

# Ingeniería de la Acuicultura Marina



Instalaciones en tierra

JOSÉ DANIEL BEAZ PALEO



---

# Ingeniería de la Acuicultura Marina

Instalaciones en tierra

JOSÉ DANIEL BEAZ PALEO

OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN

MADRID, 2007

---

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**



CONSEJO SUPERIOR  
DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS



© Editor Científico: Dr. Juan Espinosa de los Monteros

© CSIC

© José Daniel Beaz Paleo

ISBN: 978-84-00-08552-0

NIPO: 653-07-084-9

Depósito Legal: M-39491-2007

Realización: 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. HATCHERY DE MOLUSCOS: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS</b> .....	15
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>1.1. ESTUDIOS PREVIOS</b> .....	17
1.1.1. Estudio de viabilidad biológica .....	18
1.1.2. Identificación del emplazamiento .....	20
<b>1.2. PRIMERAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO</b> .....	24
1.2.1. Separata de la Dirección General de Costas .....	25
1.2.1.1. Memoria descriptiva de las instalaciones .....	27
1.2.1.2. Planos de las tuberías .....	28
1.2.1.3. Presupuesto de las instalaciones en el DPMT .....	28
1.2.1.4. Consideraciones de la aspiración y la descarga .....	28
1.2.1.5. Certificación catastral de los terrenos colindantes .....	28
1.2.1.6. Naturaleza de los vertidos .....	28
1.2.2. Solicitud de declaración de impacto ambiental .....	29
1.2.2.1. Introducción: declaración de intenciones .....	30
1.2.2.2. Descripción del proyecto .....	30
1.2.2.3. Alternativas consideradas para la obra civil y razones de la elección elegida .....	31
1.2.2.4. Elementos del medio ambiente que pueden verse afectados por este proyecto .....	31
1.2.2.5. Medidas previstas para evitar, reducir y compensar los efectos del proyecto sobre el medio ambiente .....	32
1.2.2.6. Resumen de los aspectos más importantes en relación con el medio ambiente .....	33
1.2.2.7. Conclusiones .....	33
1.2.2.8. Anexos .....	33



<b>1.3. MEMORIA DEL PROYECTO</b> .....	34
1.3.1. Introducción .....	34
1.3.2. Concepto.....	34
1.3.3. Consideraciones generales .....	34
1.3.3.1. Empresa u organismo promotor .....	34
1.3.3.2. El «porqué» del proyecto .....	35
1.3.3.3. Situación de la instalación .....	35
1.3.3.4. Descripción de las instalaciones .....	35
1.3.3.5. Justificación del emplazamiento .....	36
1.3.3.6. Elección de las especies .....	36
1.3.3.7. Plan de producción .....	36
1.3.4. Condiciones oceanográficas del emplazamiento.....	37
1.3.5. Interferencia con otros sectores .....	37
1.3.6. Mano de obra y equipos.....	37
<b>1.4. ESTUDIO DE MERCADO</b> .....	37
1.4.1. Introducción .....	37
1.4.2. Las almejas y su mercado.....	39
1.4.2.1. Mercado internacional .....	40
1.4.2.2. Mercado nacional .....	41
1.4.2.3. Los problemas del sector .....	41
1.4.2.4. Comercialización, demanda y precios .....	42
1.4.3. La ostra plana y su mercado .....	42
1.4.3.1. Mercado internacional .....	42
1.4.3.2. Producción nacional .....	43
1.4.3.3. Los problemas del sector .....	44
1.4.3.4. Comercialización, demanda y precio.....	45
1.4.4. Otras consideraciones .....	45
1.4.4.1. Necesidades del mercado .....	45
1.4.4.2. Estudio de la competencia nacional e internacional .....	46
1.4.4.3. Análisis de clientes .....	46



<b>1.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA</b> .....	46
1.5.1. Sistema de bombeo .....	47
1.5.2. Sistema de filtración .....	47
1.5.3. Sistema de calentamiento de agua .....	48
1.5.4. Sistema de esterilización .....	48
1.5.5. Sistema de aireación .....	49
1.5.6. Sistema para el almacenamiento de agua .....	49
1.5.7. Sistema de distribución de agua .....	49
1.5.8. Recipientes y tanques para el cultivo .....	49
1.5.9. Instalación para el cultivo de fitoplancton .....	50
<b>1.6. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....	51
1.6.1. Introducción .....	52
1.6.2. Primera inversión .....	52
1.6.2.1. Proyecto de la instalación .....	52
1.6.2.2. Compra del solar para la instalación .....	52
1.6.2.3. Realización del proyecto .....	53
1.6.2.4. Pagos para obtención de permisos y licencias .....	54
1.6.3. Costes de explotación .....	54
1.6.3.1. Suministros .....	54
1.6.3.2. Personal .....	54
1.6.3.3. Mantenimiento .....	55
1.6.3.4. Seguros e impuestos .....	55
1.6.4. Estimación de los ingresos .....	55
1.6.5. Gastos financieros .....	56
1.6.6. Amortizaciones .....	56
1.6.7. Análisis económico financiero .....	56
1.6.8. Conclusiones .....	57
<b>1.7. PLAN DE PRODUCCIÓN</b> .....	57
1.7.1. Introducción .....	57
1.7.2. Definición de las necesidades .....	58
1.7.3. Parámetros a considerar .....	61



1.7.4. Ciclos de producción .....	70
1.7.5. Dimensionamiento de la instalación.....	71
1.7.5.1. Progenitores.....	71
1.7.5.2. Dimensiones de los tanques de cultivo .....	72
1.7.5.3. Número de tanques para las fases de cultivo de moluscos .....	73
1.7.5.4. Cultivo de fitoplancton.....	74
1.7.5.4.1. <i>Introducción</i> .....	74
1.7.5.4.2. <i>Cálculo</i> .....	74
1.7.5.5. Necesidades de agua de mar.....	75
<b>1.8. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE DISEÑO.....</b>	<b>76</b>
1.8.1. Disposición general.....	76
1.8.1.1. Zona seca.....	77
1.8.1.2. Disposición de los tanques de almacenamiento .....	77
1.8.1.3. Zona húmeda. Disposición de los tanques de cultivo .....	79
1.8.2. Circuito de agua salada .....	81
1.8.2.1. Sistema de bombeo .....	81
1.8.2.1.1. <i>Cálculo de la potencia de las bombas y sus motores</i> .....	99
1.8.2.1.2. <i>Fallos de las bombas centrífugas y posibles causas</i> .....	105
1.8.2.2. Sistema de conducción, filtración y desagüe.....	107
1.8.2.2.1. <i>Tuberías forzadas</i> .....	107
1.8.2.2.2. <i>Canales abiertos</i> .....	114
1.8.2.2.3. <i>Tuberías de aspiración</i> .....	116
1.8.2.2.4. <i>Tanques de cabecera de almacenamiento</i> .....	116
1.8.2.2.5. <i>Tuberías y equipos aguas abajo de los tanques de cabecera</i> .....	117
1.8.2.2.6. <i>Diseño de las tuberías y cálculo de los diámetros de las mismas</i> .....	123
1.8.2.2.7. <i>Cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías</i> .....	124
1.8.2.2.8. <i>«Water Hammer»</i> .....	130
1.8.2.2.9. <i>Control de las incrustaciones («biofouling»)</i> .....	132
1.8.2.3. Sistema de esterilización.....	135
1.8.2.4. Sistema de calentamiento .....	136
1.8.2.5. Sistema de aireación .....	139
1.8.2.6. Tanques de cultivo.....	147
1.8.2.6.1. <i>Reproductores</i> .....	147



1.8.2.6.2. Larvas .....	147
1.8.2.6.3. Post larvas y semillas.....	148
1.8.2.7. Sistema de producción de microalgas.....	149
1.8.2.8. Sistema de decantación de residuos .....	154
1.8.3. Circuito de agua dulce.....	158
1.8.4. Suministro eléctrico.....	158
1.8.5. Sistema de instrumentación y control .....	159
<b>1.9. PLANOS DE DISPOSICIÓN GENERAL Y DE DETALLE .....</b>	<b>160</b>
<b>1.10. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO .....</b>	<b>160</b>
<b>2. HATCHERY DE PECES: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS .....</b>	<b>163</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>165</b>
<b>2.2. PLAN DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>166</b>
2.2.1. Parámetros a considerar .....	166
2.2.2. Dimensionamiento de la instalación.....	168
<b>2.3. REQUERIMIENTOS DE LAS FASES DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>169</b>
2.3.1. Cuarentena.....	169
2.3.2. Selección de los progenitores.....	170
2.3.3. Progenitores .....	170
2.3.4. Incubación .....	171
2.3.5. Fase larvaria.....	172
2.3.6. Fase post larvaria.....	173
2.3.7. Destete de los alevines.....	174
2.3.8. Pre engorde.....	174
2.3.9. Cultivo auxiliar de microalgas.....	176
2.3.9.1. Producción a nivel de laboratorio .....	176
2.3.9.2. Producción a nivel industrial .....	176
2.3.10. Cultivo auxiliar de rotífero .....	177
2.3.11. Cultivo auxiliar de Artemia.....	177
<b>2.4. ZONA HÚMEDA: TANQUES DE CULTIVO DE PECES .....</b>	<b>178</b>



<b>3. ENGORDE DE PECES: RODABALLO</b> .....	185
<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	187
<b>3.2. PROCESO DE CULTIVO</b> .....	187
3.2.1. Emplazamiento .....	187
3.2.2. Captación del agua del mar .....	191
3.2.3. Parámetros del engorde .....	191
3.2.4. Filtración en las instalaciones de engorde de rodaballo .....	194
3.2.5. Tanques de cultivo .....	194
3.2.6. Descarga de efluentes.....	197
<b>4. REFERENCIAS</b> .....	201

The image features a high-angle, aerial photograph of a coastal region. The land is characterized by a complex pattern of fields, roads, and natural terrain, rendered in shades of light blue and white. A prominent, wavy blue shape overlaps the top portion of the image, creating a layered effect. The word "INTRODUCCIÓN" is printed in a bold, dark green, serif font across the center of the image, positioned over the wavy blue area.

# INTRODUCCIÓN





# INTRODUCCIÓN

Las instalaciones en tierra fueron el «germen» de la acuicultura tanto marina como continental.

Si en los primeros tiempos todos los procesos se realizaban en tierra, con el desarrollo de la tecnología y la diversificación de ambientes llevó a cada una de las etapas de cultivo al medio más idóneo.

El engorde de la mayoría de las especies se centró en instalaciones en el mar, salvo los peces planos, y el resto de las etapas se mantuvo en tierra.

Actualmente las primeras etapas de cultivo, tanto en moluscos como en peces, se realizan en instalaciones en tierra. En el caso de los primeros hasta la obtención de semilla y en los segundos hasta el pre engorde de los alevines.

Los peces planos son una excepción ya que casi en su totalidad, y sobre todo en España, todos los procesos desde su eclosión hasta el engorde final se desarrollan en tierra. Este es el caso del rodaballo y el lenguado y, posiblemente, el salmonete en un futuro no muy lejano.

En este primer tomo del libro sobre la «Ingeniería de la Acuicultura Marina» se describirán estas instalaciones en tierra pero en volúmenes posteriores se estudiarán algunos de los procesos que antes se han citado para algunas especies que ya se empiezan a realizar en el mar, tal como el engorde de peces planos.

Tres son los capítulos de este tomo, dos claramente diferenciados y el otro como continuación y desarrollo del segundo.

Los primeros dos capítulos se centran en el diseño y características de las «hatcheries» de moluscos bivalvos y de peces por una razón fundamental: el tratamiento es bastante diferente aunque hay muchos aspectos comunes.



El último capítulo tratará muy específicamente de otro tipo de instalación en tierra: el engorde de rodaballo y otros peces planos.

La idea es que este trabajo sea ayuda y apoyo a cualquier persona que se enfrente con la preparación de un proyecto de este tipo y que le sirva de base para desarrollar su idea específica. Siempre es difícil empezar un proyecto pero si hay ya unos cimientos, 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.

# 1

## **HATCHERY DE MOLUSCOS: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS**





# 1

## HATCHERY DE MOLUSCOS: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

### INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se van a describir el diseño y las principales características, desde el punto de vista de la Ingeniería, de un criadero de moluscos bivalvos y a la vez se establecerán las bases de cualquier instalación de cultivos marinos en tierra.

El desarrollo será eminentemente práctico y además se ajustará a la legislación de la Comunidad Autónoma con mayor importancia en la cría de bivalvos: Galicia.

Las especies que se consideran son la almeja fina (*Venerupis decussatus*), la almeja babosa (*Venerupis pullastra*) y la ostra plana (*Ostrea edulis*). Pero otras especies similares tales como la almeja japonesa (*Venerupis japonica* o *Tapes philipinarum*) y la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) o el ostión u ostra portuguesa (*Crassostrea angulata*) pueden ser también criadas en la instalación que se va a describir. Otros bivalvos como la coquina (*Donax trunculus*) son perfectamente adaptables y de hecho se están cultivando en instalaciones similares.

Incluso se puede decir, basándose en la experiencia adquirida, que este diseño podría ser válido para otras especies cercanas tanto de almeja como de ostra de otros mares lejanos tales como la ostra americana (*Crassostrea virginica*), otras especies del género *Donax* y, probablemente, ostras perlíferas.

A continuación ya se desarrollan los capítulos específicos de un proyecto real y que puede ser llevado a la práctica.

### 1.1. ESTUDIOS PREVIOS

Dos aspectos básicos para el éxito del proyecto tienen que ser estudiados y analizados antes de cualquier otra actividad: la elección



de la especie o especies a cultivar y la identificación del emplazamiento.

A continuación se detalla el contenido de cada uno de estos capítulos.

### 1.1.1. Estudio de viabilidad biológica

Normalmente para elegir las especies a cultivar es vital realizar un estudio de mercado y verificar la rentabilidad económica del proyecto. En este caso no es necesario porque este criadero estará dedicado a producir semilla de almeja y ostra para rentabilizar las actuales playas marisqueras de Galicia, y estas especies tienen siempre un mercado asegurado.

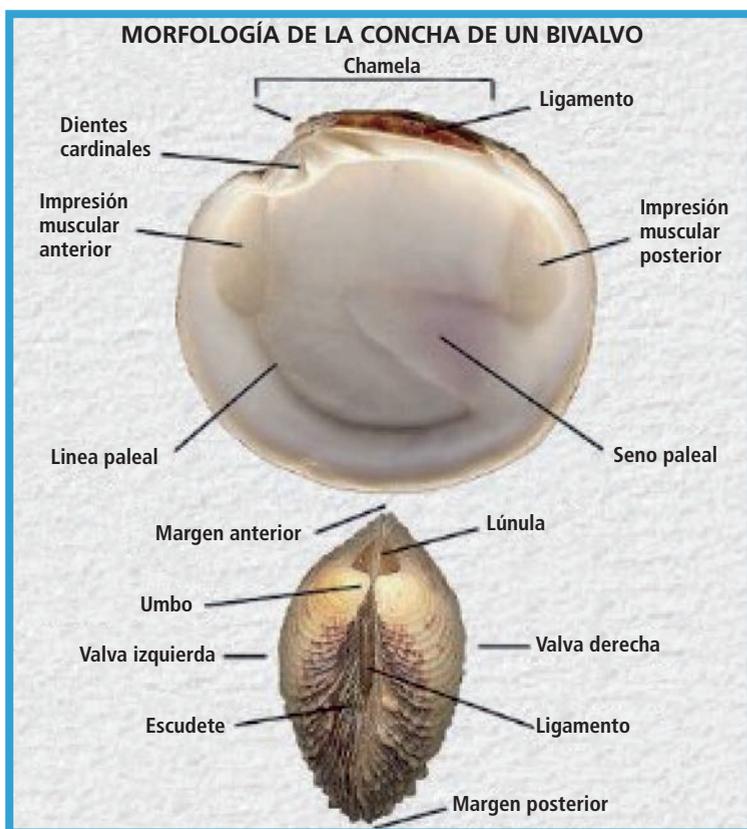
Una vez elegidas, en primer lugar se debe hacer una **introducción** genérica centrandose en las especies a cultivar dentro del reino animal. En este caso se puede hablar de la clase de los bivalvos en general y luego particularizar describiendo las principales características de las almejas fina y babosa y de la ostra plana.

Dentro de los aspectos generales se deben incluir detalles de su **hábitat** (playas, rocas, zona intermareal...), de su **morfología** (descripción de la concha y sus materiales, de sus valvas, de cada una de sus partes tanto del cuerpo interior como del exterior...adjuntando alguna figura ilustrativa tal como la 1.1) y de sus **sistemas vitales** tales como el **digestivo**, el **respiratorio**, el **circulatorio**, el **nervioso y sensorial** y el **reproductor** con una breve descripción de sus partes (estómago, intestino, sifones, corazón, ganglios, gónadas, fases larvarias...).

Entrando ya en las particularidades de cada una de las especies a cultivar es conveniente describir sus detalles más significativos y diferenciales, incluyendo una buena imagen de cada una de ellas, tales como las figuras 1.2 (almeja fina), 1.3 (almeja babosa) y 1.4 (ostra plana).

Entre los detalles más significativos se debe incluir información detallada sobre sus zonas de vida, sus parámetros ambientales naturales, su reproducción, su alimentación...

Entre los detalles diferenciales es interesante identificar como se conocen las especies más parecidas. Por ejemplo las almejas fina y



**FIGURA 1.1.**  
Partes de un  
molusco bivalvo  
(Global Aquafish).



**FIGURA 1.2.**  
Almeja fina.

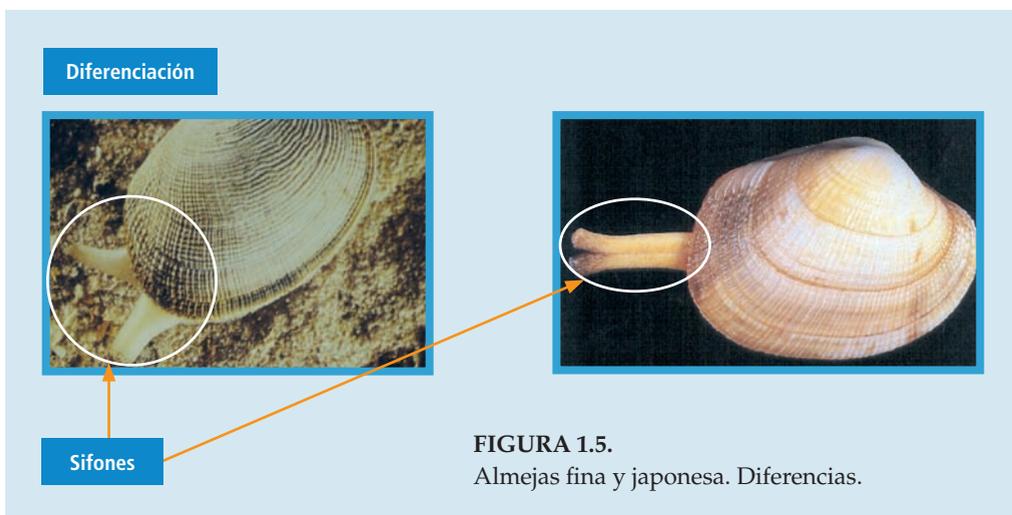


**FIGURA 1.3.**  
Almeja babosa.



**FIGURA 1.4.**  
Ostra plana.

babosa se pueden diferenciar por la soldadura de los sifones, por su contorno y por la rugosidad exterior de su concha. La figura 1.5 ilustra alguna de estas diferencias.



Y como último apartado del estudio biológico se debe hacer un pequeño informe sobre las enfermedades que afectan a las almejas y a las ostras así como las medidas preventivas que se deben tomar y los remedios que se pueden aplicar (vacunas, probióticos...).

Esta parte del proyecto es recomendable que sea realizada por expertos del sector de reconocida valía.

En los criaderos de bivalvos se deben investigar especies que aunque conocidas no tienen aun un desarrollo a nivel industrial tales como la vieira, la zamburiña, la coquina, la navaja (sus tres especies). Sus características biológicas también pueden ser incluidas.

### 1.1.2. Identificación del emplazamiento

Después de la elección de las especies que se van a cultivar, que en principio es lo más importante, la identificación del emplazamiento es fundamental. La primera condición que debe cumplir es que debe ser una zona en donde naturalmente existan los seres que se van a criar.

Otras características, sino tan importantes, pero si fundamentales son las legislativas, técnicas, medioambientales y sociales.

En primer lugar, y desde el punto de vista legislativo, hay que huir de espacios protegidos, reservas naturales o zonas sensibles medioambientalmente, como son las incluidas en «Red Natura», ya que en



principio las exigencias serán mucho más severas e incluso a veces difíciles o imposibles de cumplir. Este punto es muy importante porque el esfuerzo económico que supone, ya en la fase de proyecto, para lograr su aprobación (como luego veremos), como en la fase de operación de la instalación, por el seguimiento y la vigilancia que hay que hacer durante el funcionamiento, podría hacer inviable la rentabilidad del proyecto.

En segundo lugar, y desde la óptica medioambiental, hay que hacer un estudio muy profundo para evitar no solo los vertidos industriales y fecales, imposibles de paliar, sino también los caudales excesivos de aguas dulces que pueden arruinar la producción de la factoría. La toma de agua debe realizarse a profundidad suficiente (mas de tres metros en marea viva baja) en zonas de aguas lo mas saladas posibles y la descarga no debe interferir con la aspiración y debe ser en una zona de alta dispersión (**Regla de Oro**).

Y en tercer lugar, y no es el menos importante, hay que considerar los aspectos sociales que el proyecto debe tratar con sumo cuidado: no interferir con intereses pesqueros o marisqueros, no invadir áreas del sector turístico, no impedir otros desarrollos industriales que puedan ser prioritarios para la comarca, no alterar costumbres o tradiciones ancestrales, no afectar a la vida normal y habitual de los vecinos...

**Otra Regla de Oro** para elegir un buen emplazamiento es el contacto directo con las gentes del mar de la zona, mariscadoras/es y pescadores con amplia experiencia (incluso mejor jubilados), ya que ellos son los que mejor conocen el terreno y las características ambientales e hidrodinámicas. Simplemente hay que preguntar: Necesitamos un lugar que cumpla con las condiciones antes mencionadas... ¿Dónde lo hay?...Ellos son los que más saben de **su mar**, ni los biólogos, ni los científicos, ni los ingenieros (con perdón de todos)...Este trabajo de campo es quizás el más importante del proyecto, el que casi asegura el éxito.

Una vez sentadas estas premisas básicas, a continuación se expone un esquema de lo que este capítulo debe contener considerando lo ya comentado:

- **Situación:** destacar los siguientes aspectos.
  - i. Descripción detallada de la *ubicación a nivel regional, provincial y local* con imágenes de la zona, población y carac-



terísticas sociales e industriales así como los lindes naturales (adjuntar detalles similares a la figura 1.6).

- ii. *Vías de comunicación*: carreteras, autopistas y accesos a los principales centros de distribución y comercialización.
- iii. *Centros de investigación*: definir los organismos que pueden auxiliar a la instalación en caso de emergencia.
- iv. Otras instalaciones: experiencia de otras granjas en las proximidades.

- **Características geográficas y climáticas:** desarrollar los puntos siguientes.

- v. *Naturaleza del terreno y sus alrededores.*

- vi. *Clima de la zona.*

- vii. *Aportes de agua dulce.*

- viii. *Parámetros ambientales de la zona marítima:* temperatura, salinidad (> 1.020 – 1.035), PH (entre 6,75 y 9), clorofila, sólidos en suspensión (< 1 gr. / l)...Un certificado de un organismo oficial con la serie histórica de los últimos años es muy conveniente para cubrir este apartado.

- **Circunstancias socio-económicas:**

- ix. Estructura económica.

- x. Actividades marítimas: pesca y marisqueo.

- xi. Actividades industriales.

- xii. Servicios y comercio.

- **Población.**

**FIGURA 1.6.**  
Situación geográfica  
(Global Aquafish).





A continuación se esquematizan una serie de factores para la elección del emplazamiento relacionados con los **aspectos técnicos** sin incluir los sociales, políticos, legales y económicos ya tratados anteriormente.

#### FACTORES METEREOLÓGICOS

- Vientos: direcciones predominantes, velocidades, variaciones estacionales.
- Intensidades de las tormentas y frecuencias.
- Intensidad de la energía solar y fotoperíodo.
- Temperatura del aire y sus variaciones.
- Humedad relativa y sus variaciones.
- Precipitaciones: cantidad y distribución anual.

#### FACTORES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

- Actividades desarrolladas en la cuenca vertiente.
- Régimen hídrico y precipitaciones.
- Tipo y continuidad de la cubierta vegetal.
- Información histórica de las crecidas.
- Sucesos extraordinarios.

#### FACTORES LOCALES

- Características del área. Elevaciones y distancias.
- Acuíferos: profundidades y calidad. Disponibilidad de agua subterránea.
- Mareas: rangos, variaciones estacionales y variación con las tormentas y frecuencia de las mismas.
- Olas: altura (media, máxima histórica...), amplitud, frecuencia, longitud, dirección dominante y variaciones estacionales y con las tormentas y sus frecuencias. Estos datos son muy importantes para dimensionar las estructuras que deben soportar los embates del mar: conductos de aspiración y descarga, foso de bombeo, talud expuesto al mar (granjas en mar abierto).
- Corrientes costeras: magnitud, dirección y variaciones estacionales. Estas corrientes pueden acercar aguas contaminadas o sólidos en suspensión en el peor de los casos o nutrientes beneficiosos para la instalación.



- Instalaciones existentes y sus características.
- Accesibilidad.
- Historia del emplazamiento: usos anteriores y experiencias.

### FACTORES DEL SUELO

- Fertilidad, tipo del suelo, perfil y características del subsuelo. Estos datos indican la pérdida de usos potenciales del suelo por la instalación de la piscifactoría y que deben ser contemplados en el informe de impacto ambiental.
- Permeabilidad hidráulica.
- Topografía y distribución de los tipos de suelo.
- Tamaño de las partículas y forma.
- Poblaciones microbiológicas.
- Otros contaminantes: herbicidas, pesticidas, metales pesados...

### FACTORES MEDIOAMBIENTALES BIOLÓGICOS

- Productividad primaria. Actividad fotosintética.
- Ecología local: número de niveles tróficos, especies dominantes...
- Poblaciones silvestres.
- Depredadores: tierra, agua y aire.
- Enfermedades endémicas y parásitos.

Actualmente es muy importante tener en cuenta también las limitaciones de tipo político, económico y social. Las primeras son fundamentales porque las Comunidades Autónomas están definiendo ya las zonas aptas para la instalación de Parques Acuícolas y fuera de ellas no se podrán instalar.

Otro tema importante es asegurar la propiedad de los terrenos elegidos porque a veces, por múltiples razones, no es posible la adquisición de los mismos o su precio puede hacerlos inviables económicamente.

