofrecer menor resistencia al arrastre).

### 9.1.18. Ocean Globe

Este vivero es una instalación sumergible para mar abierto con un único punto de fondeo. El recito de red tiene una forma de elipsoide. Esta



instalación tiene cuatro posiciones de operación para facilitar el trabajo y el buen crecimiento de los peces. La regulación de estos movimientos se realiza desde una unidad de control. Cuando se eleva hasta su posición semi sumergida el vivero puede rotar y se pueden realizar los trabajos de inspección y mantenimiento. La figura 9.64 muestra una visión general. La figura 9.65 ilustra sobre su movimiento rotatorio.

El volumen total del vivero es de 40.000 m<sup>3</sup> que puede ser dividido en dos o tres cámaras. Con una densidad de 25 Kg. / m<sup>3</sup> este vivero puede producir 1.000 toneladas. Los materiales empleados son polipropileno en la estructura globular y acero en la plataforma de trabajo.

El sistema de fondeo permite a la instalación bornear con la corriente. La línea de fondeo es independiente de la estación de control que suministra alimento, aire comprimido y energía. El muelle de atraque reduce las posibilidades de daños con los barcos auxiliares y la plataforma de control fondeada a 25 metros no interfiere en las operaciones.

A continuación se describen las cuatro posiciones de operación visualizándolas con las oportunas imágenes:

- **Posición 1:** la estructura está semi sumergida para realizar los trabajos de inspección, mantenimiento y despesque desde la plataforma de trabajo, situada a tres metros sobre la superficie del agua, gracias a su movimiento rotatorio. No se necesitan buceadores (figura 9.66).
- **Posición 2:** posición de cultivo para especies anádromas. Aproximadamente el 10 % de la instalación está por encima del agua lo



FIGURA 9.64. Vivero OceanGlobe.

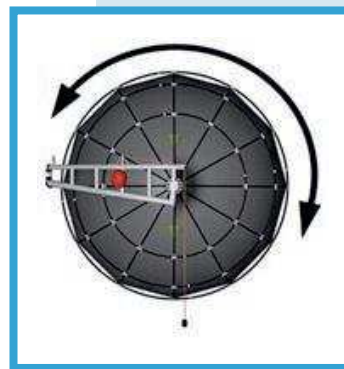


FIGURA 9.65. Movimiento del vivero OceanGlobe.

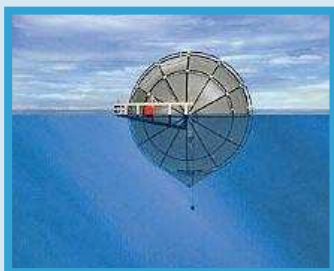


que permite a los peces obtener aire en la parte superior del vivero (figura 9.67).

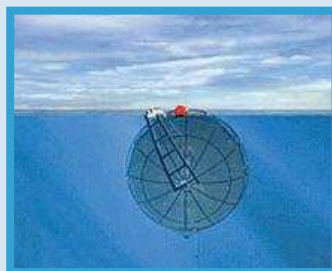
- **Posición 3:** la estructura está sumergida y es la posición normal de cultivo para la mayor parte de las especies. La plataforma de trabajo actúa en esta posición como reserva de flotabilidad (figura 9.68).
- **Posición 4:** la estructura está sumergida en su posición máxima y es la posición para situaciones extremas tales como invasiones de algas, temperaturas no adecuadas, tormentas...Esta también puede ser la posición normal para peces que se crían en profundidad como el besugo (figura 9.69).

### 9.1.19. «Trident Sea Cage»

El diseño de este vivero sumergible es en forma de esfera o estructura elipsoidal. Esta fabricada con tubos de aluminio rellenos con espu-



**FIGURA 9.66.**  
Posición 1 OceanGlobe.



**FIGURA 9.67.**  
Posición 2 OceanGlobe.



**FIGURA 9.68.**  
Posición 3 OceanGlobe.



**FIGURA 9.69.**  
Posición 4 OceanGlobe.

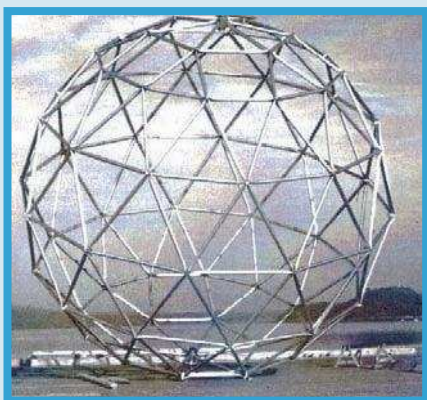




ma interiormente para proporcionarles flotabilidad positiva. El diseño estándar tiene 12 metros de diámetro y una capacidad de 1.000 m<sup>3</sup>. La figura 9.70 muestra la esfera al final de su instalación en tierra y la figura 9.71 visualiza la instalación en el mar con una inmersión de un 70 %.

Los criterios de diseño de este vivero sumergible se esquematizan a continuación:

- Coste inicial competitivo.
- Diseño modular: fácil reparación y sustitución de componentes.
- Mantenimiento bajo debido a la alta fiabilidad de los componentes.
- Arrastre bajo por su «transparencia» a las corrientes y olas.
- Sumergible para evitar las tormentas y el hielo.
- Auto limpieza del «biofouling».
- Las principales operaciones (inspección de la red, eliminación peces muertos, clasificación, despesque...) se realizan rotando la estructura.
- Compatible con los sistemas automatizados de alimentación.
- Materiales aptos para el ambiente marino.
- Costes de operación competitivos (coste/m<sup>3</sup>/año) considerando una vida en operación de 10 años.



**FIGURA 9.70.**  
Esfera vivero «Trident».



**FIGURA 9.71.**  
Vivero «Trident»  
al 70 % de inmersión.



Los análisis estructurales demostraron que este diseño se puede es- calar hasta un elipsoide de 22,5 por 30 metros con una capacidad de 10.000 m<sup>3</sup>, utilizando los mismos elementos estructurales. La ventaja del elipsoide sobre la esfera es que al mismo nivel de inmersión (66 %) mantiene bajo el agua mucho mayor volumen (81 %).

Tiene las grandes ventajas de las estructuras rígidas: no hay movi- mientos estructurales que impliquen interferencias de la red y el collar, aún en condiciones de tormentas y de «mar gruesa».

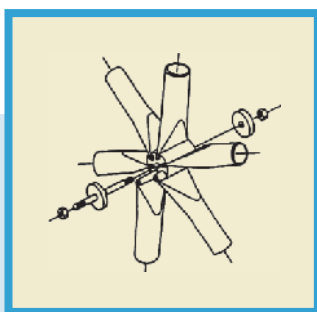
La red está formada por paneles geodésicos que son fáciles de ten- sar a la estructura en las esquinas de cada elemento. La conexión es- tructural de los elementos se muestra en la figura 9.72.

### 9.1.20. Proyecto «IntelliSTRUCT» de SINTEF

Este proyecto está siendo desarrollado por el departamento de in- vestigación de acuicultura y pesquerías de SINTEF. Por su amplio alcan- ce y sobre todo por su visión de futuro creo que es muy interesante conocerlo y seguir sus pasos.

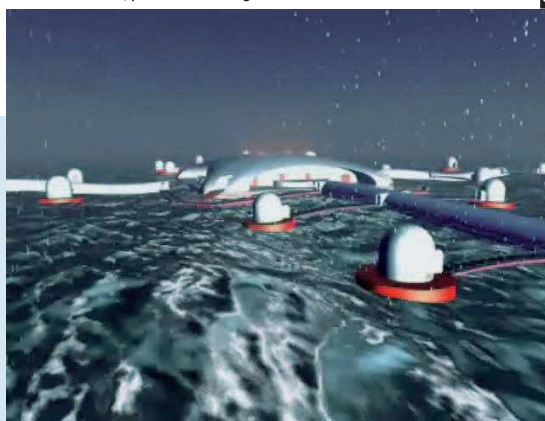
El vídeo de la figura 9.73 ilustra magníficamente la idea del proyec- to, del cual a continuación se esquematizan sus principales ideas:

El objetivo del proyecto es desarrollar estructuras oceánicas inteli- gentes para aplicaciones de acuicultura y pesca. Se pone un gran éñ-



**FIGURA 9.72.**  
Conexión estructural  
vivero «Trident».

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



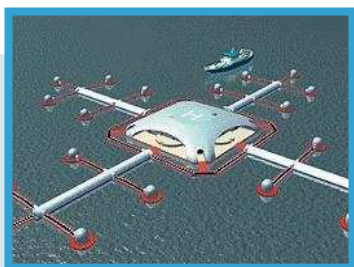
**FIGURA 9.73.** «IntelliSTRUCT» (SINTEF).



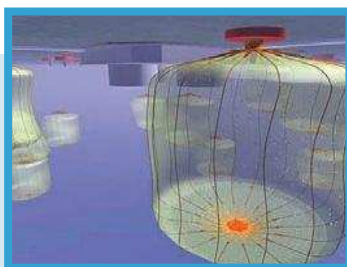
fasis en estructuras altamente flexibles con control automático, siendo el elemento estructural principal la red flexible.

El alcance entrelaza las disciplinas de hidrodinámica, mecánica estructural, cibernética y biología y ecología marina para diseñar estructuras que soporten los esfuerzos creados por las inclemencias del mar y la vez optimicen el bienestar de los peces.

Las figuras 9.74 y 9.75 entresacadas del vídeo anterior proporcionan una idea general del proyecto.



**FIGURA 9.74.**  
Estructura en superficie  
(«IntelliSTRUCT»).



**FIGURA 9.75.**  
Viveros sumergidos  
(«IntelliSTRUCT»).

## 9.2. PECES PLANOS

A continuación se describen varios diseños utilizados para el cultivo de peces planos y también se adjunta, en cada apartado, una descripción de la experiencia realizada, dado el poco número de intentos realizados hasta la fecha.

### 9.2.1. Aqualine: viveros para el cultivo del fletán

Este sistema, ideado por AQUALINE, utiliza el diseño de una jaula tradicional para limitar el espacio y en su interior cuelga una serie de bandejas que alojan a los fletanes o peces planos.

En principio parece mas adecuado para las actividades de pre engorde que para el engorde hasta el tamaño comercial, aunque todo depende del tamaño de las jaulas exteriores y el de las bandejas interiores.

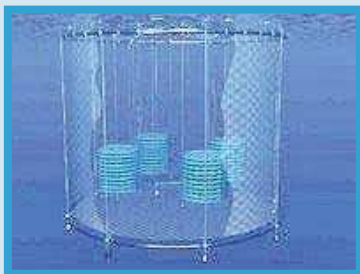


El diámetro de la jaula exterior varía entre 60 y 90 metros y la profundidad máxima prevista es de 15 metros.

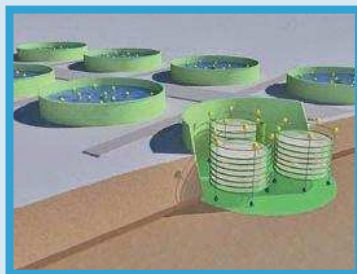
La figura 9.76 visualiza este diseño. La figura 9.77 muestra un esquema de una flotilla de estas jaulas. En las figuras 9.78 y 9.79 se aprecian detalles de cada giga bandeja.

### 9.2.2. Rodaballo y especies similares en Chile

Actualmente existen dos empresas dedicadas al cultivo del rodaballo con fines comerciales. Las exportaciones se iniciaron en 1996 y en estos momentos se ha colocado ya en el tercer lugar del mundo detrás de España (Galicia) y Francia. No se tiene información de su cultivo en jaulas.



**FIGURA 9.76.**  
Jaula de peces planos  
de AQUALINE.



**FIGURA 9.77.**  
Flotilla de jaulas (Aqualine).



**FIGURA 9.78.**  
Detalle de las giga  
bandejas (Aqualine).



**FIGURA 9.79.**  
Detalle de las giga  
bandejas (Aqualine).



Otras especies que se cultivan, tanto en fase industrial y/o experimental, son el lenguado japonés o platija (*Paralichthys olivaceus*), el lenguado chileno (*Paralichthys adpersus*) y el halibut o fletán. Tampoco en estas especies se tiene información de su cultivo en jaulas.

En estos momentos el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), en uno de sus proyectos IBEROEKA, está financiando el trabajo titulado «Investigación y Desarrollo de un Sistema Integral de Engorde de Rodaballo en Jaulas de Fondo». El objetivo de esta colaboración hispano-chilena es la investigación y desarrollo de un sistema completo y global acuícola para el engorde de rodaballo (con la posibilidad de adaptarse posteriormente a otra especies de peces planos) en mar abierto mediante jaulas de fondo.

Este proyecto contempla el desarrollo de un amplio estudio biológico inicial del rodaballo y el rendimiento del cultivo mediante jaulas de fondo, ejecutándose a continuación el diseño y desarrollo del nuevo sistema que debe incluir tanto las propias jaulas de fondo como los nuevos sistemas de alimentación y de visión submarina para su gestión.

El nuevo sistema pretende dotar de una solución global a la problemática del cultivo de rodaballo en mar abierto, siendo fácilmente replicable a otras especies de peces planos (lenguado...).

### 9.2.3. Vivero sumergible PDW. FMIRI (Shanghai)

Este vivero es el único que ha sido diseñado en China y tiene la patente correspondiente, el resto de los utilizados se fabrican con patente extranjera. Este vivero sumergible se ha diseñado especialmente para el cultivo de peces planos.

Los peces planos que se pueden cultivar en China son la platija, el lenguado, el rodaballo, el fletán y otros de gran valor comercial tanto en el mercado doméstico como en el internacional.

Normalmente este tipo de peces se cultivan en instalaciones en tierra, tanto en tanques de cemento y/o en contenedores de fibra de vidrio. En estos casos el agua de mar debe ser bombeada desde el mar abierto, y por esta razón el coste productivo es mucho mas alto que en el caso del cultivo en jaulas.

En condiciones normales este vivero está sumergido y apoyado en el lecho del fondo. Durante las operaciones de mantenimiento, cambio





de red y despesque, puede ser reflotado hasta la superficie donde es más fácil realizar las operaciones citadas. Con la intención de proporcionar un ambiente estable a los peces que se cultivan, la red de fondo del vivero se tensa de tal forma que constituye una superficie de apoyo cómoda para los peces planos. Además el vivero tiene varios pisos, cada uno de ellos con su red tensa de apoyo, lo que incrementa el aprovechamiento del espacio ocupado, proporcionando las adecuadas condiciones bénticas a los peces planos.

Las prácticas realizadas en el «Yantai Fisheries Research Institute», en la provincia de Shandong, atestiguan que los viveros constituyen un buen sistema para el cultivo de peces planos (platija y rodaballo). Alevines de platija (*Paralichthys olivaceus* y *P. lethostigma*) de 50 a 100 g de peso vivo se introdujeron en los viveros y después de 6 a 8 meses su peso alcanzó entre 800 y 1.000 g con una densidad de 20 peces por metro cuadrado.

Durante la fase de experimentación del prototipo, el vivero resistió los efectos de un tifón con vientos de 90-100 Km./hora, olas de cinco metros de altura y corrientes de 1 metro por segundo. La posibilidad de inmersión que tiene el vivero es una garantía para resistir condiciones adversas.

La figura 9.80 muestra el aspecto del vivero sumergible PDW.

Los parámetros técnicos de la jaula sumergible PDW se detallan en el cuadro 9.81.



**FIGURA 9.80.** Jaula sumergible PDW.

**CUADRO 9.81.**

Parámetros técnicos de la jaula sumergible PDW.

Modelo	Superficie efectiva (m²)	Diámetro (m)	Comportamiento contra la ola. Altura/ velocidad del viento (m); (km/h)	Comportamiento contra la corriente (m/s)
PDW 200	200, 260	12	5/100	1.2
PDW 280	280, 380	14.5	5-7/100	1.2
PDW 350	350, 460, 550	16.5	5-7/100	1.5

El cuadro 9.82 visualiza un resumen de las principales características de diversos tipos de viveros fabricados en China. En la columna identificada en este caso como PDF están las de la jaula sumergible PDW que se ha descrito.

**CUADRO 9.82.**

Principales características. Jaulas fabricadas en CHINA.

Items	FRC	HDPE	MFC	DFC	PDF	SLW
Anti viento (grado)	12	12	12	12	12	12
Anti olas (m)	7	5	5	7	6	7
Anti corriente (m/s)	≤0.5/0.5	≤1/0.5	≤1/0.8	≤1.5/1.7	≤1.0/1.2	≤1.5/1.7
Tasa de cubicage, contenido cúbico (%)	<50%	<70%	<70%	90%	80%	90%
Material de la estructura	PP, PE	HDPE	steel	steel	steel	steel
Emplazamiento	Semi abierto	Semi abierto	Aguas protegidas	Mar abierto	Semi abierto	Mar abierto
Instalación	Fácil	Fácil	Fácil	Laboriosa	Fácil	Laboriosa
Mantenimiento	Laboriosa	Fácil	Fácil	Laboriosa	Fácil	Laboriosa
Despesque	Fácil	Fácil	Fácil	Laboriosa	Fácil	Laboriosa
Peces	Pelágicos	Pelágicos	Pelágicos	Pelágicos	Peces planos	Pelágicos
Coste	Bajo	Medio	Medio	Alto	Medio	Alto

FC: Jaula de cabos flotante; HDPE: HDPE Jaula circular de PEAD (Polietileno alta densidad); MFC: Jaula de estructura metálica; DFC: Jaula en forma de plato; PDF: PDF Jaula sumergible.



### 9.2.4. Experiencias en Galicia: viveros de experimentación

#### 9.2.4.1. Experiencias final década de los 80

Este apartado está basado en el trabajo realizado por D. Francisco Javier Sánchez Conde bajo el título «Estudio comparativo del crecimiento del rodaballo en tanques y en jaulas flotantes» en el IEO de Vigo. A continuación se adjunta su publicación.

##### 1. Resumen

*Entre noviembre de 1988 y septiembre de 1989 se desarrolló una experiencia de engorde comparativo de rodaballo en tanques y en jaulas flotantes ubicadas en la Ría de Vigo. Los resultados obtenidos en términos de supervivencia (89.9 % y 88.1 %), incremento en peso total (213 % y 182 %) e índices de conversión del alimento (1.6 a 4.2 y 2.0 a 4.4) han sido muy similares en ambos sistemas.*

*En las jaulas se han probado dos tipos de fondos: uno constituido por una simple red sin nudos y otro formado por una plancha de fibra de vidrio y poliéster.*

*El grupo cultivado en las jaulas ha necesitado un breve período de adaptación al nuevo hábitat.*

*El «fouling» aparece como la principal desventaja en el cultivo en artefactos flotantes.*

##### 2. Introducción

*En estos últimos años el rodaballo se ha convertido en la especie de objetivo prioritario en la industria de la piscicultura marina en Galicia. Toda la producción actual se consigue en industrias enclavadas en tierra, en donde el proceso de engorde se realiza en tanques especialmente diseñados para este fin, normalmente con flujos de agua circulante, sistemas de aireación y de bombeo que requieren gran cantidad de energía y de tiempo de mantenimiento. Esto supone un gasto proporcionalmente elevado, dependiente de las dimensiones de las instalaciones.*



*El cultivo de peces en jaulas flotantes reúne una serie de ventajas sobre el sistema tradicional, entre las que se pueden destacar: aporte de agua continuo y gratuito, costes de producción más baratos y posibilidad de cultivo a mayores densidades por metro cúbico. Hull y Edwards consiguen densidades de cultivo de rodaballo en jaulas de hasta 41Kg/m<sup>2</sup> sin merma en la tasa de supervivencia ni en el crecimiento.*

*Las múltiples experiencias de cultivo en jaulas flotantes a escala industrial de otras especies tales como el salmón nos llevó a plantearnos la realización de un estudio de crecimiento aplicable al caso del rodaballo. Por otra parte, la especial orografía costera de Galicia así como las idóneas condiciones oceanográficas de sus aguas para el cultivo de esta especie indicaban que, al menos teóricamente, el engorde de rodaballo en jaulas resultaría de gran interés para Galicia.*

### **3. Material y métodos**

*Se partió de 324 ejemplares de rodaballo con un peso medio de 352.2 g que se dividieron en tres lotes homogéneos: el primero (stock T) lo componían 108 ejemplares de peso medio 342.7 g y fueron mantenidos en un tanque de poliestireno perteneciente al módulo de experiencias biológicas del IEO de Cabo Estay en Vigo. Los otros 216 rodaballos (stock B) fueron transportados a la batea experimental sita en la ensenada de Baiona, en la Ría de Vigo, y se repartieron en dos lotes: M1 lo componían 108 individuos con un peso medio de 360.4 g y M2 también 108 rodaballos que tenían un peso medio de 353.5 g. M1 se estableció en una jaula flotante provista de un fondo formado por malla de red tensa, mientras que M2 fue establecido en una jaula flotante idéntica a la anterior pero provista de un fondo rígido. La experiencia comenzó el 11 de noviembre de 1988.*

*El grupo T se estableció en un tanque de poliéster reforzado con fibra de vidrio de 3.000 litros de capacidad, provisto de flujo de agua continuo, desagüe central y dos sifones que producían una corriente centrípeta con un doble objetivo: la mezcla del agua y la auto limpieza del tanque. El circuito era abierto y el flujo constante de, aproximadamente, 10 litros por Kilo de biomasa y hora.*

*La plataforma flotante consistía en una estructura cuadrada de madera de 6.6 por 6.6 metros de lado con pasillos de servicio centrales*



y periféricos de 0.8 m de ancho. Toda la estructura estaba soportada por siete flotadores troncocónicos de poliéster reforzado con fibra de vidrio, rellenos con espuma de poliuretano. Tenía dos puntos de amarre opuestos diagonalmente de los que partían sendas cadenas que terminaban en bloques de anclaje de cemento armado de 200 Kg. Esta estructura conformaba en su interior cuatro espacios donde iban situadas las jaulas flotantes. Estas estaban formadas por unas vigas de hierro galvanizado en «L» de 50 por 50 mm. y 6 mm. de espesor, soldadas entre sí para formar un hexaedro de dos metros de lado. En los cuatro planos laterales se dispuso una red de nylon, de hilo de 3 mm. de diámetro y de 30 mm. de luz de malla.

Se experimentaron dos tipos de fondo: el primero constituido por una red de nylon sin nudos firmemente tensa para evitar embolsamientos. El otro tipo consistió en un fondo rígido formado por una plancha de fibra de vidrio de 6 mm. de espesor y 4 m<sup>2</sup> de superficie. La plancha iba sujeta al bastidor de galvanizado mediante tornillo, tuercas, arandelas de presión y pasadores de acero inoxidable.

En el plano superior de la jaula (la «tapa») se dispuso en principio una red anti depredadores aéreos y mediada la experiencia se cambió por un bastidor rígido.

Las jaulas iban sujetas a la estructura principal de la batea por las cuatro esquinas mediante grilletes y cadenas, lo que les confería cierta amortiguación en su movimiento respecto al de la propia batea.

Las jaulas estaban sumergidas 1.25 metros por lo que encerraban un volumen de agua de 5 m<sup>3</sup>. La superficie útil de cultivo, es decir, donde los peces podían apoyarse, era de 4 m<sup>2</sup>.

El lugar donde se ubicó la batea fue en la ensenada de Baiona, dentro del dique de abrigo del puerto deportivo, en la bocana sur de la Ría de Vigo.

A todos los peces (jaula y tanque) se les aplicó la misma estrategia de alimentación: se les suministró alimento una vez al día, cinco días a la semana. El alimento consistió en una pasta húmeda compuesta por harina de pescado, pescado blanco y premix vitamínico y mineral en una proporción de 50:43:7.

Los peces fueron muestreados cada dos meses desde el comienzo de la experiencia. Al principio el peso se registró con dinamómetros y





más adelante se usó una báscula electrónica portátil. La longitud total se midió con un ictiómetro, al cm. inferior.

Diariamente se anotó la cantidad de alimento suministrada. Después de cada muestreo se sometió a los peces del grupo T a un baño profiláctico con formol y verde malaquita. No se hizo esto en el grupo B al no disponer de la infraestructura adecuada.

Se calcularon los siguientes parámetros:

- La tasa de crecimiento diaria:

$$T.C.D. = (\ln W_f - \ln W_i) \times 100/t$$

Donde:  $W_f$  es el peso final

$W_i$  es el peso inicial

$T$  es el tiempo en días

- \* El índice de conversión del alimento:  $I. C. = I/P$

Donde:  $I$  es el peso del alimento suministrado

$P$  es el peso ganado

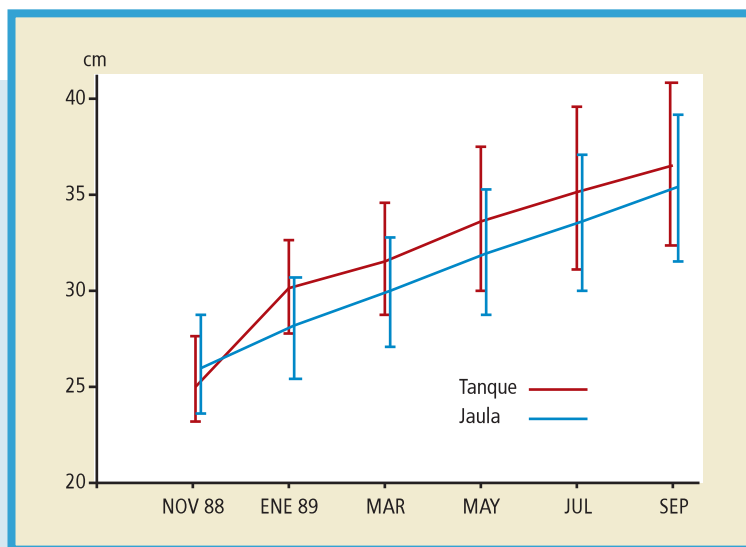
Las redes y los fondos de las jaulas fueron limpiados con cepillos y agua a presión cada dos o tres meses dependiendo del grado de «fouling» observado.

#### 4. Resultados

La finalidad principal del presente trabajo fue el de estudiar la viabilidad del cultivo de esta especie en jaulas flotantes, examinando su comportamiento y analizando las tasas de crecimiento en relación con el sistema tradicional.

En cuanto a su **comportamiento**, aquellos rodaballos estabulados en la jaula con fondo de red se mostraron inapetentes desde el principio, por lo que a las dos semanas de permanencia en la jaula se realizó un muestreo en el que se comprobó que más del 50 % presentaban rozaduras en su parte ventral, decidiéndose su traslado a otra jaula con fondo de fibra, en donde se verificó su total recuperación a los pocos días.

El **crecimiento en longitud** en los dos grupos (jaulas B y tanque T) es similar aunque algo superior en el grupo T, como se puede observar en la figura 1: tallas medias y desviaciones típicas registradas en los grupos T (Tanque) y B (Jaulas).



**FIGURA 1.** Tallas medias y desviaciones típicas.

En cuanto a **pesos medios**, el grupo B que parte de un peso inicial de 356.97 g alcanza un peso final de 1005.40 g mientras que en el grupo T las cifras son 342.71 g y 1074.64 g respectivamente (ver tabla I). El incremento total en peso es del 181.6 % en las jaulas y 213.6 % en los tanques.

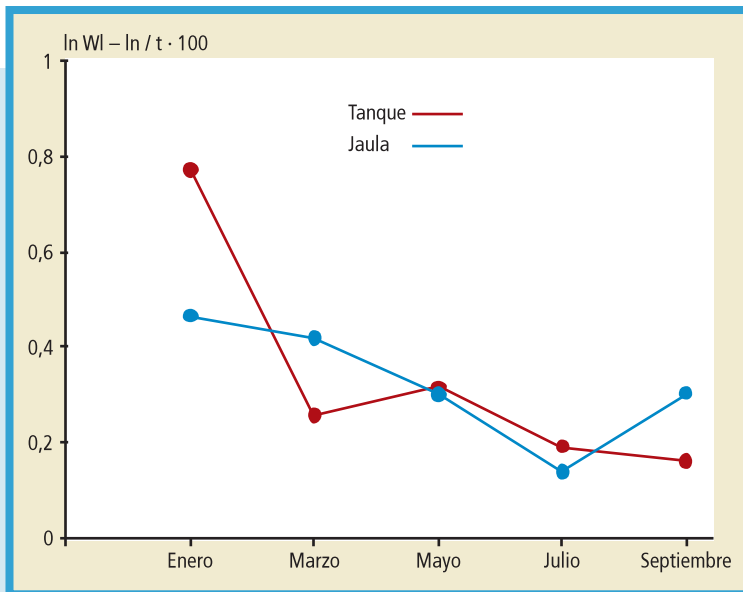
Los **índices de conversión** son también similares, oscilando entre 2.0 y 4.4 en el grupo B y entre 1.6 y 4.2 en el grupo T. Estos valores se consideran aceptables teniendo en cuenta que se refieren a un pienso semi húmedo (40 % de humedad), encontrándose dentro del rango de los valores citados en otros trabajos de engorde de esta especie (Sánchez y col. 1990, Iglesias y col. 1987).

Los **índices de crecimiento diario** (figura 2) son básicamente coincidentes en ambos grupos, con un valor máximo al principio de la experiencia mas acusado en los peces cultivados en tanque (0.7755) que en los de batea (0.4702), probablemente debido a que estos últimos necesitaron un período de adaptación al nuevo hábitat. Las tasas de crecimiento van descendiendo con la edad como era esperado, aunque en el stock B se observa en el período julio septiembre una tasa ascendente.



**TABLA I.**  
Evolución de pesos y otras variables.

FECHA	GRUPO	NÚMERO	PESO MEDIO	I.C.D.	I.C.
Nov. 88	B	216	356,9	—	—
Ene. 89	B	213	461,5	0,4702	2,0
Mar. 89	B	203	608,9	0,4202	2,3
May. 89	B	201	736,4	0,3065	3,2
Jul. 89	B	95	809,5	0,1372	4,4
Sep. 89	B	87	100,5	0,3053	2,7
Nov. 88	T	108	342,7	—	—
Ene. 89	T	108	608,4	0,7755	1,6
Mar. 89	T	108	693,1	0,2558	3,2
May. 89	T	108	843,7	0,3170	2,8
Jul. 89	T	106	959,9	0,1871	4,2
Sep. 89	T	97	1.074,6	0,1590	3,5



**FIGURA 2.** Índices de crecimiento diario.

Las **densidades de estabulación**, referidas a kilos por metro cúbico, oscilaron entre 7.7 y 17.5 en las jaulas y entre 12.3 y 30.4 en los tanques.

Las mortalidades registradas han sido de 10.1 en el grupo T y de 11.9 en el grupo B, si bien en este último caso hay que reseñar el hecho de un robo de 106 ejemplares acaecido el 28 de junio (véase tabla I) que pudo haber tenido un efecto de sesgo en los datos del muestreo posterior, en donde se registra la menor tasa de crecimiento de todo el año (0.1372) y un peso medio por debajo de lo esperado (es lógico que se trataran de sustraer los individuos mas grandes).

Las temperaturas registradas a lo largo de toda la experiencia, referidas a medias mensuales, oscilaron entre 13.5 °C en abril y 18.2 °C en julio.

## 5. Discusión

El inconveniente mas importante que se ha encontrado fue el efecto del «fouling», es decir, la tendencia de organismos marinos tales como algas, moluscos y otros a adherirse a un sustrato, en este caso a las redes y fondos de las jaulas y flotadores. Al tupirse las redes la renovación del agua dentro de las jaulas es menor, provocando una disminución de los niveles de oxígeno disuelto que limita la carga de cultivo y también le confiere más peso a toda la estructura. Otro inconveniente importante, de origen social, es el riesgo de robo a que pueden verse sometidos este tipo de cultivos, evitable únicamente con estrictos controles de vigilancia.

En las Rías Gallegas, caracterizadas por una gran riqueza en microalgas y organismos sésiles diversos, el problema del «fouling» se puede considerar de primera magnitud a la hora de pensar en establecer cultivos de peces en jaulas flotantes. La limpieza y/o recambio de las redes implica uno de los capítulos más importantes en costes y tiempo de ocupación. Existen soluciones técnicas tales como sustancias «antifouling» (pinturas, ceras) o el uso de mallas de aleación cobre níquel que frenan en diversa medida el efecto de adherencia. Como norma general se recomienda efectuar el recambio de redes inmediatamente después de la época del año en donde el efecto del «fouling» sea más severo.

En el presente trabajo se ha iniciado el estudio de crecimiento con individuos de algo más de 300 g de peso medio inicial al no disponer



*de un stock de individuos de menor peso. El engorde de esta especie en jaulas flotantes se puede realizar partiendo de rodaballos más jóvenes: se utilizan rodaballos de 50-60 g consiguiendo igualmente buenas tasas de crecimiento.*

*La mayor parte de las experiencias de cultivo de peces en jaulas flotantes se refiere a especies fusiformes, nadadores activos tales como el salmón, la dorada o la lubina. Los peces planos tienden a vivir la mayor parte del tiempo sobre un sustrato de arena o fango. Los trabajos consultados sobre su cultivo en jaulas coinciden en señalar la adopción de fondos rígidos o mixtos y apuntan soluciones de diseño diversas.*

*La existencia de una superficie plana sumergida implica su sometimiento a fuerzas hidrodinámicas de diverso origen (corrientes y mareas) que pueden conferirle un movimiento persistente con el consiguiente efecto de stress en los peces. Por eso es importante escoger un emplazamiento para los parques donde existan corrientes que permitan la renovación de agua dentro de las jaulas pero que no provoquen un movimiento excesivo de los fondos.*

*El presente trabajo ha corroborado la necesidad del uso de fondos rígidos en las jaulas de cultivo de rodaballos.*

## **6. Conclusiones**

*De los resultados obtenidos en el presente estudio se deduce que el rodaballo es una especie que se adapta perfectamente al cultivo en jaulas flotantes, siendo sus tasas de crecimiento comparables a las del sistema tradicional en tanques de engorde.*

*El análisis de otro tipo de factores de orden tecnológico, estratégico, económico y social inherentes a este tipo de cultivos y a la resolución de los problemas que deriven de ellos pueden llevar a considerar el establecimiento en un futuro no muy lejano de cultivos a gran escala de esta especie en artefactos flotantes.*

### **9.2.4.2. Experiencias final década de los 90**

*Este proyecto fue realizado entre 1996 y 1998 por Aurelio Ortega y sus colaboradores en dos emplazamientos diferentes de las Rías de*



Arousa y Pontevedra bajo el título «Experiencias de engorde de rodaballo (*Psetta maxima*, L.) en jaulas». A continuación se adjunta su publicación.

### 1. Resumen

*El presente trabajo muestra los resultados obtenidos con un lote de rodaballos engordados en jaulas flotantes y tanques en tierra. La experiencia se llevó a cabo en dos emplazamientos diferentes y se ensayaron jaulas de fondo rígido y de fondo flexible.*

*La experiencia duró 9 meses, al cabo de los cuales los peces engordados en las jaulas de fondo rígido habían pasado de 111 g a 705 y 709 g. Mientras tanto los peces mantenidos en tanques alcanzaron un peso de 634 g y los engordados en jaulas de fondo flexible alcanzaron 540 y 304 g. En las jaulas de fondo rígido y en los tanques en tierra la mortalidad fue muy escasa, mientras que en las jaulas de fondo flexible fue mas elevada. Estos resultados muestran que el engorde de rodaballos en jaulas de fondo rígido puede ser una alternativa al sistema tradicional de engorde en tierra. Por contra, las jaulas de fondo flexible no parecen indicadas para dicho cultivo.*

### 2. Introducción

*El rodaballo es una especie que se cultiva en Europa desde principios de los setenta, comenzando su cultivo en España hacia mediados de los ochenta. En el norte de España y, fundamentalmente en Galicia, encuentra una temperatura adecuada para su engorde y en la actualidad constituye una actividad empresarial consolidada. A diferencia con la mayoría de los peces marinos cultivados, su engorde se realiza en tanques en tierra y de un modo intensivo, lo que supone que los costes de producción sean elevados.*

### 3. Material y métodos

*Para la realización de este trabajo se han utilizado cuatro jaulas ubicadas en dos emplazamientos diferentes: el A, situado en Abanqueiro en la parte interior de la Ría de Arousa, y el B, situado en Bueu en la parte media exterior de la Ría de Pontevedra. Los dos emplazamientos presentan características diferentes: A es un lugar de aguas relativamente tranquilas,*



con poco oleaje y escasa incidencia del mar de fondo aunque la corriente es fuerte. Las aguas tienen mucha materia orgánica en suspensión y la salinidad es variable, ya que hay un gran aporte de agua dulce. El emplazamiento B está menos abrigado, con mayor incidencia del oleaje y del mar de fondo. Sus aguas son claras, y la salinidad es prácticamente estable.

Las jaulas están constituidas por un recinto de 5 x 5 metros que se apoya en una estructura flotante de polietileno relleno de polies-tireno expandido, de la cual cuelga una red de nylon de 16 mm. de malla y cuatro metros de profundidad. Se han utilizado dos fondos distintos: un fondo rígido de plancha de polietileno de 1 cm. de espesor agujereada para permitir el paso del agua (jaula R), y un fondo flexible de malla de polietileno de 6 mm. de malla apoyado sobre un emparrillado formado por tubos de PVC para darle consistencia (jaula F). La superficie de ambos fondos es de 20.25 m<sup>2</sup>. En cada emplazamiento, se colocó una jaula de fondo rígido y otra de fondo flexible. Las jaulas de fondo flexible se fueron deteriorando con el paso del tiempo. Esto fue especialmente patente en Abanqueiro, donde se tuvo que cambiar el fondo en el mes de octubre ya que amenazaba romperse totalmente. En lo sucesivo se denominará a las jaulas AR, AF, BR y BF haciendo mención al emplazamiento y al tipo de fondo utilizado.

Para comparar los resultados con los obtenidos en tierra, se dejó un lote de peces que se estabularon en las instalaciones del Centro de Experimentación en Acuicultura de Couso y del Instituto Galego de Formación de Acuicultura (Illa de Arousa).

A principios de julio se trajo un lote de rodaballos con un peso medio de 111.4 g de la empresa Stolt Sea Farm que se repartieron entre las distintas jaulas y los tanques de tierra. La experiencia citada en el primer apartado de este capítulo en jaulas de fondo flexible, había mostrado que el fouling podía ser uno de los principales inconvenientes de este tipo de cultivo. Para disminuir su incidencia, se procedió a colocar una red de malla de 50 mm. en las jaulas con fondo de polietileno con objeto de probar su efectividad y colocarla en todas las jaulas. La malla resultó ser demasiado grande, y tras una semana los rodaballos empezaron a parecer con heridas que terminaron causando una infección originada por **Flexibacter maritimus** que fue especialmente virulenta



en la jaula de Bueu. Se procedió entonces a colocar red de malla de 16 mm. en todas las jaulas y a tratar los peces con oxitetraciclina durante 7 días. Transcurrido este tiempo, se determinó el número inicial de peces de cada jaula (Tabla II) y comenzó la experiencia.

Hay que señalar que la jaula de Abanqueiro de fondo rígido, sufrió la rotura de la red lateral a mitad de la experiencia, escapándose muchos de los ejemplares. Una vez detectada se procedió al conteo de los peces que quedaban en dicha jaula. Al número de peces, 324, se le sumó el número de bajas que había hasta ese momento, 3, y se determinó tomar como número inicial 327 rodaballos en lugar de los 635 que realmente se estabularon.

**TABLA II.**  
Resultados obtenidos.

	AR	AF	BR	BF	T
Ni	327	743	162	718	51
Nf	324	620	161	525	51
Mortalidad	0,93%	16,55%	0,62%	56,88%	0,0%
Pi	11,4 ± 19,1	11,4 ± 19,1	11,4 ± 19,1	11,4 ± 19,1	11,4 ± 19,1
Ti	18,1 ± 0,96	18,1 ± 0,96	18,1 ± 0,96	18,1 ± 0,96	18,1 ± 0,96
Pf	704,6 ± 147,2	540,9 ± 140,3	729,5 ± 159,9	304,3 ± 112,7	634,1 ± 184,1
Tf	30,6 ± 2,05	28,5 ± 2,63	30,8 ± 2,00	24,4 ± 2,37	28,8 ± 2,44
Superficie	20,25	20,25	20,25	20,25	2
Cf	11,27	16,56	7,89	5,8	16,2
Días	288	288	288	245	288
G	0,64	0,55	0,66	0,41	0,59

Ar: Jaula ubicada en Abanqueiro con fondo rígido; AF: Abanqueiro fondo flexible; BR: Bueu fondo rígido; BF: Bueu fondo flexible; T: Tanques en tierra; Ni: Número inicial; Nf: Número final; Pi: Peso inicial; Ti: Talla inicial; Pf: Peso final; Tf: Talla final; Cf: Carga final; G: Tasa de crecimiento diario.

Diariamente se midió la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. Semanalmente un buzo procedía a la inspección de las jaulas, limpieza de los fondos y extracción de los rodaballos muertos. En los momentos en los que apareció mortalidad en las jaulas, las inmersiones se realizaron dos veces por semana para evitar que los peces se descompusieran



y no se pudieran recuperar las bajas. Cada mes se procedía a muestrear un 10 % de cada tanque, y cada 2-4 meses (según la época del año) a cambiar la red lateral de las jaulas.

Con los datos de los muestreos se procedió a calcular la tasa de crecimiento diario «g» según la fórmula:

$$g = (\ln P_f / P_i) \times 100/t$$

Donde  $P_f$  es el peso final,  $P_i$  peso inicial y  $t$  el tiempo transcurrido expresado en días.

El alimento usado fue pienso seco extruído para rodaballo de la casa Trow. Los rodaballos fueron alimentados 3 veces al día hasta la llegada del invierno, momento en el que se disminuyó a 2 tomas diarias. La alimentación se ajustó en cada muestreo, oscilando entre un 1.5 % al principio de la experiencia y un 1 % al final de la misma. Estas cantidades de alimento suponen en la práctica alimentar a los rodaballos a la saciedad, pero se optó por esta alternativa ya que el rodaballo comía cerca del fondo, y muchos días era imposible ver cuando dejaban de alimentarse. En los tanques testigos mantenidos en tierra, la pauta de alimentación fue similar.

La experiencia finalizó a mediados de abril de 1997, excepto en la jaula de fondo flexible de Bueu, donde la experiencia acabó un mes antes.

#### 4. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla II. La mortalidad obtenida tanto en los tanques como en los fondos rígidos de los dos emplazamientos elegidos fue inferior al 1 %, mientras que las jaulas de fondo flexible mostraron una mortalidad muy superior, del 16.55 y 26.88 %. Así, mientras que el cultivo de rodaballo en jaulas de fondo rígido no parece incidir negativamente en la supervivencia del rodaballo, no se puede decir lo mismo de las jaulas de fondo flexible. Los peces de estas jaulas mostraban heridas en el lado derecho de su cuerpo, fundamentalmente en la parte de la cabeza, originadas por el roce con la red causado por el movimiento de la jaula. En zonas más tranquilas como Abanqueiro, la mortalidad fue inferior a la presentada en zonas mas expuestas como Bueu. Además, se constató que en Abanqueiro la mortalidad se produjo fundamentalmente al principio de la experiencia y tras el cambio del fondo. Transcurrido un período de tiempo, la red del fondo comenzó a tupirse de algas que parecían actuar a modo de colchón,

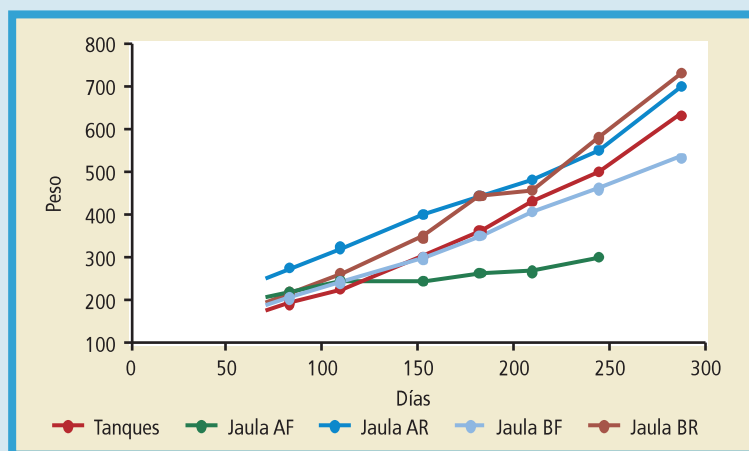


disminuyendo la incidencia del roce de la red. A pesar de no realizarse ningún cambio de fondo, la mortalidad de Bueu fue mas elevada, siendo especialmente alta en las épocas de mayor movimiento del mar.

En cuanto al crecimiento los resultados se muestran en la figura 1. Los rodaballos de los fondos rígidos de ambas ubicaciones mostraron un crecimiento similar y ligeramente superior al de los peces mantenidos en tanques de tierra. Los datos obtenidos por SÁNCHEZ (1990) también mostraban un crecimiento similar entre rodaballos cultivados en tanques y los cultivados en jaulas de fondo rígido, aunque en este caso, los crecimientos obtenidos fueron algo menores. Los crecimientos obtenidos en tierra fueron ligeramente inferiores a los observados por IGLESIAS (1985), partiendo de alevines capturados en el medio natural y alimentados con pienso semi húmedo, y son similares a los conseguidos por DANIELSEN (1989) con individuos nacidos en cautividad y alimentados con pienso seco. Sin embargo los rodaballos mantenidos en las jaulas de fondo flexible presentaron un crecimiento sensiblemente inferior que los mantenidos en fondos rígidos. Esto fue especialmente patente en Bueu.

Es importante realizar un comentario sobre la densidad de cultivo: si bien es cierto que la carga final es muy diferente entre la obtenida en tanques y la obtenida en BR, esta diferencia es mucho menos patente entre los tanques y AR. En cualquier caso, las densidades obtenidas en los tanques (16 Kg./m<sup>3</sup>) no son cargas elevadas que pudieran ocasionar una pérdida de crecimiento.

**FIGURA 1.**  
Crecimiento  
del lote de  
rodaballos  
engordados  
en las jaulas  
y en tierra.



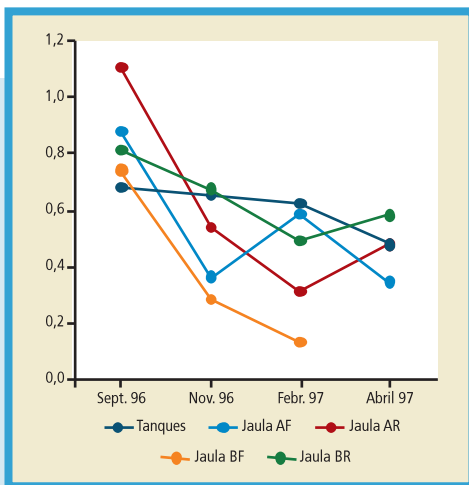




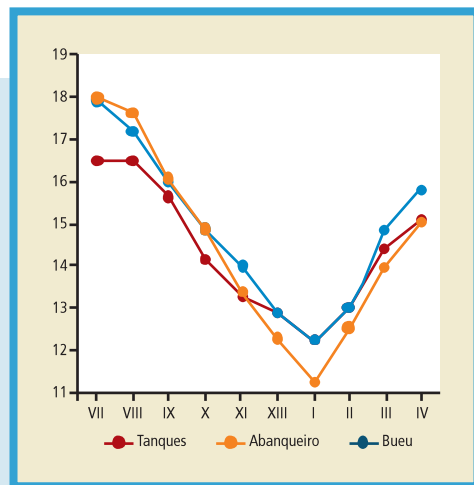
La evolución de las tasas de crecimiento diarias se muestran en la figura 2. Mientras que los rodaballos mantenidos en tanques mostraron el comportamiento esperado, disminuyendo dicha tasa al aumentar el tamaño, esto no ocurrió del mismo modo en los rodaballos mantenidos en las jaulas. Los peces de las jaulas de fondo rígido tuvieron la tasa más baja en el período de noviembre a febrero, subiendo a continuación. El descenso de la temperatura, más acusado en las jaulas que en los tanques como puede apreciarse en la figura 3, así como las peores condiciones del mar durante el invierno, pueden explicar este condicionamiento atípico. Asimismo, la baja tasa de crecimiento que mostraron los rodaballos de la jaula AF en el período de septiembre a noviembre, pudo deberse al cambio de fondo realizado en el mes de octubre.

## 5. Conclusiones

De los resultados obtenidos en cuanto a supervivencia y crecimiento, puede deducirse que las jaulas de fondo rígido constituyen un sistema de cultivo apropiado para el rodaballo. Por el contrario, las jaulas de fondo flexible han mostrado tener una menor duración y son menos apropiadas para dicho cultivo, lo cual es especialmente cierto en ubicaciones menos abrigadas.



**FIGURA 2.**  
Tasas de crecimiento diarias.



**FIGURA 3.**  
Temperaturas medias.



### 9.2.5. Jaulas para peces planos del IBSS

El «Institute of the Biology of the Southern Seas (IBSS), NAS de Ucrania, ha diseñado y puesto en operación una diseño de viveros del que, desgraciadamente, no se dispone de información escrita pero si de cuatro fotos que se adjuntan a continuación como figuras 9.83, 9.84, 9.85 y 9.86.

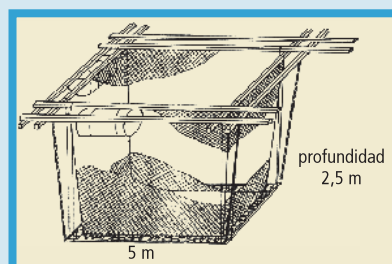
### 9.2.6. Experiencias de Loitamar en los últimos años

El único proyecto de envergadura que plantearon marineros que faenaban en el banco canario, financiado con las ayudas acordadas por la Comisión Europea para los afectados por la pérdida de este caladero, cristalizó hace ya algunos años en la cooperativa LOITAMAR.

Esta Sociedad Cooperativa Gallega, dedica su actividad al engorde de rodaballo con una instalación de viveros flotantes en la zona de Domaio, al lado del Puente de Rande en la Ría de Vigo.



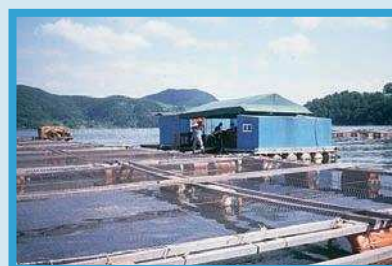
**FIGURA 9.83.**  
Vista del conjunto de jaulas (IBSS).



**FIGURA 9.84.**  
Esquema de una jaula (IBSS).



**FIGURA 9.85.**  
Detalles jaula individual (IBSS).



**FIGURA 9.86.**  
Instalación auxiliar (IBSS).



Esta Cooperativa cuenta con diversas instalaciones en la península del Morrazo, en la ensenada de Queixeira, en la parroquia de Domaio, en Moaña. Allí tienen sus instalaciones logísticas que incluyen el laboratorio, almacenes, taller y una planta de envasado que asegura la frescura del producto y un rápido transporte hasta el consumidor. Esta Cooperativa tiene otros almacenes y talleres en el muelle de San Adrián en Vilaboa.

Los viveros flotantes para el engorde de rodaballo son estructuras de 6 por 6 metros y con una altura de 2.5 metros (figura 9.87). Logran su flotabilidad gracias al auxilio de ocho flotadores de 0.2 m<sup>3</sup> que llevan cada una, y a otros 17 colocados en cada uno de los extremos de la fila de viveros. Esta estructura mantiene a los rodaballos gracias a una red que la envuelve totalmente. La figura 9.88 visualiza la instalación de LOITAMAR en la ensenada de Domaio.



**FIGURA 9.87.**  
Jaula flotante de LOITAMAR.



**FIGURA 9.88.**  
Instalación de LOITAMAR.

Desde los 19 viveros iniciales con las que empezaron su andadura, casi todos contruidos por ellos mismos, pretenden, cuando completen el proyecto, tener instalados 530, que mediante la introducción de 5.000 alevines en cada uno podrían alcanzar una producción anual de 500 toneladas.

Las figuras 9.89 y 9.90 muestran los rodaballos al inicio de su engorde y un ejemplar al final del ciclo de producción.

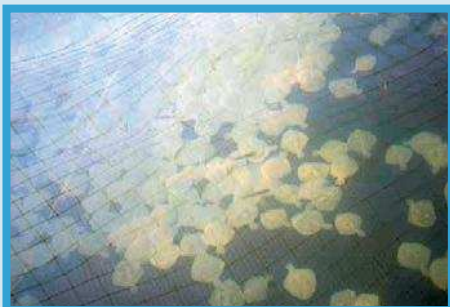
La figura 9.91 visualiza la disposición en filas de las jaulas flotantes y la figura 9.92 la instalación auxiliar montada sobre una batea.



### 9.2.7. Jaulas sumergidas en el Mediterráneo español

Los motivos para iniciar este proyecto de jaulas sumergidas para rodaballo en el Mediterráneo español fueron las altas temperaturas que durante alguna estación del año existen en el Mediterráneo, que sobrepasan ampliamente los 20 °C, temperatura ideal para el rodaballo, y que por lo tanto su cultivo sería técnicamente inviable durante esos meses de verano, aunque el resto de los meses podría tener un crecimiento mayor.

Las jaulas diseñadas se apoyaban en el fondo del mar a profundidades donde la termoclina no sobrepasaba los citados 20 °C y hacían viable técnicamente el cultivo de este pez.



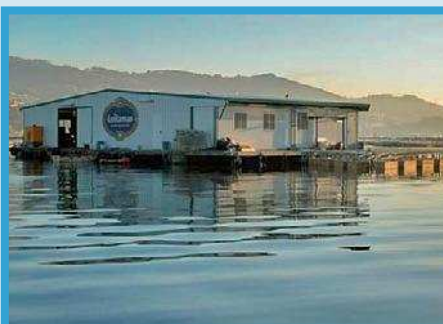
**FIGURA 9.89.**  
Alevines de rodaballo de LOITAMAR.



**FIGURA 9.90.**  
Rodaballo adulto de LOITAMAR.



**FIGURA 9.91.**  
Disposición en filas  
de las jaulas de LOITAMAR.



**FIGURA 9.92.**  
Instalación auxiliar sobre  
bodega de LOITAMAR.



Al estar sumergidas las jaulas, los costes asociados a los trabajos de alimentación, mantenimiento, clasificación y despesque son bastante más elevados con lo cual la viabilidad económica podría ser afectada.

En este caso es necesario hacer un estudio de viabilidad técnico-económica para verificar si los aumentos de crecimiento debido a las temperaturas medias más altas de todo el año compensan los mayores gastos que se producen al tener que realizar todos los trabajos bajo el agua.

### 9.2.8. Experiencias en el Mediterráneo oriental

Esta sección está basada en el trabajo de Nilgün Aksungur titulado «Observation of Growing Properties (in cages and ponds) of Turbot (*Psetta maxima*) in the Black Sea Region».

El desarrollo de los juveniles de rodaballo producidos en el criadero del Instituto hasta su tamaño comercial se cultivaron tanto en viveros como en estanques en las condiciones ambientales de la zona:

- Temperatura del agua del mar entre 8 y 31 °C.
- Salinidad entre 16 y 18 gramos por litro.

Este estudio se inició en 1997 en cooperación entre la Japan International Cooperation Agency (JICA) y el Central Fisheries Research Institute en Trabzon.

Durante este proyecto se realizaron cinco etapas para obtener datos suficientes del engorde del rodaballo en las condiciones del Mar Negro. En primer lugar se ensayaron varios modelos de jaulas para determinar la mas adecuada, considerando las necesidades biológicas del rodaballo, empleando 3.000 juveniles de una longitud media de 10 cm. Para estos ensayos iniciales se establecieron cuatro grupos de 30, 60, 90 y 120 individuos para investigar diferentes densidades de cultivo durante ocho meses en viveros. Al final de la experiencia no hubo diferencias estadísticas significativas entre los grupos de 30, 60 y 90 ejemplares y si en el grupo de 120.

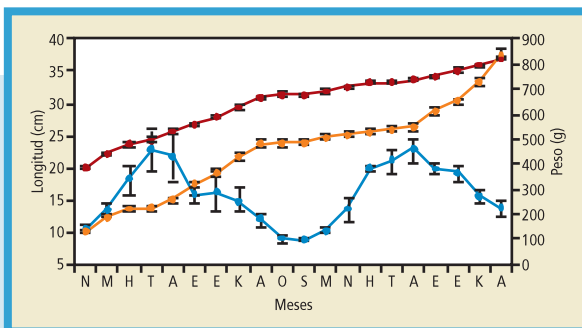
La segunda etapa ya se realizó tanto en viveros como en tanques. Este trabajo se centra en la experiencia en viveros.

El engorde en viveros se inició con juveniles de una longitud media de 18.15 cm. y un peso medio de 99.4 g con una densidad de 50





**FIGURA 9.93.**  
Toma de longitudes.



**FIGURA 9.94.** Relación entre  
la temperatura del agua y el crecimiento.

peces por metro cuadrado. Después de 18 meses, la longitud media alcanzó  $33.6 \pm 0.31$  cm. y el peso medio  $547.6 \pm 14.18$  g. En verano todos los peces se dividieron en dos lotes: uno trasladado a tanques durante cuatro meses y la otra mitad se destinó a la etapa o intento de supervivencia.

Este último lote, el de supervivencia, se empleó para determinar el efecto de la alta temperatura del agua sobre los rodaballos. Los peces que se mantuvieron en los viveros sufrieron ataques de bacterias y parásitos y la mitad se trasladaron a tanques, donde fueron tratados y con agua más fría que la del medio ambiente se salvaron. Los que se mantuvieron en las jaulas murieron todos al llegar la temperatura a  $30^\circ\text{C}$ .

Se midieron regularmente los parámetros físicos y químicos del agua del mar. Se realizaron medidas biométricas en el 10 % de los peces de cada grupo según la escala de Von Bayer ( $\pm 1$  mm) y usando una balanza electrónica ( $\pm 0.1$  g). Los peces fueron alimentados con una tasa de un uno por ciento de su biomasa con pienso seco. La figura 9.93 muestra la toma de longitudes de los rodaballos durante el desarrollo de este proyecto.

Como resultado, el alimento admitido por los peces bajaba cuando disminuían las temperaturas en invierno, tanto en las jaulas como en los tanques, y aumentaba en el verano. Infecciones de bacterias y parásitos aparecían cuando las temperaturas sobrepasaban los  $24^\circ\text{C}$  y dejaban de comer. También se observó que temperaturas entre  $28$  y  $30^\circ\text{C}$  son letales para el rodaballo.



La figura 9.94 visualiza el crecimiento con la variación de las temperaturas.

Una de las conclusiones interesantes de este proyecto, en relación con el cultivo en viveros, es que se necesita un diseño específico apropiado a las necesidades del ser. Uno de los aspectos a tener en cuenta es la prevención de la radiación solar directa.

Otra de las conclusiones es que el engorde del rodaballo no puede efectuarse en jaulas durante todo el año, siendo el factor limitante la temperatura.

### 9.2.9. Jaula sumergida Bahía de Nápoles.

**G. Paolillo y A. Ortega**

Los resultados preliminares de unas experiencias realizadas en la bahía de Nápoles durante el 2004 por G. Paolillo, A. Ortega y sus colaboradores, sobre el cultivo del rodaballo en jaulas sumergidas, se incluyen a continuación.

#### 1. Resumen

*Los alevines de rodaballo fueron cultivados en un prototipo de jaula sumergible situada a una profundidad de 30 metros en el golfo de Nápoles (Mar Tirreno, sur de Italia). Las experiencias duraron seis meses. La temperatura varió entre 17 y 21 °C. Los peces crecieron desde 67 hasta 496 g con un incremento de peso individual de 429 g lo que significa un incremento de peso diario de 2.37 g y una tasa de crecimiento de 1.05. La tasa de alimentación diaria fue 0.6, y la tasa de conversión del alimento durante toda la experiencia fue 1.09. Estos resultados muestran que el cultivo y engorde del rodaballo es también posible en las aguas del Mediterráneo si las jaulas están situadas bajo el agua para lograr las condiciones adecuadas para el cultivo.*

#### 2. Justificación

*La cría del rodaballo representa una realidad consolidada en países como España y Francia. El cultivo se realiza fundamentalmente en instalaciones en tanques en tierra, aunque en los últimos años se han establecido las primeras empresas de cultivo en jaulas. Todo el cultivo del rodaballo se realiza*



en aguas del Atlántico, ya que las temperaturas superiores a 21-22 °C no son demasiado compatibles con la fisiología de crecimiento de la especie.

En el Mar Mediterráneo las temperaturas óptimas para el crecimiento del rodaballo, 15-19 °C solo se registran en superficie en algunos períodos del año, y solo pueden obtenerse tomando agua de profundidad o realizando la cría en aguas sumergidas en profundidad. El objetivo de este trabajo ha sido efectuar una prueba preliminar en las aguas del Golfo de Nápoles de crecimiento de alevines de rodaballo mantenidos en una jaula sumergible a profundidad.

### 3. Material y métodos

500 alevines de 25 +/- 6.8 g procedentes de France Turbot han sido aclimatados en tanques a una densidad de 180 individuos por metro cuadrado y a una temperatura inicial de 14 °C durante un periodo de 37 días hasta alcanzar una temperatura de 17 °C. Al término de este periodo, 400 alevines con un peso de 67.6 g +/- 9.8 g han sido trasladados a la jaula sumergida.

La experiencia se ha desarrollado durante 180 días, entre junio y diciembre de 2004. La temperatura durante toda la experiencia ha oscilado entre 17 y 20.5 °C. Estas condiciones se han conseguido sumergiendo la jaula a la profundidad de -30 m.

La ración media diaria ha sido del 0.6 % del peso vivo. Se ha utilizado un pienso específico para rodaballo suministrado por BIOMAR (pienso tipo Ecolife, con un diámetro variable entre 3 mm. al principio del experimento y 6.5 mm. al final del mismo). El suministro ha sido efectuado 3 veces al día a través de un dispensador automático.

La jaula utilizada ha sido un prototipo experimental planeado y realizado cerca de los talleres del departamento de Ingeniería Agraria y Agronomía del Territorio de la Universidad de Nápoles Federico II. Tal estructura tiene una superficie de 12 m<sup>2</sup> y ha sido colocada en una concesión que el CRIACQ (Centro de Investigación Inter departamental para la Acuicultura) tiene en aguas de la Bahía de Nápoles.

### 4. Resultados y discusión

En 180 días de experimentación la biomasa en la jaula ha pasado de 27 a 198.4 kg., alcanzando los rodaballos al final de la experiencia



*un peso medio de 496 + - 72g. El incremento individual de peso de los rodaballos ha ido de 429 g, lo que implica un incremento diario de peso de 2.37 g, y una tasa de crecimiento de 1.05 g. La densidad ha aumentado a lo largo del período desde 2.25 hasta 16.53 Kg. / m<sup>2</sup>. El índice de conversión ha sido de 1.09 y no ha habido mortalidad durante todo el periodo experimental.*

*El método de cultivo utilizado se ha mostrado válido para el rodaballo, y los datos de crecimiento obtenido son comparables al crecimiento de alevines de esta especie con otras tipologías de crías y a otras latitudes. En particular, estos resultados son más favorables que los obtenidos en jaulas flotantes por Ortega et al. (1997) en aguas de Galicia donde los rodaballos crecían de 100 a 700 gramos (tasa de crecimiento de 0.65) a lo largo de un período de 288 días. Las densidades finales obtenidas son ligeramente superiores en esta experiencia (16.53 Kg. / m<sup>2</sup> ante 8-11 Kg. / m<sup>2</sup> en la experiencia realizada por Ortega et al.). El mayor crecimiento observado puede explicarse debido al mantenimiento de una temperatura más óptima para el engorde durante esta experiencia (17-20.5 °C ante 12-18 °C registrados en la experiencia anterior). Las mayores condiciones de tranquilidad que existen en profundidad (no incidencia de temporales y oleajes) pueden también ayudar a explicar estas diferencias.*

#### **9.2.10. Autorización de experiencias en Nules (2006)**

La Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana ha autorizado el 5 de marzo de 2006 la instalación de una granja marina en terrenos de dominio público terrestre, frente al término municipal de Nules.

Sobre una superficie de fondos marinos de 933.000 m<sup>2</sup> se instalarán jaulas marinas para el cultivo de especies comerciales de pescado tales como el rodaballo, el lenguado, el pulpo, la corvina, la dorada, la lubina, así como el mejillón y la ostra. La inversión solicitada por la empresa, Acuícola Mariona S. L., asciende a unos tres millones de euros.

En concreto, esta granja marina instalará una jaula de 25 metros de diámetro para el cultivo del rodaballo, otra de 25 m de diámetro



para el cultivo del lenguado, ocho de 25 m y tres de 50 m para el cultivo del pulpo, doce de 25 m para corvina, seis de 25 m para dorada y lubina y 60 «long-lines» de 425 m de longitud para mejillón y ostra.

La capacidad máxima de producción será de 9 toneladas de rodaballo y 9 toneladas de lenguado, 125 toneladas de pulpo, 535 toneladas de corvina, 625 toneladas de dorada y lubina, 400 toneladas de mejillón y 80 toneladas de ostra.

### 9.2.11. Jaulas cuadradas de POLARCIRKEL

Una de las empresas más importantes en el mundo de la acuicultura, que diseña y fabrica jaulas redondas, cuadradas, sumergibles y sistemas de jaulas es POLARCIRKEL.

Las dimensiones de las jaulas cuadradas varían desde 3 x 3 hasta 25 x 25 metros, con diámetros de la tubería de flotación desde 200 mm. hasta 315 mm. Normalmente son usadas como jaulas de sacrificio, para el cultivo del bacalao y fletán y también como jaulas para el cultivo en agua dulce de especies como la trucha y la tilapia. Los materiales utilizados son el polietileno de alta densidad, en soportes y tuberías de flotación y madera o propileno para las pasarelas.

Estas jaulas se asocian a sistemas que se agrupan en módulos que pueden ser fácilmente ensambladas de dos en dos, tres en tres...; construidas en una combinación de plástico y acero han sido diseñadas para su ubicación en lugares expuestos. La figura 9.94 muestra un sistema de varias jaulas.

**FIGURA 9.94.**  
Sistema de jaulas  
cuadradas de  
POLAR CIRKEL.







### 9.2.12. Jaula para peces planos de PRONA

La estructura de 12 x 12 metros se compone de cuatro jaulas separadas.

Posee un tanque que asegura la flotación y otros cuatro que permiten controlar la profundidad y se operan de una forma muy sencilla mediante compresores de aire para bajar a la profundidad deseada o subir a la superficie.

Este diseño permite que la estructura pueda evitar la exposición a las olas, alcanzando una óptima estabilidad de la plataforma, lo que implica un rendimiento óptimo del cultivo de peces planos.

Esta jaula ha sido ensayada con resultados muy buenos para el langostino chileno.

El único inconveniente para el cultivo del rodaballo es que su diseño no le permite operar con temperaturas por encima de los 14 °C. Parece ser que en un futuro próximo estará disponible un nuevo diseño que se adapte a las temperaturas que requiere el rodaballo.

Las figuras 9.95, 9.96 y 9.97 nos muestran diversas vistas de esta jaula para peces planos.

### 9.2.13. Vivero de aluminio para peces planos de REFA

La figura 9.55 muestra este diseño y al final del párrafo 9.1.14 dedicado a REFA se incluye una breve descripción.

### 9.2.14. Jaulas sumergidas en la ría de Aldán y en Redondela

Una importante empresa del sector pesquero y acuícola inició, hace unos años, un proyecto innovador con un tipo de jaulas, antes no utilizadas, en la Ría de Aldán.



**FIGURA 9.95.**

Vista submarina de la jaula de PRONA.

**FIGURA 9.96.**  
Vista superior.



**FIGURA 9.97.**  
Esquema de la estructura.





Aunque este proyecto no fructificó tal como se esperaba, ya que se presentaron bastantes dificultades que motivaron la retirada de las jaulas, su modificación y su puesta otra vez en servicio en otros emplazamientos; si se puede decir que fue muy interesante desde el punto de vista de las «lessons learnt» o lecciones aprendidas para aumentar el conocimiento sobre el cultivo en jaulas del rodaballo.

Cada jaula individual tenía cinco pisos y cada uno de ellos constituía una jaula independiente. Cada una de estas jaulas tenía unas medidas aproximadas de 2 metros por 2 metros y alrededor de 1 metro de altura. Cada una de ellas también disponía de una puerta de acceso a su interior. A su vez una manguera flexible permitía la alimentación a cada jaula desde el exterior.

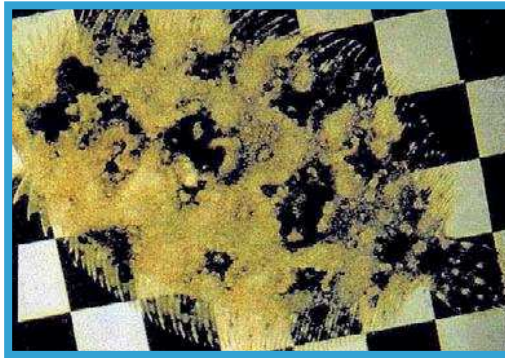
El material utilizado para la construcción de las jaulas fue acero galvanizado y tanto la superficie de apoyo como las paredes de cierre eran del mismo material y con el mismo tamaño de malla.

Los rodaballos se introducían ya pre engordados hasta un peso de 500 g y se esperaba obtener su engorde en estas jaulas hasta un peso de 1.5 kilos.

Una serie de estos conjuntos de cinco pisos o jaulas fue fondeada en la ensenada de Aldán y a continuación se resumen los problemas que fueron surgiendo a lo largo del escaso tiempo que estuvieron en producción.

**Deficiente crecimiento del rodaballo** debido sobre todo a las fuertes corrientes de la zona en algunos momentos que forzaban al rodaballo a «ponerse de pie» para hacer frente a las mismas, lo que suponía un esfuerzo tremendo para el pez y un stress importante que impedían el crecimiento que se esperaba en jaulas y ya verificado en experiencias anteriores.

**Aparición de problemas de mimetismo** en las dos superficies del rodaballo, de tal forma que la superior adquiría tonalidades blanquecinas y la inferior marrones. Esto era debido a que la superficie superior marrón de un rodaballo «veía» la blanca del que estaba en el piso superior y cada una cambiaba su color al opuesto por el efecto del mimetismo, fenómeno ampliamente conocido en el engorde del rodaballo. La figura 9.98 muestra un muy claro ejemplo del mimetismo del rodaballo.



**FIGURA 9.98.**  
Mimetismo  
del rodaballo.

**Graves problemas de manejo de los peces** ya que había que trabajar bajo agua y con una puerta de dimensiones limitadas y hasta cinco metros de profundidad. Resultaba inviable económicamente.

**Problemas para la alimentación** ya que una gran cantidad de «pellets» se dispersaba con facilidad y el control de este proceso, vital para el rendimiento de cualquier instalación, no se podía realizar adecuadamente.

**Problemas originados por los residuos de los peces** ya que al no poder recogerlos y controlarlos caían sobre los peces de los pisos inferiores provocándoles molestias y afectando a su crecimiento.

Esta empresa decidió, tras estos resultados, hacer un cambio de emplazamiento y cambios de diseño de la estructura de las jaulas.

El nuevo emplazamiento se situó bajo las aguas de Rande en el polígono denominado Redondela E y según la información disponible los resultados han mejorado muchísimo de tal forma que después de 16 meses de operación ya se alcanzó una producción estable de 15 toneladas por mes.

#### **9.2.15. «Sea Station» de Ocean Spar Technologies**

Este vivero sumergible ya ha sido descrito en el párrafo 9.1.11 y la figura 9.37 muestra una imagen para peces planos.

El aro poligonal, de 25 metros de diámetro, sirve para mantener la tensión de la red, sea esta exterior para lograr el cierre de la jaula o interior en el caso de que esta red constituya la superficie de apoyo para



los peces planos. Las líneas de refuerzo que dan consistencia y forma a la red exterior son de cabo Plasma R.

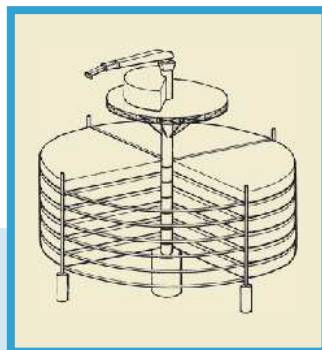
### 9.2.16. Estructura para cultivo de peces planos de la UPM

También es interesante incluir un tipo de estructura de reciente invención, patentada por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), consistente en una estructura de viveros móviles para cultivo de peces planos, que posibilita su cultivo en el mar al poder manejarlos fácilmente en la superficie, ya que todas los viveros pueden acceder a esta posición, moviéndose tanto en vertical como en horizontal, con lo cual se elimina el trabajo de los buceadores, mucho más caro y dificultoso, y además se evita el estrés de los peces en el manejo manual. Incluye además una plataforma de apoyo a la operación con grúa.

La figura 9.99 visualiza un esquema de este vivero de la UPM.

La idea original es de la Dirección Técnica de «Piscícolas del Morrazo» que actualmente se dedica al cultivo del Rodaballo en tanques situados en instalaciones en tierra. Esta idea, transmitida al primer profesor de «Ingeniería de los Cultivos Marinos» de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), en una reunión de intercambio de información e ideas para posibles proyectos a desarrollar, consistía en una estructura con capacidad para alojar tres columnas de viveros cuadrados de 10 metros de lado, dejando una cuarta columna libre para acceso y manejo de los mismos. Cada vivero podría moverse horizontalmente para alcanzar la columna de acceso y luego verticalmente con unas guías hasta alcanzar la superficie.

Un análisis inicial de esta idea llevó a considerar como mejor solución para este tipo de instalación la forma cilíndrica circular, con las siguientes características:



**FIGURA 9.99.**  
Vivero para peces planos. UPM.

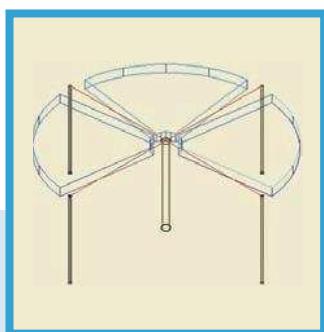


La estructura tendría una columna central de acero u hormigón, con un diámetro del orden de un metro, con una doble función: por una parte ser el pilar central de toda la estructura y por otra servir como auxilio a la operación. Además, una columna hueca podría utilizarse para alojar distintos servicios, así como para facilitar el acceso a distintos niveles de la instalación. En la circunferencia exterior se situarían un número adecuado de pilares que servirían para sustentar las coronas exteriores sobre los que se deslizarían las jaulas en su movimiento horizontal. El movimiento de izado se haría mediante una grúa propia de la instalación y mediante la separación de una jaula soporte y otra jaula donde se albergara a los peces.

El amarre al fondo se realizaría introduciendo, tanto el pilar central como los radiales en el suelo. Al final de este sub capítulo se incluye información sobre la cimentación en el fondo.

Los viveros tendrían forma de cuadrantes circulares, con una estimación inicial, de 10.5 metros de radio y un metro de altura. Se dispondrían 3 viveros por piso, dejando en cada uno de estos un hueco libre para habilitar una columna de acceso en toda la altura de la instalación. El número de «pisos» lo determinaría la profundidad de cimentación, así como la altura de bajamar y pleamar. En principio se ha estimado un número de seis viveros para no sobrepasar los 10 metros que es a priori la profundidad media de la Ría donde podrían estar instalados los viveros. Estos en su posición de operación estarían convenientemente trincados.

Cada vivero giraría sobre el eje vertical apoyándose en una corona interior, situada en el pilar central, y en la corona exterior, probablemente de acero; de esta forma todas los viveros podrían moverse hasta la columna de izado o simplemente cambiar su posición en su «piso» (Figura 9.100).



Los viveros estarán formados por dos partes. Una estructural que se moverá en su correspondiente nivel y una segunda, dentro de esta, que

**FIGURA 9.100.**  
Jaulas giratorias y móviles en altura.





se podrá izar mediante cables y donde se apoyarán y vivirán los peces. Este vivero será de las dimensiones adecuadas para poder ser izado a través de la estructura.

Los viveros, en forma de cuadrantes circulares, tendrían sus paredes laterales de un metro de altura. La exterior o estructural será de material metálico para conseguir una mayor rigidez del conjunto, facilitar el intercambio de agua y sujetar la red de la parte superior y lateral que cerrará la jaula. El vivero interior estará constituido en su fondo y laterales por PRFV o un material plástico equivalente, con una serie de orificios para permitir el paso del agua y de los desechos orgánicos. La parte superior ira cerrada con una red sin nudo con aberturas por medio de cremalleras.

Las redes de los viveros irán impregnadas de un material «anti-fouling», a ensayar y definir, para evitar la adherencia de seres vivos que dañarían a los peces.

La tensión en la red se conseguiría con la sujeción a la estructura lateral descrita en el párrafo anterior.

Otra posibilidad es estudiar, diseñar, definir y ensayar la totalidad de las jaulas con redes sin nudos convencionales, tensionadas con elementos metálicos de refuerzo, de tal forma que se consiga un fondo rígido para los rodaballos.

A continuación se dan algunas ideas sobre la **cimentación** que habría que hacer en el fondo del mar para sujetar los pilares central y auxiliares.

La cimentación, basada en la mecánica del suelo, es una parte vital y compleja dentro de toda construcción fija. En este caso la cimentación en suelo marino se ha desarrollado básicamente tomando como referencia las estructuras offshore petrolíferas.

Se van a considerar las hipótesis más sencillas y clarificadoras. La primera a tener en cuenta es el tipo de fondo.

El tipo de fondo en el cual se realizan cimientos ha dado origen a una disciplina propia: la mecánica de suelos. En esta se estudian las propiedades del suelo como la porosidad, resistencia al corte, capacidad de asiento... Estas propiedades definirán las propiedades mecánicas que tendrá el suelo con respecto a tipos de cimentaciones como zapatas, pilares, tabla estacas...

Las propiedades mecánicas varían mucho dentro de los distintos materiales que constituyen el suelo e incluso dentro de la geometría de



sus estratos. Así un bloque de roca ofrecerá distinta resistencia atendiendo a la posición y orientación de los estratos, las grietas que lo recorran, la fragmentación de la roca...

En el emplazamiento elegido para este proyecto, la ría de Vigo en la zona de Cangas, el fondo está constituido por roca, arena y grava. La zona en cuestión presenta un fondo de arena con una profundidad máxima de 2 metros, bajo la cual, se encuentra un fondo de roca granítica. Este fondo permitirá considerar los apoyos del pilar central y de los auxiliares como empotramientos perfectos en la roca.

Se considera en primer lugar el **pilar central**.

Conociendo la resistencia que ofrece este tipo de roca se puede dimensionar la profundidad del pilotaje. La resistencia de este tipo de suelo oscila entre los 100 y 50 Kg. / cm<sup>2</sup>. El coeficiente de seguridad considerado es 1,5.

Debido a los dos metros de arena que se deben salvar, los momentos calculados deberán ser incrementados considerando su punto de aplicación y los metros suplementarios de arena.

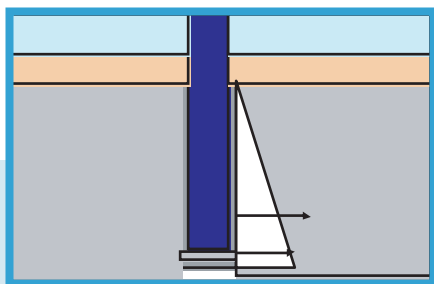
Considerando una resistencia de 100 Kg. / cm<sup>2</sup>, podemos observar que según aumentamos la profundidad la resistencia ofrecida por el suelo, crece de una forma lineal como se muestra en la figura 9.101.

De esta forma, conociendo la resistencia del terreno se puede obtener la fuerza que este soporta utilizando la siguiente relación lineal:

$$F_{\text{SOPORTADA POR TERRENO}} = \text{RESISTENCIA}_{\text{TERRENO}} \cdot \text{PROFUNDIDAD}$$

Como la ley de fuerzas es triangular, el punto de aplicación de la resultante, para el cálculo del momento soportado por el terreno, estará situado a dos tercios de la profundidad total del cimiento. Este momento

soportado será igual al anteriormente calculado, creado por las fuerzas ambientales. Es necesario resaltar que el



**FIGURA 9.101.**  
Resistencia ofrecida por el suelo.



área tomada para valorar la resistencia del terreno es el área proyectada del pilar. En este caso, esta área será un rectángulo de profundidad desconocida (a calcular) y anchura de un metro.

$$Mto_{SOPORTADO POR TERRENO} = Mto_{FUERZAS AMBIENTALES}$$
$$Mto_{SOPORTADO POR TERRENO} = \frac{2}{3} (PROFUNDIDAD^2) \cdot RESISTENCIA_{TERRENO}$$

Sustituyendo los valores numéricos se obtiene la profundidad de cimentación. A este valor se le aplica el factor de seguridad.

Este mismo proceso debe ser seguido para el cálculo de la profundidad de cimentación de los **pilares auxiliares**. Al igual que en el pilar central, la profundidad es desconocida y la anchura de la superficie proyectada es conocida. Para ello es necesario tomar al momento que se ejerce sobre los pilares auxiliares. Con todo esto se obtiene la profundidad de cimentación y se le aplica el factor de seguridad.

Antes de finalizar este apartado hay que tener en cuenta que no se ha considerado el efecto de lavado de la arena. El efecto de lavado consiste en el arrastre de la arena al acelerarse la corriente en el entorno del pilar. Este arrastre nos puede llevar al extremo que la arena desaparezca, no contribuyendo entonces a la resistencia de la cimentación.

### 9.2.17. Viveros con unidades «Jet-Float»

El sistema de flotación de estas jaulas es una plataforma constituida por unidades «Jet-Float» utilizadas para pantalanos o puentes de uso militar.

En Francia se ha utilizado por IFREMER para peces nadadores y en España se intenta para peces planos. La figura 9.102 muestra un grupo de dos jaulas.

### 9.2.18. Fondos flexibles VS fondos rígidos

Para finalizar este capítulo sobre viveros para peces planos, es necesario dedicar unas líneas a los posibles materiales que pueden servir como superficie de apoyo en el fondo de las jaulas a los peces que se van a cultivar. Dos son las posibles elecciones: las redes tensionadas o los materiales rígidos.



FIGURA 9.102. Viveros con unidades «Jet-Float» (IFREMER).

Para el estudio de las **redes tensionadas** para el fondo de las jaulas se ha considerado como el factor de decisión fundamental la experiencia adquirida en las zonas donde se pretende instalar el emplazamiento de las jaulas.

En las experiencias realizadas en países como Noruega, Escocia, Irlanda, Estados Unidos, China, Corea o el Mar Negro han utilizado con cierto éxito las redes tensionadas para lograr la superficie de apoyo del rodaballo o de otros peces planos. Hay que considerar que en las zonas ensayadas en estos países la producción natural no es muy elevada, unas veces por razones de temperatura, como sucede en los países nórdicos, y otras veces por razones de la pobreza de nutrientes que, en ambos casos, conducen a unas escasas producciones de incrustaciones o «fouling», que pueden ser controladas por cambios periódicos de las redes o por la utilización de antifoulings, a veces de elevado coste y otras veces de elevado riesgo debido a los componentes químicos que los constituyen y a su dudoso impacto medio ambiental.

Las experiencias realizadas en Galicia, a finales de los 80 y de los 90, ya citadas y descritas anteriormente, han demostrado que el «fouling» que se crea en las redes es de tal envergadura que hace inviable la utilización de las redes tensas como fondo de las jaulas de peces planos.



La razón es muy sencilla: la enorme riqueza fito y zooplanctónica de las Rías Gallegas, asociada a la gran superficie que suponen los hilos de la red, que gracias a su rugosidad favorecen en gran manera la adhesión de las incrustaciones, hacen que el «fouling» crezca de una forma exponencial frente a otros emplazamientos en otras latitudes.

Estas experiencias importantes de los fondos de red en Galicia inclinan claramente la balanza hacia los fondos rígidos, abandonando la idea de las redes tensionadas que además, desde el punto de vista de la viabilidad económica, probablemente harían inviable dicha solución debido al coste de los «antifoulings».

En el análisis de la experiencia española se puede concluir que la mejor solución para la superficie de apoyo de los rodaballos son los **materiales rígidos**.

Dentro ya de esta alternativa, hemos visto que se han utilizado tres materiales alternativos en las experiencias prácticas desarrolladas en las Rías Gallegas:

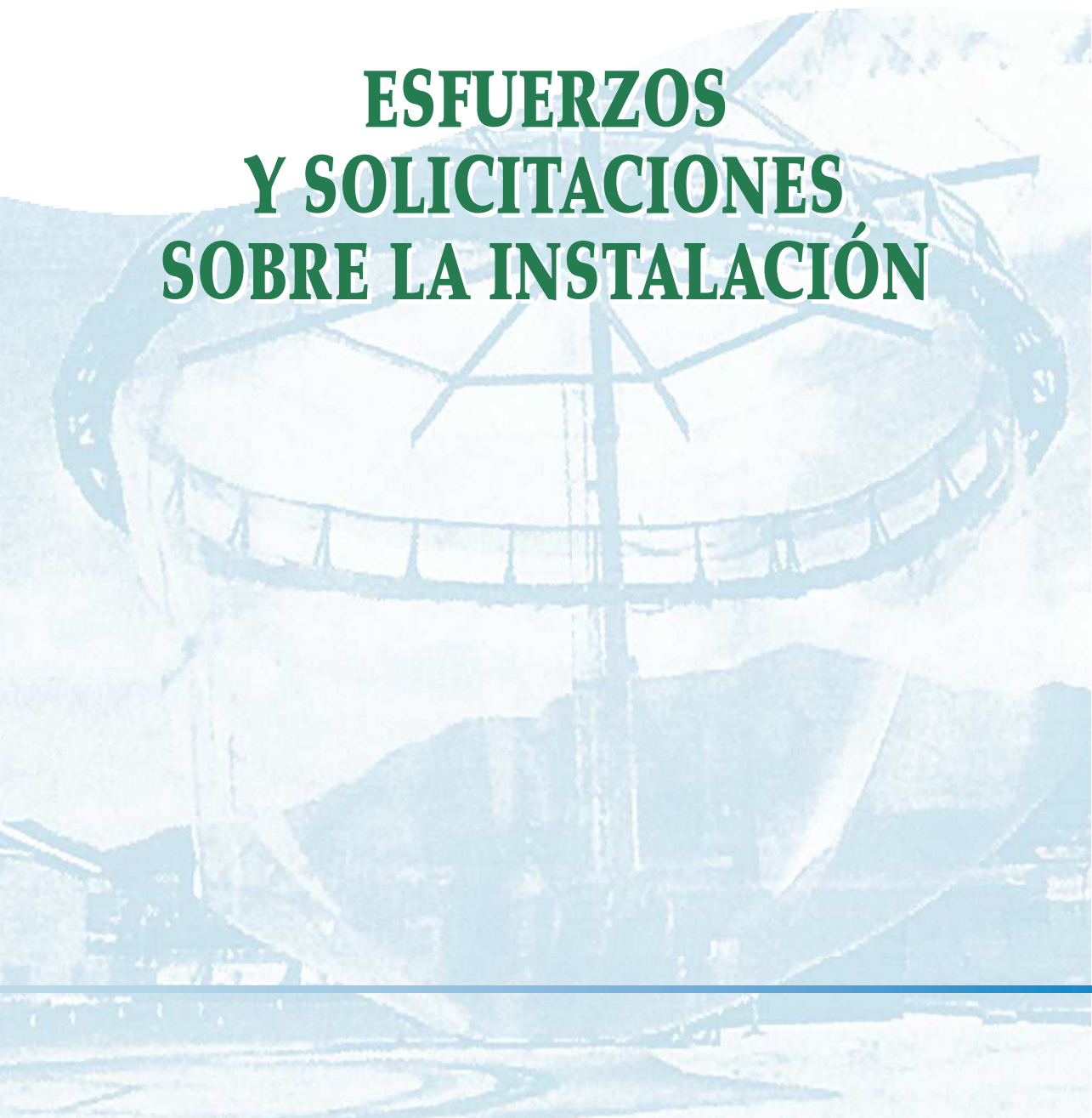
- La malla de acero galvanizado en las jaulas primero fondeadas en Aldán y luego en Rande (Redondela). Este material es bastante duradero pero cada 4 ó 5 años es necesario darle otro tratamiento de galvanizado.
- La fibra de vidrio perforada en las jaulas ensayadas a finales de los 80 en la ensenada de Baiona en la Ría de Vigo.
- Las planchas de polietileno perforadas en las experiencias de finales de los 90 en las Rías de Arousa y Pontevedra.

El proyecto fin de carrera de Juan Manuel de Juanes sobre viveros móviles para el cultivo del rodaballo (descrito en el párrafo 9.2.15) , trabajo teórico y no llevado a la práctica, apunta la solución de material rígido para la superficie de apoyo de los rodaballos y cita la fibra de vidrio o un «material plástico».



# 10

## **ESFUERZOS Y SOLICITACIONES SOBRE LA INSTALACIÓN**







# ESFUERZOS Y SOLICITACIONES SOBRE LA INSTALACIÓN

En este capítulo se definirán los esfuerzos y solicitaciones que actúan sobre la instalación al estar expuesta a la acción del mar. Este tema se tratará de una forma amplia y genérica de tal forma que los resultados pueden ser aplicados tanto a una estructura rígida como a una flexible. Un esquema del trabajo a realizar se incluye a continuación.

**ANÁLISIS DE LOS AGENTES EXTERNOS:** corrientes, mareas, olas y viento. Los datos utilizados para este análisis serán tanto de tipo empírico (formulaciones matemáticas) como estadístico.

**DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE CARGA.** Las hipótesis de carga son una combinación de varios tipos de cargas que se esquematizan a continuación:

- **Cargas ambientales:** creadas por la ola máxima, las velocidades máximas del viento, actuaciones combinadas de diversas condiciones ambientales, hielo y nieve y sus posibles efectos dinámicos.
- **Cargas fijas:** peso de la estructura y todos sus componentes.
- **Cargas de operación:** producidas por los trabajos en la instalación (alimentación, cambios de redes, despesque...).
- **Cargas de uso:** originadas por el aumento de peso debido al ensuciamiento de la instalación («fouling»).
- **Cargas eventuales:** provocadas por hechos no habituales como la colocación de pesos extraordinarios por motivos especiales.
- **Cargas accidentales:** impactos del buque auxiliar o de las olas sobre la estructura.
- **Cargas locales:** zonas problemáticas.
- **Cargas de construcción:** producidas durante el montaje de la instalación.

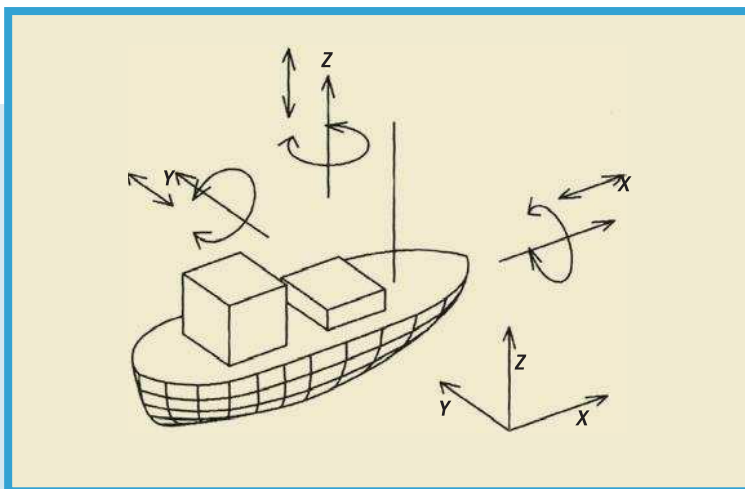
- **Cargas hidrostáticas:** no se consideran porque no hay diferencias de presión en la parte sumergida.

ELECCIÓN DE LOS MATERIALES ADECUADOS: teniendo en cuenta la resistencia estructural, su coste, el montaje y su comportamiento en el medio marino.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES: considerando las diversas situaciones de carga y analizando más a fondo la más desfavorable.

Todas las fuerzas que actúan sobre una instalación flotante se pueden desdoblar en tres componentes lineales en las direcciones de los ejes X, Y y Z y tres momentos alrededor de los mismos ejes. La figura 10.1 visualiza estos componentes que provocan movimientos lineales y de rotación que se detallan a continuación:

- Movimientos lineales:
  1. Movimiento horizontal en el sentido del eje longitudinal.
  2. Movimiento vertical.
  3. Movimiento horizontal en el sentido del eje transversal.
- Movimientos de rotación:
  1. Rotación sobre el eje longitudinal o balanceo.
  2. Rotación sobre el eje vertical.



**FIGURA 10.1.** Movimientos instalación flotante (Beveridge y Lekang).



3. Rotación sobre el eje transversal o cabeceo.

Para la realización práctica de los cálculos las tres fuerzas y los tres momentos se reducen a dos: una fuerza resultante horizontal y otra vertical.

La figura 10.2 esquematiza las fuerzas principales que actúan sobre un vivero: en línea discontinua las fuerzas dinámicas y en línea continua las fuerzas estáticas.

A modo de ejemplo y para tener una idea aproximada de las principales variables utilizadas se citan a continuación unas **condiciones mínimas**, bastante aceptadas, para cualquier cálculo de instalaciones flotantes de acuicultura:

- Altura significativa de ola: 1,5 metros.
- Velocidad de la corriente: 1 m / seg.
- Velocidad del viento: 30 m / seg. Durante un período mínimo de 10 minutos.
- «Fouling»: 30 % del área sumergida.

## 10.1. ANÁLISIS DE LOS AGENTES EXTERNOS

Los condicionantes ambientales que se deben considerar son los siguientes: las mareas, el viento, las olas y las corrientes. La figura 10.3,

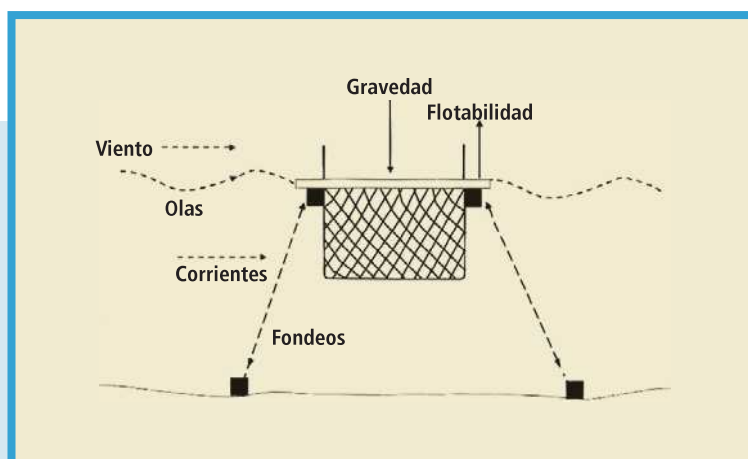


FIGURA 10.2. Fuerzas estáticas y dinámicas (Beveridge).



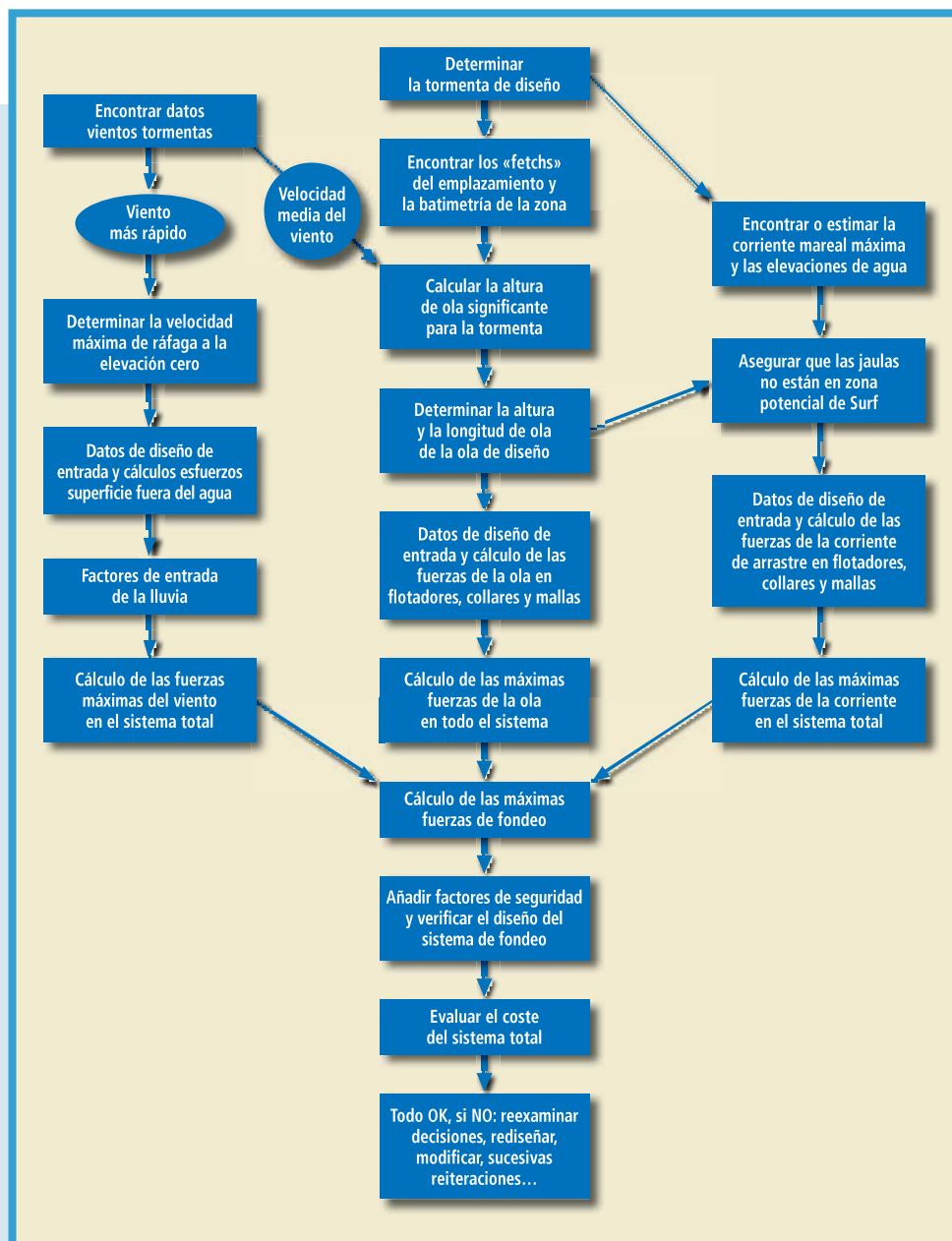


FIGURA 10.3.

Procedimiento para el diseño estructural de una instalación de cultivo en el mar (Huguenin).



preparada por Huguenin visualiza un procedimiento recomendado para realizar el diseño estructural de una instalación de cultivo en el mar.

### 10.1.1. Mareas

Así como en el Mediterráneo no es necesario considerar la influencia de las mareas, en el Atlántico sí deben ser consideradas ya que hay variaciones importantes entre las pleamares y las bajamares. Los datos esquematizados a continuación deben ser recopilados para la zona donde se va a ubicar la instalación:

- Nivel medio del agua.
- Amplitud de la marea: diferencia entre la pleamar y la bajamar.
- Coeficiente de mareas (c): es común para todos los puertos, pero varía día a día entre 0,20 y 1,20 de ese valor.
- Semi amplitud (a): se refiere a un dato concreto de cada puerto denominado unidad de altura (u), que es la semi amplitud correspondiente a la sicigia media. Se define con la fórmula:  $a = u \times c$ .
- Bajamar escorada (datum o cero hidrográfico) =  $1,18 \times u$ .
- Sonda de la carta ( $S_c$ ): profundidad en las cartas marítimas de la zona.
- Sonda de la pleamar  $S_{pl} = S_c + 1,18 \times u + u \times c$ .
- Sonda de bajamar  $S_{bj} = S_c + 1,18 \times u - u \times c$ .

La figura 10.4 ilustra algunas de estas variables.

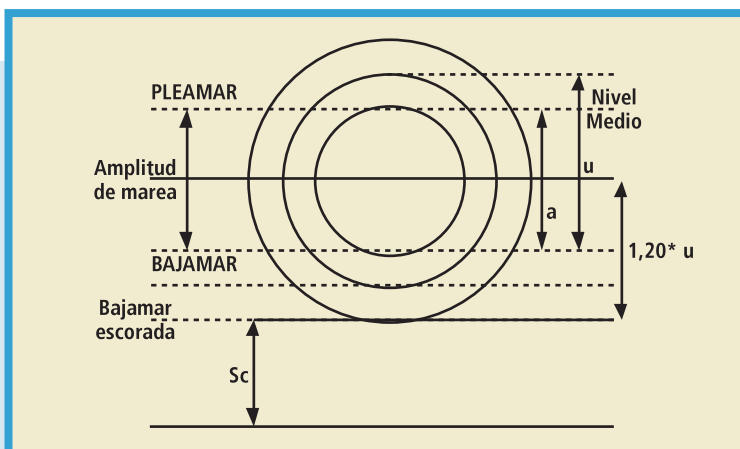


FIGURA 10.4. Variables de las mareas.



Los datos de una determinada zona se refieren a un puerto patrón que suele ser el más cercano. Es necesario resaltar que toda la península Ibérica se considera con el mismo huso horario. Las horas obtenidas en las tablas son las horas legales, correspondientes al huso horario, no las oficiales que llevan una o dos horas de adelanto dependiendo de la época del año.

Entrando en las tablas de mareas se obtienen la pleamar máxima y la bajamar mínima. En la carta marítima aplicable se obtiene la sonda de la carta ( $S_c$ ) y ya se pueden calcular los valores del nivel de agua máximo y mínimo que afectarán a la estructura:

$$\text{Nivel máximo} = S_c + \text{Pleamar máxima.}$$

$$\text{Nivel mínimo} = S_c + \text{Bajamar mínima.}$$

### 10.1.2. Olas. Cálculo de su altura y frecuencia

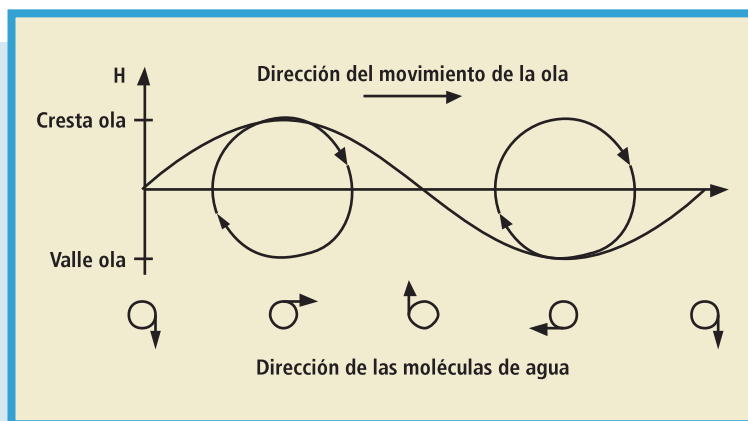
El oleaje es uno de los fenómenos ambientales que provoca esfuerzos importantes sobre la estructura. Los esfuerzos dinámicos también van a producir efectos de fatiga por lo que también deben ser considerados y analizados.

Antes de iniciar los párrafos dedicados a los cálculos propiamente dichos, se detallarán unas nociones sobre la formación de olas y algunos fenómenos asociados a su actuación.

Para ilustrar que es una ola y como se desplaza, se puede representar el volumen de agua por una multitud de partículas de agua individuales que son transportadas horizontal y verticalmente con la ola (figura 10.5).

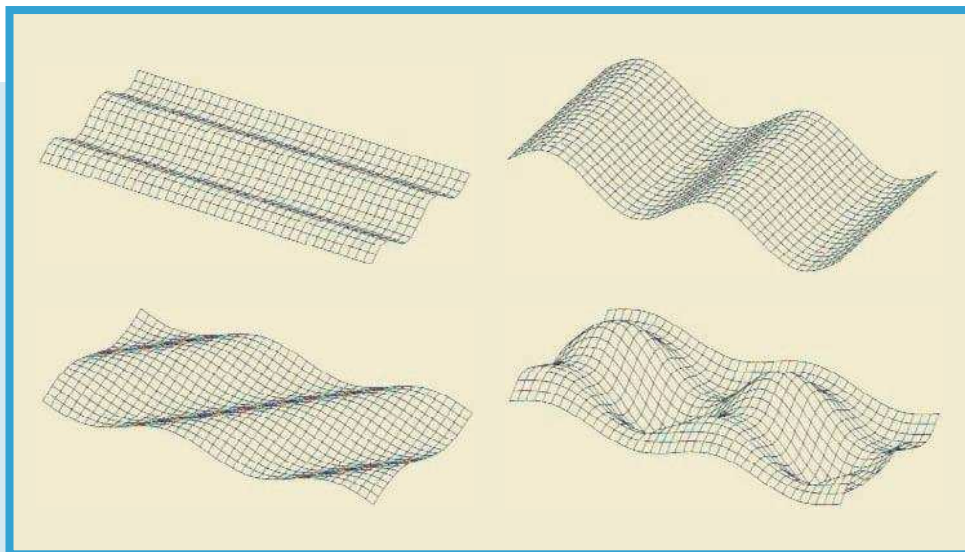
Estas partículas se mueven hacia arriba con la cresta y hacia abajo con el valle. No hay transporte de partículas de agua a lo largo de la ola si esta no rompe. Las partículas permanecen en un mismo lugar, pero rotan en una órbita. La corriente es la causa del transporte de estas partículas en el mar.

De una forma sencilla, pero que no representa la realidad, pero que puede ser suficiente para ciertos cálculos, las olas se pueden asimilar a ondas sinusoidales y todo el conocimiento geométrico de estas puede ser usado para las olas. Las partículas de agua individuales rotan en una órbita circular donde su velocidad y aceleración varía dependiendo de la situación de la partícula en la órbita: arriba en la cresta o abajo en el valle.



**FIGURA 10.5.** Movimiento de las partículas del agua (Lekang).

Sin embargo, en la realidad, las olas no se comportan como ondas sinusoidales. La ola es una suma de varios sistemas de olas que vienen de diferentes direcciones, con diferentes períodos, altura y fases. La figura 10.6 visualiza varias olas individuales y el sistema final cuando se combinan.



**FIGURA 10.6.** Combinación de olas (Lekang).

Para la elaboración de estos espectros de olas es necesario usar programas de ordenador. Con la simplificación de la teoría lineal, usando ondas sinusoidales, se han desarrollado una serie de fórmulas para calcular el movimiento de la ola y su energía total.

Dependiendo de la profundidad la ola tiene efectos diferentes: en aguas poco profundas la ola afecta a toda la profundidad; en profundidades intermedias el efecto en el fondo es casi nulo y en grandes profundidades el efecto solo se nota hasta una profundidad de media longitud de onda de la ola. Este hecho también aconseja el uso de viveros sumergidos en zonas de olas importantes, ya que a una profundidad equivalente a una longitud de ola los efectos son nulos.

Una ola «rompe» cuando su altura es relativamente mayor que su longitud (figura 10.7). Las crestas con espuma blanca caracterizan visualmente la rompiente de las olas. La mayor parte de la energía de una ola se consume cuando inicia la ruptura. La relación para que se produzca la rompiente de una ola es la siguiente:

$$H/L > 1/7$$

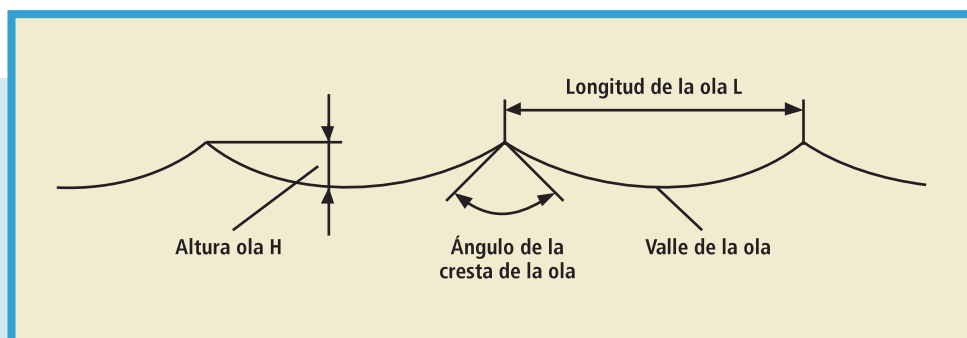
Siendo H = Altura de la ola.

L = Longitud de la ola.

Cuando una ola rompe hay un transporte neto de agua en el dirección de la rompiente.

Los factores más importantes que crean las olas son los siguientes:

- El viento.
- La estela de los barcos.



**FIGURA 10.7.** Altura y longitud de la ola (Lekang).





- Los terremotos y los volcanes submarinos (Tsunamis).
- Las mareas.

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

Los tsunamis tienen una enorme longitud de ola ( $> 100$  m.) y un período muy largo (1.000 segundos). Estas olas almacenan una cantidad de energía increíble. No representan un peligro real para un barco navegando porque la longitud de ola es muy grande y el barco puede subir y bajar la ola. Sin embargo cuando alcanza aguas someras y empieza a romper, pueden alcanzar alturas de 30 metros y toda la energía que almacena se libera con consecuencias fatales.

Las olas creadas por las mareas no presentan problemas para las instalaciones de acuicultura por su gran longitud de ola y su enorme período (hasta 12,5 horas). Sin embargo pueden crear corrientes muy fuertes.

A continuación se profundiza un poco en las olas creadas por el viento ya que son las que mayor influencia tienen en las instalaciones acuícolas.

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

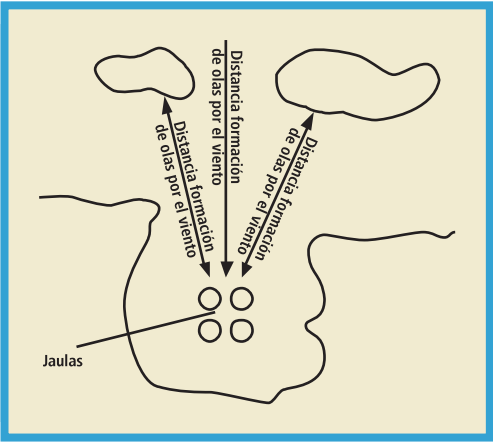
La altura de la ola creada por el viento depende de los siguientes factores:

- $V_v$  = Velocidad del viento.
- $t_v$  = Duración del viento.
- $F$  = Distancia en la superficie del agua donde el viento sopla y puede crear olas = Distancia para la formación de olas por el viento («fetch» length) (figura 10.8)
- Presencia de otras olas donde el viento empieza a soplar.

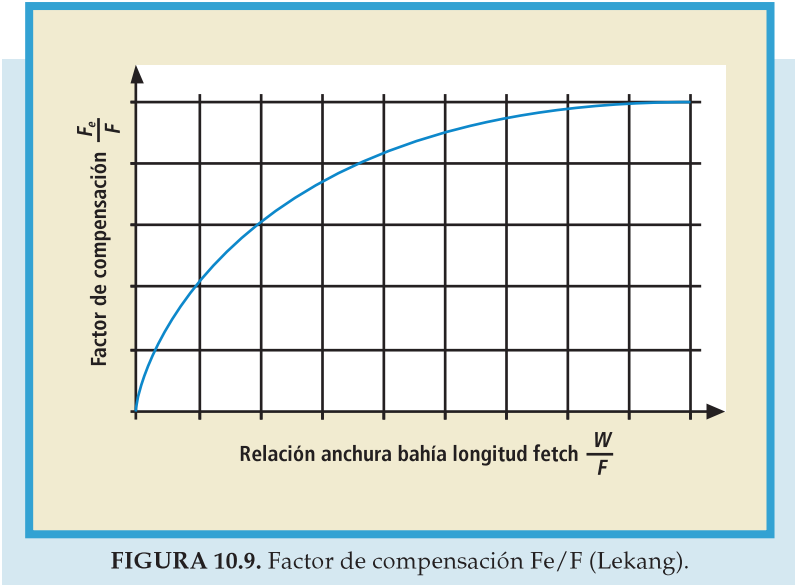
En aguas protegidas, la longitud de formación de olas por el viento está limitada por las costas y se puede averiguar en una carta como la



**FIGURA 10.8.**  
Distancia formación  
de olas por  
el viento (Lekang).



longitud de superficie libre de agua. Si esta distancia es corta como en bahías cerradas el efecto del viento será menor porque la fricción contra la tierra circundante reduce la velocidad. Para calcular la longitud efectiva de formación de olas ( $F_e$ ) se utiliza un factor de compensación que se visualiza en la figura 10.9. Conociendo la longitud desde donde sopla el viento (distancia de formación de olas por el viento) y la



**FIGURA 10.9.** Factor de compensación  $F_e/F$  (Lekang).



anchura de la bahía ( $W$ ) se puede calcular con la figura antes citada el factor de compensación.

En aguas poco profundas y a profundidades mayores que 15 metros se puede calcular la altura de la ola y su período con el método de Sverdrup-Munk-Bretsneider (SMB). Las fórmulas y los diagramas se han desarrollado para calcular estas dos variables en función de los siguientes parámetros:

- $V_v$  = Velocidad del viento.
- $t_v$  = Duración del viento.
- $F_e$  = Longitud efectiva de formación de olas

El diagrama de la figura 10.10 ayuda para estos cálculos:

Con los tres valores antes citados se procede de la siguiente forma:

Con los valores de la velocidad del viento  $V_v$  y su duración  $t_v$  se obtiene un valor de la altura de la ola y un valor de su período. Para esto es necesario interpolar los valores que no se encuentran en los ejes, que son la duración del viento, el período de la ola y la altura de la ola, trazando las oportunas líneas paralelas.

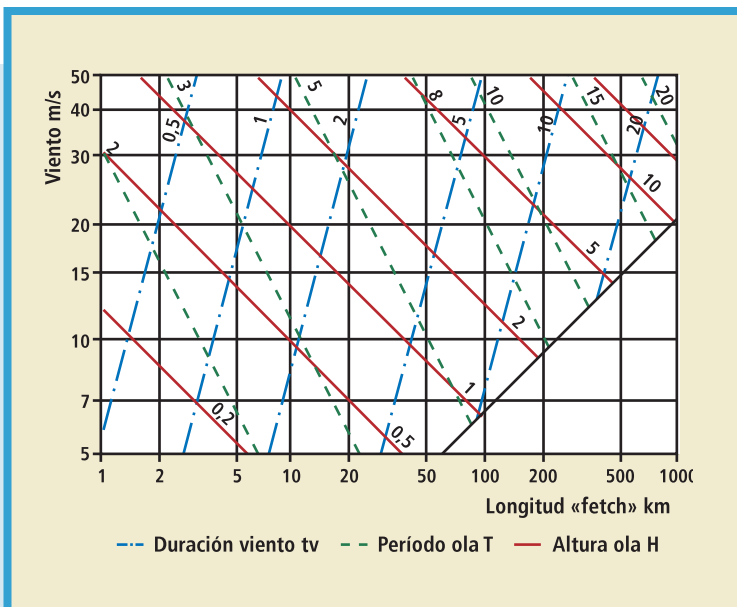


FIGURA 10.10. Cálculo de altura de ola (método SMB).



Con los valores de la velocidad del viento  $V_v$  y longitud efectiva de formación de olas  $F_e$  se obtiene otro valor de la altura de la ola y otro valor de su período.

De los dos valores encontrados, el más bajo será la altura de la ola en el emplazamiento definido porque la duración del viento o la longitud efectiva de formación de olas limitarán el máximo valor. Por ejemplo, si la altura de ola definida por la duración del viento es más pequeña, este parámetro ya está limitando a la ola. Lo mismo sucede con la longitud efectiva de formación de olas.

Si los parámetros necesarios para el cálculo están en unidades náuticas tradicionales, es necesario convertirlas a unidades del sistema métrico con las siguientes equivalencias:

- 1 pie (ft) = 0,3048 metros.
- 1 nudo (kn) = 0,5144 m / seg.
- 1 milla náutica = 1.852 metros.

En condiciones de mar abierto, sin limitaciones en la duración del viento, la altura de la ola dependerá únicamente de la longitud efectiva de formación de olas y de la velocidad del viento. Con estas consideraciones la altura de ola se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$H_s = 5,112 \times 10^{-4} V_A F^{1/2} \text{ (metros)}$$

$$T_s = 6,238 \times 10^{-2} (V_A F)^{1/3} \text{ (segundos)}$$

$$V_A = 0,71 V^{1,23} \text{ (m / seg.)}$$

Siendo:

$H_s$  = Altura de ola significativa.

$V_A$  = Velocidad del viento ajustada.

$F$  = Longitud efectiva de formación de olas.

$T_s$  = Período de la ola significativa.

$V$  = Velocidad del viento (valor tomado a 10 metros sobre el nivel del mar y con una duración media de 10 minutos).

La siguiente expresión se puede utilizar para el cálculo de la altura máxima de ola de la ola significativa:

$$H_{\max} = 1,9 H_s$$

Las olas oceánicas son aquellas creadas muy lejos y pueden afectar a las flotillas de jaulas situadas en frente de ellas. En este caso es cuando



se necesitan los rompeolas o sistemas para reducir la energía. Estas olas se caracterizan por una gran altitud y por una amplia longitud de ola. Los períodos también son mucho más grandes: 9-20 segundos frente al de las olas habituales que suele ser entre 2 y 11 segundos.

Las fuentes de información que se pueden utilizar se detallan a continuación.

La **Escala Beaufort** proporciona la velocidad esperada del viento para diferentes fuerzas del mismo.

**Atlas de clima marítimo en el litoral español del Instituto Meteorológico.** El estudio de las olas incluido en este manual incorpora valores extremales y medios de las olas en ciertos puntos del litoral español. Estos valores se obtuvieron mediante observación visual y con boyas tipo REMRO.

El documento ROM 0.3-91. OLEAJE incluye toda la información necesaria y es auto explicativo.

Algunos de los datos que se pueden obtener se identifican a continuación y permiten averiguar por correlación el binomio altura de ola significativa-período medio de la ola:

- Altura media significativa de ola ( $H_s$ ).
- Altura máxima registrada ( $H_m$ ).
- Número de temporales al año.
- Peralte de la ola =  $H_s / L_T$ .
- $T_p$  = Período de pico del oleaje.
- $L_T$  = Longitud de onda asociada al periodo medio.

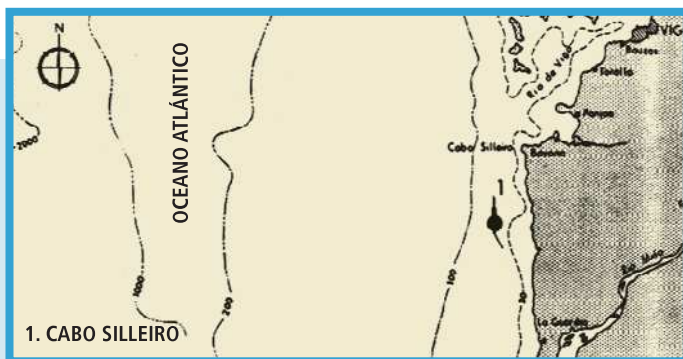


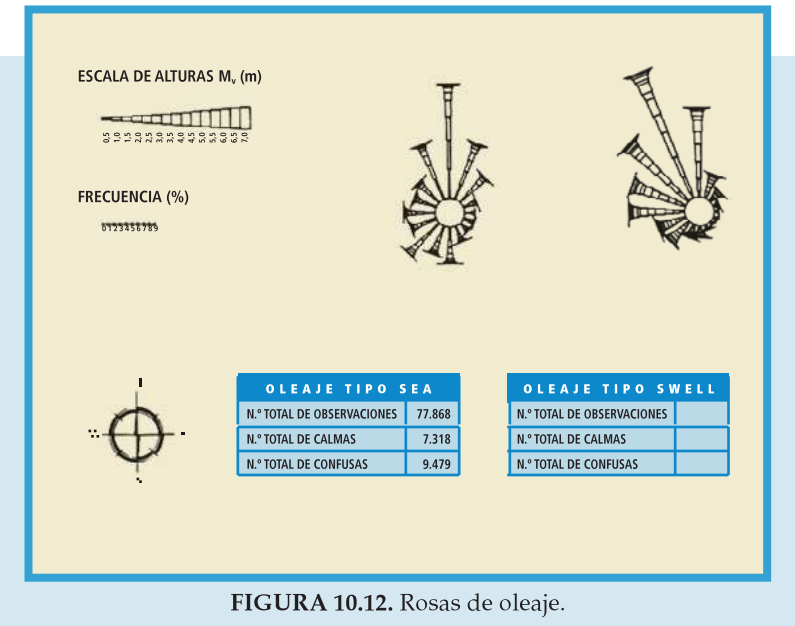
FIGURA 10.11. Localización de boya.





- $T_{media}$  = Período medio del oleaje.
- $T_p = (4 \text{ a } 8.2) \times (H_s)^{1/2}$

Las figuras 10.11 y 10.12 ilustran una localización de boya (Cabo Silleiro) y las rosas de oleaje para la misma zona.



Estos datos tienen el inconveniente que se recogen en zonas muchas veces bastante alejadas del emplazamiento, con lo que los valores aportados no son reales y casi siempre son muy superiores a los de la zona de la instalación.

### 10.1.3. Acción del viento sobre la instalación

Además de las fórmulas sencillas, ya expuestas en el capítulo 3.1 (páginas 13 y siguientes), para el cálculo de la acción del viento sobre una instalación de viveros, en este capítulo se incluye otra metodología de cálculo válida para cualquier instalación.

Como documentación de referencia, ya citada anteriormente, la **Escala Beaufort** proporciona la velocidad esperada del viento para diferentes fuerzas del mismo. Basada en esta escala se adjunta el cuadro



10.13 que suministra diversas velocidades del viento, según la escala de fuerzas Beaufort, y la presión que ejercen en un metro cuadrado de superficie situada perpendicularmente a la dirección del viento. La figura 10.16 visualiza la relación entre las escalas Beaufort y Douglas para medidas del viento.

**FIGURA 10.13.**  
Velocidades del viento y fuerzas de presión (Muir).

Fuerza Beaufort	Fuerza 2	Fuerza 4	Fuerza 6	Fuerza 8	Fuerza 10	Fuerza 12	50 años
Velocidad del viento (knots)	~5,0	~13,5	~24,5	~37,0	~51,5	~68,0	~77,7
Velocidad del viento (m/seg.)	2,6	7,0	12,6	19,1	26,5	35,0	40,0
Presión del viento kN/m <sup>2</sup>	4	30	96	223	426	751	981
Presión del viento kgf/m <sup>2</sup>	<1/2	3	10	23	44	77	100

Normalmente el viento tiene influencia sobre grandes instalaciones flotantes porque la superficie expuesta es importante. En el caso de viveiros flotantes (que se trata más adelante) su influencia es mucho menor.

#### 10.1.3.1. Velocidad del viento

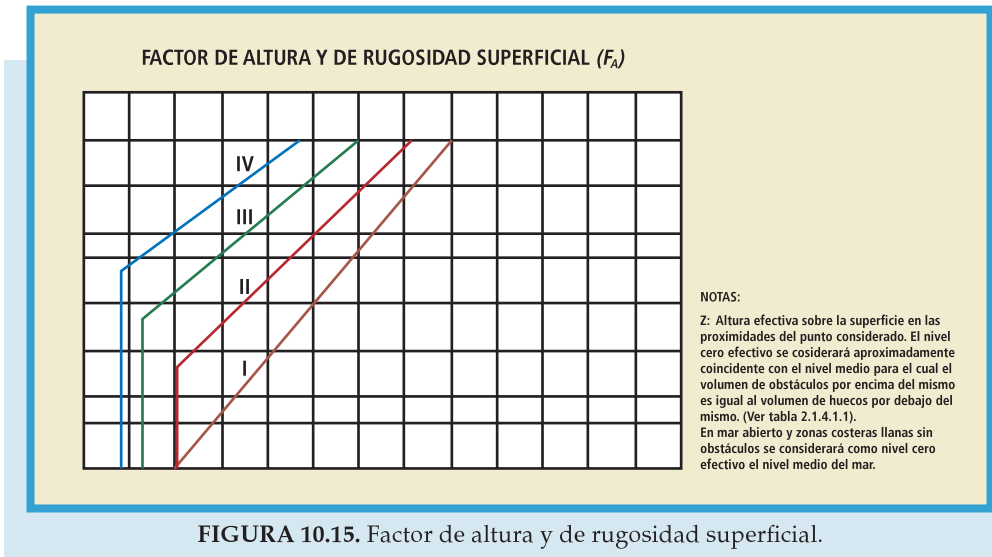
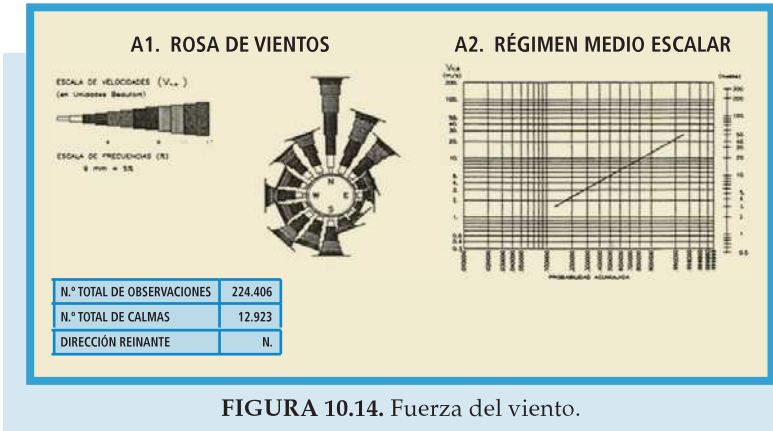
El estudio del viento se basa en los datos obtenidos de las «Recomendaciones para obras marítimas. Rom.0.4-95. Acciones climáticas II: viento». Estos datos del viento son, muy a menudo, estadísticas registradas en las zonas de los aeropuertos y pueden ser extrapolables a las zonas próximas con las consecuentes restricciones por la propia topología del suelo de la zona y de la altura que consideremos.

El dato de partida debe ser el viento extremal registrado en la dirección más desfavorable en cuanto a fuerza del viento. Incluso pueden considerarse los valores máximos de este registro, con un periodo de retorno de 50 años.

Gráficas como las mostradas en la figura 10.14 permiten identificar el valor de la fuerza o la velocidad del viento.

A este valor se le deben aplicar los siguientes coeficientes correctores para adaptarlos más a la situación de la instalación:

- $F_A$ : Factor de altura y rugosidad superficial (tabla 2.1.4.1.2 del manual, que se adjunta en la figura 10.15). Como ejemplo se puede citar que si la instalación está en mar abierto (situación I, caso más



desfavorable) y su altura máxima es de 5 metros, el coeficiente que le corresponde es de 0.92.

- $F_T$ : Factor topográfico. Si el viento viene de mar abierto no hay ningún tipo de orografía que acelere o desacelere el viento. Salvo en casos muy extremos este factor puede considerarse como 1 (mar abierto).
- $F_R$ : Factor de ráfaga. Este coeficiente puede variar según el tipo y tamaño de la estructura que se considera. Normalmente la longi-



tud de la estructura es inferior a 50 metros, para la cual se recomienda estudiar una ráfaga de tiempo de duración 5 segundos, lo que equivale a un factor de ráfaga de 1,42.

Aplicando estos coeficientes correctores al valor de la velocidad de los vientos de la rosa se obtiene el valor a utilizar.

El reglamento del Bureau Veritas para granjas marinas requiere tomar una velocidad mínima de 36 m/s, siempre que no se dispongan de datos fiables en la región.

### 10.1.3.2. Presión dinámica del viento

La acción del viento sobre la estructura será la suma de las presiones que actúan sobre cada una de las superficies que la componen.

Se define como presión dinámica del viento, la presión unitaria producida por el viento en aquel punto donde su velocidad se hace cero. Se considera que la presión dinámica del viento actúa perpendicularmente a la superficie. Para una velocidad de viento de proyecto se determina la presión dinámica mediante la fórmula siguiente:

$$q_{v,t} = (\rho/2) \times V_M^2$$

Siendo:

$q_{v,t}$  = Presión dinámica a la velocidad del viento en P a.

$\rho$  = Densidad del aire en Kg. / m<sup>3</sup>.

$V_M$  = Velocidad del viento en m / seg.

La densidad del aire se puede tomar como 1,225 Kg. / m<sup>3</sup> aunque la formulación del atlas climatológico advierte que se considere el fenómeno del roción (viento con agua en suspensión por el batir del oleaje). Esto puede llevar a elevar la densidad hasta un máximo de 10 Kg. / m<sup>3</sup>. En el caso de aguas interiores y si la velocidad extremal máxima no es muy elevada (alrededor de 25 m / seg.) se puede considerar que no se alcanza este fenómeno y se puede utilizar el valor de 1.225 Kg. / m<sup>3</sup>.

### 10.1.3.3. Fuerzas de presión

El viento produce sobre cada elemento superficial de la estructura, una sobrecarga unitaria  $p$  actuando en dirección normal a la superficie, de valor.

$$p = C_{fx} \times q_{v,t}$$



Siendo:

$p$  = Presión asociada a ese viento.

$C_{fx}$  = Coeficiente eólico de fuerza.

Este coeficiente es empírico y adimensional y depende de la posición del elemento que se considere, de la forma y de otras variables. En el cuadro 10.17 se puede obtener, así como la resultante de las fuerzas de presión en la dirección del viento y en la vertical.

Considerando la altura de la superestructura y el diámetro de la misma se obtiene un coeficiente. Este coeficiente se debe corregir por la esbeltez infinita de los pilares con un coeficiente que se obtiene del cuadro 3.2.2.3.4 (figura 10.18) del ROM 0.4-95 Acciones climáticas II: Viento, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995. El coeficiente eólico final se obtiene multiplicando los dos factores anteriores.

Con el coeficiente eólico calculado ( $C_{fx}$ ) y la superficie efectiva expuesta al viento de la estructura ( $A_e$ ) ya se pueden calcular las componentes de la fuerza resultante de la presión del viento según las instrucciones del cuadro 10.16:

$$R_{vx} = C_{fx} \times q_{vt} \times A_e$$

Siendo:

$R_{vx}$  = Componente horizontal (paralela a la superficie del agua).

$$R_{vy} = 0.25 \times R_{vx}$$

Siendo:

$R_{vy}$  = Componente vertical.

### 10.1.3.4. Punto de aplicación de la fuerza del viento

La fuerza del viento se aplicará en el centro vélico de la estructura. Este punto se encuentra en el centro de gravedad del área de la estructura expuesta al viento. El centro vélico cambia con la altura de marea, aunque para el cálculo se considera el centro vélico de la pleamar, ya que en esta circunstancia se producen los mayores esfuerzos que tiene que soportar la estructura.

Para el cálculo de este punto se consideran las superficies de todos los elementos de la estructura y la altura de su centro de gravedad.





TABLA 2.2.2.2.1.  
ESCALA BEAUFORT DE VELOCIDAD DEL VIENTO. EQUIVALENCIA ENTRE  
EL NÚMERO BEAUFORT Y LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO\* A UNA  
ALTURA DE REFERENCIA DE 10 M. SOBRE LA SUPERFICIE EN MAR  
ABIERTO O CAMPO ABIERTO PLANO SIN OBSTÁCULOS

VIENTO	NÚMERO BEAUFORT	m/s	nudos
Calma	0	<0,3 (Calma)	<1 (Calma)
Ventolina	1	0,3-1,5	1-3
Flojito	2	1,6-3,3	4-6
Apacible	3	3,4-5,4	7-10
Bonancible	4	5,4-7,9	11-16
Fresquito	5	8,0-10,7	17-21
Fresco	6	10,8-13,8	22-27
Frescachón	7	13,9-17,1	28-33
Duro	8	17,2-20,7	34-40
Muy Duro	9	20,8-24,4	41-47
Temporal	10	24,5-28,4	48-45
Borrasca	11	28,5-32,6	56-63
Huracán	12	≥32,7	≥64

NOTAS\*:

Para considerar el intervalo de medición asociado a la velocidad media definida para esta tabla debe tomarse en consideración lo definido en el párrafo «Problemas de correlación entre los parámetros representativos del viento obtenidos instrumentalmente y los estimados desde buques en ruta», del apartado 2.2.2.2.

TABLA N.º 2.4  
ESCALA DE DOUGLAS

GRADO DOUGLAS	DENOMINACIÓN	EQUIVALENCIA BEAUFORT	ALTURA DE OLA (m)
0	Calma	0	0
1	Llana	1	0-0,1
2	Rizada	2	0,1-0,5
		3	
3	Marejadilla	4	0,5-1,25
4	Marejada	5	1,25-2,50
5	Gruesa	6	2,50-4,00
6	Muy gruesa	7	4-6
		8	
7	Arbolada	9	6-9
8	Montañosa	10	9-14
9	Confusa	11	más de 14
		12	

FIGURA 10.16. Escalas Beaufort y Douglas.

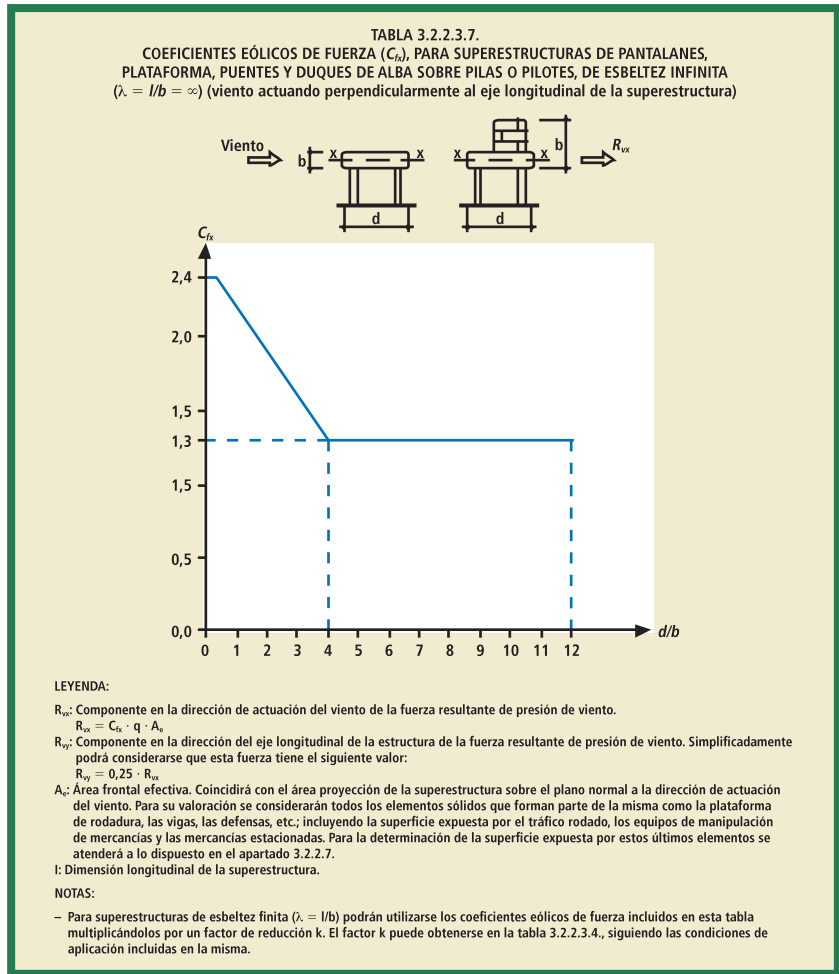
Este punto de aplicación unido a la fuerza anteriormente calculada proporciona el momento resultante de la fuerza del viento.

#### 10.1.4. Acción de la corriente sobre la instalación

Además de las fórmulas sencillas ya expuestas en el capítulo 3.1 (páginas 13 y siguientes), para el cálculo de la acción de la corriente sobre una instalación de viveros, en este capítulo se incluye otra metodología de cálculo válida para cualquier instalación.

La corriente es uno de los principales factores de creación de fuerzas y es de gran importancia para las instalaciones de viveros flotantes. Los orígenes de las corrientes se esquematizan a continuación y se desarrollan en las páginas siguientes:

**CUADRO 10.17.**  
Coeficientes eólicos de fuerza.



- Viento.
- Mareas.
- Caudales de agua locales (ríos).
- Grandes corrientes oceánicas (corriente del golfo).
- Corrientes costeras.

Las corrientes crean movimientos horizontales y verticales de agua. En Acuicultura se centran más las consideraciones en las horizontales.



TABLA 3.2.2.3.4.  
 COEFICIENTES EÓLICOS DE FUERZA ( $C_x$  y  $C_y$ ).  
 PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CARAS PLANAS Y ESBELTEZ INFINITA  
 ( $\lambda = \infty$ ) (viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural)

$\alpha$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$		
0°	+1,9	+0,95	+1,8	+1,8	+1,75	+0,1	+1,6	0	+2,0	0	+2,05	0
45°	+1,8	+0,8	+2,1	+1,8	+0,85	+0,85	+1,5	-0,1	+1,2	+0,9	+1,85	+0,6
90°	+2,0	+1,7	-1,9	-1,0	+0,1	+1,75	-0,95	+0,7	-1,6	+2,15	0	+0,6
135°	-1,8	-0,1	-2,0	+0,3	-0,75	+0,75	-0,5	+1,05	-1,1	+2,4	-1,6	+0,4
180°	-2,0	+0,1	-1,4	-1,4	-1,75	-0,1	-1,5	$\pm 0$	-1,7	2,1	-1,8	0

$\alpha$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$
0°	+1,4	0	+2,05	0	+1,6	0	+2,0	0	+2,1	0	+2,0	0
45°	+1,2	+1,6	+1,95	+0,6	+1,5	+1,5	+1,8	+0,1	+1,4	+0,7	+1,55	+1,55
90°	0	+2,2	+0,5	+0,9	0	+1,9	0	+0,1	0	+0,75	0	+2,0

LEYENDA:

$R_{wx}$ : Componente según la dirección del eje x de la fuerza resultante de presión de viento.  $R_{wx} = C_x \cdot q \cdot l \cdot b$   
 $R_{wy}$ : Componente según la dirección del eje y de la fuerza resultante de presión de viento.  $R_{wy} = C_y \cdot q \cdot l \cdot b$   
 l: Dimensión longitudinal del elemento estructural.

NOTAS:

- Las fuerzas  $R_{wx}$  y  $R_{wy}$  pueden considerarse uniformemente distribuidas a lo largo del eje longitudinal del elemento estructural.
- Los signos más o menos de los coeficientes eólicos de fuerza indican respectivamente que las fuerzas resultantes tienen igual sentido o sentido contrario que el indicado en las figuras.
- Para elementos estructurales de esbeltez finita podrán utilizarse los coeficientes eólicos de fuerza incluidos en esta tabla multiplicándolos por un factor de reducción k. El factor k puede obtenerse de la tabla adjunta para elementos estructurales de caras planas o de sección circular en función de la esbeltez  $\lambda = l/b$ , siendo l la mayor dimensión de la superficie proyección de la estructura en un plano perpendicular a la dirección del viento, y b, la menor dimensión de la misma superficie. Para aquellos elementos estructurales confinados por un plano en un extremo, a los efectos de la determinación de k se considerará que tienen una esbeltez doble. Por el contrario, si están confinados por planos en los dos extremos se considerará que tienen una esbeltez infinita.

FIGURA 10.18.  
 Coeficiente corrección esbeltez.

Al ser un factor de gran importancia, el proyecto debe dedicar un estudio pormenorizado a este fenómeno ambiental.

Un dato interesante, basado en la experiencia, es que la máxima velocidad de las corrientes que permite la supervivencia de los peces y suele ser el límite máximo para el comportamiento de la red se fija entre 2,5 y 3 nudos.

Las **corrientes creadas por el viento** se originan por el arrastre del viento sobre la superficie del agua. La velocidad de la corriente creada



depende de la fuerza del viento. Como el arrastre es en la superficie la corriente será más fuerte en esta zona y disminuirá con la profundidad.

La ecuación siguiente se puede utilizar para el cálculo de la corriente creada por viento en aguas abiertas:

$$U_v(z) = 0,02 U_{10} (50 - z/50)$$

Siendo:

$U_v(z)$  = Velocidad de la corriente a una profundidad  $z$ . (m / seg.)

$U_{10}$  = Velocidad del viento medida a una distancia de 10 metros sobre el nivel del agua. (m / seg.)

$Z$  = profundidad donde la corriente se quiere obtener.

Como regla general y aproximada se puede considerar que para mar abierto la velocidad de la corriente es un 2 % de la velocidad del viento. En aguas menos profundas la velocidad de las corrientes creadas por el viento es algo mayor, pudiendo llegar al 5 %. Este hecho se debe en parte a la estratificación del agua y a los espesores mas reducidos de las capas de agua que son arrastradas por el viento.

Las **corrientes mareales** se crean por la variabilidad de las mareas. En espacios interiores muy cerrados la velocidad de las corrientes de las mareas puede llegar a ser muy alta. En uno de los fiordos al norte de Noruega se ha encontrado el mayor valor conocido: 16 nudos (8,23 m / seg.).

En mar abierto estas corrientes son menores. No suelen variar a lo largo de la columna de agua y su mayor valor se presenta a «media marea».

Las **corrientes oceánicas** suelen estar influenciadas por la densidad del agua, el efecto Coriolis, la gravedad y el viento. La corriente del Golfo es una de las mayores conocidas: empieza en el Golfo de México, sigue la costa este de EEUU, atraviesa el Atlántico, pasa cerca del Norte de Galicia y llega hasta las costas de Irlanda, Gran Bretaña y Noruega.

La **medida de las corrientes** es muy importante en cada emplazamiento. Se debe realizar durante un año como mínimo y sobre todo en los períodos de grandes variaciones. Los resultados se pueden representar en una rosa de corrientes similar a la de los vientos.