## 1.2. PRIMERAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Al planificar el desarrollo de un proyecto es vital conocer aquellos aspectos y capítulos que necesitan más tiempo para su aceptación por los organismos competentes debido sobre todo a que necesitan ser evaluados por varios departamentos de entidades de gobierno diferentes.



Evidentemente estos documentos deben ser preparados y presentados en primer lugar para ganar tiempo y tratar de obtener su aprobación lo antes posible y que no impacten negativamente en los plazos que deben estar establecidos por la entidad que quiere llevar el proyecto a cabo.

En este capítulo se van a describir las actividades que deben ser realizadas en primer lugar, dado que su aceptación depende de dos organismos con competencias separadas tales como los Gobiernos Autónomos y el Gobierno Central. Este estudio es recomendable que se incorpore en un documento independiente del proyecto ya que será analizado por otras organizaciones tal como se ha comentado.

Este mismo tratamiento debe ser dado a la documentación relacionada con medio ambiente ya que al ser un tema de suma importancia y en el que intervienen muchos departamentos, su tratamiento también suele alargarse.

### 1.2.1. Separata para la Dirección General de Costas

Este documento es el primero que debe prepararse ya que debe ser analizado por la Dirección General de Costas, tanto en la Comunidad Autónoma como en el Ministerio de Medio Ambiente en Madrid, para establecer el canon correspondiente a la ocupación de espacios en el Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT).

Los terrenos de este espacio son propiedad del Estado y están sujetos a un régimen jurídico especial que otorga a la Administración Central facultades a favor de su protección y conservación.

Las zonas consideradas como DPMT se esquematizan a continuación:

- **Ribera del mar:** zonas de playa, albuferas, y los terrenos costeros hasta el lugar alcanzado por el mar en marea alta viva o hasta donde lleguen las olas de los mayores temporales conocidos. Se incluyen los márgenes de ríos y rías hasta donde sea sensible el efecto de las mareas, el mar territorial y las aguas interiores.
- **Recursos naturales de la zona económica y de la plataforma continental:** terrenos ganados al mar como consecuencia de obras, terrenos invadidos por el mar, acantilados sensiblemente



verticales, islotes y terrenos adquiridos por el Estado para su incorporación al DPMT.

Dentro de la zona de DPMT queda excluida la posibilidad de que existan propiedades privadas y la ley establece que son terrenos **inalienables, imprescriptibles** (no pueden ser adquiridos por un particular para su uso continuado) e **inembargables**.

También la ley establece que «únicamente se podrá permitir la ocupación del DPMT para aquellas actividades o instalaciones que, por su naturaleza, no puedan tener otra ubicación». Para dicha utilización del DPMT es necesaria la autorización de la administración central que se realizará en el caso de ser un particular el que la solicita en forma de concesión, normalmente de 30 años, y por la que hay que pagar anualmente un canon de ocupación en función de la superficie de terreno utilizado.

También la ley establece limitaciones al uso de las zonas colindantes al DPMT, **zonas de servidumbre**, de las cuales existen tres tipos:

- **Servidumbre de tránsito:** franja de terreno de seis metros (ampliable a 20 en zonas de tránsito difícil o peligroso), medidos desde la ribera del mar, que debe quedar siempre libre para el tránsito peatonal y para vehículos de vigilancia y salvamento.
- **Servidumbre de acceso al mar:** terrenos colindantes al mar de tal modo que se permita el acceso al DPMT desde el interior.
- **Servidumbre de protección:** franja de 100 metros. Ampliable a 200, medida desde la ribera del mar. En zonas que fueran urbanas o urbanizables al entrar en vigor la Ley podrá ser de 20 metros.

Después de leer la Ley se pueden establecer una serie de conclusiones importantes:

- La instalación debe ocupar la menor superficie posible de la zona de DPMT y de la franja de servidumbre para facilitar la concesión de ocupación y minimizar los cánones anuales.
- Las tuberías de aspiración y descarga tienen que atravesar la zona de DPMT y de servidumbre, pero esta posibilidad ya la contempla la ley al ser actividades que no pueden tener otra ubicación.

Además de estas zonas ya mencionadas existen otras zonas de protección tales como las reservas naturales, los parques naturales o las



zonas de «Red Natura» en las que es imposible (reservas y parques naturales) o muy difícil la obtención de la concesión y por lo tanto se deben tratar de evitar para la elección del emplazamiento.

En la primera página y antes del índice debe figurar claramente la siguiente declaración de intenciones sin la cual no será aceptado:

### **DECLARACIÓN EXPRESA**

**ESTE PROYECTO CUMPLE TODOS LOS REQUISITOS DEL ARTÍCULO 44.7 DE LA LEY DE COSTAS Y ADEMÁS LA ENTIDAD PROPIETARIA (nombre de la entidad) SE COMPROMETE A SATISFACERLOS PLENAMENTE.**

Este documento debe incorporar los capítulos siguientes:

#### **1.2.1.1. Memoria descriptiva de las instalaciones**

Esta memoria es, realmente, el primer capítulo del proyecto que debe ser complementado por una serie de documentos, que a continuación se esquematizan, para satisfacer los requerimientos del Artículo 150 del Reglamento General para el Desarrollo y la ejecución de la Ley 22/1988 (R. D. 1471/1989) con el objetivo de emitir el correspondiente informe favorable.

- Plano de deslinde a escala 1:1000 en el que se muestra la zona objeto de actuación, la delimitación del DPMT y los límites de las zonas de Servidumbre de Protección y Tránsito.
- Informe con los equipos, tuberías y obras que se instalen en el DPMT. En este informe se deben incluir la situación y dimensiones del pozo de bombas, de las tuberías de aspiración y descarga, de las zanjas que se van a realizar para enterrar estas tuberías y cualquier otra obra o actuación que se realice en el DPMT.
- Planos del resto de las edificaciones con las correspondientes cotas y situación para verificar que están fuera de la zona de 20 metros, medidos desde la línea de deslinde del DPMT. Los planos de planta de las instalaciones se deben realizar sobre el plano oficial de deslinde diligenciado por la Jefatura Provincial de Costas.



- Plano de planta y carta náutica u otra representación cartográfica, con coordenadas y batimetría.
- Resumen de las superficies ocupadas en la demarcación del DPMT: tuberías, lastres de fondo, pozo de bombas, bombas de aspiración...

### 1.2.1.2. Planos de las tuberías

Se deben adjuntar los planos de planta y perfil longitudinal de las tuberías de aspiración y descarga y la sección de enterramiento con su recubrimiento, incluyendo las cotas correspondientes y las cotas de nivel y batimétricas.

### 1.2.1.3. Presupuesto de las instalaciones en el DPMT

Se debe adjuntar un presupuesto muy detallado tanto de las tuberías de aspiración y descarga como de las bombas y su pozo de instalación así como de todas las obras y equipos auxiliares que se instalen dentro del DPMT.

En el presupuesto debe figurar el número de unidades, el precio por unidad o metro cúbico o lineal, el coste total y una descripción muy detallada del concepto.

Estas tablas deben incluir conceptos tales como: Excavación de tierras y transporte al vertedero, suministro y colocación de tuberías, relleno de las zanjas...

### 1.2.1.4. Coordenadas de la aspiración y la descarga

### 1.2.1.5. Certificación catastral de los terrenos colindantes

La obtención de este documento es responsabilidad del Servicio de Costas ya que al ser un ente oficial tiene acceso al catastro de los terrenos colindantes.

### 1.2.1.6. Naturaleza de los vertidos

Se debe preparar un Informe Técnico cuyo alcance podría ser el esquematizado a continuación:

- *Antecedentes*: es un requerimiento de la legislación de las Comunidades Autónomas.



- *Búsqueda de datos*: esta fase del trabajo es importante porque si se obtienen datos de instalaciones similares y estos son satisfactorios el informe ya estaría completado. En el caso de moluscos bivalvos no existen estos datos pero la opinión de los expertos consultados fue unánime: el agua de los vertidos es de calidad superior a la de entrada debido a los procesos intensos de filtración, esterilización y decantación.
- *Cultivo absolutamente natural*: durante todas las fases larvarias y post larvarias su alimentación se hace a base de microalgas como en la naturaleza por lo tanto sus residuos son absolutamente naturales iguales a los de sus hermanas criadas en las playas.
- *Repoblación*: el objetivo de las «hatcheries» de moluscos bivalvos es la repoblación de las playas por lo tanto la semilla cuando crezca va a producir más residuos que serán absorbidos por la naturaleza.
- *Dispersión natural*: si el emplazamiento ha sido bien elegido la zona de la tubería de descarga debe tener grandes movimientos de agua que facilitan la dispersión natural.
- *Conclusiones*.

Para la preparación de esta separata ya es necesaria la realización de algunos capítulos del proyecto que se definirán a continuación, tales como la memoria del proyecto, planos de las instalaciones, sistema de aspiración y descarga y otros parámetros que se requieren.

### 1.2.2. Solicitud de la declaración de impacto ambiental

La solicitud debe dirigirse a la Consejería de Pesca de la Comunidad Autónoma correspondiente que la remite a la Consejería de Medio Ambiente.

La legislación europea aplicable que señala los pasos a seguir en este procedimiento es la siguiente:

- Directiva 85/337/CEE, de 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 97/11/CEE, de 3 de marzo de 1997, que modifica la Directiva anterior.



El contenido de este documento para la solicitud podría ser el siguiente:

### 1.2.2.1. Introducción: declaración de intenciones

### 1.2.2.2. Descripción del proyecto

En este apartado se describe el alcance del proyecto desde un punto de vista de influencia sobre el medio ambiente:

- *Concepto de «hatchery»*: instalación para la reproducción y cría de las fases larvarias teniendo como objetivo final la obtención, en este caso, de la semilla de moluscos bivalvos.
- *Emplazamiento*: descripción detallada de la situación de la instalación, incluyendo coordenadas UTM y fotos del entorno tales como las de la figura 1.7.
- *Características físicas del proyecto y exigencias en materia de utilización del suelo durante la construcción y operación de la instalación*. En este apartado se deben incluir los temas siguientes:
  - i. Disposición general.
  - ii. Zona seca.
  - iii. Tanques exteriores de almacenamiento.
  - iv. Zona húmeda: disposición de los tanques de cultivo.
  - v. Sistema de agua salada.
  - vi. Sistema de agua dulce.
  - vii. Sistema de filtración.
  - viii. Sistema de calentamiento.



**FIGURA 1.7.**  
Emplazamiento.



- *Características de los procedimientos de fabricación y materiales utilizados:* se deben incluir detalles de la obra civil tales como cimentación, pavimentación, estructura del edificio, cerramiento exterior, puertas, carpintería interior, cierres exteriores...
- *Residuos y emisiones previstos:*
  - i. Contaminación del agua.
  - ii. Contaminación del aire.
  - iii. Contaminación del suelo.
  - iv. Ruido.
  - v. Vibración.
  - vi. Luz.
  - vii. Calor.
  - viii. Radiación.

#### 1.2.2.3. Alternativas consideradas para la obra civil y razones de la elección elegida

- Alternativas examinadas.
- Razones de la elección elegida: examinar opciones de la aspiración y descarga, situación de las bombas de aspiración, planes futuros de la instalación...

#### 1.2.2.4. Elementos del medio ambiente que pueden verse afectados con este proyecto

En esta sección se describirá la posible interacción entre los elementos medioambientales y los diferentes procesos que se realizan en el criadero. A continuación se esquematizan varios aspectos que deben ser considerados:

- *Factores hidráulicos y climáticos:* se deben tener en cuenta detalles como el caudal de bombeo, hidrodinámica de la zona, contaminación térmica, método de esterilización...
- *Medio acústico:* ruidos y vibraciones.
- *El aire:* emisiones por combustión del gasóleo.
- *El agua:* la alimentación natural, los productos químicos de limpieza y desinfección y los microorganismos patógenos son algunos de los temas de se deben tratar. Ver informe de vertidos (párrafo 1.2.1.6).



- *El suelo*: el único posible contaminante es el gasóleo. Medidas de seguridad.
- *Los sedimentos*: escasa carga contaminante de materia orgánica. Ver informe de vertidos (párrafo 1.2.1.6).
- *Flora y fauna*: bosques, especies alóctonas y autóctonas, mínima aportación de nutrientes y materia orgánica...
- *Áreas protegidas*.
- *Patrimonio cultural*.
- *Paisaje y áreas recreativas*: impacto visual y turismo (acompañar fotos en las que se aprecie el escaso o nulo interés turístico de la zona como la figura 1.8).
- *Aspectos sociales y económicos*: creación de puestos de trabajo, incremento de la producción de los bancos marisqueros...



**FIGURA 1.8.**  
Playa de la Arnela.

### 1.2.2.5. Medidas previstas para evitar, reducir y compensar los efectos del proyecto sobre el medio ambiente

- *Pre engorde en batea*: reducción de las dimensiones del criadero.
- *Esterilización*: ultravioleta frente a ozonización.
- *Utilización de productos químicos*: solos los autorizados por la normativa vigente.
- *Repoblación de la zona con especies de árboles autóctonos*.



- *Mejorar la gestión operacional y la gestión de residuos.*
- *Aumentar las inversiones en formación, investigación y desarrollo.*
- *Consultoría y seguimiento del proyecto.*

#### 1.2.2.6. Resumen de los aspectos más importantes en relación con el medio ambiente

- Tomas de aspiración y descarga separadas y muy lejanas.
- Aspiración en la zona de agua más salada.
- Descarga en la zona de mayor movimiento de agua para facilitar la dispersión.
- Instalación de las bombas de aspiración muy cercana tanto a la zona de aspiración como a los tanques de cabecera.
- Diseño de la instalación de tal forma que el agua puede llegar a su lugar de utilización por gravedad.
- Margen de seguridad en el diseño del almacenamiento y manejo del agua para resistir, al menos, cinco días sin aporte exterior.
- Duplicidad de todos los servicios y equipos para asegurar la operación de la planta en condiciones de emergencia y facilitar la limpieza de todos los componentes.
- Diseño inteligente para lograr que los suministros y el lugar o equipos que los necesiten estén próximos.
- No hay efectos negativos significativos sobre el medio terrestre y marino.
- Compatibilidad con el ecosistema de la zona, el turismo y la población del área.
- Cultivo de especies autóctonas.

#### 1.2.2.7. Conclusión

#### 1.2.2.8. Anexos

- Plano de planta general.
- Plano de disposición general.
- Esquema del diagrama de flujo.

Una vez analizado este informe la Consejería de Medio Ambiente resuelve el expediente dictaminando una de las tres opciones siguientes:



- **No declaración:** no hay que aportar más documentación. Este caso es el más normal cuando se trata de moluscos bivalvos, salvo que el proyecto se haya ubicado en zonas de Red Natura o en áreas especialmente sensibles desde el punto de vista medioambiental.
- **Estudio de efectos ambientales:** en este caso es necesario ampliar el documento ya presentado pero suele ser suficiente un trabajo de gabinete sin que sea necesario un trabajo de campo.
- **Estudio de Impacto Ambiental:** se necesita realizar un trabajo de campo detallado y exhaustivo tal como se expondrá en el volumen cinco de este trabajo, cuando se traten los aspectos medioambientales de la Acuicultura Marina.

### 1.3. MEMORIA DEL PROYECTO

Este resumen general del proyecto es muy interesante porque por una parte nos servirá de esquema a seguir y por otra será lo que se suele llamar «Memoria Ejecutiva» que es normalmente leída por los directivos de más alto nivel.

Uno de sus posibles esquemas se detalla a continuación:

#### 1.3.1. Introducción

En este primer capítulo se puede destacar la importancia de la acuicultura, el interés empresarial creciente y las recomendaciones de Congresos o Seminarios sobre la importancia de desarrollar este tipo de instalaciones.

#### 1.3.2. Concepto

Además de la definición se pueden destacar en este capítulo la importancia del manejo del agua y de la infraestructura de una forma general.

#### 1.3.3. Consideraciones generales

##### 1.3.3.1. Empresa u organismo promotor

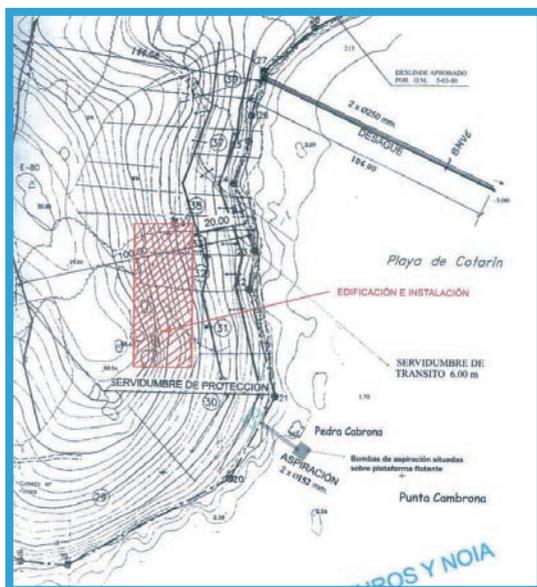


### 1.3.3.2. El «porqué» del proyecto

Las razones que avalan el proyecto deben ser detalladas: nulo impacto ambiental, condiciones oceanográficas idóneas, déficit de semilla de moluscos, repoblación de los bancos marisqueros para aumentar su rendimiento, alta rentabilidad, facilidad de operación, creación de empleo...

### 1.3.3.3. Situación de la instalación

Entre otros deben ser incluidos los siguientes detalles: ubicación exacta, extensión, accesos, lindes, propiedad y una imagen semejante a la figura 1.9.



**FIGURA 1.9.**  
Situación  
instalación  
(Global Aquafish).

### 1.3.3.4. Descripción de las instalaciones

De una forma general y esquemática se deben citar los componentes y sistemas que se instalarán tanto en la zona de DPMT como en la finca adquirida: emisarios de aspiración y descarga, bombas de aspiración, tanques de almacenamiento, filtros, esterilizadores, calentadores, bandejas y tanques para el cultivo, área para el cultivo de fitoplancton, laboratorios...

### 1.3.3.5. Justificación del emplazamiento

Se deben esquematizar las razones de la elección del emplazamiento: aguas limpias, adecuada hidrodinámica que facilita la dispersión, no contaminación externa, no recursos pesqueros importantes, no interferencia con otros sectores, buenas comunicaciones...

### 1.3.3.6. Elección de las especies

Destacar la gran importancia social y comercial de las especies elegidas dado que pueden incrementar de forma considerable la producción de los bancos marisqueros y además la tecnología a emplear en la instalación está totalmente desarrollada y la zona es ideal para el cultivo de las especies elegidas (Figura 1.10).



**FIGURA 1.10.**  
Almejas (fina y babosa) y ostra plana.

### 1.3.3.7. Plan de producción

Este es uno de los documentos claves del proyecto que mas adelante será desarrollado. Se parte de un trabajo de campo para definir las necesidades reales para lograr que los bancos marisqueros alcancen una producción máxima sostenible, y a través de los índices de supervivencia de todas las fases (engorde, pre engorde, post larvas, larvas y huevos), se define la cantidad de semillas que hay que producir.

En el criadero se realizan las fases de acondicionamiento de reproductores, obtención de huevos, larvas y post larvas. El producto final son semillas de almeja de 3 mm. y de ostra de 5 mm.

Las fases de preengorde y de engorde no se contemplan en este volumen pero serán tratadas en los posteriores.



### 1.3.4. Condiciones oceanográficas del emplazamiento

En un capítulo posterior se estudian con detalle estas condiciones (temperatura, salinidad, hidrodinámica...) pero la elevada productividad de moluscos bivalvos de la zona elegida, que debe ser unas las exigencias fundamentales al elegir el emplazamiento, garantiza el éxito del proyecto.

### 1.3.5. Interferencia con otros sectores

Por una parte hay que destacar la no interferencia con otros sectores tales como la navegación, la pesca o el turismo.

Y por otra es necesario subrayar el enorme beneficio que supondrá para el sector marisquero al enriquecer sus bancos de producción con la semilla que de otra forma no podría obtenerse.

### 1.3.6. Mano de obra y equipos

Tanto el personal de producción como de dirección es posible reclutarlo en la zona así como obtener el suministro de componentes y los equipos de mantenimiento y reparación.

## 1.4. ESTUDIO DE MERCADO

Aunque en este caso, almejas y ostra plana, este estudio no sería estrictamente necesario dada la evidencia de su importancia comercial, si es importante realizarlo porque normalmente en otras especies es fundamental.

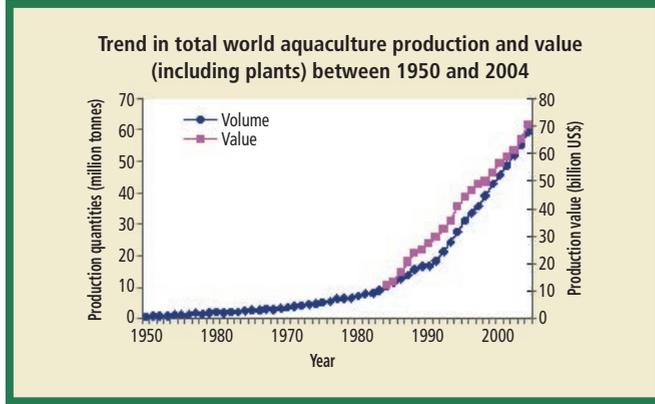
### 1.4.1. Introducción

En primer lugar se debe destacar la importancia creciente de la acuicultura a nivel mundial, ilustrando el razonamiento con imágenes semejantes a los cuadros 1.11 y 1.12, y comentando el estado por países y especies.

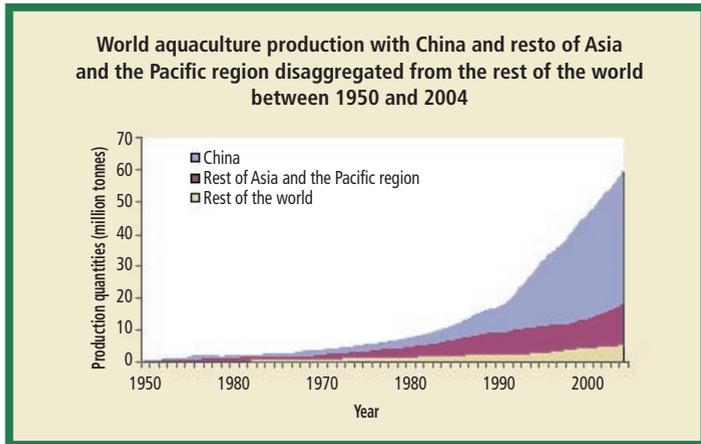
Las fuentes más fiables para obtener estadísticas de este tipo son la FAO y en España APROMAR que suele, en sus publicaciones periódicas, hacer estudios muy interesantes tanto a nivel internacional



**CUADRO 1.11.**  
Tendencia de la producción mundial (FAO).



**CUADRO 1.12.**  
Producción mundial (FAO).

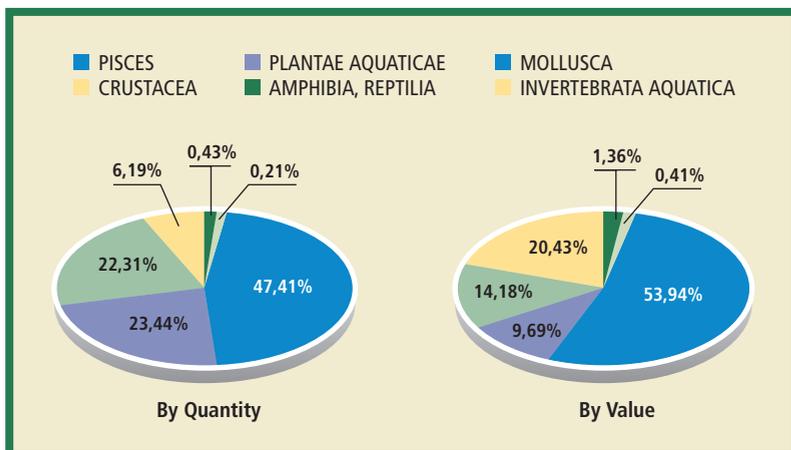


como nacional. Además hoy Internet ofrece posibilidades de datos casi ilimitadas.

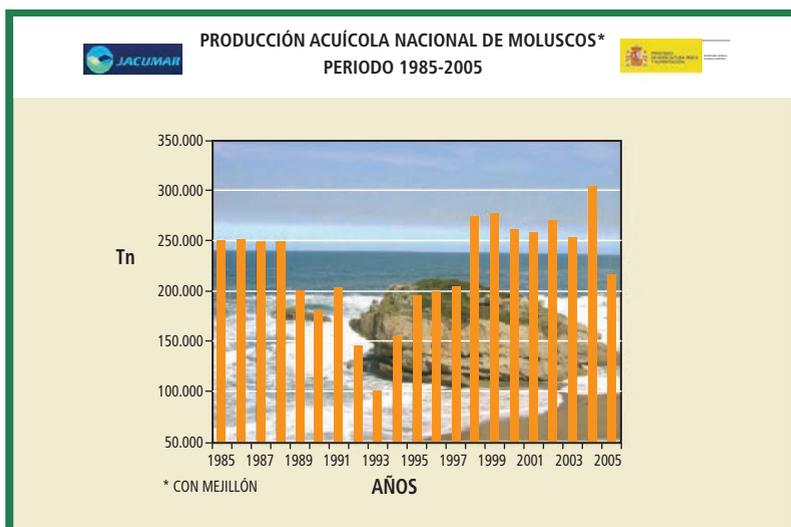
En segundo lugar hay que centrarse en la producción de moluscos bivalvos tanto a nivel mundial como europeo y español, ilustrándolo con gráficos semejantes a los cuadros 1.13 y 1.14.



**CUADRO 1.13.**  
Producción mundial de moluscos (FAO).



**CUADRO 1.14.**  
Producción de moluscos en España (MAPYA).



### 1.4.2. Las almejas y su mercado

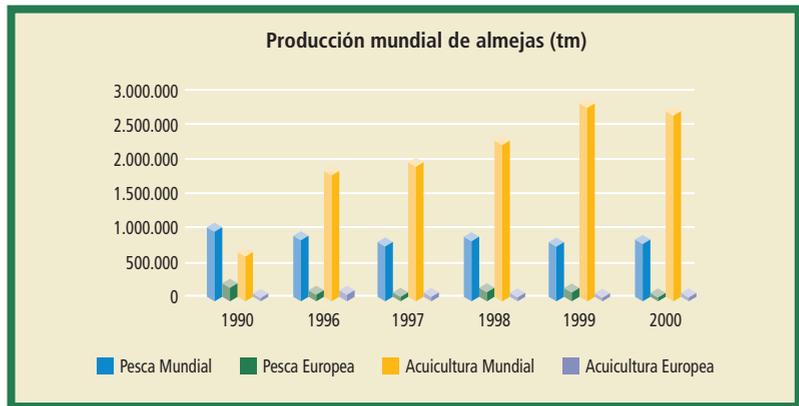
Su interés económico es muy importante y las especies que se comercializan en España son, probablemente, las de mayor valor a nivel mundial en el mercado.