Como en las instalaciones suele haber estructuras tubulares se puede utilizar la formulación del «American Petroleum Institute (API)». La reglamentación del Bureau Veritas remite a métodos de cálculo offshore de sociedades análogas, como es la formulación API:

$$F_c = C \times A \times V_c^2$$

Siendo:

$F_c$  = Fuerza de la corriente en N w.

$C = 257,81$ . Coeficiente empírico usado por API.

$A$  = Área proyectada de los elementos tubulares en  $m^2$ .

$V_c$  = Velocidad de la corriente en m/s.

La velocidad de la corriente se obtiene normalmente de datos empíricos. El valor mínimo aconsejado por el reglamento de Bureau Veritas es de 0,5 m/s.

Esta misma fórmula se puede utilizar para jaulas sólidas o protegidas como en algunos casos de peces planos. Se pueden tratar las jaulas como sólidos circulares, adoptando el coeficiente así estipulado en el API, ya que aunque estas en un principio puedan presentar penetrabilidad por la corriente, el «fouling» posterior que se depositará en las redes las harán ser semejantes a sólidos.

Los puntos de aplicación de las fuerzas de la corriente para las estructuras tubulares y para las jaulas consideradas como sólidos se detallan a continuación.

Según se especifica en el reglamento de granjas acuícolas de Bureau Veritas, la distribución de fuerzas sobre la estructura puede considerarse, para las fuerzas de la corriente, lineal. Con esta distribución los puntos de aplicación de las fuerzas resultantes sobre estructuras tubulares flotantes están situados a dos tercios del fondo con respecto a la altura de inmersión de dichas estructuras tubulares.

El punto de aplicación de la fuerza de la corriente, en las jaulas antes citadas, se puede considerar en el centro geométrico de las mismas.

#### 10.1.5. Hipótesis de carga

La elección de las hipótesis de carga sobre una estructura constituye el paso vital para el correcto dimensionamiento de la instalación. Dentro de estas hipótesis se pueden considerar la actuación de múltiples





cargas tanto en intensidad, dirección de actuación, combinación de las mismas... El reglamento del Bureau Veritas establece el estudio de diferentes hipótesis de carga, y puede servir como base para la definición de las mismas. Las hipótesis de carga en cada elemento de la estructura variarán dependiendo de las cargas que actúen sobre estos.

### 10.1.5.1. Hipótesis de cargas estáticas

En esta hipótesis se considera la combinación más desfavorable de cargas fijas y operacionales. En esta hipótesis no se tienen en cuenta las cargas ambientales.

Dentro de las cargas fijas solo se consideran el peso propio de la estructura y el peso de los equipos instalados permanentemente. Este tipo de cargas actuará principalmente en sentido vertical a la superficie del agua. Por tanto el efecto más importante que provocan es el pandeo. Estas cargas además generan flexión compuesta, debido a la distancia que existe entre el eje principal de inercia de la sección y el punto de aplicación de algunas cargas.

Las cargas operacionales están provocadas principalmente por los operarios y los equipos de trabajo que utilizan. Este tipo de cargas generarán principalmente flexiones.

### 10.1.5.2. Hipótesis de cargas de diseño

En esta hipótesis de carga se considera la peor combinación de las siguientes:

- Cargas ambientales más desfavorables.
- Cargas fijas
- Cargas operacionales

En este tipo de hipótesis, el reglamento del Bureau Veritas estudia los condicionantes ambientales aplicados en una misma dirección. Desde una postura más conservadora se puede añadir también el estudio del efecto combinado en direcciones opuestas. Este estudio se realizará considerando la fuerza del viento en una dirección, y las de las corrientes y olas en la opuesta.

Las cargas fijas y operacionales producen los efectos anteriormente citados mientras que las ambientales producirán principalmente efectos de flexión sobre la estructura.



### 10.1.5.3. Hipótesis de cargas accidentales

Esta hipótesis de carga considera la combinación de cargas fijas y operacionales, asociadas a cargas medioambientales tomando un periodo de retorno de un mes. Esto supone unas cargas ambientales reducidas en su intensidad. Los valores mínimos de velocidad de viento, velocidad de corriente y altura de ola escogidos en esta hipótesis atienden a datos del atlas climatológico español y al reglamento del Bureau Veritas, siendo estos los siguientes;

- Velocidad del viento 17 m / seg.
- Velocidad de corriente 0.5 m / seg.
- Altura de ola 1 m.

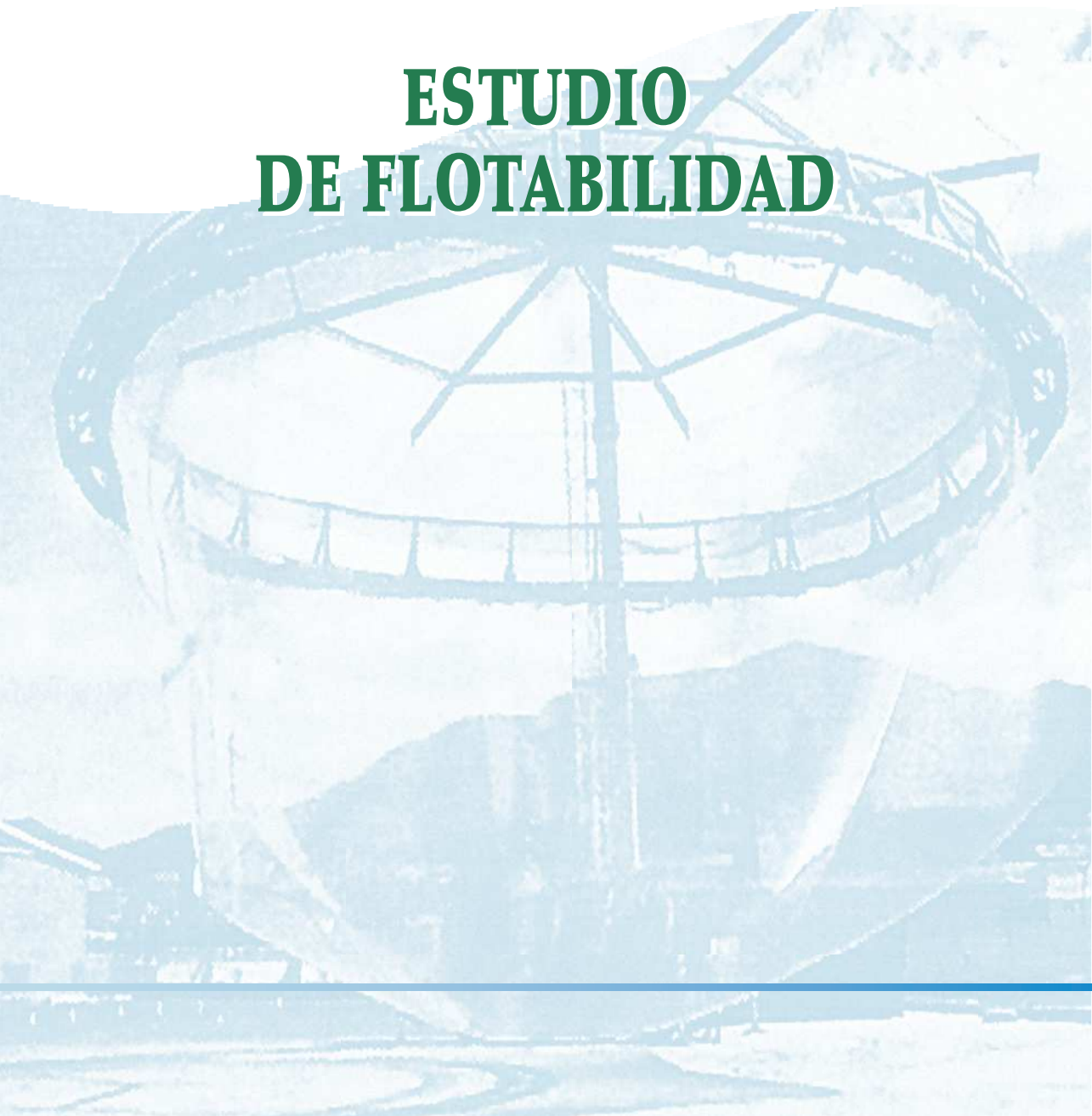
A estas cargas se sumarán el posible efecto del impacto del barco de suministro durante la maniobra de atraque y la rotura de un elemento estructural.





# 11

## ESTUDIO DE FLOTABILIDAD







# ESTUDIO DE FLOTABILIDAD

Uno de los aspectos más importantes de las estructuras flotantes es verificar su reserva de flotabilidad para que puedan cumplir su misión. A continuación se detallan los pasos a seguir para realizar este tipo de estudios en el caso de viveros flotantes.

Este capítulo amplía y desarrolla la parte genérica tratada en el párrafo 3.1 bajo el título «Estructura de flotación y sustentación». En primer lugar se describe el cálculo de las fuerzas estáticas y luego, con los resultados obtenidos, se realiza el estudio de flotabilidad.

## 11.1. CÁLCULO DE LAS FUERZAS ESTÁTICAS

Las fuerzas estáticas son todas aquellas que actúan sobre la estructura debidas al peso de los diferentes elementos, por lo tanto son las originadas por el peso de la estructura, el peso de la red, el peso de la jaula con carga, el peso del «fouling» y el peso debido a la interacción de los peces con la red principalmente. Todas estas variables deben ser consideradas en el caso más desfavorable para que el cálculo sea conservador. Entonces:

$$F_E = P_E + P_R + P_O + P_F + P_P$$

Siendo:

$F_E$  = Fuerzas estáticas.

$P_E$  = Peso de la estructura.

$P_R$  = Peso de la red.

$P_O$  = Pesos adicionales en operación.

$P_F$  = Peso del «fouling».

$P_P$  = Peso de la interacción de los peces.

Para el cálculo del **peso de la estructura ( $P_E$ )** se consideran los componentes de la misma: elementos de flotación, barandilla, elementos de soporte, elementos de amarre y aro de lastre o sistema anticorriente. Este dato muchas veces es suministrado por el fabricante o suministrador. A continuación se detalla el cálculo pormenorizado:

Los *elementos de flotación* son dos o tres aros de polietileno de alta densidad (PEAD) (en la mayor parte de los diseños de viveros) de los cuales al menos uno está relleno de poliestireno expandido (figura 9.42).

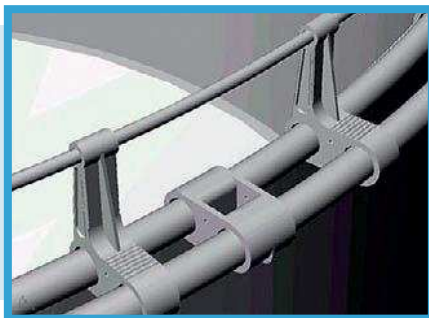
El peso por unidad de longitud de tubería de PEAD está en los pronuarios en función del diámetro exterior, del espesor y de la calidad del material. Como referencia para un PN10 este dato es 17,5 Kg. / m. También como referencia para la tubería de diámetro de 315 mm. (muy utilizado) es 26,328 Kg. / m. Como se conoce el diámetro de cada uno de los aros, el diámetro de los tubos y su separación es evidente el cálculo de su peso ( $\text{Longitud} = \pi \times \text{Diámetro}$ ). A esta cifra hay que añadir el peso del poliestireno expandido cuyo peso por unidad de longitud es 0,5 Kg. / m.

La *barandilla* (figura 9.43, marca 7) es un aro con dimensiones análogas al aro interior pero al ser de menor diámetro de tubo y espesor su peso por unidad de longitud es menor. Como referencia para una tubería de PEAD de 110 mm. (muy utilizada) es de 3,18 Kg. / m.

El número de *soportes* o candeleros y *refuerzos* (figura 11.1) y su peso individual también son conocidos.

Para tratar de mantener la forma de la bolsa de red se instala en la parte inferior del vivero un aro de PEAD en cuyo interior se aloja una ca-

**FIGURA 11.1.**  
Detalle soportes y refuerzos  
(Quintas&Quintas).





dena o se rellena de hormigón (menos usual y menos efectivo), es el *aro de lastre o anticorriente* (figura 11.2 y 11.3). El diámetro de este aro suele ser igual al diámetro del aro de flotación interior pero el espesor y el diámetro del tubo diferente con lo cual su peso por unidad de longitud también es diferente y menor. El peso de la cadena es fácil de calcular conociendo su densidad lineal (Kg. / m). Como este elemento está hundido para el cálculo del peso final, que constituirá una carga estática, es necesario considerar el empuje del conjunto aro + cadena y restarlo al peso total. La relinga de fondo de la red se amarra a este anillo.

Además las jaulas poseen 12 *elementos para amarre* (figura 11.1) que como se conoce su peso unitario (alrededor de 12 kilos), se puede calcular su peso total.

Con todos estos datos ya se puede calcular el peso de la estructura: elementos de flotación + barandilla + soportes + refuerzos + aro de lastre.

El **peso de la red** depende del material empleado, de la luz de malla, de los cabos de su estructura y del tratamiento antifouling aplicado.

Para estos cálculos se elige la red de malla más grande de entre todas las empleadas en la instalación. Como ejemplo una red de nylon de luz de malla hexagonal de 24 mm. puede tener una densidad superficial de 0,292 Kg. / m<sup>2</sup> (estos valores los proporciona el fabricante).

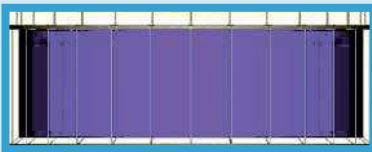


FIGURA 11.2. Aro de lastre.

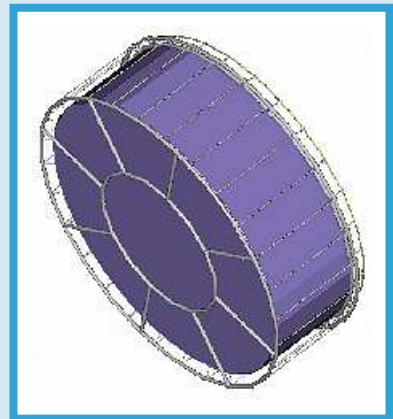


FIGURA 11.3.  
Estructura radial anticorriente.



La red se puede considerar como un cilindro cuyo diámetro es el de la jaula y la altura elegida, variable según las especies y la termoclina. Con estos datos ya se puede calcular la superficie total y la superficie sumergida y el peso total de la red. En este cálculo se puede considerar que no hay red antipájaros o tapa superior que sería una superficie circular, pero siempre hay un paño de red que cierra la superficie inferior sumergida que si hay que considerar, tanto en la superficie TOTAL como en la superficie sumergida.

Conociendo las densidades del material de la red ( $1,2 \text{ Kg. / dm}^3$  para el nylon) y del agua ( $1,026 \text{ Kg. / dm}^3$ ) ya se puede calcular el empuje con relación al peso y por lo tanto el peso de la red que soporta la estructura (peso total menos el empuje).

$$E_{\text{nylon}} = \rho_{\text{agua}} / \rho_{\text{nylon}} = 1,026 / 1,2 = 0,855 = 85,5 \% \text{ (en relación al peso)}$$

El **peso del recubrimiento antifouling** también es necesario calcularlo porque en una red para una jaula de 20 metros de diámetro supone más de 500 kilos. La densidad superficial del recubrimiento ( $\text{Kg. / m}^2$ ) es un dato a suministrar por el fabricante (como referencia se puede citar  $0,5 \text{ Kg. / m}^2$ ) y como se conocen la superficie total de la red y su superficie sumergida así como la densidad volumétrica ( $\text{Kg. / dm}^3$ ) del agua y del antifouling (como estimación se puede citar  $1,2 \text{ Kg. / dm}^3$ ) ya se puede calcular el empuje y el peso del recubrimiento que soporta la estructura (peso total menos el empuje).

El **peso total de la red** es la suma de estas dos últimas cantidades calculadas (material de la red + antifouling).

El **peso del «fouling»** se suele estimar aplicando un coeficiente al peso total de la red. Este coeficiente es muy variable según los autores. Este valor oscila entre 2 y 15 veces el peso de la red. Aunque este último valor puede parecer exagerado, en una instalación española, una vez el «fouling» multiplicó por 10 el peso inicial de la red. En la elección de este valor influye la zona de la instalación y su capacidad para producir los seres vivos que provocan el ensuciamiento.

Para el cálculo de los **pesos adicionales en operación** hay que considerar los momentos en los que se realizan trabajos utilizando como apoyo la estructura de flotación. Una buena aproximación es considerar la presencia de dos personas ( $80 \text{ Kg.} \times 2$ ) y el correspondiente material de trabajo ( $80 \text{ Kg.}$ ). La figura 11.4 ilustra estos trabajos sobre el vivero.



Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 11.4.**

Trabajos sobre la estructura del vivero.

El **peso de la interacción de los peces** se puede calcular teniendo en cuenta dos situaciones: el momento del despesque en el que una parte de los peces se apoyan en la red y transmiten este esfuerzo, y en la situación de cultivo normal la fuerza centrípeta que crean algunas especies al nadar, tales como la dorada, y que provoca una acción sobre la red que a su vez se transmite a la estructura. Como estas dos situaciones no son coincidentes en el tiempo, es buena práctica, elegir para calcular la interacción de los peces un valor entre el dos y el diez por ciento del peso de los peces en cultivo en el vivero. Las empresas se acercan más al dos y los investigadores más al 10 (Beveridge).

Al acabar de realizar estos cálculos ya se obtiene el valor total de las fuerzas estáticas.

## 11.2. ESTUDIO DE FLOTABILIDAD

El **sistema de flotación** se diseña de tal forma que el peso del volumen de agua desalojada por dicho sistema tiene que ser superior al valor de las fuerzas estáticas y verticales que se ejercen sobre el mismo.

Con el volumen de los aros de flotación, en el caso de un vivero, y la densidad del agua ( $1,026 \text{ Kg. / m}^3$ ) se puede calcular su empuje y por diferencia con la suma de las fuerzas estáticas y los componentes verticales de las fuerzas de las olas, las corrientes y las mareas se obtiene la reserva de flotabilidad. Una reserva mínima del 35 % se considera aceptable.





Para hacer este cálculo más conservador no se han considerado algunos elementos que aportan una flotabilidad adicional tales como los flotadores que se amarran a la red para aliviar tensión a la estructura de la jaula.

# 12

## **ESTUDIO DEL SISTEMA DE FONDEO DE VIVEROS**







# ESTUDIO DEL SISTEMA DE FONDEO DE VIVEROS

Este capítulo amplía la información general del capítulo 3.3 (Sistema de fondeo) y expone los métodos de cálculo más habituales para los elementos de esta línea.

En cualquier instalación acuícola en el mar el sistema de fondeo es el más crítico, el más difícil de analizar y por supuesto el origen de la mayor parte de los incidentes y accidentes que se producen actualmente.

Las variables que es necesario considerar son muchas y a veces no suficientemente conocidas, ya que el mar es absolutamente imprevisible y siempre nos reserva alguna sorpresa en su actuación. La consideración de las variables medioambientales del emplazamiento, el tipo de estructura elegida y los medios de fondeo de la forma más exhaustiva posible, nos acercará a la realidad y permitirá disminuir los riesgos de la instalación.

## 12.1. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS

A continuación se describen someramente algunos de los sistemas de fondeos actualmente utilizados. Inicialmente se emplearon fondeos individuales que permitían a la estructura flotante orientarse en la dirección del viento o las corrientes para disminuir los esfuerzos que actuaban sobre las líneas de anclaje. La evolución lógica fue hacia fondeos múltiples que aumentan la seguridad y además aprovechan mejor el espacio disponible, pues permiten rentabilizar mucho mejor el área de la concesión al cultivar un mayor volumen de peces por unidad de superficie. La evolución de los materiales acompañó a las

mejoras de diseño pasando de fibras naturales a sintéticas y a nuevos materiales que han impulsado el desarrollo de los fondeos y facilitado los programas de mantenimiento.

### 12.1.1. Fondeos individuales

La gran ventaja de los fondeos individuales es el aumento del área de dispersión de los residuos (hasta 40 veces mayor) con lo que se minimiza la concentración sobre los sedimentos y su gran desventaja es la infrautilización de la superficie de la concesión (un 3 % frente a un 30 % del fondeo múltiple). Los fondeos individuales al poder girar se orientan frente al viento, las olas y las corrientes de tal forma que minimizan los esfuerzos.

La reducción del impacto ambiental de los sistemas individuales frente a los múltiples se puede estimar con la ecuación siguiente:

$$q_{fm} = q_{fi}^{-2\pi/w}$$

Siendo:

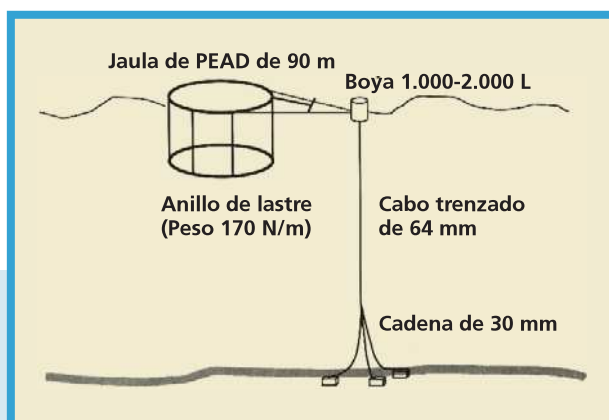
$q_{fm}$  = Acumulación de sólidos bajo un sistema múltiple de fondeo.

$q_{fi}$  = Acumulación de sólidos bajo un sistema individual de fondeo.

$r$  = Distancia desde el ancla.

$w$  = Anchura del vivero.

La figura 12.1 muestra un esquema de un sistema individual de fondeo (Frøya Ringen).

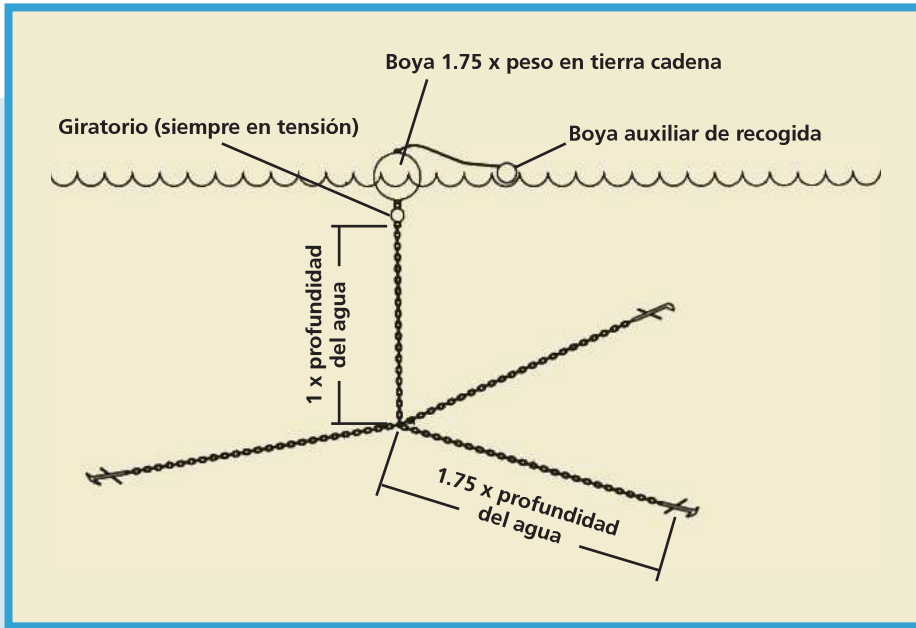


**FIGURA 12.1.**  
Sistema individual  
de fondeo (Beveridge).





La figura 12.2 visualiza la disposición de una línea de fondeo individual.



**FIGURA 12.2.** Disposición de una línea de fondeo individual (Beveridge).

Algunos diseños utilizados actualmente se muestran a continuación.

#### 12.1.1.1. Farmocean

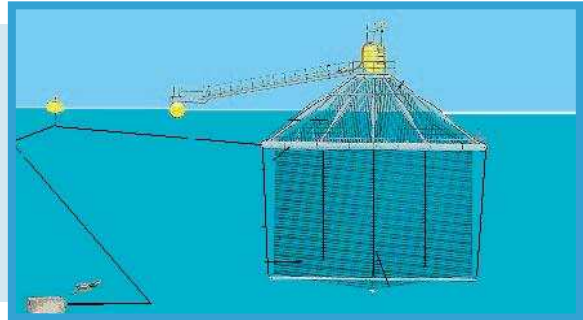
La figura 12.3 visualiza un esquema de la jaula FARMOCEAN y su línea de fondeo. El sistema lo constituyen tres líneas ubicadas radialmente a  $120^\circ$ , cada una fondeadas con anclas y/o muertos situados a 40 metros de la boya del centro de la instalación. Estas líneas se amarran al aro central que también es el responsable de la flotabilidad variable al poder regular su capacidad de lastrado.

#### 12.1.1.2. Gael Force

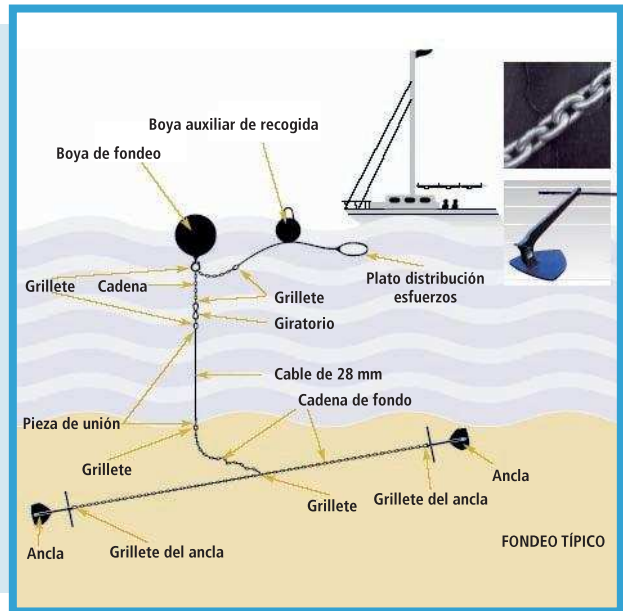
La figura 12.4 visualiza un esquema de fondeo para un vivero individual o una fila de jaulas desarrollado por GAEL FORCE.



**FIGURA 12.3.**  
Fondeo del vivero  
FARMOCEAN.



**FIGURA 12.4.**  
Sistema de fondeo  
individual de GAEL FORCE.



#### 12.1.1.3. Refa (TLC)

El vídeo de la figura 9.53 visualiza el montaje de la jaula y la instalación del sistema de fondeo. La figura 12.5 muestra las seis líneas de anclaje amarradas al collar inferior y sujetas al fondo mediante seis muertos que están en la vertical de los vértices del hexágono del citado collar. Una gran ventaja de este sistema es que permite el anclaje en fondos muy irregulares y de profundidad variable, tal como se muestra en el vídeo de la figura 9.51.



#### 12.1.1.4. Ocean Spar Sea Cage System (OSSCS)

En el párrafo 9.1.10.2 se hace una descripción detallada del sistema de fondeo de este tipo de jaulas.

#### 12.1.1.5. Ocean Spar Sea Station

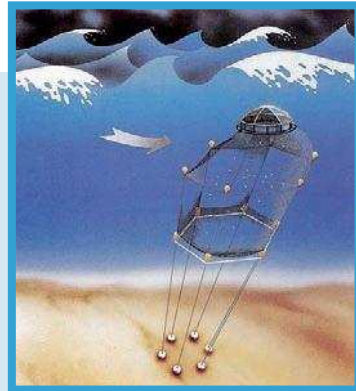
Este tipo de jaula ha sido ampliamente descrita en el párrafo 9.1.11 y los elementos de fondeo se pueden apreciar en el vídeo de la figura 9.39.

Hay cuatro posibilidades de fondeo, tres de ellas para jaulas individuales y una para la agrupación de varios viveros.

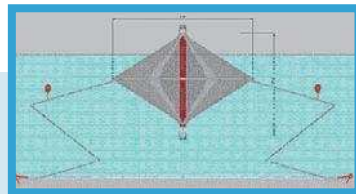
La figura 12.6 visualiza el sistema de fondeo con cuatro líneas amarradas al aro central, fondeadas cada una con un ancla, utilizado en el vivero individual instalado en Conil y antes a cinco millas de Rota.

La figura 12.7 muestra el fondeo con cuatro líneas y cuatro anclas pero que se unen al vivero mediante un entramado rectangular.

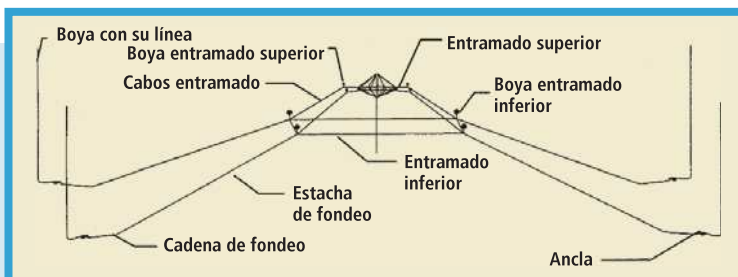
La figura 12.8 visualiza la tercera posible disposición de anclaje para viveros individuales Sea Station con cuatro líneas verticales fondeadas a cuatro muertos muy parecida al diseño de REFA y al sistema «Tension Leg Platform» (TLP) usado en algunas plataformas petrolíferas. El área necesaria para el emplazamiento se reduce considerablemente con este diseño.



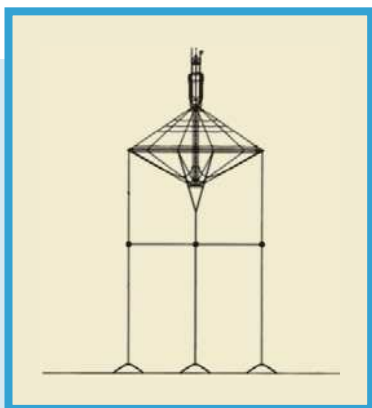
**FIGURA 12.5.**  
Fondeo vivero REFA (TLC).



**FIGURA 12.6.**  
Fondeo de la Sea Station  
con cuatro líneas amarradas  
al aro central.



**FIGURA 12.7.** Fondeo de la Sea Station con cuatro líneas y entramado.



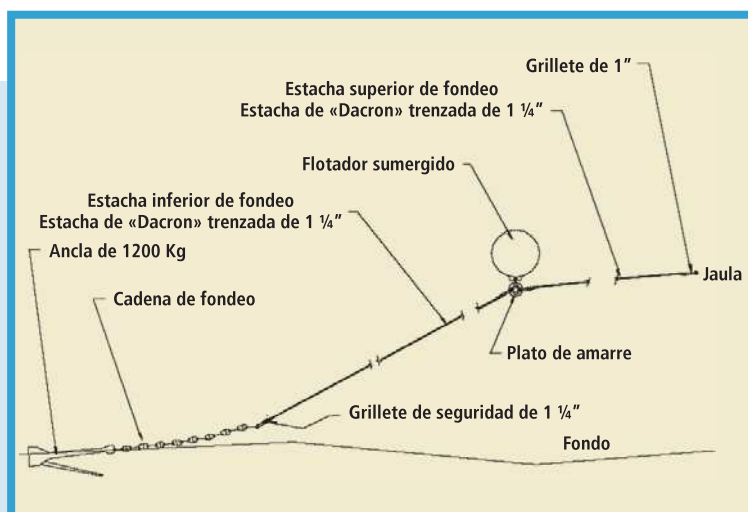
**FIGURA 12.8.**  
Fondeo de la Sea Station  
con líneas verticales.

Los elementos del sistema de fondeo, más próximos al fondo, de los viveros Sea Station en los casos individuales citados en primer lugar, se aprecian en la figura 12.9.

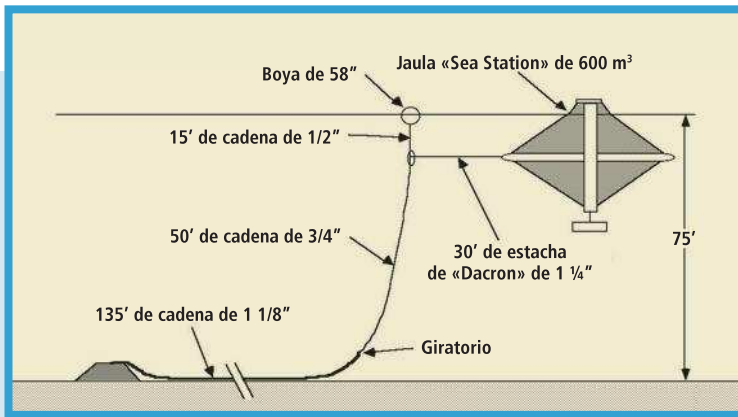
A continuación se va a describir el sistema «Single Point Mooring» desarrollado por el «Gulf of Mexico Offshore Aquaculture Consortium» (Consortio) para la jaula Sea Station e implantado en una instalación a 40 Km. de la costa y a una profundidad de 25 metros en el Golfo de México. La figura 12.10 muestra un esquema de este sistema de fondeo con un solo punto. El vivero anclado tiene 16 metros de ancho y 11 de alto.

Este diseño reduce los costes de fondeo, los esfuerzos son más predecibles y permite el movimiento del vivero que reduce el impacto ambiental de la instalación.

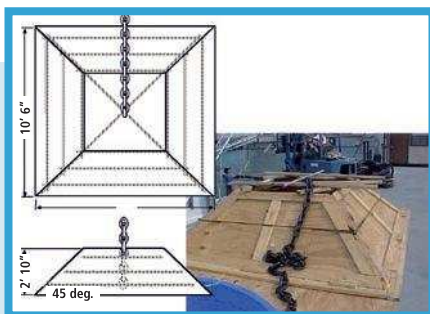
El muerto de hormigón utilizado pesa doce toneladas (figura 12.11). La boya de superficie que soporta y tensiona la cadena se aprecia en la figura 12.12. El amarre de la jaula al fondeo se realiza mediante



**FIGURA 12.9.** Detalles del fondeo de la Sea Station.


**FIGURA 12.10.**

«Single Point Mooring» del vivero Sea Station (Consorcio).


**FIGURA 12.11.**

Muerto de 12 toneladas (Consorcio).


**FIGURA 12.12.**

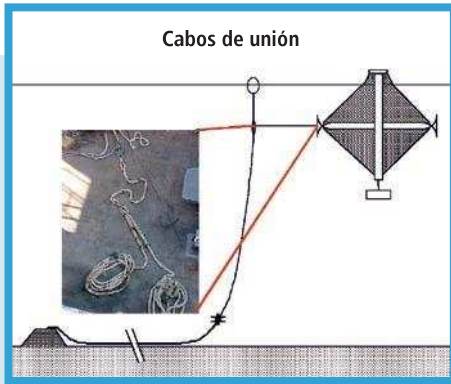
Boya de superficie (Consorcio).

dos cabos que van desde el anillo del vivero hasta la conexión con la cadena. Las figuras 12.13 y 12.14 muestran estos cabos de unión y las conexiones.

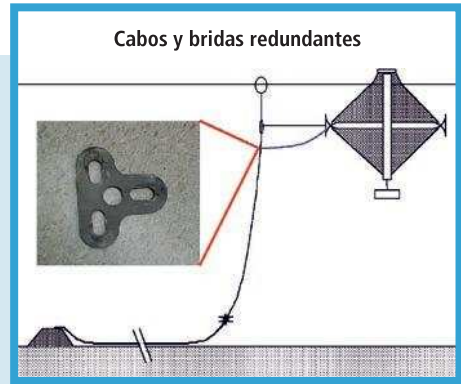
#### 12.1.1.6. Vivero SADCO

En el párrafo 9.1.15 se describe este vivero y en las figuras 12.15 y 12.16 se muestran la planta y el alzado de su sistema de fondeo. El anclaje de estas jaulas siempre es individual y se realiza mediante tres puntos situados a 120°. Las líneas principales de fondeo son de nylon y las boyas fijan su posición mediante cadenas. Estas boyas mantienen



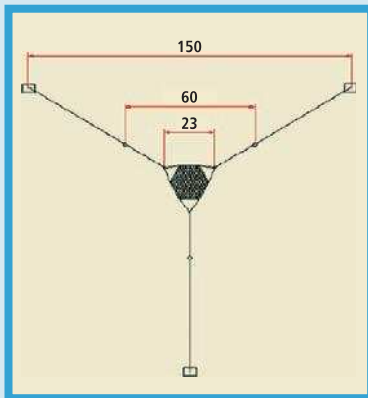


**FIGURA 12.13.**  
Cabos de unión (Consorcio).

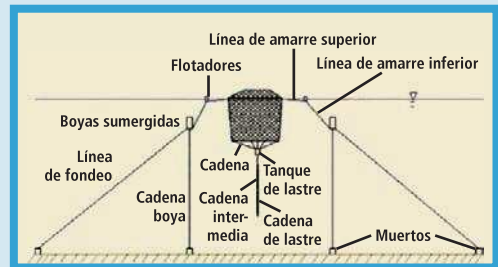


**FIGURA 12.14.**  
Conexiones (Consorcio).

tensionadas las líneas en cualquier estado (en superficie y en inmersión). El tanque de lastre de la parte inferior también está sujeto al vivero mediante cadenas y mantiene su posición gracias a una cadena colgante.



**FIGURA 12.15.**  
Sistema de fondeo en planta  
del vivero SADCO.



**FIGURA 12.16.**  
Sistema de fondeo en alzado  
del vivero SADCO.

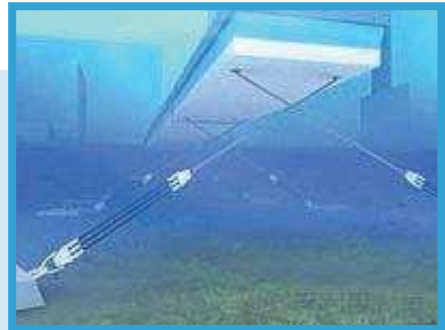


#### 12.1.1.7. Sistema de fondeo SEAFLEX

Este sistema de anclaje al fondo es utilizado para pantalanés y también podría ser aplicable a viveros individuales. Consta de una pieza compuesta por dos abrazaderas que por una parte sujetan unas líneas de goma elástica que soportan los esfuerzos y mantienen las líneas en tensión y por la otra se amarran a la línea de fondeo y al muerto en el fondo. El vídeo de la figura 12.17 muestra las partes principales del sistema y el vídeo de la figura 12.18 visualiza el modo de operación. La figura 12.19 muestra la distribución de fuerzas sobre el núcleo de goma.



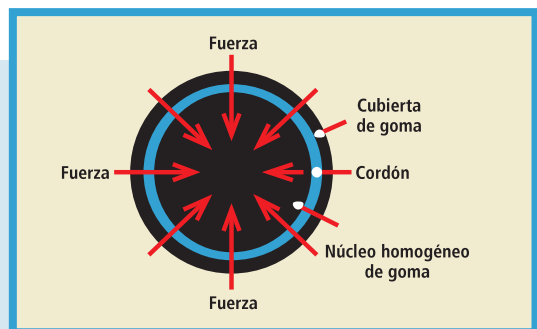
**FIGURA 12.17.**  
Partes del sistema SEAFLEX.



**FIGURA 12.18.**  
Operación del sistema SEAFLEX.

#### 12.1.1.8. SINTEF. «Novel Single Point Mooring Designs»

Esta empresa muestra dos ejemplos básicos de sistemas de fondeo con una línea de anclaje única. La figura 12.20 visualiza un sistema muy sencillo compuesto por una boya, cadena y anclas o muertos. La figura 12.21 muestra la idea de un diseño mejorado con boyas múltiples.



**FIGURA 12.19.**  
Distribución de fuerzas en el sistema SEAFLEX.

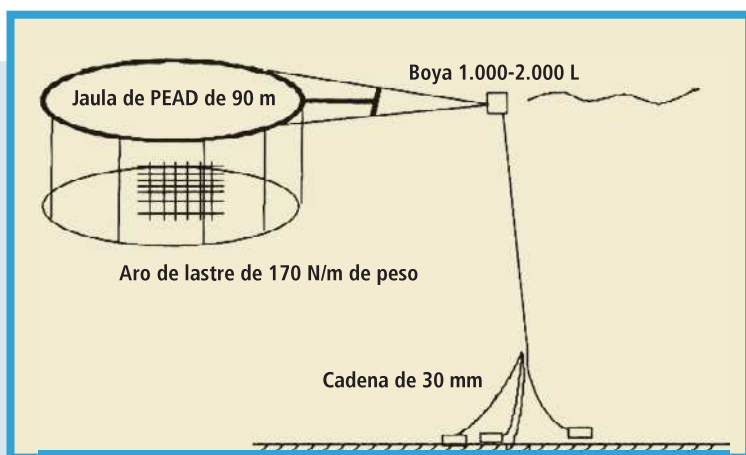
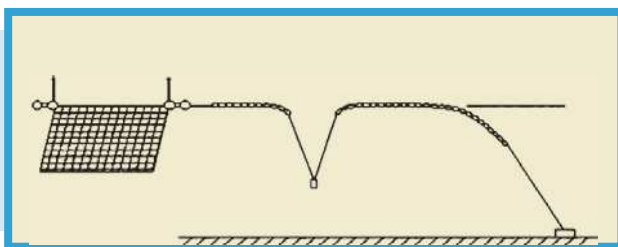


FIGURA 12.20. Esquema básico de SINTEF.

FIGURA 12.21.  
Esquema básico con boyas  
múltiples de SINTEF.



Las ventajas e inconvenientes de los sistemas de fondeo de línea única, según SINTEF, se esquematizan a continuación:

• **Ventajas:**

- Reducción de los esfuerzos provocados por las corrientes y las olas debido al movimiento natural de la instalación.
- Adecuado para emplazamientos expuestos.
- Facilidad para trasladar en caso de emergencia.
- Independencia de la topografía del fondo.
- Buena conservación de la forma de la bolsa de red.
- Facilidad de acceso para los barcos auxiliares.
- Simplificación de las operaciones de fondeo.
- Cargas estructurales independientes de la pretensión de los fondeos.
- Reducción de la pérdida del alimento.



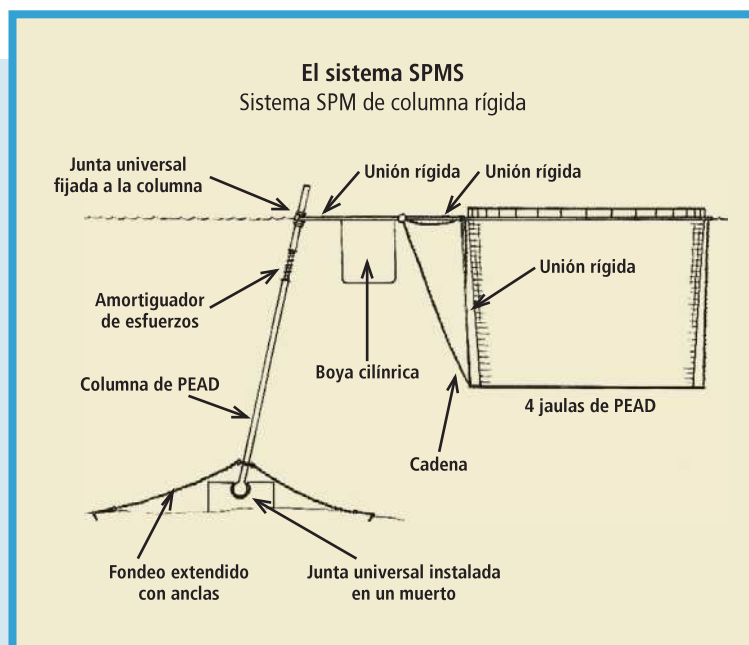
- Mayor dispersión de los residuos.
- Mejor acceso a las agua ricas en oxígeno.
- Sistemas más baratos.

• **Desventajas:**

- Necesidad de mayor superficie de la concesión.
- Necesidad de redundancia en el fondeo.
- Dificultades para la operación de las plataformas de alimentación debido a los movimientos naturales de la estructura.
- Dificultades para implantar sistemas automáticos de alimentación.
- Verificación cuidadosa de las cargas de fondeo.

Los tres sistemas más sofisticados propuestos por SINTEF se esquematizan a continuación: la figura 12.22 muestra el SPMS, la figura 12.23 el SPARF y la 12.24 el STLF.

La valoración de los puntos fuertes y débiles de cada uno de estos tres sistemas se esquematiza en el cuadro 12.25.



**FIGURA 12.22.** Sistema SPMS de SINTEF.

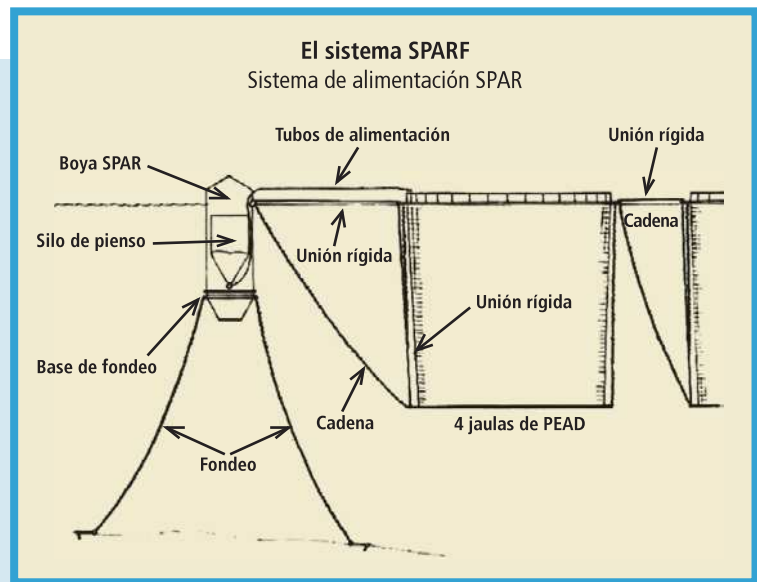


FIGURA 12.23. Sistema SPARF de SINTEF.

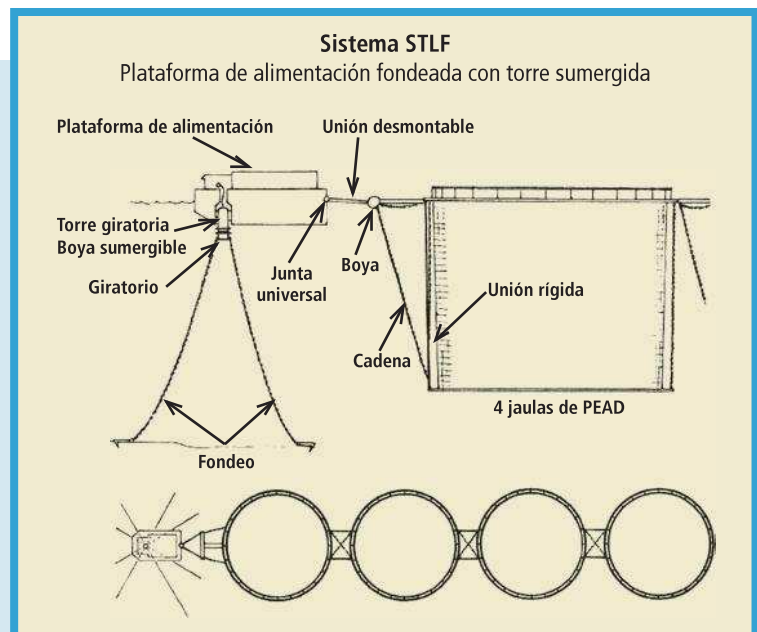


FIGURA 12.24. Sistema STLF de SINTEF.





**FIGURA 12.25.**  
Valoración de los diseños de SINTEF.

	SPMF	SPARF	STLF
Seguridad fondeo	+++	+++	+++
Ambiente peces	++	+	++
Esfuerzos	—	--	---
Desacoplamiento	--	--	+++
Complejidad diseño	—	---	--
Operacional	+	++	+++
Sistema alimentación		++	+++
Almacenamiento alimento		+	+++
Inversión	—	--	---
Coste operacional	+	++	+++

#### 12.1.1.9. «Trident Sea Cage»

La figura 12.26 esquematiza el fondeo de la jaula sumergible «Trident» que se compone de los siguientes elementos:

- Jaula sumergible.
- Cámaras de flotabilidad variable.
- Boyas sumergidas.
- Sistema de fondeo múltiple.
- Muertos o anclas.

#### 12.1.1.10. «Sub-Marine Offshore Cage System. Marvel Investment Israel»

La figura 12.27 muestra un sistema de fondeo para una flotilla de jaulas sumergibles. Sus componentes principales se esquematizan a continuación:

- *Jaulas sumergibles*: las jaulas son de acero con medidas máximas de 15x15x15.
- *Plataforma flotante*: incluye la unidad hidráulica para facilitar la flotabilidad de las jaulas y el equipo de alimentación automática.
- *Boya de flotabilidad*: tiene cuatro metros de longitud y en la parte inferior está rellena de hormigón como lastre y la parte superior puede llenarse de aire o agua para variar la flotabilidad.



- *Unidad de anclaje*: permite el cambio de posición según la variación de la dirección de las corrientes.

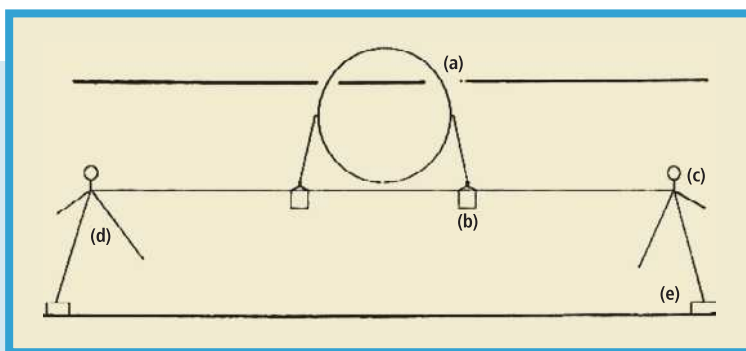


FIGURA 12.26. Fondeo vivero sumergible «Trident».

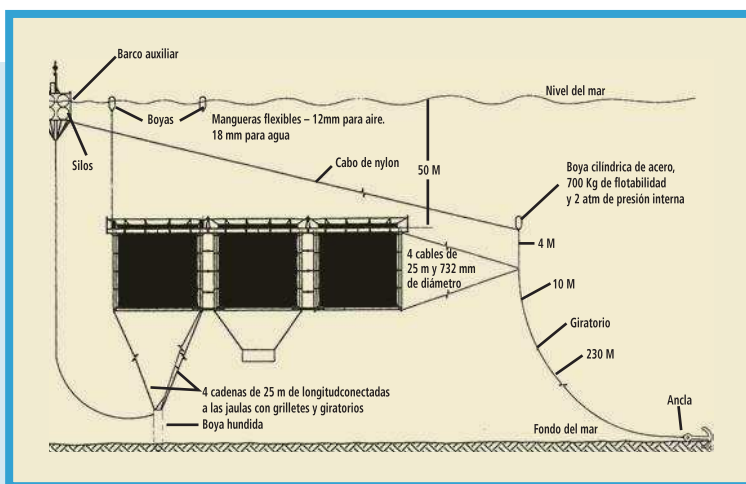


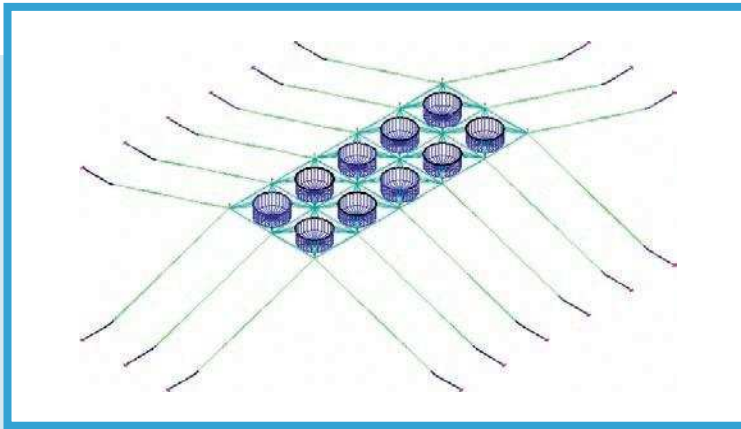
FIGURA 12.27. Diseño de fondeo de Marvel Investment Israel.

### 12.1.2. Fondeos en grupo

La tendencia actual en todas las instalaciones de viveros, salvo los de diseño especial (sumergibles, REFA, SADCO...), es reunir las jaulas en grupos e instalar un sistema de fondeo único. Esta tendencia minimiza en gran escala los costes asociados al manejo y mantenimiento.



Dos ideas generales se deben considerar en el diseño de este sistema de fondeo. Por una parte minimizar los esfuerzos que va a soportar la estructura, considerando las condiciones más habituales en la zona de vientos, corrientes y oleaje y orientar el conjunto en la dirección más apropiada. Por otra parte, maximizar el intercambio de agua considerando la dirección de las corrientes y no instalando más de dos filas de viveros en la dirección transversal de renovación. En la dirección longitudinal se instalan desde seis hasta doce viveros. La figura 12.28 muestra un esquema general del fondeo en grupo.



**FIGURA 12.28.** Fondeo de viveros en grupo (Global Aquafish).

A continuación se esquematizan una serie de consideraciones sobre el fondeo de viveros en grupo:

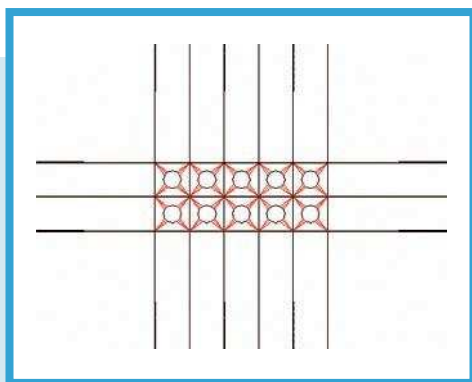
- Las uniones deben ser flexibles para evitar una gran concentración de esfuerzos en estos puntos.
- El diseño de las uniones debe facilitar los movimientos flexibles de las jaulas para que acompañen a las olas («cabalguen» sobre las olas) y minimicen el balanceo y el cabeceo.
- Un buen diseño de las uniones y del agrupamiento minimiza las fuerzas que actúan sobre cada jaula individualmente.
- Las fuerzas de pandeo y de cizalladura creadas por las inclemencias ambientales son función de la altura de la ola y afectan más a la estructura cuando la longitud de onda de la ola y la longitud del com-



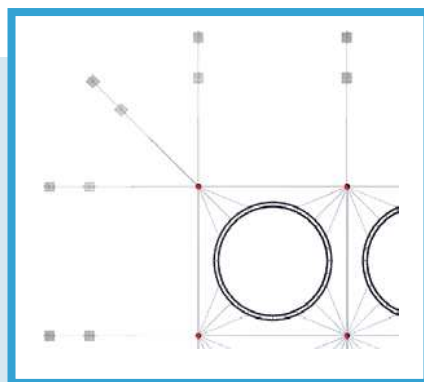
ponente rígido más grande de la estructura son aproximadamente iguales:  $0.5 \times \text{Longitud del componente más rígido} < \text{Longitud de onda de la ola} < 1.2 \times \text{Longitud del componente más rígido}$ .

- El sistema más utilizado actualmente en los entramados de viveros es el ortogonal. Se le denomina así porque todas las líneas de fondeo contiguas de los entramados forman un ángulo entre sí de  $90^\circ$ . La figura 12.29 visualiza un sistema de este tipo para diez jaulas de 19 metros.
- El entramado, de estacha o cable, está situado a unos cinco metros de profundidad con lo cual ofrece poca resistencia a la corriente y también a las olas.
- En un entramado, las cuatro esquinas son los puntos más débiles del mismo, ya que es donde se concentran más tensiones, por lo tanto y como precaución especial, para flotillas de más de cuatro jaulas, debería instalarse una línea adicional de fondeo tal como se aprecia en la figura 12.30. Además el fallo en esta zona suele tener consecuencias catastróficas para toda la instalación por la razón expuesta antes.

En los viveros de dos aros de flotación, cada uno debe llevar tres estachas equidistantes por cuadrante (doce en total mínimo) y los de tres aros dos equidistantes por cuadrante (ocho mínimo).



**FIGURA 12.29.**  
Sistema de fondeo ortogonal  
(Global Aquafish).



**FIGURA 12.30.**  
Fondeo en esquinas (Besmar).



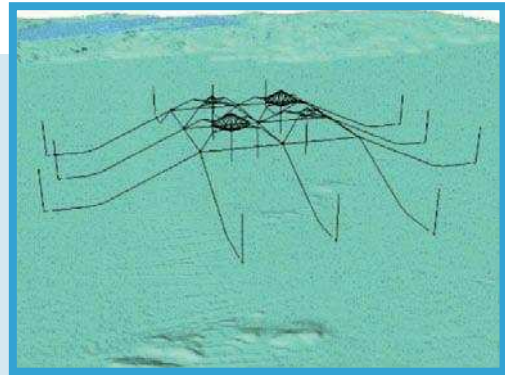
Otro sistema un poco diferente al descrito se muestra en la figura 12.31 y corresponde a una instalación de cuatro jaulas Sea Station de Ocen Spar Technologies.

## 12.2. ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS

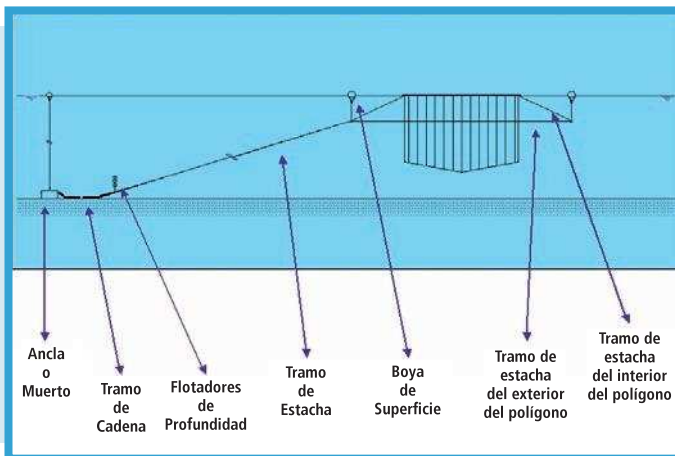
En este apartado se amplía y detalla la información incluida en el párrafo 3.3 (Sistemas de fondeo).

El esquema de la figura 12.32 visualiza los elementos fundamentales de un sistema de fondeo ortogonal de un grupo de jaulas, que se detallan en los párrafos siguientes. La figura 12.33 muestra una vista en planta de un esquema de un polígono de jaulas. Y en la foto de la figura 12.34 se aprecian los tres cabos que van desde la jaula a cada plato de distribución.

La figura 12.35 muestra algunos elementos del sistema de fondeo y el vídeo de la figura 12.36 ilustra las operaciones que se realizan.



**FIGURA 12.31.**  
Sistema de fondeo  
de cuatro jaulas Sea Station.

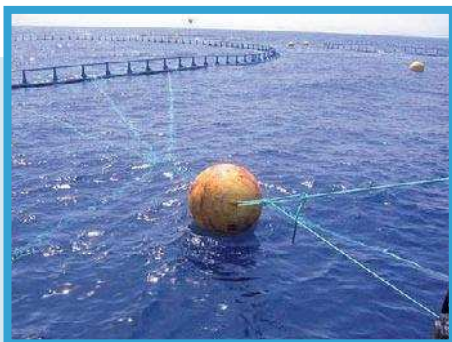
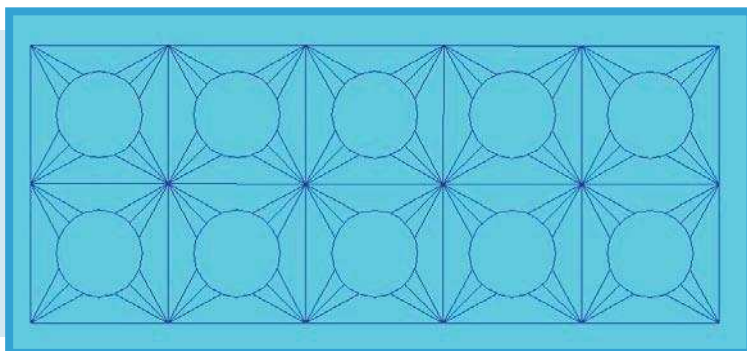


**FIGURA 12.32.**  
Elementos de una  
línea de fondeo  
(Global Aquafish).





**FIGURA 12.33.**  
Esquema de un  
polígono de jaulas  
(Global Aquafish).



**FIGURA 12.34.**  
Tres cabos de jaula a plato  
(Global Aquafish).



**FIGURA 12.35.**  
Elementos del sistema de fondeo.

### 12.2.1. Elementos de fijación: anclas y muertos

Las líneas de fondeo se pueden anclar al fondo con diferentes soluciones que dependen de la naturaleza del mismo. Si el fondo es de roca, casi imposible de penetrar, se pueden utilizar en fondos someros pernos de amarre y en aguas más profundas muertos o anclas. Si el fondo es más penetrable (arena, fango, cascajo...) se utilizan anclas o muertos.

Los pernos tienen una gran capacidad de retención hasta 50 toneladas, pero su instalación no es fácil y es cara. En España prácticamente no se utilizan.



Para activar el video, pinche sobre la imagen.



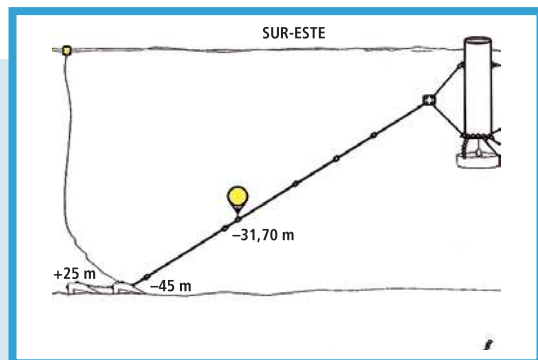
**FIGURA 12.36.**  
Operaciones del fondeo (Corelsa).

Inicialmente se utilizaban «muertos», piedras o bloques de hormigón con unas anillas embebidas para facilitar el enganche, de formas variadas aunque la más normal es la forma paralelepípedica o combinada con un tronco de pirámide (figura 12.37), y a veces se han diseñado formas especiales que favorecen el agarre en el fondo tales como la forma de zapato mostrada en la figura 12.38 utilizada en el fondeo de jaulas «Ocean Spar». La figura 12.39 muestra el enganche de un muerto a la cadena. Su alta densidad ( $2.400 \text{ Kg/m}^3$ ) también facilita su capacidad de agarre. También se puede aprovechar en los fondos blandos y fangosos la fuerza de succión que este tipo de material ejerce sobre los bloques de hormigón aumentando su capacidad de anclaje.

Estos elementos de fijación son sencillos, baratos, relativamente fáciles de posicionar y mantienen la tensión estable en todas las direcciones pero su eficiencia es baja



**FIGURA 12.37.** «Muerto».



**FIGURA 12.38.**  
«Muerto» en forma de zapato (ADSA).



**FIGURA 12.39.**  
Enganche de la cadena al «muerto»  
(Global Aquafish).



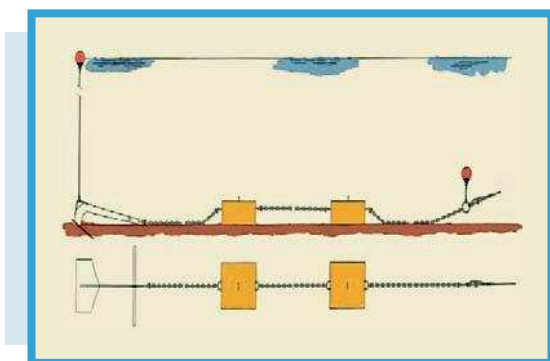
por varias razones. La principal es la pérdida del 40 % de su peso debido al empuje del agua. En segundo lugar la capacidad de agarre depende de las condiciones del fondo, si este es duro (roca) su capacidad depende del peso sobre todo y también de la fricción. El coeficiente de fricción no supera 0,7 por lo tanto en condiciones de fondos rocosos su capacidad de agarre se sitúa entre un 40 y un 60 % de su peso.

Para evitar que el bloque vuelque la relación entre su longitud y su altura debe ser superior a 2/1.

Para su transporte es necesario utilizar grandes grúas o globos enormes.

Una asociación bastante común es la combinación de un muerto con un ancla y a veces de dos muertos solos o combinados también con un ancla. El muerto principal suele pesar entre cinco y diez toneladas y el secundario cinco toneladas. La conexión de muertos entre sí y con el ancla suele ser siempre cadena. Los dos muertos deben estar perfectamente alineados entre sí y con la línea de fondeo. Además la cadena de unión debe estar tensa para que cuando el primer muerto se mueva el segundo trate de retenerlo. La figura 12.40 muestra esta configuración.

Actualmente la tendencia es el empleo de anclas por su mayor capacidad de agarre aunque también depende del tipo de material del fondo. Esta capacidad puede alcanzar hasta veinte veces el peso del ancla. Esto significa que un muerto de hormigón debe tener por lo menos

**FIGURA 12.40.**

Fondeo con doble muerto (Besmar).

entre treinta y cinco y cuarenta veces el peso de un ancla para igualar su capacidad de agarre, otros autores cifran este factor comparativo en veinte, según el tipo de ancla. Como ejemplo comparativo un ancla de 300 kilos equivale como mínimo a un muerto de seis toneladas.

Para prevenir el garreo de las anclas es necesaria una buena fricción entre al ancla y el fondo. Este hecho depende de la naturaleza del fondo y se expresa por medio del coeficiente de fricción. La arena y el fango tienen coeficientes de fricción altos y en cambio la roca lo tiene bajo (0.1 a 0,5). Para estos fondos rocosos los mejores puntos de anclaje son las anclas de agarre y los pernos. Si no hay datos fiables se pueden considerar, de una forma conservadora, los valores de 0,5 para la arena y 0.3 para el fango como coeficientes de fricción para la elección de las anclas.

Otro parámetro interesante de las anclas es el coeficiente de fijación o de agarre ( $k$ ) que se define como la relación entre la fuerza horizontal que empezaría a mover el ancla y el peso de la misma. Este coeficiente depende del ángulo entre el ancla y el vivero y por lo tanto de la relación entre la profundidad y la longitud de la línea de fondeo y de la naturaleza del fondo.

El cuadro 12.41 incluye los valores de este coeficiente para anclas del tipo «sandbag» para diferentes fondos y varias relaciones entre la longitud de la línea y la profundidad. Y el cuadro 12.42 los mismos datos para anclas de tipo «kedge».

Otra ventaja de las anclas es que el incremento de las tensiones favorece su penetración en el sustrato. Esto significa que cuando las

**FIGURA 12.41.**

Coeficientes de fijación para anclas «sandbag» (Beveridge).

Nature of substrate	<i>l:d</i>				
	1	2	3	4	5
Arena (empuje vertical)	0,16	0,47	0,60	0,71	0,73
Arena (empuje horizontal)	0,21	0,59	0,65	0,68	0,74
Valor medio	0,19	0,53	0,63	0,70	0,74
Fango arenoso (empuje vertical)	—	0,33	0,41	0,49	0,61
Fango arenoso (empuje horizontal)	—	0,31	0,31	0,43	0,62
Valor medio	0,10	0,32	0,36	0,46	0,62
Fango (empuje vertical)	0,05	0,13	0,20	0,23	0,30
Fango (empuje horizontal)	0,05	0,33	0,34	0,48	0,52
Valor medio	0,05	0,23	0,27	0,35	0,41

**FIGURA 12.42.**

Coeficientes de fijación para anclas «kedge» (Beveridge).

Nature of substrate	l:d					
	1	1,5	2	3	4	5
Arena	0,26	1,10	1,90	4,37	–	5,83
Fango arenoso	0,23	1,90	3,27	4,40	5,50	5,15
Fango	0,11	0,60	1,99	3,29	5,11	6,46
Valor medio	0,20	1,20	2,39	4,02	5,31	5,81

condiciones ambientales empeoran el ancla se entierra a mayor profundidad en vez de garrear.

Las anclas absorben grandes fuerzas horizontales pero su tolerancia es baja a las fuerzas verticales. Para evitar este punto débil se coloca una longitud de cadena pesada en el fondo antes de la unión directa con la línea de fondeo. Otro método puede ser situar un bloque de hormigón antes del ancla.

Son mucho más ligeras y fáciles de transportar y reubicar.

Los tipos de anclas más utilizados y sus principales características se incluyen a continuación:

- Anclas «Flipper Delta»: figura 12.43.
- Anclas «Danforth»: figura 12.44.
- Anclas «Stingray»: figura 12.45.



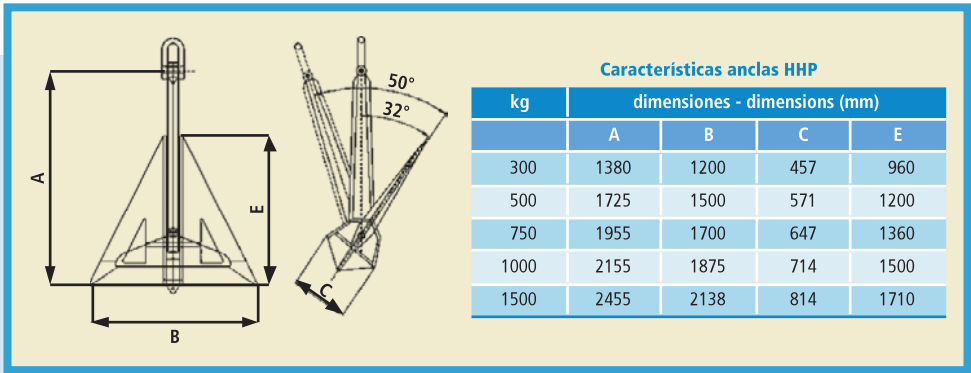


FIGURA 12.43. Anclas «Flipper Delta» (H.H.P.).

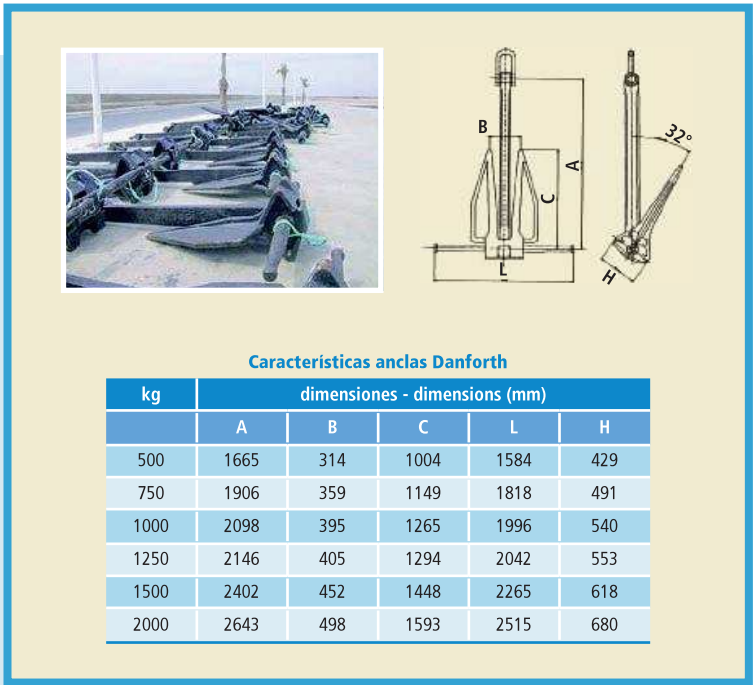
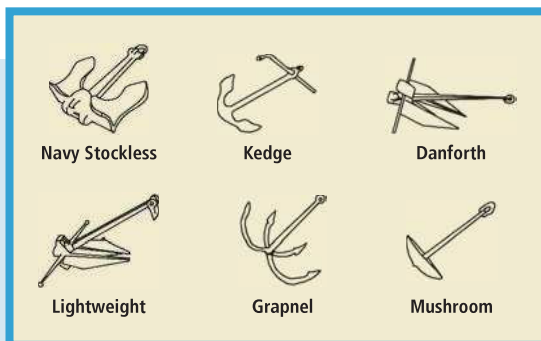


FIGURA 12.44. Anclas «Danforth».

Otros tipos de anclas se muestran en los dibujos de la figura 12.46. Las anclas y los bloques de hormigón se señalizan con el **orinque** que simplemente es un cabo con una boya en el extremo (figura 12.55).



**FIGURA 12.45.**  
Anclas «Stingray».



**FIGURA 12.46.** Otros tipos de anclas (Beveridge).

### 12.2.2. Cadena

El siguiente elemento de la línea de fondeo, empezando por el fondo, es la cadena. Realmente tiene varias misiones. La primera es servir de elemento de fijación colaborando con el «muerto» o con el ancla, su peso considerable facilita su labor. Otra de sus misiones es servir como «muelle amortiguador» para todo el resto de la línea de fondeo, evitando que en algún momento la línea se tensase y tirase directamente del muerto con lo cual las jaulas no podrían resistir estos esfuerzos y romperían. Gracias a esta actuación se reduce el ángulo entre la línea de fondeo y el ancla o «muerto» que mejora el poder de retención, se aumentan las propiedades de absorción de energía de la línea y se asegura la catenaria de la línea de fondeo. La figura 12.47 muestra una cadena con contrete utilizada en acuicultura y la figura 12.48 visualiza los diversos tipos de eslabones y sus dimensiones principales. La cadena con contrete tiene un refuerzo central en cada eslabón que evita que se enrede y le da un peso adicional.



**FIGURA 12.47.** Cadena.

Como regla de buena práctica se suele instalar un largo de cadena o un tercio de la longitud total de la línea de fondeo (longitudes entre 20 y 35 metros son habituales). Uno de los tamaños bastante utilizados es la cadena de 40 mm de diámetro cuyo peso por metro es de 35,8 kilos, la carga de prueba 640 kN y la carga de rotura 896 kN.

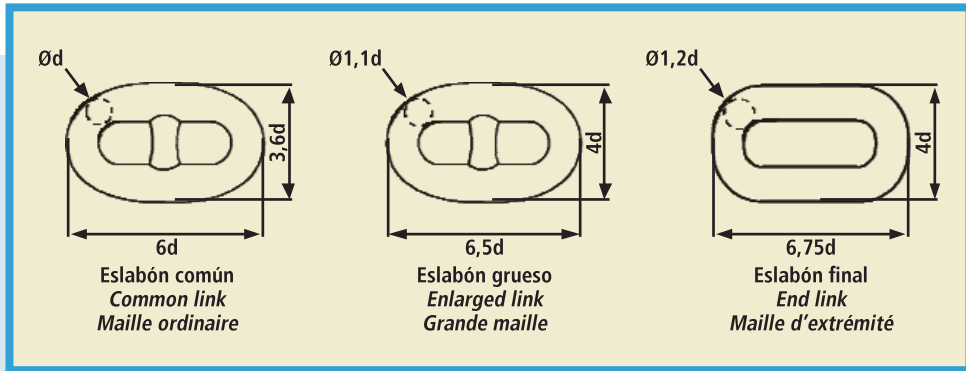


FIGURA 12.48. Tipos de eslabones.

La longitud de la cadena es más importante en el caso de utilizar anclas para el fondeo que en el caso de los muertos ya que es necesario que su peso absorba los esfuerzos calculados en el proyecto y transmitidos por el entramado.

Las cadenas de acero aleado con bajo contenido de carbono y manganeso son las más recomendadas para el fondeo de viveros.

### 12.2.3. Accesorios de unión

Los accesorios más utilizados para unir la cadena con el ancla o con las estachas o estas entre si son de cuatro tipos:

- Eslabón giratorio (figura 12.49).
- Eslabón Kenter (figura 12.50).
- Grillete tipo «D» (figura 12.51).
- Grillete giratorio (figura 12.52).

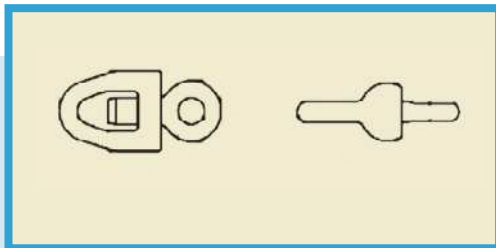


FIGURA 12.49. Eslabón giratorio.

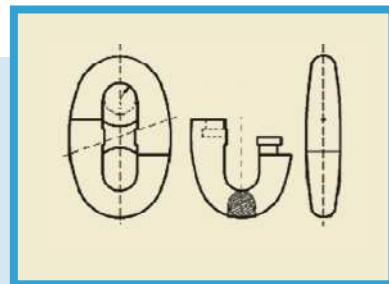
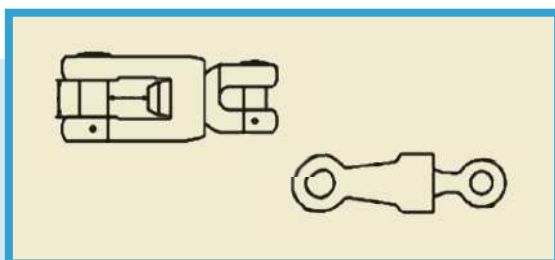


FIGURA 12.50. Eslabón Kenter.



**FIGURA 12.51.**  
Grilletes tipo «D».



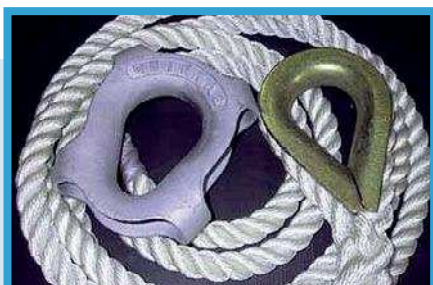
**FIGURA 12.52.** Grillete giratorio.

#### 12.2.4. Guardacabos

Entre los diversos modelos de guardacabos existentes en el mercado (corazón, estándar, con placa, macizo, tubular, súper...) los mas utilizados son los abiertos en forma de corazón y los tubulares que aparecen en las figuras 12.53 y 12.54.

#### 12.2.5. Flotador de profundidad

Se coloca entre el extremo libre de la cadena, opuesto al ancla, y el primer tramo de estacha. Su misión es mantener esta unión fuera del contacto con el fondo marino (a un metro del fondo), para evitar el desgaste de la estacha, y además actúa como amortiguador de los esfuerzos transmitidos por la línea de fondeo. Facilita también el movimiento de las jaulas sin tocar el conjunto ancla más cadena del fondeo. El esquema de la figura 12.55 ilustra la ubicación del flotador de profundidad y la figura 12.56 muestra un modelo del mismo.



**FIGURA 12.53.** Guardacabos «corazón».



**FIGURA 12.54.** Guardacabos tubular.

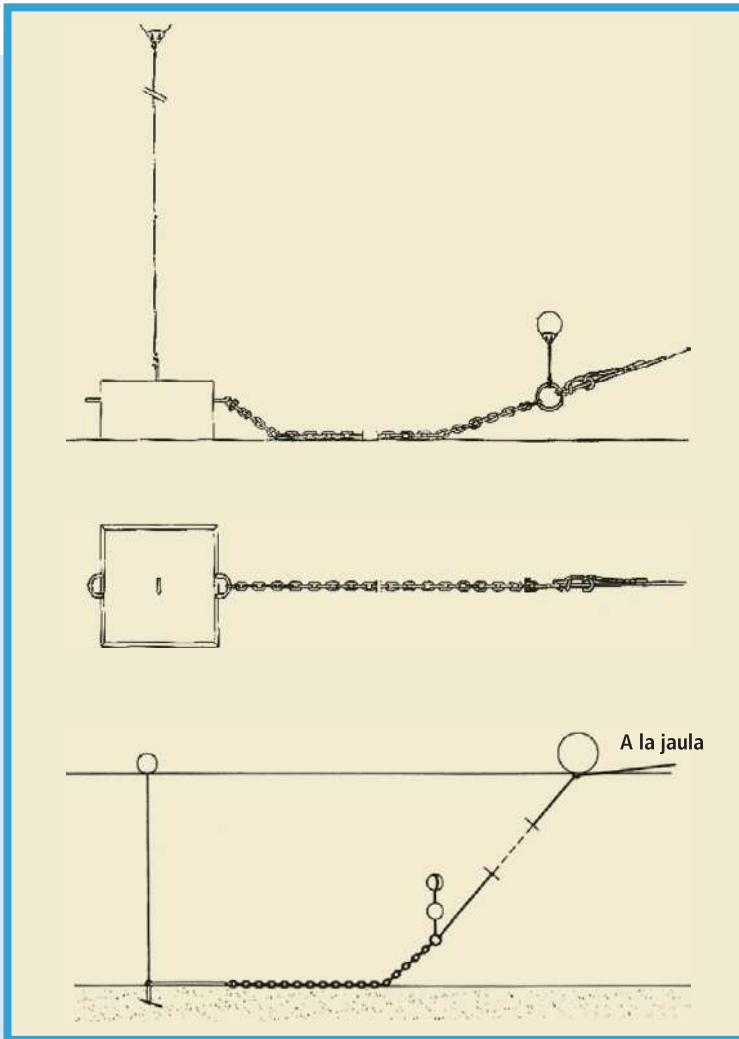


FIGURA 12.55.

Esquema unión cadena, estacha y flotador (Global Aquafish).

Para la unión de la cadena con la estacha se suelen utilizar dos métodos fundamentalmente: el primero formado por CADENA-GRILLETE-ANILLA (en la que se enganchan los flotadores de profundidad)-ESTACHA CON GUARDACABOS. Y el segundo con CADENA-GRILLETE-ANILLA (con los flotadores de profundidad)-ESTACHA ANUDADA A LA





**FIGURA 12.56.**  
Flotador de profundidad.

ANILLA (figura 12.55). Esta última opción es preferible porque si algún elemento se rompe este es la estacha siempre, y es más fácil de recuperar el fondeo haciendo otro nudo que montando un guardacabos. El tramo de estacha debe formar un ángulo de  $18^\circ$  con la horizontal hasta la boya de superficie. La figura 12.57 muestra una imagen real de esta unión.

### 12.2.6. Estachas y cabos

El componente básico de las estachas son las fibras sintéticas que pueden ser de varios tipos: elásticas o inelásticas; convencionales o de alta resistencia; flotantes o no flotantes... Estas fibras se entrelazan para formar cordones y estos se trenzan para formar los cabos o las estachas. La figura 12.58 da una idea de este proceso de fabricación.

Las estachas metálicas no se suelen utilizar en acuicultura, aunque tienen una gran resistencia, porque son caras y muy difíciles de manejar.

Cuando se elige una estacha, el factor más importante es la carga de rotura, pero el precio y la duración también se deben considerar. Su elasticidad, dada por el módulo de Young  $E$ , hay que tenerla en cuenta pues a veces han surgido accidentes porque las líneas al ser demasiado elásticas quedan «en banda» y no absorben las tensiones. Los cabos de material sintético son a menudo estirados permanentemente, después de sufrir los primeros

esfuerzos, más allá de su rango elástico y no vuelven a su longitud original. Por esta razón hay que pre estirar los cabos antes de exponerlos a las cargas ambientales.



**FIGURA 12.57.**  
Unión cadena a estacha  
con anilla (Besmar).



**FIGURA 12.58.**  
Fabricación de un cabo  
(Quintas&Quintas).



A continuación se incluyen dos definiciones útiles para los materiales de las estachas y cabos:

- *Carga de referencia* (reference load): Es la carga, normalmente el 1% de la carga de rotura, bajo la cual son medidos el diámetro y la longitud de un cabo textil.
- *Absorción de energía*: La capacidad de absorción de energía de un cabo textil está directamente relacionada con su alargamiento bajo carga (elasticidad). Las fibras como el polyester, el Combi-flex y especialmente el Nylon presentan un alto alargamiento bajo carga, lo que las hace muy adecuadas para las aplicaciones con cargas dinámicas o cíclicas. Las fibras de menor elasticidad como el Poliesteel o el Dyneema presentan una capacidad de absorción de energía mucho menor, y se emplean en aplicaciones de amarre que no conllevan cargas dinámicas o que requieran un alto grado de control.

#### 12.2.6.1. Materiales de las fibras sintéticas

- *PPEX*: se fabrica con una cinta especial de Polipropileno de alta tenacidad. Los cabos de PPEX tienen una carga de rotura más alta que la del Poliéster o la del Aqualine y un alargamiento menor al del Polipropileno normal. Es un material flotante de alta resistencia a la tracción.
- *AQUALINE*: es una mezcla flotante de Polyolefinas con mayor carga de rotura que el Polyéster y bajo alargamiento. Sus monofilamentos planos presentan una resistencia a la abrasión y a la luz UV mayor que la del Polipropileno (figura 12.59).
- *COMBIFLEX*: se fabrica utilizando hilos compuestos de cintas de PPEX recubiertas con multifilamentos de Polyéster. Esta combinación asegura una carga de rotura similar a la del Nylon, un moderado alargamiento bajo carga y una excelente resistencia a la abrasión y a la luz UV. La proporción de las dos fibras que componen este material puede variarse para lograr un cabo de flotabilidad neutra.
- *COMBIFLOAT*: se fabrica con cordones compuestos de rafia de PPEX con una capa exterior de hilos de multifilamento de Poliéster en una proporción flotante. Esta



**FIGURA 12.59.**  
Cabo de Aqualine.



combinación proporciona una carga de rotura mayor que la del Nylon, un peso considerablemente menor, un bajo alargamiento bajo carga y una excelente resistencia a la abrasión y a la luz UV.

- **COMBISTEEL:** es una mezcla de multifilamentos de Poliéster y monofilamentos planos de Aqualine. El resultado es un material de elevada carga de rotura, similar a la del Nylon, y de bajo peso y alargamiento. Este material flota y tiene mayor flexibilidad que el Polipropileno y el Aqualine.
- **DYNEEMA:** multifilamento de polietileno de alto módulo (HMPE), fibra flotante con carga de rotura comparable con el acero, muy bajo alargamiento y excelente resistencia a la luz UV, la abrasión y los agentes químicos. Se comercializa también bajo el nombre de «Spectra».
- **HMPE:** se comercializa como *Dyneema* o *Spectra*. Su carga de rotura y su alargamiento son similares a los del acero pero, evidentemente, con un peso mucho menor. Se emplea para fabricar cabos utilizados en aplicaciones marinas como sustituto del cable de acero. Esta fibra es flotante de gran flexibilidad y excelente resistencia a la abrasión. Tiene una vida en operación muy elevada, aunque bajo una carga constante puede, con el tiempo, sufrir un cierto grado de alargamiento permanente.
- **NYLON:** se fabrican con multifilamentos de Polyamida de alta tenacidad. Estos cabos, de alta carga de rotura y gran alargamiento, se emplean en aplicaciones en las cuales es necesaria una gran capacidad de absorción de energía. El Nylon absorbe agua y su carga de rotura se reduce entre un 10 y un 15 % cuando está mojado (figura 12.60). No flotante.
- **POLYÉSTER:** se emplea en forma de multifilamentos para fabricar cabos de carga de rotura mayor que el Polipropileno y de moderado alargamiento. Tiene la mayor resistencia a la abrasión y a la luz UV de todas las fibras sintéticas, por lo que la vida en operación de los cabos de Poliéster es elevada, al igual que su tolerancia frente a condiciones extremas (figura 12.61). No flotante.
- **POLYETILENO:** es una fibra flotante de moderado alargamiento y una carga de rotura relativamente baja. Se emplea en forma de monofilamento principalmente para fabricar cabos torcidos y trenzados de pequeño diámetro.



**FIGURA 12.60.**  
Cabo de Nylon.



**FIGURA 12.61.**  
Cabo de Poliéster.

- **POLYPROPILENO:** es una fibra flotante de bajo coste y moderado alargamiento bajo carga. Su carga de rotura y su resistencia a la abrasión y a la luz UV son menores que las de otras fibras como el Poliéster o el Nylon, aunque presenta una excelente resistencia al contacto con sustancias químicas. Los cabos de Polipropileno se emplean en numerosas aplicaciones marinas y se fabrican utilizando fibras de rafia («split film»), fibra discontinua («staple spun»), monofilamento o multifilamento (mayor flexibilidad y carga de rotura).
- **POLYTEEL:** monofilamento flotante de alta carga de rotura, bajo alargamiento, buena resistencia a la luz UV y la abrasión, coste relativamente bajo. Excelente resistencia a los agentes químicos.

El cuadro 12.62 incluye el peso y la carga de rotura de estachas trenzadas con tres cordones para diversas fibras sintéticas según Klust y Beveridge.

El cuadro 12.63 muestra una comparación de algunas propiedades de diversos materiales sintéticos de estachas de tres cordones.

#### 12.2.6.2. Tipos de cabos según su fabricación

- **CABOS TORCIDOS:** se fabrican habitualmente con tres o cuatro cordones con torsión derecha, aunque se pueden fabricar con torsión izquierda. El cabo especial de seis cordones torcidos alrededor de un alma central simula la construcción de un cable de acero y posee una mayor carga de rotura y resistencia a la abrasión. La figura 12.64 muestra unos esquemas de cabos torcidos con tres, cuatro y seis cordones.



CUADRO 12.62.

Peso y carga de rotura de fibras sintéticas.

Diámetro nominal	Nylon (PA)		PES <sup>b</sup>		PP <sup>c</sup>		PE <sup>d</sup>		Nylon trenzado (PA)			Poliéster trenzado PES		
	mass	kp	mass	kp	mass	kp	mass	kp	mass	kp <sup>a</sup>	kp <sup>f</sup>	mass	kp <sup>e</sup>	kp <sup>f</sup>
4	1,1	320	1,5	295	—	—	0,8	200	0,9	280	225	1,1	260	215
6	2,4	750	3,0	565	1,7	550	1,8	400	2,0	620	500	2,4	575	440
8	4,2	1.350	5,1	1.020	2,0	960	3,3	700	3,6	1.110	900	4,4	1.000	760
10	6,5	2.080	8,1	1.590	4,5	1.425	4,9	1.090	5,6	1.700	1.400	6,8	1.540	1.160
12	9,4	3.000	11,6	2.270	6,5	2.030	7,2	1.540	8,1	2.475	2.025	9,8	2.160	1.620
14	12,8	4.100	15,7	3.180	9,0	2.790	9,5	2.090	10,5	3.200	2.325	13,3	2.860	2.130
16	16,6	5.300	20,5	4.060	11,5	3.500	12,8	2.800	14,3	4.350	3.500	17,4	3.650	2.700
18	21,0	6.700	26,0	5.080	14,8	4.450	16,1	3.460	18,1	5.550	4.450	22,0	4.500	3.300
20	26,0	8.300	32,0	6.350	18,0	5.370	20,0	4.270	22,3	6.700	5.350	27,2	5.300	3.950
22	31,5	10.000	38,4	7.620	22,0	6.500	24,3	5.080	27,0	8.100	6.500	32,8	5.800	4.600
24	37,5	12.000	46,0	9.140	26,0	7.600	29,5	6.100	32,2	9.650	7.750	39,0	6.250	4.450
26	—	—	—	—	—	—	32,8	6.910	—	—	—	—	—	—
28	51,0	15.800	63,0	12.200	35,5	10.100	39,3	8.030	—	—	—	—	—	—
32	66,5	20.000	82,0	15.700	46,0	12.800	52,5	10.400	—	—	—	—	—	—
40	104,0	30.000	128,0	23.900	72,0	19.400	78,5	15.600	—	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> kp = kilopondios = 9,81 N.

<sup>b</sup> Poliéster.

<sup>c</sup> Polipropileno.

<sup>d</sup> Polietileno.

<sup>e</sup> Cabo trenzado redondo.

<sup>f</sup> Cabo trenzado sólido.

- **CABOS TRENZADOS:** los cabos trenzados de ocho y doce cordones se fabrican disponiendo estos en pares opuestos, proporcionando una construcción antigiratoria de fácil costura e inspección. El cabo de ocho cordones es la estacha de amarre y remolque por excelencia en el mundo marino. El cabo de 12 cordones proporciona una carga de rotura más alta y una mayor resistencia a la abrasión. La figura 12.65 visualiza estos tipos de cabos trenzados.
- **CABOS DE DOBLE TRENZADO:** se fabrican trenzando una capa exterior de 32 ó 64 cordones sobre un alma trenzada hueca, ambos elementos teniendo igual número de cordones con torsión derecha que con torsión izquierda para asegurar una construcción antigiratoria. Los cabos de doble trenzado son más eficientes que los cables torcidos o trenzados, proporcionando una carga de ro-



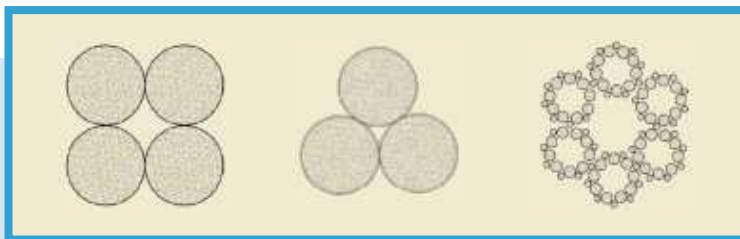


**CUADRO 12.63.**  
Propiedades de estachas (Beveridge).

	PA Fil. cont <sup>a</sup>	PES Fil. cont <sup>a</sup>	PP Monofil. <sup>b</sup>	PP split fibre	PE Monofil. <sup>b</sup>	Manila
<b>Grupo a</b>						
Longitud de rotura en seco	30,6	19,2	28,8	28,8	21,2	10,8
Resistencia mojado (porcentaje respecto a seco)	80-90	100	100	100	100-115	105-120
Resistencia en relación con Manila	2,83	1,78	2,67	2,67	1,96	1
<b>Grupo b</b>						
Elongación (%), seco, al 30% de la carga de rotura	23,3	5	12,7	8,5	9,9-15,1	4,7
Elasticidad	alto	alto	medio	medio	bajo, creep	bajo
Elongación en relación con Manila al 30% de la carga de rotura	4,9	1,1	2,7	1,8	2,1-3,2	1
Tenacidad	muy alto	alto	alto	alto	medio	bajo
<b>Grupo c</b>						
Resistencia a carga continua	muy alto	muy alto	alto	alto	medio	bajo
Resistencia a cargas repetitivas	muy alto	muy alto	alto	alto	bajo	bajo
Resistencia a cargas de choque	muy alto	alto	alto	alto	medio	bajo
Flexibilidad	muy alto	muy alto	medio	bajo	bajo	bajo
<b>Grupo d</b>						
Contracción en agua	pequeño, variable	no	no	no	no	grande
Resistencia a la luz	medio	alto	medio	medio	medio	medio

<sup>a</sup> Filamento continuo.

<sup>b</sup> Monofilamento.



**FIGURA 12.64.** Cabos torcidos (Quintas&Quintas).

tura más elevada y una mayor resistencia a la abrasión. La figura 12.66 muestra este tipo de cabos.

- **CABOS DE TRENZADO CIRCULAR:** la construcción de cordones paralelos, conocida como trenzado circular, se compone de varios



subcabos trenzados dispuestos paralelamente dentro de un forro trenzado. Mientras que este forro no soporta carga, los subcabos interiores tienen un diseño que permite maximizar su rendimiento, haciendo que esta construcción sea la más eficiente que se fabrica actualmente. La figura 12.67 muestra los cabos de trenzado circular.

12.2.6.3. Estachas y cabos utilizados en acuicultura: materiales

En el cuadro 12.68 se identifican algunas de las estachas más utilizadas en la acuicultura marina.

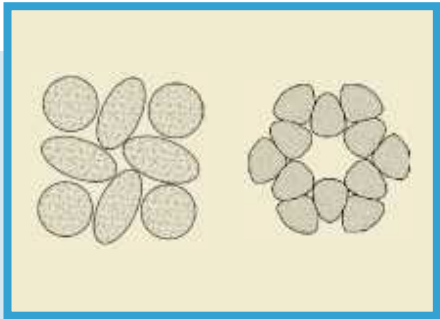


FIGURA 12.65.  
Cabos trenzados  
(Quintas&Quintas).

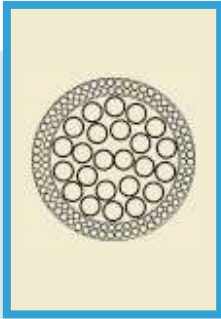


FIGURA 12.66.  
Cabo de doble  
centrado  
(Quintas&Quintas).

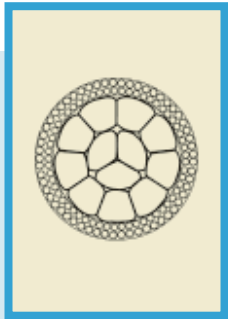


FIGURA 12.67.  
Cabo de trenzado  
circular  
(Quintas&Quintas).

CUADRO 12.68.

Estachas utilizadas en acuicultura (Quintas&Quintas).

		Material			
		Nylon	Poliéster	Polipropileno	Polysteel
Tipo de Construcción	8 Cordones	CTOC	CTOC	Nota	CTOC
	3 y/o 4 Cordones	CTTC	CTTC		CTTC
	Cabos de Doble Trenzado	CTDT	CTDT		

**Nota:** En acuicultura no se usa Polipropileno en las jaulas y en los fondeos, se emplea como refuerzo de las redes (relingas y refuerzos).  
CTOC = cabo trenzado ocho cordones.  
CTTC = cabo torcido tres cordones.  
CTDT = cabo trenzado doble trenzado.



A modo de resumen de los materiales más usuales se incluyen los cuadros 12.69 y 12.70 comparando sus principales características generales: resistencia, durabilidad y precio.

**CUADRO 12.69.**

Cuadro resumen de materiales.

	Nylon	Poliéster	Polysteel	Polietileno
Resistencia	Muy alta	Muy alta	Alta	Media
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Baja
Precio	Muy alta	Alta	Media	Media

**CUADRO 12.70.**

Cuadro resumen de materiales.

	Nylon	Poliéster	Polipropileno	Polysteel	Dyneema
Resistencia	MA	A	B	A	MA
Durabilidad	A	MA	B	M	MA
Precio	MA	A	B	M	MA

Considerando esta tabla y el precio comparativo del Polysteel frente al Nylon y al Poliéster (aproximadamente la mitad) todas las ventajas se inclinan a su favor y además la carga de rotura del Polysteel es la misma que el Nylon debajo del agua, ya que este pierde casi un 15 % de la carga de rotura cuando se moja. El cuadro 12.71 ilustra la comparación de precios tomando como referencia el polipropileno (100).

Los polietilenos y polipropilenos se degradan con los rayos UV del sol con lo cual no son muy adecuados para la acuicultura. En el proceso de extrusión para su conformado se les aplica un tratamiento contra

**CUADRO 12.71.**

Comparación de precios de materiales.

Nylon	Poliéster	Polipropileno	Polysteel	Dyneema	Nylon doble trenzado
215	175	100	125	3000	300

**Nota:** Esta valoración es aproximada ya que estas cifras reflejan el precio por kilo y habría que ponderar además el peso por unidad de longitud ya que al final lo que se instala son metros y no kilos.



los rayos UV, pero es poco eficiente, ya que estos materiales acaban cristalizando al cabo de las 900 horas de exposición al sol. Es decir, que las estachas que están semisumergidas o a poca profundidad, solo por el sol, no duran más de dos o tres años.

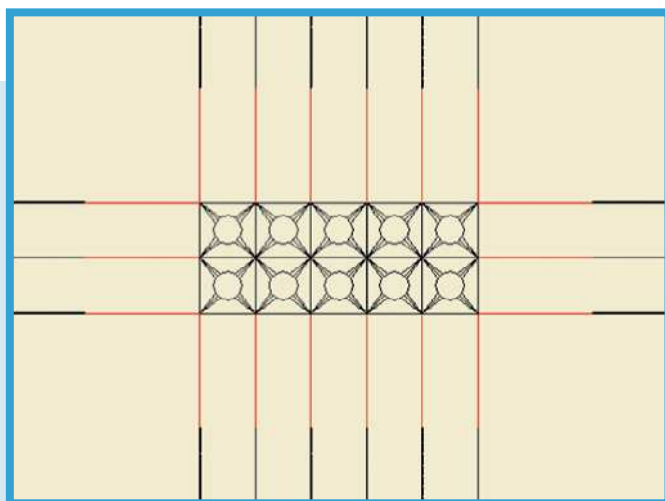
El nylon tiene entre sus ventajas que es muy elástico. Por el contrario encoge con el agua. La combinación de estos dos factores hace que las medidas nunca sean correctas. Además es un material muy caro.

Las cuerdas trenzadas, a diferencia de las torcidas o cableadas, son de construcción neutra, por lo que no tienen tendencia de giro en ningún sentido.

### 12.2.6.4. Estachas y cabos utilizados en acuicultura: ubicación

A continuación se identifican los materiales más habitualmente utilizados, según la tabla 12.68, con las zonas de la línea de fondeo donde pueden instalarse. Esta información es una sugerencia o recomendación que puede servir como punto de partida para la decisión en el proyecto final siguiendo el espíritu de esta obra: ideas básicas a desarrollar en la realidad.

- **ESTACHA:** entre la cadena y el entramado exterior (en rojo en la figura 12.72).



**FIGURA 12.72.** Estacha (Global Aquafish).



**Sugerencias:**

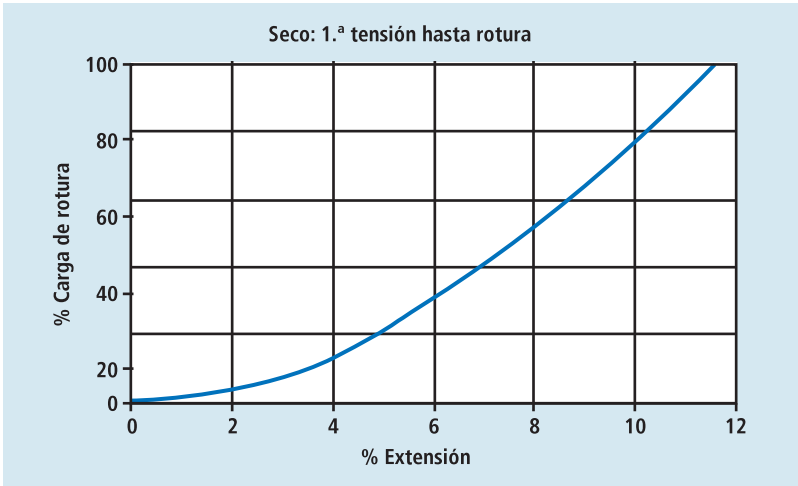
1. CTOC. Polysteel.
2. CTOC. Nylon.
3. CTOC. Poliéster.

Las tablas correspondientes que detallan los diámetros disponibles, el peso por unidad de longitud, la carga de rotura y las curvas de tensión-deformación se incluyen a continuación.

**Características generales CTOC. Polysteel.**

Ø (mm)	Peso (kg/100 m)	Carga de rotura (t)	Características generales
40	72	27	Resistencia en mojado/seco: 100%
44	88	32	Absorción de energía: buena
48	104	37	Peso específico: 0,91
52	122	43	Flota: si
56	142	49	Alargamiento: bajo
60	163	57	Absorbe agua: no
64	185	64	Resistencia a la abrasión: muy buena
72	234	80	Punto de fusión: 165 °C
80	290	99	Resistencia a los ácidos: excelente
88	351	107	Resistencia a los alcaloides: excelente
96	417	126	Resistencia al aceite/gas: muy buena
104	490	145	Resistencia a la luz UV: buena
112	570	167	
120	650	192	
128	740	216	
136	840	245	
144	940	275	

Tolerancia peso: 5%.  
Ø mm corresponde al diámetro aproximado.







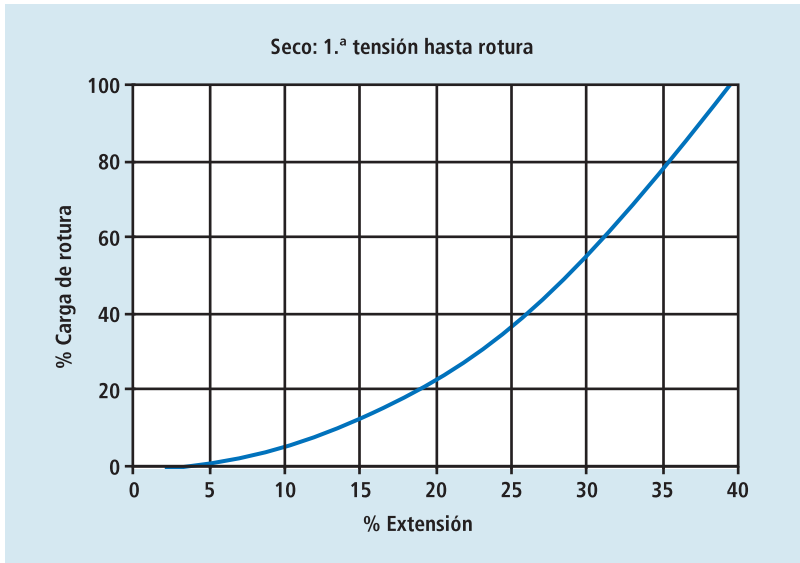
Otro fabricante suministra las características siguientes para las estachas de polysteel de 8 (4x2) cordones trenzados:

POLYSTEEL/CORDONES TRENZADOS					
Diam.	Circ. Pulgadas	Metraje		Carga Rotura	
		Kg/100 m	lb/100 ft	kfg	lb
40	5"	72,0	48,3	26.860	59.160
44	5 1/2"	88,0	59,1	31.780	70.000
48	6"	104,0	69,8	37.180	81.890
52	6 1/2"	122,0	82,0	43.195	95.140
56	7"	142,0	95,3	49.380	108.760
60	7 1/2"	163,0	109,5	56.680	124.840
64	8"	185,0	124,0	64.140	141.270
68	8 1/2"	209,0	140,7	72.062	158.720
72	9"	234,0	157,0	80.225	176.700
80	10"	290,0	195,0	99.050	218.170

Características generales CTOC. Nylon.

Ø (mm)	Peso (kg/100 m)	Carga de rotura (t)	Características generales
40	99	30	Resistencia en mojado/seco: 85-90%
44	120	36	Absorción de energía: excelente
48	142	42	Peso específico: 1,14
52	165	49	Flota: no
56	193	56	Alargamiento: alto
60	221	64	Absorbe agua: si
64	252	72	Resistencia a la abrasión: muy buena
72	319	90	Punto de fusión: 260 °C
80	394	110	Resistencia a los ácidos: media
85	477	131	Resistencia a los alcaloides: muy buena
96	568	154	Resistencia al aceite/gas: muy buena
104	650	182	Resistencia a la luz UV: muy buena
112	772	210	
120	837	240	
128	1.080	272	
135	1.140	306	
144	1.280	342	

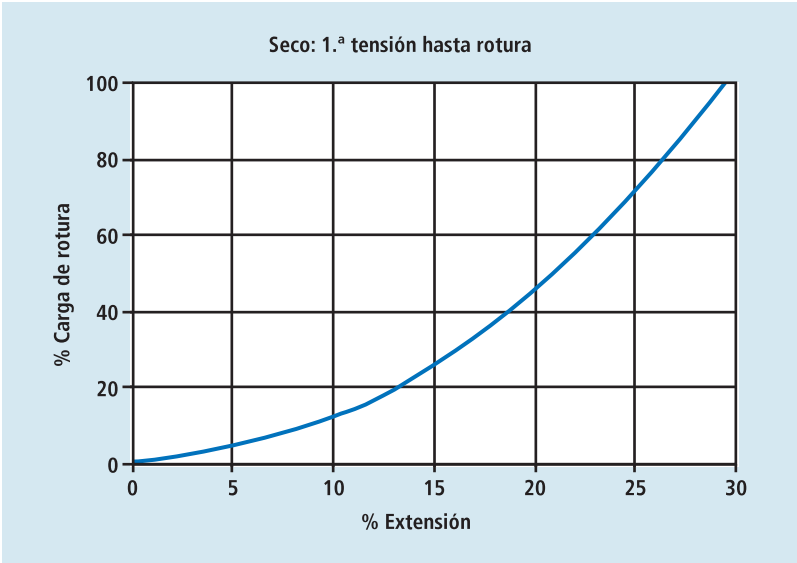
Tolerancia peso: 5%.  
Ø mm corresponde al diámetro aproximado.



Características generales CTOC. Poliéster.

Ø (mm)	Peso (kg/100 m)	Carga de rotura (t)	Características generales
40	122	24	Resistencia en mojado/seco: 100%
44	147	28	Absorción de energía: muy buena
48	175	34	Peso específico: 1,38
52	205	39	Flota: no
56	238	45	Alargamiento: medio
60	273	50	Absorbe agua: no
64	312	58	Resistencia a la abrasión: excelente
72	393	72	Punto de fusión: 260 °C
80	485	88	Resistencia a los ácidos: buena
84	587	105	Resistencia a los alcaloides: media
96	693	125	Resistencia al aceite/gas: muy buena
104	820	145	Resistencia a la luz UV: excelente
112	930	165	
120	1.090	190	
128	1.240	215	
135	1.400	245	
144	1.570	290	

Tolerancia peso: 5%.  
Ø mm corresponde al diámetro aproximado.



Otro fabricante suministra las características siguientes para las estachas de nylon de 8 (4x2) cordones trenzados:

NYLON/CORDONES TRENZADOS					
Diam.	Circ. Pulgadas	Metraje		Carga Rotura	
		Kg/100 m	lb/100 ft	kfg	lb
40	5"	99,0	66,5	30.000	66.080
44	5 1/2"	120,0	81,0	35.800	78.850
48	6"	142,0	95,0	42.000	92.510
52	6 1/2"	166,0	112,0	48.800	107.490
56	7"	193,0	130,0	56.000	123.350
60	7 1/2"	221,0	148,0	63.800	140.500
64	8"	252,0	169,0	72.000	158.600
72	9"	319,0	214,0	90.000	198.200
80	10"	394,0	264,0	110.000	242.300

Ocasionalmente también se usan cabos torcidos de tres cordones (CTTC) para las estachas. Sus características según los materiales se detallan en el cuadro siguiente:



## Características generales CTTC. Varios materiales.

Ø mm	POLYPROPILENO monofilamento, rafia, fibra discontinua		POLYPROPILENO multifilamento		AQUALINE® monofilamento		POLYESTER multifilamento		POLYAMIDA multifilamento	
	Peso nominal g/m	Carga de rotura mínima kgf	Peso nominal g/m	Carga de rotura mínima kgf	Peso nominal g/m	Carga de rotura mínima kgf	Peso nominal g/m	Carga de rotura mínima kgf	Peso nominal g/m	Carga de rotura mínima kgf
6	17	600	17	680	17	770	27	570	22,5	750
8	30	1.060	30	1.210	30	1.360	488	1.020	40	1.410
10	45	1.560	45	1.780	45	2.040	76	1.590	62	2.030
12	65	2.210	65	2.520	65	2.900	110	2.270	89	3.080
14	90	3.050	90	3.480	90	3.910	146	3.180	122	4.100
16	115	3.780	115	4.300	115	4.910	195	4.060	158	5.300
18	146	4.820	148	5.480	148	6.310	245	5.080	200	6.700
20	180	5.810	180	66.100	180	7.600	305	6.350	245	8.300
22	220	6.960	220	7.920	220	8.910	367	7.620	300	10.000
24	280	8.130	260	9.270	260	10.490	437	9.140	359	12.000
26	305	9.410	305	10.700	305	12.320	512	10.700	420	13.980
28	355	10.700	355	12.200	355	13.910	594	12.200	485	15.800
30	405	12.220	405	13.230	405	16.070	682	13.700	555	17.750
32	460	13.500	460	15.300	460	17.540	770	15.700	630	20.000
36	585	16.920	585	19.300	585	22.080	982	19.300	800	14.890
40	720	20.500	720	23.400	720	26.860	1.215	23.900	990	30.000
44	880	24.630	880	28.000	880	31.780	1.468	28.400	1.200	35.800
48	1.040	38.600	1.040	325.000	1.040	37.180	1.750	33.500	1.420	42.000
52	1.220	33.100	1.220	37.200	1.220	43.200	2.850	39.100	1.660	45.900
56	1.420	37.840	1.420	43.100	1.420	49.380	2.380	44.700	1.930	56.00
60	1.630	43.270	1.630	49.300	1.630	56.680	2.730	49.800	2.210	63.850
64	1.850	48.960	1.850	55.800	1.850	64.140	3.810	57.900	2.520	72.000
72	2.340	61.480	2.340	70.100	2.340	80.230	3.930	72.100	3.190	90.000
80	2.900	75.620	2.900	86.100	2.900	99.050	4.850	88.400	3.940	110.000

- *ENTRAMADO EXTERIOR*: en rojo en la figura 12.73. Esta estructura de cables mantiene la forma del polígono gracias a las tres patas de gallo que van a cada una de sus esquinas desde cada vivero y recibe los esfuerzos de los movimientos de las jaulas. La distancia recomendable de cada jaula a los bordes del entramado puede ser de siete metros.



Sugerencias:

- 1. Cable de acero forrado de PVC.
- 2. Estacha CTOC Polysteel.
- 3. Cable de acero.
- 4. Se suelen usar cables mixtos (cables cubiertos de textil). Pueden ser con (WSC) o sin (FC) alma textil.

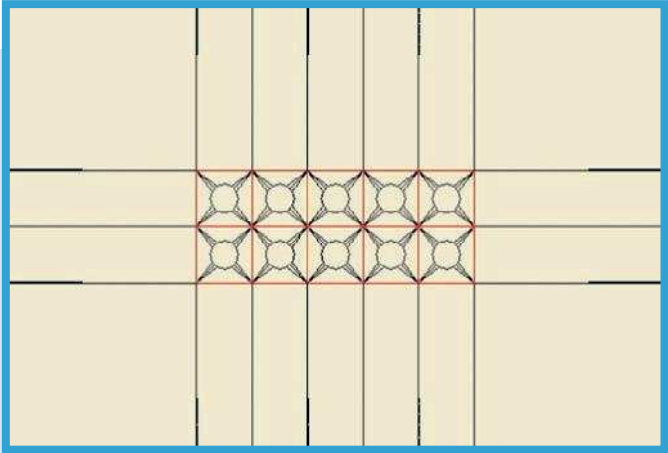


FIGURA 12.73. Entramado exterior (Global Aquafish).

Características generales. Materiales FC y WSC.

Ø mm	FC		WSC	
	MBL kgf	kg/m	MBL kgf	kg/m
16	4.400	0,29	6.200	0,39
18	5.400	0,38	7.600	0,51
20	7.000	0,49	9.600	0,64
22	9.700	0,69	14.300	0,88
24	11.200	0,82	16.900	1,05
26	12.900	0,95	19.100	1,21
28	14.000	1,03	21.800	1,42
30	15.400	1,18	24.900	1,63
32	17.400	1,33	29.200	1,89
34	19.500	1,50	33.700	2,18
36	21.800	1,67	37.400	2,42





Otro fabricante recomienda el cabo de polysteel con alma textil o con alma metálica. Sus características se incluyen a continuación.



Polysteel con alma textil.

ALMA TEXTIL		
Ø mm	Peso mts.	Carga Rotura
14	0,237	3.600
16	0,270	4.800
18	0,302	5.500
20	0,396	7.200
22	0,525	10.700
24	0,668	11.500
26	0,708	13.300
28	0,843	14.000
30	1,015	17.300
32	1,065	18.500

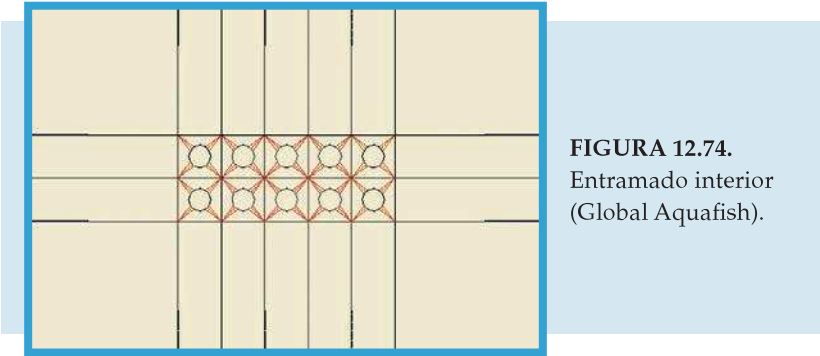


Polysteel con alma metálica.



ALMA METÁLICA		
Ø mm	Peso mts.	Carga Rotura
14	0,327	5.500
16	0,377	6.800
18	0,452	8.000
20	0,591	10.700
22	0,713	13.200
24	0,908	17.800
26	1,028	19.000
28	1,268	23.500
30	1,390	25.500
32	1,544	27.800

- *ENTRAMADO INTERIOR*: en rojo en la figura 12.74 y figura 12.34. Este conjunto de cabos permite sujetar las jaulas al entramado exterior y transmitir los esfuerzos generados por los viveros. Cada uno de los cabos se llama «pata de gallo» y se instalan tres a cada esquina del entramado exterior, doce en total por jaula (viveros con dos aros por jaula y ocho en total para viveros con tres aros).



**FIGURA 12.74.**  
Entramado interior  
(Global Aquafish).

**Sugerencias:**

1. CTOC. Nylon.
2. CTOC. Aqualine.
3. Es muy normal emplear cabos trenzado de doble trenzado (CTDT) disponibles en Poliéster y Nylon.

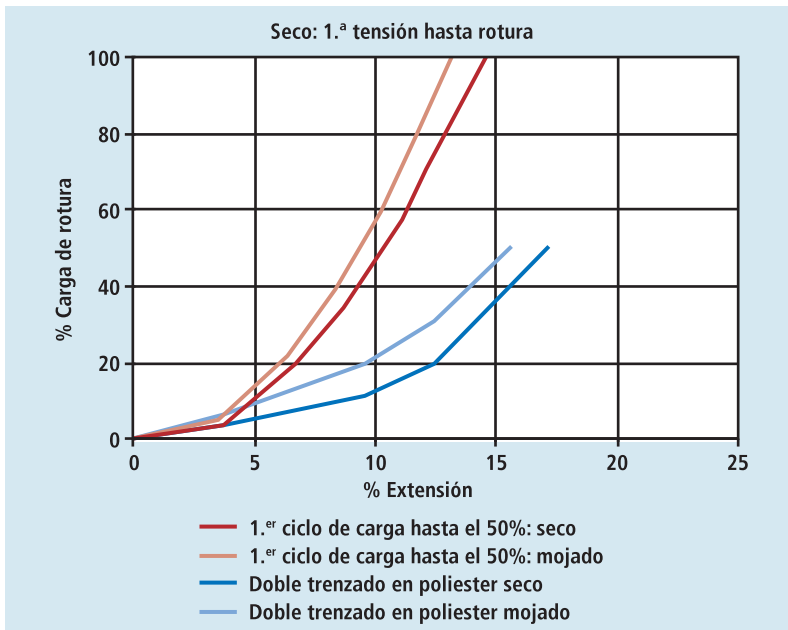


### Características generales CTDI. Poliéster.

Ø (mm)	Peso (kg/100 m)	Carga de rotura (t)	Características generales
40	122	32	Resistencia en mojado/seco: 100%
44	147	38	Absorción de energía: buena
48	175	45	Peso específico: 1,38
52	205	54	Flota: no
56	238	62	Alargamiento: medio
60	274	71	Absorbe agua: no
64	312	81	Resistencia a la abrasión: excelente
72	395	98	Punto de fusión: 260 °C
80	487	124	Resistencia a los ácidos: buena
88	593	150	Resistencia a los alcaloides: media
96	702	175	Resistencia al aceite/gas: muy buena
104	825	209	Resistencia a la luz UV: excelente
112	956	240	
120	1.100	275	
128	1.250	298	
144	1.530	376	
168	2.150	512	
192	2.830	670	
206	3.560	648	
240	4.390	1.047	

Tolerancia peso: 5%.

Ø mm corresponde al diámetro aproximado.

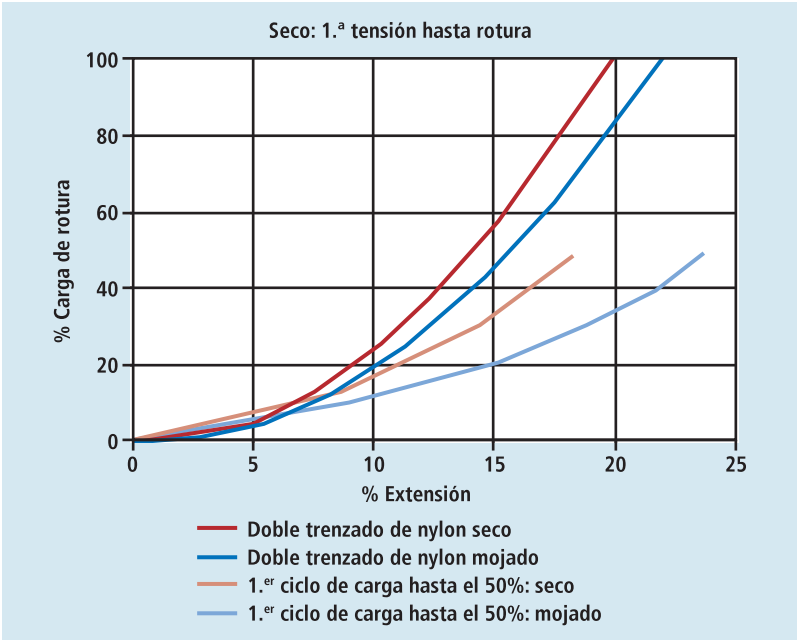




Características generales CTD.T. Nylon.

Ø (mm)	Peso (kg/100 m)	Carga de rotura (t)	Características generales
40	98	36	Resistencia en mojado/seco: 85-90%
44	120	42	Absorción de energía: excelente
48	143	50	Peso específico: 1,14
52	168	60	Flota: no
56	195	68	Alargamiento: alto
60	223	78	Absorbe agua: si
64	254	90	Resistencia a la abrasión: muy buena
72	321	109	Punto de fusión: 260 °C
80	397	158	Resistencia a los ácidos: media
88	481	167	Resistencia a los alcaloides: muy buena
96	572	195	Resistencia al aceite/gas: muy buena
104	671	232	Resistencia a la luz UV: muy buena
112	779	262	
120	815	305	
128	1.420	340	
144	1.280	420	
168	1.740	570	
192	2.280	760	
206	2.860	960	
240	3.560	1.200	

Tolerancia peso: 5%.  
Ø mm corresponde al diámetro aproximado.





Los cabos del entramado interior van amarrados a la jaula en unas zonas de los tubos de flotación que tienen unos refuerzos tal como se aprecia en la figura 3.4.

Una recomendación importante es que todas las líneas deben ser iguales, tanto en dimensiones como en materiales, para estandarizar todos los elementos, reducir los costes y facilitar el mantenimiento.

En el diseño de los entramados hay que tener en cuenta la posibilidad de soltar jaulas individuales temporalmente sin que estos pierdan su integridad y sus funciones.

### 12.2.7. Plato de amarre

Es uno de los componentes básicos de la línea de fondeo ya que realiza la distribución de los esfuerzos creados en las jaulas y en el entramado superior al entramado inferior, a la estacha y a la cadena. Se debe situar entre 3.5 y 5 metros de profundidad. Algunas de sus características principales se detallan a continuación:

- Resistencia a los esfuerzos que se originan en el polígono de jaulas.
- Resistencia al desgaste por abrasión y corrosión.
- Conexiones fáciles, rápidas y sencillas.
- Evitar los daños en los elementos de unión de las diversas líneas que a él se conectan.

Las figuras 12.75 y 12.76 muestran diseños sencillos con grilletes como elementos de unión. La figura 12.77 visualiza otro tipo de diseño mas sofisticado. Al principio se utilizaba una anilla como plato de distribución o una campana (figura 12.78).

Según la situación del plato de distribución en el entramado varían las uniones de los cabos o las estachas al mismo. Hay tres posibilidades que están identificadas en la figura 12.79 (jaulas flotantes) como A, B y C, según sea un punto central (A), una esquina (B) o una unión lateral (C). La figura 12.80 visualiza el conjunto para jaulas sumergidas.

La figura 12.81 (jaulas flotantes) muestra una unión central (A) donde se aprecian los ocho cabos del entramado interior (patas de gallo) que van cada dos a cada jaula (actualmente se instalan tres patas de gallo a





**FIGURA 12.75.**  
Diseño sencillo de plato  
de distribución.



**FIGURA 12.76.**  
Diseño sencillo de plato  
de distribución (Global Aquafish).

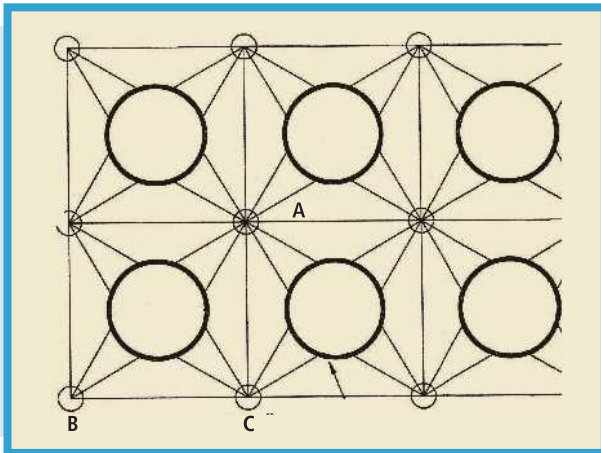


**FIGURA 12.77.**  
Diseño moderno  
(Quintas & Quintas).

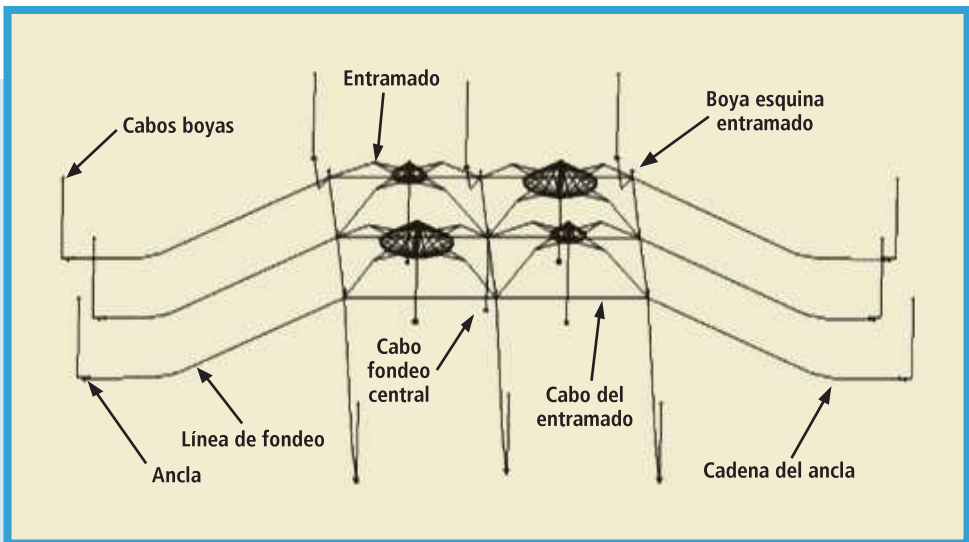


**FIGURA 12.78.**  
Campana de distribución  
(Global Aquafish).

cada esquina o sea 12 por jaula tal como se aprecia en la figura 12.33) y los cuatro cabos del entramado exterior. La figura 12.82 visualiza este mismo tipo de unión pero el entramado exterior esta compuesto por cadenas en vez de estachas. La figura 12.83 muestra la utilización de trozos de cadena para unir las estachas al plato de distribución. Algunos otros diseñadores incluyen también un pequeño tramo de cadena para unir la estacha y el cabo del entramado interior al plato de distribución. La figura 12.84 visualiza la unión central del entramado para jaulas sumergidas (no figuran los cabos de unión a las jaulas).



**FIGURA 12.79.**  
Uniones a plato  
de distribución  
(jaulas flotantes)  
(CORELSA).



**FIGURA 12.80.** Uniones a plato de distribución (jaulas sumergibles) (Sea Station).

La figura 12.85 (jaulas flotantes) ilustra una unión de esquina (B) donde se aprecian los dos cabos del entramado interior (actualmente tres) que van a una jaula, los dos cabos del entramado exterior y las dos estachas que van cada una a una cadena y a un ancla o «muerto». La figura 12.86 visualiza una unión de la esquina del entramado para jaulas sumergibles (no figuran los cabos de unión a las jaulas).

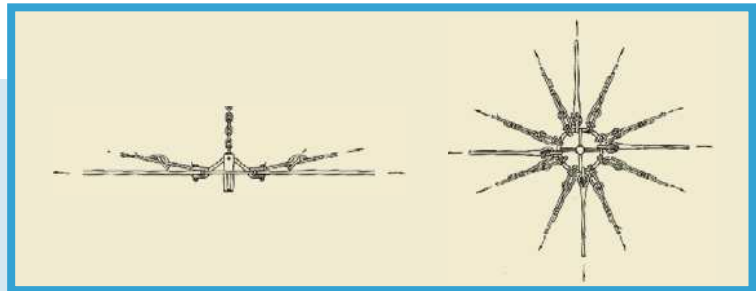


FIGURA 12.81. Unión tipo A (jaulas flotantes) (CORELSA).

FIGURA 12.82.  
Unión tipo A.  
Cadena entramado exterior.

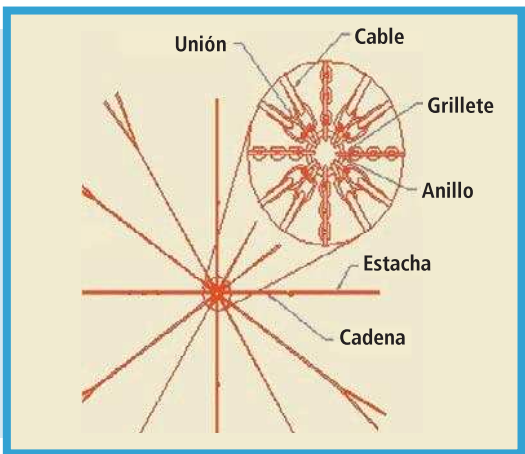
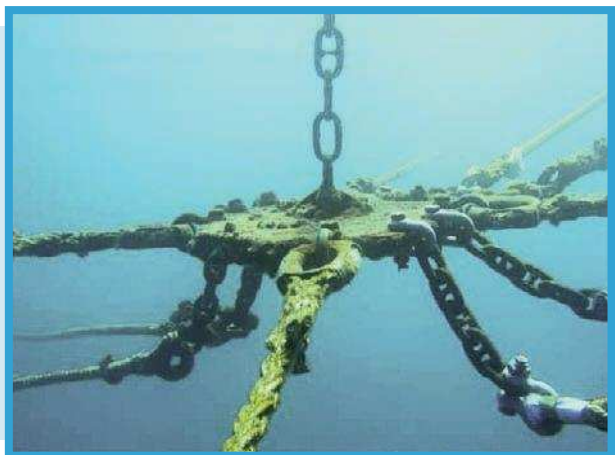
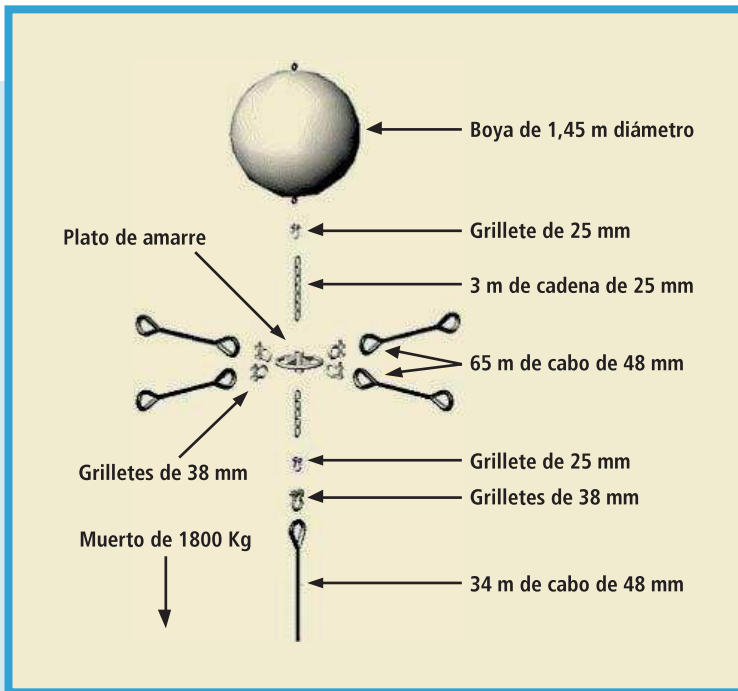
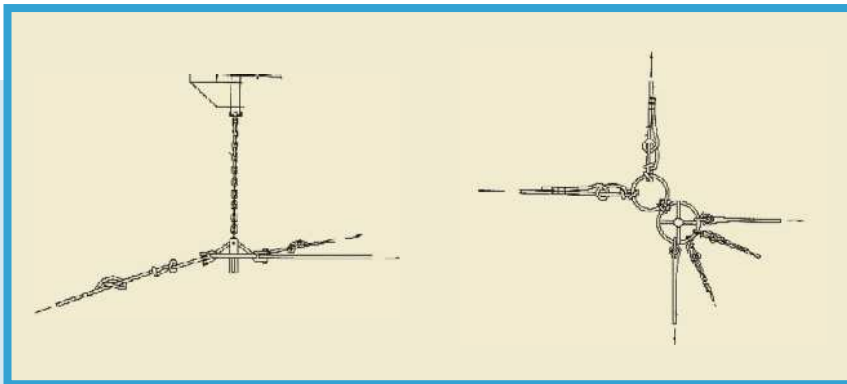


FIGURA 12.83.  
Unión de estachas a plato  
de distribución  
con cadenas (Besmar).





**FIGURA 12.84.** Unión central (jaulas sumergidas) (SEA STATION).



**FIGURA 12.85.** Unión tipo B (jaulas flotantes) (CORELSA).

La figura 12.87 muestra una unión lateral (C) donde se aprecian los cuatro cabos del entramado interior que van cada dos a una jaula (actualmente tres a cada jaula), los tres cabos del entramado exterior

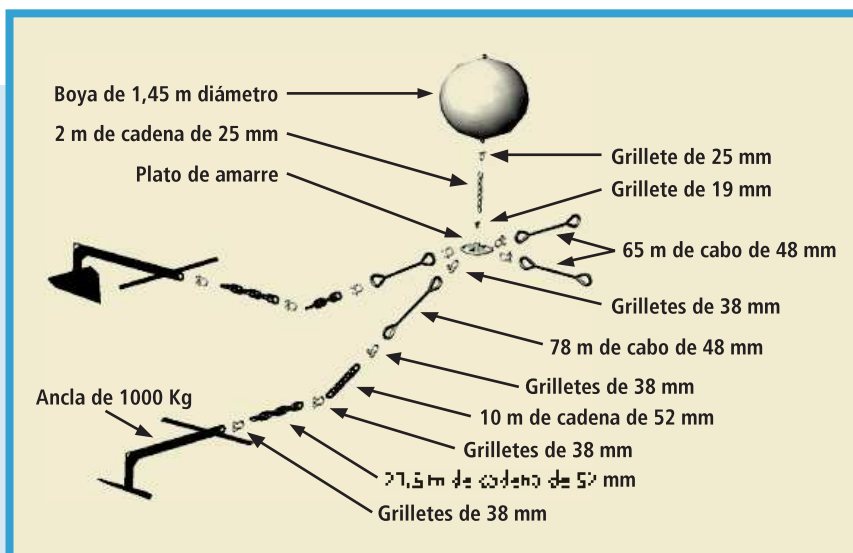


FIGURA 12.86. Unión esquina entramado (jaulas sumergibles) (SEA STATION).

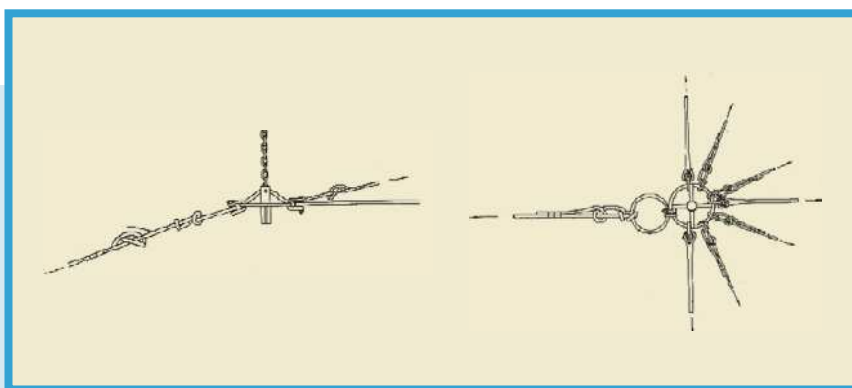
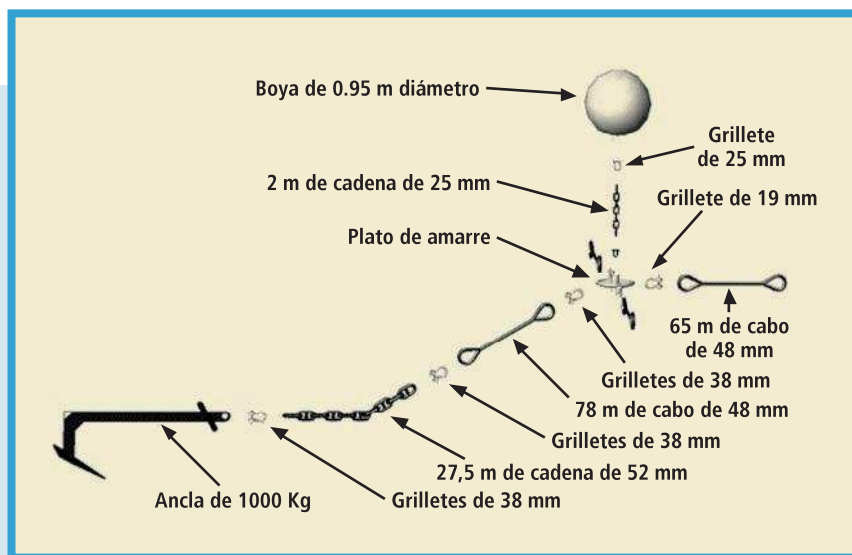


FIGURA 12.87. Unión tipo C (jaulas flotantes) (CORELSA).

y una estacha que va a una cadena y a un ancla o «muerto». La figura 12.88 visualiza una unión lateral del entramado para jaulas sumergibles (no figuran los cabos de unión a las jaulas).

La longitud de la estacha desde la cadena hasta el entramado sigue una regla aceptada universalmente:

$$\text{Longitud/Profundidad} = 3/1$$



**FIGURA 12.88.** Unión lateral entramado (jaulas sumergibles) (SEA STATION).

La forma de amarre de la estacha de fondeo al plato de distribución es muy variable aunque son tres las formas más adoptadas:

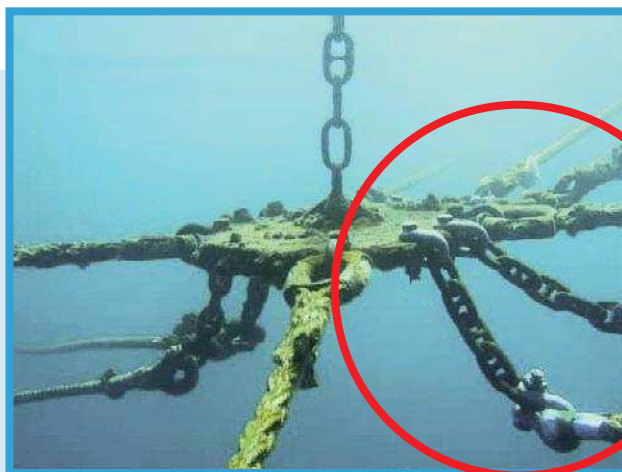
- Guardacabo con un grillete al plato (Figura 12.76).
- Guardacabo con un grillete a una cadena y esta al plato (Figura 12.89).
- Cabo directamente a la campana (Figura 12.78).
- Cabo directamente a un anillo que luego se une a otro anillo o al plato de distribución (Figura 12.85).

### 12.2.8. Boyas de fondeo

Las boyas de fondeo tienen varias misiones importantes en la línea de anclaje:

- Amortiguar los esfuerzos de la línea de fondeo evitando que se transmitan a la estructura de las jaulas las fuerzas verticales.
- Asegurar la flotabilidad de los platos de amarre, los cabos y las estachas de los entramados con independencia del movimiento de las jaulas.
- Señalización.





**FIGURA 12.89.** Cadena entre estacha y plato (Besmar).

Las boyas absorberán el peso del sistema de fondeo, para que no sea transferido a las jaulas, si se sitúan a una distancia determinada del collar (15-20 metros).

Además, para asegurar la transferencia horizontal de las fuerzas, las boyas tienen una misión importante en el pre tensado de la instalación tensionando las líneas de fondeo.

Las boyas también actuarán como muelles para amortiguar los movimientos de las olas y otros esfuerzos. Cuando una carga se añade al vivero la boya es arrastrada hacia abajo y ya no se verá en la superficie hasta que el efecto de esa carga desaparezca.

Las boyas se pueden llenar de aire o de espuma. Para evitar la pérdida de flotabilidad, se recomienda el uso de espuma y en algunos casos es mandatorio. Las espumas más utilizadas son el poliestireno (PS) expandido y el poliuretano (PU).

Si una boya llena de aire es sumergida, la flotabilidad disminuye rápidamente porque la boya se comprime; la reducción de volumen implica pérdida de flotabilidad. Las boyas rellenas con espumas también sufren esta compresión debajo del agua siendo el PVC el que resiste mejor la presión. La flotabilidad de las boyas debe ser superior a los resultados de los cálculos. Se recomienda la aplicación de un coeficiente de seguridad de dos.



Se han realizado experimentos sustituyendo las boyas individuales de mayor tamaño por un sistema de boyas múltiples situadas a lo largo de las estachas siendo el resultado una respuesta dinámica más suave en las líneas de fondeo.