1.4.2.1. Mercado internacional

La producción mundial está muy influenciada por otras especies de almejas, tales como la «quahog» o la japonesa, que tienen alta producción pero que no son muy apreciadas en nuestro país (cuadro 1.15).

**CUADRO 1.15.**  
Producción mundial de almejas (Global Aquafish).



Es conveniente destacar las ventajas de calidad y supervivencia de la almeja fina sobre la babosa y mostrar las producciones en Europa de ambas (cuadro 1.16). La almeja japonesa tiene mejor crecimiento pero su calidad es notablemente inferior.

**CUADRO 1.16.**  
Producción de almeja fina en Europa (Global Aquafish).

	Países productores de Almeja Fina en el mundo						
	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000
Argelia	3	16	15	15	22	4	6
España	3531	4614	751	1210	1096	1052	891
Francia	224	734	200	250	500	1466	1470
Islas Anglonormandas	5	7	3	2	0	-	-
Portugal	3050	2225	1814	3259	3325	1397	2416
Reino Unido	1	0	-	-	-	-	-
<b>Total</b>							
T m	6.814	7.596	2.783	4.736	4.943	3.919	4.783
U S \$'000	65.047	69.469	28.745	43.583	44.751	35.095	39.339



### 1.4.2.2. Mercado nacional

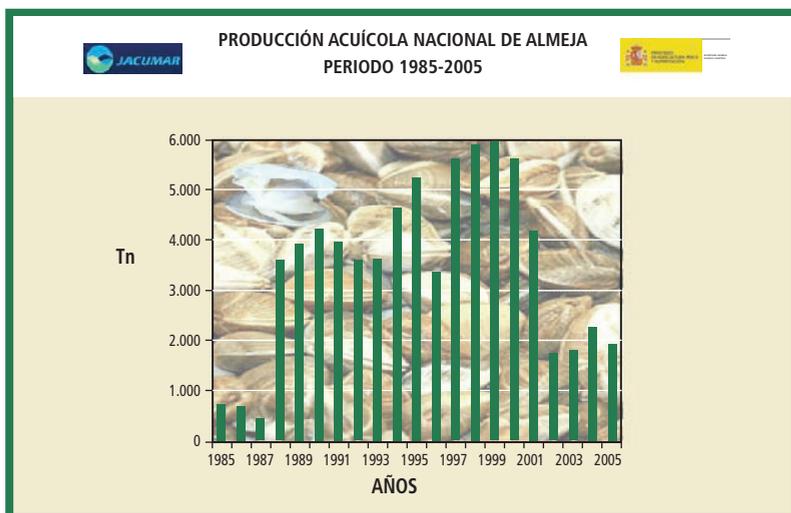
Destacar el consumo nacional frente a la producción, con clara tendencia importadora, lo que implica un mercado esplendoroso para este bivalvo.

Las especies apreciadas en España son la almeja fina, la babosa y la japonesa.

Es también importante hacer notar que la producción de almeja en España es casi totalmente artesanal.

Cuadros similares al 1.17 deben ser incluidos para mostrar la producción nacional.

**CUADRO 1.17.**  
Producción de almejas en España (MAPYA).



### 1.4.2.3. Los problemas del sector

Estudiar y desarrollar las causas de la alarmante disminución de la producción de almejas: la contaminación ambiental, el marisqueo incontrolado, el furtivismo, las enfermedades y las condiciones ambientales adversas (lluvias) e incendios.

La única solución para resolver esta problemática son los criaderos industriales en aguas autóctonas, ya que la semilla de almeja que proviene de otros mares, tales como el Mediterráneo, no sobrevive en Galicia por ejemplo.



Otra razón importante a esgrimir es que la producción de los actuales criaderos de España, Francia y el Reino Unido solo cubren una pequeña parte de las necesidades.

### 1.4.2.4. Comercialización, demanda y precios

Realmente la casi única vía de comercialización de la almeja fina, la babosa y la japonesa en España es viva, sobre todo para las dos primeras especies. La demanda de estas es tan grande que alguien ha dicho en Galicia «Todo lo que produzcamos se vende»...Es la realidad.

La comercialización de estas especies no es un problema en España y además con la tendencia actual de instalar depuradoras en las Cofradías y la nueva ley de venta directa del mariscador a los grandes consumidores se conseguirá a medio plazo beneficiar a los que hacen el mayor esfuerzo: los mariscadores.

Estos dos aspectos deben ser desarrollados en este capítulo.

Es interesante incluir una tabla, como la del cuadro 1.18, con los precios en lonja actuales que ilustran de la enorme importancia económica de estas especies.

**CUADRO 1.18.**  
Precios de las almejas en lonja.

Tipo de almeja	Tamaño de cada pieza	Precio por Kg. +
Almeja fina	Clase B: 40 – 45 mm.	14 € / Kg.
	Clase A: 45 – 50 mm.	18 € / Kg.
	Clase extra: + 50 mm.	25 € / Kg.
Almeja babosa	Clase B: 38 – 45 mm.	10 € / Kg.
	Clase A: + 45 mm.	18 € / Kg.

(+) Precio medio en la lonja de Pontevedra. Primer trimestre 2007.

### 1.4.3. La ostra plana y su mercado

#### 1.4.3.1. Mercado internacional

Se debe comentar la producción mundial, con China a la cabeza, y la producción europea ilustrando estos comentarios con alguna tabla como la del cuadro 1.19.



**CUADRO 1.19.**  
Producción mundial y europea de ostra (FAO).

		1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Acuicultura	Mundial	1.141.249	1.251.982	3.049.373	3.036.239	3.085.118	3.539.585	3.719.957	4.011.052
	Europa	150.503	149.707	156.314	163.567	160.223	152.383	155.819	149.108
Pesca	Mundial	218.909	176.534	194.112	187.664	194.341	160.130	157.532	292.859
	Europa	5.090	5.414	2.674	2.307	1.955	1.588	993	849
<b>Total</b>	<b>Mundial</b>	<b>1.360.158</b>	<b>1.428.516</b>	<b>3.243.485</b>	<b>3.223.903</b>	<b>3.279.459</b>	<b>3.699.688</b>	<b>3.877.489</b>	<b>4.303.911</b>

Hay que destacar que la mayor parte de la producción, tanto mundial como europea es de ostra del género *Crassostrea* y una pequeñísima parte es del género *Ostrea* como la ostra plana. La mayor parte proviene de la acuicultura.

En Europa el mayor productor, sobre todo de ostra japonesa (*Crassostrea gigas*), es Francia. El cuadro 1.20 ilustra la producción por países en Europa.

**CUADRO 1.20.**  
Producción en Europa por países (FAO).

Producción europea de ostra por países y especies ( tm.)							
País	Método	Especie	1985	1990	1995	1996	1997
Francia	Acuicultura	ostra japonesa	135.595	131.456	130.328	135.629	133.150
Irlanda	Acuicultura	ostra japonesa	101	361	2539	3955	3628
Reino Unido	Acuicultura	ostra japonesa	123	262	535	553	597
España	Acuicultura	ostra plana	3264	2857	3103	3720	3387
Francia	Acuicultura	ostra plana	1467	2077	2662	2500	2500
Irlanda	Pesca	ostra plana	101	102	815	415	773
Reino Unido	Pesca	ostra plana	446	967	527	584	553
Irlanda	Acuicultura	ostra plana	216	420	397	400	360
Grecia	Pesca	ostra plana	1679	3616	1096	1003	344

#### 1.4.3.2. Producción nacional

En España se invierten los papeles respecto a la producción siendo la ostra plana la predominante. Esto es debido seguramente a la difi-



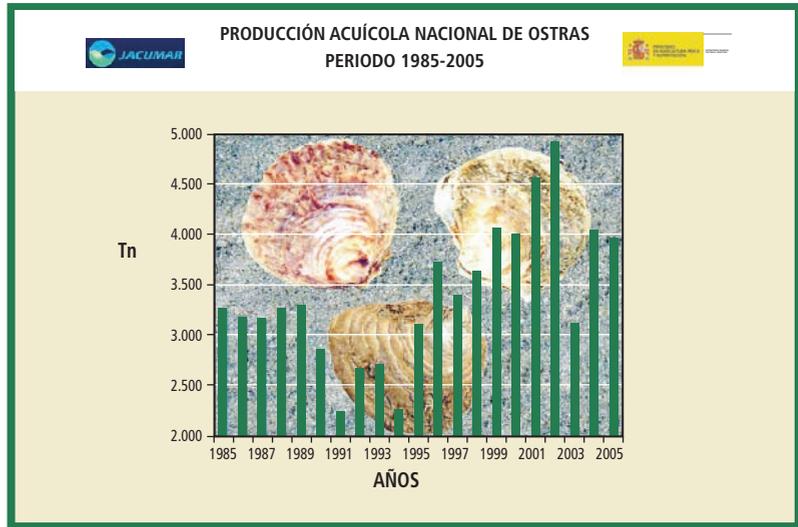
cultad de cambiar los gustos en España en lo que a los productos del mar se refiere.

Las zonas de mayor producción son Galicia (ostra plana) y el Delta del Ebro (ostra japonesa) con una pequeña producción incipiente de acuicultura en Alicante (ostra plana).

En Galicia se realiza el engorde en bateas y en playa, en el Delta con cultivos suspendidos fijos y en Alicante con «Long Lines».

La evolución de la producción en España se puede resaltar con figuras tales como el cuadro 1.21.

**CUADRO 1.21.**  
Producción de ostra en España (MAPYA).



### 1.4.3.3. Los problemas del sector

El principal problema del sector es la desaparición de los bancos naturales primero por la sobreexplotación y luego por la aparición del parásito *Bonamia ostrae* que impide la recuperación de los bancos y obliga a traer la ostra para el engorde desde países no infectados aún como Grecia y Turquía.

Afortunadamente este problema parece estar en vías de solución ya que dos científicos gallegos han asegurado en octubre de 2006 que han logrado seleccionar ejemplares resistentes a este parásito.



Si este problema se resuelve la producción de semilla será fundamental para recuperar los bancos agotados y además hacer su engorde en batea. Actualmente esta producción es muy baja tanto en los criaderos industriales grandes como en los pequeños que existen en Galicia.

#### 1.4.3.4. Comercialización, demanda y precio

La comercialización, tanto de la ostra japonesa como de la ostra plana, se hace fundamentalmente viva y depurada. Las otras presentaciones comerciales (al vacío, refrigerada, en salmuera, en conserva...) son realmente testimoniales y mas en España donde la demanda se centra en la ostra plana viva.

La demanda de este ser en España es importante y prácticamente toda la ostra que se produce es consumida por el mercado y es necesaria la importación para satisfacer toda la demanda.

Puede ser interesante incluir datos de importación y exportación entre los países europeos.

El precio es muy variable según la estación del año pero podría estimarse como media 0,60 céntimos por unidad.

Si se resuelven los problemas apuntados en el párrafo 1.4.3.3 se puede decir que el futuro de la industria ostrícola será esplendoroso.

#### 1.4.4. Otras consideraciones

En el caso de una instalación proyectada para ser explotada por una Cofradía o por una Cooperativa de varias, este estudio de mercado sería suficiente ya que ellos mismos aprovecharían toda la producción para recuperar y rentabilizar sus propios bancos marisqueros. Lo que se ha desarrollado hasta ahora podría considerarse como un **análisis del sector**.

En el caso de diseñar el criadero para una empresa privada, que tendría que buscar sus clientes y soportar la competencia del sector, es necesario hacer un triple análisis posterior:

##### 1.4.4.1. Necesidades del mercado

Estudiar muy detalladamente la demanda tanto nacional e internacional de cada una de las especies previstas a ser cultivadas, manejando datos de los Mercas, grandes superficies, restauración...



La idea es averiguar si existe un «hueco» en el mercado para el producto que se intenta realizar.

### 1.4.4.2. Estudio de la competencia nacional e internacional

Hay que conocer muy bien cuales van a ser los competidores, tanto a nivel nacional como internacional, para saber a quien hay que enfrentarse y considerar si es un «enemigo» al que la empresa se pueda enfrentar.

Se debe preparar una lista muy detallada de las empresas del sector analizando detalles tales como: producción estimada, potencialidad económica (multinacional, mediana empresa...), clientes actuales, área de influencia, precios...

### 1.4.4.3. Análisis de clientes

En este caso de un criadero de bivalvos este punto es relativamente fácil ya que el cliente es el poseedor de los bancos marisqueros que en España son, en su mayor parte, las Cofradías o Cooperativas.

En el mercado internacional puede haber variaciones: organizaciones de productores, empresas privadas...

**Para el estudio de mercado de cualquier otra especie de moluscos, los pasos a seguir son los mismos y solo habrá que buscar la información adecuada para cada uno de los capítulos aquí desarrollados para las almejas fina y babosa y la ostra plana.**

## 1.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

Hoy por hoy la realidad demuestra que la tecnología tiene un nivel más que suficiente para resolver todas las necesidades de una instalación en tierra de cultivos marinos. Dan fe de ello las numerosas piscifactorías en operación en todo el mundo.

Pero no está demás analizar los principales sistemas y equipos que componen un criadero para asegurar su viabilidad técnica y que se esquematizan a continuación:

- Sistema de bombeo.
- Sistema de filtración.



- Sistema de calentamiento de agua.
- Sistema de esterilización.
- Sistema de aireación.
- Sistema para el almacenamiento del agua.
- Sistema de distribución del agua.
- Recipientes y tanques para el cultivo.
- Instalación para el cultivo de fitoplancton.

Dos aspectos se deben analizar en cada uno de estos sistemas y/o componentes:

- Justificación de la tecnología empleada.
- Disponibilidad de la capacidad técnica.

### 1.5.1. Sistema de bombeo

Todas las bombas que se necesitan (aspiración agua de mar, impulsión a los circuitos, auxiliares de los filtros...) están disponibles en el mercado y han sido suficientemente probadas en numerosas instalaciones.

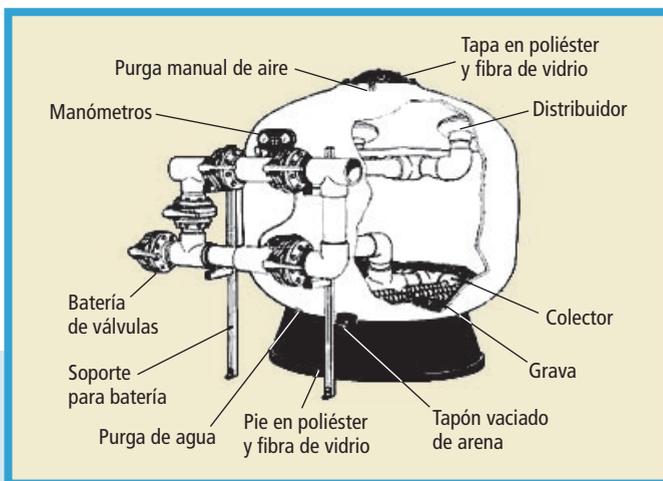
En un capítulo posterior se realizarán los cálculos técnicos necesarios para cada uno de los servicios y se justificará la opción (centrífugas, de pistón...), el material (acero inoxidable, bronce...), el dimensionamiento y el modelo elegidos.

### 1.5.2. Sistema de filtración

Este sistema asegura que el agua que llega a cada uno de los seres en sus diferentes estados es de calidad adecuada para su desarrollo y supervivencia.

A continuación se detallan las calidades de filtrado que se necesitan en una instalación de este tipo:

- Aspiración del mar: retrofiltrado con arena a 30 – 40 micras (figura 1.22).
- Reproductores y semillas: filtrado con materiales microporosos a 10 micras.
- Larvas y post larvas: filtrado con materiales microporosos a 1 micra.
- Fitoplancton: filtrado con materiales microporosos a 0.5 micras.



**FIGURA 1.22.**  
Filtros de lecho de sílex.

Todos estos filtros están disponibles en el mercado y su elección está totalmente justificada por las necesidades biológicas de cada estado del cultivo.

### 1.5.3. Sistema de calentamiento de agua

Prácticamente todas las fases del cultivo necesitan agua alrededor de los 20° C por lo que es necesario disponer de equipos que aseguren esta temperatura.

Para la fuente de calor existen varias alternativas: las placas solares o fotovoltaicas, las calderas de gasoil o las bombas de calor. Cada una de estas alternativas debe ser estudiada y analizada según las condiciones del emplazamiento.

Esta fuente primaria de energía debe ser auxiliada por intercambiadores de calor de placas de titanio o materiales similares para conducir el calor desde la fuente primaria hasta los medios de cultivo. Estos materiales son necesarios porque el fluido primario es agua dulce pero el secundario es agua de mar.

### 1.5.4. Sistema de esterilización

Una vez que el agua esté calentada es necesario eliminar todos los gérmenes y parásitos que pueden perjudicar a los seres que se están cultivando.



Existen dos métodos: los rayos ultravioleta o la ozonización. El primero es más caro y el segundo puede provocar alteraciones en el medio ambiente. Para este tamaño de instalación compensa utilizar la solución de ultravioleta (figura 1.23) ya que es la más amigable con el entorno.

#### 1.5.5. Sistema de aireación

Para todos los estados de cultivo se necesita el aporte de oxígeno pero no es necesario que sea en estado puro, como en la cría de peces, y por esta razón unas soplantes de aire son suficientes para lograr el objetivo.

En el caso de la producción de las microalgas, alimentación de todas las fases de cultivo, es necesario el aporte de CO<sub>2</sub> que se realiza mediante botellas a presión industriales.

#### 1.5.6. Sistema para el almacenamiento del agua

El agua obtenida en cada una de las fases de su tratamiento debe ser almacenada y conservada mientras no sea necesaria (agua aspirada del mar, agua filtrada, agua dulce...) en depósitos de hormigón o de fibra de vidrio.

En capítulos posteriores se justificará la alternativa elegida para cada uno de los usos pero por supuesto la disponibilidad técnica es totalmente absoluta.

#### 1.5.7. Sistema de distribución de agua

Las tuberías normalmente utilizadas son de PVC. En casos extremos podrían ser de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) ya que otros materiales, también disponibles en el mercado, tales como el hormigón (a veces en las tuberías de aspiración de grandes instalaciones) o el acero no son habituales en las instalaciones en tierra.

Justificación y disponibilidad absoluta.

#### 1.5.8. Recipientes y tanques para el cultivo

Según la fase de cultivo el recipiente que alberga a cada uno de los seres es diferente. A continuación se presenta una imagen de cada uno de los posibles alojamientos en cada una de las fases:



FIGURA 1.23.  
Esterilización (UV)



**FIGURA 1.24.**  
Bandejas  
reproductores.



**FIGURA 1.25.**  
Cultivo larvario.



**FIGURA 1.26.**  
Metamorfosis y  
cultivo post larvario.



**FIGURA 1.27.**  
Semillas.

La forma y dimensiones de estos recipientes son variables...»Cada maestrillo tiene su librillo» pero en cualquier caso la tecnología esta justificada y la disponibilidad no presenta ningún problema.

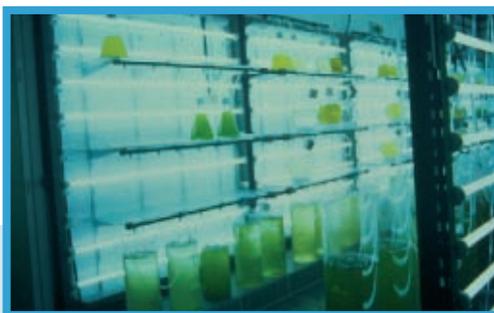
### 1.5.9. Instalación para el cultivo de fitoplancton

El cultivo de fitoplancton se inicia con la obtención de inóculos que se almacenan en tubos de ensayo (figura 1.28), para seguir su cultivo en «erlenmeyers» y botellones de cristal (figura 1.29). Estas fases del cultivo se realizan en la cámara isoterma del laboratorio.

A partir de este momento se pasa a recipientes mayores que actualmente suelen ser bolsas de plástico de hasta 500 litros de capacidad (figura 1.30) y ya para los criaderos industriales se pasa a tanques de gran capacidad variable en naves con techo de metacrilato o material similar traslúcido (figura 1.31).



**FIGURA 1.28.**  
Microalgas en tubos de ensayo.



**FIGURA 1.29.**  
Cultivo de microalgas en «Erlenmeyers».



**FIGURA 1.30.**  
Cultivo de  
microalgas en  
bolsas.



**FIGURA 1.31.**  
Producción  
industrial de  
microalgas.

Al igual que en apartados anteriores se puede apreciar que la técnica aplicada esta totalmente justificada y que la disponibilidad de la tecnología es absoluta.

## 1.6. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Con este capítulo se satisface uno de los requerimientos básicos de todas las Comunidades Autónomas en lo que se relaciona con el Estudio Económico Financiero para la autorización del proyecto. En el caso de Galicia este documento debe cubrir 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:
  - i. Ingresos estimados.
  - ii. Gastos de explotación.
  - iii. Criterios para obtener los flujos de caja.
  - iv. Plazo de recuperación de la inversión.



- v. Valor actual neto de la inversión.
- vi. Cuenta provisional de tesorería.

### 1.6.1. Introducción

Una vez que se haya definido la producción de la instalación, hay que definir los gastos que se considera que van a realizarse, tanto en la construcción como en la operación normal, frente a los ingresos previstos teniendo en cuenta el desfase que existe entre el momento de la inversión y el instante que se empieza a vender y cobrar el producto.

Los criterios económicos no serán considerados en este trabajo ya que es un campo de gran desarrollo y en el que los expertos abundan y es mejor acudir a ellos. Pero si se detallarán los conceptos que en cada partida son necesarios considerar.

### 1.6.2. Primera inversión

En este capítulo se incluirán todos los gastos que se realizan desde que se piensa en iniciar el proyecto hasta su fase de puesta en marcha e inicio de la producción. A continuación se hace un detalle de los mismos:

#### 1.6.2.1. Proyecto de la instalación

El coste de la redacción del proyecto es el primer gasto ya que es necesaria su presentación a los organismos competentes para su aprobación.

Este primer gasto se calcula según los tarifas de los Colegios Profesionales en relación con el valor de la realización del proyecto (obra civil e instalaciones).

Para una inversión de un millón de euros (instalaciones + equipos) el coste de esta fase estaría en 40.000 euros para el proyecto y una cantidad aproximada para la dirección de obra, o sea 80.000 euros mas IVA.

#### 1.6.2.2. Compra del solar para la instalación

Una vez que se realiza el proyecto también se define el emplazamiento y por tanto es imperiosa la necesidad de adquirirlo cuanto antes.



Hay que tener en cuenta que los terrenos que están cerca del mar y afectados por la Ley de Costas tienen, normalmente, un valor inferior al del mercado ya que no se puede hacer ninguna inversión de tipo inmobiliario.

También hay que considerar la posibilidad de ampliación del proyecto por lo que es recomendable adquirir una parcela con bastante extensión, más que la estrictamente necesaria, ya que una compra posterior al lado de una zona ya industrializada será considerablemente más cara.

### 1.6.2.3. Realización del proyecto.

Para calcular el coste de la realización del proyecto hay que considerar por una parte la obra civil y por otra la maquinaria y equipos que vamos a instalar.

Las partidas a considerar en la obra civil podrían ser las siguientes:

- Movimiento de tierras.
- Cimentación y hormigonado.
- Estructura.
- Albañilería.
- Solados y alicatados.
- Carpintería y cerrajería.
- Fontanería.
- Electricidad.
- Pinturas y acabados.
- Pozo de bombas y emisarios.
- Gastos generales.
- Beneficio industrial.

Dentro del capítulo de la maquinaria los conceptos podrían ser los siguientes:

- Aspiración de agua del mar: bombas.
- Distribución de agua salada:
  - i. Tanques de almacenamiento.
  - ii. Tubería de distribución de PVC y valvulería.
  - iii. Colectores y bombas de impulsión.
  - iv. Filtros de arena y de cartucho (30, 10, 1 y 0.5 micras).



- Recipientes y tanques del criadero:
  - i. Bandejas de estabulación de los reproductores y sus soportes.
  - ii. Bandejas de incubación de los huevos.
  - iii. Tanques de larvas.
  - iv. Tanques para la metamorfosis y para las post larvas.
  - v. Tanques para las semillas.
  - vi. Recipientes y tanques para la producción de fitoplancton.
- Sistema de calentamiento:
  - i. Caldera o bomba de calor.
  - ii. Intercambiadores de calor de placas de titanio o material similar.
- Sistema de esterilización: ultravioleta.
- Sistema de aire a presión.
- Sistema de suministro de CO<sub>2</sub>.
- Equipamiento del laboratorio.
- Sistema de aire acondicionado.
- Mobiliario, equipos informáticos y otros varios.
- Generador eléctrico de emergencia, su instalación y su alimentación.

#### 1.6.2.4. Pagos para obtención de permisos y licencias

### 1.6.3. Costes de explotación

Una vez acabada la construcción del edificio y su equipamiento empieza la fase de producción. Los costes asociados a esta fase se esquetizan a continuación:

#### 1.6.3.1. Suministros

En este capítulo se considerarán los gastos de la energía eléctrica (en base a la potencia instalada), del consumo de agua dulce (tanto para limpieza como para otros usos), combustibles (caldera y otros), anhídrido carbónico para las microalgas (CO<sub>2</sub>), consumo telefónico...

#### 1.6.3.2. Personal

Realmente no es necesaria la contratación de empleados hasta el inicio de la construcción. En este momento es importante que las personas que van a llevar la dirección de la instalación «vivan» su cons-



trucción ya que de esta forma conocerán todos sus «entresijos» hasta el más mínimo detalle. Estas personas pueden ser el Gerente y el Director Técnico.

Cuando se inicia la producción una plantilla básica recomendable para este tipo de criaderos podría ser la siguiente:

- Gerente.
- Director Técnico.
- Dos biólogos (uno para el cultivo de bivalvos y otro para el laboratorio y para el cultivo de fitoplancton).
- Responsable de mantenimiento («manitas»).
- Administrativo «todo terreno» (compras, facturación, impuestos...).
- Tres operarios a tres turnos y otros cuatro a turno normal. Total: 7.

La retribución salarial y los costes laborables pueden ser calculados tomando como base los datos del Convenio Colectivo aplicable a la Acuicultura Marina.

#### 1.6.3.3. Mantenimiento

Para el cálculo de los costes de mantenimiento anuales del edificio pueden considerarse un 2 % del presupuesto de la obra civil y un 5 % del de la maquinaria.

#### 1.6.3.4. Seguros e impuestos

Un cálculo aproximado de los seguros a pagar puede establecerse en el 1 % del proyecto de ejecución (obra civil + maquinaria).

En lo que se refiere a los impuestos se puede estimar en un 2 % del proyecto de ejecución.

### 1.6.4. Estimación de los ingresos

Según sea el propietario (cofradías o empresa privada) el tratamiento podría ser distinto ya que los primeros no venderían su producción al ser destinada al enriquecimiento de sus playas y los segundos si realizarían la venta de su producto.

Pero para obtener la viabilidad económica del proyecto si se considera necesario suponer la venta, aunque no se realice en el caso de las Cofradías, para analizar la rentabilidad de la inversión.