A veces se ha situado un peso entre el collar y las boyas para facilitar la navegación de los barcos auxiliares y actúa como sistema de pre tensión adicional evitando sacudiada en las líneas. Sin embargo este arilugio aumenta el desgaste de las líneas de fondeo con lo cual no es muy recomendable.

Desde las boyas las líneas de fondeo van hasta los puntos de anclaje. Se recomienda una relación longitud/profundidad entre 2,5 y 4. Las líneas de anclaje más largas reducen las fuerzas verticales y por lo tanto reducen también la flotabilidad requerida en las boyas, pero su gran desventaja es que necesitan más espacio y el coste se incrementa.

Estas boyas pueden ser de material plástico o metálico y de forma esférica, cilíndrica o poligonal. Las figuras 12.90 y 12.91 muestran dos modelos diferentes.

Los tamaños de estas boyas oscilan entre 200 y 700 litros.

La inspección de las boyas puede constituir un control muy sencillo del sistema de fondeo. Dado que todas las líneas de fondeo son iguales y están igualmente pre-tensadas, todas las boyas tendrán el mismo volumen sobre el nivel del agua. Por lo tanto puede ser de gran ayuda tener distintas marcas en las boyas para controlar más fácilmente el volumen de la boya que está debajo de la superficie. Esta verificación se debe realizar cuando no haya fuerzas ambientales actuando sobre el vivero. Por ejemplo, si existe una corriente en uno de los lados, las boyas de esta zona estarán mas hundidas y las del extremo opuesto estarán un poco más sobre el agua como resultado del efecto de cargas diferentes en las líneas de fondeo. Esta recomendación se repite en el capítulo de pre-tensado de las líneas de fondeo.

#### **12.2.9. Balizamiento**

Para el balizamiento de la concesión suelen emplearse cuatro boyas con sus correspondientes balizas.



**FIGURA 12.90.**  
Boyas (Quintas & Quintas).



**FIGURA 12.91.** Boya.

Las boyas identifican los límites de la concesión. Suelen incorporar un flotador de polietileno con cubierta de poliuretano elastómero. Está equipada con un equipo de alimentación solar, un tope reflector de radar y una caja de baterías. La figura 12.92 visualiza uno de los modelos comerciales.

La baliza está compuesta por una lente acrílica de horizonte de color amarillo. Está equipada con un destellador de estado sólido programable, una lámpara de doble filamento y una fotocélula. Actualmente las linternas van equipadas con diodos fotoemisores («leds»).

La figura 12.93 muestra un esquema completo de una boya de balizamiento:

### 12.3. CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE FONDEO DE VIVEROS

Las fuerzas estáticas, ya calculadas en el párrafo 11.1, originadas por los pesos y compensadas por la flotabilidad de la estructura, son



independientes de las fuerzas dinámicas que van a actuar directamente sobre el vivero. Las fuerzas dinámicas son originadas por las corrientes, los vientos, las olas y las mareas.

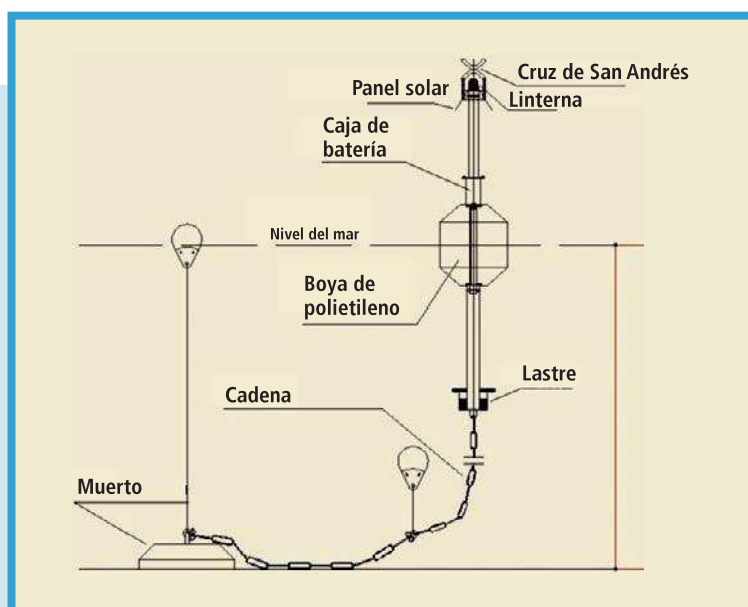
Para el cálculo de los sistemas de fondeo de los viveros es necesario calcular primero las fuerzas dinámicas y con los valores obtenidos se podrán dimensionar los correspondientes elementos de dicho sistema.

A continuación se esquematiza el proceso a seguir. En primer lugar se identifican las **fuerzas** que es necesario calcular que son las ya denominadas Fuerzas Dinámicas:

- Fuerzas provocadas por las corrientes: solo actúan sobre las partes sumergidas.
  - Fuerzas sobre la red sumergida.
  - Fuerzas sobre los cabos de la red.
  - Fuerzas sobre los flotadores sumergidos.
  - Fuerzas sobre las boyas.



**FIGURA 12.92.**  
Boya de balizamiento.  
Quintas & Quintas.



**FIGURA 12.93.** Esquema de una boya de balizamiento.



- Fuerzas provocadas por el viento: solo actúan sobre las partes emergentes.
  - Fuerzas sobre la barandilla.
  - Fuerzas sobre los soportes de la barandilla.
  - Fuerzas sobre la parte emergente de los flotadores.
  - Fuerzas sobre la red que está fuera del agua.
- Fuerzas provocadas por las olas: solo actúan sobre las partes emergentes.
- Fuerzas provocadas por la pretensión en el entramado exterior.
- Fuerzas de reacción de las jaulas sobre el entramado interior.

En segundo lugar se esquematizan los procesos de cálculos a realizar:

- Cálculo de las fuerzas dinámicas que actúan sobre cada uno de los elementos de la flotilla de viveros
- Cálculo de los esfuerzos que estas fuerzas dinámicas, ya calculadas, inducen en las líneas de fondeo para absorberlas.
- Cálculo de las líneas de fondeo que deben soportar los esfuerzos definidos en el apartado anterior.

El resultado final de estos cálculos debe permitir definir las siguientes variables:

- Peso del muerto y/o anclas en el aire y poder de agarre.
- Distancia de la flotilla al ancla/muerto.
- Excursión máxima en metros.
- Diámetro y longitud de la cadena de la línea de fondeo.
- Material, longitud y diámetro de las estachas de las líneas de fondeo.
- Material, longitud y diámetro de los cabos del entramado exterior de la flotilla.
- Material, longitud y diámetro de los cabos del entramado interior de la flotilla.
- Capacidad de las boyas de profundidad y superficie.
- Coeficientes de seguridad.

### 12.3.1. Parámetros a definir de la instalación

Para calcular el sistema de fondeo es necesario definir una serie de datos básicos de la instalación, tanto geográficos como de equipamiento, que a continuación se esquematizan:



- **Coordenadas de la instalación:** latitud y longitud geográficas y coordenadas U.T.M. de los cuatro vértices del polígono. Con estos datos se puede definir la superficie total ocupada, su perímetro y las longitudes de cada lado del polígono. Es interesante preparar uno o varios planos con la ubicación de la instalación tanto a nivel de la geografía española como a nivel regional y local.
- **Características de los fondos:** tipo de fondo (arenoso, fangoso, roca, cascajo...), la profundidad, la distancia a la costa, la existencia de poblaciones vegetales...
- **Características ambientales:**
  - Velocidad de la corriente. Las grandes tormentas producen un gran aumento de las corrientes, especialmente en las zonas de poca profundidad. ***Dado que las fuerzas de las corrientes sobre las estructuras son proporcionales al cuadrado de su velocidad, es muy importante determinar la corriente máxima admisible asociada al diseño.***
  - Ángulo de incidencia de la corriente con el eje de la flotilla de jaulas.
  - Velocidad del viento. A veces la velocidad del viento viene dada como la velocidad de una ráfaga de una milla de longitud y a una altura de 30 pies. ***La velocidad del viento a utilizar en los cálculos es aquella para la que la longitud de ráfaga es la misma que la longitud de la flotilla de viveros (caso más desfavorable).***
  - Altura significativa, período y longitud de onda de ola y período de picos. ***Las fuerzas originadas por las olas decaen hiperbólicamente con la profundidad por lo tanto a poca profundidad el efecto de las olas es despreciable.*** Esta es una de las grandes ventajas de los viveros sumergibles en los emplazamientos en mar abierto.
  - Profundidad. ***La combinación del efecto de las olas con pequeñas profundidades puede ser extremadamente peligroso ya que las fuerzas de las olas rompiendo pueden ser hasta cien veces más altas que las olas no rompientes.***





- **Características de los viveros:**
  - Numero de jaulas y su disposición en la flotilla.
  - Dimensiones de cada jaula y de sus flotadores.
  - Dimensiones de la red: sumergida y emergida.
  - Dimensiones del aro de lastre.
- **Características básicas de los fondeos:**
  - Ancla o muerto.
  - Distancia de fondeo desde la flotilla.
- **Características de los fabricantes de materiales:**
  - Densidades lineales (en seco y en agua).
  - Límites elásticos y cargas de rotura.
  - Módulo de Young.
- **Variables de ajuste a ser definidas durante el diseño:**
  - Coeficientes de seguridad.
  - Coeficientes de resistencia de las boyas al agua y al viento: 0,5.
  - Coeficientes de resistencia de los cabos al agua: 0,5.
  - Factor de sombra: considera la influencia de las corrientes después de atravesar los viveros. ***Según Huguenin la velocidad en la segunda línea de viveros puede ser el 60 % de la velocidad que atraviesa la primera y en la tercera fila cae hasta el 45 %. Además el agua que llega a este vivero ya estará degradada por los seres de los viveros de las dos primeras filas. Y si se considera el efecto del biofouling a través de las dos primeras filas, únicamente llegaría un caudal entre el 10 y el 20 %.*** Por esta razón en las flotillas actuales los viveros se disponen en dos filas únicamente.
  - Pretensión de la flotilla de viveros.
  - Profundidad de los cabos del entramado exterior.
- Como datos de referencia y de utilidad práctica se incluyen a continuación la vida en operación de algunos componentes utilizados en las instalaciones en el mar:
  - Viveros flotantes de madera: 5 años
  - Viveros flotantes de materiales orgánicos o metálicos: 10 años
  - Redes sintéticas: 3 años



- Líneas y componentes de fondeo (con buen mantenimiento): 5 años
- Alimentadores: 5 años
- Instrumentos de medida: 5 años
- Edificios convencionales: 20 años
- Barcos: 7 años
- Equipos mecánicos (bombas, motores, compresores...): 5 años

### 12.3.2. Cálculo de las fuerzas dinámicas

Se van a incluir a continuación varios métodos para el cálculo de las fuerzas dinámicas, desde el más sencillo al más complicado, aunque muchas de las fórmulas de cada uno de ellos son las mismas o muy parecidas.

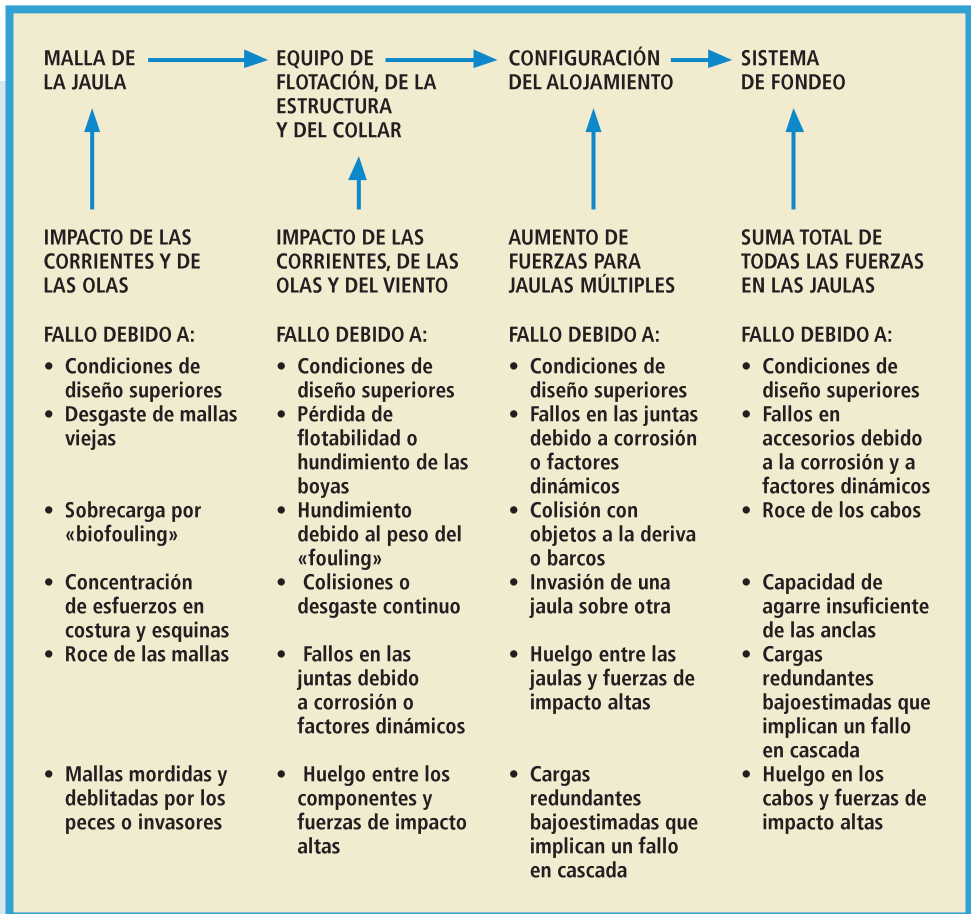
Como introducción se incluye la figura 12.94 que visualiza los orígenes, las áreas de aplicación y la transmisión de las fuerzas dinámicas a través del sistema de la flotilla de jaulas. Estas fuerzas se pueden incrementar rápidamente en esta configuración de viveros y todos los componentes estructurales se deben diseñar teniendo este detalle en cuenta. Además, cada fallo estructural mínimo en este sistema durante una tormenta, puede provocar un fallo en cascada debido a la autogeneración de residuos y a la redistribución de cargas que aumentarán los esfuerzos sobre algunos componentes. Esta figura también esquematiza las causas más habituales de fallos estructurales inducidas medioambientalmente.

**Es muy importante recordar y tener en cuenta que muchas de estas fuerzas son *cíclicas* y que la fatiga es, muy habitualmente, el factor más importante en los fallos de los sistemas de viveros.**

Es evidente que un mantenimiento deficiente puede provocar fallos pero mucho menos severos que los originados por las fuerzas ambientales adversas.

#### 12.3.2.1. Método sencillo utilizado por la industria

Estos cálculos se basan en las Normas Técnicas sobre Obras e Instalaciones de ayuda a la Navegación, editadas en 1986 por la Dirección General de Puertos y Costas del Ministerio de Obras Públicas.



**FIGURA 12.94.** Acumulación y transmisión de fuerzas ambientales.

La resultante de las fuerzas dinámicas se le denomina  $F_D$ . Para facilitar el cálculo se divide esta fuerza resultante en dos componentes: la que se ejerce sobre la parte sumergida del vivero y la que actúa sobre la emergida.

$F_D$  = Fuerzas dinámicas.

$F_S$  = Fuerzas sobre la parte sumergida.

$F_E$  = Fuerzas sobre la parte emergida.

$F_D = F_D + F_E$

Las fuerzas  $F_S$  son provocadas por las corrientes sobre las mallas de la red, sobre los cabos de la misma y sobre los flotadores sumergidos.



La superficie de los cabos y de los flotadores se tomará como malla de red para simplificar los cálculos.

La primera parte de la ecuación de Morrison se puede emplear para este cálculo ya que el término de la aceleración puede ser ignorado al considerar la velocidad de la corriente constante.

La fórmula para el cálculo de las **fuerzas provocadas por las corrientes**, únicamente en la dirección del eje  $X$ , es:

$$F_s = \frac{1}{2} C_D \rho_a v^2 A$$

Siendo:

$C_D$  = Coeficiente de carga hidrodinámico.

$\rho_a$  = Densidad del agua en Kg. / m<sup>3</sup> (1.026).

$v$  = velocidad de la corriente en m / s.

$A$  = Área total expuesta a la corriente.

El coeficiente de carga o de arrastre indica la resistencia que el objeto expone al agua. Si el objeto es cuadrado el coeficiente será mayor que para uno de forma aerodinámica. Depende de la forma del objeto sumergido, del área mojada y de la rugosidad de la superficie.

El «fouling» que se forma sobre las mallas en el transcurso del tiempo aumenta la fuerza de la corriente sobre la red. La sección de la red es un rectángulo, una vez que se desarrolla el cilindro, y una buena aproximación es suponer que mitad de su superficie no son huecos. Por lo tanto  $A$  será la mitad de la superficie total de la red.

El valor del coeficiente de carga se obtiene de la expresión:

$$C_D = 3,12 (d / l)^2 + 2,73 (d / l) + 1$$

Siendo:

$d$  = Diámetro de la fibra en mm.

$l$  = Longitud de la malla que forman las fibras. Si la malla es hexagonal  $l$  será media malla.

Con todos estos datos ya se puede calcular el valor de la fuerza sobre la parte sumergida.

Cuando se hacen estos **cálculos para el Mar Mediterráneo** hay que tener en cuenta la **corriente local** que existe en este mar que va de este a nordeste y cuya velocidad estimada es de 0,6 m / seg.



Las **fuerzas sobre la parte emergida del vivero** son originadas por el viento ( $F_{VT}$ ) y el oleaje ( $F_O$ ).

Las **fuerzas provocadas por el viento sobre las estructuras emergentes** se pueden calcular con la siguiente fórmula:

$$F_V = \frac{1}{2} C_W \rho_a v^2 A$$

Siendo:

$C_W$  = Coeficiente de tiro aerodinámico (para cuerpos cilíndricos = 0,6).

$\rho_v$  = Densidad del aire en Kg. / m<sup>3</sup> (entre 1,29 y 14,72 según la cantidad de agua que haya en suspensión en el aire. Normalmente se considera 2 Kg. / m<sup>3</sup>).

$v$  = velocidad del viento en m / s.

$A$  = Área total expuesta al viento.

Las áreas a considerar como expuestas al viento son las siguientes:

- Tubos que forman la barandilla: mitad de la superficie expuesta.
- Soportes de la barandilla: mitad de la superficie expuesta.
- Parte emergida de los aros flotantes: mitad de la superficie expuesta.

Por otra parte hay que considerar la red emergida y las fuerzas provocadas por el viento se calculan con la misma fórmula:

$$F_{V\text{ RED}} = \frac{1}{2} C_W \rho_a v^2 A$$

Siendo:

$C_W$  = Coeficiente de tiro aerodinámico.

$\rho_v$  = Densidad del aire en Kg. / m<sup>3</sup> (entre 1,29 y 14,72 según la cantidad de agua que haya en suspensión en el aire. Normalmente se considera 2 Kg. / m<sup>3</sup>).

$v$  = velocidad del viento en m / s.

$A_{RED}$  = Área de la red expuesta al viento.

Como el «fouling» al aire libre es mucho menor se puede considerar que el 70 % son huecos con lo cual el área de la red a considerar sería el 30 % del total por encima de la superficie del agua.

Esta vez el coeficiente aerodinámico se calcula con la fórmula siguiente:

$$C_W = (1 - (d / l)^2) / 2$$

Siendo:



$d$  = Diámetro de la fibra en mm.

$l$  = Longitud de la malla que forman las fibras. Si la malla es hexagonal  $l$  será media malla.

Con estos datos ya se puede calcular la fuerza del viento sobre la red:  $F_{VRED}$ .

Con lo cual la **fuerza total debido al viento sobre las partes emergentes** será:

$$F_{VT} = F_V + F_{VRED}$$

Para calcular las **fuerzas de las olas sobre las estructuras emergentes** se puede considerar, siguiendo las recomendaciones de las Normas Técnicas sobre Obras e Instalaciones de Ayuda a la Navegación del MOPT, un coeficiente de mayorización de las fuerzas generadas por el viento y la corriente, obteniendo en el gráfico de la figura 12.95 el valor de la relación:

$$2 h/H$$

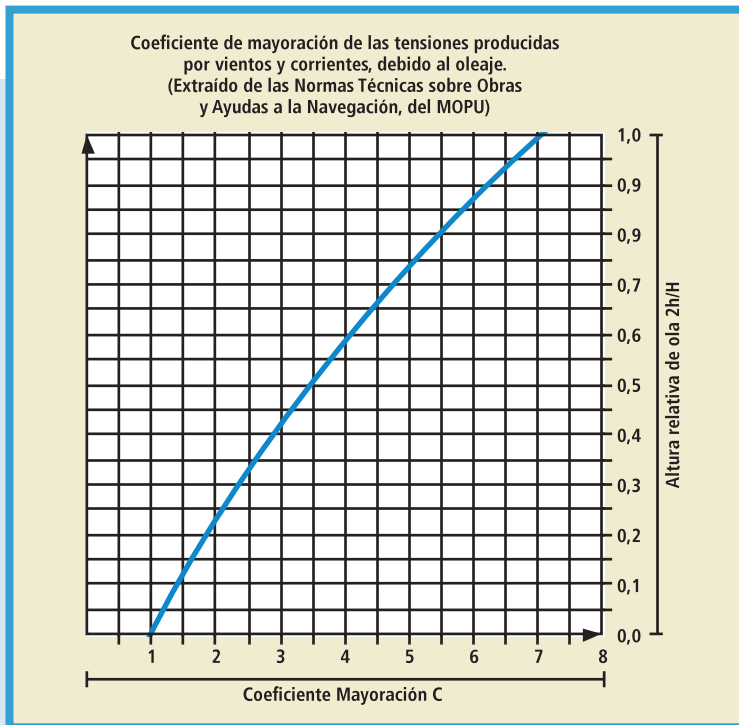


FIGURA 12.95. Gráfico coeficiente mayorización olas.



Siendo:

$h$  = Altura de la ola de cresta a seno.

$H$  = Profundidad del mar.

Este coeficiente de mayorización ( $C_M$ ), siempre mayor que uno (1), ya define el valor de las fuerzas dinámicas totales, debidas al viento a las corrientes y a las olas, al aplicarlo a la suma de las fuerzas sobre la estructura sumergida y emergida:

$$F_D = (F_S + F_{VT}) C_M$$

Este valor de las fuerzas dinámicas es en el peor de los casos posibles: suponiendo viento y corriente en la misma dirección y sentido.

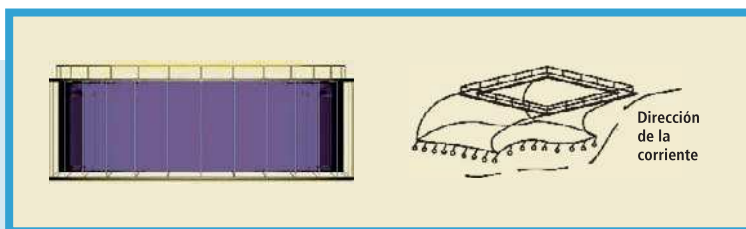
### 12.3.2.2. Otras fórmulas utilizadas

La fuerza de la corriente provoca una deformación en la red, tal como se aprecia en la figura 12.96, pero al tener varias bolsas de red, al menos dos es lo normal, la velocidad de la corriente se reduce de un panel de red a otro panel por la resistencia al caudal a través de las redes, por lo tanto cada vez fluirá más agua por debajo y alrededor de las bolsas después de la primera. También se visualiza este fenómeno en la figura 12.97.

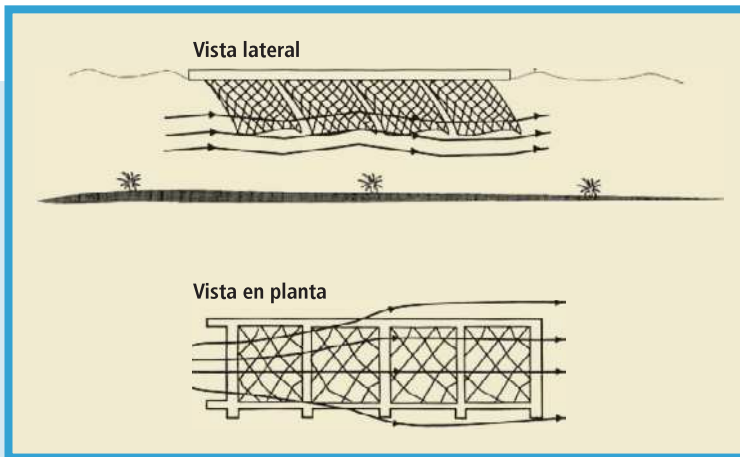
La bolsa sufrirá una fuerza de izado debido a la deformación de la red porque está sujeta en la superficie por los aros de flotación que a su vez están fijados por el sistema de fondeo. Al considerar que las bolsas de red no son rígidas y que se deforman un ángulo  $\alpha$  con la vertical (figura 12.98), las ecuaciones que se incluyen a continuación son más precisas:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_a (\alpha) v^2 A$$

$$F_I = \frac{1}{2} C_I \rho_a (\alpha) v^2 A$$



**FIGURA 12.96.** Deformación de la red con las corrientes.

**FIGURA 12.97.**

Desviación de las corrientes alrededor de los viveros (Beveridge).

Siendo:

$F_D$  = Fuerza de arrastre debido a las corrientes.

$F_I$  = Fuerza de izado debido a las corrientes.

$C_D$  = Coeficiente de carga hidrodinámico.

$C_I$  = Coeficiente de izado hidrodinámico.

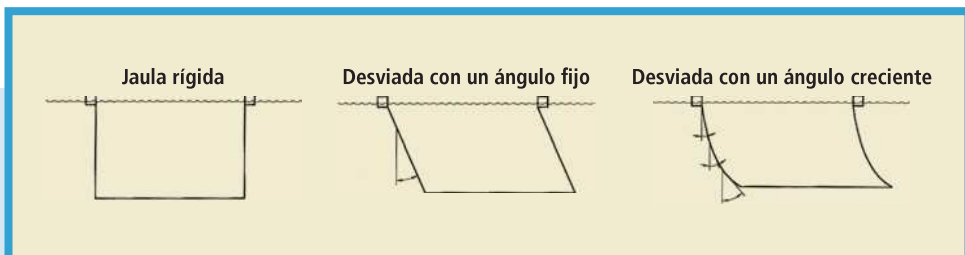
$\rho_a$  = Densidad del agua en  $\text{Kg} / \text{m}^3$  (1.026).

$v$  = velocidad de la corriente en  $\text{m} / \text{s}$ .

$A$  = Área total expuesta a la corriente.

$\alpha$  = ángulo de deformación de la bolsa con la vertical.

Estas ecuaciones son una aproximación más pero siguen siendo correctas parcialmente porque la deformación de la bolsa no forma un

**FIGURA 12.98.** Deformación de la bolsa de red (Lekang).



ángulo fijo con la vertical ya que es una curva y  $\alpha$  será variable. Si se divide la bolsa en varias secciones con ángulos diferentes la aproximación es mayor para el cálculo de las fuerzas de las corrientes. Se ha utilizado ya un método, siguiendo esta pauta, dividiendo la bolsa en paneles individuales. Por ejemplo se pueden considerar cuatro paneles laterales y el del fondo. Se calculan las fuerzas individualmente y luego se suman. Es un método bastante aproximado ya que las fuerzas así calculadas estaban dentro del rango entre 0,9 y 1,3 de las fuerzas medidas.

Esta deformación depende de la velocidad de la corriente, de los pesos en el fondo de la red o del anillo anticorriente y del diseño de la bolsa. La reducción de volumen puede ser importante ya que en algunos ensayos se han observado reducciones de volumen del 90 % al aumentar la velocidad entre 0 y 1 m / seg. Para reducir la deformación se pueden aumentar los pesos del fondo, pero es una medida de doble filo, ya que se aumentan las fuerzas dinámicas sobre la bolsa de la red de una manera considerable.

La **reducción de velocidad** al pasar las corrientes por sucesivos paneles de red es un hecho debido a las pérdidas por fricción. Como ya se ha comentado antes parte del agua se va por debajo de la instalación y por los lados. Al golpear el agua el siguiente panel de red, la fuerza creada es menor porque ha disminuido la corriente su velocidad. Para calcular las fuerzas en los paneles sucesivos se necesita conocer esta reducción de velocidad, ya que además es la componente en la ecuación de Morrison, que al estar al cuadrado, tiene mayor peso en el resultado final de la fuerza. La ecuación siguiente se puede utilizar para calcular la velocidad después del paso de la corriente por «i» paneles:

$$v_i = v_c r^i$$

Siendo:

$v_i$  = Velocidad al llegar al panel «i».

$v_c$  = Velocidad de la corriente antes del primer panel.

$r$  = Factor de reducción (dependiente de la solidez de la red).

El factor de reducción de velocidad se puede expresar en función del coeficiente de carga ( $C_D$ ):

$$r = 1 - 0,46 C_D$$



Si la solidez ( $S_n$ ) está entre 0,1 y 0,35,  $C_D$  se puede calcular con la expresión siguiente:

$$C_D = 0,04 + (-0,04 + S_n - 1,24 S_n^2 + 13,7 S_n^3) \cos \alpha$$

Siendo:

$\alpha$  = Ángulo de defomación de la red.

Otra forma de calcular el coeficiente de carga, en función del diámetro del hilo ( $d$ ) y de la longitud del mismo ( $a$ ), viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$C_D = 1 + 3,77 (d/a) + 9,37 (d/a)^2$$

Para redes con nudo

$$C_D = 1 + 2,73 (d/a) + 3,12 (d/a)^2$$

Para redes sin nudo

Como se puede apreciar en las fórmulas los valores de  $C_D$  son directamente proporcionales al diámetro del hilo y por lo tanto son mayores para los materiales con «fouling». También se aprecia que los valores son bastante más grandes para las redes con nudo que para las sin nudo.

Los valores de  $C_D$  para algunos materiales también han sido determinados experimentalmente para redes limpias y con «fouling», con mallas flexibles y rígidas, y con las fuerzas de las corrientes incidiendo perpendicularmente sobre los elementos de red con nudos. El cuadro 12.99 muestra algunos valores encontrados por Woods Hole Engineering Associates.

Las figuras 3.42 y 3.43 muestran las fuerzas de la corriente frente a la velocidad de la misma para diversos materiales limpios y con «fouling» según Beveridge. Los datos de estas gráficas son para paneles de red montados en un marco o estructura. La realidad es distinta porque existen fuerzas de izado de la red y la deformación de la misma por las corrientes con lo que si se consideran estos valores sería una sobreestimación de la realidad. Para hacer una aproximación a la realidad habría que hacer las siguientes consideraciones:

- Hacer una extrapolación con paneles de red paralelos, perpendiculares y formando un ángulo con la dirección de la corriente.

CUADRO 12.99. Valores de  $C_D$  obtenidos experimentalmente (Beveridge).

Material	Tipo de malla	Tamaño de malla <sup>c</sup> (mm)	Hilo sin «fouling»		Hilo con «fouling»	
			Diámetro (mm)	$C_d$	Diámetro (mm)	$C_d$
Nylon	Rombo	50	2,3	1,42	10,2	3,99
PP <sup>d</sup> (Ulstron)	Rombo	50	2,5	1,47	10,2	3,99
PE <sup>c</sup> (Courlene)	Rombo	50	1,9	1,33	8,9	3,46
PE	Cuadrada	50	1,5	1,26	7,6	2,95
PE (cupra-proofed)	Cuadrada	50	1,5	1,26	5,1	2,13
Netlon	Cuadrada	50	3,3	1,19	7,6	1,48
Metal expandido 90/10 Cu/Ni	Hexagonal	10	1,3	0,41	—	—
Malla soldada de acero galvanizado	Cuadrada	25	5,5	1,30	3,3	1,41
Cadena de acero galvanizado	Rombo	25	2,0	1,24	3,8	1,48
Cadena recubierta con PVC	Rombo	25	2,5	1,30	3,1	1,67
	Rombo	76	2,5	1,09	6,4	1,25

<sup>a</sup> Red con nudos.

<sup>b</sup> Fouling acumulado después de dos meses de inmersión en las costas de Escocia

<sup>c</sup> Se asume que el tamaño de malla es el doble de la longitud del hilo entre nudos o esquinas.

<sup>d</sup> Polipropileno.

<sup>e</sup> Polietileno.

- Establecer coeficientes de carga y de izado para el tipo de red en función de la solidez y del ángulo de ataque de la corriente.
- Cálculo de las velocidades locales de la corriente en cada panel de red.
- Calcular la fuerza de la corriente en función de los pesos utilizados para mantener la forma de la red.
- La fuerza total sobre la red de la flotilla sería la suma de las fuerzas calculadas para cada panel.

La figura 3.44 ilustra la reducción de volumen de la bolsa con el aumento de la corriente (0) y la influencia de los pesos en las esquinas de la bolsa (1 con 4 pesos de 52 Kg y 2 con 4 pesos de 102 Kg), según Beveridge. La figura 12.100 visualiza la deformación de la bolsa de red por acción de las corrientes.

Para bolsas de mallas rígidas se aplican las mismas fórmulas de la página 286, y la siguiente para el coeficiente de carga:

$$C_D = S_n - 1,24 S_n^2 + 13,7 S_n^3$$

Si se aplican las fórmulas citadas a una flotilla de viveros que tenga tres filas y con una velocidad inicial de 0.7 m / seg., los resultados son bastante elocuentes:



- Velocidad en el interior de la jaula 1 (después de pasar un panel): 0,6 m / seg.
- Velocidad en el interior de la jaula 2 (después de pasar tres paneles): 0,4 m / seg.
- Velocidad en el interior de la jaula 3 (después de pasar cinco paneles): 0,3 m / seg.

La contrapartida de la reducción de fuerzas es la disminución del agua rica en oxígeno y una disminución de la dispersión de los residuos originados por los peces. Durante el proyecto es muy importante considerar este hecho y estudiar la situación de las jaulas frente a la dirección de las corrientes dominantes.

Para el cálculo de las **fuerzas de las corrientes** sobre las redes de malla flexible hay que hacer bastantes consideraciones y actualmente el uso de programas informáticos es la mejor manera de enfocar los cálculos. Sin embargo cuando las **mallas** son **rígidas** estos cálculos se simplifican. La única desventaja es que en este caso los cálculos están sobredimensionados y, por ejemplo, en los cálculos de fondeo estos también lo estarán y encarecerán el sistema.

El sistema de cálculo asume que las mallas rígidas no tienen deformación y por lo tanto no hay fuerzas de izado. Solo se consideran fuerzas normales y paralelas a la dirección de la corriente. Las fórmulas



**FIGURA 12.100.** Deformación de la red por las corrientes (Besmar).





siguientes proporcionan estas fuerzas cuando la flotilla de viveros es paralela a la dirección de la corriente:

$$F_{DN} = \frac{1}{2} C_{DN} \rho_a v^2 (B D) m (1 - r^{4n}/1 - r^2)$$

$$F_{DP} = \frac{1}{2} C_{DP} \rho_a v^2 (B + 2D) l m (1 - r^{4n}/1 - r^2) r^2$$

Siendo:

$F_{DN}$  = Fuerza normal debida a la corriente para mallas rígidas.

$F_{DP}$  = Fuerza paralela debida a la corriente para mallas rígidas.

$F_{DT}$  = Fuerza total debida a la corriente para mallas rígidas.

$C_{DN}$  = Coeficiente de carga normal a la dirección de la corriente

$$C_{DN} = S_n - 1,24 S_n^2 + 13,7 S_n^3$$

$S_n$  = 2 x diámetro del hilo/longitud del hilo (red)

$C_{DP}$  = Coeficiente de carga paralelo a la dirección de la corriente (0.04).

$\rho_a$  = Densidad del agua en Kg./m<sup>3</sup> (1.026).

$v$  = velocidad de la corriente en m/s.

$B$  = Anchura de la bolsa.

$D$  = Profundidad de la bolsa.

$L$  = Longitud de la bolsa.

$n$  = Número de viveros paralelos a la dirección de la corriente.

$m$  = Número de viveros perpendiculares a la dirección de la corriente.

$r$  = Factor de reducción =  $1 - 0,46 C_{DN}$

Las fórmulas para el cálculo de las fuerzas cuando la flotilla de viveros es perpendicular a la dirección de la corriente son las mismas únicamente intercambiando los valores de  $n$  y  $m$ .

Otra aplicación sencilla de la ecuación de Morrison sirve para calcular las **fuerzas de la corriente sobre todos los cabos usados en el montaje de la bolsa de red**. Con este dato se puede obtener la fuerza total sobre toda la bolsa.

$$N = L/l_m f$$

$$T = D/l_m f$$

Siendo:

$N$  = Número de mallas en la longitud del panel.

$L$  = Longitud del panel.

$l_m$  = Longitud del hilo en la malla.

$f$  = Coeficiente de reducción.



T = Número de mallas en la profundidad del panel.

D = Profundidad del panel.

El siguiente paso es calcular la longitud del cabo por lado ( $L_T$ ):

$$L_T = 2 N T I_m K_n$$

Siendo:

$K_n$  = Factor del nudo de red.

Por lo tanto la fuerza total sobre los cabos de un panel de red se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$F_{DC} = \frac{1}{2} C_D \rho_a v^2 L_T d$$

Siendo:

$F_{DC}$  = Fuerza total sobre los cabos de un panel de red.

$C_D$  = Coeficiente de carga para un cilindro (1,2).

d = Diámetro del cabo

Las **fuerzas** debidas a las **corrientes sobre las líneas de amarre** ( $F_A$ ) se pueden calcular con la expresión siguiente:

$$F_A = \frac{1}{2} C_D \rho d L (V \cos \beta)^2 = \frac{1}{2} C_D \rho d L V_N^2$$

Siendo:

$C_D$  = Coeficiente de carga o de «drag». Su valor para un cilindro a altos números de Reynolds es 0,5.

$\rho$  = densidad del agua (1025 Kg. / m<sup>3</sup>).

d = Diámetro de la línea de amarres.

L = Longitud de la amarra.

V = Velocidad de la corriente.

$\beta$  = Ángulo que forma la línea de amarre con la corriente.

$V_N$  = Velocidad de la corriente normal sobre la línea de amarre.

La **fórmula de Morrison** proporciona la resistencia (R) que sufre un objeto que se enfrenta a una corriente:

$$R = \frac{1}{2} C_D \rho S V^2 + \frac{1}{2} C_M M a$$

Siendo:

$C_D$  = Coeficiente de carga o de «drag».

$\rho$  = densidad del agua (1025 Kg. / m<sup>3</sup>).

S = Superficie enfrentada a la corriente.

V = Velocidad de la corriente.



$$C_M = 1.$$

M = Masa del objeto.

a = aceleración de la corriente.

El cálculo de las **fuerzas debidas a las olas**, por su complejidad, implica el uso de programas informáticos y soluciones numéricas. Las olas inducen fuerzas dinámicas en la instalación. La ecuación de Morrison tiene dos términos: uno para la velocidad de las partículas de agua en la ola y otro para su aceleración.

$$F_i = (C_M + 1) \rho_a V a_i + \frac{1}{2} C_D \rho_a v_i |v_i| A$$

Siendo:

$F_i$  = Fuerzas sobre la instalación en la dirección de los tres ejes.

$C_M$  = Coeficiente de masa.

$\rho_a$  = Densidad del agua.

V = Volumen de la instalación.

$a_i$  = Aceleración de las partículas de agua en la dirección i.

$C_D$  = Coeficiente de carga.

$v_i$  = Velocidad de las partículas en la dirección i.

A = Área de la instalación.

Las fuerzas originadas por las olas son dinámicas ya que actúan una y otra vez. Las fuerzas dinámicas al ser cíclicas son mucho más exigentes para la estructura de tal forma que un vivero solo tolera una carga dinámica de un 10 % del valor de una estática. Como norma general, y dependiendo del emplazamiento, las olas incrementan entre un 20 y un 30 % las fuerzas de las corrientes.

Una estimación conservadora sencilla de la fuerza de las olas, suponiendo que todas se reflejan en la instalación y el mar es irregular, es la siguiente:

$$F_o = \rho g L H_s / 16$$

Siendo:

$\rho$  = Densidad del agua.

g = Aceleración de la gravedad.

L = Longitud de la ola.

$H_s$  = Altura de la ola significativa.

Mares regulares: dividir por 8.



Otro método para calcular las fuerzas de las olas que actúan sobre el collar de un vivero se inicia con el conocimiento de las velocidades orbitales horizontales ( $\mu$ ) y verticales ( $\omega$ ) de las partículas de agua. Las fórmulas son las siguientes:

$$\mu = (\pi H \cos h [2 \pi (z + h)/L]/t \sin h (2 \pi h/L)) \cos \theta$$

$$\omega = (\pi H \sin h [2 \pi (z + h)/L]/t \sin h (2 \pi h/L)) \sin \theta$$

Siendo:

H = Altura de la ola en metros.

h = Profundidad en metros.

z = Variación del nivel del agua.

L = Longitud de la ola en metros.

t = Período de la ola.

$\theta$  = ángulo de incidencia de la ola con la estructura.

Estas ecuaciones se pueden aplicar cuando los valores de h/L están entre 0,04 y 0,5.

La figura 12.101 muestra la velocidad orbital horizontal frente a la altura de las olas con un período entre 2,5 y 8 segundos y para profundidades de 6 y 15 metros.

Según estas curvas desarrolladas por Milne, el valor de la componente horizontal de la velocidad orbital rara vez supera en las instalaciones de cultivo los 2 m/seg por lo tanto se puede considerar como un buen valor para los cálculos de las fuerzas horizontales de las olas. Este autor también considera razonable considerar el 20 % de la superficie de la red afectada por el «fouling» para los cálculos. La fórmula que este autor considera adecuada para el cálculo de las fuerzas horizontales de las olas es la siguiente:

$$F_{HO} = k \rho \mu^2 A$$

Siendo:

$F_{HO}$  = Fuerza horizontal de las olas.

k = Constante adimensional semejante a  $C_D$ .

$\rho$  = Densidad del agua.

$\mu$  = Componente horizontal de la velocidad orbital de las partículas.

A = Área del collar perpendicular al tren de olas.

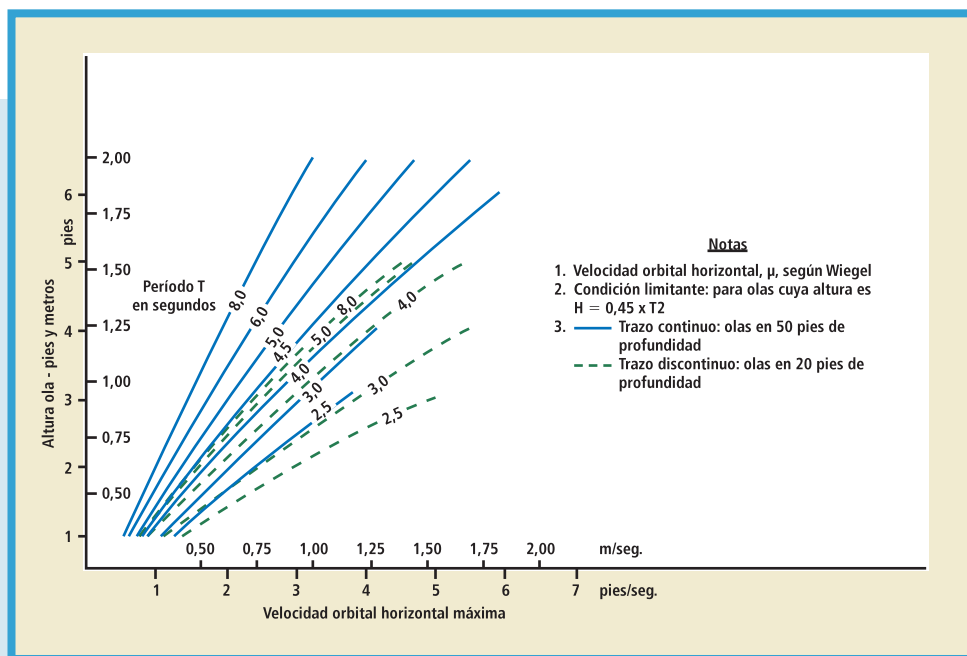


FIGURA 12.101. Velocidad orbital horizontal VS altura de olas (Beveridge).

El valor de  $k$  depende de las características del collar (material, forma, construcción...) y de las propiedades de la ola. Su valor exacto debe ser determinado empíricamente. Pero asumiendo un valor de la velocidad orbital máximo de 2 m / seg y una fuerza menor que 400 Kg / m<sup>2</sup> se puede considerar  $k = 1$ .

Una observación importante al considerar la fórmula es la importancia de minimizar el área del collar expuesta a las olas.

La componente vertical de la velocidad orbital nunca supera el 80 % del valor de la componente horizontal. Los experimentos realizados han demostrado que los esfuerzos cortantes y de torsión son poco importantes pero los momentos flectores si pueden ser considerables, aunque inferiores a los valores de la resistencia de diseño.

Las **fuerzas** originadas por el **viento** sobre las jaulas y las boyas se pueden calcular con la expresión siguiente:

$$F_v = \frac{1}{2} C_D \rho S V^2$$



Siendo:

$C_D$  = Coeficiente de carga o de «drag».

$\rho$  = densidad del aire (1 Kg. / m<sup>3</sup>).

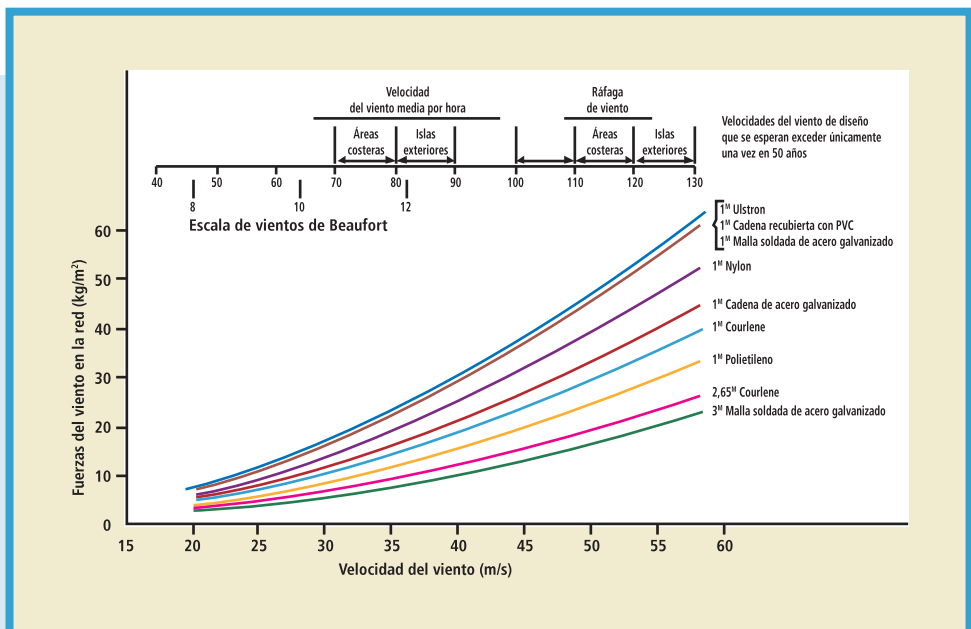
$S$  = Superficie total expuesta al aire.

$V$  = Velocidad del viento.

Como las direcciones del viento en algunos emplazamientos son muy cambiantes puede ser aconsejable realizar los cálculos oportunos con tres pautas o consideraciones diferentes:

- En sitios abrigados considerar un sector de 180° y analizar las cargas del viento en seis sectores cada uno de 30°.
- En mar abierto analizar 12 sectores de 30° cada uno.
- Si la estructura es rectangular y con un perfil vertical homogéneo, analizar en la dirección de dos ejes perpendiculares y a 90° de la diagonal.

La figura 12.102 visualiza las fuerzas del viento frente a varias velocidades para diversos materiales.



**FIGURA 12.102.** Fuerzas del viento VS velocidades (Beveridge).



### 12.3.3. Consideraciones generales sobre los fondeos de viveros

A continuación se incluyen una serie de consideraciones generales o «reglas de buena práctica» que pueden ser útiles durante el desarrollo de un proyecto:

- Las longitudes de las líneas de fondeo, cuyo cálculo se incluye más tarde, se deben incrementar en cinco metros para facilitar el amarre.
- Las profundidades medias de cada línea (P) y las longitudes proyectadas de las líneas en las direcciones opuestas Norte – Sur y Este – Oeste (D) deben cumplir las relaciones siguientes:

$$P_{\text{NORTE}}/D_{\text{NORTE}} = P_{\text{SUR}}/D_{\text{SUR}} = 1/\text{tg } \alpha$$

$$P_{\text{ESTE}}/D_{\text{ESTE}} = P_{\text{OESTE}}/D_{\text{OESTE}} = 1/\text{tg } \alpha$$

Siendo:

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de la línea de fondeo con la superficie del agua.

Estos ángulos son orientativos, mientras no se comprueba «in situ» la profundidad de lanzamiento del ancla.

Las longitudes de las líneas de fondeo se suelen elegir de tal forma que el ángulo de inclinación de las líneas sea el mismo, independientemente de su orientación y de la profundidad.

- La restricción más importante para definir el sistema de fondeo viene impuesta por el contorno del polígono autorizado ya que no puede sobresalir del mismo.
- Longitud de la línea = 3 – 3,5 veces la profundidad.
- Coeficiente elástico ( $C_E$ ): este parámetro da una idea de la elasticidad de las líneas. Varía entre cero (0) para las líneas absolutamente rígidas y uno (1) para las líneas más flexibles. La realidad se refleja en el ángulo que forma el extremo de la estacha de la línea de fondeo con la superficie del agua en la condición de pretensión sin fuerzas dinámicas aplicadas. Este ángulo corresponde a 15° para  $C_E = 0$  y 40° para  $C_E = 1$ . Los valores intermedios se obtienen por interpolación.

Cuando las líneas son muy rígidas ( $C_E$  próximos a cero), los ángulos de la línea de fondeo serán pequeños y por lo tanto su longitud será



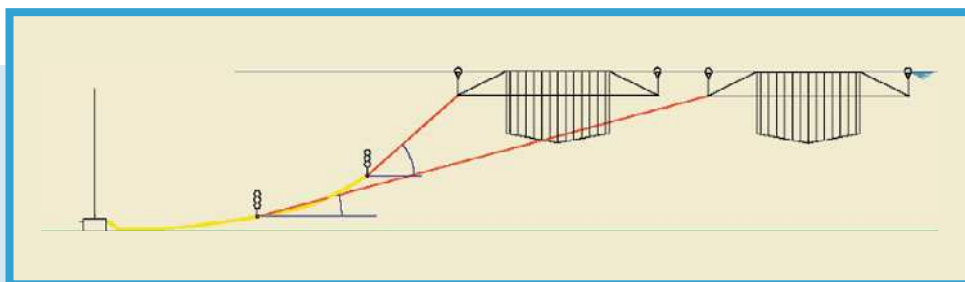
mayor (más tendidas). En estas condiciones cualquier pequeño movimiento del extremo superior del fondeo, debido a causas ambientales, provoca el izado de tramos largos de cadena que reposaban sobre el fondo, que originan fuerzas recuperadoras de importancia que originan esfuerzos importantes en la estructura: esta condición, provocada por la rigidez del sistema, es más perjudicial para la instalación.

Cuando las líneas son más elásticas ( $C_E$  próximos a uno), los ángulos de la línea de fondeo son grandes y por lo tanto su longitud será menor (más verticales). En estas condiciones cualquier movimiento importante del extremo superior del fondeo, debido a causas ambientales, provoca el izado de tramos cortos de cadena que reposaban sobre el fondo que originan fuerzas recuperadoras de escasa magnitud que originan esfuerzos de poca importancia en la estructura: esta condición, provocada por la elasticidad del sistema, es más beneficiosa para la instalación.

Este ángulo, según algunos autores, puede ser de  $18^\circ$ .

La figura 12.103 visualiza estos ángulos mínimo y máximo que corresponden a estados de más rigidez y mayor elasticidad en las líneas de fondeo.

- Otro parámetro importante en los cálculos del sistema de fondeo es el ángulo de tiro del extremo de la línea. Este ángulo es  $0^\circ$  cuando en cualquiera de los escenarios contemplados siempre permanece un tramo de cadena sobre el fondo. Evidentemente si este ángulo existe permite ahorrar longitud de cadena depositada sobre el fondo, porque pequeños aumentos de las fuerzas en el extremo superior de las líneas implican aumentar de



**FIGURA 12.103.** Ángulos de más rigidez y mayor elasticidad (Global Aquafish).



forma considerable el peso de la cadena sobre el fondo. Como contrapartida si este ángulo existe implica el aumento de peso del ancla o muerto ya que es necesario compensar la componente vertical del esfuerzo transmitido por la cadena al no estar totalmente apoyada en el fondo, ya que en este caso absorbe completamente dicha componente vertical. Evidentemente el aumento de peso del elemento de fondeo está en función de la tangente del ángulo existente. En todos los diseños actuales se intenta que este ángulo sea cero, ya que facilita el efecto «muelle» de la cadena que está sobre el fondo y minimiza el esfuerzo de reacción de tiro sobre las jaulas.

- El ángulo de inclinación de la línea de anclaje con el fondo marino no debe superar los doce grados en el punto que se une al ancla, según otros autores. De esta forma se evita que el poder de agarre del ancla se vea afectado de forma adversa por las fuerzas verticales. El peso de la línea juega en contra de este hecho.
- La importancia de la cadena en la unión con el ancla o el muerto cuando la instalación está sometida a mareas importantes se debe tener en cuenta.

La instalación se mueve respondiendo a las fuerzas ambientales y por lo tanto la tensión de las líneas de fondeo cambia con la variación de la geometría de las líneas de anclaje. Por lo tanto las estachas tienen una rigidez efectiva compuesta por dos componentes: una elástica y una geométrica, las cuales combinadas con los movimientos de la instalación introducen fuerzas dependiendo de las características de la estacha. La rigidez geométrica se crea por la catenaria de la línea de fondeo que depende de la longitud de la cadena utilizada en la parte final del anclaje. Cuando la tensión del fondeo aumenta la geometría cambia y se eleva una longitud de cadena que absorbe esta tensión. Si la forma de la línea de fondeo es una línea recta, no hay cadena en el extremo y no existirá rigidez geométrica. En este caso un incremento de la tensión creará una elongación de la estacha y el único elemento que absorbe esta tensión es el punto de anclaje. Este hecho provoca un aumento brusco de la tensión en todo el sistema de fondeo y puede provocar efectos adversos en algunos componentes. Si las mareas son importantes este efecto puede tener condiciones adversas por lo tanto



la utilización de la cadena es importante. Este efecto se visualiza en la figura 12.104.

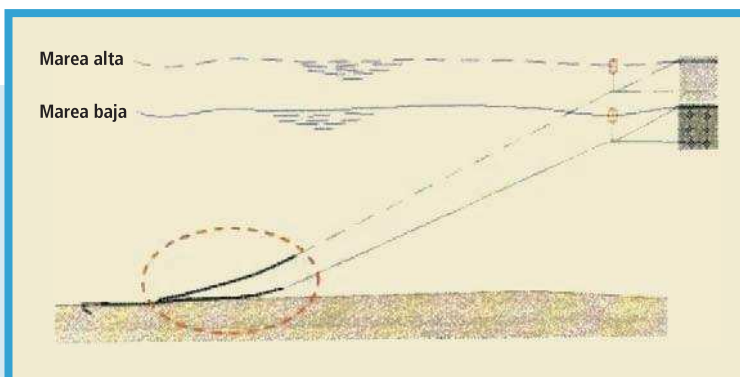
- Una buena hipótesis de trabajo es considerar que las fuerzas ambientales más desfavorables actúan sobre el lado de mayor longitud. Solo el número de líneas de esta longitud tendrán que soportar las tensiones que originan la suma de las solicitaciones que actúan sobre la flotilla de jaulas.
- En flotillas ubicadas en dos filas, los viveros situados en la primera línea absorben el 70 % de los esfuerzos originados por los factores ambientales. Con esta suposición y considerando las fuerzas dinámicas antes calculadas es fácil obtener la fuerza total sobre la flotilla.

$$F_T = (F_D \times n.^{\circ} \text{ jaulas } 1.^{\text{a}} \text{ fila}) + 0,3 (F_D \times n.^{\circ} \text{ jaulas } 2.^{\text{a}} \text{ fila})$$

Esta fuerza total ( $F_T$ ) se repartirá entre el número de líneas de fondeo expuestas, antes definido, menos una para considerar la hipótesis de carga ambiental más desfavorable con la hipótesis de incidente (rotura de una línea).

Con el valor de esta fuerza ya se pueden dimensionar todos los componentes de las líneas de fondeo.

- Criterio de cálculo de la boya de profundidad: flotabilidad equivalente a un metro de la cadena fondeada.
- Criterio de cálculo para la boya de superficie: flotabilidad superior al peso de toda la línea en condiciones de pretensión.



**FIGURA 12.104.** Cadena vs mareas.



- Densidad del muerto: 2.000 Kg. / m<sup>3</sup> (valor conservador ya que es la densidad del hormigón sin armar).
- Como referencia para una instalación de doce jaulas de 25 metros de diámetro se adjuntan los datos siguientes:
  - La tensión de las líneas de fondeo puede ser de una tonelada. El mantenimiento de la tensión adecuada en el entramado y en las líneas de fondeo es de vital importancia para evitar que la instalación quede «en banda» a merced de los temporales, para prevenir cargas de impacto y rotura por fatiga.
  - Las líneas de emparrillado forman una cuadrícula con doce cuadrados que puede ser de cabo mixto de 30 mm. de diámetro (cable galvanizado forrado en Aqualine®). Coeficiente de seguridad 1.3.
  - Las jaulas se disponen en dos filas de seis unidades, con una distancia de lado de cada retícula de 42 metros, de tal forma que aunque las corrientes tiendan a elevar las redes hacia la superficie, nunca toque esta contra el emparrillado ya que la cortarían.
  - Las uniones de cada retícula con los platos de distribución se puede hacer con estacha de 48 mm. de ocho cordones de Polyester (alta resistencia a la abrasión, a la luz solar y a las cargas cíclicas, elevada carga de rotura y extensión media bajo carga). Coeficiente de seguridad de la estacha: entre dos y tres.
  - De estos platos nacen las líneas de fondeos con una estacha que puede ser de 48 mm. de Polyester en el tramo inicial y una cadena de 38 mm. en el final. Coeficiente de seguridad de la cadena: superior a 5.
  - Como un elemento especial se puede incluir cadena de 22 mm. como elemento de unión entre el plato de distribución y la estacha, y entre el flotador de profundidad y la cadena de fondeo. Coeficiente de seguridad de esta cadena y de la grilletería: entre 1.1 y 1.3.
  - Boyas de fondeo (exterior del polígono): su elección se basa en el peso máximo que debe soportar en caso de máxima tensión sobre la línea: 1.100 Kg. de flotabilidad.
  - Boyas para marcar las esquinas del polígono: 1.600 Kg.
  - Boyas interiores: 850 Kg.



- En este punto ya se tiene el valor total de la flotabilidad y se puede evaluar si es capaz de aguantar todo el peso del entramado, fondeo y amarre en las peores situaciones meteorológicas.
- Como referencia para una instalación de ocho jaulas de 15 metros de diámetro se adjuntan los datos siguientes:
  - Entramado exterior: cadena (13 mm. x 88 mm.)
  - Entramado interior: estacha de 36 mm.
  - Líneas de fondeo: estacha de 58 mm.
  - Cadena en la última parte de las líneas de fondeo.
  - Puntos de anclaje: pernos de 32 mm.

Anclas de 1,2 a 1,8 toneladas.

- Como referencia para instalaciones de jaulas en mar abierto de goma se adjuntan los datos siguientes:
  - Muertos: 10-30 toneladas.
  - Anclas: 3-5 toneladas.
  - Estachas de las líneas de fondeo: 50-70 mm.
- También como referencia se citan a continuación las densidades de los materiales anti-fouling:
  - Materiales antiguos: 1,2 Ton. / m<sup>3</sup>.
  - Ceras actuales: 0,9 Ton. / m<sup>3</sup>... Favorecen la flotabilidad de la red.
- Datos meteorológicos:
  - Oleaje: altura y período de la ola significativa de los datos de Puertos del Estado.
  - Viento: velocidad básica de la zona según el ROM 0.4 – 95.
  - Corrientes: datos de los Centros Oceanográficos más próximos.
  - Mareas: tablas de mareas según las zonas.

#### **12.3.4. La pretensión en los sistemas de fondeo de viveros**

El control de la posición y del movimiento de una instalación de viveros es vital tanto por razones de seguridad como desde el punto de vista de la operación.





Cuando varios viveros se fondean de forma conjunta, se disponen varias líneas de anclaje alrededor de la estructura con una pretensión determinada para mantener la ubicación deseada. Estas líneas constituyen el entramado. Esta tensión inicial o pre tensión permite al sistema de fondeo controlar los movimienetos de la instalación. Valores bajos de ésta pre tensión permiten grandes desplazamientos de la piscifactoría mientras que valores altos impiden su movimiento. También es importante que esta tensión mantenga el vivero centrado dentro del entramado y sin que la red lo toque.

La magnitud de la pre-tensión depende del emplazamiento (corriente, olas, mareas, fouling, profundidad...) y de otros factores (tamaño y número de las jaulas, tamaño de las redes...). Uno de los métodos que se puede utilizar es pre-tensar con la marea alta de tal forma que el 75% del volumen de la boya esté por debajo de la superficie y el 25% restante para absorber cargas adicionales.

La inspección de las boyas puede constituir un control muy sencillo del sistema de fondeo. Dado que todas las líneas de fondeo son iguales y están igualmente pre-tensadas, todas las boyas tendrán el mismo volumen sobre el nivel del agua. Por lo tanto puede ser de gran ayuda tener distintas marcas en las boyas para controlar más fácilmente el volumen de la boya que está debajo de la superficie. Esta verificación se debe realizar cuando no haya fuerzas ambientales actuando sobre el vivero. Por ejemplo, si existe una corriente en uno de los lados, las boyas de esta zona estarán mas hundidas y las del extremo opuesto estarán un poco más sobre el agua como resultado del efecto de cargas diferentes en las líneas de fondeo.

Un valor recomendado para utilizar en la pre tensión puede ser un 15% de la carga de rotura de las líneas de fondeo. Un valor muy utilizado es fijar la pre tensión mínima en una tonelada en condiciones de marea baja y a contra corriente con lo cual en la mayoría de las circunstancias los componentes no se mueven y se evita su desgaste.

La definición de la longitud de las líneas de fondeo es muy importante para evitar situaciones críticas tales como el reparto desigual de las tensiones entre las líneas. La longitud de cada línea en la misma dirección debe ser la misma siempre que la profundidad no varíe. La idea fundamental es que la pre tensión se mantenga uniforme. La figura 12.105 visualiza dos flotillas de viveros: una con la pre tensión uniforme y otra incorrecta.

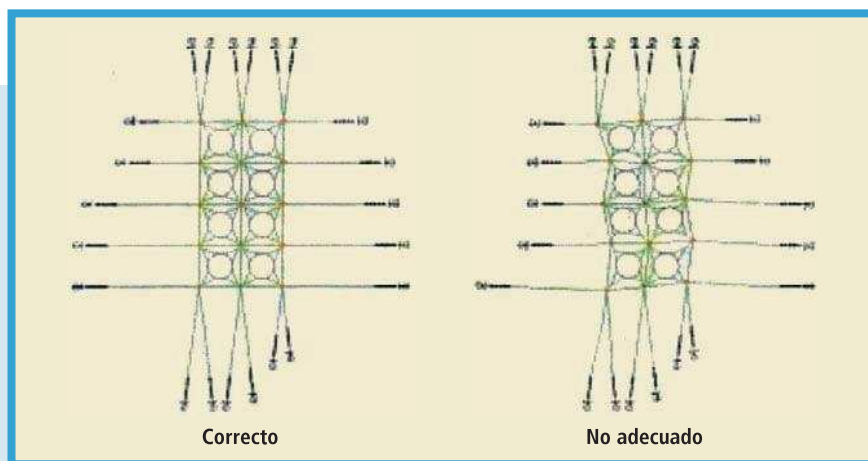


FIGURA 12.105. Pre tensión en las flotillas de viveros.

La energía que recibe el entramado tiene que ser transmitida o transformada. Si la pre tensión del entramado es superior a esta energía recibida entonces la estructura no se moverá y los esfuerzos provocados por la energía se transmiten a la línea de fondeo. Esta es la situación ideal pues nunca habrá movimiento. La pre tensión es por tanto la capacidad de transmitir la energía. Pero si la energía es superior a la pre tensión entonces el entramado se mueve para absorber el exceso de energía.

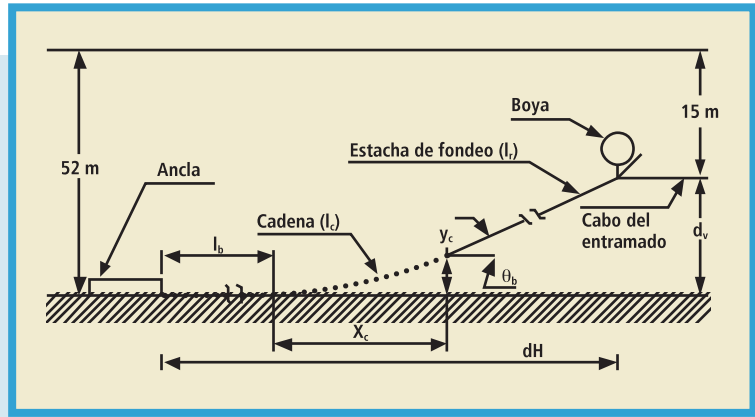
Si un entramado tiene poca tensión funcionará bien con el mar en calma pero al aumentar el oleaje y las corrientes, o sea los esfuerzos, y superar los valores de la pre tensión se empezará a mover provocando efectos dañinos para todos los componentes:

- Holgura entre las piezas metálicas que implica un mayor desgaste.
- Posibilidad de contacto entre las redes y las estachas o cables del entramado con los desgastes o roturas correspondientes.

El mantenimiento de la tensión correcta del entramado es una garantía frente a las condiciones adversas del tiempo.

A continuación se describe un método **analítico** para definir la pre tensión estática y la geometría del entramado sumergido diseñado por Fredriksson *et al.*

En primer lugar y con el auxilio de la figura 12.106 se definen los parámetros necesarios:



**FIGURA 12.106.** Parámetros línea de fondeo.

Siendo:

$l_r$  = Longitud de la estacha.

$l_c$  = Longitud de la cadena.

Relación longitud línea de fondeo/Profundidad = 3/1.

$d_H$  = Distancia horizontal entre la esquina del entramado y el ancla.

$d_v$  = Distancia vertical entre la esquina del entramado y el fondo.

$l_b$  = Longitud de la cadena en el fondo.

$w_c$  = Peso de la cadena (N/m).

La posición de la esquina del entramado se define con las coordenadas  $d_H$  y  $d_v$  calculadas con las expresiones siguientes:

$$d_H = l_b + x_c + l_r \cos \theta_b$$

$$d_v = y_c + l_r \sin \theta_b$$

Siendo:

$\theta_b$  = Ángulo de la catenaria.

En las fórmulas anteriores las coordenadas  $x_c$  y  $y_c$ , componentes de la catenaria de la cadena se calculan con las fórmulas siguientes:

$$x_c = \frac{T_h}{w_c} \sinh \left( \frac{l_c w_c}{T_h} \right)$$

$$y_c = \frac{T_h}{w_c} \left[ \cosh \left( \frac{w_c x_c}{T_h} \right) - 1 \right]$$



Siendo:

$T_h$  = Componente horizontal de la tensión en la esquina del entramado.

$T_v$  = Componente vertical de la tensión en la esquina del entramado.

Estas variables se pueden calcular con las expresiones siguientes:

$$T_h = T_A \cos \theta_b$$

$$T_v = w_c l_c = T_A \sin \theta_b$$

Siendo:

$T_A$  = Pre tensión en la línea de fondeo.

Además de este método analítico es posible utilizar el cálculo por elementos finitos. Los resultados son bastante parecidos: el método numérico obtiene valores medios superiores en un 10 % al método analítico. Esta diferencia es debida a que el método analítico considera la catenaria como no extensible y la aproximación numérica considera la línea de fondeo como un elemento elástico.

### 12.3.5. Cálculo de las líneas de fondeo

El cálculo de las líneas de fondeo debe incluir un análisis de operación bajo condiciones extremas. Un escenario posible puede ser realizar este análisis del sistema completo con una línea de fondeo rota y con un aumento del nivel de agua debido a una tormenta de un metro. Los resultados de este estudio deben demostrar que el sistema de fondeo soporta esta situación sin perder su operatividad.

¿Caul es el mecanismo de reacción que adopta el sistema de fondeo pre-tensado bajo estas fuerzas exteriores ambientales?

La fuerza total ambiental intentará mover los viveros de su posición original. En las líneas de fondeo donde actúa esta fuerza habrá una tensión adicional y una reducción de la tensión en el lado opuesto. Dependiendo de la elasticidad de las líneas y de la pre-tensión del sistema habrá un movimiento de deriva desde la posición de equilibrio pero la instalación no derivará libremente. Las líneas de fondeo crean gradualmente una fuerza de reacción que evita que la instalación derive libremente. Se llega a una nueva posición de equilibrio cuando las fuerzas de las líneas de fondeo sean iguales y opuestas a las fuerzas



exteriores. La tensión en las líneas de fondeo en la zona donde actúan las fuerzas ambientales es ahora mucho más alta que cuando las jaulas estaban en su posición de reposo. Este hecho podría provocar un aflojamiento en las líneas de fondeo del lado opuesto (podrían «quedar en banda»). Si además hay fuerzas dinámicas debidas a las olas, la instalación oscilará alrededor de la posición de equilibrio mientras las líneas de fondeo resistan.

Si hay una rotura de una de las líneas de fondeo, debido a circunstancias imprevistas, la instalación se desplazará hacia una nueva posición de equilibrio. Este movimiento será determinado por la tensión que tenía la línea rota, por el peso de la instalación y por la resistencia contra el movimiento de la bolsa de red y de los collares de flotación.

Cuando la instalación está derivando y necesita ser parada, es fundamental que la tensión en las líneas restantes no exceda su carga de rotura. Si esto sucede, muy probablemente, romperán otras líneas progresivamente hasta que la instalación derive libremente.

Si una línea de fondeo se rompe, existe también la posibilidad de que un vivero choque contra otro, o contra alguna estructura fija auxiliar, mientras se mueve hacia la nueva posición de equilibrio.

Es necesario repetir, por su gran importancia, que los cálculos de las líneas de fondeo deben contemplar la rotura de una de dichas líneas sin daños catastróficos para la instalación.

El esquema a seguir para realizar un análisis cuasi estático del sistema de fondeo propuesto por Turner es el siguiente:

- Definir la geometría del fondeo y las ecuaciones para calcular las fuerzas y los movimientos del mismo.
- Aplicar la fuerza ambiental más importante y calcular el movimiento del sistema.
- Aplicar las fuerzas periódicas de las olas y ver la amplitud de la respuesta del sistema.
- Calcular las tensiones de la línea con esta «excursión» máxima.
- Comparar las tensiones de las líneas con las mínimas cargas de rotura de los componentes del fondeo.
- Calcular las cargas máximas sobre las anclas en cada dirección.
- Considerar un factor de seguridad de dos (2) en los cálculos de los esfuerzos de las líneas unidas al ancla y en contacto con el suelo.



- Re calcular las cargas máximas por línea suponiendo que una línea se rompe.
- Si los datos de la especificación fallan, realizar una nueva.

A continuación se detallan los **cálculos de dimensionamiento de las líneas de fondeo** siguiendo el esquema de Lekang.

Debido a la imprecisión de los datos ambientales, es importante aplicar siempre un factor de seguridad a los resultados de los cálculos que se realicen. Este factor puede variar entre 1 y 1,5 dependiendo de la incertidumbre de dichos datos ambientales.

En las prácticas habituales de algunos países se considera un factor de seguridad de 1,15 para instalaciones automáticas y 1,3 para aquellas manejadas por el hombre.

La carga de rotura de los materiales de las líneas de fondeo también puede tener ciertas imprecisiones de un suministrador a otro, ya que se basa en diversas medidas y ensayos. Por esta razón también es conveniente utilizar un factor de seguridad de los materiales. Puede variar entre 1,1 y 5 dependiendo de la confianza en los ensayos realizados.

A continuación se citan algunos factores de seguridad recomendados para algunos materiales:

- Cadena: 1,5.
- Cabo sintético: 3,0.
- Cabo sintético con nudo: 5,0.
- Cabo sintético especial resistente al envejecimiento: 1,5.

A continuación se presenta un esquema de un **análisis de fondeo**:

- Los datos iniciales que es necesario disponer son los siguientes:
  - Fuerza ambiental calculada: toneladas o kN (F).
  - Profundidad del emplazamiento (p).
  - Tipo de fondo.
  - Velocidad de la corriente (v).

La figura 12.107 ilustra y visualiza las fuerzas a considerar.

En primer lugar se pueden hacer algunas suposiciones basadas en la experiencia:

- Las boyas se pueden situar a una distancia determinada (d).
- La longitud de la línea se ajusta a tres veces la profundidad (3p).



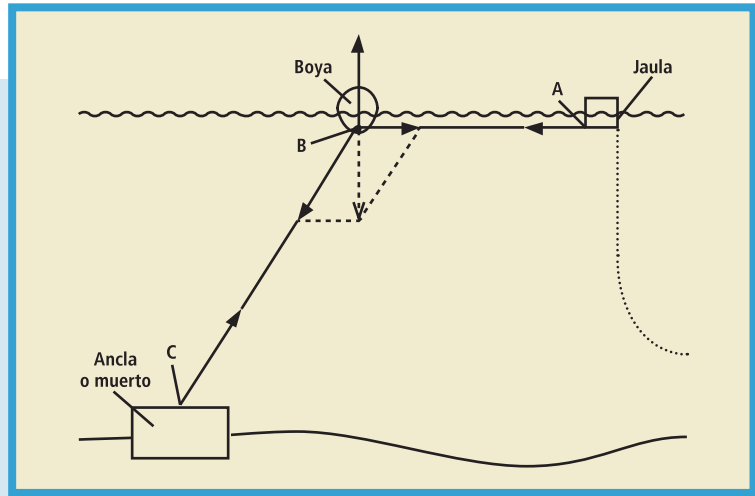


FIGURA 12.107.

Fuerzas a considerar en un sistema de fondeo (Lekang).

- La longitud total de la línea de fondeo será:  $3p + d$ .

Primero se puede calcular el ángulo de la línea de fondeo forma con la superficie del agua:

$$\text{sen } \alpha = p/3 p$$

Conocido este ángulo se puede calcular la componente de la fuerza en la dirección horizontal  $F_x$ :

$$\cos \alpha = F_x/F$$

de donde

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$\text{sen } \alpha = F_y/F$$

de donde

$$F_y = F \text{ sen } \alpha$$

La boyaya se sumergirá con una fuerza de  $F_y$ . Por lo tanto ya se puede calcular la boyaya. Se supone un requerimiento de flotabilidad de dos veces la fuerza vertical y entonces con el principio de Arquímedes se puede calcular su volumen:

$$2 F_y = \rho_a g V$$

de donde

$$V = 2 F_y/\rho_a g$$



Siendo:

$2 F_Y$  = Flotabilidad

$\rho_a$  = Densidad del agua.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$V$  = Volumen desplazado.

Esto significa que cada boya necesita un volumen de  $V$  litros o más para permanecer en la superficie en posición correcta. Además hay que tener en cuenta el peso propio de la boya que suministrará el fabricante.

A continuación se puede calcular el elemento de anclaje que en este caso podemos suponer que es un muerto de hormigón para complicar un poco más el cálculo.

Se debe calcular para resistir la fuerza horizontal y vertical para posteriormente calcular el volumen necesario en cada caso y elegir el mayor de ellos.

Para calcular la resistencia a la fuerza horizontal primero se considera el fondo para tener el coeficiente de fricción  $C_F$ . La fuerza que necesita vencer el muerto, como mínimo, es  $F_X$ . La debe compensar con su peso pero habrá que considerar el empuje del agua y el coeficiente de fricción, por lo tanto:

$$F_X = C_F (P_X - E_X) = C_F V_X g (\rho_H - \rho_a) \text{ de donde}$$

$$V_X = F_X / C_F g (\rho_H - \rho_a)$$

Siendo:

$V_X$  = Volumen del muerto para la fuerza horizontal.

$F_X$  = Fuerza horizontal.

$C_F$  = Coeficiente de fricción.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\rho_H$  = Densidad del hormigón (2.400 Kg / m<sup>3</sup>. A veces se toma como valor conservativo 2.000).

$\rho_a$  = Densidad del agua.

$P_X$  = Peso del muerto para la fuerza horizontal.

$E_X$  = Empuje del muerto para la fuerza horizontal.

Para calcular la resistencia a la fuerza vertical se opera de forma similar: la fuerza a vencer es  $F_Y$  y la debe compensar, como mínimo, con su peso menos el empuje:



$$F_Y = P_Y - E_Y = V_Y g (\rho_H - \rho_a) \text{ de donde}$$

$$V_Y = F_Y/g (\rho_H - \rho_a)$$

Siendo:

$V_Y$  = Volumen del muerto para la fuerza vertical.

$F_Y$  = Fuerza vertical.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\rho_H$  = Densidad del hormigón (2.400 Kg/m<sup>3</sup>. A veces se toma como valor conservativo 2.000).

$\rho_a$  = Densidad del agua.

$P_Y$  = Peso del muerto para la fuerza vertical.

$E_Y$  = Empuje del muerto para la fuerza vertical.

El valor mayor entre  $V_X$  y  $V_Y$  sera el elegido para el muerto de hormigón.

El resto de los elementos ya se pueden definir por las características dadas en los catálogos de los fabricantes, teniendo siempre en cuenta los factores de seguridad antes mencionados.

Dentro del cálculo de las líneas de fondeo es interesante calcular la influencia de la boya intermedia que se intercala entre la jaula y la línea de fondeo que va al punto de anclaje. Las líneas de fondeo deben tener la suficiente elasticidad para prevenir el daño de la estructura de la flotilla de viveros. Normalmente la flexibilidad de las estachas de las líneas es demasiado pequeña para lograr este propósito, por lo tanto es necesario aumentar esta característica introduciendo una boya en la línea de fondeo que proporciona una flexibilidad geométrica adicional.

La figura 12.108 visualiza un esquema de una línea de fondeo sin boya y con boya, mostrando las diferentes longitudes de los tramos de línea de fondeo en cada caso.

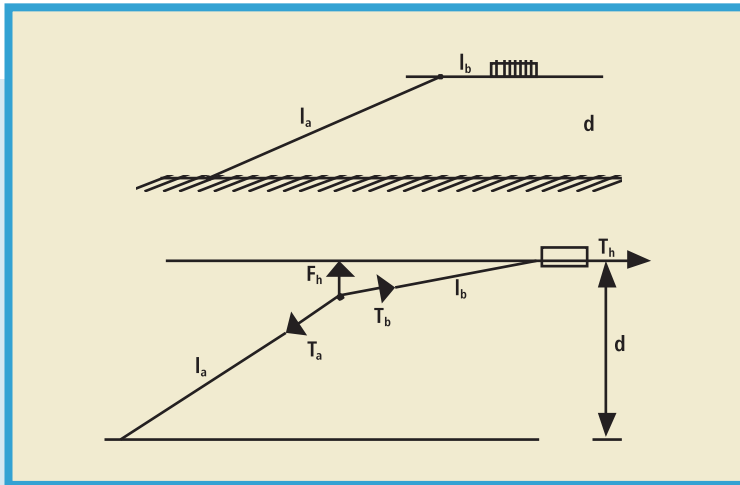
En condición de equilibrio las componentes horizontales y verticales cumplen las expresiones siguientes:

$$T_a \cos \alpha = T_b \cos \beta$$

$$T_b \sin \beta + F_b = T_a \sin \alpha$$

Además y por consideraciones geométricas:

$$d = l_a \sin \alpha + l_b \sin \beta$$



**FIGURA 12.108.** Geometría de la línea de fondeo (Lien *et al.*).

Donde:

$$l_a = l_{a0} (1 + T_a/E A_s)$$

$$l_b = l_{b0} (1 + T_b/2 E A_s)$$

Siendo:

$\alpha$  = Ángulo de la línea de fondeo al anclaje con la horizontal.

$\beta$  = Ángulo de la línea de fondeo a las jaulas con la horizontal.

$T_a$  y  $T_b$  = Tensiones en las líneas a y b.

$F_b$  = Flotabilidad de la boya.

$d$  = Profundidad.

$l_{a0}$  y  $l_{b0}$  = Longitudes de las líneas a y b en reposo.

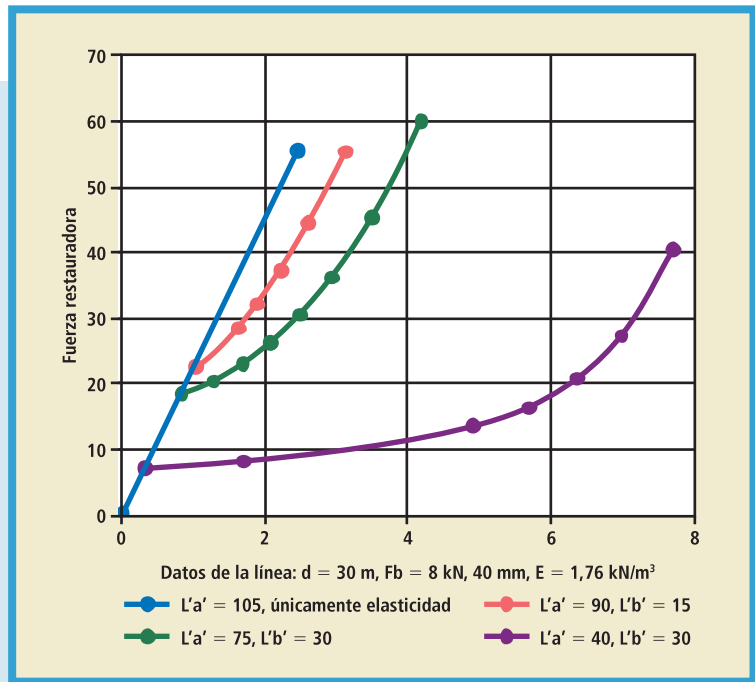
$l_a$  y  $l_b$  = Longitudes de las líneas a y b en tensión.

$E$  = Módulo de Young.

$A_s$  = Sección de la estacha.

Normalmente, como ya se ha comentado,  $l_a$  es del orden de 15 a 20 metros y  $l_b$  entre dos y cuatro veces la profundidad.

La figura 12.109 ilustra las características de las diferentes longitudes de los segmentos de línea. Como se puede apreciar se obtiene un aumento importante de la flexibilidad reduciendo la relación  $l_a/l_b$ , o sea a medida que disminuimos la longitud de la línea de fondeo hacia el anclaje y se aumenta la longitud de la línea entre la boya y el vivero



**FIGURA 12.109.** Características de diferentes líneas (Lien *et al.*).

se incrementa la flexibilidad. La flexibilidad de la línea de fondeo es función de la inmersión de la boya, tal como se aprecia en la figura 12.110.

El único problema de la inmersión de las boyas es la resistencia de los materiales con los que se fabrican y a mayor profundidad mayor coste. Por esta razón se ha investigado la posibilidad de colocar una serie de flotadores en vez de una boya (figura 12.111) ya que son mucho más baratos. Se ha hecho una simulación con un programa de ordenador (figura 12.112) y los resultados han sido realmente espectaculares (figura 12.113). La figura muestra claramente que las tensiones de la línea de fondeo para una boya única son más del doble de las que se obtienen para los flotadores múltiples. Esta simulación se realizó para varios tipos de olas.

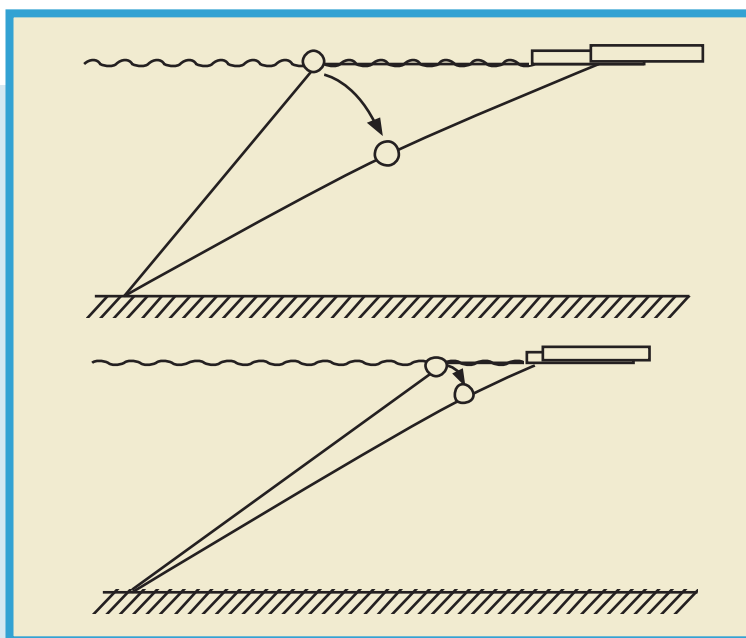


FIGURA 12.110. Flexibilidad VS inmersión de la boya (Lien *et al.*).

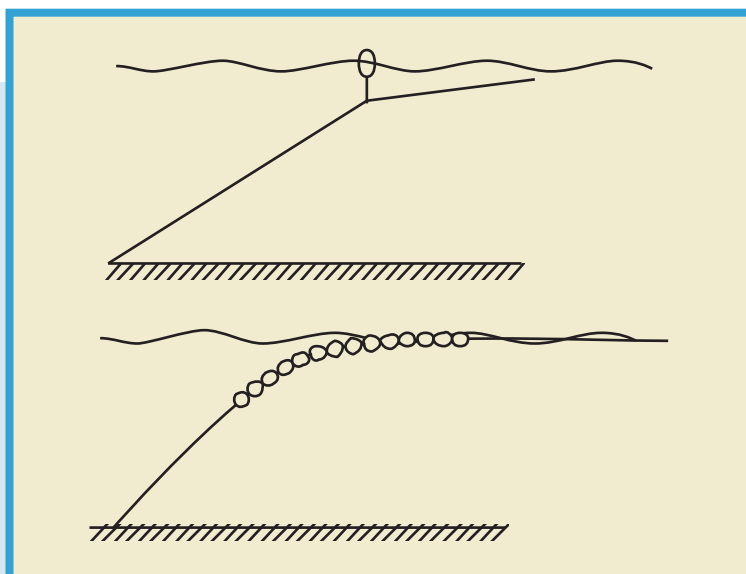


FIGURA 12.111. Boya única y flotadores múltiples (Lien *et al.*).



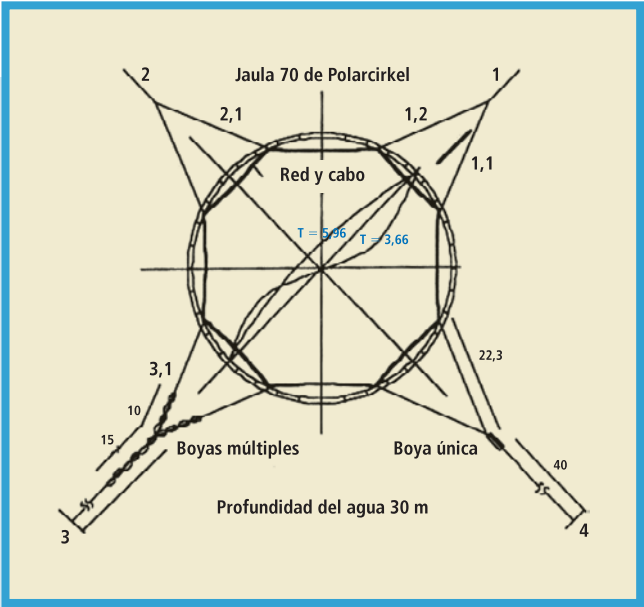


FIGURA 12.112.  
Simulación boya única y flotadores múltiples (Lien *et al.*).

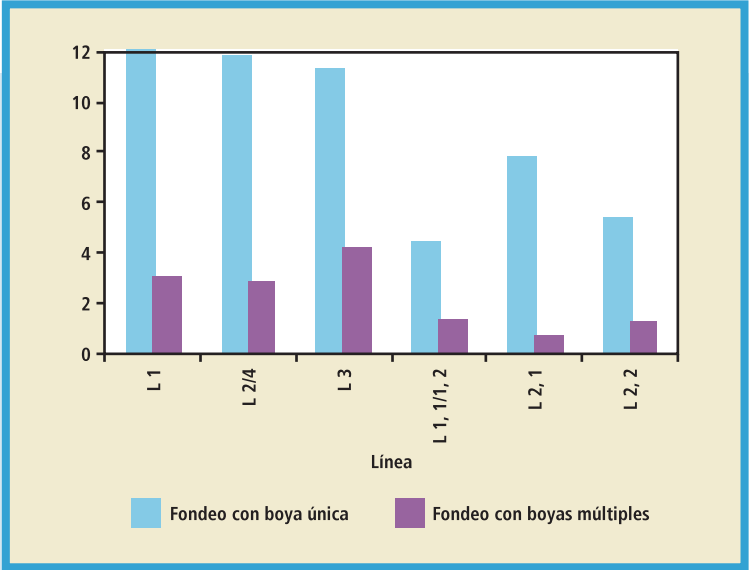
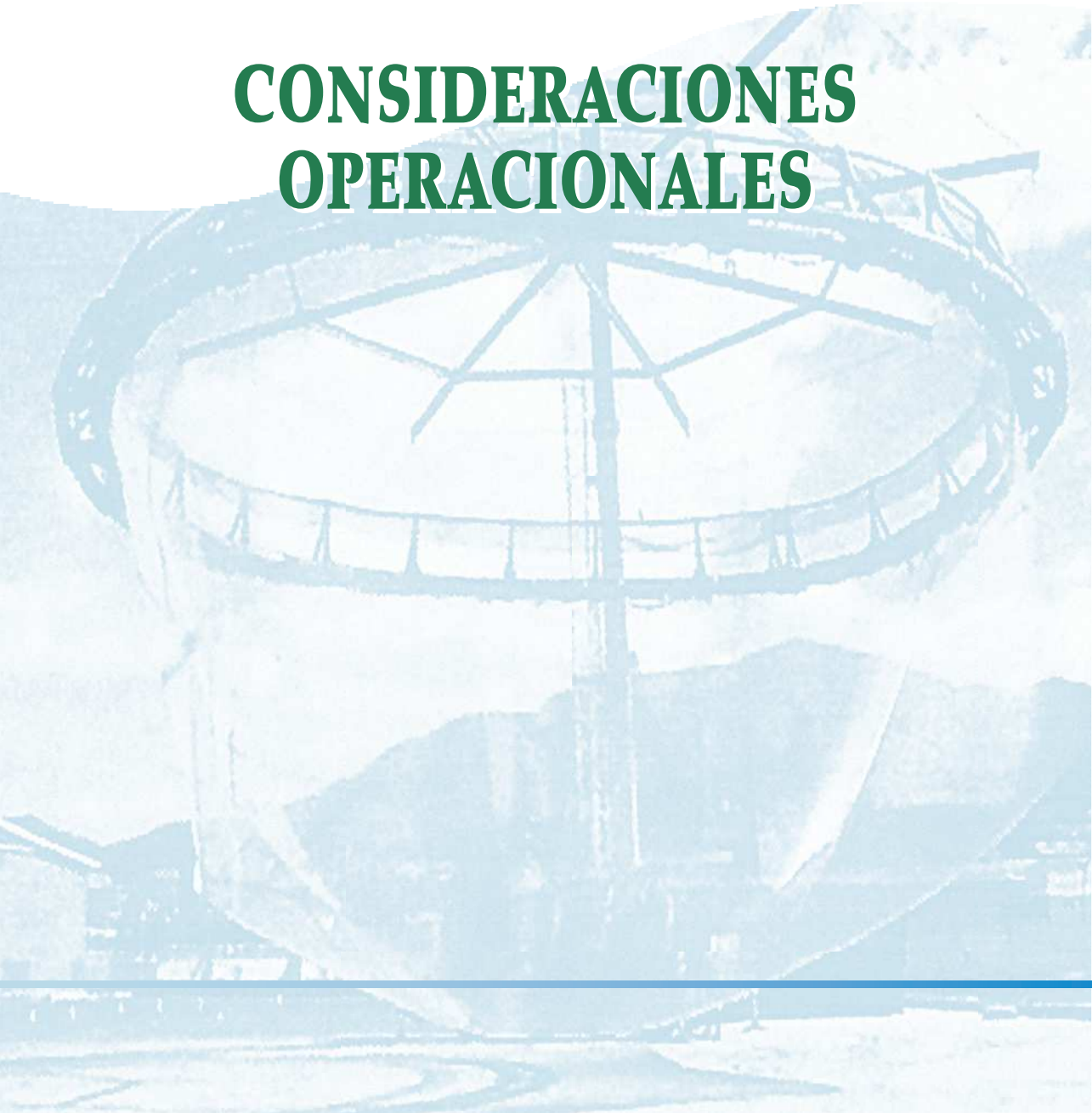


FIGURA 12.113. Tensiones comparativas (Lien *et al.*).

# 13

## **CONSIDERACIONES OPERACIONALES**







## CONSIDERACIONES OPERACIONALES

El crecimiento de los seres acuáticos exige una serie de actividades durante la fase de operación de la instalación sin las cuales no se consigue el éxito. La periodicidad de estas actividades es muy variable: cada ciclo de cultivo, estacionalmente, durante el engorde o el despesque, diariamente... A continuación se esquematizan las más importantes:

- Cuidado durante el cultivo.
- Contaje.
- Cálculo de medida y peso.
- Clasificación.
- Alimentación.
- Tratamiento profiláctico.
- Vigilancia de la calidad del agua.
- Vigilancia y control de la salud.
- Despesque y procesado.
- Limpieza: control del biofouling y de la higiene.
- Apoyo logístico.
- Mantenimiento mecánico: fondeos, equipo, conexiones...
- Instalaciones de apoyo y servicios para el personal.
- Almacenaje de equipos y suministros.

Willinsky y Huguenin han elaborado esta tabla sencilla pero muy práctica sobre las actividades a realizar regularmente durante la operación de la instalación y su frecuencia.



ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Control de la biomasa	Semanal
Contaje	0-4 veces (engorde)
Clasificación	0-4 veces (engorde)
Alimentación	Varias veces al día
Tratamiento profiláctico	Cuando sea necesario
Vigilancia calidad de agua y caudal	Varias veces al día
Control de predadores	Continuo
Despesque y procesado	Al final del engorde.
Limpieza de la instalación («biofouling»)	Muy variable
Mantenimiento mecánico	Inspección casi diaria
Seguridad física	Continua

# 14

## MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN







## MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

La viabilidad técnica y económica de una instalación se basa en un mantenimiento adecuado que minimizará los incidentes y aumentará su productividad. Un programa de mantenimiento es vital para lograr este objetivo y en el se debe detallar que se debe hacer, cuando se debe hacer y como se debe hacer.

Dentro de este programa hay dos tipos de actividades: el mantenimiento y la inspección. En las primeras se realizan trabajos periódicos de limpieza y sustitución de materiales y en las segundas labores de vigilancia y control.

A continuación se resumen los trabajos y las inspecciones a realizar en los principales componentes de una instalación de viveros flotantes.

### 14.1. SISTEMA DE FONDEO

El sistema de fondeo se compone de las anclas o muerto, cadenas, estachas, grilletes, anillas y boyas. Su misión es mantener la instalación en su posición y absorber los esfuerzos de las inclemencias exteriores para evitar que estas tensiones lleguen a los viveros. La figura 12.35 muestra estos elementos.

Se recomienda **realizar**, como mínimo, las actividades siguientes:

- Control de posición de los muertos y de las anclas: **semanalmente y después de cualquier temporal o situación imprevista**. **Reposicionamiento**.
- Control del estado del hormigón y el espesor de las orejetas: **bi-anualmente**.
- Control del desgaste de la cadena en su roce con el fondo: **anualmente**. **Sustitución**.

- Control de limpieza de la cadena: **bimensual**. Limpieza.
- Control del estado de los grilletes y en especial de su pasador (roscado y sellado con soldadura): **bimensualmente**. Sustitución. (Figura 14.1).
- Control del desgase de las anillas: **bimensualmente**. Sustitución.
- Control de la flotabilidad de las boyas de profundidad: **bimensualmente**. Sustitución.
- Control del estado y limpieza de las estachas: **mensualmente**. Sustitución y limpieza. (Figura 14.2).

**FIGURA 14.1.**

Grillete de unión (Global Aquafish).

**FIGURA 14.2.**

«Fouling» en estachas (Global Aquafish).

## 14.2. ESTRUCTURA DE LAS JAULAS

La estructura de las jaulas está compuesta por los aros de flotación y sus elementos, los soportes y la barandilla o pasamanos. La figura 14.3 muestra estos elementos.

Se recomienda realizar, como mínimo, las actividades siguientes:

- Control visual de los aros de flotación, de los soportes y de la barandilla para detectar roturas, deformaciones, rozaduras (atraque barcos), aplastamientos o estrangulamientos (atado deficiente a los tubos) e incrustaciones: **diariamente**. Sustituir. (Figura 14.4).
- Control visual de las soldaduras de los tubos para ver su estado y detectar posibles grietas: **diariamente**. Reparar.
- Control de limpieza de los aros de flotación: **diariamente**. Limpieza.
- Control del estado de los tacos (posición de los soportes) y pasadores (si existen): **diariamente**. Reparar o sustituir.





- Control visual y posición de los refuerzos de amarre: **diariamente**. **Reparar o sustituir**.
- Control del amarre de la red a los aros de flotación exclusivamente y en las zonas donde se han instalado los refuerzos para este cometido (no a la barandilla ni a los soportes): **diariamente**. **Corregir**.
- La barandilla solo debe soportar el peso de la red que está sobre el nivel del mar (que debe estar floja): **diariamente**. **Corregir**.
- El amarre de la red se debe hacer siempre al tubo exterior pasando el cabo también al tubo interior, pero nunca solo en el tubo interior porque las gazas de la parte superior de la red quedarían muy bajas: **diariamente**. **Corregir**.
- Los barcos deben amarrarse a los tubos de flotación, nunca a los soportes, a la barandilla o a dos jaulas. Este amarre se debe realizar en dos puntos y aproando al mal tiempo: **diariamente**. **Corregir**.



**FIGURA 14.3.**  
Estructura de las jaulas  
(Global Aquafish).

### 14.3. BOLSA DE RED

Los elementos de la bolsa de red son los paños de red, los diversos cabos horizontales y verticales y de amarre y los pesos o el anillo de lastre.



**FIGURA 14.4.** Daños en soporte (Global Aquafish).



La bolsa de red es quizás el componente más débil de toda la instalación, y por esta razón se le debe prestar una atención especial en el mantenimiento y la inspección, porque además su fallo tiene consecuencias nefastas por la pérdida de la biomasa. Otro punto débil es la gran facilidad para acumular «biofouling» y su control es fundamental.

Se recomienda realizar, como mínimo, las actividades siguientes:

- Identificar las redes para facilitar su control: **durante su instalación.**
- Control visual de la red para detectar la aparición de roturas y desgastes: **diariamente. Reparar** (figura 14.5).
- Control visual de todos los cabos, amarres y gazas que forman parte de la bolsa de red para detectar desgastes o roturas: **diariamente. Reparar.**
- Control visual de la limpieza de la red y todos sus elementos: **diariamente. Limpiar.** (Figuras 14.6 y 14.7).
- Limpieza de redes: **variable según el emplazamiento (¿cada tres meses?). Limpiar y secar.**
- Sustitución de redes: **cada tres años o antes si su carga de rotura ha caído por debajo del 65 % de la red nueva en las paredes y el fondo y del 60 % en la barandilla.**
- Control de la tensión adecuada de las redes antipájaros (muy flojas están en contacto con el agua y muy tensas inducen un esfuerzo innecesario en los soportes). En las jaulas de más de 16 metros es conveniente colocar un flotador de soporte en el centro de las jaulas: **diariamente. Reparar.**



**FIGURA 14.5.**  
Rotura de red (Global Aquafish).



**FIGURA 14.6.**  
«Fouling» en la red (Global Aquafish).



- Control visual de la limpieza de los pesos o del anillo de lastre: **mensualmente**. **Limpiar** (Figura 14.8).
- Control de depredadores o alevines de los mismos: **diariamente**. **Eliminar**.

La limpieza de las redes se puede hacer manualmente al aire libre o en tierra con una manguera con agua a presión (figuras 14.9, 14.10 y 14.11) o bien en las instalaciones en tierra con una lavadora (figura 14.12). Siempre se debe aclarar con agua dulce y secarla a la sombra antes de su almacenaje, en una zona seca y resguardada, convenientemente doblada (figura 14.13). Es aconsejable que las bolinas se retiren antes de introducirla en la lavadora.



**FIGURA 14.7.**  
Red sucia (Global Aquafish).



**FIGURA 14.8.**  
Pesos de lastre (Global Aquafish).

Además de la limpieza, las operaciones más habituales con la bolsa de red son el montaje, el desmontaje y los cambios de red. Para la descripción esquemática de estas operaciones vamos a seguir la descripción realizada por IRC (Internacional de Redes y Cuerdas) en sus manuales de instrucciones.

Los pasos a seguir para el **montaje de la bolsa de red** se esquematizan a continuación:

- Con una grúa adecuada se levanta la red y se va «aclarando» para identificar la parte superior e inferior de la misma.
- Para calar la red se hace un reenvío a la contra (al lado opuesto del anillo donde está situado el barco) y se amarra una de las bolinas a la estructura rígida.





**FIGURA 14.9.**  
Lavado manual de redes  
en el mar (Global Aquafish).

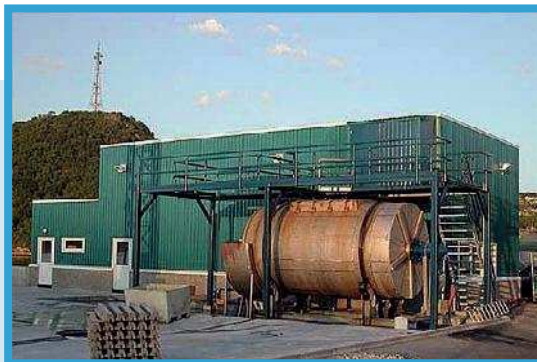


**FIGURA 14.10.**  
Lavado manual de redes en tierra.

- Se vira el reenvío con la maquinilla del barco y se va ayudando con la grúa a echar la red al agua. Se puede fijar una bolina al barco cuando quede poca red a bordo, como precaución para que no caiga al mar.
- Cuando el extremo de la red llega al tubo del aro de flotación, se amarra la bolina al mismo soltándola del barco.
- Se hacen más reenvíos a los lados del anillo para ir amarrando la bolsa de red al tubo de los aros de flotación, empezando preferentemente por la cara del anillo expuesta a la corriente.



**FIGURA 14.11.**  
Lavado manual de jaulas  
con malla rígida.



**FIGURA 14.12.**  
Lavadora de redes Egersund.



**FIGURA 14.13.**  
Secado y doblado de la red  
limpia (Global Aquafish).

- Para ensamblar las redes con la estructura rígida, se amarran todas las bolinas al tubo, los cabos de unión a la barandilla y, posteriormente, la bolsa de red a los cabos de lastre. Si el vivero lleva aro de lastre o anillo anticorriente, se amarra a la relinga de fondo.
- Antes de introducir los peces es importante comprobar que la bolsa de red ha sido instalada correctamente y que no hay averías o roturas en la misma.

Las operaciones para el **desmontaje de la bolsa de red** son las siguientes:

- Se suelta la red de los cabos de lastre.
- Con las cuerdas de levantamiento se va reduciendo progresivamente la profundidad de la bolsa, para facilitar su desmontaje.
- Se engancha la grúa a una de las gazas de la relinga de superficie.
- Se dejan varias bolinas amarradas y se sueltan todas las demás y los cabos de unión a la barandilla.
- Con la grúa se va levantando la bolsa de red e introduciéndola en el barco.
- Según se va subiendo la red, se atan cabos alrededor de esta, de los que la grúa tirará en las siguientes levantadas.
- La grúa debe izar siempre de los cabos y nunca de la red.
- Las cargas estáticas deben minimizarse para evitar que la bolsa de red sufra daños.



Las actividades para los **cambios de red** se resumen a continuación:

- No alimentar a los peces desde el día anterior.
- Se prepara la red a cambiar, soltando las bolinas del anillo de flotación y los cabos de lastre.
- Se deja amarrado un cabo de la barandilla de cada tres.
- Si la red tiene un peso de lastre colgando del copo, se puede atar este a la estructura rígida de flotación durante la maniobra.
- Se puede levantar el copo de la red a cambiar amarrando un globo a la gaza interior del mismo para facilitar el paso de la red nueva.
- Se hace un reenvío a la contra (por el lado opuesto a la jaula), pasándolo por debajo de la red a cambiar.
- Se vira el reenvío para pasar la red nueva por debajo de la red a cambiar.
- Se harán otros dos reenvíos a los lados para abrir la red.
- Virando los reenvíos se subirá la red, quedando la antigua dentro de la nueva.
- Se amarran las bolinas de la red nueva a los tubos de flotación y en este momento, o más tarde, se pueden fijar los cabos de unión a la barandilla.
- La red nueva se engancha a los cabos de lastre porque, de esta forma, se deja más espacio para los peces.
- Se sube el copo de la red a cambiar hasta la superficie para engancharlo con la grúa.
- En este momento se sueltan los cabos de la barandilla, que aún permanecían amarrados, y con la grúa se va sacando la red.
- Los buzos deben verificar que no queden peces atrapados en la red que se cambia.
- Finalmente se amarran los cabos de unión a la barandilla de la red nueva.

Las figuras 14.14, 14.15 y 14.16 ilustran las maniobras y actividades descritas en los párrafos anteriores.

Es muy importante el control y el registro del «historial» de la red diariamente. Los siguientes hechos y datos se deben documentar:



- Número de días que la red ha estado en el agua en operación.
- Actividades realizadas: inspección, mantenimiento, reparación... Incluir fechas y referencia al protocolo utilizado para la inspección y el mantenimiento.
- Resultados de cada actividad realizada.
- Seguimiento de las actividades realizadas.
- Evidencia de la persona responsable de las actividades realizadas (fecha y firma).

La norma noruega NS 9415. E también recomienda que se registren las averías de las redes que se producen durante la operación y mantenimiento de la jaula en un registro diferente según las pautas siguientes:

- Fecha y nombre de la persona que detecta y notifica la incidencia.
- Descripción de la avería o desperfectos.
- Definición de la zona y de la causa de los desperfectos.
- Medidas tomadas para la reparación.
- Evaluación de cambios en los protocolos para evitar la repetición del incidente.
- Conclusión del incidente.

Ademas de las recomendaciones ya incluídas en los párrafos anteriores, a continuación se añaden algunas normas de buena práctica:

- Revisión de las redes después de condiciones metereológicas adversas.



**FIGURA 14.14.**  
Inicio del cambio de red.



**FIGURA 14.15.**  
Brazolada.



- Durante las inspecciones visuales se debe comprobar que los amares están bien sujetos y en su sitio, y que los cabos no están desgastados.
- Si hay orificios pequeños en la red se suelen reparar con bridas de color diferente al de la red, para identificarlas con facilidad. Posteriormente, ya en tierra, se coserán estas zonas de la red con un hilo que tenga una carga de rotura superior al de la red (figura 14.17).
- Si la abertura es de gran tamaño se coloca un parche de red.

Es recomendable también, y lo cita la norma NS 9415.E, que la bolsa de red sea revisada una vez cada doce meses por el fabricante o por un agente externo independiente. Esa revisión incluye inspección, ensayos y eventuales reparaciones siguiendo las instrucciones de la norma.

A continuación se describen las roturas más habituales en la red según las zonas donde se producen:

- Roturas en la parte superior (entre la superficie y 0,5 metros de profundidad). Los movimientos debidos al oleaje de los aros de flotación frente al peso de la red y los esfuerzos creados sobre la misma por las corrientes, hacen que se produzcan unos esfuerzos muy importantes entre la relinga de flotación y el nervio vertical que lo cruza, y es en esta zona donde suelen aparecer roturas de red. Otra causa, aunque no tan importante, es el posible roce de la red con las incrustaciones de los aros (mejillones sobre todo) (Figura 14.18).

**FIGURA 14.16.**  
Izado final.



**FIGURA 14.17.**  
Reparación de red (Global Aquafish).





- Roturas en la parte superior (entre 0,5 y 1 metro de profundidad). Estas roturas suelen producirse también por roces de la red con los aros de flotación y no tienen porqué estar asociadas a las relingas o a los cabos verticales.
- Roturas en el fondo. Esta parte de la red tiene, normalmente, dos cabos de refuerzo entrecruzados y con alma de plomo, únicamente. En cambio los paños verticales tienen dos por paño (uno a cada lado) como mínimo. El movimiento normal del mar, y más con mal tiempo, siempre hace subir y bajar la jaula y la red tiene que acompañar estos movimientos. Los paños de red verticales soportan bien estos movimientos porque tienen muchos refuerzos pero el fondo de la red, al tener solo dos, no hay posibilidad de disipar toda la energía y se producen roturas. A veces se disminuye el copo tensando más la red al anillo de lastre con lo cual se aumenta la tensión del fondo y las roturas son más frecuentes. Las figuras 14.19 y 14.20 muestran roturas en el fondo de la red.

Una buena práctica para los buceadores es realizar tres inspecciones: la primera hasta los cinco metros de profundidad, la segunda mirando desde la superficie hacia abajo y la tercera desde el fondo hacia la superficie.

#### 14.4. ELEMENTOS DE SUPERFICIE

Es una de las partes más importantes de la instalación por la cantidad de elementos que agrupa su conjunto. Puede tener múltiples



**FIGURA 14.18.**

Rotura en la parte superior  
(Global Aquafish).



**FIGURA 14.19.**

Esquina de fondo rota (Besmar).





FIGURA 14.20. Rasgado en fondo (Besmar).

elementos y muy dispares: estachas, cadenas, boyas, cables, grilletes, anillas... Todos estos elementos deben poseer su certificado del material, y sería una norma de buena práctica el que todos los proyectos tuviesen los oportunos cálculos que reflejasen el esfuerzo máximo que cada elemento debe soportar.

Todo lo dicho anteriormente para cada uno de estos elementos es aplicable en este párrafo. Pero se pueden añadir algunas recomendaciones obvias, pero que no conviene olvidar.

Al estar tan cerca de la superficie todos los elementos son presa fácil para el fouling con lo cual todos los elementos, tanto del entramado interior como exterior, deben inspeccionarse y, sobre todo, limpiarse tres veces al año. La figura 14.21 muestra el aspecto de un anillo de distribución con «fouling». Esta acumulación de incrustaciones hace perder la flotabilidad de estos elementos y puede ser muy perjudicial para el éxito de la operación de la instalación.

En particular algunos elementos deben tener una vigilancia especial que se detalla a continuación:

- Estachas: controlar la tensión, los desgastes por rozamiento y los inicios de rotura. **Vigilancia continua.**
- Limpieza de los cabos, estachas y cables del entramado: **Vigilancia continua y limpieza dos veces al año mínimo.** Esta limpieza es muy importante por varias razones:
  - El aumento de peso incrementa la resistencia a las corrientes y al oleaje y el riesgo de accidente con los temporales es mucho mayor.

**FIGURA 14.21.**

Anillo de distribución con «fouling» (Global Aquafish).

- El aumento de peso también puede amenazar con el hundimiento del entramado.
- El «fouling» impide ver el estado de los componentes (grilletes, pasadores, acción galvánica...).

Una forma sencilla de limpieza de estos componentes es la utilización de un grillete liso sin aristas, del tamaño adecuado que atado a un cabo se remolca por una embarcación en la dirección adecuada y va eliminando por roce las incrustaciones. La figura 14.26 visualiza esta operación.

Los elementos auxiliares se pueden limpiar bajo agua con auxilio de un martillo pero es preferible hacerlo en el barco o en tierra.

- Tensionado del entramado: **tres veces al año como mínimo y después de cada temporal. Lo ideal es que la vigilancia sea continua.** La figura 14.22 muestra una campana de distribución girada 180° y cuyo estado no mantiene la tensión en todas las líneas.
- Boyas: desmontaje, limpieza, revisión del tubo central, de la tortillería y cadena de unión. **Una vez al año mínimo.** (Figura 14.23). Es muy importante en las boyas controlar el estado del tornillo de unión del tubo de la boya a la cadena (en las boyas rígidas con tubos sin cáncamo), y el estado de desgaste de los primeros eslabones de la cadena, que son los que más sufren al estar sometidos al movimiento oscilante de la boya (Figura 14.25). El aumento de peso



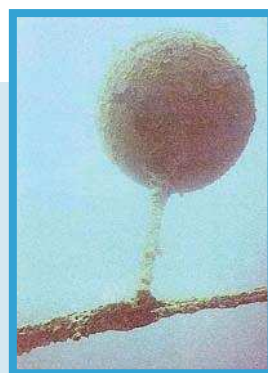
de las boyas por el «fouling» implica su hundimiento y la pérdida de poder de amortiguamiento de las tensiones de los fondeos.

- Aros de flotación: el control de las incrustaciones es muy importante porque pueden rozar con la red (el componente más débil), o con las estachas y provocar su rotura anticipada ya que algunos seres del «fouling» actúan como cuchillos (mejillones...). **Vigilancia continua.**
- Tortillería, grilletes, pasadores, cadenas, anillas y amarres del entramado. **Control continuo.**
- Instalación de grapas sujetacables y sujeta estachas (Figura 14.24). **Control continuo.**

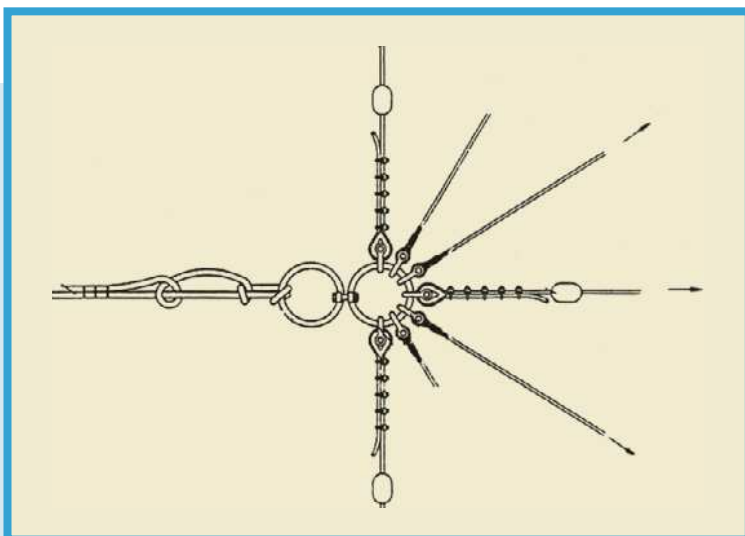
Si el entramado lleva algunas partes de cable metálico se produce el fenómeno de la electrolisis. El par galvánico que se produce ataca normalmente al elemento más débil, que suele ser el cable, por lo tanto es necesario instalar ánodos de sacrificio para salvaguardar los cables. La corrosión galvánica empieza en los cables desde el interior al exterior por lo tanto visualmente, al principio, no se observa. Estos ánodos se sitúan en los cables metálicos inmediatamente después del amarre al guardacabo (Figura 14.24), en las cadenas de las boyas del entramado y en la anilla del muerto o en su cadena. **Control y reposición cada dos meses mínimo.** Puede ser necesario rascar la capa blanca de zinc corroído para ver el estado real de los ánodos de sacrificio.



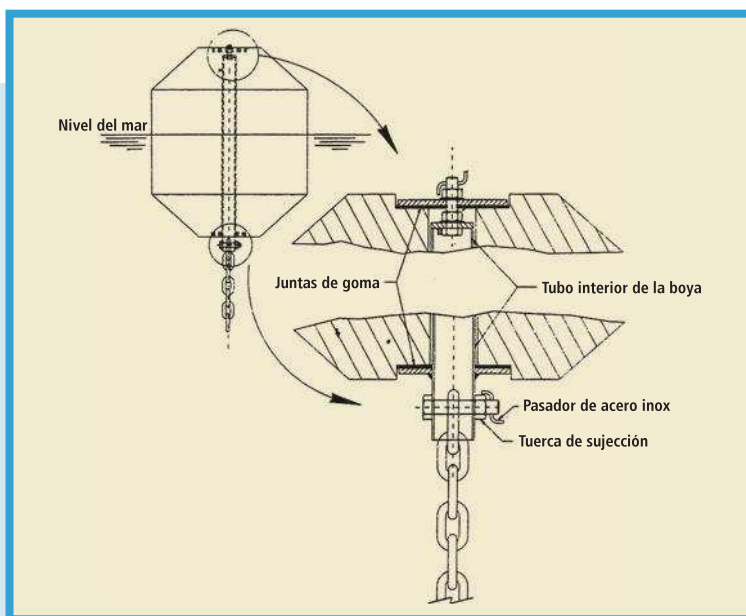
**FIGURA 14.22.**  
Campana de distribución girada  
(Global Aquafish).



**FIGURA 14.23.**  
Boya con «fouling»  
(Global Aquafish).

**FIGURA 14.24.**

Entramado con cable de acero (CORELSA).

**FIGURA 14.25.**

Detalles de una boya (CORELSA).

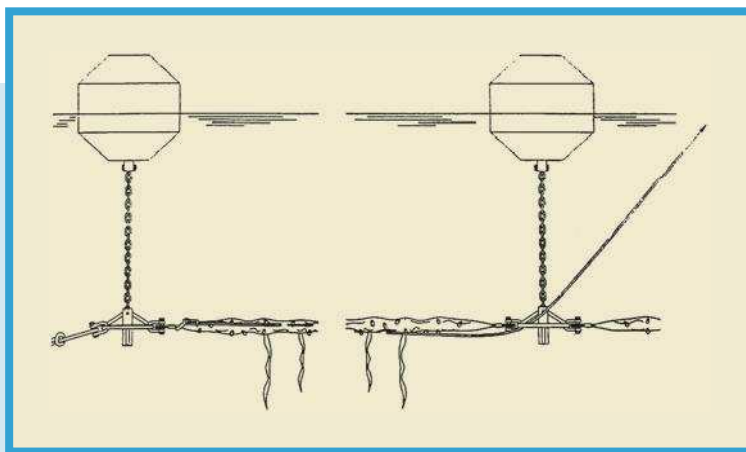


FIGURA 14.26. Limpieza de cabos (CORELSA).

## 14.5. BOYAS DE BALIZAMIENTO

El sistema de balizamiento tiene como misión señalar la instalación. Sus principales componentes, tal como se aprecia en la figura 14.27 son: la boya, la cadena y el muerto. Este sistema tiene una gran importancia desde el punto de vista de la seguridad tanto de la instalación como de la navegación.

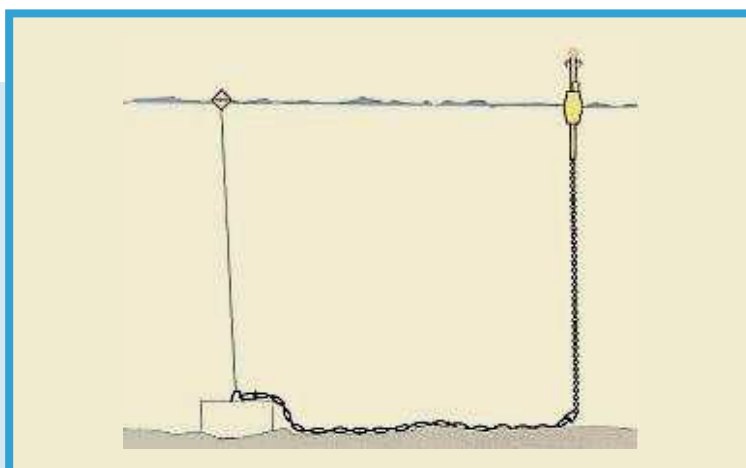


FIGURA 14.27. Baliza (Global Aquafish).



Las principales actividades de mantenimiento e inspección se esquematizan a continuación:

- Revisión del estado de la cadena y de los grilletes. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión del estado del muerto. **Una vez al año mínimo.**
- Control de la estanqueidad, deformaciones y grietas de las boyas. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión del grupo óptico. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión del estado del circuito óptico. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión del estado del circuito eléctrico. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión de la estanqueidad de la caja de baterías. **Una vez al año mínimo.**
- Revisión de la óptica de la linterna. **Una vez al año mínimo.**
- Control de zonas oxidadas. **Una vez al año mínimo.**

## 14.6. TENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

Este apartado complementa la información incluida en el párrafo 12.3.4 (pre tensión en los sistemas de fondeo).

Esta operación es de vital importancia en las instalaciones de viveros flotantes, ya que si se produce un destensado en algunas estachas o partes del entramado, estos elementos dejan de transmitir las fuerzas y provocan cargas de impacto que aumentan el riesgo de rotura en estas partes.

Bajo dos circunstancias es importante verificar el tensionado de la instalación:

- En las primeras semanas de la operación, porque los materiales tienen un cierto grado de alargamiento que al realizarlo destensan la instalación.
- Después de cualquier temporal o de condiciones meteorológicas adversas.

Es norma de buena práctica verificar diariamente que los cabos de amarre de las jaulas trabajan correctamente, que estén bien tensados y que tengan la misma tensión todos ellos.

Para realizar esta operación de tensionado se pueden seguir los pasos siguientes:





- Se pasa un cabo por la anilla de atado de la estacha que va al muerto y se amarra a la estacha a tensar a una longitud entre 8 y 10 metros de la citada anilla.
- El otro extremo del cabo se hace firme en el barco.
- El barco tira del cabo tensionando el conjunto.
- Después del tensionado, se desamarra la estacha de la anilla, se cobra el tramo de estacha que ha quedado floja y se vuelve a amarrar a la anilla.

### 14.7. VIVEROS «BRIDGESTONE»

Se adjuntan los cuadros 14.28 y 14.29 del manual de instrucciones de los viveros flexibles flotantes de Bridgestone por su utilidad práctica.

**CUADRO 14.28.**

«Inspección regular en el mar» (Bridgestone).

VII Lista de verificación. Inspecciones habituales en el mar			
Item	Puntos a ser verificados	Frecuencia	Notas
1.	Presión interior en la estructura flexible	En el primer mes después de entrar en servicio y cada seis meses regularmente	Mantener la presión entre 4 y 5 Kg/cm <sup>2</sup>
2.	Organismos marinos en la estructura de flotación y juntas	Cada mes y antes y después de una tormenta	Eliminar los organismos, especialmente los percebes y ostras
3.	Daños externos en la estructura de flotación	Cada mes y antes y después de una tormenta	Si hay daños reparar la cubierta de goma en el mar
4.	Apriete de los tornillos de la junta	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reapretar tornillos. Usar tuercas dobles con arandelas para evitar la repetición
5.	Apriete de los tornillos de la estructura	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reapretar tornillos flojos
6.	Daños en las juntas	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reparar a flote cortes, grietas y otros daños
7.	Daños en las juntas de flotación y su cubierta	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reemplazar si los daños son importantes
8.	Daños en la cubierta de la estructura flexible	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reemplazar si los daños son importantes
9.	Daños en la superficie de la estructura flexible	Cada mes y antes y después de una tormenta	Colocar una lámina de goma entre la cubierta y la estructura flexible
10.	Huelgo en los tirantes de la barandilla	Cada mes y antes y después de una tormenta	Fijar los tirantes firmemente
11.	Tensión en el cabo de la barandilla	Cada mes y antes y después de una tormenta	Verificar la tensión para lograr un huelgo correcto
12.	Daños en la red anti pájaros	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reparar el área dañada
13.	Daños en la red anti depredadores	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reparar el área dañada
14.	Longitud de los cabos e amarre	Cada mes y antes y después de una tormenta	Tensar los cabos dentro de 20 cm
15.	Huelgo de los cabos de fondeo	Cada mes y antes y después de una tormenta	Tensar y fijar el cabo
16.	Desgaste de los cabos de fondeo	Cada mes y antes y después de una tormenta	Reemplazar el cabo si es severo el roce



**CUADRO 14.29.**  
«Inspección submarina» (Bridgestone).

VII Lista de verificación. Inspección submarina			
Item	Puntos a ser verificados	Frecuencia	Notas
1.	Daños en la red principal	Cada una a dos semanas así como antes y después de una tormenta	Reparar los daños tan pronto como se pueda
2.	Daños en la red anti depredadores	Cada una a dos semanas así como antes y después de una tormenta	Reparar los daños tan pronto como se pueda
3.	Desgaste en los cabos de fondeo	Cada dos a tres semanas así como antes y después de una tormenta	Reemplazar el cabo cuando el daño sea importante
4.	Garreo del muerto o ancla	Cada dos a tres semanas así como antes y después de una tormenta	Situar el muerto en su posición original e instalar muertos adicionales

## 14.8. RESUMEN ORIENTATIVO

A continuación se incluye un resumen que contiene el mínimo «mínimumorum» de las actividades a realizar diaria, semanal y mensualmente. Puede haber algunas discrepancias con lo expuesto anteriormente porque los párrafos de cada sistema o parte de la instalación se han hecho con mucho más detalle. Este apartado se puede considerar como un resumen ejecutivo u orientativo.

### 14.8.1. Actividades a realizar diariamente de forma continua

- Control de la estructura del vivero: tubos, soportes, barandilla...
- Control de las redes: roturas, fouling, cambio...
- Control de las redes antipájaros.
- Control del entramado: cabos, estachas, cables...
- Control de elementos auxiliares: grilletes, pasadores, anillos...
- Control de los pesos o del aro anti corriente.
- Control de los amarres.
- Control de las boyas.
- Control del balizamiento.

### 14.8.2. Actividades a realizar semanalmente

- Control submarino de los muertos.
- Control submarino del sistema de fondeo: cadenas, estachas, cables...
- Control submarino de las redes en las estaciones frías.



### 14.8.3. Actividades a realizar a lo largo de los meses

- Control detallado de las boyas y del balizamiento. **Bimensual.**
- Control de los ánodos de sacrificio. **Bimensual.**
- Control detallado del sistema de fondeo. **Trimestralmente.**
- Control detallado de la limpieza de las jaulas. **Trimestralmente.**
- Control del tensado de la instalación. **En abril y septiembre y después de cada temporal.**
- Control detallado de la limpieza de los fondeos, cadenas, estachas, boyas, elementos auxiliares (grilletes, pasadores...), aros de lastre... **Semestralmente.**

## 14.9. ENSAYOS DE REDES

En este último apartado del capítulo dedicado al mantenimiento se va a incluir la descripción de un proyecto de ensayos de redes, definido por el autor, y puesto en práctica parcialmente por JACUMAR.

Al ser la red uno de los elementos más vulnerables de los viveros o jaulas flotantes, es muy interesante abrir y completar nuevos campos de I + D + i. El objetivo final de este proyecto es indagar sobre la vida en operación de los diversos materiales de las redes de las diversas marcas comerciales. La empresa Global Aquafish fue la iniciadora del proyecto que tuvo una gran acogida a nivel nacional e internacional, aunque al final solo se implantara parcialmente a nivel nacional.

### 14.9.1. Introducción

Una de las áreas problemáticas de las instalaciones de engorde de peces en jaulas en el mar es, sin duda alguna, las roturas de las redes que provocan costosos trabajos de reparación o sustitución, y, en el peor de los casos, pérdidas abundantes de biomasa.

Los diferentes materiales existentes en el mercado y, por supuesto, sus variaciones en el precio de coste, hacen necesario un estudio comparativo profundo sobre la vida en operación de cada uno de los materiales para justificar o evitar la inversión.



### 14.9.2. Beneficios

La diferencia de precio entre unos materiales y otros es importante, pudiendo llegar en algunos casos hasta una relación de 1 a 3.5, siendo aún superior en materiales de fabricación especial.

Considerando que una instalación de engorde de dorada y lubina de 1000 toneladas de producción, en jaulas de 20 metros de diámetro, puede necesitar más de 50 redes para su operación normal, de diversos tamaños de malla, la relación de precios citada en el párrafo anterior implica un coste decisivo para los resultados económicos de la instalación.

Ahora bien, si se puede demostrar que el precio superior lleva asociada una vida en operación más larga, entonces la inversión superior sería rentable a largo plazo.

Esta es la idea básica: comparar el precio y la vida en operación de los diversos materiales de redes existentes en el mercado, para orientar a las empresas propietarias de instalaciones de cultivo en la elección de dichos materiales.

La utilidad y relevancia de este proyecto para los sectores socioeconómicos es clara: podrán elegir y comprar el material que presente la mejor relación calidad-precio para sus jaulas lo que implica, automáticamente, un espectacular aumento de la rentabilidad de sus instalaciones.

En los siguientes tres párrafos se esquematizan y resumen los grandes beneficios que este proyecto podría aportar:

- Redes que duran más, que se rompen menos, que se ensucian mucho menos.
- Menos cambios, menos limpiezas, muchísimo menos gasto de personal.
- Un gran paso adelante para la industria.

La transferencia de la tecnología creada al sector es obvia después de los razonamientos expuestos en el párrafo anterior.

### 14.9.3. Objetivos

#### 14.9.3.1. Obtención de información

- Identificación de accidentes y sus causas.
- Identificación de los principales problemas de las redes.
- Identificación de las redes en relación con las especies a cultivar.



14.9.3.2. Definición de los materiales a investigar y su estado

14.9.3.3. Obtención de datos de los fabricantes de redes

14.9.3.4. Realización de ensayos

- Envejecimiento natural y artificial.
- Ensayos mecánicos.
- Inspección visual con microscopía electrónica.

14.9.3.5. Analizar los resultados obtenidos frente a los datos facilitados

14.9.3.6. Recopilar todas las actividades en un informe final

### 14.9.4. Plan de trabajo

Este proyecto se completa realizando las siguientes etapas:

- Identificación de accidentes y sus causas.
- Identificación de los principales problemas de las redes.
- Identificación de las redes en relación con las especies a cultivar.
- Identificación de los materiales a estudiar.
- Definición del estado de los materiales a estudiar.
- Obtención de datos de los fabricantes de redes.
- Ensayos a realizar.
- Normas de aplicación en los ensayos.
- Comparación de los resultados obtenidos con los datos facilitados.
- Discusión de los resultados con los fabricantes de redes y con las empresas de cultivo.
- Informe final.

A continuación se detallan las tareas a realizar en cada una de las etapas citadas anteriormente.

### 14.9.5. Identificación de accidentes y sus causas

Los accidentes importantes de rotura de redes, con pérdida importante de biomasa, se pueden considerar en este proyecto para tratar



de averiguar sus causas, ya que en muchos casos pueden estar relacionadas con las propiedades físicas de las redes. Las condiciones ambientales que han sufrido estas redes dañadas pueden ser un dato interesante para las conclusiones del proyecto, al poder comparar los resultados de los esfuerzos reales con los ensayados.

#### **14.9.6. Identificación de los principales problemas de las redes**

Como en el caso del apartado anterior, puede haber relación entre los esfuerzos en determinadas zonas y la duración de los materiales, por eso, esta información obtenida directamente de las empresas del sector puede ser muy interesante para los objetivos finales del proyecto. De hecho, en las conversaciones previas, ya se han identificado tres posibles áreas que pueden ser estudiadas con la definición de ensayos específicos:

- Resistencia al corte frente a elementos con superficies con filo (mejillones por ejemplo).
- Resistencia a la abrasión por roce.
- Continuidad o transmisión de la rotura.

#### **14.9.7. Identificación de las redes en relación con las especies a cultivar**

Los tipos y tamaños de las redes y de sus mallas varían mucho dependiendo del tamaño de los peces y también de las especies, pensemos en el atún y en la dorada y lubina por ejemplo, con lo cual será necesario tener en cuenta las especies que se cultivan a la hora de la elección de las redes a ensayar.

Se definirán unos ensayos específicos para verificar la compatibilidad de las redes con los peces que se cultivan, considerando muy especialmente los casos del lenguado y del rodaballo debido a los problemas específicos de los peces planos, sobre todo en su superficie de apoyo.

#### **14.9.8. Identificación de los materiales a investigar**

Se deben elegir tantos materiales como permita el presupuesto. Lo ideal es que estén representados los más utilizados por la industria





y luego elegir algunos materiales alternativos que presenten posibles ventajas respecto a los actuales.

### **14.9.9. Definición del estado de los materiales a investigar**

Los materiales elegidos serán ensayados en las siguientes condiciones:

- a. Material nuevo sin «antifouling».
- b. Material nuevo con los diversos «antifouling» elegidos.
- c. Material con un año de vida en operación sin «antifouling».
- d. Material con un año de vida en operación con «antifouling» (si es posible).
- e. Material con mas años de vida en operación con o sin «antifouling» (si es posible).

### **14.9.10. Obtención de datos de los fabricantes de redes**

Una información que puede ser de gran interés, y que podría ser proporcionada por los fabricantes, se agrupa en los siguientes apartados:

#### *Normas de ensayos*

El objetivo es conocer la normativa de ensayos que han aplicado los diversos fabricantes en sus países para que los resultados sean comparables.

De utilizar varias normativas serían, por supuesto, las mas universales: ASTM, ISO, UNE ...

#### *Resultados de ensayos*

Todos los resultados obtenidos por los fabricantes también son de gran utilidad pues por una parte podrían validar los ensayos y por otra, si hay diferencias, iniciar un estudio comparativo para llegar a los valores mas reales posibles.

### **14.9.11. Ensayos a realizar**

Las **acciones ya realizadas** para la definición de los ensayos son las siguientes:



- Estudio preliminar de los ensayos que se realizan habitualmente en las redes disponibles en el mercado.
- Examen de algunas redes ya utilizadas de Dyneema. Se ha detectado que las roturas siempre se producen por las partes de la malla que no van trenzadas. Este hecho ha sugerido la posibilidad de hacer ensayos a los hilos individuales sin trenzar.
- Ensayos con mordazas estándar, en los que se ha observado que estas no transmiten el esfuerzo de una forma continua a todas las mallas de la red por lo que los resultados no serían del todo reales y fiables.

Una vez realizado el análisis de estos trabajos preliminares se llegó a la conclusión de que sería interesante realizar los ensayos con **dos tipos de los diversos materiales**:

- Hilos de la red en las condiciones ya citadas.
- Mallas de red en las mismas condiciones.

Además de los **materiales** y su estado, ya definidos en los párrafos anteriores, se pueden ensayar otros **envejecidos** natural y artificialmente:

- *Envejecimiento natural*: envejecer los diversos materiales definidos en el párrafo 14.9.8, con y sin antifouling, de forma natural, colocando en el borde superior de una jaula probetas de los diversos tipos de red con un peso colgando y para ensayar con periodicidad variable. Colocar también paños enteros de red que abarcarían toda la profundidad de la jaula. Los detalles de los pesos a colgar y de la periodicidad de retirada de las muestras de red se definen durante el desarrollo del proyecto, previa consulta con todos los participantes. Este envejecimiento se debe realizar en emplazamientos situados en mares diferentes (Mediterráneo, Atlántico sur, Atlántico norte, Golfo de Cádiz, Canarias...).
- *Envejecimiento artificial y acelerado*: envejecer los materiales definidos en el párrafo 14.9.8, con y sin antifouling, de forma artificial en una cámara de inmersión salina, siguiendo la última revisión de las normas para este tipo de ensayos. Dentro de este ensayo podría incorporarse la acción de los rayos U.V.



Los **ensayos mecánicos** a realizar están encaminados a identificar los siguientes parámetros:

- Límite elástico.
- Carga de rotura.
- Alargamiento.
- Resistencia al corte.
- Resistencia a la abrasión.
- Transmisión o continuidad de la rotura.
- Otros a definir.

La **inspección visual** se realizaría con Microscopio Electrónico de Barrido a todas las muestras que hayan estado en operación, para averiguar la influencia de las incrustaciones de los seres vivos en la degradación de la estructura de las fibras y de los filamentos de las mallas («yarns» y «twins»).

### 14.9.12. Normas de aplicación a los ensayos

A continuación se detallan las normas aplicables según el tipo de ensayo a realizar:

#### A. Ensayos mecánicos:

- UNE 40212:1974. Redes de pesca. Términos fundamentales y definiciones.
- UNE 40219: 1973. Método de determinación de la carga de rotura de la malla en las redes de pesca.
- UNE 40220: 1973. Método de determinación de la carga de rotura en el hilo de las redes de pesca (confirmada por AENOR en junio de 2002).
- UNE 40317-1: 1976. Redes de pesca. Diseños. Directrices generales (confirmada por AENOR en junio de 2000).
- UNE 40366: 1977. Hilos para redes de pesca. Determinación de la variación de longitud después de su inmersión en el agua (confirmada por AENOR en junio de 2000).

B. *Inspección visual con microscopio electrónico* : realmente no hay norma para este ensayo. Se debe preparar un informe con los resultados.



#### **14.9.13. Comparación de los resultados obtenidos con los datos facilitados**

Esta tarea es importante porque permite validar los resultados o entrar en la dinámica de estudio de las discrepancias.

#### **14.9.14. Discusión de los resultados con los fabricantes de redes y con las empresas de cultivo**

Es el paso natural después del análisis del párrafo anterior y se cree que puede ser de suma utilidad aunque no siempre posible.

#### **14.9.15. Informe final**

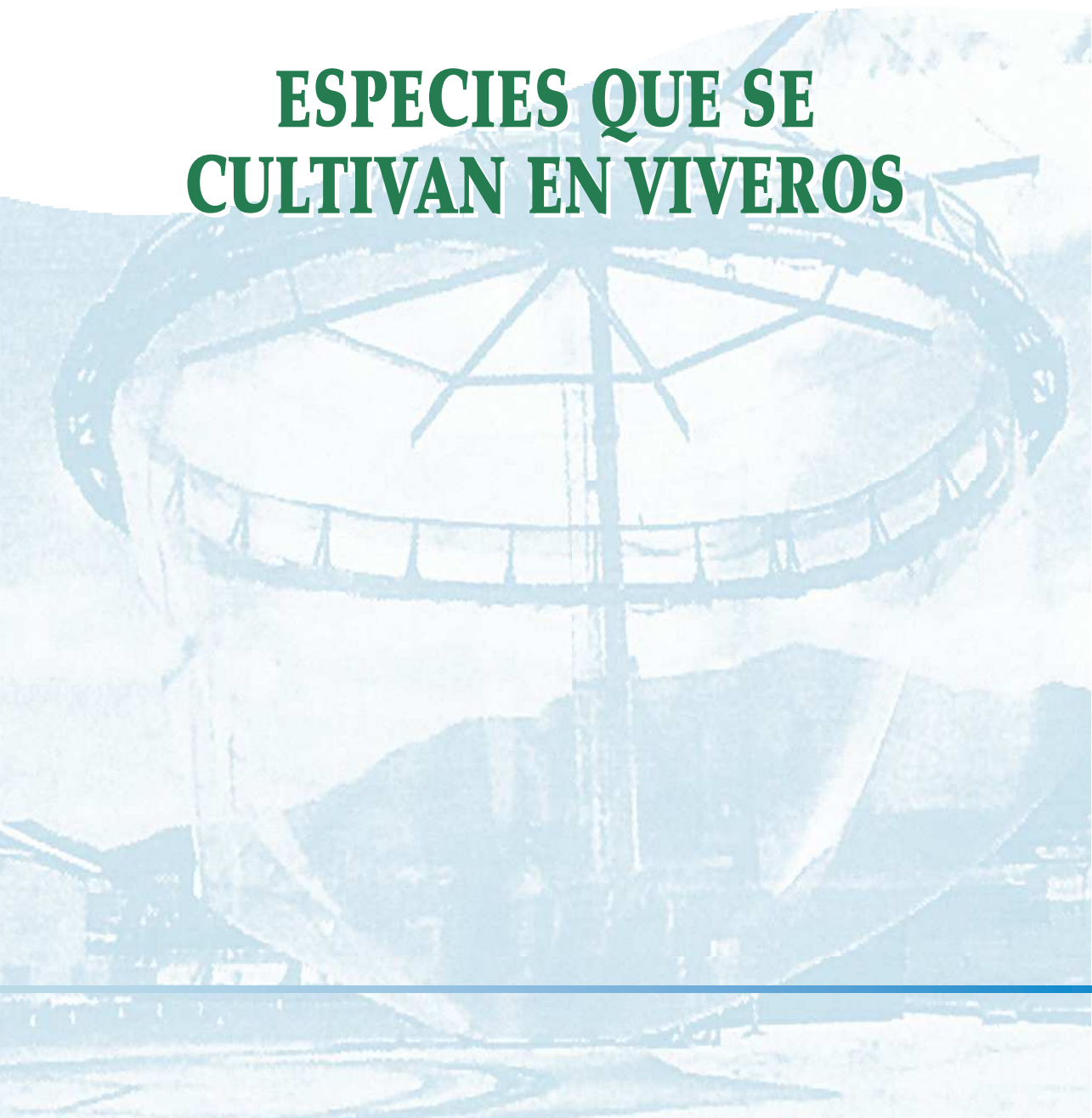
Este informe constará, evidentemente, de varios capítulos ya que a medida que se vayan obteniendo resultados parciales se irán emitiendo informes, con conclusiones también preliminares, que poco a poco crearán el informe final.