Según el plan de producción previsto se conoce la cantidad de semillas que se van a producir y los meses en los que finaliza cada ciclo de producción para todas las especies. Con estos datos y conociendo el precio de mercado de cada semilla se puede valorar la cuantía de los ingresos.

Hay que considerar también en el cálculo de los ingresos que, muy probablemente, el primer año no se produzcan todos los ciclos ya que se está en período de «rodaje» y siempre habrá «problemillas» que retrasen las previsiones teóricas.

Como ya recomienda la legislación autonómica hay que considerar al menos dos escenarios de futuro: uno a la alta y otro a la baja. Se puede considerar para el primer escenario un aumento anual del 4% de los precios de la semilla y para el segundo una disminución entre el 2 y el 4%. Se pueden realizar otros supuestos pero siempre en el intervalo de +4% y -4%.

Para cada uno de los escenarios elegidos se pueden preparar unas tablas que reflejan los ingresos durante los primeros cinco años, tal como exige la ley.

### **1.6.5. Gastos financieros**

Dependiendo del tanto por ciento de la subvención adjudicada, de los fondos propios disponibles y del tiempo que transcurre desde el inicio de la operación hasta la primera producción estable, ya que durante este período no hay entradas de dinero, hay que calcular el capital necesario para «subsistir» que será solicitado a una entidad bancaria y tendrá unos gastos financieros.

### **1.6.6. Amortizaciones**

La vida en operación de la instalación se puede considerar de 25 años y la amortización de la maquinaria en 10 años sin valor residual.

### **1.6.7. Análisis económico financiero**

Con todos los datos ya calculados siguiendo los apartados anteriores ya se puede satisfacer otro de las exigencias de la legislación autonómica: «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.

Este análisis económico financiero es ya un procedimiento normal en todos los proyectos, realizado habitualmente por economistas y directores de empresa, y que se escapa del alcance de este trabajo desde el punto de vista de la Ingeniería.

### 1.6.8. Conclusiones

Un resumen de los resultados obtenidos en el párrafo anterior se puede esquematizar e incluir en este párrafo.

Algunos de los datos que es conveniente resaltar se enumeran a continuación:

- Valor actual neto de la inversión para los escenarios considerados.
- Rentabilidad de la inversión.
- Período de retorno de la inversión.
- Riesgo de la inversión.

## 1.7. PLAN DE PRODUCCIÓN

### 1.7.1. Introducción

Este es uno de los capítulos fundamentales del proyecto porque de él depende el dimensionamiento de la instalación. La idea inicial se razona en este documento y se justifica lo que se desea producir.

Este es uno de los momentos a lo largo del desarrollo del proyecto que conviene hacer una reflexión del carácter vivo del mismo ya que debe ser revisado varias veces hasta lograr un equilibrio total. Esta revisión continua implica que todos los capítulos son documentos «vivos» y solo justo en el momento de la entrega del proyecto será un documento «casi» final porque hasta la ejecución práctica no se tendrá la versión definitiva.

El plan de producción que se va a describir va a estar basado en las necesidades de rentabilizar las playas de una cooperativa de Cofradías. En este caso el objetivo social va a primar sobre el empresarial.



Este proyecto se centra exclusivamente en el criadero de la semilla y en volúmenes posteriores se continuará con el pre engorde y engorde de los moluscos bivalvos que se debe realizar en el mar.

Las especies que se van a considerar son las almejas fina y babosa y la ostra plana y en la «hatchery» se desarrolla la cría desde el desove de los progenitores hasta que la semilla alcanza una talla de 3 mm. en las almejas y de 5 mm. en la ostra plana. Este plan de producción cubre únicamente este período de sus vidas.

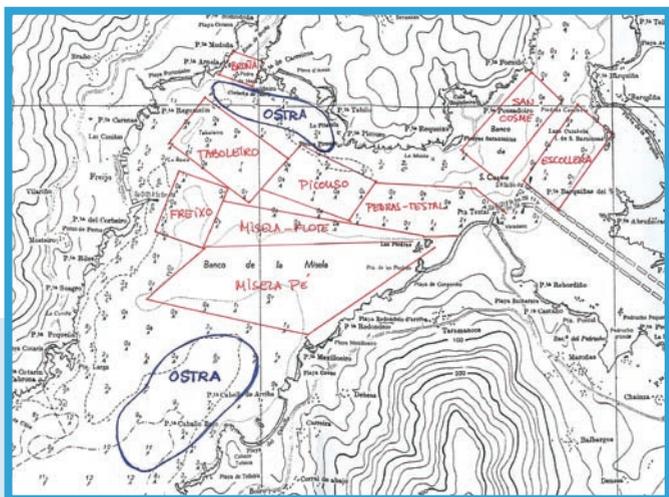
### 1.7.2. Definición de las necesidades

Como ya se ha comentado antes la idea fundamental del proyecto es poner a plena producción los bancos marisqueros de almeja y ostra de una determinada zona.

La primera actividad de este capítulo es definir todas las zonas aptas para el marisqueo de las almejas y la ostra plana en el área que consideramos. La figura 1.32 es un ejemplo aplicable a la Ría de Noia.

El siguiente paso es identificar la productividad actual o normal en los últimos años para saber cual es el rendimiento natural y las posibles previsiones para el futuro basadas en muestreos a lo largo de la campaña. El cuadro 1.33, también de la Ría de Noia, ilustra la previsión de almeja fina para el año 2003.

**FIGURA 1.32.**  
Bancos marisqueros de la Ría de Noia (Global Aquafish).





CUADRO 1.33.

Estimaciones producción almeja fina 2003. Ría de Noia (Global Aquafish).

BANCO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO
Tabuleiro			
Freixo			
Picouso	8.865	22.913	36.961
Pedras	14.533	35.653	56.773
Miselaflote	4.135	15.924	27.713
Misela	–	7.156	15.144
Sancosme	1.850	8.499	16.366
Escollera	2.704	13.298	24.639
Broña	–	479	1.417
<b>TOTAL</b>	<b>32.087</b>	<b>103.922</b>	<b>179.013</b>

El siguiente paso es definir para cada playa su superficie total para el marisqueo y dentro de cada una la especie ideal de cultivo y la superficie que le correspondería.

Para la mejor comprensión de este proceso de cálculo del plan de producción se van a utilizar datos reales obtenidos en el trabajo de campo realizado en la Cofradía de Noia durante los años 2002 y 2003.

Se deben hacer una serie de consideraciones básicas para que los resultados sean comparables y los objetivos de producción uniformes:

- **Almeja fina:**

- i. Densidad final óptima: 1 – 1.5 Kg. / m<sup>2</sup>.
- ii. Número de individuos de talla legal: 35 – 55.
- iii. Peso medio: 27.35 gramos.
- iv. Densidad final deseada: 1 Kg. / m<sup>2</sup>.

Con los datos disponibles de la Cofradía de Noia la producción podría incrementarse desde los 100.000 kilos actuales hasta 700.000 kilos tal como se aprecia en el cuadro 1.34.

Los 600.000 kilos de producción extra corresponden a una población adulta de 22 millones de almejas y teniendo en cuenta que la tasa de supervivencia desde la obtención de semilla en criadero hasta la talla adulta (suponiendo el preengorde en batea) se pueden estimar en un 50%, la producción del criadero tendría que ser de 45 millones de unidades como mínimo.



**CUADRO 1.34.**  
Producción máxima de almeja fina. Ría de Noia (Global Aquafish).

Bancos con producción de almeja fina	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie estimada para la producción de la almeja fina	Estimación de la producción media anual (Kg.)	Producción máxima estimada (Kg.)	Diferencia que sería necesario producir (Kg.)
San Cosme	204.000	50.000	8.499	50.000	41.000
Misela	650.000	300.000	7.150	300.000	290.000
Broña	40.000	30.000	479	30.000	29.000
Escollera	194.000	50.000	13.298	50.000	37.000
Pedras-Testal	135.000	70.000	35.653	70.000	34.000
Picouso	120.000	60.000	22.913	60.000	37.000
Misela flote	140.000	50.000	15.924	50.000	34.000
Tabuleiro	240.000	100.000	–	100.000	100.000
<b>Total</b>	<b>1.760.000</b>	<b>645.000</b>	<b>103.916</b>	<b>710.000</b>	<b>600.000</b>

Para la **almeja babosa** el razonamiento es similar y las consideraciones básicas son similares en cuanto densidades pero el peso medio es inferior (17.73 gramos por unidad).

El trabajo de campo para la almeja babosa y las consideraciones ya citadas dieron como resultado el cuadro 1.35 para la Ría de Noia.

**CUADRO 1.35.**  
Producción máxima de almeja babosa. Ría de Noia (Global Aquafish).

Bancos con producción de almeja babosa	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie estimada para la producción de la almeja babosa	Estimación de la producción media anual (Kg.)	Producción máxima estimada (Kg.)	Diferencia que sería necesario producir (Kg.)
Broña	40.000	–	201	–	–
Escollera	194.000	–	977	–	–
Pedras-Testal	135.000	–	63.620	–	–
Picouso	120.000	60.000	10.285	60.000	50.000
Misela flote	140.000	50.000	–	50.000	50.000
Tabuleiro	240.000	140.000	9.729	140.000	130.000
Freixo	90.000	50.000	10.285	50.000	40.000
<b>Total</b>	<b>833.000</b>	<b>300.000</b>	<b>93.317</b>	<b>300.000</b>	<b>270.000</b>



Suponiendo una tasa de supervivencia de las semillas del criadero hasta la talla adulta algo superior al 50% (pre engorde en batea) se necesitaría una producción anual de 30 millones de unidades para lograr los 270.000 kilos de producción extra.

Respecto a la **ostra plana** las variables a considerar son las siguientes:

- Densidad de producción final: 15 – 20 ostras por m<sup>2</sup>.
- Tasa de supervivencia: 50% de las semillas del criadero (pre engorde en batea) hasta la talla adulta.

A continuación se incluye el cuadro 1.36, publicada por Alejandro Pérez Camacho y Miguel Ángel Cuña Casabellas en la página 22 de su trabajo «Cultivo de bivalvos en Batea», bajo el título *Cálculo de producción de una batea dedicada al pre engorde y otra al engorde de la ostra plana*.

**CUADRO 1.36.**

Cálculo de producción de ostra plana en batea (Cuadernos Xunta).

<b>Cálculo de la producción de una batea dedicada al preengorde y otra al engorde de la ostra plana</b>								
FASE	TALLA MEDIA (mm)	TIPO CONTENEDOR	DENSIDAD (ostras/cesta)	TIEMPO DE CULTIVO (meses)	N.º CESTAS	N.º CESTILLOS	N.º CUERDAS	N.º OSTRAS (x 1.000)
PRE-ENGORDE	5 mm	cestillo 2,5 mm	1.000	1 mes	3.600	14.400	180	3.600 + 3.600
	8 mm	cestillo 4 mm	1.000	3 mes	3.600	14.400	180	3.600 + 3.600
	30 mm	cesta 10 mm	200	4-6 meses	16.200		810	3.240 + 3.240
	50 mm							3.078 + 3.078
ENGORDE	50 mm	cesta 25 mm	40	10-12 meses	20.000		1.000	800
	70-80 mm							480-560

(La producción en la batea dedicada al preengorde se calcula sobre la base de 2 ciclos de producción al año. Se aplica una supervivencia anual de aproximadamente el 85% en la fase de preengorde y entre el 60% y el 70% en la de engorde).

Con cálculos similares a los presentados anteriormente se puede calcular la producción real de un criadero para satisfacer las necesidades de las Cofradías o de la empresa privada.

### 1.7.3. Parámetros a considerar

Este capítulo es el resultado de numerosas consultas bibliográficas y asesoramientos de varios centros de investigación expertos en la cría de moluscos bivalvos, realizados por el autor de este trabajo.

Estas hipótesis ya han sido utilizadas para el cálculo de producción de un proyecto real y su publicación libre puede facilitar la elaboración de proyectos relacionados con el sector.



El cuadro 1.37 incluye las **tallas aproximadas** inicial y final en cada una de las etapas de desarrollo de las almejas y ostra plana en el criadero.

**CUADRO 1.37.**

Tallas en las etapas del criadero.

• Talla inicial de la almeja en el criadero: 0,3.
• Talla inicial de la ostra en el criadero: 0,5.
• Talla mínima final de la semilla de almeja en el criadero: 3,0.
• Talla mínima final de la semilla de ostra en el criadero: 5,0.

Tallas en mm.

El cuadro 1.38 muestra las **mortalidades** en cada una de las fases de cultivo de almejas y ostra plana que se realizan en el criadero.

**CUADRO 1.38.**

Mortalidades en las etapas del criadero.

Mortalidades	Almeja (%)	Ostra (%)
Mortalidad en la fase de huevo a larva	60	
Mortalidad en la fase larvaria	25	50
Mortalidad durante la metamorfosis	30	50
Mortalidad de post larvas (0,3–0,6 mm.)	40	30
Mortalidad en el semillero	15	30

El cuadro 1.39 visualiza los **tiempos de cultivo** de las almejas y la ostra plana en las etapas que se desarrollan en el criadero.

**CUADRO 1.39.**

Tiempos de cultivo en las etapas de criadero.

Tiempo de cultivo	Almeja (días)	Ostra (días)
Incubación de los huevos	2	
Período larvario	22	15
Metamorfosis	3	2
Post larvas (hasta 0,6 mm.)	30	15
Semillero almeja (0,6 – 3 mm.)	60	
Semillero ostra (0,6 – 5 mm.)		100



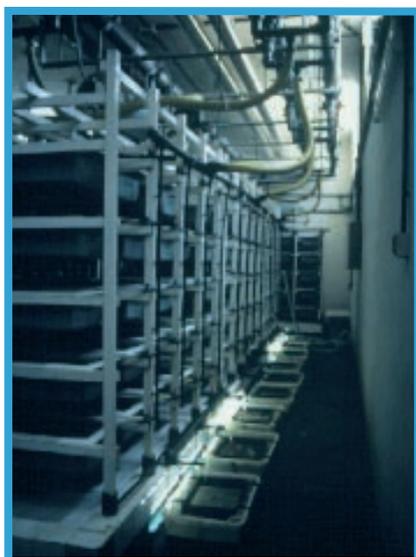
El cuadro siguiente esquematiza las **densidades de cultivo** de las almejas y la ostra plana durante las etapas que se realizan en el criadero.

Densidades de cultivo	Almeja (días)	Ostra (días)
Inducción a la puesta (unidades / 6 litros)	2	1
Fase larvaria (unidades / litro)	4.000	2.500
Fase post larvaria (unidades / litro)	2.000	1.200
Semillero almeja (unidades / cm <sup>2</sup> )	60	
Semillero ostra (unidades / cm <sup>2</sup> )		22

El **acondicionamiento de reproductores** se realiza en bandejas interconectadas (figura 1.40), alimentadas con agua de mar calentada y filtrada a 30  $\mu$  y que descargan en unos recipientes con malla de micras de luz que recogen los huevos fecundados (almejas y ostra japonesa) o las larvas (ostra plana).

Los parámetros vitales para el acondicionamiento de los reproductores se esquematizan a continuación:

- Temperatura del agua: 22  $\pm$  2 °C.



**FIGURA 1.40.**  
Bandejas de reproductores.  
Almejas y ostra plana.



- Filtración: Filtro de arena (30 / 40  $\mu$ )
- Esterilización: NO.
- Densidad de cultivo: 2 Kg. / m<sup>2</sup>.
- Alimento: 100 – 150 Isoc. Eq / ul.
- Bandejas: Rectang. (480 × 580 × 250 mm)
- Tiempo de acondicionamiento: 15 / 70 días.

Otros autores (Fernández Álvarez *et al.*) recomiendan estas variables:

• Temperatura	18 °C (Almeja babosa).
	23 °C (Almeja fina).
	19 – 20 °C (ostra plana).
• Tanques acondicionamiento	400 – 2.000 litros.
• Densidad	2 almejas por cada 10 litros.
• Renovación	2 litros por hora y almeja.
	1 litro por hora y ostra.

El sistema más habitualmente utilizado para provocar la expulsión de gametos en los bivalvos es la variación brusca de la temperatura del agua donde se encuentran.

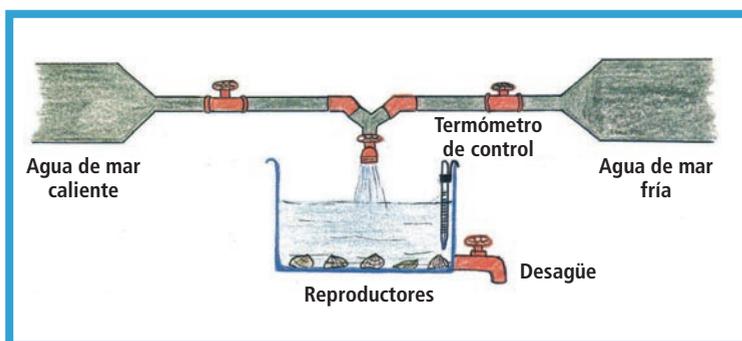
Generalmente se sube la temperatura entre 5 y 10 °C, según las especies, manteniéndola constante hasta la puesta o bien haciendo subidas y bajadas periódicas (choque térmico).

Para la ostra se sube la temperatura 5 °C y no se sabe si ha sido la estimulación positiva hasta la aparición de las larvas al cabo de 8 a 10 días.

Las almejas pueden estimularse en desoves masivos o individuales. En los masivos se colocan todas las almejas en un recipiente con agua caliente a 25 °C. Después de media hora se baja a 18 – 20 °C para luego volver a subirla y así sucesivamente hasta la puesta.

En los desoves individuales las almejas se aíslan en recipientes de plástico o cristal de pequeño tamaño (un litro) mientras dura la inducción. Este método es más trabajoso pero proporciona más información.

La figura 1.41 muestra un esquema del dispositivo para provocar la emisión de gametos mediante cambios bruscos de temperatura.



**FIGURA 1.41.**  
Esquema emisión de gametos (Cuadernos Xunta).

Los huevos fecundados de las almejas se cuidan unos días en bandejas (con una densidad entre 50 y 80 huevos / ml.) y se transforman en larvas y en el caso de la ostra plana el óvulo se fecunda en el seno paleal de la madre y ya nace como larva. En este momento se inicia el **cultivo larvario**.

Los parámetros normalmente utilizados para el cultivo de las larvas se esquematizan a continuación:

• Temperatura del agua:	22 – 24 °C.
• Filtración:	Hasta 1μ.
• Esterilización:	SI (Ultravioleta).
• Densidad de cultivo:	4.000 Unidades / litro (Almeja) 2.500 Unidades / litro (Ostra).
• Alimento:	80 – 150 Isoc. Eq / ul.
• Tiempo de cultivo:	15 – 25 días.
• Tanques:	Troncocónicos (400 litros).

Según otros autores (Fernández Álvarez *et al.*) los parámetros para el **cultivo larvario de la ostra** podrían ser los siguientes:

• Temperatura	19 – 20 °C.
• Densidad:	1.000 – 5.000 larvas / litro.
• Densidad metamorfosis:	1.000 larvas / litro.
• Tanques troncocónicos	100 / 150 – 450 / 500 litros.
• Poro filtro tanques	80 – 300 μ.



Según estos mismos autores los parámetros para el **cultivo larvario de almeja** podrían ser los siguientes:

• Temperatura:	20 °C.
• Densidad:	5.000 larvas / litro.
• Tanques primeros 15 días:	Fondo cónico. 500 litros.
• Tanques últimos 15 días:	Fondo plano. 500 litros.
• Poro filtro tanques:	40 – 300 $\mu$ .

A continuación se detallan los tamaños de las larvas al final de esta fase y su duración de desarrollo para las especies principales:

Especie	Tamaño ( $\mu$ )	Duración (días)
Almeja fina	220	20
Almeja babosa	220	20
Almeja japonesa	180	18
Ostra plana	250 – 270	10 – 15

A continuación se detallan unos valores de la densidad de cultivo de las larvas según tamaños recomendadas por Fernández Álvarez (*et al.*):

Talla de larvas ( $\mu$ )	Número por ml.
50 – 100	15
100 – 200	8
100 – 300	5
+ 300	1

La figura 1.42 muestra los tanques troncocónicos utilizados en esta fase.

La **metamorfosis** es el paso intermedio entre la larva y la post larva. Las larvas dejan su fase móvil y se fijan en un colector en el caso de la ostra plana o se depositan en el fondo en el caso de las almejas.

Al cabo de 10 – 12 días de cultivo las larvas de ostra tienen un tamaño de 250 – 280  $\mu$  y comienzan a fijarse para sufrir la metamorfosis. La fijación suele durar una semana. Este proceso es el paso intermedio entre el cultivo larvario y la fase de post larva, que algunos autores denominan semilla.



La ostra es una especie sésil que, naturalmente, vive pegada al sustrato gracias a un líquido cementante originado en el momento de la fijación. Sin embargo, tiene la peculiaridad de que, una vez despegada no vuelve a fijarse, lo que facilita enormemente su manejo y su cultivo.

Los parámetros necesarios durante esta fase se detallan a continuación:

• Temperatura del agua:	20 – 25 °C.
• Filtración	Hasta 1 $\mu$ .
• Esterilización:	SI (Ultravioleta).
• Densidad del cultivo:	2.000 Unidades / litro (Almeja).
	1.200 Unidades / litro (Ostra).
• Alimento:	50 – 200 l / Kg. semilla / día.
• Tiempo de cultivo:	Entre 2 y 3 días
• Tanques:	Colector. Rectangular de polietileno.



**FIGURA 1.42.**  
Tanques para el cultivo larvario.  
Esquema (Global Aquafish).

Cuando se inicia esta fase se colocan en los tanques de cultivo unos colectores destinados a la captación de las larvas. Los más empleados suelen ser láminas de PVC (negro y mate), planas (figura 1.26) o curvadas en forma de teja (figura 1.43) que se sumergen en los tanques y se disponen horizontalmente. Para facilitar la recuperación de las «ostritas» se «pintan» los colectores con cal. Como estos seres tienen tendencia a fijarse en superficies horizontales, los tanques de fondo cónico son muy útiles ya que evitan la fijación en sus paredes. La iluminación favorece la fijación en las zonas sombreadas de los colectores.

A las 24 horas de la fijación se despegan las larvas fijadas con un bisturí o una cuchilla bien afilada bajo un chorro de agua de mar filtrada y esterilizada y se depositan en un tamiz de 200  $\mu$ . La razón de este despegue temprano es para que la concha sea lo más pequeña posible y los daños sean mínimos.



**FIGURA 1.43.**  
Colectores en  
forma de teja  
(Cuadernos Xunta).

Otro método para evitar daños en las conchas de las post larvas, es el uso de colectores granulados. Esta técnica coloca las larvas en el interior de tambores de plástico, cuya base es un tamiz de 150 – 200  $\mu$ , que se sitúan en los tanques de cultivo con la circulación de agua de fuera a dentro (Figura 1.44). En su fondo se dispone una capa de conchas trituradas de unos pocos milímetros de espesor. Estos granos colectores tienen un diámetro entre 300 y 500  $\mu$ , con lo cual a cada partícula se pega una sola «ostrita». En este caso no se realiza el despegue y se prosigue el cultivo con la post larva adherida a su gránulo.

La cría de ostra recién despegada se coloca en tambores de 40 cm. con un tamiz de 200  $\mu$ , con un tubo lateral de alimentación, tipo «air



**FIGURA 1.44.**  
Colectores  
granulados  
(Cuadernos Xunta).

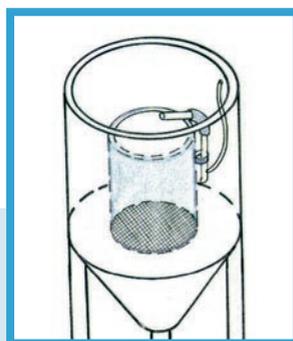


– lift», en el que se inyecta aire que impulsa el agua hacia la superficie. La figura 1.45 muestra un esquema de esta disposición. Aquí estarán hasta que alcanzan una talla de 1 mm.

Las post larvas de almeja no se «pegan» pero si se fijan al fondo o a las paredes del recipiente con un pequeño «hilito» y su tratamiento es similar al de las «ostritas».

El cultivo de las **post larvas** se realiza en unas bandejas planas o de forma cilíndrica que flotan en tanques de mayor tamaño normalmente rectangulares.

Los parámetros más adecuados para el **cultivo post larvario** son los siguientes:



**FIGURA 1.45.**  
Tanques iniciales de post larvas (Cuadernos Xunta).

• Temperatura del agua:	20 – 25 °C.
• Filtración	Hasta 1μ.
• Esterilización:	SI (Ultravioleta).
• Densidad del cultivo:	2.000 Unidades / litro (Almeja).
	1.200 Unidades / litro (Ostra).
• Alimento:	50 – 200 l / Kg. semilla / día.
• Tiempo de cultivo:	Aprox. 30 días (Almeja).
	Aprox. 15 días (ostra).
• Tanques:	Bandejas. Rectangular de polietileno.

La figura 1.46 muestra el tanque del cultivo post larvario con las bandejas de soporte de los seres vivos.

Cuando las post larvas alcanzan un tamaño de 0.6 mm. se trasladan a los **semilleros**, otras bandejas o tambores de mayor tamaño en tanques mas grandes, y se engordan hasta alcanzar los 3 mm. las almejas y los 5 mm. las ostras, momento en el cual es conveniente iniciar el preengorde en batea antes de sembrarlas en la playa para aumentar su supervivencia final.

Los parámetros más frecuentes que se utilizan durante esta fase se esquematizan a continuación:



• Temperatura del agua:	20 – 25 °C.
• Filtración	Hasta 1μ.
• Esterilización:	NO.
• Densidad del cultivo:	60 Unidades / cm <sup>2</sup> (Almeja). 22 Unidades / cm <sup>2</sup> (Ostra).
• Alimento:	50 – 200 l / Kg. semilla / día.
• Tiempo de cultivo:	Aprox. 60 días (Almeja). Aprox. 40 días (ostra).
• Tanques:	Bandejas o tambores (con fondo de malla) en tanques mas grandes.

Como complemento de estos datos y siguiendo las recomendaciones de Fernández Álvarez (*et al.*) se incluye la siguiente información:

- Hasta 500 μ se pueden utilizar tambores de 30 a 40 cm. de diámetro, como los mostrados en la figura 1.44, y con una densidad de 100 – 200 crías / cm<sup>2</sup>.
- Para tamaños mayores se pueden utilizar piscinas con bandejas (figura 1.89) de 3 – 5 m de longitud por uno de ancho y 0,8 de profundidad, con una densidad de 50 – 100 crías / cm<sup>2</sup> y un tamiz de 250 – 300 μ. Para tamaños superiores a 1 mm la densidad puede ser de 10 – 30 crías / cm<sup>2</sup> y el tamiz entre 500 μ y 1 mm.
  - Renovaciones: 2 – 4 al día.
  - Salinidad: 1030 – 1035. Nunca inferior a 1025.

La figura 1.47 muestra los tambores normalmente utilizados en esta fase en instalaciones exteriores.



**FIGURA 1.46.**  
Tanque de post larvas.

#### 1.7.4. Ciclos de producción

Considerando los tiempos de cultivo de cada fase, ya identificados en los párrafos anteriores, se puede estimar que la duración de un ciclo de producción para las almejas es de cuatro meses y medio (hasta 3 mm.) y para la ostra plana de 5 meses (hasta 5 mm.).



Hay dos consideraciones importantes a tener en cuenta cuando se definen los ciclos de producción anuales para satisfacer la producción prevista: por una parte la optimización de los equipos instalados de tal forma que los tiempos muertos de cada área o servicio se minimicen o sean «cero» y por otra la época ideal para sembrar las almejas y las ostras en la playa después del pre engorde.

### 1.7.5. Dimensionamiento de la instalación

Con los parámetros e información incluidos en este capítulo del Plan de Producción, se pueden ya hacer los cálculos oportunos para dimensionar los equipos que constituirán el «corazón» de la instalación.

#### 1.7.5.1. Progenitores

El primer eslabón de la cadena lo constituyen los reproductores y por tanto el cálculo de su número es fundamental para el inicio de la producción.

Este cálculo puede ser basado en un proyecto de D. Alejandro Guerra titulado «Prototipo de instalación para criadero y semillero para producción de ostra plana y almeja bajo cubierta ligera» para puestas naturales.

Este estudio recomienda la proporción de 40 reproductores de almeja fina y babosa por cada millón de semillas y por ciclo reproductor.

En el caso de la ostra plana su recomendación es de 320 reproductores por millón de semillas y por ciclo reproductor.

Con estos datos y con la producción anual estimada es fácil calcular con un cálculo proporcional (la «cuenta de la vieja») el número de reproductores que necesita la instalación.

Una alternativa a esta propuesta es la recomendación de algunos centros de investigación que sugieren la obtención de los padres del medio natural para cada ciclo de producción con lo cual se ahorraría el mantenimiento de los «padres y madres» y se aseguraría una diversidad genética en la producción.

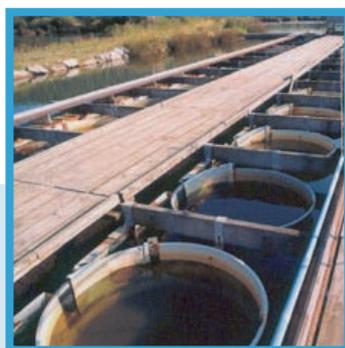


FIGURA 1.47.  
Semillero.



Otros autores (Fernández Álvarez, Cuña Casabellas y Pérez Camacho) hacen las siguientes consideraciones para el cálculo de progenitores de almeja:

- Renovación de un tercio de los reproductores al mes.
- No mantener reproductores más de 60 días.
- Número de reproductores según la fórmula siguiente:

$$R = A \times [(P / S) \times 100] / B$$

Siendo:

$R$  = Número de reproductores a estabular.

$A$  = Media de reproductores por puesta.

$P$  = Cantidad de semilla a producir.

$S$  = Supervivencia esperada al final del cultivo.

$B$  = Número medio de larvas por puesta.

Para el caso de la almeja estos valores podrían ser los siguientes según los mismos autores:

$A = 4$ . Una puesta por cada cuatro reproductores.

$B = 750.000$  larvas por puesta.

$S = 24 \%$ .

Según los mismos autores para el cálculo de los reproductores de ostra la fórmula es la misma pero los valores de las variables son diferentes:

$A = 10$  reproductores por puesta.

$B = 800.000$  larvas por puesta (prudente y bajo).

$S = 2 \%$  (baja para el cultivador experimentado).

Aplicando estos valores la fórmula reducida sería la siguiente:

$$R = 0.00063 \times P$$

Si se desea alcanzar una producción de 1.000.000 de semillas, se necesitan, según estos cálculos 630 reproductores.

También recomiendan introducir lotes de nuevos reproductores cada 15 días.

### 1.7.5.2. Dimensiones de los tanques de cultivo

Antes de iniciar los cálculos de los volúmenes de los tanques de cada fase de cultivo es muy importante averiguar lo que ofrece el mercado para adaptar los volúmenes que se van a necesitar a las posibilidades reales.

Se puede preparar una tabla con doble entrada: por una parte las fases de cultivo (reproductores, larvas, post larvas y semillas) y por otra



el tipo de tanque (rectangular, troncocónicos...), sus dimensiones y su volumen.

Esta información preliminar va a facilitar en gran manera el dimensionamiento de la instalación.

### 1.7.5.3. Número de tanques para las fases de cultivo de moluscos

Para este cálculo es necesario tener en cuenta una serie de factores que se relacionan a continuación:

- Producción prevista.
- Ciclos de producción al año.
- Densidad en cada fase.
- Mortalidad.
- Volumen de las bandejas o tanques.
- Otras experiencias.

Los aspectos prácticos esquematizados a continuación son de gran utilidad en esta fase del proyecto:

- Partiendo del número de semillas que se quieran obtener y con las mortalidades definidas en la tabla 1.38 se pueden ir calculando el número de individuos que se necesitan por fase (post larvas, larvas y huevos).
- Es interesante tener en cuenta para el cálculo de los volúmenes necesarios para cada fase el momento del año de máxima producción.
- El volumen de cálculo de cada tanque no es el volumen nominal («no se llenan hasta arriba») si no 2 / 3 (cultivo bivalvos) o 3 / 4 (fitoplancton) del total.

Con la información proporcionada en el capítulo 1.7.3 y estas consideraciones ya se puede calcular el volumen de agua necesario y por lo tanto el número de tanques para cada fase.

Otra fórmula para el cálculo del número de tanques para el cultivo larvario es la recomendada por Fernández Álvarez (*et al*):

$$T = [(P/D)/(A/B)] + C$$

Siendo:

$T$  = Número de tanques.

$P$  = Producción anual de larvas.

$D$  = Número de larvas por tanque.



$A$  = Número de días al año a utilizar el tanque.

$B$  = Número medio de días que un cultivo permanece en un tanque.

$C$  = Tanques mantenimiento post larvas antes de estabularlas como cría.

Los valores de algunas de estas variables para la ostra, según los mismos autores, podrían ser los siguientes:

$D$  = 500.000 larvas (1.000 larvas por litro en tanques de 500 litros).

$A$  = 300 días.

$B$  = 20 días (incluyendo dos para limpieza).

Entonces la fórmula anterior quedaría así:

$$T = (P / 75.000) + C$$

Los valores de alguna de estas variables para las almejas distintos de los de las ostras, según los mismos autores, podrían ser los siguientes:

$D$  = 2.500.000 larvas (5.000 larvas por litro en tanques de 500 litros).

$B$  = 28 días.

$C$  = 0.

Entonces la fórmula anterior quedaría así:

$$T = P / 275.000$$

### 1.7.5.4. Cultivo de fitoplancton

#### 1.7.5.4.1. Introducción

Las diversas fases para el cultivo del fitoplancton ya han sido descritas brevemente en el párrafo 1.5.9.

#### 1.7.5.4.2. Cálculo

Utilizando la información del capítulo 1.7.3 y con la misma metodología anterior se calculan las necesidades de fitoplancton para cada una de las fases de cultivo.

La unidad Isoc Eq /  $\mu$ l (Isocrisis equivalente por micro litro) es la concentración de la microalga *Isocrisis galvana* en los tanques de cultivo. Sabiendo el número de células por litro ( $35 \times 10^9$ ) se calculan los volúmenes necesarios de microalgas para cada fase.

Los resultados se pueden presentar en unas tablas en las que en una entrada figure la fase de cultivo (reproductores, larvas...) y en la otra la densidad de cultivo, dato de alimentación, alimento por unidad, alimento total y volumen total (todo por día).



El resultado final de este cálculo son las necesidades de microalgas por día en metros cúbicos.

Con este dato ya es fácil calcular el número de Erlenmeyers, balones o reactores y bolsas necesarios.

Los parámetros de cultivo y equipos necesarios para la producción de microalgas en cada una de las fases se detallan a continuación:

- Fase de inóculos:
  - Agua de mar fría filtrada ( $0.5\mu$ ) y esterilizada.
  - «Stock» de cepas unialegales (10 / 250 ml) para inóculos.
  - Subcultivos para niveles posteriores (10 / 250 ml).
  - Botellones de 5 litros.
  - Climatización de la sala de cultivo ( $20 \pm 2$  °C).
  - Aireación: 0.5 – 1 l / minuto y litro de cultivo.
  - Luz: lámparas fluorescentes.
- Fase intermedia en bolsas:
  - Agua de mar fría filtrada ( $0.5\mu$ ) y esterilizada.
  - Cultivo en bolsas de plástico de 500 litros.
  - Luz: lámparas fluorescentes.
  - Temperatura:  $20 \pm 5$  °C, controlada con climatizador.
  - Aireación: 0.05 – 0.1 l / minuto y litro de cultivo.

#### 1.7.5.5. Necesidades de agua de mar

El dato fundamental para el cálculo de las necesidades de agua de mar es la tasa de renovación diaria que va asociada a los volúmenes de los tanques e incluyendo el volumen de los tanques auxiliares mas el de las tuberías y las pérdidas estimadas en todos los circuitos nos dará como resultado final el volumen necesario.

Las tasas de renovación diaria recomendadas se detallan a continuación:

- **Reproductores:** 0.8 litros por minuto = 50 litros por hora.
- **Larvas y post larvas:** renovación total y puntual cada dos días.  
Tasa diaria de renovación = 0.5.
- **Semillas:** una renovación total y puntual al día para limpieza + circuito abierto con una renovación cada 24 horas = Tasa diaria de renovación = 2.



- **Fitoplancton:** renovación total cada 10 días = Tasa diaria de renovación = 0.1.

Con unos cálculos sencillos se obtienen los volúmenes de cultivo para los bivalvos y para las microalgas a los que habría que sumar los volúmenes de los tanques de almacenamiento auxiliares (cabecera, 10  $\mu$  y 1  $\mu$ ) y de las tuberías y al valor resultante se le aplica un coeficiente de seguridad.

Este razonamiento se podría traducir en una ecuación que se incluye a continuación:

$$C = N_{H2O} \times V_T$$

Siendo

$C$  = Caudal de agua para cada fase de cultivo ( $m^3/h$ ).

$N_{H2O}$  = Tasa de renovación (cambios de agua por hora).

$V_T$  = Volumen efectivo del tanque.

Otro parámetro muy interesante es el tiempo de residencia del agua en el tanque ( $TR_T$ ) que lo define la ecuación siguiente:

$$TR_T = V_T / C = 1 / N_{H2O}$$

## 1.8. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE DISEÑO

El documento desarrollado en esta sección recopila todos los datos técnicos de la instalación. Es la base del proyecto y en el se llegará hasta la definición de los mínimos detalles (materiales y tamaños de válvulas, diámetros y espesores de tuberías...). Es un documento «vivo» ya que hasta que la instalación esté en operación no estará finalizado.

### 1.8.1. Disposición general

Se debe optar por una disposición sencilla y sobre todo cómoda de manejo, agrupando todos los elementos auxiliares de cada zona o conjunto de zonas lo más próximos a su lugar de influencia, tratando de evitar cualquier complejidad o sofisticación, de tal forma que ante una avería o problema puedan atacarlo los miembros que forman el equipo de mantenimiento de la instalación tratando de minimizar la ayuda exterior.



El edificio es de una planta, con dos alturas diferentes (si es posible) tanto para la zona seca como para la húmeda, situando todos los tanques de almacenamiento en los laterales del edificio o en el techo de la nave, lo mas cerca posible de su lugar de utilización.

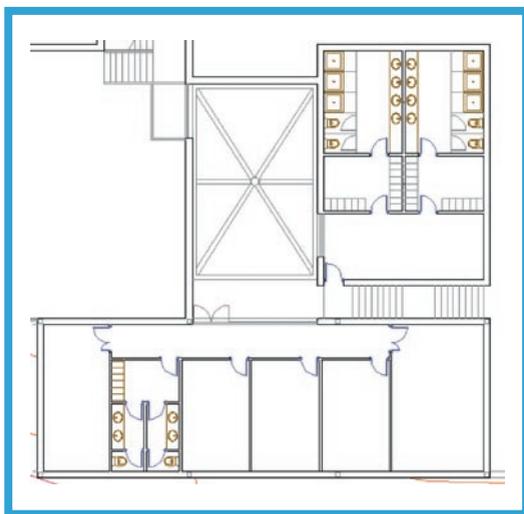
#### 1.8.1.1. Zona seca

Esta zona alberga las dependencias para dirección y secretaría; el centro de control; el centro de información; el laboratorio; una sala con los cuadros eléctricos; la amplia sala de reuniones con posibilidad de subdivisión para otros usos; el comedor equipado con frigorífico-congelador y hornos (eléctrico y microondas), un aula de entrenamiento; un almacén; la habitación y un dormitorio.

La figura 1.48 visualiza la disposición de la zona seca.

#### 1.8.1.2. Disposición de los tanques de almacenamiento

Los dos tanques de almacenamiento o de cabecera (Figura 1.49) que reciben directamente el agua del mar están situados en la zona mas cercana a las bombas de aspiración, justo en la parte mas elevada de la parcela, con lo cual se asegura el suministro de agua a toda la instalación, aún en caso de fallo de suministro de energía eléctrica.



**FIGURA 1.48.**  
Disposición  
de la zona seca.  
(Global Aquafish).



Además del suministro de agua a la instalación, otra tarea muy importante es la amortiguación de las posibles oscilaciones de demanda de agua en los tanques de cultivo frente al suministro de agua. De esta forma puede existir un desajuste entre el agua que se aspira del mar y el agua que se distribuye a los tanques, ajuste que sería imposible de conseguir de otra forma ya que es imposible variar continuamente la capacidad de aspiración. Estas variaciones de las demandas de agua son ocasionadas fundamentalmente por las operaciones de limpieza y llenado de los tanques. Las variaciones en la «oferta» de agua (aspiración) son debidas principalmente a las variaciones de las mareas.

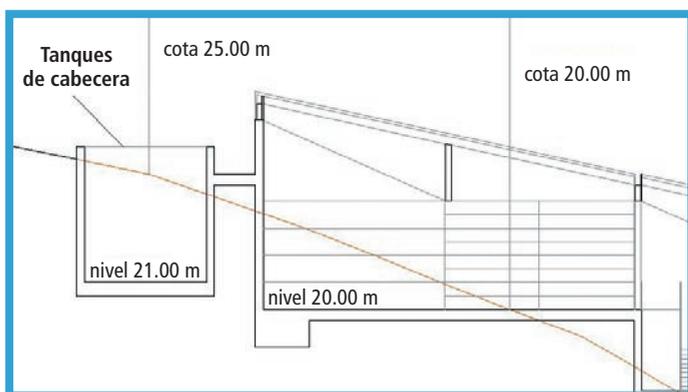
De acuerdo con las necesidades definidas en el plan de producción se calculará la capacidad de cada uno de estos tanques. Una estimación de su capacidad puede ser el 2% del volumen de agua necesaria para los tanques de cultivo.

El agua ya almacenada en los tanques de cabecera, se le puede someter a un doble filtrado: uno basto con un equipo autolimpiante de 5 mm. de luz y otro fino con filtros de tambor autolimpiantes hasta 40 micras. Posteriormente pasaría por el filtro de sílex. Dado que estas instalaciones suelen estar en zonas abrigadas, en principio y debido a que no hay enormes cantidades de algas como en mar abierto, no se instalarán el equipo autolimpiante y el filtro de tambor, ya que no se consideran necesarios y son bastante caros, pero si se debe contemplar dejar un espacio disponible por si mas adelante se decide su instalación.

A la salida del filtro de sílex (40 $\mu$ ) se instala un tanque de almacenamiento que alimentará a los reproductores y al sistema de filtración de 10 $\mu$ .

Se instalan dos tanques de agua filtrada a 10 $\mu$  por motivos de seguridad operativa de la planta, tal como se explica mas adelante, y no para su almacenamiento y posterior utilización ya que como tal no se utiliza, solo es un paso intermedio antes del filtraje a 1 $\mu$ .

Los dos tanques de agua filtrada a 1 $\mu$  que alimentan el laboratorio, los cultivos de microalgas, las bandejas de huevos de almeja, los tanques de larvas y post-larvas y los tanques de semillas están situados en la parte posterior de la nave, muy próximos a las zonas de mayor consumo de esta agua filtrada y colocados en alto para facilitar el aporte de agua por gravedad a cada uno de sus destinos.



**FIGURA 1.49.**  
Disposición de los tanques de cabecera (Global Aquafish).

Todos estos tanques se situarán siempre en la parte posterior de la nave o en su interior para evitar su impacto visual sobre el paisaje.

También se instalará un depósito elevado para almacenar las microalgas y facilitar su distribución a todos los tanques de cultivo.

### 1.8.1.3. Zona húmeda. Disposición de los tanques de cultivo

La idea que debe presidir la disposición de esta zona es la proximidad de los tanques o bandejas, con las fases de desarrollo más críticas, a sus fuentes de suministro y alimentación tal como podemos apreciar en la figura 1.50.

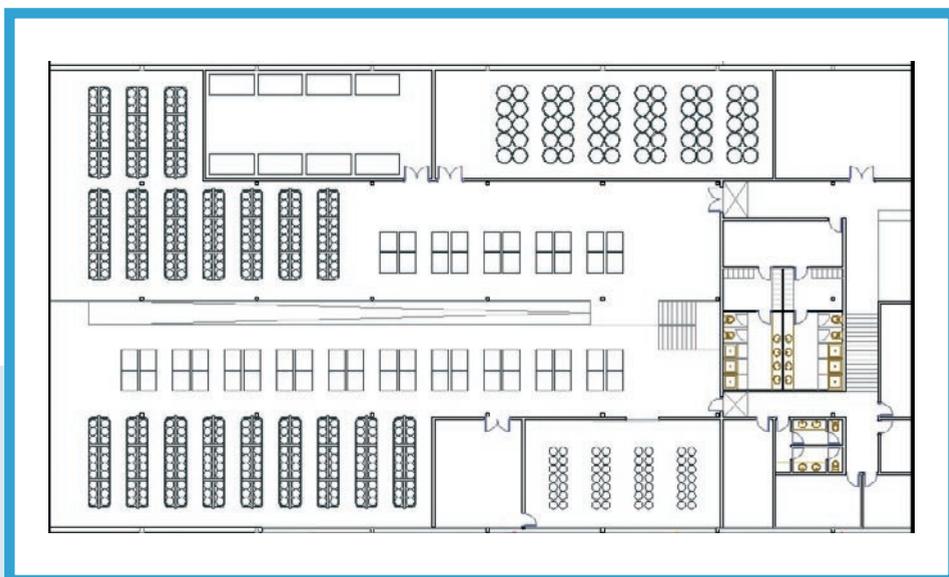
Para dimensionar la zona húmeda se debe tener presente el plan de producción establecido. Se debe dividir esta producción en ciclos anuales para cada especie, de manera que la producción esté escalonada en el tiempo.

Las bandejas de reproductores se ubican en una sala dentro de la zona húmeda.

Con este mismo criterio las bandejas de huevos se sitúan con los tanques para larvas y los tanques para fijación de las ostras en una misma área próxima a los cultivos de microalgas, al agua filtrada de  $1\mu$  y a los intercambiadores de calor o calentadores.

Los tanques para post larvas se sitúan en una sala a continuación del área de reproductores.

Las piscinas para semillas se sitúan en la zona de la nave mas alejada de la zona seca y del laboratorio.



**FIGURA 1.50.**  
Disposición de los tanques de cultivo. (Global Aquafish).

En el exterior se instalan los tanques de poliéster para el cultivo masivo de microalgas situados dentro de un invernadero.

El diseño de la nave debe considerar la distribución de los pilares respecto a la de los tanques de cultivo y los pasillos, para facilitar el trabajo del personal y el movimiento de las máquinas auxiliares.

La estructura de la nave debe ser resistente al ambiente del mar. Un material muy recomendable es la madera laminada que además de ser resistente al entorno salino permite aumentar la luz entre los pilares, reduciendo el número de estos.

La solera de la nave de hormigón puede tener una ligera pendiente hacia los canales de desagüe. Con esta inclinación se favorece la evacuación del agua de limpieza o derramada por los tanques, evitando el estancamiento que provocaría problemas de higiene.

Es también importante separar las diversas secciones del cultivo con tabiques o cortinas para evitar la transmisión de enfermedades. Para el paso de una dependencia a otra se colocarán pediluvios y otros medios de desinfección.



## 1.8.2. Circuito de agua salada

La idea que debe presidir el diseño de este circuito es la duplicidad: todos los equipos, tuberías, tanques, sistemas de filtrado, sistema de esterilización y calentadores se instalarán por partida doble para asegurar el suministro del medio vital en caso de fallo único y además para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza de los equipos y de la tuberías.

La descripción de este sistema se va a realizar empezando por la aspiración del agua del mar y al seguir su camino se van definiendo y describiendo cada uno de sus componentes. La figura 1.51 visualiza un posible diagrama de flujo.

### 1.8.2.1. Sistema de bombeo

Para el éxito de toda instalación de cultivos marinos hay dos factores básicos que están íntimamente ligados con el sistema de aspiración: la

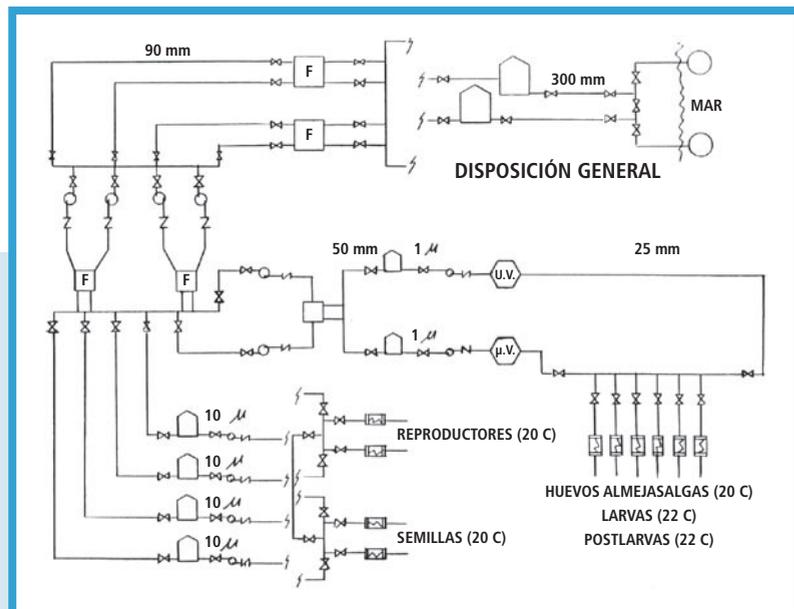


FIGURA 1.51.  
Diagrama de flujo.



calidad y la cantidad del agua que debemos tener disponible en todo momento para asegurar la viabilidad técnica de la instalación.

La **calidad del agua** debe estar fuera de toda duda al haber elegido el emplazamiento y estar en una zona que sea un hábitat natural de las especies a cultivar. Además se debe cuidar mucho la zona de obtención del agua para la instalación, al evitar al máximo las zonas de mayor aporte de agua dulce, fijando el punto de aspiración en una zona de gran profundidad y alejado del curso normal de la desembocadura del río (si este existe). Esta elección es vital de cara a evitar, al máximo, las riadas de agua dulce que a menudo pueden producirse en la zona (si existe un río) y que afectarían negativamente a la producción del criadero.

Los parámetros más importantes para mantener la calidad del agua se comentan a continuación:

- **Amonio:** es el mayor producto residual del metabolismo proteínico en la mayor parte de los seres acuáticos. La toxicidad del amonio se debe al componente no ionizado  $\text{NH}_3$ , mientras que la forma ionizada  $\text{NH}_4^+$  tiene una toxicidad más baja. El amonio no ionizado se le denomina «nitrógeno» y se escribe  $\text{NH}_3\text{-N}$ . La concentración de amonio expresada como  $\text{NH}_3$  se puede convertir a nitrógeno básico multiplicando por 0.822. La concentración del amonio no ionizado depende fundamentalmente del amonio total (no ionizado e ionizado), el pH, la temperatura y la salinidad.
- **Nitrito:** es el componente intermedio entre el amonio y el nitrato. Puede oxidar el hierro de la hemoglobina haciéndola inhábil para el transporte de oxígeno. Su toxicidad es importante pero se reduce en el agua de mar debido a las altas concentraciones de cloro y calcio.
- **Nitrato:** es el componente final de la oxidación del amonio. No es tóxico salvo en muy altas concentraciones como puede ocurrir en los sistemas cerrados.
- **Oxígeno disuelto:** el equilibrio o concentración de saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura y de la salinidad. La fotosíntesis y el calentamiento solar pueden producir concentraciones más altas que la saturación. Concentraciones menores que la saturación suelen ser producidas por la contaminación. Para peces y crustáceos el crecimiento disminuye cuando el oxígeno



disuelto cae por debajo de 6 mg / l y provoca una abundante mortandad cuando es inferior a 2 – 3 mg / l. Los moluscos bivalvos toleran concentraciones bajas por largos períodos de tiempo sobre todo si las temperaturas son bajas.

- *Dióxido de carbono*: altas concentraciones de CO<sub>2</sub> reducen la capacidad de los seres acuáticos para transferir oxígeno. La concentración se debe mantener por debajo de 10 mg / l.
- *Ácido sulfídrico o sulfuro de hidrógeno*: pueden aparecer altas concentraciones en el agua de los pozos o en las aguas más profundas de bahías con circulación de agua restringida. Un máximo de 1 µg / l se recomienda para peces y crustáceos.
- *Sobresaturación de gases*: puede aparecer en aguas superficiales y en pozos de agua de mar. Una presión de gas entre 100 y 200 mm de Hg es letal y niveles entre 40 y 50 mm de Hg aumentan la mortalidad. Se recomienda una concentración máxima de 20 mm de Hg para peces y crustáceos.
- *pH*: el rango habitual está entre 7,9 y 8,2 y es el recomendado.
- *Cloro residual*: este elemento es bastante utilizado en las instalaciones de acuicultura como desinfectante, para tratar aguas residuales y para prevenir el incrustamiento entre otros usos. Un máximo de 1 µg / l es lo recomendable.
- *Temperatura*: En el mar puede variar entre -1° C hasta 40° C. En general los cambios de temperatura rápidos y prolongados nos son aceptados por los seres a cultivar. La temperatura para cada especie estará basada en la normal en la naturaleza. Los cambios de temperatura deben ser muy suaves, se recomienda un grado por día.
- *Salinidad*: este parámetros se expresa en partes por mil (g / Kg). La salinidad puede variar entre 1 y 40 por mil. Los rangos admisibles son muy variados según la especie que se cultive.
- *Metales pesados*: estos son habitualmente cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc. Su gran peligro es que los seres en cultivo los incorporan a su organismo después de la ingestión y pueden transmitirlos a los consumidores.
- *Biocidas*: un gran número de compuestos orgánicos son introducidos por el hombre en la naturaleza (herbicidas, pesticidas...) y normalmente todos son altamente contaminantes.