# 15

## **ESPECIES QUE SE CULTIVAN EN VIVEROS**







## ESPECIES QUE SE CULTIVAN EN VIVEROS

A continuación se citan las especies de peces que se cultivan en estructuras en el mar, incorporando algunas de sus características que normalmente no aparecen en las guías habituales de seres marinos.

### 15.1. EL ABADEJO

Este gádido (*Pollachius pollachius*), con una librea de colores marrones bellísimos durante su juventud, es, probablemente, el rey de la mesa para las personas que aman las dietas alimenticias, ya que su carne es una de las mas suaves de los seres marinos. Sin embargo su sabor suave es inigualable y su cabeza uno de los manjares más exquisitos que podemos degustar.

Es amante de aguas más bien frescas y es habitual en las costas del norte de España.

Su precio no es muy elevado pero si tiene «su» mercado propio. Pero además hay otra razón importante: es el «tapado» de la merluza. Los conocimientos adquiridos con el abadejo y con el bacalao nos pueden encaminar al cultivo de uno de los grandes del mar.

Los alevines se consiguen con puetas naturales y su engorde se realiza en jaulas flexibles flotantes en la Ria de O Barqueiro (Galicia) casi exclusivamente (Figura 15.1).

### 15.2. EL ATÚN ROJO

Al cultivo de este pez se le ha dedicado un capítulo especial (el 16), tanto por su importancia económica como por sus especiales condiciones de cultivo.

El atún de aleta azul (*Thunnus thynnus*) es un pez realmente espectacular por su tamaño y su belleza. Solo Japón ha logrado cerrar su



**FIGURA 15.1.** El abadejo.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 15.2.** Atún rojo.

ciclo industrialmente con puestas naturales. Su «engrase», no engorde, se realiza en las costas mediterráneas de España en grandes jaulas flexibles y flotantes, sobre todo en la provincia de Murcia (Figura 15.2). El IEO de Mazarrón lidera actualmente el proyecto, a nivel europeo, de domesticación y cría de este ser.

### 15.3. EL BACALAO

Este gádido (*Gadus morhua*) de enorme importancia económica desde hace siglos en Europa y España se ha empezado a cultivar en Noruega hace unos años y hoy ya es una espléndida realidad.

Desgraciadamente las temperaturas tan bajas que necesita hacen su cultivo en nuestros mares imposible (Figura 15.3).

### 15.4. EL BESUGO

El rey marino de la mesa en Navidad, antes de la aparición de los crustáceos y moluscos (marisco), también llamado Voraz (*Pagellus bogaraveo*) en el Estrecho de Gibraltar, es uno de los grandes de los mercados. Su sabor es inigualable en invierno, desde noviembre a febrero, ya que se está preparando para la procreación. Pero no se deben olvidar los juveniles de besugo, llamados «panchos» en Galicia, que en el verano no envidian nada a sus mayores. La mancha negra lateral solo aparece en su edad adulta.

Los juveniles se obtienen de puestas naturales y se engordaban, hasta este mes de diciembre de 2007, en jaulas flexibles flotantes en la Ría de O Barqueiro (Galicia), teniendo como vecinos a los abadejos. Le





gustan las aguas frías españolas y por esta razón su cultivo se realiza hasta ahora solo en Galicia.

Su gusto por las aguas profundas los hace invisibles en la superficie de las jaulas, incluso a las horas de comer, por lo que lo más recomendable sería criarlos en jaulas especiales sumergidas a una profundidad mínima de 12 metros.

Un posible problema, que hasta ahora no se ha presentado, puede ser su comportamiento en cautividad, ya que en la naturaleza suele haber un «jefe» de la «tribu» al que todos siguen. Si este comportamiento se mantuviese en cautividad se necesitarían jaulas enormes. No le gustan los tanques en tierra e incluso cuando se engorda en ellos pierde su hermoso color rojizo (Figura 15.4).



FIGURA 15.3. El bacalao.



FIGURA 15.4. El besugo.

## 15.5. EL BORRIQUETE

El borriquete o burro (*Plectorhynchus mediterraneus*) es un pez habitual en las capturas de los puertos del Atlántico Sur español en puertos tales como Conil, Barbate o Chipiona. Su valor no es muy alto (máximo 4,8 euros/kilo) y sus capturas tampoco muy abundantes (máximo 6 % de las capturas totales en Conil).

La instalación de El Toruño inició los trabajos de investigación sobre el cultivo de esta especie en el 2000 por el interés que demostraron los pescadores de Conil para realizar acuicultura de repoblación en sus caladeros.

A partir de este año se realizaron las habituales etapas de la investigación del cultivo: captura de progenitores naturales, adaptación a



la cautividad, puesta, cría larvaria, preengorde y engorde. Todas estas actividades fueron realizadas en tanques en instalaciones en tierra con resultados muy satisfactorios. El crecimiento es realmente bueno con lo cual hay una ventaja importante.

Cuando estas primeras actividades fueron llevadas a buen puerto se pensó en la posibilidad de realizar el engorde en jaulas en mar abierto. Las experiencias realizadas en las jaulas de Rota durante casi tres años dieron el espaldarazo definitivo al cultivo de este ser en aguas lejanas a la costa y se puede decir que su futuro está ya abierto al cultivo industrial en viveros en aguas expuestas. La figura 15.5 muestra una bella imagen de este ser.

### 15.6. LA CORVINA

Este hermoso pez, de la familia de los esciénidos, ha sido ampliamente estudiada en el mundo, obteniéndose buenos resultados en su cultivo debido a su facilidad de adaptación y a su elevado índice de crecimiento. Las especies estudiadas han sido las siguientes: el corvión ocelado (*Scianepos ocellatus*), la corvina japonesa (*Argyrosomus japonicus*), el verrugato (*Umbrina cirrosa*) y la corvina del Mediterráneo y del Atlántico (*Argyrosomus regius*).

Su nombre más común, tambor o roncador, se debe a los sonidos que estos peces producen al usar su bien desarrollada vejiga natatoria como cámara de resonancia de las vibraciones de unos músculos especiales insertados en sus paredes.

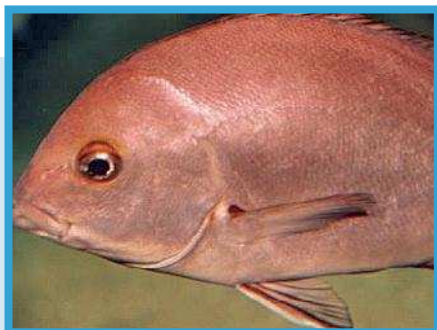


FIGURA 15.5. El borriquete.

La especie del Mediterráneo es una magnífica candidata para la diversificación de la acuicultura marina por las siguientes razones: elevada fecundidad, ampliamente distribuida, precios de mercado medios-altos (6/10 euros/kilo), buena aceptación por los consumidores, tolera perfectamente la cautividad, es una especie eurihalina con lo cual se adapta en ambientes muy diversos, elevadas tasas de crecimiento y buenos índices de conversión.



Sus características organolépticas también son óptimas ya que desarrollan unas cantidades inusualmente bajas de grasa mesentérica y muscular, en comparación con otras especies de granja, y admite un período de conservación largo en condiciones de refrigeración, lo que implica un producto de gran calidad.

El interés de su cultivo es doble: la conservación de los recursos naturales mediante la repoblación y su desarrollo como especie comercial.

Las experiencias realizadas hasta ahora muestran que su cría en viveros da mejores resultados que en tanques en tierra, ya que en estos el estrés es mayor y su adaptación más deficiente. En jaulas se han alcanzado engordes de 1.850 gramos en 8 meses partiendo de alevines naturales de 110 gramos.

Tanto el IFAPA El Toruño como un criadero francés han logrado cerrar el ciclo y al menos una empresa española está ya produciendo cantidades importantes de corvina en jaulas de mar abierto. La figura 15.6 muestra la imagen de una corvina.



**FIGURA 15.6.** La corvina.

## 15.7. EL DENTÓN

Este pariente del besugo (*Dentex dentex*), que habita en todas las costas españolas, aunque prefiere el Mediterráneo donde es más abundante, se engorda en viveros flotantes experimentales únicamente en el Mediterráneo.

Su carne es muy apreciada y es una especie muy solicitada en los restaurantes de alto nivel económico.





Aunque tiene una alta tasa de crecimiento su mortalidad es muy alta. Los principales problemas de su cultivo se asocian con el manejo de los reproductores y el control de la maduración y de la puesta (Figura 15.7).

### 15.8. LA DORADA

La especie mas cultivada en Europa después del salmón, vive en todas las costas españolas aunque prefiere las temperaturas más cálidas del Mediterráneo y de las salinas gaditanas. Aunque se ha intentado criar en el norte de España su crecimiento, y por tanto su rentabilidad, es menor.

El ciclo industrial de la dorada (*Sparus aurata*) está cerrado hace ya bastantes años y su cultivo casi no tiene secretos. Se acopla perfectamente a los viveros flotantes y le gusta nadar en círculo lo que provoca una fuerza centrípeta considerable en las redes de la bolsa.

Su frescura, su abundancia y su buen precio le ha llevado a ser la solución ideal para la cesta de la compra, en lo que se refiere al suministro de proteína animal marina de las familias españolas (Figura 15.8).

### 15.9. EL ESTURIÓN

Aunque el esturión (*Acipenser baeri*) se cultiva normalmente en agua dulce, investigaciones realizadas en «El Toruño» han demostrado que su crecimiento en el mar es mayor. Por esta razón, y como especie



FIGURA 15.7. El dentón.



FIGURA 15.8. La dorada.



de futuro, se «cuela» en este libro porque además, probablemente, su cultivo se podría realizar en estructuras flotantes.

Su carne es muy apreciada en algunos países (Francia) pero se le conoce en el mundo por el sabor inigualable de sus huevas, conocidas como caviar. Los precios que alcanza este producto son inalcanzables para un consumidor normal y si ya hablamos del «Beluga», huevas únicamente del *Huso huso*, prácticamente es prohibitivo.

Aunque las instalaciones de cultivo viven los primeros años de la venta de la carne, a partir de la maduración sexual de los esturiones (alrededor del décimo año), comercializan el caviar de sus especies. Curiosamente y hace unos años el autor realizó un trabajo para estudiar la rentabilidad económica de las instalaciones de esturión y concluía que la mayor rentabilidad se obtenía con la producción de carne.

Estos seres tienen una gran ventaja para su cultivo: su supervivencia. Pueden estar varias horas sin agua y sobrevivir (Figura 15.9).

## 15.10. LA HURTA

Este apreciadísimo espárido (*Pagrus auriga*) vive desde las costas del sur de Portugal hasta Angola y desde las Madeira hasta las Canarias. Es uno de los grandes en los restaurantes de alto estandíng desde Málaga hasta Huelva. Vive en fondos duros y se alimenta sobre todo de moluscos bivalvos y cefalópodos y también de crustáceos y equinodermos.



FIGURA 15.9. El esturión.



Su aclimatación en cautividad la logró Cárdenas en el 2003 partiendo de 30 ejemplares capturados en el medio natural. Se les alimentó con cefalópodos y cangrejos. Los tanques en tierra ( $10\text{-}12\text{ m}^3$ ) se protegieron con tela de rafia negra para mantener una iluminación tenue y evitar el estrés. El principal problema fue la exoftalmia con pérdida de visión parcial o total debido a la poca profundidad de los tanques.

En tanques mucho mayores ( $250\text{ m}^3$ ) y con recirculación, se obtuvieron mucho mejores resultados disminuyendo muchísimo la exoftalmia y aumentando la supervivencia hasta un 91%.

Las fases de puesta, eclosión, cultivo larvario y preengorde se realizaron siguiendo las pautas de los espáridos ya desarrollados con éxito. Por los ensayos realizados en las jaulas de mar abierto la hurta es un buen candidato para su cultivo en estas condiciones.

### 15.11. EL LENGUADO

Otro de los reyes de la mesa es el lenguado común (*Solea solea*) aunque en los cultivos se utiliza su pariente el *Solea senegalensis*, mucho más fácil para manejar en cautividad. La característica diferencial más importante es el tamaño de las aletas laterales, más grandes en el *senegalensis*.

Hasta ahora todas las investigaciones han sido realizadas en tanques en tierra pero, igual que el rodaballo, su futuro, probablemente, está en jaulas de poca profundidad y fondo sólido o de red con tensión.

Los mayores éxitos se han conseguido en la región del Atlántico sur y en Galicia (Figura 15.11).



**FIGURA 15.10.**  
La hurta (Universidad de Cádiz).



**FIGURA 15.11.**  
El lenguado.



## 15.12. LA LUBINA

La lubina o robaliza (*Dicentrarchus labrax*), robalo cuando es adulta, realmente tiene una doble personalidad. En la naturaleza es un ser inteligente y violento, difícil de capturar por sus «mañas» cuando se ve acosado y voraz como pocos, de ahí otro de sus nombres «lobo de mar» en francés. En cambio cuando se le cultiva y está en cautividad es un ser tímido y asustadizo, come con dificultad y a las horas que le apetece y es muy propenso a sufrir estrés.

Cuando alcanza un tamaño alrededor de los dos kilos elije su pareja que no abandonará hasta la muerte. Es bien sabido por los pescadores que cuando se captura un robalo hay que seguir en la zona durante días porque su pareja nunca se irá de ese paraje. Mi experiencia como pescador lo avala.

Su carne es sumamente apreciada y su tamaño propicia una u otra forma de preparación: las pequeñitas simplemente fritas son sublimes y las grandes son insuperables de cualquier forma: cocidas, al horno, a la espalda, a la sal...

Su ciclo industrial está cerrado y, salvo en los esteros de Cádiz, se engorda en jaulas flexibles flotantes. Al igual que la dorada se realiza su cultivo en el Mediterráneo porque las temperaturas son más altas y su crecimiento es más rápido. Después de la dorada es la especie de mar que más se cultiva en España.

La figura 15.12 muestra dos lubinas, probablemente macho (la de arriba) y hembra.

## 15.13. EL MERO

El mero (*Epinephelus marginatus*) es un candidato de futuro para su cultivo en viveros flotantes por su gran tamaño. Así como en algunos países asiáticos su cultivo está bastante desarrollado, en España realmente se está «en mantillas».

Su altísimo valor y su escasez lo hacen un candidato ideal para la investigación.

Sus principales problemas, detectados en las investigaciones actuales, son los siguientes: obtención de progenitores (sobre todo machos por la inversión de sexo), obtención de puestas y alternativas a la co-



mida viva. La gran ventaja es su crecimiento mucho más rápido que la dorada en condiciones óptimas de cultivo (Figura 15.13).

### 15.14. LA PAGURTA

Los híbridos siempre han despertado un gran interés en la Acuicultura. La pagurta es un híbrido espontáneo, no inducido, entre el pargo (*Pagrus pagrus*) y la hurta (*Pagrus auriga*). Entre marzo y abril de 2004 se produjeron las puestas más importantes cuando las dos especies convivían en el mismo tanque. Los híbridos obtenidos eran intergenéricos de hembra pargo y macho hurta.

El objetivo de la hibridación es la búsqueda de caracteres hereditarios de interés basada en la realización de cruces intra o interespecíficos. De esta forma se consiguen las siguientes ventajas: mejorar la tasa de crecimiento, transferencia de características de interés entre especies, reducir la reproducción indeseada a través de peces estériles, obtener descendencia de un mismo sexo o aumentar la resistencia al medio.

La hurta presenta buenas tasas de crecimiento en cautividad (Padilla, Sánchez-Lamadrid y Cárdenas), mientras que el pargo muestra un crecimiento adecuado durante períodos de frío. El cruce de estas dos especies es interesante para combinar sus tasas de crecimiento, mejorar la producción y amortiguar, en el caso que se demuestre su esterilidad, el impacto que las fugas puedan tener sobre las poblaciones naturales durante su cultivo en viveros.

El resultado del experimento es un pez que ha tomado lo mejor de cada una de las especies y que, además, crece más rápido, característica fundamental para la acuicultura. La figura 15.14 visualiza el híbrido obtenido.



FIGURA 15.12. La lubina.



FIGURA 15.13. El mero.



### 15.15. EL PARGO

El pargo (*Pagrus pagrus*) es otra de las especies no muy abundantes pero que cada vez son más solicitadas en los restaurantes de alto nivel.

Tiene una alta tasa de crecimiento, buena adaptabilidad a las condiciones de cultivo y su reproducción se controla adecuadamente regulando el fotoperíodo. Como aspectos negativos se pueden citar el control de la maduración, la calidad de las puestas, la inversión sexual y su comportamiento social.

Ya se han hecho algunas experiencias de engorde en jaulas flexibles flotantes (Figura 15.15).

### 15.16. EL PARRACHO

Este pleuronectiforme de alto valor comercial (*Scophthalmus rhombus*), primo del rodaballo, y para muchos de mayor calidad gastronómica vive en el Mediterráneo y en el Atlántico hasta Islandia y el Labrador. Parracho es el nombre en la región Suratlántica y en Galicia se le llama «Coruxo» (relativamente abundante en las Rías Bajas y sumamente apreciado). Su vida y costumbres son muy parecidas a las del rodaballo.

El CICEM «Aguas del Pino», ha abierto una línea especial de investigación para peces planos con el objeto de profundizar en el lenguado e iniciar las experiencias con el parracho y la acedía.

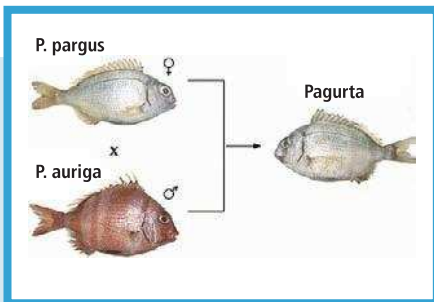


FIGURA 15.14.

La pagurta (Universidad de Cádiz).

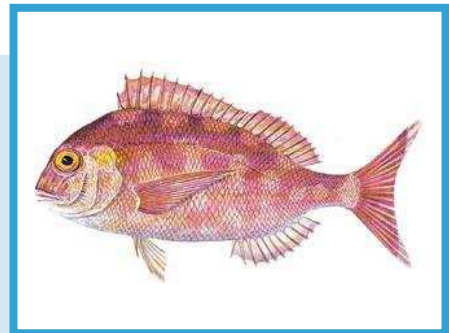


FIGURA 15.15. El pargo.





Los primeros parrachos fueron capturados mediante arrastre de una hora y se trasladaron al centro en tanques de 80 -100 litros entre cuatro y doce horas después de cada lance. Durante la aclimatación se alimentaron con sardina y caballa. Su supervivencia alcanzó el 51 %. En estos momentos ya se dispone de un stock de reproductores.

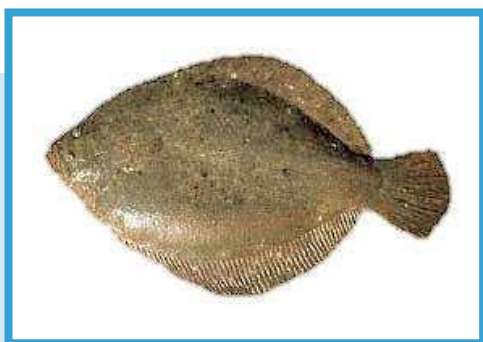
En mayo de 2007 ha sido aprobado un proyecto para desarrollar las siguientes fases de cultivo: manejo de reproductores, fecundación artificial e inducción hormonal a la puesta. El objetivo final es transferir al sector industrial la metodología del cultivo de esta especie.

En este proyecto participan además del centro «Aguas del Pino», el CSIC, la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Cádiz y la empresa Culmasur (Ayamonte). La figura 15.16 muestra una imagen del parracho.

### 15.17. EL REO

El reo o trucha de mar (*Salmo trutta trutta*) es realmente una trucha que baja a los estuarios y se desarrolla en el mar. Su tamaño es mayor que el de la trucha y su sabor está entre la trucha y el salmón. Hace unos años eran muy abundantes en algunas Rías Gallegas (O Barqueiro) y cocinados al horno no tenían rival.

Actualmente hay algunas instalaciones que los producen y tienen un mercado aceptable. Una de las instalaciones con más años de operación está en el interior de la Ría de Santa Marta de Ortigueira. Pueden ser engordados en tanques o en jaulas flotantes (Figura 15.17).



**FIGURA 15.16.**  
El parracho (Universidad de Cádiz).

### 15.18. EL RODABALLO

El rodaballo (*Psetta maxima*), el faisán de los mares, es uno de los bocados más apetitosos que el mar nos ofrece. Su alto contenido graso y su carne prieta hace de él un auténtico «alimento de los dioses».

Este pez plano, amante de las aguas más frías de la España Norteña, siempre



**FIGURA 15.17.** El reo.

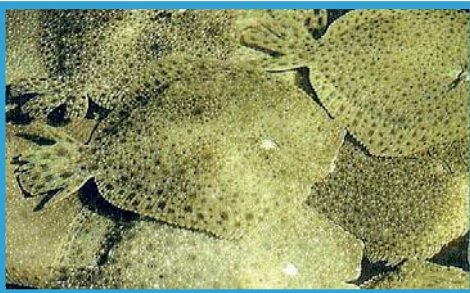
ha sido uno de los protagonistas de las mesas más importantes desde la Edad Media, donde se le consideraba tan importante como la carne y se prohibía su comida durante los días de abstinencia.

Su ciclo industrial está cerrado desde finales de la década de los 80 y su engorde solo se realiza en jaulas flotantes, de poca profundidad, con éxito comercial, en la Ría de Vigo al lado del Puente de Rande.

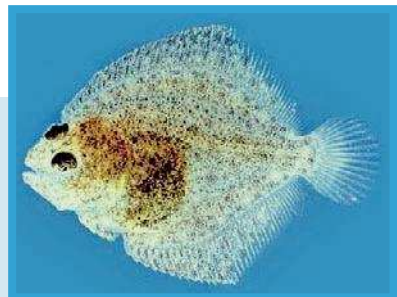
Otros intentos, a nivel de investigación, se están realizando en el Mediterráneo, tanto en España como en Italia, en jaulas sumergidas para evitar la excesiva temperatura del verano que este ser no acepta (Figuras 15.18 y 15.19).

## 15.19. EL SALMÓN

El salmón (*Salmo salar*), emperador de los marres y de los ríos, hoy extensamente cultivado en las aguas muy frías nórdicas en Europa



**FIGURA 15.18.** El rodaballo.



**FIGURA 15.19.** Alevín de rodaballo.



(Noruega, Escocia, Islandia, Irlanda...) y también en Chile, fracasó en España.

La idea de introducir el cultivo del salmón en España tenía dos argumentos a favor: la existencia en nuestros ríos como especie autóctona y las temperaturas más elevadas de nuestras costas que propiciarían un crecimiento más rápido. Estas premisas se cumplieron pero surgió un imprevisto: así como las temperaturas altas aumentaban su crecimiento también favorecían el desarrollo de sus enfermedades y parásitos, y los gastos de curación hicieron inviable su cultivo en España, hasta tal punto que en este momento no hay ningún vivero de engorde de salmón (Figura 15.20).

### 15.20. EL SALMONETE

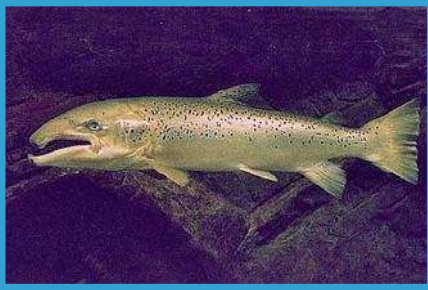
Esta especie (*Mullus surmuletus*) es muy apreciada en todas las costas españolas pero hay una diferencia importante en los que lo adoran: su tamaño. Mientras las gentes del sur y centro prefieren los seres de pequeño tamaño, cercanos a la talla mínima, los aficionados del norte gustan de seres adultos de tamaño a veces descomunal para los primeros.

Actualmente se está iniciando su cultivo en el norte y en estanques en tierra, pero su futuro puede estar en el mar, en jaulas de poca profundidad parecidas a las utilizadas para el engorde del rodaballo (Figura 15.21).

### 15.21. EL SARGO COMÚN

Esta especie (*Diplodus sargus*) es la más extendida en España, y como todos los peces de sabor fuerte y distinto, están copando las cartas de los restaurantes de élite. Su alimentación a base de moluscos bivalvos adheridos a las piedras les confiere ese aroma y paladar tan especial.

El conocimiento sobre las características de su cultivo es bueno, el rendimiento de su cultivo larvario es aceptable pero los principales problemas surgen en la falta de conocimientos sobre sus necesidades nutricionales y su lento crecimiento.



**FIGURA 15.20.** El salmón.



**FIGURA 15.21.** El salmonete.

Su engorde se ha realizado en jaulas flotantes con buenos resultados (Figuras 15.22 y 15.23).

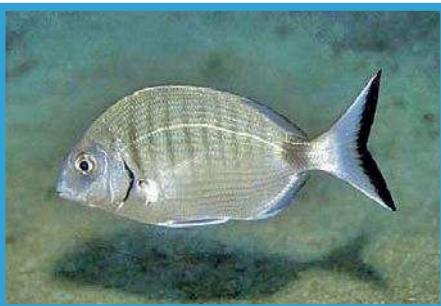
## 15.22. EL SARGO PICUDO

Esta otra especie de sargo (*Diplodus puntazzo*) es muy parecida en sus características organolépticas al anterior pero cambia su habitat ya que prefiere zonas más cálidas.

Su consumo es mas regional y local pero tan apreciado como la especie anterior.

Los principales aspectos negativos para el cultivo residen en la maduración y la puesta de los progenitores, el canibalismo y los problemas patológicos y nutricionales.

Se han logrado ya producciones de 50 a 100 toneladas en viveros flexibles flotantes (Figura 15.24).



**FIGURA 15.22.** El sargo.



**FIGURA 15.23.** El sargo.



### 15.23. LA SERIOLA

La seriola (*Seriola dumerili*) es un pez sumamente apreciado en Italia y en general en todo el Mediterráneo.

Las primeras experiencias de cultivo se realizaron con alevines capturados en el medio natural con excelentes resultados, ya que su crecimiento es realmente muy superior al de la dorada. El principal inconveniente ha sido la aparición de enfermedades de difícil prevención y cura. Este problema ha ralentizado el desarrollo de su cultivo.

El engorde en jaulas flotantes ha sido un éxito siempre que se logren obtener los juveniles del medio natural (Figura 15.25).



FIGURA 15.24. El sargo picudo.



FIGURA 15.25. La seriola.



# 16

## **ENGRASE DEL ATÚN ROJO EN VIVEROS**







# ENGRASE DEL ATÚN ROJO EN VIVEROS

Las diferencias importantes entre el cultivo del atún rojo y el resto de las especies que se cultivan en viveros, debidas sobre todo a su tamaño, nos ha inducido a dedicar un capítulo independiente a este hermoso y valioso ser.

## 16.1. INTRODUCCIÓN

La fuerte demanda de atún rojo (*Thunnus thynnus*) en el mercado asiático y la tolerancia que presenta esta especie a la cautividad, son razones suficientes para su cultivo.

Japón es el país líder en la investigación habiendo cerrado ya el ciclo pero fundamentalmente con puestas naturales por las condiciones ideales para la reproducción de algunas de sus bahías. En Europa se ha avanzado mucho en los tres últimos años con el proyecto REPRODOTT, liderado por el IEO de Mazarrón, y muy recientemente les ha sido adjudicada la segunda parte de este proyecto (SELFDOTT) que espera cerrar el ciclo de forma controlada en los próximos tres años. Hay indicios también de colaboración con los investigadores japoneses.

El atún rojo es una especie sumamente apreciada en Japón donde alcanza precios astronómicos (se ha llegado a pagar mas de 150 € por kilo de un ejemplar de cerca de 700 kilos) y su precio normal ronda los 40 €/Kg.

Su elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados le hace muy atractivo desde el punto de vista de la salud. Se consume sobre todo en crudo o ligeramente macerado (sushi y sashimi).

La actividad del cultivo de atún rojo comenzó en el sur de Australia en 1991, y se extendió por el Mediterráneo a partir de 1995. Las primeras granjas de engrase en España se instalaron en Murcia y comen-



zaron a funcionar en 1997, y en tan pocos años España se ha puesto a la cabeza de la producción mundial.

El atún rojo o «Blue Fin Tuna» (atún de aleta azul) es un pez pelágico migrador que vive en cardúmenes. Habita tanto en el Atlántico como en el Pacífico. El stock del Atlántico Este desova en el Mediterráneo y alcanza en invierno las costas de Noruega. Puede alcanzar una talla de más de 3 metros de longitud y pesar más de 600 kilos. Madura sexualmente a partir de los cinco años y puede vivir más de veinte años. El vídeo de la figura 15.2 muestra este hermoso pez.

### 16.2. PROCESO DE CULTIVO

El proceso se inicia con la captura en alta mar de los atunes con una red de cerco. Estas capturas se realizan en varias zonas del Mediterráneo, desde finales de mayo hasta julio que coincide con el período de desove. Los ejemplares, idealmente con un peso superior a los 50 kilos, se trasladan, mediante viveros remolcados (figura 16.1), desde el lugar de la pesca hasta grandes jaulas circulares (entre 50 y 120 metros de diámetro) situadas cerca de la costa. La figura 9.47 muestra una de estas jaulas.

El remolque es una operación muy delicada, pues los atunes se estresan bastante y si la velocidad es muy elevada pueden engancharse en la red con los opérculos y mueren irremediablemente. La velocidad de remolque, en estos momentos, no debe superar un nudo.

Al llegar a la costa cerca de los viveros de engrase se produce la segunda operación crítica: el traslado de los atunes desde la jaula de remolque hasta las de engrase. El vídeo de la figura 16.2 visualiza esta actividad.

**FIGURA 16.1.**  
Traslado a jaulas de engrase desde las zonas de pesca (vídeo).



Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.







Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.2.**

Traspaso del vivero de remolque al de engrase.

La complejidad de estas instalaciones, debido al gran tamaño de las jaulas y a su profundidad, se refleja en los datos siguientes de las líneas de fondeo (siguiendo la filosofía antes expuesta para los fondeos) para una flotilla de cuatro jaulas de 90 metros de diámetro:

- Amarres triples de estacha a entramado exterior (12 por jaula. 48 en total).
- 36 boyas de superficie de 1.000 litros (30 exteriores y 6 interiores).
- 80 líneas de fondeo:
  - 53 transversales.
  - 28 longitudinales.
  - 16 oblicuas.

Los datos de fondeo de las jaulas individuales también muestran esta complejidad. Datos para una jaula de 90 metros de diámetro:

- 20 amarres triples de estacha a línea de fondeo (60 por jaula).
- 20 líneas de fondeo radiales.
- 20 anclas Flipper Delta de 850 kilos.
- 20 muertos de hormigón de 2 toneladas.
- Cadena de 40 mm para las anclas y muertos.
- 20 boyas de superficie de 1.100 litros.

Los detalles de las redes utilizadas en la flotilla de cuatro jaulas también son interesantes:

- Altura de la red: 34 metros.
- Altura de la pared: 25 metros.
- Altura del copo: 9 metros.
- Tipo de malla: hexagonal.
- Luz de malla: 120 mm.



Los detalles de las redes utilizadas en las jaulas individuales se citan a continuación:

- Altura de la red: 34 metros.
- Altura de la pared: 15 metros.
- Altura del copo: 14.
- Tipo de malla: hexagonal.
- Luz de malla: 120 mm.

Durante el cultivo en viveros, más que el engorde del pez, lo que se intenta es aumentar su contenido graso, que es la característica más apreciada por el mercado japonés. Se alimenta durante 7 a 8 meses con pequeñas especies pelágicas de alto contenido graso, de tal forma que un pez cuyo valor de pesca puede ser ocho euros el kilo puede alcanzar en el mercado japonés 40 €/Kg. El período de engrase también depende de la demanda de Japón pues si hay escasez se venderán antes y si hay mucha competencia quedan atunes de una campaña para otra, algo impensable en los primeros años.

Los vídeos de las figuras 16.3 y 16.4 muestran la alimentación manual y mediante una bomba que permite llevar los peces de alimentación hasta cualquier punto del vivero.

Realmente este proceso podría ser un semi cultivo, ya que mantiene y engrasa los seres durante unos meses hasta mejorar su contenido de grasa y la demanda los requiere. Llegado este momento son sacrificados mediante un disparo de un arma de fuego o por arpón eléctrico.

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.3.**

Alimentación manual  
del atún rojo (vídeo).

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.4.**

Alimentación con bomba  
del atún rojo (vídeo).



El vídeo de la figura 16.5 y la imagen de la figura 16.6 visualizan esta actividad de sacrificio.



Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.5.**  
Sacrificio con arpón eléctrico.



**FIGURA 16.6.**  
Atún rojo sacrificado.

### 16.3. PROCESADO Y COMERCIALIZACIÓN

Una vez sacrificado se introduce en un baño de hielo en salmuera y se traslada a las instalaciones de transformación. Mediante un taquito que se extrae de la cola se mide su contenido graso que definirá su calidad y fijará su precio. En menos de 24 horas estará en los mercados centrales de Japón.

Las instalaciones en tierra de las empresas realizan el procesado y conservación de los atunes (vídeo de la figura 16.7). Los servicios mínimos que deben poseer se esquematizan a continuación:

Para activar el vídeo, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.7.**  
Industria de transformación.



- Frigoríficos congeladores para almacenar el alimento de los atunes (peces con alto contenido graso y poco valor tales como la caballa y la pota).
- Instalaciones de procesado y embalaje.
- Instalaciones frigoríficas para mantener los atunes sacrificados y preparados para el transporte en fresco.
- Túneles de ultracongelación

Casi la totalidad de la producción es enviada a Japón por vía aérea, bien fresco o congelado en contenedores especiales con una temperatura inferior a los sesenta grados bajo cero. Suelen ir enteros o en grandes piezas (lomos, ventrtesca...). Otra forma de comercialización es la preparación de «lonchas» o «pastillas» que ya se pueden utilizar directamente en la preparación del «sushi» o del «sashimi». La figura 16.8 muestra un trozo de atún ya cortado.

## 16.4. ACTIVIDADES DE INGENIERÍA

En el Symposium organizado en Cartagena en febrero de 2002 («First internacional Symposium of Domestication of *Thunnus thynnus*»), el autor presentó la ponencia «General Engineering Aspects of Blue Fin Tuna Farming» en el que se sugerían las actividades de Ingeniería que podían desarrollarse en el futuro y que se esquematizan a continuación porque siguen siendo de actualidad:



- Métodos y técnicas para manejar los peces vivos y mantenerlos en buenas condiciones durante su captura, arrastre en la red, cultivo y despesque.
- Diseño de los viveros de transporte incluyendo las conexiones entre estos viveros y las de engorde.
- Diseño de viveros para mar abierto con atención especial a los aspectos relacio-

**FIGURA 16.8.** Trozo de atún rojo.



nados con los materiales de los anillos de flotación y soporte, la profundidad de los viveros y los sistemas para reducir el nivel de luminosidad.

- Diseño de sistemas de fondeo y métodos de vigilancia de los mismos para los viveros de mar abierto.
- Control de la alimentación.
- Métodos no agresivos para el control del tamaño de los peces.
- Sistemas para la eliminación de los residuos de la alimentación y los peces muertos.
- Diseño de viveros de sacrificio.
- Métodos de sacrificio para evitar al máximo los daños internos del pez... Ultrasonidos... Campo magnético submarino.
- Diseño de instalaciones en tierra.
- Métodos de transporte desde los viveros de engorde a las instalaciones en tierra y sistemas de manejo de los peces en estos tanques.
- Métodos de procesado para mejorar la calidad del producto final.

## 16.5. PROYECTO DE FUTURO

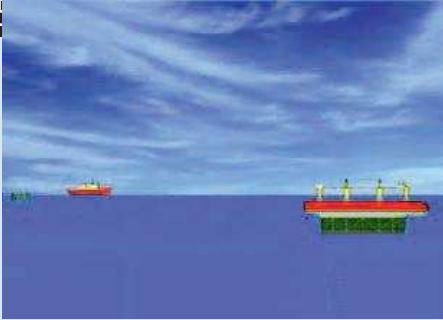
La factoría de Navantia en Fene ha hecho un diseño de plataforma autopropulsada para engorde del atún rojo. La idea del proyecto es llevar atunes desde el Mediterráneo hasta Japón en un año por aguas cálidas. Durante el trayecto los atunes engordarían hasta un tamaño apreciado por el mercado japonés.

La viabilidad técnica (desde el punto de vista biológico) y económica no está claramente demostrada según se ha podido apreciar en diversos foros donde ha sido presentada.

Por su originalidad se incluye en este párrafo y los vídeos de las figuras 16.9 (transporte desde la zona de pesca), 16.10 (navegación), 16.11 (parada) y 16.12 (despesque) se incluyen a continuación.



Para activar el video, pinche sobre la imagen.



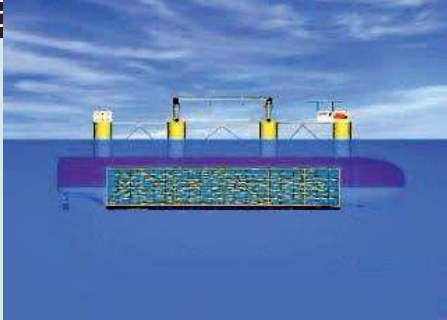
**FIGURA 16.9.**  
Transporte desde la zona de pesca.

Para activar el video, pinche sobre la imagen.



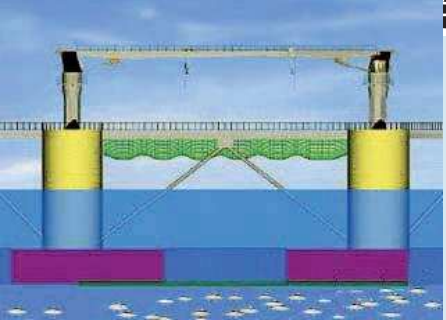
**FIGURA 16.10.** Navegación.

Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.11.** Parada.

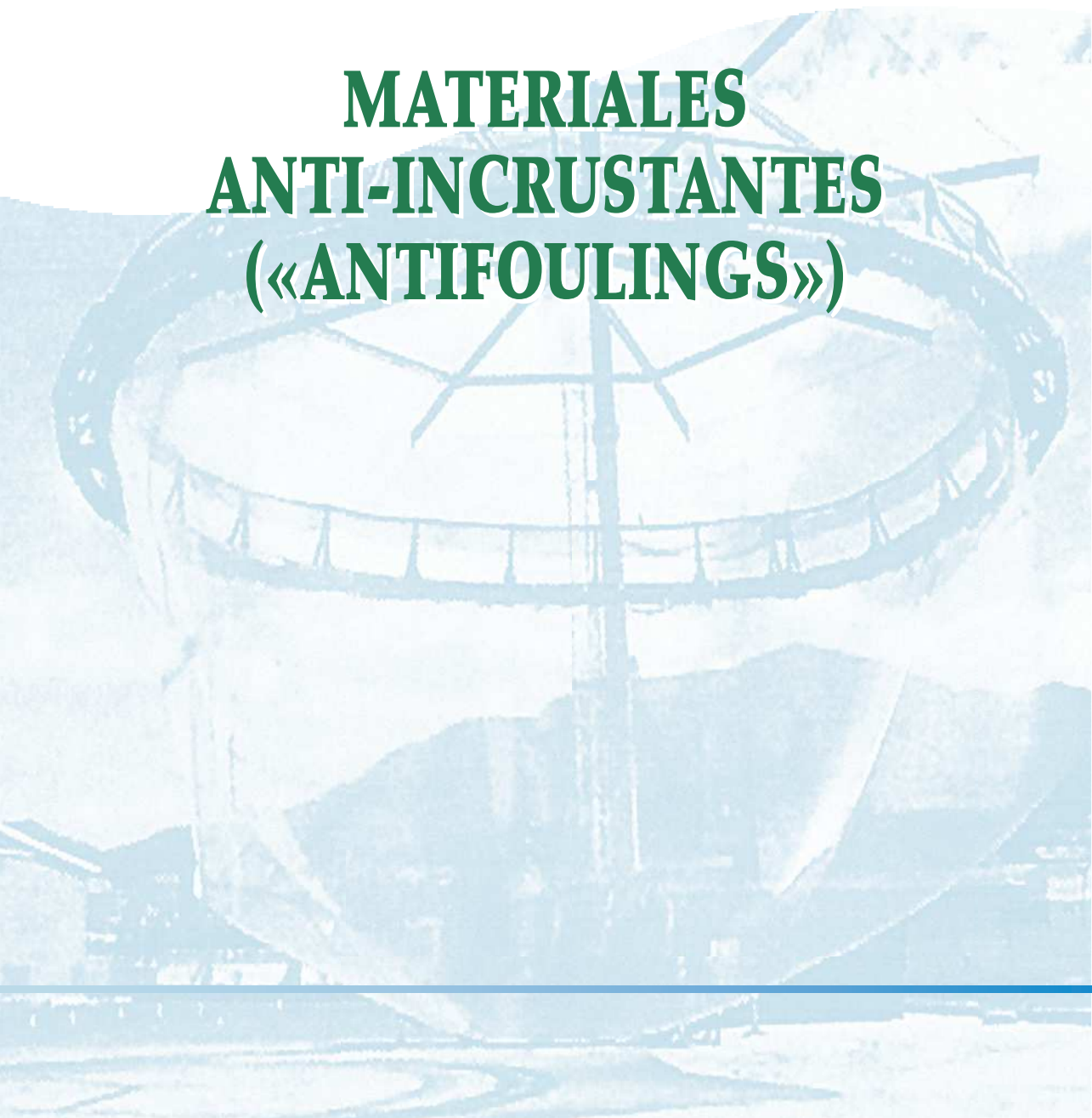
Para activar el video, pinche sobre la imagen.



**FIGURA 16.12.** Despesque.

# 17

## **MATERIALES ANTI-INCRUSTANTES («ANTIFOULINGS»)**







## MATERIALES ANTI-INCRUSTANTES («ANTIFOULINGS»)

Las superficies sumergidas en un medio acuático marino sufren el incrustamiento de seres no deseados (moluscos, gusanos, algas, crustáceos...) que se adhieren y crecen en las zonas expuestas.

En lo que se refiere a estructuras de cultivo de peces en el mar las partes afectadas son las estructuras sumergidas tales como viveros, redes y plataformas auxiliares.

El «biofouling» en la infraestructura de una instalación de cultivos marinos reduce la eficiencia de los materiales y de los equipos. Este problema puede dañar físicamente los equipos (abrasión, fragilidad, aumento de los esfuerzos...) y a la vez incrementa las fuerzas de arrastre disminuyendo los caudales de agua y acelerando los problemas de corrosión y de bio degradación.

Las comunidades que producen el biofouling pueden competir directamente con los organismos cultivados y pueden introducir predadores y enfermedades.

El «biofouling» es un problema complejo que afecta a todos los sectores de la industria de la acuicultura a todos los niveles. Un control efectivo del «biofouling» puede reducir los costes de producción y asegurar la calidad del producto.

Entrando ya en el tema de los materiales anti «foulings» hay que considerar tres grandes tipos: los recubrimientos, tipo pintura, de naturaleza física y que por sus cualidades suponen un rechazo para los seres que quieren adherirse; los seres vivos que pueden ayudar a eliminar los seres que provocan el «bio-fouling» y otro tipo de recubrimientos que logran una superficie tan lisa y libre de arrugas que los seres son incapaces de adherirse (nano materiales).

Sobre los primeros ya hay varios en el mercado, aunque muchos de ellos no son bien vistos por los cultivadores de peces y de hecho mu-





chas instalaciones siguen utilizando sus redes sin «anti foulings». Sobre los segundos y los terceros existen al menos dos programas de la UE en desarrollo, el CRAB y el AMBIO, que pueden en un futuro, no lejano, aportar soluciones efectivas y respetuosas con el medio ambiente.

Actualmente las tácticas que se aplican en la acuicultura para reducir el «biofouling» se basan en la limpieza manual y en la aplicación de pinturas y baños que contienen biocidas. Esos materiales desarrollados para las instalaciones «off shore» y para los barcos no son adecuados para la acuicultura. Los problemas ambientales de algunos materiales que contienen cobre, Irgarol o Diuron han provocado un endurecimiento de la legislación actual basada en la directiva de Biocidas EC 98/8/EC.

Las instalaciones que utilizan redes tratadas con «anti foulings» tienen varios inconvenientes:

- Su reemplazo es caro (120.000 libras solo en el Reino Unido).
- El proceso de cambio causa estrés en los peces y una mortalidad del 2%.
- El tratamiento de los residuos del lavado presenta problemas por algunos de sus componentes tales como el cobre, lo que eleva sus costes.

La única alternativa actual a los «anti foulings» es la limpieza manual o utilizando chorros de agua a alta presión. También tiene sus problemas:

- Trabajo difícil y peligroso en el mar dependiendo de las condiciones ambientales.
- Los residuos de los seres eliminados al liberar nutrientes pueden incrementar la eutroficación de las zonas cercanas a las instalaciones e incluso provocar afloramientos de algas tóxicas.
- Las bacterias asociadas con el proceso de degradación pueden reducir el contenido de oxígeno en el agua provocando anoxia, estrés y, en algunos casos, la muerte de algunos seres cultivados.

En las próximas líneas se esquematiza el Estado del Arte actual en Europa para enfrentarse a este problema que se focaliza en dos direcciones: la eliminación y la prevención.



La eliminación utiliza los métodos siguientes:

- Limpieza manual: actividad pesada y costosa.
- Secado al aire y al sol: consume mucho tiempo.
- Control biológico. Hay algunas experiencias con buenos resultados parciales: gasterópodos, cangrejos hermitaños, estrellas de mar y policultivos.
- Inmersión en agua caliente, en agua dulce, en agua clorada o en solución salina.

La prevención utiliza los métodos siguientes:

- Evitar el cultivo durante períodos de alto «bio fouling».
- «Anti foulings» químicos: Tributyltin (TBT), prohibido; materiales con base cobre; herbicidas; OSPAR 94/6 y HELCOM 18/3.

La idea básica del proyecto CRAB, ya citado, es investigar los «anti foulings» que actualmente existen, o están en investigación, y verificar su utilidad para la acuicultura con tres líneas diferentes:

- Envejecer los materiales en instalaciones de acuicultura marina.
- Ensayos de laboratorio para verificar la degradación de los materiales.
- Ensayos para verificar la eficacia de los «anti foulings», tanto materiales como biológicos encontrados.

El proyecto AMBIO, también citado, investiga la creación de nuevos materiales antiincrustantes basados en la Nanología. Intenta obtener superficies tan lisas que los seres vivos no puedan adherirse.

Si se consideran los «anti foulings» actuales, tipo materiales de recubrimiento, se pueden identificar las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Ventajas:
  - Más tiempo en el agua: cambios menos frecuentes.
  - Incrementa la vida en operación de la red.
  - Protección frente a la radiación ultravioleta.
- Inconvenientes:
  - Mayor coste de la red.
  - Reducción de la resistencia del paño de red.
  - Aumento del peso de la red.





# 18

## **DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: UN CICLO COMPLETO**







## DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: UN CICLO COMPLETO

Este capítulo describirá de una forma sencilla y muy esquemática las actividades de la operación de una instalación desde el montaje de la jaula por parte del suministrador, la recepción de alevines, el proceso de engorde, hasta el despesque y traslado del pescado a tierra para su procesado y venta.

### 18.1. MONTAJE DE LA JAULA

Esta operación suele realizarla el propio fabricante o suministrador, ya que en el precio de la jaula suele incluirse el montaje, así como la instalación en su emplazamiento definitivo en el mar.

En las siguientes líneas se describe brevemente cual es el procedimiento de montaje para una jaula flexible flotante fabricada con tubos de polietileno de alta densidad.

El montaje de una jaula marina flexible y flotante se inicia con todos los materiales situados en una zona amplia y seca, preferiblemente cerca de la costa (esta operación se realiza generalmente en una playa cercana al emplazamiento). En primer lugar se colocan los tubos de flotación paralelos a una cierta distancia y se van introduciendo los soportes y los refuerzos de forma alternativa y ordenada. Con la ayuda de una carretilla se trasladan hacia el otro extremo de los tubos, dejando hueco para los siguientes (Figura 18.1)

Una vez se encuentran todos los soportes introducidos en los tubos, se coloca la barandilla, se fijan los soportes a cierta distancia unos de otros y se procede a formar el correspondiente círculo tirando desde cada extremo de los tubos con una carretilla.

La unión de los extremos de los aros de flotación y de la barandilla se realiza por presión y calor, con ayuda de la máquina de la figura





**FIGURA 18.1.**  
Montaje de los aros y soportes  
(Global Aquafish).

18.2. Un primer disco lija sus superficies de contacto (figura 18.2), y un segundo disco, a temperatura elevada, se sitúa en los extremos y los calienta hasta alcanzar una temperatura de estado plástico (figura 18.3). Una vez retirado este disco de calentamiento se sueldan los dos extremos con una presión adecuada.

Esta operación se realiza tanto para la unión de la barandilla como para los aros de flotación.

El equipo necesario consta de un pequeño grupo electrógeno (figura 18.4), la máquina ensambladora con sus discos (figura 18.2), una carretilla para levantar la jaula (figura 18.3) y el calentador del disco (figura 18.5).

### 18.2. FONDEO DE LAS JAULAS

El traslado de cada una de las jaulas al emplazamiento, y su posterior fondeo constituyen una de las operaciones más complicadas dentro de todo el proceso.

Previamente se ha instalado en el emplazamiento el entramado de cables y cadenas con sus muertos y/o anclas correspondientes donde se engancharán las jaulas (figura 18.6). Para todas estas operaciones



**FIGURA 18.2.**  
Disco lijando (Global Aquafish).



**FIGURA 18.3.**  
Disco calentando (Global Aquafish).

**FIGURA 18.4.**

Grupo electrógeno (Global Aquafish).

**FIGURA 18.5.**

Calentador del disco (Global Aquafish).

es necesario contar con embarcaciones auxiliares así como con buzos especializados. Asimismo se dota a los operarios con un GPS, que permita ubicar en el sitio exacto cada uno de los fondeos y por lo tanto de las jaulas.

La maniobra se concluye con la colocación de las redes en cada una de las jaulas. (figura18.7).

### 18.3. PROCESO PRODUCTIVO

Una vez finalizada la instalación de las jaulas, se puede comenzar el proceso de cultivo. Para ello es necesario que se haya realizado pre-

**FIGURA 18.6.**

Instalación del fondeo (Global Aquafish).

**FIGURA 18.7.**

Montaje de las redes (Global Aquafish).



viamente un plan de explotación, donde se contemplen las diferentes etapas y procesos para obtener la producción deseada.

A continuación se detallan brevemente las operaciones básicas en una instalación de cultivo:

- Transporte de los alevines desde la «hatchery».
- Recepción de alevines e introducción en jaulas.
- Alimentación (párrafo 18.4).
- Control periódico de la biomasa.
- Clasificaciones periódicas.
- Mantenimiento.
- Despesque.

El **transporte de los alevines desde la «hatchery»** se realiza en tanques situados sobre camiones. Otra alternativa utilizada en los países nórdicos y que ya se ha empezado a utilizar en España es su transporte en barco, sobre todo cuando hay que recorrer grandes distancias. Este medio de transporte es muy útil para transportar peces de una instalación de cultivo en el mar a otra.

Los tanques de transporte por tierra incorporan un sistema de inyección de oxígeno, difusores de aire y a veces se contempla la posibilidad de renovación del agua. En el caso de transporte de lubinas se aplican anestésicos a los alevines. Para reducir su actividad, el estrés y bajar el metabolismo, los peces se deben aclimatar en agua fría (16-18 °C), sin alimentación, durante dos días antes del transporte. Para transportes a larga distancia, además de la renovación del agua, se debe controlar el pH y el oxígeno.

Para la **recepción de alevines** las redes de las jaulas se deben elevar hasta dejar una profundidad de dos metros. Esta operación se realiza en el muelle. Una vez que los alevines están ya en la primera jaula es ideal mantenerlos en ella durante cinco o seis días para recuperar energía, si la calidad del agua es buena en ese punto, y después trasladarlos a las jaulas de engorde. Muchas veces esta etapa de aclimatación no se realiza.

La jaula o jaulas con los alevines se remolcan hasta la instalación de engorde para su **introducción en las jaulas** con el barco auxiliar. Normalmente se utilizan dos cabos de remolque de 50 metros. Para



mantener la forma de la red se suelen colocar pesos adicionales en el fondo de la misma. La figura 18.8 ilustra la operación de remolque.

Durante el tiempo de remolque una persona debe ir en la jaula y otra en el agua observando a los alevines y dando instrucciones a la tripulación del barco. La velocidad de transporte debe ser la mínima posible (medio nudo). También deben evitarse períodos de corrientes intensas o de mal tiempo, evidentemente.

El **control de la biomasa** debe realizarse mensualmente, para los peces pequeños bimensualmente. Los peces capturados para el muestreo (entre 100 y 200 por muestra) se introducen en un tanque oxigenado dosificado con un anestésico. Se pesan y se cuentan rápidamente para obtener el peso medio y después se depositan en otro tanque oxigenado sin anestesia para que se recuperen antes de devolverlos a la jaula.

Un buen indicador de su estado es el *índice de condición* que relaciona la longitud y el peso con la fórmula siguiente:

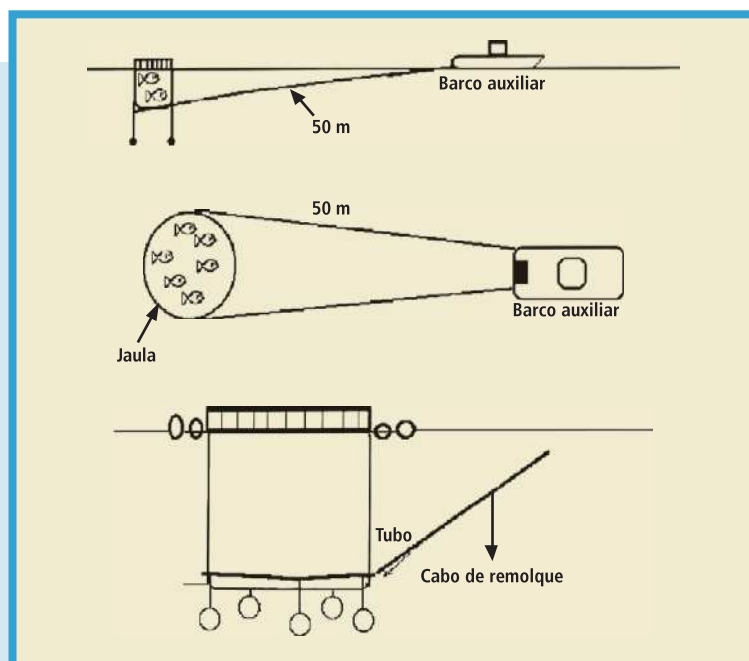


FIGURA 18.8. Remolque de jaulas con alevines (L. Cabello).



$$I = W \times 1000/L^3$$

Siendo:

W = peso en gramos.

L = longitud en centímetros.

Si el índice está entre 1,5 y 1,6 los peces están creciendo adecuadamente. Si el índice es más alto, el stock no está siendo alimentado adecuadamente y puede ser que se hayan contabilizado menos peces de los que en realidad hay, con lo cual el peso estimado es mayor que el real. Si el índice es más bajo puede ser que se esté alimentando de menos o que se hayan contado peces de mas, con lo cual el peso estimado es menor que el real.

El plan de producción (información detallada en el párrafo 19.4.5) elaborado se realiza de atrás hacia delante, empezando con el dato de la producción final, para ir retrocediendo, teniendo en cuenta las mortalidades, y hallar el número de alevines necesarios para conseguir la producción prevista. El plan de producción debe tener en cuenta dos factores fundamentales para la explotación: **la temperatura del agua**, los peces crecen más a mayor temperatura, por lo que se deben aprovechar los veranos para su engorde; y **las épocas de mejores precios de venta**.

La introducción de alevines en las jaulas debe realizarse en varias fases, primero porque de esta forma tendremos producción durante todo el año y segundo porque el dimensionamiento de la instalación será inferior que en el caso de una sola vez y no se tendrán jaulas vacías mucho tiempo.

Conocido el número de alevines necesarios y el inicio de la explotación, es recomendable realizar unas tablas que muestren el crecimiento esperado de los peces mes a mes, empleando para ello la tasa de crecimiento diario o SGR:

$$P_f = P_i \cdot e^{\frac{SGR \cdot n.º \text{ días}}{100}}$$

De esta forma se podrá conocer el peso estimado de los alevines en cualquier momento, y como también es conocido el número de alevines que se introducen en cada jaula, se conocerá el peso por jaula, que permitirá saber si la instalación está dentro de los márgenes de tolerancia de carga admisibles (15-21 Kg / m<sup>3</sup>).



La clasificación es un elemento esencial para el éxito de la operación de la instalación. Cuando los peces crecen, sus rangos de tamaños aumentan y aparecen problemas de territorialismo y canibalismo. La alimentación no es eficiente ya que es imposible suministrar la tasa adecuada y el tamaño de grano de pienso correspondiente a todos los tamaños de peces que hay en la jaula sin clasificar.

Para evitar estos problemas se realiza una clasificación (o varias) antes del despesque, separando los peces en tres tamaños (cabeza, cuerpo, y cola), que aproximadamente representan el 20%, 60% y 20% de los individuos de la jaula al alcanzar la talla oportuna, que varía para cada especie. Se le llama «Cabeza», a los individuos, que debido a una serie de factores (talla inicial, alimentación...), presentan un peso superior; a los individuos que están dentro de un pequeño margen del peso medio se les llama «Cuerpo», siendo las «Colas» los individuos que presentan el menor peso de la jaula. Una vez realizada la clasificación se separan en jaulas distintas las cabezas, las colas, y se mantienen los cuerpos en la jaula en la que se introdujeron los alevines.

La figura 18.9 muestra una clasificadora de peces y la figura 18.10 el proceso de distribución de los peces ya clasificados.

Para la dorada no se necesita un tratamiento especial antes de la clasificación, excepto quizás un suplemento en la dieta de algunas vitaminas durante cuatro o cinco días antes. El mismo día los peces no se deben alimentar para reducir el consumo de oxígeno y lograr que se acostumbren mejor al ambiente, con bajos contenidos de este gas, durante la clasificación. Para la lubina es conveniente realizar un tratamiento preventivo con antibióticos, complementado con vitaminas



**FIGURA 18.9.**

Clasificadora de peces (Global Aquafish).



**FIGURA 18.10.**

Distribución de peces ya clasificados (Global Aquafish).





y aceite de pescado y una buena alimentación durante los cinco días anteriores a este proceso.

Después de la clasificación las lubinas deben continuar con antibióticos y vitaminas durante cinco días y para las dos especies es conveniente suministrar baños de antibióticos para prevenir infecciones debidas sobre todo a los roces.

De igual modo se producen cambios de malla en las jaulas, variando la luz de las mismas a medida que los peces aumentan de tamaño. Suelen ser tres o cuatro cambios en cada ciclo. Con ello se consigue un aumento del intercambio de agua en el interior de la jaula, aumentando la concentración de oxígeno. También es necesario el control, cambio y limpieza de redes ya comentado en apartados anteriores.

Como recomendación adicional se incluyen a continuación los tamaños de malla de red para dorada y lubina en función del tamaño del pez:

- Lubina: malla cuadrada.
  - 5 mm. de malla para peces hasta 5 g.
  - 8 mm. de malla para peces hasta 12 g.
  - 10 mm. de malla para peces hasta 70 g.
  - 16 mm. de malla para peces de más de 70 g.
- Dorada: malla cuadrada.
  - 10 mm. de malla para peces hasta 5 g.
  - 16 mm. de malla para peces hasta 10 g.
  - 24 mm. de malla para peces hasta 25 g.
  - 32 mm. de malla para peces de más de 25 g.

### 18.4. ALIMENTACIÓN EN LA JAULA

La evolución que han sufrido los piensos para acuicultura en las dos últimas décadas garantiza la calidad del alimento que se le proporciona a los peces en cultivo. El pienso es recibido por parte de los suministradores en perfectas condiciones para su utilización. Es necesario que se almacene en las mejores condiciones posibles para asegurar el mantenimiento de sus cualidades.

Es importante planificar correctamente las necesidades de pienso a lo largo de la producción, de modo que las necesidades de almace-



namiento sean mínimas, reduciendo con ello el riesgo de que pueda deteriorarse.

Las necesidades de alimentación varían en una misma instalación a lo largo de un año, ya que como se ha comentado anteriormente, el pez comerá en función de la temperatura del agua. En el caso de los seres marinos, a más temperatura, más comen los peces y por tanto tienen mayor crecimiento (siempre dentro de unos márgenes).

Para el cálculo de la dieta necesaria, en función de diferentes parámetros (temperatura del agua, tamaño del pez, especie, etc.), los fabricantes de pienso suministran tablas para su correcta dosificación.

El alimento puede suministrarse a mano o con alimentadores mecánicos. La ventaja principal de la alimentación manual es que se puede ajustar el suministro al apetito de los peces, verificando además el estado de salud de los mismos. Este método puede no ser rentable en granjas muy grandes.

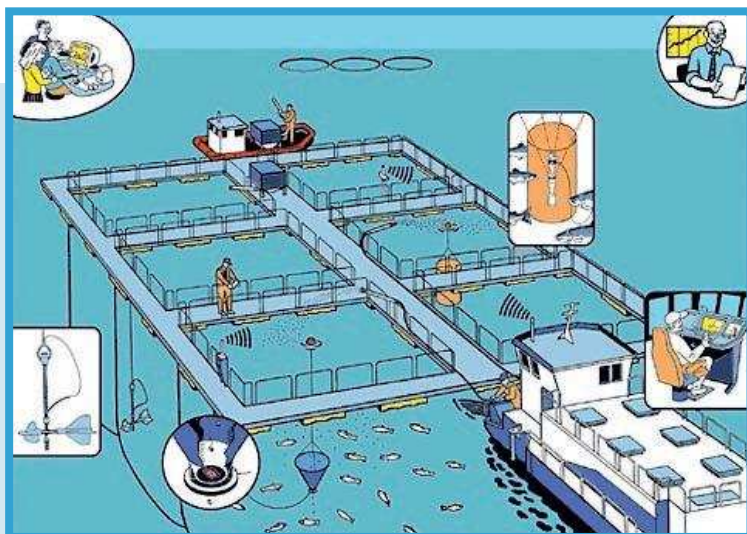
Los alimentadores mecánicos se han implantado en los últimos años, en todas las grandes piscifactorías. Pueden ser de demanda o automáticos y también que operen con aire o agua. Existen un número elevado de empresas dedicadas al diseño y construcción de sistemas de alimentación automáticos. En el volumen cuatro de esta serie, sobre «Ingeniería de los Cultivos Marinos», se hará una descripción técnica muy detallada de los mismos.

A modo de ejemplo se incluye el dibujo de la figura 18.11 que ilustra algunos de los equipos de la empresa AKVA.

## 18.5. DESPESQUE Y TRASLADO A TIERRA

Una vez alcanzada la talla comercial deseada, el despesque se realiza directamente desde las jaulas de engorde, después de mantener a los peces dos o tres días sin alimento.

La operación de despesque se realiza con la grúa instalada en la embarcación auxiliar, mediante una red que recoja los peces (figura 18.12). Una vez en la cubierta del barco son introducidos en tanques o cubetas de 500 a 1.000 litros de capacidad con hielo para su correcta conservación (figura 18.13). La proporción de hielo y peso del pez es de 1:1 con un poco de agua. Los peces deben ser enfriados lo más rá-



**FIGURA 18.11.**  
Sistemas de alimentación y control de AKVA.

pidamente posible y mantenidos por debajo de  $1,5^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos. Con estas condiciones el «rigor mortis» se puede retrasar hasta 36 horas. Si se mantiene la cadena de frío los peces pueden mantener su frescura hasta 12 días.



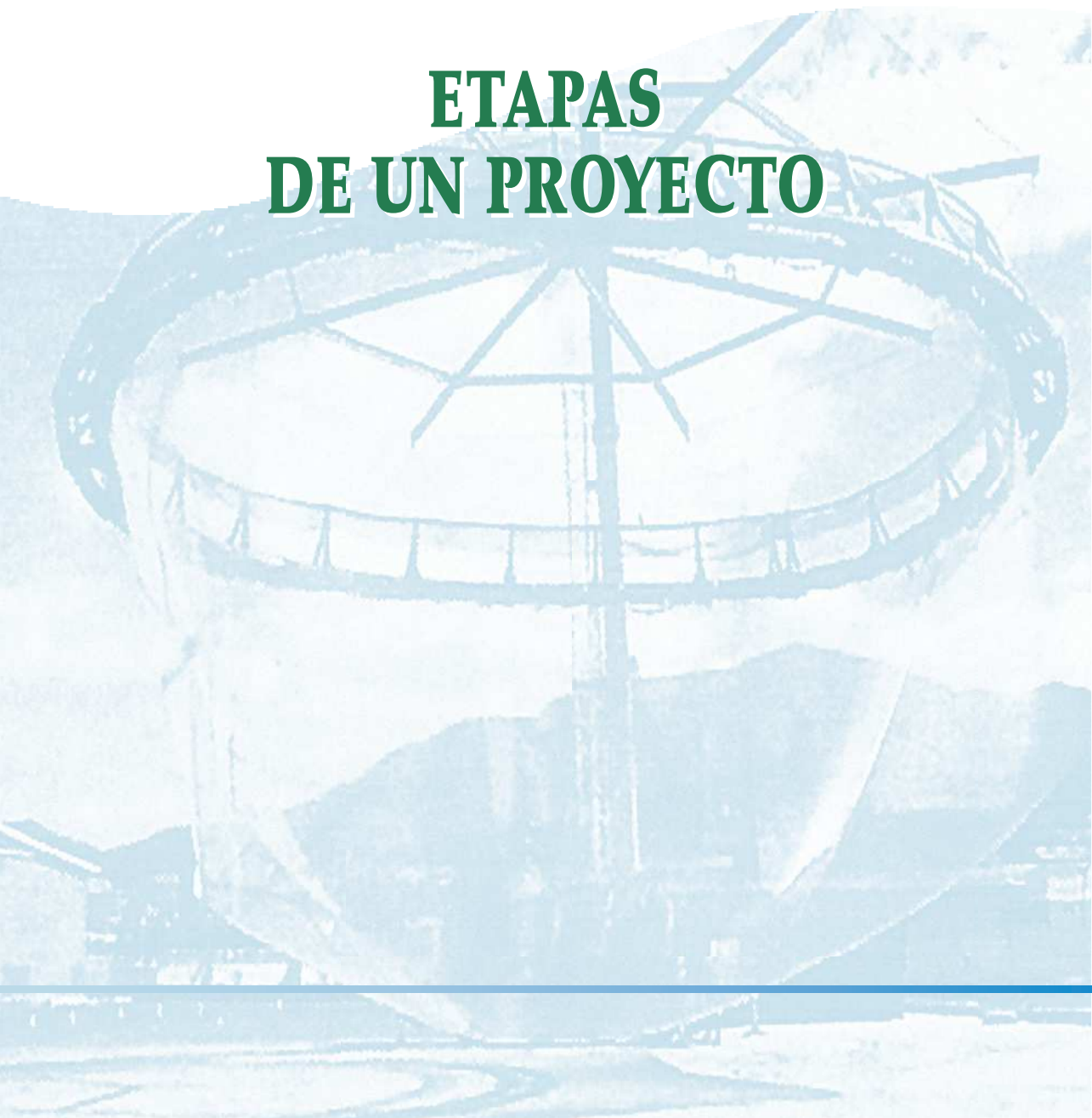
**FIGURA 18.12.**  
Despesque  
(Global Aquafish).



**FIGURA 18.13.**  
Cubetas de hielo (Global Aquafish).

# 19

## **ETAPAS DE UN PROYECTO**







## ETAPAS DE UN PROYECTO

A continuación se resumen las etapas que se pueden seguir al desarrollar una instalación de cultivo de peces en el mar. Solo se incluye un esquema con algún comentario porque la descripción pormenorizada, realizada en el primer tomo de esta serie sobre Instalaciones en Tierra (capítulo 1), incorpora todos los detalles que son aplicables cambiando el «chip» de moluscos a peces.

### 19.1. ESTUDIOS PREVIOS

#### 19.1.1. Estudio de viabilidad biológica

En primer lugar hay que elegir la especie o especies a cultivar. La primera consideración es que deben existir naturalmente en el entorno.

Otra observación trivial pero fundamental es que la especie ya esté «conseguida» de forma industrial.

#### 19.1.2. Identificación y análisis de emplazamientos

Una vez realizado un dimensionamiento provisional de la instalación, es fundamental definir el futuro emplazamiento.

El promotor, auxiliado por el autor del proyecto, debe encontrar el emplazamiento idóneo para el desarrollo del mismo. Para ello deben realizarse las gestiones y consultas oportunas: Gobiernos Autónomos, Centros de Investigación, Dirección General de Costas, Ayuntamientos, Diputaciones... La selección del emplazamiento se debe realizar en función de criterios medioambientales, socio-económicos, administrativos, biológicos y técnicos.

El capítulo 7 proporciona amplia información para la elección del emplazamiento.





Una vez determinado el emplazamiento definitivo podrá empezarse a elaborar el proyecto, así como la tramitación de los diferentes permisos.

### **19.2. SOLICITUD DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

La solicitud correspondiente debe dirigirse a la Consejería de Pesca del Gobierno Autónomo que la remite a la Consejería de Medio Ambiente.

El documento debe incluir una breve descripción del proyecto y del emplazamiento elegido, incluyendo producción estimada, coordenadas geográficas...

Una vez evaluado el informe, la Consejería de Medio Ambiente resuelve el expediente dictaminando una de las tres opciones siguientes:

- No declaración
- Estudio de Efectos Ambientales
- Estudio de Impacto Ambiental

Para todo este procedimiento se seguirán los pasos dictados por la Unión Europea:

- Directiva 85/337/CEE, de 27 junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 97/11/CE, de 3 marzo de 1997, que modifica la Directiva 85/337/CEE.

### **19.3. AUTORIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE)**

Cualquier instalación que realice su actividad en el mar debe solicitar permiso a la Dirección General de Costas.

Para ello se preparará una separata del proyecto, después de una consulta previa en las oficinas de Madrid, visado por el colegio profesional correspondiente, que costará de los siguientes documentos:



- Memoria descriptiva de las instalaciones.
- Plano de planta general.
- Plano de planta y carta náutica u otra representación cartográfica, con coordenadas y batimetría.
- Presupuesto de las instalaciones.

Estos dos documentos deben ser preparados tan pronto como sea posible porque son los que tardan más tiempo en ser aceptados y por lo tanto pueden afectar de una forma decisiva a la autorización de la instalación.

Para el desarrollo de este documento ya es necesaria la realización, al menos, de la memoria del proyecto, así como la definición de los otros parámetros requeridos.

## **19.4. PROYECTO DETALLADO**

### **19.4.1. Estudio de mercado**

Los apartados a cubrir serían los siguientes:

- Análisis del sector.
- Necesidades del mercado.
- Estudio de la competencia nacional e internacional
- Análisis de clientes.
- Precios de mercado.