A continuación se esquematizan los valores admisibles de estos parámetros para las instalaciones de producción:

PARÁMETRO	VALOR
Amonio (excepto para plantas)	< 10 µg / l (NH <sub>3</sub> -N)
Nitritos	< 10 mg / l (NO <sub>2</sub> -N)
Oxígeno disuelto (excepto para plantas)	> 6 mg / l
Gases totales (presión)	< 20 mm Hg
Dióxido de carbono (excepto para plantas)	< 10 mg / l (CO <sub>2</sub> )
Ácido sulfídrico	< 1 µg / l (SH <sub>2</sub> )
Cloro residual	< 1 µg / l
pH	7,9 – 8,2
Temperatura	Depende de la especie
Salinidad	Depende de la especie
<b>Metales pesados (total)</b>	
Cadmio	< 3 µg / l
Cobre	< 3 µg / l
Cromo	< 25 µg / l
Hierro	< 100 µg / l
Manganeso	< 25 µg / l
Mercurio	< 0,1 µg / l
Níquel	< 5 µg / l
Plomo	< 4 µg / l
Zinc	< 25 µg / l

La **cantidad de agua** es el segundo factor fundamental y el sistema de bombeo será el encargado de suministrarla. Asociada a la instalación de las bombas está la problemática de todas aquellas circunstancias que pueden limitar o impedir el acceso del agua a la instalación (algas sobre todo o movimientos de arena). Al elegir el emplazamiento se debe también haber tenido en cuenta este detalle: que en la aspiración no haya una gran cantidad de algas y que los movimientos de arena tampoco sean importantes.

El **sistema de captación del agua del mar** es el elemento principal de las granjas en tierra, ya que debe asegurar el suministro de agua a los tanques de cultivo bajo cualquier circunstancia. Es el sistema



encargado de captar el caudal suficiente para abastecer a los tanques de cultivo, asegurando dicho aporte de manera continua, sin ningún fallo posible en el suministro.

Un problema en el sistema de captación de agua que impida la renovación de la misma en los tanques de cultivo durante un tiempo, aunque sea relativamente corto, puede suponer la muerte de parte importante de la biomasa, con las implicaciones económicas y de viabilidad que esto implica. Por ello se le dota de grandes medidas de seguridad basadas normalmente en el sobredimensionamiento de sus elementos y en la disposición de sistemas redundantes que puedan entrar en funcionamiento ante la avería de alguno de los sistemas principales. Un adecuado sistema de captación supone una gran parte del éxito de cualquier instalación de cultivo en tierra.

Existen dos tipos fundamentales de formas de captación de agua del mar:

- **Pozo:** su construcción a la profundidad adecuada asegura un aporte de agua filtrada a través del terreno, suficiente para satisfacer las necesidades de la instalación. Dicho pozo se construye próximo a la línea de costa.

Cada vez se utilizan más a menudo pozos para captar agua marina, ya que presentan la gran ventaja de proporcionar agua que se ha purificado a través del terreno, y por tanto ha sufrido ya un importante filtrado natural, que elimina prácticamente cualquier sólido en suspensión.

El agua se impulsa con bombas semejantes a las utilizadas en el sistema de captación directamente del mar. La profundidad del pozo deberá ser la suficiente para asegurar el suministro de agua aún en las bajamares más grandes.

Siempre hay que sobredimensionar las instalaciones para estar del lado de la seguridad frente a posibles imprevistos. No siempre es posible, por la naturaleza de la costa y del terreno, encontrar aguas profundas en las zonas adecuadas.

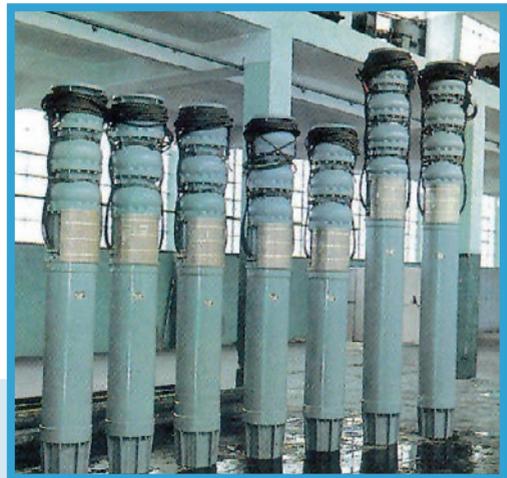
- **El mar:** se toma el agua directamente del mar, pudiéndose realizar de tres formas diferentes:
  - Captando el agua por aspiración mediante bombas de succión que absorben el agua a través de un conducto. Fueron utilizadas en el pasado para pequeños caudales. Actualmente no se



utilizan debido a su alto coste energético y a los problemas de mantenimiento que generan.

- El agua llega por gravedad hasta un foso, el pozo de bombas, desde donde es impulsada por bombas sumergidas (figura 1.52). Existen dos alternativas dentro de este sistema. El agua puede llegar al foso de bombas bien a través de un canal abierto excavado en la línea de costa, o bien a través de un conducto que va enterrado hasta el foso de bombas y toma el agua varias decenas o centenas de metros mar adentro.
- Colgando una bomba sumergible en una balsa flotante, que sigue el flujo y reflujos de las mareas, y que siempre aspira desde una cota inferior al nivel del mar e impulsa el fluido hasta el tanque de cabecera.

En los dos primeros casos, tanto el canal de entrada como el conducto de captación deben discurrir por debajo de la cota alcanzada por la mínima línea mareal conocida. Se suele diseñar para que su punto más elevado, que coincide normalmente con su llegada al foso de bombas, se encuentre a la cota  $-3$  m, es decir 3 m por debajo del menor nivel de mareas conocido. De esta manera se asegura la entrada por gravedad del agua de mar y por tanto el abastecimiento de la instalación. En el tercer caso siempre estamos por debajo del nivel del mar.



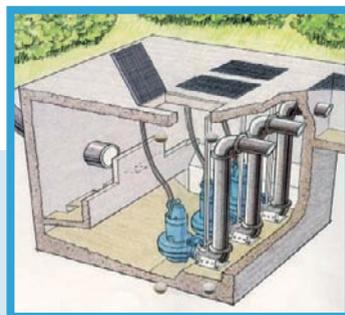
**FIGURA 1.52.**  
Bombas sumergibles.



El sistema de canal abierto presenta el problema de que toda la energía del mar llega hasta el foso de bombas, pudiendo causar problemas serios (entrada de aire o arena en las bombas, rotura de las bombas o muros...) en el sistema de bombeo. Para evitarlo se deben construir muros que disipen la energía del mar (Figura 1.53).

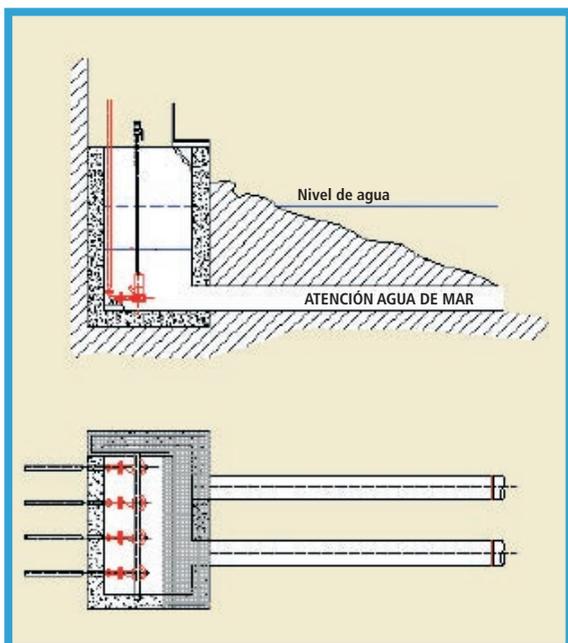
En el caso de que el agua se haga llegar al foso de bombas a través de uno o varios conductos enterrados (Figura 1.54), la energía del mar no llega a afectar al agua entrante a dicho foso. El conducto lleva el agua por gravedad desde su extremo o abertura, en el cual se encuentra la torre de captación, hasta el foso de bombas.

El objetivo del sistema de captación es poder disponer de agua en cantidad y de calidad suficiente para permitir el correcto desarrollo



**FIGURA 1.53.**

Sistema de bombeo con muro protector (Global Aquafish).



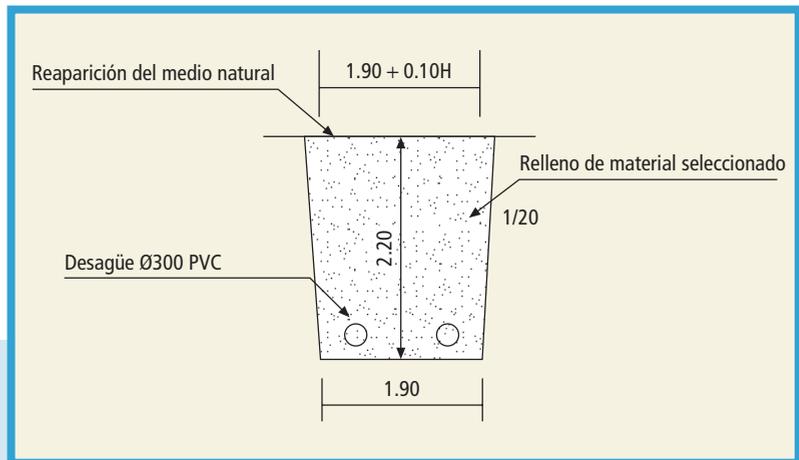
**FIGURA 1.54.**

Sistema de bombeo con conducto (Global Aquafish).



de los seres marinos. Por ello, cada vez se tiende a colocar conductos de captación más largos, que permitan captar agua de mayor calidad, con menos sólidos en suspensión, y menos sometida a las variaciones provocadas por la cercanía del litoral. El punto de captación debe estar situado a una profundidad de al menos 15 m. Esto evita, entre otras cosas, la captación de agua con partículas en suspensión ya que a esta profundidad ya no son apreciables los movimientos marinos superficiales. Este método se emplea sobre todo en instalaciones en mar abierto, que no es el caso que nos ocupa. Los conductos pueden ser de diversos materiales (hormigón resistente al agua de mar, metálicos, polietileno, PVC...) debiendo ser resistentes y elásticos. Es conveniente enterrar dicho conducto en una zanja practicada en el fondo marino para así evitar la influencia de las corrientes y otros movimientos del mar, que pueden destrozar la conducción. Posteriormente se suele sellar con hormigón u otro material apropiado (Figura 1.55).

La citada torre de captación, es un ensanchamiento del extremo del conducto abierto al mar que pretende impedir la entrada por el mismo de sólidos, algas y basuras que perjudican la calidad del agua o el funcionamiento del sistema.



**FIGURA 1.55.**  
Zanja para enterrar los conductos.



El foso de bombas es un pozo excavado en la costa (con muros de contención) hasta una profundidad algún metro por debajo del mínimo nivel del mar conocido para, como ya se ha dicho, asegurar la entrada por gravedad, hasta el mismo, de agua del mar. El foso de bombas suele estar dividido en dos espacios comunicados, el foso y el prefoso de bombas, separados parcialmente por un muro central (figura 1.53). El agua llega por el canal o por el conducto, en primer lugar al prefoso de bombas y posteriormente de éste pasa al foso de bombas. La misión del prefoso es amortiguar las oscilaciones del nivel del agua derivadas del oleaje u otros movimientos, de forma que el nivel del agua en el foso de bombas sea más o menos constante, facilitando así el trabajo homogéneo de las bombas de impulsión. Las dimensiones del foso y prefoso de bombas deben ser las suficientes para permitir un acceso cómodo en caso de necesidad de reparación o mantenimiento; además debe permitir la colocación de un sistema quita-algas.

Normalmente se usan bombas sumergibles del tipo de las utilizadas en tratamiento de aguas residuales (figura 1.52), que son bombas muy potentes y fiables, capaces de bombear lodos y sólidos de cierta entidad sin verse bloqueadas.

Las bombas que trabajan en seco dan más problemas de mantenimiento, por lo que prácticamente no se usan actualmente. Las bombas deben ser muy seguras, duraderas y es conveniente tener un servicio técnico próximo a la instalación. Se puede colocar un sistema de polipastos en el foso de bombas para facilitar el intercambio rápido de las mismas.

Las bombas de grandes caudales y pequeñas alturas de impulsión sufren grandes variaciones de caudal dependiendo del nivel de la marea, que puede oscilar en altura hasta 4 metros. Para evitar este problema, en lo posible, se dota a las bombas de reguladores de frecuencia que permiten a estas modificar su régimen para mantener un caudal constante.

El cálculo de la potencia de las bombas depende de la altura a la que haya que elevar el caudal, y del caudal mismo. Se suele colocar una bomba de potencia suficiente para suministrar a la granja el máximo volumen que pueda necesitar, y además colocar dos



o más bombas de las mismas características que se utilizarán en caso de fallo de la primera o de varias de ellas.

También puede ser de utilidad colocar bombas de distintas potencias para poder, mediante distintas combinaciones de su uso, obtener distintos caudales. Se debe tener previsto situaciones extraordinarias de necesidades de caudal en el momento de elegir las bombas. Estas deben estar lo más separadas posibles entre ellas para evitar interferencias.

Las dimensiones de las tuberías de impulsión no dependen de la altura de elevación. El diámetro de las tuberías de impulsión influye en las pérdidas de carga, por lo que habrá que buscar un tamaño de las tuberías para lograr un equilibrio entre el mayor coste del material de las tuberías grandes y el menor coste energético que implican por sus menores pérdidas de carga a medida que aumenta su tamaño. Se tiende a sobredimensionar el diámetro de las tuberías de impulsión.

Como ya se ha dicho antes para la **toma de agua** hay tres alternativas: un emisario, la aspiración directa desde la cota de los tanques de cabecera o la aspiración desde una plataforma flotante.

A continuación se pone un ejemplo para la elección de una de las tres posibilidades teniendo en cuenta las características de una zona determinada.

La elección del **emisario** implica colocar un tubo desde el pozo de bombas, situado a 3 metros por debajo del nivel mareal mas bajo, hasta la zona de captación de aguas. Este emisario descargaría en un pozo de bombas que habría que situarlo en la zona de dominio marítimo terrestre. Toda esta obra, en este hipotético caso, habría que hacerla en la zona rocosa próxima al punto de aspiración.

Las precauciones que se deben adoptar si se instala un emisario se esquematizan a continuación:

- **Seguridad:** evitar el riesgo de que una persona sea aspirada por el colector y provoque un accidente grave.
- **Mantenimiento:** en la parte interior del tubo se incrustarán multitud de seres marinos que será necesario eliminar mediante una limpieza mecánica periódica que deben realizar los buceadores.
- **Entrada de arena:** después de los temporales, es lógico que el agua tenga arena en suspensión. Esta arena se depositará dentro



del pozo de bombas con lo cual será necesaria una limpieza periódica. La frecuencia de esta limpieza dependerá de la climatología pero es muy importante evitar, al máximo, la entrada de arena por dos razones de peso:

- Evitar la abrasión de los álabes y otras partes de las bombas que disminuirían su vida en operación.
- Minimizar la limpieza de la arena en el pozo.
- **Entrada de aire en el sistema:** Si por cualquier causa las bombas aspiran aire existen dos riesgos importantes:
  - La muerte masiva de los seres que se cultivan por embolia gaseosa.
  - La cavitación de la bomba con los consiguientes daños en los álabes.

Por estas razones el emisario debe situarse a una profundidad mínima por debajo del nivel mareal mínimo para evitar la entrada del aire.

- **Fijación de los colectores:** es muy importante un anclaje fuerte y seguro de los colectores al fondo para que resistan las inclemencias del tiempo. La pérdida del emisario durante algunas horas supone un alto riesgo para la supervivencia de todos los seres vivos del criadero (moluscos, peces, fitoplancton...).
- **Materiales:** normalmente de polipropileno.

Los pozos de bombas deben contemplar las siguientes consideraciones:

- Alojarse las bombas y facilitar toda la infraestructura para su mantenimiento.
- Diseñar espacio para varias bombas.
- Incorporar grúa y equipos auxiliares (polipastos, cadenas...) para poder extraer las bombas y proceder a su mantenimiento (pintura, cambio de ánodos de sacrificio, sustitución de rodamientos...) o a su reparación en caso de daños graves.
- Instalarse a un mínimo de tres metros por debajo del nivel mínimo de la marea baja más grande prevista en la zona.

El pozo de bombas y su área de influencia tendría por lo tanto las características principales siguientes:

- El suelo a un mínimo de 3 metros bajo el nivel mínimo intermareal.
- Superficie para la instalación de las bombas.



- Anclajes para soportar los tubos de aspiración y elevación del agua.
- Zona para la reja que elimina las algas de forma automática.
- Dispositivo para retirar las algas que capta la reja.

Para esta primera solución posible de emisario se ha optado por la elección de bombas sumergibles. La supresión de la casa de bombas en contacto con la atmósfera, con los problemas de corrosión asociados, es también una razón importante para elegir las bombas sumergidas. El material de estas bombas suele ser acero al carbono protegido con pintura epoxy con internos de acero inoxidable y un juego de ánodos de sacrificio de zinc.

Se pueden instalar varias bombas iguales, de las cuales una estaría siempre en servicio, dos en stand-by con arranque progresivo, dependiendo de la señal del presostato del tanque de cabecera y una en reserva. Normalmente dos bombas suelen ser suficientes pero por motivos de seguridad y pensando en futuras ampliaciones se pueden instalar cuatro o más.

La especificación técnica debe incorporar los siguientes datos de las bombas de aspiración:

- Datos de partida.
- Solución técnica de la parte hidráulica mecánica.
- Solución técnica de la parte eléctrica.
- Curva de funcionamiento.
- Plano de conjunto.
- Punto de trabajo y condiciones de trabajo.
- Diseño de sistemas de tuberías.
- Especificaciones de materiales necesarios.

Las rejillas para eliminar las algas y la tubería de aspiración pueden ser de acero inoxidable.

Todas y cada una de las bombas incorporan una válvula de corte y antiretorno.

Un cálculo muy interesante es el relacionado con la verificación de que el agua que va a llegar naturalmente al pozo de captación es suficiente para cubrir las necesidades de la instalación y por supuesto los requerimientos de la bomba.



La altura mínima en el pozo tendrá que cubrir la altura física de la bomba, la altura de cebado de la misma y la diferencia intermareal máxima.

Esta verificación se puede realizar cuando ya se hayan definido los siguientes parámetros:

- Caudal necesario para el funcionamiento de la instalación.
- Bombas de aspiración: características, dimensiones...
- Dimensiones del pozo de bombas: profundidad, anchura...
- Longitud y diámetro de la tubería de aspiración.
- Altura de las mareas de la zona.

En este cálculo se va a verificar que la altura necesaria para suministrar el caudal requerido es menor que la que ya previamente se ha definido.

Lo primero es calcular la velocidad en la tubería conociendo el caudal y el diámetro de la misma:

$$C = V S \text{ de donde } V = C / S$$

Siendo:

$V$  = Velocidad media del agua en la tubería en m / seg.

$C$  = Caudal en  $m^3$ .

$S$  = Área de la tubería =  $\pi R^2$

$R$  = Radio de la tubería.

Conociendo la velocidad se puede calcular por la ecuación de Darcy – Weisbach la pérdida de carga en la tubería de aspiración con lo que se conocerá la altura que alcanzará el agua naturalmente en el pozo:

$$P_c = fLV^2 / 2 g \Phi$$

Siendo:

$P_c$  = Pérdidas de carga en metros.

$f$  = Coeficiente de pérdidas por rozamiento.

$L$  = Longitud de la tubería en metros.

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

$g$  = Aceleración de la gravedad en m / seg<sup>2</sup>.

Como ya se conocen  $L$ ,  $\Phi$  y  $g$  solo es necesario calcular  $f$ .

El coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) depende del número de Reynolds, de las rugosidades internas de la tubería y del diámetro de la misma.



El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del conducto por el que fluye. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$R_e = \Phi \times V / \nu$$

Siendo:

$R_e$  = Número de Reynolds.

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

$V$  = Velocidad media del líquido en metros por segundo.

$\nu$  = Viscosidad cinemática del líquido en  $m^2 / seg$ .

El valor de la viscosidad cinemática para agua de mar de 1035‰ de salinidad a 20 °C es  $1,0459 \times 10^{-6} m^2 / seg$ .

Una vez calculado el número Reynolds se pueden utilizar las ecuaciones de Poiseuille, Blasius, Colebrook – White, Nikuradse y otras para determinar los valores del coeficiente de pérdidas por rozamiento  $f$ . Pero en la práctica se recurre a un ábaco conocido como diagrama de Moody que se adjunta en la figura 1.56.

Para entrar en este diagrama necesitamos dos variables: el número de Reynolds (ya obtenido) y la rugosidad relativa.

La rugosidad relativa se define con la expresión siguiente:  $K_s / \Phi$  (adimensional).

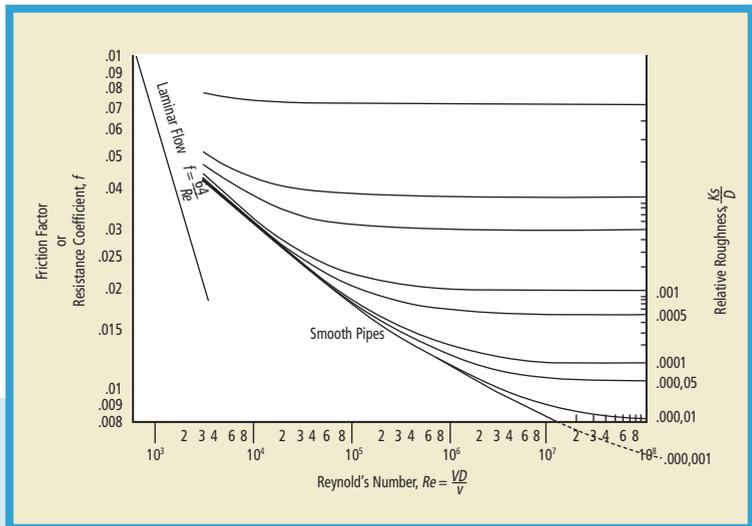


FIGURA 1.56. Diagrama de Moody (ASME).



Siendo

$K_s$  = Rugosidad de arena equivalente en metros.

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

La rugosidad de arena equivalente es una estimación de la rugosidad de la superficie interior de las tuberías relacionada con el material base, el servicio y la limpieza. Su valor para los materiales normalmente usados en acuicultura es  $1,3 \times 10^{-5}$  metros. Si una línea tiene incrustaciones (biofouling) considerables este valor aumenta hasta el intervalo  $3 - 9 \times 10^{-4}$  a  $3 - 9 \times 10^{-3}$  metros, aun después de una limpieza rigurosa debido a la existencia de residuos adheridos. Si las incrustaciones han reducido considerablemente el diámetro de la tubería el valor de  $K_s$  puede llegar hasta 0,003 metros.

Entrando con la rugosidad relativa desde el margen derecho del diagrama de Moody y con el número de Reynolds desde la parte inferior se obtiene el coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) en el eje izquierdo de dicho diagrama gracias a la intersección de los dos valores anteriores citados.

Una vez calculado el coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) ya se pueden obtener las pérdidas de carga de la tubería de aspiración y por lo tanto la altura que naturalmente alcanzará el agua del mar en el foso de las bombas. Si esta altura es mayor que la que se había previsto, estos cálculos avalan las consideraciones del proyecto.

Otro cálculo posible para verificar la idoneidad de la instalación diseñada puede ser el siguiente:

Una vez estimado el coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) y como se ha estimado la altura que se necesita en el pozo para su recuperación, se puede entrar en la ecuación de Darcy – Weisbach obteniendo la velocidad media ( $V$ ) en la tubería de aspiración:

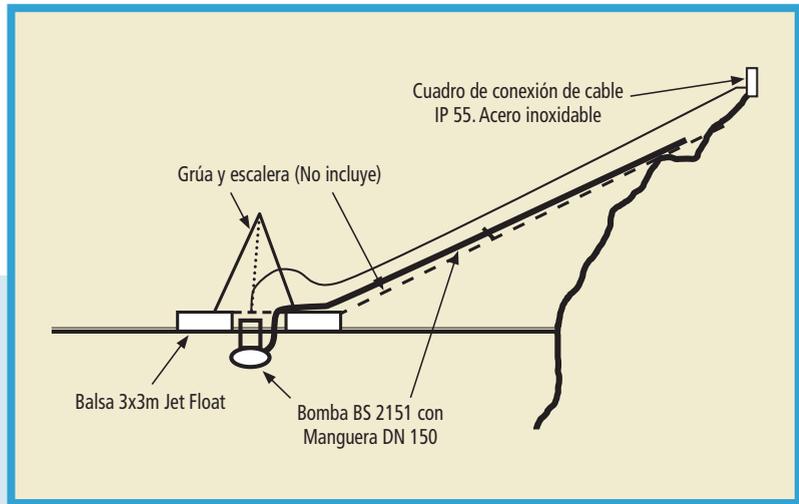
$$P_c = fLV^2 / 2 g \Phi$$

Con este valor de la velocidad ( $V$ ) se puede entrar en la siguiente fórmula y calcular el caudal de la tubería de aspiración:

$$C = VS$$

Si este caudal es superior al estimado para la instalación también quedará validado el valor considerado.

**FIGURA 1.57.**  
Bomba de impulsión sobre pantalán.  
(Global Aquafish).



La segunda alternativa prevista es la **aspiración directa desde la cota de los tanques de cabecera**. Esta solución implica la instalación de dos tubos desde el lugar de aspiración hasta la casa de bombas.

La tubería de aspiración sería de polietileno de alta densidad, doble, y con dos uniones estancas y desmontables que facilitarían su montaje y desmontaje para los trabajos de limpieza periódica.

La gran ventaja de esta solución es el absoluto respeto al paisaje, ya que, prácticamente, no se toca al entorno rocoso, y las tuberías podrían ocultarse con piedras que existan alrededor.

La principal desventaja sería el coste económico adicional de las bombas y su mayor consumo durante la vida de la instalación. Por estas razones esta solución debe rechazarse.

La tercera alternativa, igual de respetuosa con el medio ambiente que la anterior, supone la **instalación de las bombas de impulsión sobre un pantalán flotante** que mediante una manguera conduce el agua directamente hasta los tanques de cabecera. La figura 1.57 muestra un esquema de esta.

Se podrían instalar dos bombas por redundancia y además para que funcionen en períodos alternativos (una semana una y la siguiente la otra, por ejemplo).



La estructura del soporte de las bombas sería un pantalán con una estructura dotada de unos polipastos para facilitar el montaje / desmontaje de las bombas.

Las mangueras pueden incorporar los cables sumergibles de alimentación de las bombas. Se dispondrán flotando o sumergidas hasta la costa y luego se sujetan con unos soportes sencillos durante su recorrido por tierra firme.

Alrededor de la aspiración de la bomba se instalará un enrejado para evitar la entrada de algas u objetos que puedan dañar los componentes de la bomba. Esta estructura que protege la captación de aguas se fijará al fondo.

El pantalán flotante además de soportar el peso de las dos bombas, incorporará un pórtico con dos polipastos y dos ganchos para poder montar y desmontar las bombas. Es también necesario dotar a esta plataforma flotante del espacio suficiente para que los trabajadores puedan realizar sus actividades.

Este sistema tiene grandes ventajas, sobre todo desde el punto de vista del impacto ambiental, que se detallan a continuación:

- El entorno rocoso de la zona marítima terrestre se mantiene inalterable, pues además al ser la manguera flexible, prácticamente no necesita apoyos fijos y no necesita ser cubierta con piedras. Si la instalación se pusiese alguna vez fuera de servicio la costa quedaría exactamente igual que está ahora.
- El impacto visual de una pequeña balsa de 3 x 3 m, es prácticamente despreciable.
- Técnicamente es una muy buena solución ya que se asegura que la bomba siempre estará sumergida y por lo tanto con suministro de agua continuo, al seguir la balsa el movimiento de las mareas.
- En el caso de mantenimiento, averías o necesidad de limpieza, al instalar dos bombas redundantes, es cuestión de minutos el cambio.
- Desde el punto de vista de la inversión inicial también es una solución sumamente atractiva ya que evita la costosa obra del pozo de bombas, que aparte del enorme impacto ambiental ya citado, supone un coste que en algunas piscifactorías ha supuesto el 20 % de la inversión total.



- Otra ventaja importante es la facilidad de montaje y desmontaje de la manguera, ya que como necesita su limpieza interior periódica, esta se puede realizar en tierra lo que supone un gran ahorro de tiempo y una mayor perfección al poder aplicar una gran variedad de métodos (agua a presión, agua caliente ...).

Los datos iniciales necesarios para el cálculo de las bombas son los siguientes:

- Número de bombas.
- Caudal total.
- Caudal unitario.
- Alturas geométricas:
  - Mínima.
  - Máxima.
- Tuberías:
  - Número de mangueras.
  - Diámetro.
  - Longitud máxima.

La especificación técnica debe incorporar, como en el caso anterior, los siguientes datos de las bombas elegidas:

- Datos de la instalación.
- Amplitud del estudio
- Datos hidráulicos de la solución técnica.
- Datos eléctricos de la solución técnica.
- Especificación de los materiales necesarios.
- Plano de la bomba.
- Curva de funcionamiento de la bomba.

Por las razones ya expuestas a lo largo de las descripciones sucesivas de las tres opciones consideradas y teniendo en cuenta sobre todo el impacto ambiental, la tercera posibilidad creemos que es la mejor y es la que se debería elegir para el desarrollo del proyecto.

Para la instalación final de estas bombas se necesitan los siguientes elementos:

- Variadores de frecuencia.
- Una balsa para la instalación de las bombas.
- Grúa y escalera.



- Calderería y valvulería necesaria.
- Canalización eléctrica desde las balsas hasta la caseta central.
- Cuadro eléctrico para el mando de fuerza y maniobra de la bomba.

#### 1.8.2.1.1. Cálculo de la potencia de las bombas y sus motores

Las bombas se utilizan para mover el agua y para aumentar la presión disponible. Las bombas centrífugas, las más usuales en acuicultura, aceleran el agua desde una velocidad baja hasta una alta incrementando la presión o la altura en la descarga.

Las variables más importantes en los cálculos de las bombas son las siguientes:

- **Caudal del fluido** =  $Q$ .
- **Altura de impulsión** =  $H$ . Este parámetro es la suma de la elevación de agua al punto de almacenamiento y cualquier pérdida de carga que ocurre en la tubería. Cuando la bomba tiene varias etapas (varios impulsores montados en un solo eje) el caudal de la bomba no aumenta, ya que cada impulsor desplaza el mismo volumen, pero la bomba le proporciona presión adicional al agua de tal manera que la eleva más alto (o la empuja más lejos).
- **Revoluciones por minuto**: rpm. El número de rpm representa la velocidad de giro del motor.
- **Presión neta positiva de aspiración**: NPSH (Net Positive Suction Head). Este parámetro es la diferencia entre la presión existente a la entrada de la bomba y la presión de vapor del líquido que se bombea. Esta diferencia es la necesaria para evitar la cavitación. La cavitación produce la vaporización súbdita del líquido dentro de la bomba, reduce la capacidad de la misma y puede dañar sus partes internas. Esta vaporización es el resultado de la presión reducida a la aspiración de la bomba y las temperaturas elevadas y también depende de las distintas elevaciones.

La información más importante de las bombas está incluida en las curvas que suministra el fabricante. Este gráfico suele incorporar a la vez las siguientes:

- **Curvas características**: muestran la variación del caudal de la bomba con la altura de impulsión y existe una para cada velocidad



de rotación. En el eje de las «X» están los valores del caudal y en el de las «Y» el de la altura de impulsión. Normalmente una bomba y un impulsor tienen varias posibilidades de velocidad y esto se visualiza en varias curvas paralelas que el suministrador entrega (figura 1.58 – «Head»).

- **Curvas de potencias:** visualizan la variación de la potencia frente al caudal a una velocidad determinada (revoluciones). La figura 1.58 visualiza una de estas curvas («Power»).
- **Curvas de rendimientos:** muestran la variación del rendimiento frente a los caudales a una velocidad determinada (revoluciones) (figura 1.58 – «Efficiency»).
- **Curvas de NPSH:** muestran la variación de la presión neta positiva de aspiración frente a los caudales. En la figura 1.58 también se aprecia en color azul esta curva.

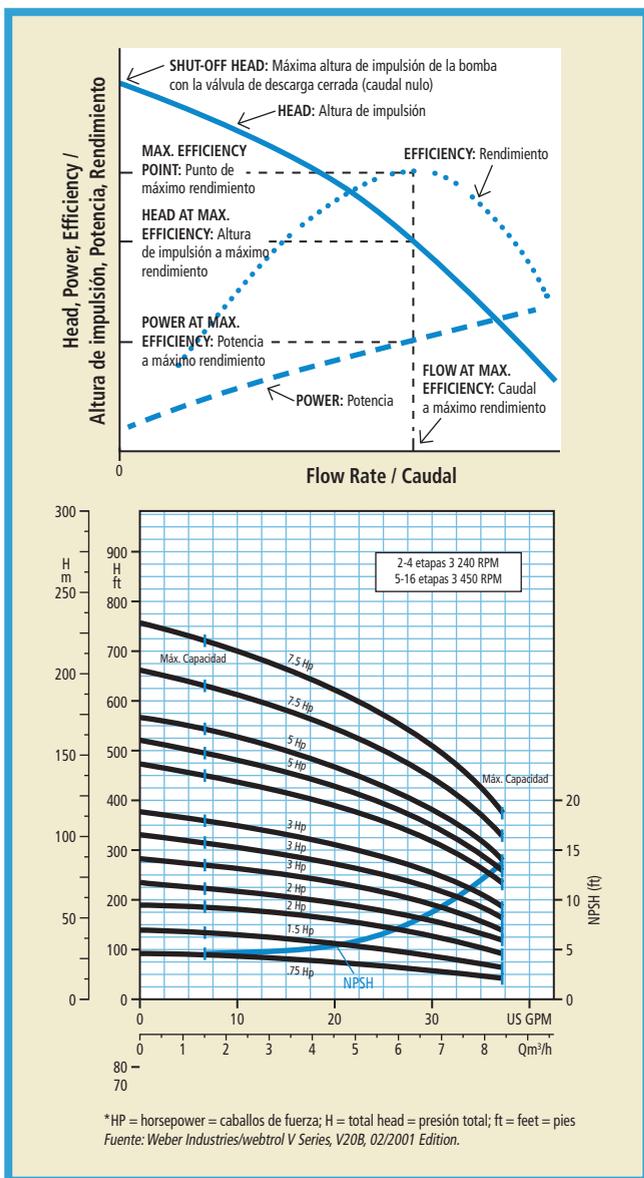
La figura 1.58 muestra tres de estas curvas para una velocidad (rpm's) determinada. La altura de carga o presión dinámica, el rendimiento y la potencia están representados en función del caudal. Se visualizan también para el punto de máximo rendimiento («Max. Efficiency Point»), la presión dinámica, el caudal y la potencia.

La interpretación de estas gráficas puede ser útil tanto para especificar las bombas para una aplicación como para determinar si una bomba que ya ha sido instalada está rindiendo al nivel de su capacidad.

Para seleccionar una bomba se considera la presión dinámica o la altura de carga necesaria y el caudal previamente definido en los cálculos ya expuestos. Se traza una línea desde el punto en el eje vertical Y que corresponde con la presión requerida paralela al eje X y después se selecciona el caudal trazando una línea desde este punto paralela al eje Y. La bomba adecuada es aquella cuya curva característica está por encima del punto de intersección de las dos rectas definidas.

Considerando las curvas de rendimientos para el caudal ya definido se puede elegir la bomba más eficiente para la aplicación deseada.

Entrando en las curvas de NPSH con el caudal se puede evitar la cavitación al elegir una bomba teniendo en cuenta que el valor del NPSH disponible debe estar por encima del valor del NPSH requerido por la bomba, para el caudal de funcionamiento.



**FIGURA 1.58.**  
Curvas características  
(Huguenin & Colt).

Una observación importante con respecto a las bombas centrífugas es que al disminuir la altura de impulsión, el caudal y la potencia aumentan por lo tanto si las diferencias de altura en las mareas son



importantes habrá una exigencia de potencia en las mareas altas que es necesario tener en cuenta.

La presión dinámica de «shutt-off» se produce cuando la válvula de descarga está cerrada y el caudal es «cero». Una bomba centrífuga no debe operar en estas condiciones.

El cálculo de las bombas para instalaciones acuícolas se basa en las necesidades del caudal y de la presión dinámica, en los requerimientos de la instalación y en la seguridad y durabilidad de los materiales de la bomba.

El caudal se estima con las necesidades de la planta y la altura de carga de forma teórica.

La fórmula para el cálculo de la presión dinámica o la altura de impulsión entre dos puntos de la instalación es la siguiente:

$$H = [h_2 - h_1] + [P_2 - P_1] / \gamma + [V_2^2 - V_1^2] / (2g) + h_L$$

Siendo:

$H$  = Altura de carga o presión dinámica en metros proporcionada por la bomba entre los puntos 1 y 2.

$h_1$  = Altura en metros del punto 1 respecto al nivel de referencia.

$h_2$  = Altura en metros del punto 2 respecto al nivel de referencia.

$P_1$  = Presión manométrica ( $N / m^2$ ) de la tubería en el punto 1.

$P_2$  = Presión manométrica ( $N / m^2$ ) de la tubería en el punto 2.

$\gamma$  = Densidad del agua en  $kg / m^3$ .

$V_1$  = Velocidad en  $m / seg.$  en el punto 1.

$V_2$  = Velocidad en  $m / seg.$  en el punto 2

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m / seg.^2$  (9,81).

$h_L$  = Pérdidas de carga en metros entre los puntos 1 y 2.

Según esta fórmula la bomba debe suministrar energía para subir el agua desde el punto 1 al 2, mantener la presión diferencial entre ambos puntos, mantener la velocidad del agua (energía cinética) y compensar las pérdidas de carga en la tubería. Si los dos puntos están a la presión atmosférica ( $P_1 = P_2$ ) el término de presión diferencial es nulo.

Cuando la bomba está bajo la superficie del mar, la altura de carga se puede calcular con la expresión siguiente:

$$H = Z_2 - Z_1 + H_{ta} + H_{aa} + H_{td} + H_{ad} + V^2 / 2g$$

Siendo:

$Z_2$  = Altura del tanque de cabecera en metros.



$Z_1$  = Altura de la superficie del mar en metros.

$H_{ta}$  = Pérdidas por rozamiento en las tuberías de aspiración en metros.

$H_{aa}$  = Pérdidas por rozamiento en los accesorios de aspiración en metros.

$H_{td}$  = Pérdidas por rozamiento en las tuberías de descarga en metros.

$H_{ad}$  = Pérdidas por rozamiento en los accesorios de descarga en metros.

$V$  = Velocidad media en la tubería de descarga al tanque de cabecera (m / s).

$g$  = Aceleración de la gravedad (9,81 m / seg<sup>2</sup>).

Otra variable importante a la hora de seleccionar una bomba es el NPSH, la presión neta positiva de aspiración, que se define como la presión disponible en la entrada de la bomba sobre la presión de vapor del agua y se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$NPSH_d = (P_{at} - P_{vap}) / \gamma + H_a - H_{ta}$$

Siendo:

$NPSH_d$  = Presión neta positiva de aspiración disponible en metros.

$P_{at}$  = Presión atmosférica en N / m<sup>2</sup>.

$P_{vap}$  = Presión de vapor del agua en N / m<sup>2</sup>.

$\gamma$  = Densidad del agua en kg / m<sup>3</sup>.

$H_a$  = altura estática de aspiración.

$H_{ta}$  = Pérdidas en la tubería de aspiración.

El  $NPSH_d$  se debe comparar con el  $NPSH_r$  (requerido), valor suministrado normalmente por el fabricante y siempre el  $NPSH_d$  debe ser mayor que el  $NPSH_r$ . Un error en el cálculo del  $NPSH$  puede provocar la cavitación de la bomba y el consiguiente deterioro inmediato del impulsor y de la carcasa.

El tamaño de la bomba y la energía consumida en el bombeo se puede estimar con la expresión siguiente:

$$WCV = Q \gamma H / 75$$

Siendo:

$WCV$  = Energía total transferida al agua en CV's.

$Q$  = caudal a través de la bomba.

$\gamma$  = Densidad del agua en kg / m<sup>3</sup>.

$H$  = Altura de carga proporcionada por la bomba en metros.



La estimación real del tamaño de la bomba se puede obtener con la fórmula siguiente:

$$BCV = WCV / \mu_b$$

Siendo:

$BCV$  = Potencia al freno para producir la energía total transferida en CV's.

$M_b$  = Rendimiento de la bomba. Valor aproximado = 0,70.

Y ya finalmente se necesita calcular la cantidad de energía que consume el motor que acciona la bomba:

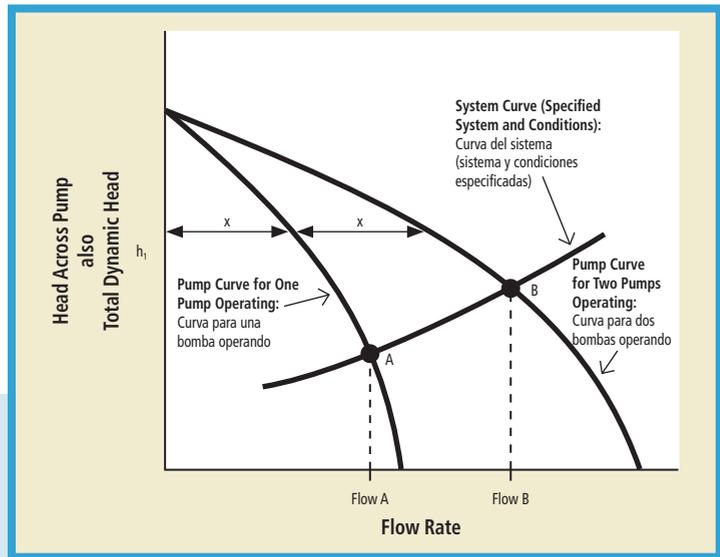
$$MCV = BCV / \mu_m$$

Siendo:

$MCV$  = Potencia del motor en CV's que actúa la bomba.

$\mu_m$  = Rendimiento del motor. Valor aproximado = 0,64.

En algunas situaciones especiales de falta de caudal o de altura de carga puede ser aconsejable instalar dos bombas. En el primer caso se pueden instalar dos en paralelo e iguales y el caudal se multiplica por dos (Figura 1.59). En el segundo caso se instalan dos bombas en serie y con el mismo caudal la altura alcanzada será el doble (Figura 1.60).



**FIGURA 1.59.**  
Curva característica de bombas en paralelo (Huguenin & Colt).



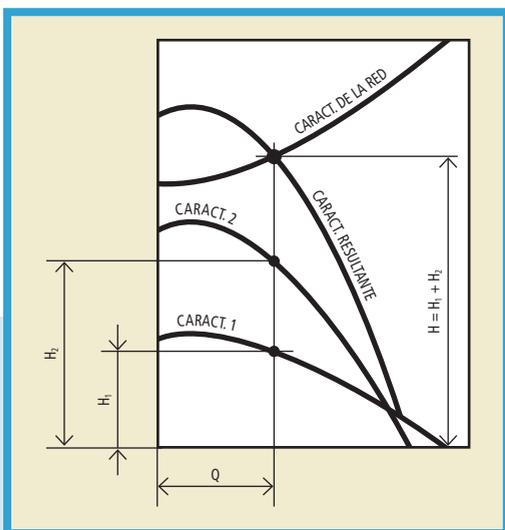
1.8.2.1.2. Fallos de las bombas centrífugas y posibles causas

En este apartado se enumerarán varios síntomas de fallo de las bombas centrífugas relacionándolos con posibles causas del problema. Esta información a pesar de su antigüedad (1981) puede ser útil aún hoy en día:

FALLO	POSIBLE PROBLEMA
No descarga	1-2-3-4-6-11-14-16-17-22-23.
Capacidad insuficiente	2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-14-17-20-22-23-29-30-31
Presión insuficiente	5-14-16-17-20-22-29-30-31
Pérdidas del cebado después arranque	2-3-5-6-7-8-11-12-13
Consume potencia excesiva	15-16-17-18-19-20-23- 24- 26-27-29-33-34-37
Fugas importantes en la empaquetadura	13-24-26-32-33-34-35-36-38-39-40
Poca duración empaquetadura	12-13-24-26-28-32-33-34-35-36-37-38-39-40
Vibraciones/ruidos	2-3-4-9-10-11-21-23-24-25-26-27-28-30-35-36-41-42-43-44-45-46-47
Corta duración rodamientos	24-26-27-28-35-36-41-42-43-44-45-46-47
Sobrecalentamientos y gripajes	1-4-21-22-24-27-28-35-36-41

POSIBLES PROBLEMAS: ASPIRACIÓN

1. Bomba no cebada.
2. Bomba o aspiración sin agua.
3. Excesiva altura de aspiración.
4. Margen insuficiente entre la presión de aspiración y la presión de vapor.
5. Aire o gas excesivo en el agua.
6. Bolsa de aire en la línea de aspiración.
7. Fugas de aire hacia la línea de aspiración.
8. Fugas de aire a través de la empaquetadura.
9. Válvula de aspiración demasiado pequeña.
10. Válvula de aspiración parcialmente obstruida.
11. Entrada de la aspiración insuficientemente sumergida.



**FIGURA 1.60.**  
Curva característica de bombas en serie  
(Global Aquafish).

12. Tubería del sello de agua taponada u obstruida.
13. Alojamiento del sello montado incorrectamente. No hace su función.

POSIBLES PROBLEMAS: SISTEMA

14. Velocidad demasiado lenta.
15. Velocidad demasiado alta.
16. Dirección equivocada de rotación.
17. Altura de carga más alta que el rango de operación de la bomba.
18. Altura de carga más baja que el rango de operación de la bomba.
19. Densidad del fluido diferente del diseño de la bomba.

20. Viscosidad del fluido diferente del diseño de la bomba.
21. Operación a muy baja velocidad.
22. Bombas en paralelo no adecuadas para las condiciones de operación.

POSIBLES PROBLEMAS: MECÁNICOS

23. Material extraño en el impulsor.
24. Desalineamiento.
25. Bancada no rígida.
26. Eje torcido.
27. Parte rotativa rozando en parte estacionaria.
28. Desgaste de los cojinetes.
29. Daños en los aros de desgaste.
30. Daños en el impulsor.
31. Defectos en la junta de la carcasa que provocan fugas interiores.
32. Eje o sus camisas gastados o encastrados en la empaquetadura.
33. Instalación incorrecta de la empaquetadura.
34. Empaquetadura equivocada para las condiciones de operación.



35. Descentrado del eje debido al desgaste de los cojinetes o un mal alineamiento.
36. Desequilibrio del impulsor.
37. Prensa estopas demasiado apretado. No caudal para lubricar la empaquetadura.
38. No agua al enfriador de las cajas de las empaquetaduras.
39. Empaquetadura forzada en el interior de la bomba.
39. Excesivo huelgo entre el eje y la carcasa.
40. Suciedad en el líquido de sellado. Rayado del eje o su camisa.
41. Excesivo empuje de la bomba, probablemente debido a fallo mecánico.
42. Excesiva grasa en el alojamiento de los cojinetes antifricción.
42. Falta de refrigerante que causa alta temperatura en los cojinetes.
43. Falta de engrase o lubricación.
44. Cojinetes mal instalados o dañados.
45. Suciedad en los cojinetes.
46. Óxido en los cojinetes debido a la entrada de agua en la carcasa.
47. Excesivo enfriamiento del agua de refrigeración de los cojinetes.  
Condensación agua.

#### 1.8.2.2. Sistema de conducción, filtración y desagüe

Este sistema está compuesto por las conducciones y equipos encargados de hacer llegar el agua desde el tanque de cabecera a cada uno de los tanques de cultivo y posteriormente conducir el agua que sale de los mismos hasta un conducto general que lleve el agua utilizada hasta el mar.

Hay dos maneras fundamentales para conducir el agua: tuberías forzadas y canales abiertos.

##### 1.8.2.2.1. Tuberías forzadas

La conducción mediante tuberías forzadas presenta condiciones que la hacen más adecuada para la red de distribución de agua a los tanques de cultivo. Tiene como ventaja principal, referente a la distribución del agua, la facilidad del control y manejo del caudal distribuido. Las tuberías permiten variar, con la ayuda de válvulas, el caudal en



cualquier punto, con lo que se puede regular el que llega a los tanques de cultivo permitiendo un riguroso control de la renovación del agua de los tanques sin desperdiciar agua de calidad.

Otra ventaja muy importante es que no se necesita un control tan minucioso del perfil de la conducción como el que se requiere en los canales abiertos, en los cuales hay que controlar con precisión las pendientes y las cotas de la conducción para evitar remansos o velocidades excesivas y permitir la llegada del agua a todos los destinos.

Como desventaja presenta la elevada pérdida de carga comparada con la que se produce en canales abiertos, que hace necesaria una mayor diferencia de altura entre los tanques de cultivo y el tanque de cabecera.

Otra desventaja importante de las tuberías forzadas es la dificultad de su limpieza y mantenimiento, aspecto fundamental durante toda la vida de la instalación.

En cuanto a las desventajas de las tuberías forzadas es posible minimizarlas. Para evitar las altas pérdidas de carga se utilizan tuberías de las llamadas lisas, que presentan una baja rugosidad al paso del fluido.

Se deben elegir tuberías de un diámetro tal que sean mínimas las pérdidas de carga y además el agua, en condiciones de uso normal, adquiera velocidades de entre 1 y 3 m / seg. De esta manera, por ser la velocidad superior a 1 m / seg. se evitan estancamientos que pueden derivar en problemas de salubridad. Una velocidad de más de 3 m / seg. puede provocar la erosión de las paredes internas de la conducción, principalmente en los codos, debido al choque de las pequeñas partículas, que habiendo escapado a los filtros, viajan con el agua.

Otro problema de las tuberías es la formación del fenómeno denominado «biofouling» o incrustamiento, consistente en la proliferación de algas, moluscos, y otros organismos en el interior de las conducciones, provenientes de larvas que se introducen en las tuberías con el flujo de agua.

Este fenómeno puede reducir la sección de las conducciones o incluso obstruirlas en muy poco tiempo, por lo que representa un problema serio al buen desarrollo de las granjas en tierra.

Una de las formas de evitar este fenómeno, tan problemático, es diseñar las conducciones para que el agua, en condiciones de uso nor-



mal, pase a una velocidad de más de 3 m/seg., con las implicaciones de la reducción de la vida útil de las tuberías, ya comentadas. Otra forma complementaria de reducir la virulencia del «biofouling» es disponer tuberías de material totalmente opaco para evitar el paso de luz a su interior, elemento muy importante para el desarrollo de organismos fotosintéticos.

Las redes de distribución formadas por tuberías consisten en una o varias tuberías principales que salen del tanque de cabecera y recorren toda la zona donde se ubican los tanques de cultivo. De estas tuberías principales salen otras de menor diámetro y así sucesivamente hasta formar una red de tuberías que permita hacer llegar el agua necesaria a todos los tanques de cultivo de la manera más sencilla.

El diseño de la red de tuberías de distribución es muy importante. Es preciso tener en consideración a la hora de diseñar el circuito de abastecimiento, las cuestiones siguientes:

- El perfil de la red de tuberías no debe superar una cota que viene determinada por la cota a la que se sitúe el tanque de cabecera y por las pérdidas de carga que se dan desde dicho tanque hasta cualquier punto de la red. En términos hidráulicos se dice que el perfil de la tubería no debe superar la cota piezométrica. Además el perfil debe ser lo más homogéneo posible, con pendientes suaves.
- Prevención de situaciones extraordinarias por motivos de limpieza, mantenimiento, avería y otros sucesos, en las que sea necesario un caudal superior al necesario en condiciones normales. Para ello hay que sobredimensionar los conductos de manera que puedan soportar estas situaciones extraordinarias transitorias.
- Las tuberías deben estar dimensionadas para poder abastecer a todos los tanques de cultivo en las condiciones más desfavorables. Se dan situaciones de máxima demanda de agua en los tanques de cultivo en caso de limpiezas, vaciados parciales, averías en el sistema de oxigenación y otras circunstancias. En estos casos debe tenerse en cuenta la posible simultaneidad de las distintas situaciones de demanda extraordinaria de agua.
- Además de este sobredimensionamiento que supone calcular las tuberías para un estado muy poco probable, se les aplica un coeficiente de seguridad máximo en torno al 1,5.