A continuación se hace un desglose de actividades más detallado, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:

- Mercado español de pescado fresco.
- Plan sectorial de pesca.
- Análisis del sector.
- Estudio de la competencia nacional: análisis de puntos débiles y soluciones.
  - Gestión de la producción.
  - Manejo de peces.
  - Sistemas de vigilancia.
  - Nuevos materiales.
  - Seguridad del proceso productivo.



- Emplazamientos en mar abierto.
- Garantía de la Calidad.
- Conocimiento del producto.
- Diversificación del producto.
- Costes de distribución.
- Estudio de la competencia internacional.
- Presentación del producto.
- Análisis de clientes.
- Canales de distribución.
- Precios del mercado: Mercamadrid, Mercabarna, Roma, Turín, Venecia, Rungis (París)...

Es muy interesante considerar la información de APROMAR ya que es la más fiable en España sobre el sector.

La conclusión del estudio de mercado, si se quiere llevar adelante, debe indicar que hay «hueco» para la producción prevista en el proyecto.

### 19.4.2. Memoria

En este capítulo se hace una descripción genérica del proyecto pero cubriendo todos los puntos para que cualquiera que lo lea sepa en seguida el alcance. Las áreas a desarrollar se esquematizan a continuación:

- Características generales del proyecto:
  - Empresa, cofradía o asociación.
  - El «porqué» del proyecto.
  - Situación.
  - Descripción y justificación del emplazamiento.
  - Elección de la especie.
  - Objetivo.
  - Plan de producción.
  - Operaciones de la producción.
- Oceanografía del agua:
  - Temperatura.
  - Oxígeno disuelto.



- Salinidad.
- Nitritos y fosfatos.
- Nutrientes.
- Otros...
- Interferencia con otros sectores.
- Mano de obra y equipos.
- Comercialización.
- Presupuesto.

Este capítulo del proyecto es necesario para la documentación a presentar en la actividad del punto 19.3 (Costas).

También es un complemento interesante para la Memoria Técnico-Biológica requerida por el Gobierno Autónomo para la autorización.

#### **19.4.3. Estudio de viabilidad técnica**

- Justificación de la tecnología empleada.
- Disponibilidad de la capacidad técnica.

#### **19.4.4. Estudio de viabilidad económica**

Las correspondientes hojas de cálculo mostrarán todos los parámetros económicos.

Con este capítulo se satisfacen los requerimientos del Gobierno Autónomo relacionados con el Estudio Económico Financiero para la autorización y cubrirá, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Cinco años y dos escenarios económicos (a la alta y a la baja).
- Evolución previsible de la explotación con los siguientes parámetros:
  - Ingresos estimados.
  - Gastos de explotación.
  - Criterios para obtener los flujos de caja.
  - Plazo de recuperación de la inversión.
  - Valor actual neto de la inversión.
  - Cuenta provisional de tesorería.

A continuación se hace un desglose de actividades más detallado, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:



- Inversión inicial:
  - Instalación flotante: jaulas, redes, balizas y fondeo.
  - Maquinaria auxiliar: bomba de transferencia, clasificadora, lavadora, contadora, sistema de alimentación y equipo para evaluar la biomasa.
  - Instalación de preengorde: tanques, bombas y filtros.
  - Embarcaciones: catamarán y plataforma de apoyo.
  - Instalaciones en tierra: terrenos y nave.
  - Otros: proyecto y permisos.
- Costes anuales:
  - Personal.
  - Costes de operación.
  - Alevines.
  - Piensos.
  - Seguros.
  - Financieros.
- Ingresos.
- Rentabilidad.

Los resultados del estudio de viabilidad económica deben ser positivos para dar «luz verde» a la continuidad del proyecto.

De existir, la instalación de preengorde es uno de los factores que contribuye de una forma decisiva a la buena rentabilidad del proyecto.

### 19.4.5. Plan de producción

Este es uno de los capítulos claves para el diseño de la instalación y la rentabilidad de la explotación.

Este capítulo es vital para todos los aspectos del proyecto ya que los condiciona absolutamente: instalaciones, inversión, alimentación...

A continuación se hace un desglose de actividades más detallado, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:

- Toma de datos:
  - Empresas.
  - Institutos Oceanográficos.



- Suministradores de alevines.
- Fabricantes de piensos.
- Distribuidores del producto final.
- Razones biológicas:
  - Temperatura como parámetro básico.
  - Peso mínimo de los alevines para el engorde.
  - Obtención de alevines: compra o preengorde.
- Razones económicas:
  - Precio.
  - Disponibilidad.
- Razones de mercado: Este es uno de los aspectos más importantes ya que en cualquier instalación comercial el principal objetivo es vender lo mejor posible. Por este motivo se deben razonar y definir las mejores épocas de venta y las tallas que los peces deberían tener en dichas fechas. Con esta premisa definida y considerando las temperaturas previstas y los índices de conversión correspondientes se va «hacia atrás» para calcular las fechas de comienzo del engorde.

Dadas las grandes diferencias entre los planes de producción de los criaderos de moluscos y de las instalaciones de engorde de peces, se incluye a continuación un ejemplo manual de preparación de un plan de producción, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:

Los principales parámetros a considerar, cuando se realiza un plan de producción de una instalación de engorde de peces, se esquematizan a continuación. En rojo se especifican los valores considerados para la dorada y en verde para la lubina.

- Producción prevista por especie. 700 T. 300 T.
- Peso inicial de los alevines. 30 g. 30 g.
- Ciclo de producción aproximado. 13 meses. 16 meses.
- Mortalidad a lo largo del ciclo de producción. 10 % (variable y decreciente mensualmente: 2 %, 1,75, 1,4 y los siguientes meses 0,5 hasta el final del ciclo). 15 % (variable y decreciente mensualmente: 3 %, 2,5, 1,5 y los siguientes meses 0,5 hasta el final del ciclo).





- Tamaños y períodos de calificación. 220/180/130 gramos. 250/200/160 gramos.
- Peso final en el momento de la venta. 350 gramos. 450 gramos.
- Temporadas idóneas para la venta. Primer semestre. Todo el año.
- Tamaño (volumen) de los viveros.
- Fechas y plazos de entrega de los alevines.

Es muy importante para el plan de producción considerar las épocas de mejor venta para acoplar la producción a dichas fechas. En este caso se ha considerado que es conveniente vender la mayor parte de la producción de dorada en el primer semestre. Considerando que el precio de la lubina es más estable a lo largo del año y obtener una distribución del producto uniforme y equilibrada, se ha planteado un plan de producción para la lubina en el que las ventas se produzcan en el segundo semestre.

Este ejemplo se ha desarrollado para una producción de dorada de: 700 toneladas anuales y una producción de lubina de 300 toneladas anuales.

Los objetivos de producción para cada año se aprecian en el cuadro 19.1, considerando los parámetros ya citados:

- Dorada: ciclo de 30 gr a 350 gr. en 13 meses (\*14 meses cuando las temperaturas son más bajas). Mortalidad 10%.
- Lubina: ciclo de 30 gr a 450 gr. en 16 meses. Mortalidad 15%.

Para calcular el número de alevines de dorada que se necesitan se puede utilizar la siguiente expresión:

$$N.^\circ \text{ ALEVINES} = \frac{\text{PRODUCCIÓN (kg)} \cdot 100}{(100 - \text{MORTALIDAD}) \cdot \text{PESOVENTA (kg)}}$$

Aplicando al caso que nos ocupa esta fórmula obtendremos el número de alevines:

$$N.^\circ \text{ ALEVINES} = \frac{700.000 \cdot 100}{(100 - 10) \cdot 0.35} = 2.222.222$$

Si se hacen tres introducciones por ciclo, se pueden hacer dos introducciones de 750.000 alevines y una de 620.000 alevines. Las mejores épocas son de marzo a junio por esta razón dos de las introducciones se hacen en el primer semestre (marzo y mayo) y la otra en octubre.



Se repite el cálculo para la lubina y los resultados son los que se muestran en el cuadro 19.1.

Todos los años se harán las mismas introducciones.

**CUADRO 19.1.**  
Plan de producción (UPM).

PLAN DE PRODUCCIÓN ENGORDE					
		ENTRADAS (N.º DE ALEVINES)		SALIDAS (TONELADAS)	
		ALEVINES (30gr)		(350gr)	(450gr)
		DORADA	LUBINA	DORADA	LUBINA
2007	ENERO				
	FEBRERO				
	MARZO	1 (750000)	1 (300000)		
	ABRIL				
	MAYO	2 (750000)	2 (300000)		
	JUNIO				
	JULIO		3 (300000)		
	AGOSTO				
	SEPTIEMBRE				
	OCTUBRE	3* (620000)			
	NOVIEMBRE				
	DICIEMBRE				
TOTAL 2001		2120000	900000	0	0
2008	ENERO			55.1	
	FEBRERO			53.5	
	MARZO	1 (750000)	1 (300000)	147.7	
	ABRIL				
	MAYO	2 (750000)	2 (300000)	146	
	JUNIO			46.5	
	JULIO		3 (300000)	46.7	47.5
	AGOSTO				73.8
	SEPTIEMBRE				121.8
	OCTUBRE	3* (620000)		47	100
	NOVIEMBRE				24.6
	DICIEMBRE				
TOTAL 2002		2120000	900000	542.7	368
2009	ENERO			212	
	FEBRERO			53.5	
	MARZO	1 (750000)	1 (300000)	147.7	
	ABRIL				
	MAYO	2 (750000)	2 (300000)	146	
	JUNIO			46.5	
	JULIO		3 (300000)	46.7	47.5
	AGOSTO				73.8
	SEPTIEMBRE				121.8
	OCTUBRE	3* (620000)		47	100
	NOVIEMBRE				24.6
	DICIEMBRE				
TOTAL 2003		2120000	900000	700	368



Hay una serie de parámetros que es necesario considerar al realizar el plan de producción y que se definen a continuación:

- **Tasa de crecimiento diario (Specific Growth Rate = SGR):**

es el tanto por ciento de peso ganado al día respecto a su peso inicial. Este parámetro es de suma utilidad para la estimación del peso de los peces en el momento deseado. De esta forma se puede conocer el peso de la biomasa antes de las clasificaciones, antes del despesque o en cualquier momento, y por lo tanto la densidad de cultivo. La fórmula para el cálculo de la tasa de crecimiento diario desde un peso inicial ( $P_i$ ) hasta un peso final ( $P_f$ ) durante un determinado número de días es la siguiente:

$$SGR = (\ln P_f - \ln P_i) \cdot \frac{n.º \text{ días}}{100}$$

La expresión para calcular el peso final ( $P_f$ ) a partir de un peso inicial ( $P_i$ ), después de un determinado número de días con un SGR conocido, es la siguiente:

$$P_f = P_i \cdot e^{\frac{SGR \cdot n.º \text{ días}}{100}}$$

La tasa de crecimiento diario es función de la temperatura. La figura 19.2 visualiza la variación a lo largo del año del SGR y de la temperatura.

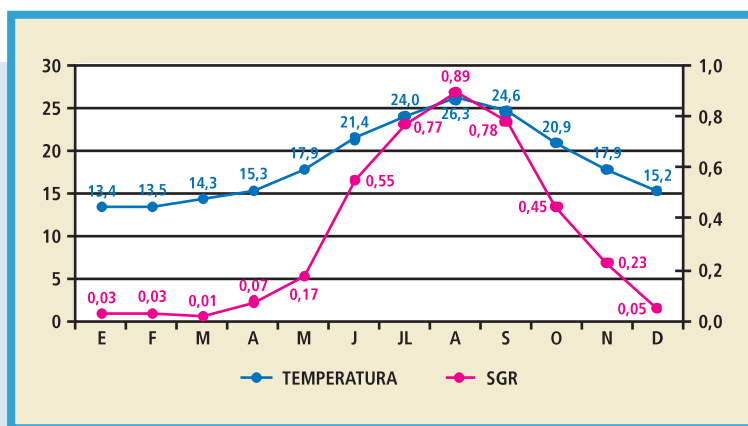


FIGURA 19.2. SGR y temperatura.



- **Factor de conversión (Feed Conversion Rate = FCR):** es el número de kilogramos necesarios de pienso para engordar un kilo al pez. La principal utilidad de este parámetro es definir las necesidades periódicas de pienso. La expresión para calcular el número de kilos de pienso necesario para llevar un número determinado de alevines desde un peso inicial ( $P_i$ ) hasta un peso final ( $P_f$ ) con un FCR conocido es la siguiente:

$$\text{PIENSO}_{\text{kg}} = [P_f(\text{kg}) - P_i(\text{kg}) \cdot \text{FCR} \cdot \text{n.º alevines}]$$

El factor de conversión es función de la temperatura. La figura 19.3 visualiza la variación a lo largo del año del FCR y de la temperatura.

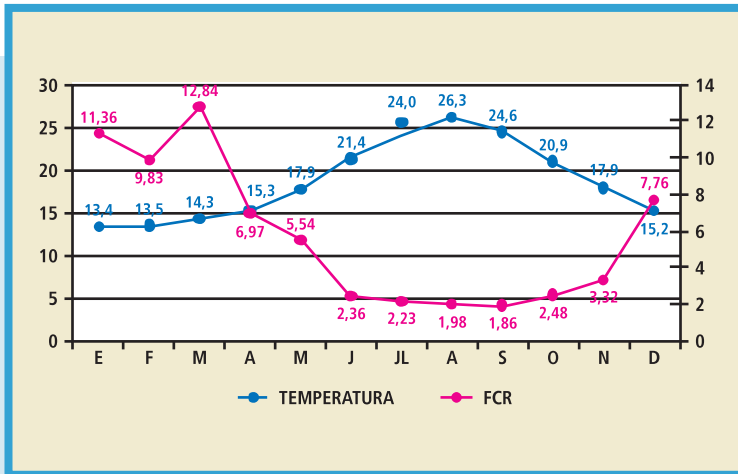


FIGURA 19.3. FCR y temperatura.

- **Tasa de alimentación diaria (Daily Feeding Rate = SFR):** es el tanto por ciento del peso del pez que se le suministra diariamente de pienso. La principal utilidad de este parámetro es la optimización de la alimentación. La figura 19.4 muestra la variación del FCR frente al SFR.

Para el cálculo de la evolución del peso de los alevines mensualmente se utiliza la tasa de crecimiento diario (SGR), ya definida anteriormente. Las temperaturas medias consideradas son las incluidas en la figura 19.5.

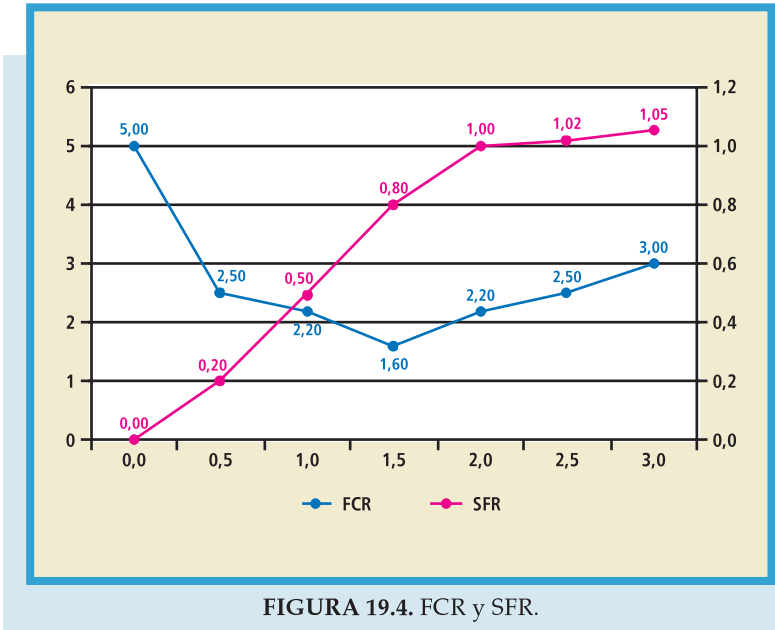


FIGURA 19.5.  
Temperaturas medias.

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE
13,4	13,5	14,3	15,3	17,9	21,4	24	26,3	24,6	20,9	17,9	15,2

Para estimar el crecimiento mensual de los alevines se emplea la fórmula antes definida:

$$P_f = P_i \cdot e^{\frac{SGR \cdot n.^{\circ} \text{ días}}{100}}$$

Los parámetros variables de esta ecuación son los siguientes: el peso final, el peso inicial, el número de días de cultivo y la tasa de crecimiento diario (SGR). Este último dato, igual que el FCR y el SFR, se puede obtener de las tablas que proporcionan los fabricantes de pienso tales como la mostrada en el cuadro 19.6 ; entrando en ellas con la temperatura media del período considerado y el peso inicial. Cuando la instalación esté ya en operación estas tablas se pueden elaborar con datos propios. Con todos estos datos ya se puede calcular el peso final deseado.



**FIGURA 19.6.**  
Tabla de fabricantes de pienso.

TASA CRECIMIENTO ESPECÍFICO (SGR)														
Temp		p.medio-m.weight (gr.)												
min	max	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	>600
12	14	0,49	0,41	0,36	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
14	16	0,78	0,60	0,49	0,42	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,19
16	18	1,08	0,83	0,67	0,57	0,50	0,44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
18	20	1,39	1,08	0,87	0,74	0,64	0,56	0,49	0,43	0,38	0,34	0,30	0,26	0,24
20	22	1,71	1,34	1,08	0,92	0,79	0,69	0,60	0,53	0,47	0,41	0,36	0,31	0,28
22	24	2,04	1,61	1,30	1,10	0,95	0,83	0,73	0,64	0,56	0,49	0,42	0,36	0,33
24	26	2,39	1,89	1,53	1,30	1,12	0,98	0,86	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,39
26	28	2,74	2,18	1,77	1,51	1,30	1,14	1,00	0,87	0,76	0,67	0,58	0,50	0,46
28	30	3,12	2,48	2,03	1,72	1,49	1,31	1,15	1,01	0,88	0,77	0,67	0,57	0,53

TASA DE ALIMENTACIÓN DIARIA (SFR)														
Temp		p.medio-m.weight (gr.)												
min	max	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	>600
12	14	0,55	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,47	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43
14	16	0,87	0,75	0,69	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56
16	18	1,21	1,04	0,95	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65	0,64
18	20	1,55	1,35	1,23	1,17	1,12	1,07	1,03	0,98	0,93	0,88	0,82	0,76	0,73
20	22	1,92	1,67	1,53	1,45	1,38	1,32	1,26	1,19	1,13	1,05	0,98	0,90	0,85
22	24	2,29	2,00	1,84	1,74	1,66	1,59	1,51	1,43	1,35	1,25	1,16	1,05	1,00
24	26	2,68	2,35	2,17	2,06	1,96	1,88	1,79	1,69	1,59	1,48	1,36	1,24	1,17
26	28	3,08	2,72	2,51	2,38	2,28	2,18	2,08	1,97	1,85	1,72	1,59	1,45	1,37
28	30	3,50	3,09	2,87	2,73	2,61	2,50	2,39	2,27	2,13	1,99	1,84	1,68	1,59

FACTOR DE CONVERSIÓN (FCR)														
Temp		p.medio-m.weight (gr.)												
min	max	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	>600
12	14	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
14	16	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
16	18	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
18	20	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
20	22	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
22	24	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
24	26	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
26	28	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00
28	30	1,12	1,25	1,41	1,58	1,75	1,92	2,08	2,25	2,42	2,59	2,75	2,92	3,00





Con los cálculos mensuales se puede ir verificando la carga admisible por jaula que no debe sobrepasar en principio los 20 Kg / m<sup>3</sup>.

Los alevines tienen durante el engorde un crecimiento desigual lo que provoca una disparidad de tamaños que retrasa el crecimiento del conjunto, ya que los mas grandes se harán más grandes y los más pequeños se quedan rezagados.

Por esta razón es necesario hacer una clasificación a la mitad del período de engorde, aproximadamente, separando los peces en tres grupos: cabeza, cuerpo y cola. La «cabeza» la integran los peces de mayor peso, el «cuerpo» los de peso medio dentro del lote y la «cola» los de menor peso. Cada especie tiene su peso ideal para la clasificación de tal forma que la cabeza y la cola suelen suponer el 20 % (cada uno) y el resto (60 %) constituyen el cuerpo del cultivo. Normalmente las cabezas y las colas se trasladan a jaulas diferentes y los cuerpos se mantienen en la misma jaula o se reparten en dos jaulas (la original y otra nueva). La clasificación conviene realizarla a temperaturas altas (17-20 °C). Solo se suele hacer una clasificación.

Entrando ya en el plan de producción específico de la **dorada**, y con las introducciones de alevines antes calculadas y citadas, se obtiene una producción de 542 toneladas al final del segundo año y ya las 700 previstas a partir del tercer año.

La primera clasificación, para las dos primeras introducciones, se debe hacer cuando el peso medio de cada pez del cuerpo es de 180 gramos, el de las cabezas 220 gramos y el de las colas 130 gramos. Estas dos clasificaciones se harían en la primera semana de septiembre y en la última del mismo mes.

La clasificación para la tercera introducción se podría hacer cuando los cuerpos alcancen 140 gramos, las cabezas 180 gramos y las colas 100 gramos; al final de julio del año siguiente.

Otros autores recomiendan para la dorada realizar una primera clasificación entre los 25 y 50 gramos a cualquier temperatura y a veces única. El cálculo sería análogo. La razón de realizar la clasificación antes es debida a que a mayor tamaño de los peces se necesitan mayores cantidades de anestesia, vitaminas y antibióticos para protegerlos.

En el cuadro 19.7 se pueden apreciar las fechas de introducción de alevines, las sucesivas clasificaciones y su distribución en las jaulas. A



continuación se explica el significado de las siglas utilizadas en este cuadro:

- «J» = Jaula del primer año de producción.
- «K» = Jaula del segundo año de producción.
- «L» = Jaula del tercer año de producción.
- J1, J2; J3... El número señala el momento de su utilización...La primera, la segunda, la tercera...Este número no varía durante su vida pero la letra cambia con los años.
- CA = Cabezas.
- CU = Cuerpos.
- CO = Colas.
- CA1, CU2, CO3... Este primer número indica el número de orden del ciclo de producción...Cabezas ciclo 1. Cuerpos ciclo 2. Colas ciclo 3...
- CA1.1, CU1.2, CO1.3... Este segundo número indica el número de orden de la introducción dentro de cada ciclo de producción... Cabezas ciclo 1, primera introducción. Cuerpos ciclo 1, segunda introducción. Colas ciclo 1, tercera introducción.
- EJEMPLO: J 4(CA1.1) = Es la jaula 4 del primer año de producción (J) que contiene las cabezas (CA) del primer ciclo de producción (1), primera introducción (1). Este lote se vende en enero de 2008. Esta misma jaula (4) alojará el segundo año de producción (K) los alevines del segundo ciclo de producción (2), primera introducción (1). Luego su identificación será K 4(CU2.1). Siempre en la introducción de alevines se pone CU porque después de la clasificación alojará la mitad de los cuerpos de dicha introducción.

De la observación de este cuadro se pueden obtener conclusiones de gran interés para el proyecto:

- Los cuerpos de cada ciclo hay que colocarlos en dos jaulas ya que la densidad de cultivo al final del engorde sería muy superior a la recomendada. La mitad se quedan en la que iniciaron el cultivo y la otra mitad en una nueva jaula.
- Con este cuadro se justifican también el número de jaulas necesarias para una producción de 700 toneladas de dorada, con una carga media de 18 kilos por metro cúbico: doce jaulas son sufi-



**CUADRO 19.7.**  
Entradas y ventas para la dorada (UPM).

DORADA	ENTRADAS	VENTAS	ENTRADAS	VENTAS	ENTRADAS	VENTAS
	2007		2008		2009	
ENERO				J4(CA1.1)		K4(CA2.1) J11(CO1.3) J9-J12(CU1.3)
FEBRERO				J6(CA1.2)		K6(CA2.2)
MARZO	J1(CU1.1)		K1(CU2.1)	J1-J5(CU1.1)	L1(CU3.1)	K1(CU2.1) K5(CU2.1)
ABRIL						
MAYO	J2(CU1.2)		K2(CU2.2)	J2-J8(CU1.2)	L8(CU3.2)	K2(CU2.2) K8(CU2.2)
JUNIO				J3(CO1.1)		K3(CO2.1)
JULIO				J7(CO1.2)		K7(CO2.2)
15-30			J10(CA1.3) J11(CO1.3) J12(CU1.3)		K10(CA2.3) K11(CO2.3) K12(CU2.3)	
AGOSTO						
SEPTIEMBRE	J4(CA1.1) J3(CO1.1) J5(CU1.1)		K4(CA2.1) K3(CO2.1) K5(CU2.1)		L4(CA3.1) L5(CO3.1) L6(CU3.1)	
15-30	J6(CA1.2) J7(CO1.2) J8(CU1.2)		K6(CA2.2) K7(CO2.2) K8(CU2.2)		L7(CA3.2) L2(CO3.2) L3(CU3.2)	
OCTUBRE	J9(CU1.3)		K9(CU2.3)	J10(CA1.3)	L9(CU3.3)	K10(CA2.3)
NOVIEMBRE						
DICIEMBRE						

cientes para las tres introducciones anuales y las correspondientes clasificaciones.

El cuadro 19.1 muestra también los meses de ventas y la cantidad de toneladas por venta. Se puede observar que en el segundo año de cultivo se comercializan 542,7 toneladas y ya en el tercero y sucesivos las 700 toneladas previstas (aproximadamente). El plan de producción elaborado también cumple con la premisa de vender la dorada en el primer trimestre salvo 47 toneladas que se comercializan en octubre por razones de disponibilidad de las jaulas.



Se deben preparar otra serie de tablas o cuadros que son muy interesantes para el proyecto y luego son útiles como base para la operación de la instalación.

El cuadro 19.8 muestra los detalles siguientes del plan de producción de sumo interés, tanto para el proyecto como para la operación (este cuadro está hecho para una instalación de 300 toneladas de producción por eso los números no son coincidentes con las tablas anteriores):

- Número de alevines por jaula y por mes. Esta cantidad es decreciente con el tiempo porque ya se va aplicando cada mes la mortalidad prevista: 2, 1,75 y 1,4 % los tres primeros meses y 0,5 % (aproximadamente) el resto de los meses, Al cabo de los trece meses del ciclo la mortalidad es la prevista del 10 %.
- Las clasificaciones: grupo de alevines (cabeza, cuerpo y cola), número de alevines de cada grupo y a que jaula van (cola J1 a jaula 3...).
- Para cada jaula se detallan el peso por mes y los kilos de pienso por mes que se consumen.
- Más abajo se incluyen las temperaturas consideradas en cada mes y el número de días de ese mes.
- A continuación se detallan para cada grupo de peces (cabeza, cuerpo y cola) los parámetros considerados y las siguientes variables:
  - PI = Peso inicial.
  - SGR = Tasa de crecimiento diario.
  - PF = Peso final.
  - FCR = Factor de conversión.
  - Incremento de peso en gramos.
  - Peso del alevín en gramos.

El plan de producción específico para la **lubina** se elabora siguiendo los mismos pasos pero hay algunos parámetros diferentes que se comentan a continuación.

El cuadro 19.1 muestra las tres entradas de alevines (300.000). La producción estimada es de 368 toneladas al año.



**CUADRO 19.8.**  
Detalles del plan de producción de la dorada (UPM).

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	1-15 SEPT.	15-30 SEP.	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
	2007													2008					
JAUJA 1	ALEVINES		310000	303800	298484	294305	292883	291469	87018	86808	86599	86390	86182	85974	85766	85560			
cola 130 gr								290061	58012										
cuerpo 180 gr									174036										
cabeza 220 gr									58012										
peso en jaula kg			10626	11847	14687	23333	40569	66505	15663	18820	22612	27085	28777	29795	30188	30539			
Kg pienso mes			3832	2954	5088	11861	23248	44685	5283	6694	8668	4720	3785	2890	2664				
JAUJA 3	COLA J1								58012	57872	57593	57315	57038	56762	56488	56215	55944	55673	55405
Peso									7542	9521	11991	14825	16192	16828	17008	17165	17565	18121	19247
Kg pienso mes									2904	4172	5289	3713	2356	1653	1551	2069	2234	3255	
JAUJA 4	CABEZA J1								58012	57872	57593	57315	57038	56762					
Peso									13237	15457	18007	21185	22186	22774					
Kg pienso mes									3906	4799	6595	3226	2592						
JAUJA 5	CUERPO J1								87018	86808	86599	86390	86182	85974	85766	85560			
Peso									15663	18820	22612	27085	28777	29795	30188	30539			
Kg pienso mes									5283	6694	8668	4720	3785	2890	2664				
CICLO 1			MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	
TEMPERATURA			14	15	18	21	24	26	25	25	21	18	15	13	14	14	15	18	21
Nº DÍAS			31	30	31	30	31	31	15	15	31	30	31	31	28	31	30	31	30
CABEZA																			
PI			30	34	39	49	79	139	228	267	313	370	389	401					
SGR			0,43	0,43	0,75	1,59	1,80	1,61	1,05	1,05	0,54	0,17	0,10						
PF			34	39	49	79	139	228	267	313	370	389	401						
FCR			2,89	2,06	1,67	1,34	1,34	1,71	1,73	1,82	2,01	2,91	3,71						
INCREMENTO PESO gr			4	5	10	30	59	90	39	46	57	19	12						
PIENSO ALEVIN gr			12	10	17	40	79	153	67	83	115	56	45						
CUERPO																			
PI									180	217	261	314	334	347	352	357			
SGR									1,24	1,24	0,59	0,21	0,12	0,05	0,05				
PF									217	261	314	334	347	352	357				
FCR									1,65	1,74	1,91	2,68	3,47	6,21	6,26				
INCREMENTO PESO gr									37	44	52	20	13	5	5				
PIENSO ALEVIN gr									61	77	100	55	44	34	31				
COLA																			
PI									130	165	208	259	284	296	301	305	314	325	347
SGR									1,57	1,57	0,70	0,31	0,14	0,05	0,05	0,09	0,12	0,21	
PF									165	208	259	284	296	301	305	314	325	347	
FCR									1,45	1,65	1,82	2,57	3,28	6,29	6,47	4,26	3,47	2,67	
INCREMENTO PESO gr									35	44	50	25	13	5	4	9	12	22	
KG PIENSO ALEVIN									50	72	92	65	41	29	27	37	40	58	

La clasificación se realiza a diferentes pesos que en la dorada: los peces de los cuerpos tienen un peso de 200 gramos de media, las cabezas 250 y las colas 160 gramos. Las tres clasificaciones se harían en la primera semana de noviembre, otra en la última semana de noviembre y la tercera a principios de mayo.

Otros autores defienden una clasificación previa a menores tallas: entre 100 y 150 gramos y a veces única. El sistema de cálculo es análogo. La razón de realizar la clasificación antes es debida a que a mayor tamaño de los peces se necesitan mayores cantidades de anestesia, vitaminas y antibióticos para protegerlos.



En el cuadro 19.9 se pueden apreciar las fechas de introducción de alevines, las sucesivas clasificaciones y su distribución en las jaulas. El significado de las siglas ya se ha explicado anteriormente. Como ya se han utilizado doce jaulas para la dorada, las destinadas a la lubina empiezan por la trece.

**CUADRO 19.9.**  
Entradas y ventas para la lubina (UPM).

LUBINA	ENTRADAS	VENTAS	ENTRADAS	VENTAS	ENTRADAS	VENTAS
	2007	2008	2008	2009	2009	2009
ENERO						
FEBRERO						
MARZO	J13(CU1.1)		J22(CU2.1)		K13(CU3.1)	
ABRIL						
MAYO	J14(CU1.2)		J20(CA1.3) J21(CO1.3) J23(CU2.2)		K14(CA2.3) K15(CO2.3) K21(CU3.2)	
JUNIO						
JULIO	J15(CU1.3)		J24(CU2.3)		K22(CU3.3)	
15-30		J16(CA1.1) J18(CA1.2)		K16(CA2.1) K18(CA2.2)		L16(CA3.1) L18(CO3.2)
AGOSTO						
15-30		J13(CU1.1)		J20(CU2.1)		K13(CU3.1)
SEPTIEMBRE		J14(CU1.2) J17(CO1.1) J21(CA1.3)		J23(CU2.2) K17(CO2.1) K14(CA2.3)		K21(CU3.2) L17(CO3.1) (CA3.3)
OCTUBRE		J15(CU1.3) J19(CO1.2)		J24(CU2.3) K19(CO2.2)		K22(CU3.3) L19(CO3.2)
NOVIEMBRE	J16(CA1.1) J17(CO1.1)	J22(CO1.3)	K16(CA2.1) K17(CO2.1)	K15(CO2.3)	L16(CA3.1) L17(CO3.1)	
15-30	J18(CA1.2) J19(CO1.2)		K18(CA2.2) K19(CO2.2)		L18(CA3.2) L19(CO3.2)	
DICIEMBRE						

De la observación de este cuadro se pueden obtener conclusiones de gran interés para el proyecto:

- Los cuerpos de cada ciclo hay que colocarlos en dos jaulas ya que la densidad de cultivo al final del engorde sería muy superior a la





recomendada. La mitad se quedan en la que iniciaron el cultivo y la otra mitad en una nueva jaula.

- Con este cuadro se justifican también el número de jaulas necesarias para una producción de 368 toneladas de lubina: doce jaulas son suficientes para las tres introducciones anuales **iniciales** y las correspondientes clasificaciones. Al regularizar la producción en los ciclos siguientes solo se necesitarán diez jaulas pero las dos restantes se pueden utilizar para la investigación de nuevas especies.

El cuadro 19.1. muestra también los meses de ventas y la cantidad de toneladas por venta. Se puede observar que en el segundo año de cultivo se comercializan 368 toneladas que es la producción prevista en el proyecto.

El cuadro 19.10. muestra los detalles siguientes del plan de producción de sumo interés, tanto para el proyecto como para la operación:

- Número de alevines por jaula y por mes. Esta cantidad es decreciente con el tiempo porque ya se va aplicando cada mes la mortalidad prevista: 3, 2,5 y 1,5 % los tres primeros meses y 0,5 % (aproximadamente) el resto de los meses, Al cabo de los dieciseis meses del ciclo la mortalidad es la prevista del 15 %.
- Las clasificaciones: grupo de alevines (cabeza, cuerpo y cola), número de alevines de cada grupo y a que jaula van.
- Para cada jaula se detallan el peso por mes y los kilos de pienso por mes que se consumen.
- Más abajo se incluyen las temperaturas consideradas en cada mes y el número de días de ese mes.
- A continuación se detallan para cada grupo de peces (cabeza, cuerpo y cola) los parámetros considerados y las siguientes variables:
  - PI = Peso inicial.
  - SGR = Tasa de crecimiento diario.
  - PF = Peso final.
  - FCR = Factor de conversión.
  - Incremento de peso en gramos.
  - Peso del alevín en gramos.



**CUADRO 19.10.**  
Detalles del plan de producción de la lubina (UPM).

ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
159976	159224	158475	157730	157365	156999	156635				
43055	45914	51094	59261	63537	68122	73809				
11780	14420	18668	9556	10578	14646					
161501	160742	159986	159234		158486	158118	157751			
40939	44317	49316	57199		61180	66288	72217			
11372	13918	17448	9224		13154	15244				
270956	269683	161049	160292		159539		158789	158043		
COLA	53937									
CUERPO	161810									
CABEZA	53937									
63345	32362	36689	44246		53040		66197	74958		
20223	11430	15299	8655		31654		20599			
53329	53078	52829	52580	52458						
17383	18317	20069	22725	24183						
4619	5543	6660	3376							
53329	53078	52829	52580	52458	52337	52215	52094			
11695	12737	14350	16997	18472	19996	21894	24121			
4251	4725	5646	3050	3392	4736	5548				
53834	53581	53329	53078	52829						
16614	17717	19412	21982	23336						
4546	5183	6121	3266							
53834	53581	53329	53078	52955	52832		52584	52337		
11370	12383	13952	16525		17917		21611	25141		
3716	4152	5542	2965		4208		8100			
	53937	53683	53431	53307	53183		52933			
	13797	15401	18242	19824	21255		25401			
	4460	6410	3517	3197	10195					
	53937	53683	53431	53307	53183		52933	52684	52437	
	8630	9906	12200	13559	14913		19258	22203	24631	
	3174	4538	2532	2652	9759		6587	6591		
204402	206172	230189	269377	162912	256423		228806	122302	24631	0
				47519		73809	121739	100099	24631	
60507	67005	86331	46141	19819	88351		35286	6591	0	
									2002	367798
ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15	18	21	24	24	26	26	25	21	18	15
30	31	30	15	16	15	16	30	31	30	31
326	345	380	432	461						
0,19	0,31	0,43	0,43							
345	380	432	461							
4,53	3,00	2,41	2,23							
19	35	52	29							
87	104	126	64							



ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
269	288	322	376	404	434	471				
0,23	0,36	0,51	0,48	0,45	0,55					
288	322	376	404	434	471					
3,83	2,66	2,21	2,16	2,23	2,50					
19	34	53	28	30	37					
74	91	118	61	67	93					
219	240	272	323	352	382	419	463			
0,30	0,40	0,58	0,57	0,51	0,62	0,62				
240	272	323	352	382	419	463				
3,86	2,81	2,07	2,01	2,16	2,43	2,43				
21	32	52	29	30	37	44				
80	89	107	58	65	90	106				
ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15	18	21	24		26	26	25	21	18	15
30	31	30	15		15	16	30	31	30	31
309	331	364	414	442						
0,23	0,31	0,43	0,43							
331	364	414	442							
3,83	2,90	2,29	2,23							
22	33	50	28							
84	97	115	62							
253	276	308	359		386	419	458			
0,28	0,36	0,51	0,48		0,55	0,55				
276	308	359	386		419	458				
3,17	2,66	2,14	2,16		2,50	2,50				
22	33	51	27		33	39				
70	87	109	58		83	96				
211	231	262	311		339	372	411	480		
0,30	0,40	0,58	0,57		0,62	0,62	0,52			
231	262	311	339		372	411	480			
3,47	2,54	2,09	2,01		2,41	2,41	2,22			
20	31	50	28		33	39	69			
69	77	104	56		80	94	154			
ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15	18	21	24	24	26		25	21	18	15
30	31	30	15	15	31		30	31	30	31
234	256	287	341	372	400		480			
0,30	0,37	0,58	0,57	0,48	0,59					
256	287	341	372	400	480					
3,39	2,66	2,19	2,16	2,16	2,39					
22	31	55	30	28	80					
75	83	119	66	60	192					
200	228	276	304	332			417	474		
0,42	0,64	0,65	0,59	0,73			0,43			
228	276	304	332	417			474			
2,54	1,97	1,91	2,01	2,35			2,26			
28	48	28	28	84			57			



ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	15 DE JULIO	AGOSTO	15 DE AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	71	95	54	57	198		130			
	160	185	228	254	280		364	421	470	
	0,46	0,71	0,72	0,65	0,84		0,49	0,35		
	185	228	254	280	364		421	470		
	2,40	1,93	1,82	1,91	2,20		2,16	2,59		
	25	44	26	26	83		58	48		
	59	85	47	50	184		124	125		

#### 19.4.6. Estudio biológico

Los apartados de este estudio son los siguientes:

- Descripción de cada uno de los seres a cultivar.
- ¿Dónde vive? ...
  - Parámetros.
  - Alimentación natural.
  - Ciclo biológico natural.
- Control y prevención sanitarios.
- Patología... Enfermedades.

Estos datos deben ser comparados con las condiciones del emplazamiento para demostrar que no hay limitaciones para el cultivo o que solo se presentarían en casos extremos.

#### 19.4.7. Estudio de Impacto Ambiental

La realización de este capítulo estará pendiente de la respuesta de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo al documento citado en el párrafo 19.2.

Las tres posibilidades que existen son: impacto ambiental, efectos ambientales y no declaración.

En el volumen 5 de esta serie se profundizará ampliamente sobre este tema.

Este estudio se prepara para evaluar la influencia de la actividad que se va a realizar en el medio ambiente litoral; describiendo los procesos que se van a realizar, los elementos naturales existentes y su posible interacción.

Se enfoca también este estudio para satisfacer los distintos aspectos exigidos en la normativa vigente.



A continuación se hace un desglose de actividades más detallado, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:

- Descripción de la actuación y sus acciones derivadas.
- Examen de las alternativas técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.
- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves.
- Identificación y valoración de impactos, tanto de la solución propuesta como de sus alternativas.
- Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental
- Documento de síntesis.

### 19.4.8. Especificación técnica de diseño

En este capítulo se detallan los siguientes aspectos:

- Especificación de la instalación (ver capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 8).
- Detalles de parámetros, materiales y equipos (fabricantes).
- Cálculos (ver capítulos 10, 11 y 12).
- Disposición general.
- Sistema de alimentación.
- Equipos auxiliares: bomba de transferencia, clasificadora, lavadora...
- Barcos auxiliares.
- Instalaciones en tierra:
  - Almacén y oficinas.
  - Sistema de procesado.
  - Instalación frigorífica.
  - Muelle de embarque.
  - Planta de preengorde.

Es importante que en este capítulo participen los fabricantes de componentes ya que poseen la mayor y más detallada información.

Una lista de planos a preparar recomendados:

- Situación geográfica de la instalación: local y nacional.
- Disposición general: planta y alzado.



- Fondeo y distribución de muertos.
- Detalles de los fondeos.
- Jaulas.
- Detalles de los amarres: entramado interior y exterior.
- Redes y sus elementos.
- Balizamiento.
- Muertos y/o anclas.
- Anillo de lastre o contrapesos.
- Boyas.
- Elementos auxiliares: anillas, giratorios, grilletes, guardacabos...
- Montaje.
- Remolque: jaulas y muertos.
- Catamarán o barco auxiliar.
- Plataforma de apoyo (si existe).

A continuación se hace un desglose de actividades más detallado, relacionado con el sistema de fondeo, fruto de la experiencia y del trabajo de los proyectos ya realizados:

Los aspectos estudiados para definir el sistema de fondeo son los siguientes:

- Agrupamiento de las jaulas.
- Consideraciones ambientales:
  - Resistencia del recinto frente a vientos, olas, corrientes y mareas.
  - Características de los fondos: arenosos, fangosos, rocosos ...
  - Profundidad del anclaje.
  - Variación del nivel de agua.
- Orientación de las jaulas.
- Elementos (empezando por el fondo):
  - Anclas especiales o muertos.
  - Cadena.
  - Cabo de fibra sintética.
  - Trozo de cadena o peso de compensación con boya sumergida en el centro de la línea de fondeo.
  - Cabo de fibra sintética.
  - Boya de amortiguamiento antes de la boya principal.





- Pieza de distribución de esfuerzos con la boya principal.
- Cadena o cabo o una combinación de ambos hasta la jaula.
- Grilletes, guardacabos y anillas.
- Sistema de balizamiento.
- Detalles de la instalación:
  - Distribución de las jaulas en flotillas.
  - Sistema independiente de fondeo para cada flotilla.
  - Sistema independiente de fondeo para la plataforma de apoyo (si existe).
  - 12 u 8 puntos de amarre de cada jaula al sistema de fondeo.

También se detallan en los siguientes párrafos los detalles a tener en cuenta de las embarcaciones auxiliares:

### **Catamarán o barco auxiliar**

Realiza las actividades de enlace entre la base en tierra y las flotillas de jaulas y/o la plataforma de apoyo a la explotación.

Sus misiones son las siguientes:

- Transporte del personal de operación.
- Traslado del pienso desde el transporte por tierra hasta las jaulas o los silos de la plataforma.
- Transporte de los alevines hasta las jaulas.
- Clasificación de peces y trasvase entre jaulas.
- Tráfico en general desde la base en tierra hasta la plataforma.

### **Plataforma de apoyo a la operación** (si existe).

Los equipos y servicios que puede incorporar son los siguientes:

- Silos de almacenamiento para el pienso.
- Sistema de alimentación automática con dosificadores, enfriador, válvulas y mangueras de distribución.
- Grúa auxiliar.
- Lavadora de redes.
- Cubierta para secado de redes con lona protectora.
- Sala de control en el puente.
- Laboratorio.
- Sala de estar y comedor.
- Vestuario con duchas y servicios.



- Sala para los equipos de buceo.
- Compresor para recarga de botellas.
- Generadores de electricidad redundantes.
- Equipo de ventilación para los silos.
- Equipo de aire acondicionado.
- Cuadro eléctrico.
- Tanques de combustible, agua dulce y agua de lastre.
- Jaulas de preventa.

#### **19.4.9. Emplazamiento**

Los apartados a desarrollar son los siguientes:

- Situación
  - Industrias.
  - Centros de investigación.
  - Comunicaciones.
- Características
  - Clima.
  - Calidad agua salada.
- Circunstancias socio-económicas.
- Datos complementarios
  - Asesoramiento.
  - Poblaciones naturales.

#### **19.4.10. Presupuesto**

El presupuesto incluirá todas las partidas, divididas en diferentes capítulos.

#### **19.4.11. Estudio de seguridad**

Como sugerencia se esquematizan a continuación los posibles apartados a desarrollar:

- Definición de riesgos.
- Prevención de riesgos.
- Medios de protección.
- Plan de seguridad y salud.



- Formación.
- Presupuesto: protecciones, extinción de incendios, medicina preventiva, primeros auxilios, formación...

### 19.4.12. Instrucciones de operación

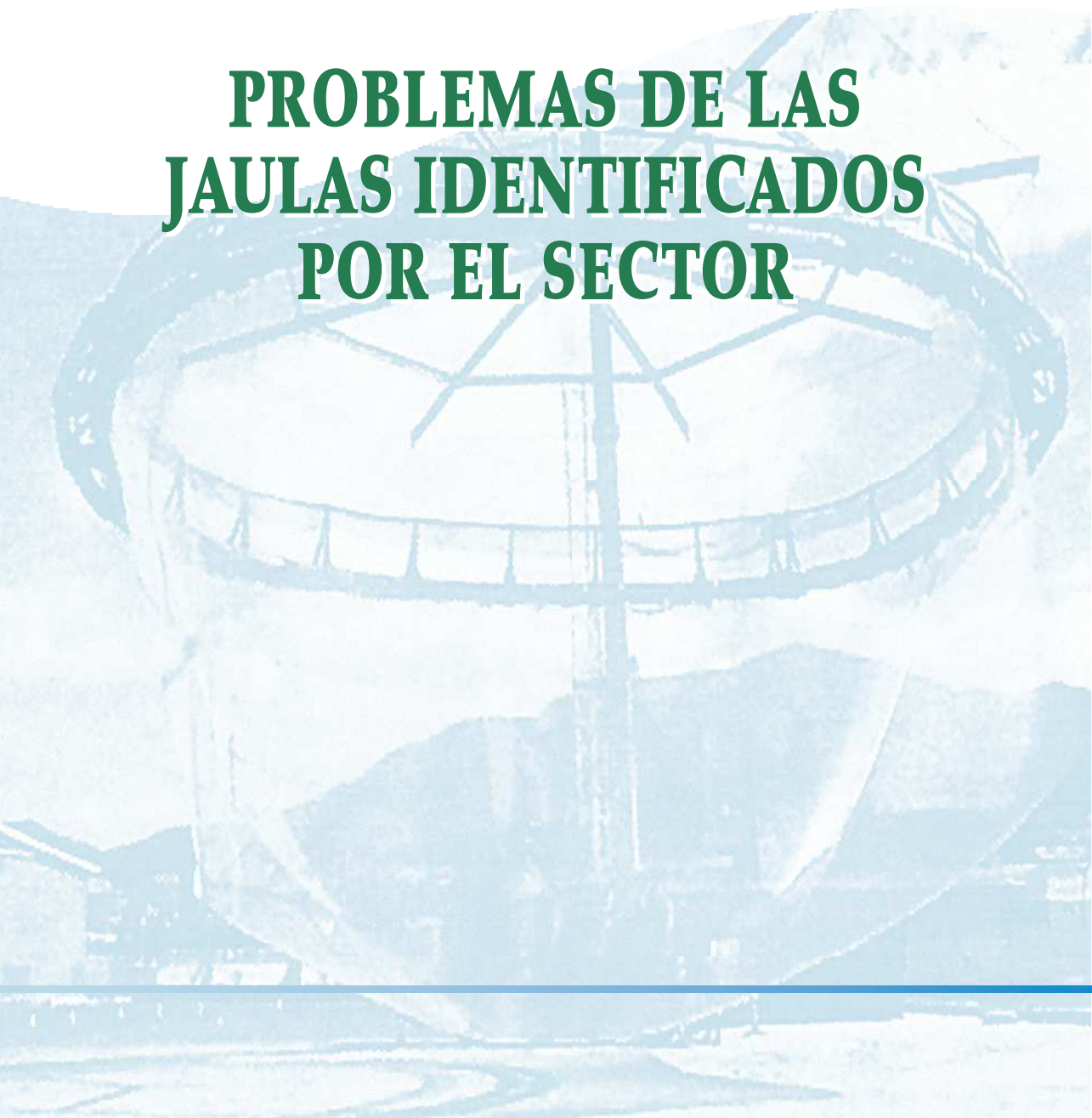
Todas las principales fases de la operación de la instalación deben tener instrucciones escritas que deben ser seguidas siempre y, por supuesto, consultadas en caso de duda. Todas ellas estarán recopiladas en el Manual de Operación de la planta.

Las actividades que deben ser documentadas en estas instrucciones son las siguientes:

- Evaluación de suministradores (piensos, alevines ... )
- Recepción de alevines antes del preengorde.
- Manejo de alevines y peces.
- Proceso del preengorde.
- Control de alevines antes de su traslado a las jaulas de engorde.
- Limpieza y mantenimiento de las jaulas y las redes.
- Cambio de redes.
- Clasificación.
- Alimentación.
- Despesque.
- Recogida de peces muertos.
- Vigilancia del sistema de fondeo.
- Limpieza del centro de procesado.
- Sistema de procesado.
- Sistema de transporte del producto final.

# 20

## **PROBLEMAS DE LAS JAULAS IDENTIFICADOS POR EL SECTOR**







## PROBLEMAS DE LAS JAULAS IDENTIFICADOS POR EL SECTOR

La «Spin off» Global Aquafish realizó una encuesta al sector productor de cultivos de peces en jaulas sobre los problemas que ellos encontraban en su «día a día». Los resultados en forma de posibles áreas de actuación se detallan a continuación:

- Resistencia de la estructura flotante frente a olas de alta frecuencia. La mayoría de las jaulas actuales están diseñadas para su ubicación en mares con una frecuencia baja de oleaje, pero no para el Mediterráneo.
- Mantenimiento de la forma de la red frente a corrientes fuertes. Es un problema que puede causar enfermedades en los peces debido al roce con la red, en los últimos diseños se ha mejorado considerablemente este aspecto con el aro de lastre.
- Transmisión de esfuerzos de las líneas de amarre de las jaulas a las de fondeo.
- Resistencia de la estructura flotante a los esfuerzos del fondeo: la barandilla de operación y los soportes de las barandillas.
- Resistencia de las gazas de los muertos y de las estachas.
- Protección «antifouling»: el fouling se presenta como uno de las causas de otros problemas como roturas, desgastes...
- Desgastes y corrosión en grilletes y cadenas.
- Pasillo de trabajo. Suelen ser estrechos e incómodos.
- Material redes (más resistencia sin perder flexibilidad). La introducción en el sector de nuevos materiales, como el Dyneema, podría resolver este problema.
- Posicionamiento de la instalación (pérdidas de tensión en temporales).
- Materiales de las estachas (pérdida elasticidad, estiramientos).





- La sujeción de los soportes verticales a los tubos de flotación suele dar problemas.
- El amarre de las boyas debería ser mejorado.
- Necesidad de ánodos de sacrificio.
- Pinturas anti-fouling en tubos de flotación y boyas.
- Evitar en la medida de lo posible los guardacabos, grilletes y piezas de unión auxiliares.

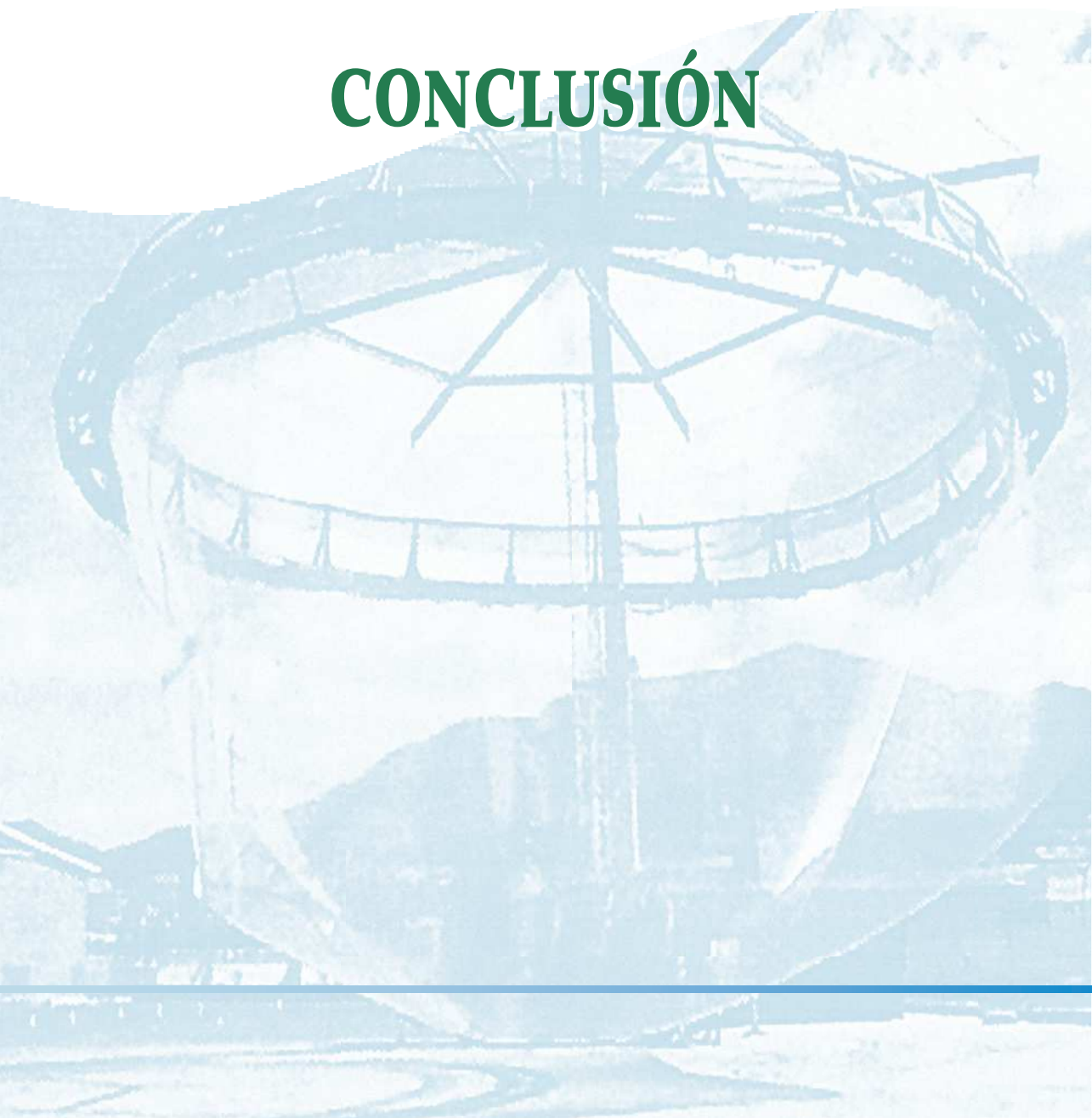
Algunos de estos problemas ya han sido resueltos pero otros aun son de urgente actualidad.

El camino para resolver de una vez los problemas de las instalaciones de jaulas podría ser un proyecto que desarrollase las siguientes fases:

- Actualizar la encuesta entre las empresas del sector para definir los problemas reales existentes y los puntos débiles de los diseños actuales.
- Estudio de los diseños existentes en el mercado para conocer el «estado del arte».
- Preparación de una especificación técnica de diseño donde se definan los parámetros principales.
- Realización de los cálculos clásicos de esfuerzos estáticos y dinámicos.
- Preparación de los planos de diseño.
- Cálculo por elementos finitos de la estructura.
- Homologación en Canal de Experiencias.
- Emisión de la especificación y los planos de fabricación.

# 21

## CONCLUSIÓN







## CONCLUSIÓN

La mejor conclusión es una lista de guías básicas para maximizar la probabilidad de éxito de las instalaciones de peces en el mar:

- Considerar muy cuidadosamente la definición de los requerimientos ya que influyen de forma importante en el funcionamiento, complejidad y coste del sistema. Hacer aproximaciones sucesivas para especificar, cuantificar, evaluar hasta que se considere el diseño aceptable...Anticipar problemas potenciales...
- Objetividad máxima en todas las decisiones. Las decisiones precipitadas conducen, muchas veces, a situaciones irreversibles o reversibles con un gran coste. Las buenas decisiones muchas veces implican efectos interactivos entre las especies a cultivar, el emplazamiento y el sistema de cultivo.
- Nunca forzar un sistema de cultivo en un emplazamiento «no adecuado».
- Considerar los requerimientos tanto a largo como a corto plazo.
- Ser especialmente «puntilloso» con la especificación de las condiciones ambientales. Con una infravaloración la probabilidad de fallo es alta y con una sobrevaloración el coste inicial puede ser inaceptable. Elegir siempre la combinación de la peor condición posible de todos los parámetros: viento, corrientes, olas, mareas...**NUNCA SUBESTIMAR LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA.**
- Considerar los niveles de biofouling en todos los componentes, las tasas de corrosión en las partes metálicas (elementos del fondo), el envejecimiento y los efectos del sol sobre las partes no metálicas (redes). Aplicar los oportunos coeficientes de seguridad a los valores calculados.



- Controlar el biofouling de las redes ya que reduce considerablemente la circulación del agua e incrementa las cargas sobre las estructuras de flotación con lo que aumenta las cargas ambientales.
- El biofouling tiene flotabilidad negativa por lo tanto la reserva de flotabilidad debe compensar este peso «extra» de todos los elementos en contacto con el agua.
- Evitar discontinuidades estructurales bruscas, tales como cambios rápidos de sección, rigidez y cargas direccionales haciendo transiciones graduales, en tanto sea posible, para evitar concentraciones de esfuerzos. Los fallos estructurales ocurren casi siempre en los puntos de concentración de esfuerzos.
- Usar factores de seguridad grandes en las juntas, conexiones y accesorios y sobre todo en la unión de los viveros y entre los componentes del sistema de fondeo.
- Asegurarse que el sistema de fondeo está calculado para el peor caso previsto. Ser especialmente conservativos con los cálculos de agarre del ancla o muerto en condiciones de tormenta ya que en estas circunstancias se puede reducir de forma importante la capacidad de agarre.
- Realizar el diseño del sistema de tal forma que un fallo único no provoque la pérdida de toda la instalación. Fallos continuos y sucesivos («en cascada») han sido frecuentes en los incidentes sufridos.
- Las infraestimaciones en los costes son debidas mas a componentes y servicios no considerados que a errores de cálculo.
- Considerar los procedimientos y prácticas de operación antes de completar el diseño. Es muy interesante obtener la opinión del personal de operación durante las fases de diseño y construcción. Asegurarse que todas las funciones de servicios se han tenido en cuenta en el diseño.
- La clave del bajo riesgo y del buen funcionamiento es la buena calidad del agua. Considerar el efecto sombra de los viveros de la primera fila en cuanto a circulación del agua. Ajustar la biomasa a las condiciones estacionales y anticiparse a las variaciones meteorológicas (veranos calientes, inviernos fríos). Si una instalación funciona bien, aumentar la biomasa aumenta el riesgo.



- Anticipar posibles fallos y preparar planes para minimizar las consecuencias. En particular un plan de emergencia para las tormentas fuertes debe ser previsto. Los equipos y suministros se deben obtener antes de la actuación.
- Definir responsabilidades y preparar procedimientos de toma de decisiones para las emergencias.
- Preparar procedimientos para los mantenimientos rutinarios, particularmente para las redes y los fondeos. Hacer inventario de los repuestos necesarios.





# REFERENCIAS

- BEAZ PALEO, J. D., 1997-2006. Texto asignatura «Ingeniería de los Cultivos Marinos» (presencial y virtual). Universidad Politécnica de Madrid. E. T. S. Ingenieros Navales.
- BEAZ PALEO, J. D., 1999 Marcultura: Proyectos I+D. XXXVI Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Cartagena.
- BEAZ PALEO, J. D., 2000 Marine Aquaculture in Spain: A present and future overview. University of Plymouth.
- BEAZ PALEO, J. D., 2000 Ingeniería de los Cultivos Marinos: una realidad en la ETSIN. Infomarine n.º 50.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 Ingeniería de los Cultivos Marinos: I+D en la ETSIN. Ocean III Millenium. Pontevedra.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 Cultivos en mar abierto: Entrando en el futuro. Madrid por la Ciencia. Madrid.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 Proyecto en mar abierto para engorde de dorada y lubina. VIII Congreso Nacional de Acuicultura. Santander.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 Offshore R&D activities in Madrid Naval Polytechnical University: Installation project, new cage and auxiliary platform designs. Aquaculture Europe. Trondheim (Noruega).
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 As novas tecnoloxías: Enxeñeiría dos Cultivos Mariños. IV Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura. O Grove.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 La Ingeniería de los Cultivos Marinos en la ETSIN: Realidades. I Semana de la Ciencia en la Comunidad de Madrid.
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 General Engineering aspects of B.F.T. farming. First International Symposium of Domestication of Thunnus Thynnus. Cartagena.
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 Offshore Aquaculture: R&D Engineering activities in Madrid Polytechnical University. World Aquaculture. Beijing (China).
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 Ingeniería de los Cultivos Marinos. Cursos de verano de la Universidad de Cantabria. Laredo.
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 Offshore Aquaculture in Spain: R&D engineering activities in Madrid Polytechnic University. 3<sup>rd</sup> International Congress on Maritime Technological Innovations and Research. Bilbao.



- BEAZ PALEO, J. D., 2002 Los Cultivos Marinos: situación actual y futuro, tipos de cultivos e instalaciones, especies, ingeniería y nuevas tecnologías. Cofradía de Pescadores de Celeiro.
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 La Acuicultura Marina: una nueva actividad para el Ingeniero Naval. Ingeniería Naval n.º 791.
- BEAZ PALEO, J. D., 2002 La Domesticación del Atún Rojo. Panorama Acuícola vol 7 n.º 6.
- BEAZ PALEO, J. D., 2003 Nuevas tendencias en la Ingeniería de los Cultivos Marinos. III Feria de los Cultivos Marinos. San Carles de la Rápita.
- BEAZ PALEO, J. D., 2003 Cultivos Marinos en España. Análisis pormenorizado de las principales especies e instalaciones. XLII Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Valencia.
- BEAZ PALEO, J. D., 2003 Ingeniería de los cultivos marinos. Seminario Acuicultura 2003, Alternativa Alimentaria. Bogotá.
- BEAZ PALEO, J. D., 2003 Nuevas tendencias en la ingeniería de cultivos marinos. Revista Ingeniería Naval n.º 804.
- BEAZ PALEO, J. D., 2003 Offshore Aquaculture in Spain: R&D Engineering activities in Madrid Polytechnical University. World Aquaculture.
- BEAZ PALEO, J. D., 2004 Instalaciones en el mar: aguas protegidas y mar abierto. Estructuras rígidas y flexibles. Master en Innovación, Tecnología de la Producción y Gestión Acuícola (MITGA). Illa de Arousa.
- BEAZ PALEO, J. D., 2004 Ingeniería de los Cultivos Marinos: proyectos de I+D+i. Master en Innovación, Tecnología de la Producción y Gestión Acuícola (MITGA). Illa de Arousa.
- BEAZ PALEO, J. D., 2004 Offshore cages (video session and discussion). CIHEAM Mediterranean Offshore Mariculture. Zaragoza.
- BEAZ PALEO, J. D., 2005 Aspectos prácticos de la Acuicultura Marina. Cámara de Comercio de Riohacha (Colombia). Riohacha.
- BEAZ PALEO, J. D., 2005 El sistema de contención: estrategias de contención e investigaciones sobre tratamientos antiincrustantes. Jornada Técnica de Ingeniería Naval: Acuicultura en Mar Abierto. Cádiz.
- BEAZ PALEO, J. D., 2005 The General Engineering Aspects of BFT farming. World Aquaculture 2005. Nusa Dua, Bali (Indonesia).
- BEAZ PALEO, J. D., 2006 Últimos proyectos de I+D en España y en la UE relacionados con la Ingeniería de los Cultivos Marinos. II Congreso Nacional de Acuicultura: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- BEAZ PALEO, J. D., 2007 Pasado, Presente y Futuro de la Ingeniería de los Cultivos Marinos en España. XI Congreso Nacional de Acuicultura. Vigo.
- BEN-EFRAIN, U., 1996 Marine Industries and Investment's Offshore Submarine Cage System Experience. Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine: 327-336.





- BESMAR, 2006 Análisis de la situación actual de las empresas de acuicultura en relación a la vulnerabilidad de los distintos tipos de jaulas o viveros marinos. Secretaría General de Pesca Marítima.
- BEVERIDGE, M., 2004 Cage Aquaculture (Third edition). Blackwell Publishing.
- BRIDGESTONE, Manual de instrucciones de jaulas flotantes de cultivo de peces.
- BUARO, J., 2003 The science of mooring fish farming plants. Haug Aqua.
- CABELLO, L., Production methods for offshore fish management. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 191-202.
- CHRISTENSEN, I., 2000 Nets for offshore mariculture. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 173-178.
- CORELSA, Manual de mantenimiento y control de una instalación de jaulas marinas.
- DE JUANES, J. M., Martín Almendro, C., 2002 Instalación de jaulas móviles para cultivo de peces planos. Proyecto Fin de Carrera.
- DE LA POMÉLIE, C., *et al.*, 2000 The experience of offshore fish farming in France. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 25-32.
- ESPINÓS GUTIÉRREZ, F. J., 2008 Acuicultura II. Producción de Especies Piscícolas y Continentales. Universidad politécnica de Valencia. Departamento de Ciencia Animal.
- FREDRIKSSON, D. W., *et al.*, 2004 The design and analysis of a four-cage grid mooring for open ocean aquaculture.
- GLOBAL AQUAFISH/UPM, 2004-2005 Sistema paramétrico de fondeo de jaulas de cultivo. SGPM (MAPYA).
- GLOBAL AQUAFISH, 2004-2005 Collective Research of Aquaculture Biofouling (CRAB). Unión Europea.
- GOSZ, M., *et al.*, 1996 Finite Element Modeling of Aquaculture Net-Pens. Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine: 523-542.
- HERRERA, M., *et al.*, 2003 Resultados preliminares sobre aclimatación y mantenimiento en cautividad de reproductores de lenguado (*Solea senegalensis*), parracho (*Scophthalmus rhombus*) y acedía (*Dicologlossa cuneata*) en el CICEM Agua del Pino, Huelva.
- HUGUENIN, J. E., 1997 The design, operations and economics of cage Aquaculture systems. Aquaculture Engineering 16 (1997): 167-203.
- HUGUENIN, J. E., and J. Colt, 1992 Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems.
- Instituto Español de Oceanografía, 2007 Reprodott. Reproducción del atún rojo en cautividad. Estudio de viabilidad para la domesticación de *Thunnus thynnus*.
- Internacional de Redes y Cuerdas (IRC), 2005 Manual de instrucciones de redes para viveros de acuicultura marina (<http://www.ircsa.com>)



- JIMÉNEZ, M. T., *et al.*, 2005 Revisión del cultivo de esciénidos en el mundo, con especial atención a la corvina *Argyrosomus regius* (Asso, 1801). Boletín del Instituto Español de Oceanografía 21 (1-4): 169-175.
- Junta de Andalucía, 2002 Experiencias de cultivo en mar abierto en Andalucía (CD).
- KERY, S., 1996 Mooring Issues Common in Most Types of Open Ocean Aquaculture. Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine: 297-326.
- LADER, P. F. *et al.*, 2001 Dynamic Behaviour of 3D Nets Exposed to Waves and Current. Proceedings of OMAE 2001. Río de Janeiro. OMAE01/OFT-1152.
- LADER, P. F. *et al.*, 2001 Modelling of Net Structures Exposed to 3D Waves and Current. Proceedings of OOA IV. St. Andrews. New Brunswick, Canada.
- LADER, P. F. *et al.*, 2003 Modelling of 3D Net Structures Exposed to Waves and Current. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology. Oxford, UK.
- LADER, P. F. *et al.*, 2005 Experimental Investigation of Forces and Geometry of a Net Cage in Uniform Flow. IEEE Journal of Oceanic Engineering. Vol 30. No. 1 (January 2005).
- LADER, P. F. *et al.*, 2006 Dynamic properties of a flexible net sheet in waves and current – A numerical approach. Aquaculture Engineering 35 (2006) 228-238.
- LEKAND, O. I., 2007 Aquaculture Engineering. Blackwell Publishing.
- LIEN, E., 1996 Flexible Mooring with Multiple Buoys. Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine: 93-106.
- MANCHADO, M., *et al.*, 2005 Pagurta, híbrido interespecífico de pargo *Pagrus pagrus* x hurta *Pagrus auriga*: caracterización fenotípica y molecular. Boletín del Instituto Español de Oceanografía 21 (1-4): 219-224.
- MEDAS 21, 2003 Manual de Jaulas de Cultivo.
- MUÑO, A., MOREU, M., ALÁEZ, J.A., 1987 Granja semi-rígida para aguas abiertas. XXVII Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Ingeniería Naval año 1988: 622- 639.
- MUIR, J.F., BASURCO, B., 2000 Conclusions. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 213-215.
- Ocean Spar Technologies, página Web.
- PAOLILLO, G., 2005 Prime indagini sull'allevamento di *Psetta maxima* in prototipi di gabbia sommergibili. Doctorato di ricerca in acquacoltura. Università degli studi di Napoli Federico II.
- QUINTAS & QUINTAS. Información de materiales.
- QUINTAS & QUINTAS. Web [www.quintasespana.com](http://www.quintasespana.com).
- SÁNCHEZ-LAMADRID, A., *et al.*, 2002 Cultivo del borriquete (*Plectorhynchus mediterraneus*).
- SINTEF. WEB [www.sintef.no](http://www.sintef.no)



- TURNER, R., 2000 Offshore mariculture: Site evaluation. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 141-157.
- TURNER, R., 2000 Offshore mariculture: Mooring system design. CIHEAM Mediterranean offshore mariculture: 159-178.
- WILLINSKY, M. D., and J. E. HUGUENIN, 1996 Conceptual, Engineering and Operational Frameworks for Submersible Cage Systems. Open Ocean Aquaculture. Proceedings of an International Conference. Portland, Maine: 41-92.





---

**A D. Rafael Valdés Pascual de Riquelme,  
un gran profesional de la informática,  
sin esta persona la difusión  
y publicación de todos mis trabajos  
no hubiese sido posible.**

**¡Muchas Gracias!**

---