- Las dimensiones de las tuberías deben ser tales que la velocidad del agua que pasa por ellas sea parecida en todos los tramos de la red.
- Evitar el mayor número posible de codos, estrechamientos y ramificaciones, que originan importantes pérdidas de carga.
- La red debe estar diseñada para facilitar al máximo su limpieza. Para ello la red debe estar formada en lo posible por tramos de tubería rectos que permitan introducir cepillos. Además hay que disponer bridas que permitan desmontar y montar fácilmente y con rapidez todos los tramos de tuberías. Debe estar prevista también la colocación de bridas ciegas que cortan el flujo de agua independizando así los tramos de tubería deseados. Para ello se colocarán bridas a ambos lados de los codos y de las válvulas; en las uniones de una tubería con la de orden superior; cada varios metros en los tramos de tubería rectos de gran longitud y en otros puntos que faciliten el desmontaje de las tuberías para su limpieza o mantenimiento. Se colocarán válvulas al comienzo de la tubería principal y en los puntos que según el diseño de la red sea necesario.
- La red de distribución debe ser cerrada. Para ello se colocan tuberías de forma que la red sea un circuito cerrado que permita la llegada del agua a un mismo punto por vías distintas. Esto otorga gran flexibilidad de actuación frente a operaciones de limpieza y mantenimiento, ya que no es necesario cortar el suministro de agua, gracias al entramado cerrado de tuberías que permiten la llegada de agua por tuberías distintas según el caso.
- En cuanto a la distribución de la red de tuberías en la instalación, además de cumplir lo hasta ahora mencionado, debe ser tal que no dificulte el tránsito de personas y máquinas por entre los tanques. Para ello las tuberías pueden ir suspendidas de las estructura de la nave a una altura que permita el tránsito bajo ellas; otra opción es colocar las tuberías en canales abiertos en los pasillos cubiertos con rejilla resistente al paso de las máquinas. También se pueden colocar las tuberías posadas sobre los tanques de cultivo y paralelas entre sí de forma que dejen libres los pasillos paralelos a las mismas. A cada tanque de cultivo llegará una tubería por la cual saldrá el caudal establecido como necesario para la renovación del agua requerida en cada una de las fases de cultivo. En



esta tubería de último orden se colocará una válvula para poder controlar y modificar el caudal que llega a cada tanque de forma individual según las necesidades. Un requerimiento fundamental de la red de tuberías es el fácil acceso a la misma para su limpieza y mantenimiento.

- Para la implantación de la red de tuberías, tanto de alimentación como de desagüe, deben considerarse la posición de los pilares de la nave, de los pasillos, de los tanques de cultivo y de cualquier obstáculo para evitar interferencias.

Es cada vez más habitual en el diseño de las redes de distribución de agua la duplicación de todos sus elementos, es decir, disponer una red de tuberías doble e interconectada. Este sistema aunque más caro que la red simple, presenta ventajas importantes descritas a continuación:

- Proporciona gran seguridad de abastecimiento de agua, ya que dispone de dos vías de distribución.
- En caso de rotura o contratiempo en una de ellas, la otra la sustituye.
- Permite una eliminación eficaz del biofouling, que se lleva a cabo alternado el uso de ambos conductos cada cierto tiempo (normalmente unas dos semanas), permaneciendo sin agua el conducto no utilizado, evitando así la subsistencia de estos organismos.
- Permite utilizar otros métodos para atajar el biofouling, como el flujo de agua dulce, caliente, clorada...
- Capacidad de ampliar la capacidad de producción de la granja gracias a la posibilidad de utilización de los dos conductos de la red para suministrar agua a los tanques de cultivo. Al hilo de esto, es muy conveniente contemplar en el diseño de las instalaciones la posibilidad de aumentar la producción, para lo cual si bien no es necesario, por esta causa, duplicar toda la red de abastecimiento (y de desagüe) si es muy útil construir algunos elementos fundamentales por duplicado para en un momento dado poder ampliar la capacidad de la instalación con una inversión que de otra manera sería inviable, debido a que sería necesario detener la producción.

Puede ser interesante valorar la posibilidad de crear varias redes de distribución independientes que abastezcan a zonas diferentes, para evitar que un contratiempo en un punto de la instalación afecte a toda



la red de distribución. Así también se consigue independizar unas zonas de otras frente a la transmisión de posibles enfermedades.

Es necesario tener previsto la sustitución y reparación de elementos dañados, de forma que no se ponga en peligro las buenas condiciones de los seres cultivados.

También es necesario tener presente el fenómeno del golpe de ariete, efecto derivado del cierre brusco de las válvulas y que puede originar un aumento de presión aguas arriba que rompa los conductos. Para evitarlo habrá que cerrar las válvulas lentamente. Más adelante se incluye una sección sobre este fenómeno.

Existen en el mercado tuberías de distintos materiales, que a continuación se comentan:

- El **polietileno** es el más utilizado actualmente por ser un material inerte, que no modifica las propiedades del agua que transporta, y por presentar cierta flexibilidad que le hace muy apropiado para soportar oscilaciones de presión e incluso los embates del mar en el caso de las tuberías de captación de agua. Es fácilmente soldable y manejable gracias a su poco peso. Además existe en el mercado una gran variedad de tamaños y espesores debido a su generalizada utilización en distribución de aguas industriales y municipales, por lo cual también es más barato. Al ser biodegradable es óptimo desde el punto de vista medioambiental.
- El **PVC** es un material similar al anterior pero menos flexible y con menos variedad en la oferta de tamaños y espesores. Por ello es menos utilizado que el polietileno.
- Las tuberías de **fibra de vidrio** se utilizan para presiones y temperaturas elevadas, como por ejemplo en las descargas de los cambiadores de calor. Son más caras y su disponibilidad de espesores y tamaños es menor que en las anteriores. No es muy utilizada.
- Las tuberías de **hornigón**, aunque de bajo coste, son de difícil instalación dada la dificultad de su transporte y puesta en obra por su elevado peso, que las hace poco apropiadas para su uso en granjas de acuicultura marina.
- Existen también tuberías de **acero con un recubrimiento interior plástico**. Son adecuadas para zonas donde se requiera gran resistencia al impacto de la fuerza del mar.



A continuación se esquematizan los posibles materiales que se pueden utilizar, sus principales propiedades y algunos de sus posibles usos:

<b>Material:</b>	<b>Cloruro de polivinilo (PVC).</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Muy versátil.</li> <li>– Amplio rango de propiedades.</li> </ul>
Usos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formas rígidas.</li> <li>– Material propicio para laboratorio húmedo y para la instalación de bombas.</li> </ul>
<b>Material:</b>	<b>Polietileno de alta densidad (PEAD).</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flexible.</li> <li>– Biodegradable.</li> <li>– Enorme duración.</li> </ul>
Usos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aspiración y descarga.</li> <li>– Exteriores.</li> </ul>
<b>Material:</b>	<b>Polipropileno.</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Baja densidad.</li> <li>– Resistencia a la fatiga.</li> </ul>
Usos:	Tuberías pequeñas y accesorios.
<b>Material:</b>	<b>Fibra de vidrio.</b>
Propiedades:	Alta resistencia a los esfuerzos y a la temperatura.
Usos:	Sustituto de los materiales anteriores cuando son inadecuados.
<b>Material:</b>	<b>Hormigón.</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Versátil.</li> <li>– Extrema resistencia.</li> <li>– Grandes diámetros.</li> </ul>
Usos:	Tubería de descarga.
<b>Material:</b>	<b>Acero con recubrimiento interior.</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Propiedades mecánicas del acero.</li> <li>– No contacto con el agua de mar.</li> </ul>
Usos:	Bombas.
<b>Material:</b>	<b>Acero.</b>
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alta resistencia mecánica.</li> <li>– Buena resistencia al impacto.</li> <li>– Rígido.</li> <li>– Barato.</li> </ul>
Usos:	Bombas.



### 1.8.2.2.2. *Canales abiertos*

Son canales por los que discurre el agua a la presión atmosférica (tiene una superficie libre en contacto con la atmósfera), es decir, el agua discurre en función únicamente de la pendiente del canal.

Los canales abiertos, por sus características, son idóneos para su utilización como redes de desagüe del agua saliente de los tanques de cultivo.

El diseño correcto de los canales exige un riguroso control de las pendientes de los mismos, para evitar estancamientos, desbordamientos, o velocidades excesivas. El diseño de los codos, las ramificaciones, las derivaciones y otros elementos debe ser cuidadoso. Su sección transversal suele ser rectangular o semicircular.

Este diseño no presenta ningún problema frente a su utilización como vía de desagüe ya que para dicha función no es necesario ejercer un control del caudal, puesto que el que pase será exactamente el que salga de los tanques de cultivo, no viéndose influenciado por las características geométricas de los canales.

Los canales abiertos presentan como principal ventaja su escasa pérdida de carga, que hace que no se necesiten grandes desniveles para conducir el agua. Además hay que destacar su facilidad de limpieza.

Es aconsejable utilizar canales de gasto máximo, es decir canales que para las mismas condiciones de pendiente, rugosidad y sección de paso son capaces de conducir mayor caudal. Estos canales son de sección rectangular y con una profundidad la mitad que su anchura.

La disposición de los canales debe ser tal que permita su fácil acceso para la limpieza, y no interfiera en el tránsito de los operarios y de las máquinas en el quehacer diario. Para ello es preciso, como ya se ha dicho, coordinar su implantación con la de la red de distribución de agua, con la implantación de los tanques de cultivos, con la disposición necesaria del canal de desagüe principal y con cualquier otro equipo que se instale.

La red de desagüe está formada por una serie de canales que recogen el agua utilizada que sale de los tanques de cultivo, que van confluyendo en otros de mayor capacidad hasta que es un solo canal principal el que conduce el agua saliente de la instalación bien al sistema de recirculación o es devuelto de nuevo al mar.



Es necesario sobredimensionar en gran medida los desagües para evitar situaciones imprevistas (es recomendable diseñarlos para caudales diez veces superiores a los del sistema). Se puede tantear la dimensión de cada canal teniendo en cuenta los caudales máximos que se originan en las operaciones periódicas, como son los vaciados para limpiar los tanques, los vaciados parciales y otras situaciones que requieren la evacuación de agua de los tanques de cultivo. Hay que tener en cuenta la posible simultaneidad de estas situaciones en el conjunto de los tanques de cultivo, lo que puede dar idea del orden de magnitud de la dimensión de los canales.

Normalmente los canales de desagüe se colocan a lo largo de los pasillos que quedan entre los tanques de cultivo. Los canales se cubren superficialmente con una rejilla resistente al paso de la maquinaria, que permite el paso de personal y vehículos.

La forma de controlar el caudal en los canales, en caso de ser necesario, es mediante compuertas.

Entre las diversas posibilidades para calcular las velocidades del agua y el caudal se ha elegido la ecuación de Manning que se puede aplicar a canales abiertos con caudal uniforme en el tiempo y a lo largo de la longitud del mismo:

$$V = R^{0,667} S^{0,5} / n$$

$$Q = AR^{0,667} S^{0,5} / n$$

Siendo:

$V$  = Velocidad media en la sección del canal considerada en m / seg.

$Q$  = Caudal en  $m^3$  / seg.

$R$  = Radio hidráulico en metros

$S$  = Pendiente del canal (adimensional).

$A$  = Área de la sección del canal en  $m^2$ .

$n$  = Coeficiente de Manning (0,015 para hormigón y 0,0225 para tierra).

El radio hidráulico es el cociente entre el área de la sección del caudal y el perímetro del sector mojado.

La pendiente del canal entre dos puntos es el cociente entre la diferencia de alturas de los dos puntos y la distancia horizontal entre ambos.



En algunas instalaciones, sobre todo en las de engorde de rodaballo, se puede utilizar una solución mixta: los canales se encargan de la distribución desde los tanques de cabecera hasta los tanques de cultivo por las zonas laterales y de estos salen las tuberías forzadas hacia cada uno de los tanques. Se mejora la pérdida de carga de la instalación pero es un sistema poco utilizado.

### 1.8.2.2.3. *Tuberías de aspiración*

Las tuberías que conducen el agua impulsada del mar, en el caso de bombas situadas sobre plataformas flotantes, hasta los tanques de almacenamiento son mangueras de goma con espiral. Estas mangueras flexibles de la salida de las bombas se unen a dos tuberías de polietileno fijas e interconectadas con válvulas que descargarán en los tanques de cabecera. En los otros casos de bombeo las tuberías suelen ser de polietileno.

Como se puede apreciar en el diagrama de flujo de la figura 1.51 las conducciones son dobles y se han instalado las válvulas necesarias para en cualquier momento poder alimentar con cualquiera de las dos bombas cualquiera de los dos tanques y poder aislar también la tubería que se desee. Todas las válvulas son de accionamiento manual y pueden ser de PVC.

### 1.8.2.2.4. *Tanques de cabecera de almacenamiento*

La ubicación de los tanques de cabecera se sitúa sobre el nivel intermareal mínimo y la instalación se situará lo mas cercana posible a esta zona, tratando de dejar la mayor superficie de la parcela libre para otros posibles usos relacionados con la acuicultura, tales como criaderos de otras especies, depuración, estabulación...

El agua aspirada del mar se almacena en dos o más tanques de obra civil adosados para reducir espacio y obra (Figuras 1.61 y 1.62). En el dimensionamiento de estos tanques o depósitos se debe considerar la posibilidad de alimentar a toda la instalación, al caudal requerido, durante al menos un día en caso de fallo total del aporte exterior.

Para el cálculo de la capacidad de estos tanques, basándose en el plan de producción, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: las necesidades de agua para los seres vivos de la planta y las necesidades para renovar el 100 % de la capacidad de los tanques de agua filtrada a



**FIGURA 1.61.**  
Tanque de cabecera.



**FIGURA 1.62.**  
Depósito regulador.

10 y 1 micras. Una estimación preliminar de su capacidad puede ser un 2% del total del volumen de agua de los tanques de cultivo.

La principal peculiaridad de estos tanques es su fondo que se hará inclinado desde la pared adosada hasta la pared opuesta (un ángulo de  $15^\circ$  puede ser suficiente) para facilitar su limpieza y recogida de lodos y residuos que las bombas pueden aspirar del mar y ahí se sedimentan. A la entrada y a la salida de cada tanque se debe colocar también una válvula manual.

Estos tanques están situados a un nivel superior al de la instalación para suministrar por gravedad el agua.

Algunos diseñadores, y dependiendo de la ubicación del emplazamiento, instalan entre las bombas de aspiración y los tanques de almacenamiento algunos equipos de limpieza y filtración que se citan en el párrafo siguiente e incluso equipos de esterilización. La idea de esta publicación es servir de base a proyectos reales y se intentan describir todos los equipos posibles que cada uno en su proyecto puede colocar en un orden o en otro.

#### *1.8.2.2.5. Tuberías y equipos aguas abajo de los tanques de cabecera*

Las tuberías que conducen el agua desde los tanques de cabecera pueden ser de polietileno. Su diámetro es función del caudal que deben conducir y que se calcula en base al plan de producción.

Cuando hay un cambio de diámetros de tubería o una redistribución a otros servicios o tanques se hace siempre a través de un colector (Figura



1.63). Este componente recibe todo el caudal de entrada y lo envía en su salida a los destinos previamente diseñados. Siempre hay un sistema de válvulas que permite conectar cualquier entrada y salida del colector.

Los primeros filtros que se pueden instalar son el de 5 mm. y el de 40 $\mu$  que se describen brevemente a continuación:

El **filtrado a 5 mm.** se le encomienda a un filtro de tambor rotativo cónico de malla de acero inoxidable de 5 mm. con rampa de desatascamiento y bomba autolimpiable.

El **filtrado a 40 $\mu$**  se hace con un filtro de tambor rotativo autolimpiable, de acero inoxidable (AISI 316), que incluye una bomba autolimpiable (Figura 1.64), control de nivel, cuadro eléctrico y temporizador.

Estos filtros no se suelen instalar en aguas interiores porque no existen, habitualmente, grandes cantidades de algas como en las instalaciones en mar abierto. De todos modos, como ya comentamos antes, se debe prever un espacio para su instalación en el futuro si se consideran necesarios.

La segunda filtración (30 - 40 $\mu$ ) se produce en los **filtros de lecho de sílex** (figura 1.22). Los componentes de este sistema se detallan a continuación:

- Filtros conectados en paralelo a un colector común y con posibilidad de ser aislados individualmente del citado colector, mediante válvulas situadas a la entrada y salida de cada filtro.



**FIGURA 1.63.**  
Colector de distribución  
(Global Aquafish).



**FIGURA 1.64.**  
Filtro de tambor rotativo autolimpiable.



- Botellas de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Están equipadas con colectores y difusores interiores para un correcto reparto del flujo de agua por todo el lecho filtrante.
- Válvulas de mariposa de PVC para el aislamiento de los filtros del colector común.
- Colector con una batería de válvulas de mariposa en PVC para la realización de todas las operaciones de mantenimiento de la instalación (contralavado, enjuague y ciclo de filtración).
- Válvulas de mariposa en PVC para el ajuste del caudal en cada maniobra (filtración y contralavado).
- Accesorios para venteo, drenaje y panel de manómetros para el control del estado del lecho filtrante. Incluye soportes de acero galvanizado para la sustentación del colector y de las válvulas.
- Carga de grava y de arena de sílice de granulometría seleccionada.

La automatización de este sistema podría realizarse con los siguientes componentes:

- Actuadores neumáticos de doble efecto con finales de carrera y electroválvulas para la automatización del funcionamiento de la instalación.
- Presostato para control de la presión y mando del inicio de la regeneración.
- Cuadro de mando y control que incluye un sinóptico de señalización de toda la instalación. Mando mediante autómatas programables. Incluye mando sobre las bombas de impulsión para detenerlas durante los cambios de posicionamiento de las válvulas. Opcionalmente se pueden incorporar al cuadro variadores de frecuencia para arranque en rampa y regulación de bombas para mejorar el funcionamiento de la instalación.

Estos filtros llevan cada uno, su propia bomba incorporada para suministrar el caudal y la presión deseada.

Esta bomba está accionada con un motor trifásico. Suele estar fabricada completamente en AISI 316. La operación de limpieza es muy crítica y por eso se debe prever un tanque para almacenar agua filtrada a 30 - 40 $\mu$  con el objeto de tener una reserva abundante y nunca paralizar los trabajos de limpieza de los filtros de arena. Como auxiliar



fundamental de estas operaciones se debe disponer de un compresor que suministra el aire a presión necesario para eliminar todo lo retenido por los filtros.

Los «**skimmers**» o «**espumadores proteínicos**» o «**separadores de espuma**» pueden intercalarse en cualquier momento entre los circuitos de filtración y son sumamente efectivos. Su fundamento es muy sencillo: los deshechos orgánicos del agua tienden a adherirse a una columna de burbujas y forman una espuma que se elimina fácilmente. Este equipo elimina los «*compuestos orgánicos disueltos (CODs)*». Los CODs son moléculas bipolares que contienen uno o más átomos que tienen afinidad con el aire y uno o más que la tienen con el agua. Al moverse una burbuja de aire a través de la columna de agua con materia orgánica, las moléculas de proteínas eléctricamente cargadas (átomos de nitrógeno, oxígeno...) situadas en las regiones polares son atraídas a la interfase aire / agua de la burbuja y se separan hacia la columna de agua. Las regiones no polares (proteínas) se pegan a la burbuja de aire porque no son afines al disolvente polar (el agua). A medida que las burbujas con proteínas alcanzan la parte superior del espumador, estas se acumulan y forman una espuma estable. Cuanto mayor sea el tiempo de contacto de las burbujas con los CODs, mayor cantidad se adherirá y más será eliminada. Si este tiempo de contacto es grande otras partículas también pueden adherirse y eliminarse tales como compuestos orgánicos volátiles (COVs), compuestos orgánicos en partículas (COPs), alimento y otros compuestos similares.

Un esquema muy sencillo de un «skimmer» se visualiza en la figura 1.65. Consta de tres partes fundamentales:

- El cuerpo donde se realiza el contacto entre las burbujas y los CODs.
- El área de separación de espuma.
- El área de recolección de la espuma.

Tres principios fundamentales para el diseño de un buen «skimmer»:

- Caudal de agua lento para facilitar la interacción entre las burbujas y los deshechos orgánicos. Esto se logra con los «skimmers» de contracorriente (flujo de agua contrario a las burbujas).
- La cámara de reacción debe ser tan larga como sea posible para maximizar el tiempo de contacto del agua con el aire.



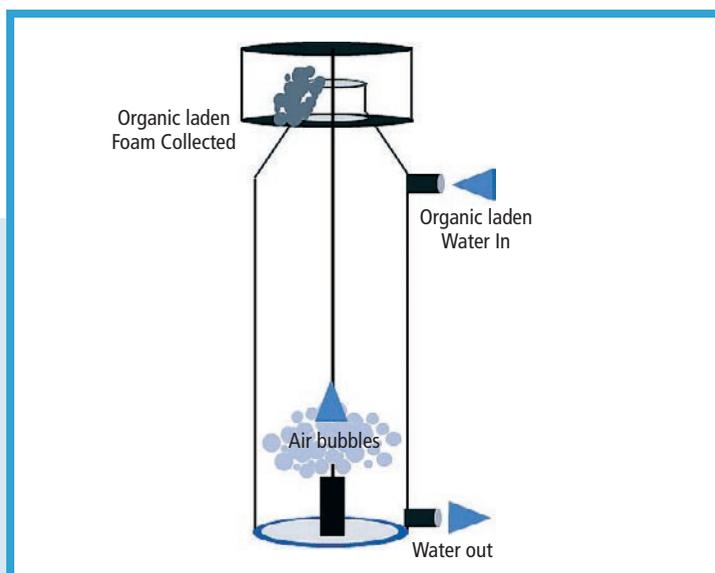
- El diámetro debe incrementarse en función de la cantidad de agua que se va a tratar.

El **sistema de filtración de agua de 10 $\mu$**  suele constar de bombas centrífugas y filtros instalados separadamente (Figura 1.66).

Los **tanques de almacenamiento del agua filtrada a 10 $\mu$**  pueden ser cilíndricos con fondo ligeramente cónico, fabricados con resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio con un acabado fino interior de gel coat isoftálico resistente al agua de mar, cerrado, provisto de entrada de hombre, respiradero y codo y manguito para desagüe y toma de agua en PVC. Para el cálculo del volumen de estos tanques se ha considerado que deberían mantener toda la instalación, aguas abajo, independiente de toda la instalación aguas arriba en caso de emergencia, durante un mínimo de seis horas.

A la entrada y a la salida de cada tanque se instalan válvulas manuales de aislamiento.

El **sistema de filtración de agua de 1 $\mu$**  es similar en sus componentes al de 10 $\mu$ .



**FIGURA 1.65.**  
Esquema de un «skimmer».

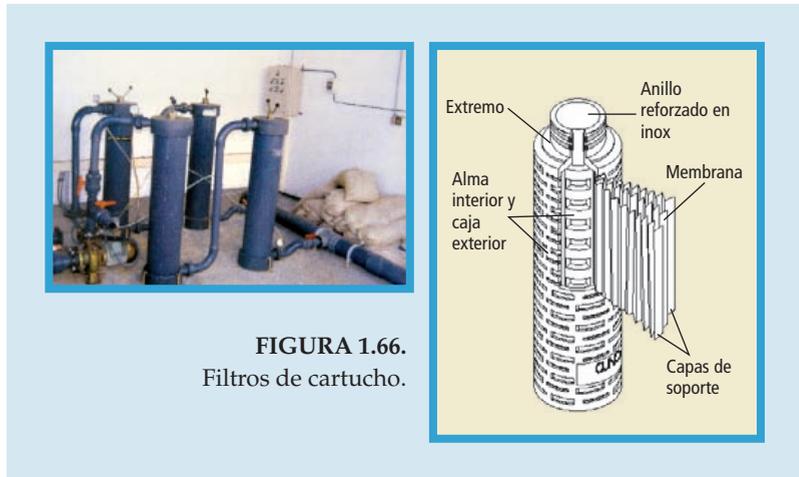


FIGURA 1.66.  
Filtros de cartucho.

Los **tanques de almacenamiento del agua filtrada a 1 $\mu$**  son similares a los de 10 $\mu$  tanto en su cálculo como en su construcción.

Los tanques de agua filtrada a 1 $\mu$  descargan en un colector doble interconectado que alimentará a los sistemas de esterilización y calentamiento.

Un sistema de válvulas permite la interconexión de este colector con cualquier tubería principal de esterilización o calentamiento aguas abajo.

Las **tuberías que conducen el agua filtrada a 1 micra** desde el colector hasta las tuberías del sistema de esterilización y calentamiento y posteriores, son de polietileno de alta densidad (PEAD), de diámetros variables según el caudal.

Después de cada válvula de aislamiento, a la salida de este último colector, se instala una bomba centrífuga por tubería de salida, para impulsar el agua a través de los sistemas de esterilización y calentamiento hacia sus destinos finales.

El sistema de filtración de agua a 0.5 $\mu$  es similar a los anteriores de 10 y 1 $\mu$ .

El agua filtrada a 0,5 $\mu$  se destina al cultivo de microalgas.

Una regla de buena práctica para la ubicación de los tanques de almacenamiento es su instalación en una cota lo más alta posible para facilitar la llegada del agua a todos los puntos donde va destinada y el funcionamiento de las bombas.



La **filtración biológica** es fundamental en los sistemas de recirculación, siempre que una parte del agua vuelva a utilizarse para el cultivo. Los agentes filtrantes son bacterias que transforman el amonio en nitratos y estos en nitratos. En las instalaciones con circuitos abiertos que se están tratando en este documento no son aplicables. En el último volumen se tratará este tema en profundidad cuando se describan los sistemas de recirculación.

#### 1.8.2.2.6. *Diseño de las tuberías y cálculo de los diámetros de las mismas*

El análisis y el diseño de las tuberías se basan en consideraciones de pérdidas de energía en la línea y en la energía disponible para lograr el caudal requerido. La ecuación del balance de la energía, en términos generales, entre dos puntos es la siguiente:

Energía en el punto 1 + Incrementos de la energía entre los puntos 1 y 2 = Energía en el punto 2 + Pérdidas de energía entre los puntos 1 y 2

Su expresión matemática es la ecuación de Bernoulli:

$$[Z_1 + P_1 / \gamma + V_1^2 / (2g)] + PDB = [Z_2 + P_2 / \gamma + V_2^2 / (2g)] + H_L$$

Siendo:

$Z_1$  = Altura del punto 1 respecto al nivel de referencia (m).

$P_1$  = Presión manométrica en la tubería en el punto 1 (N / m<sup>2</sup>).

$\gamma$  = Peso específico del agua (N / m<sup>3</sup>).

$V_1$  = Velocidad del fluido en la tubería en el punto 1 (m / seg.).

$g$  = Aceleración de la gravedad = 9,8 m / seg<sup>2</sup>.

$PDB$  = Presión dinámica de la bomba / bombas entre los puntos 1 y 2.

$Z_2$  = Altura del punto 2 respecto al nivel de referencia (m).

$P_2$  = Presión manométrica en la tubería en el punto 2 (N / m<sup>2</sup>).

$V_2$  = Velocidad del fluido en la tubería en el punto 2 (m / seg<sup>2</sup>).

$H_L$  = Pérdidas de energía entre los puntos 1 y 2 (m).

Esta ecuación se puede utilizar para el cálculo de alguno de los parámetros que no se conocen tales como el diámetro y la longitud de la tubería, el caudal, las pérdidas de carga, la diferencia de altura entre dos puntos...

La fórmula habitualmente utilizada para el cálculo del diámetro de las tuberías es la siguiente:



$$\Phi = 1.128 \times (C / V)^{0.5}$$

Siendo:

$\Phi$  = Diámetro interior de la tubería en metros.

C = Caudal en m<sup>3</sup> / seg. (conocido).

V = Velocidad media del agua en la tubería en m/seg. (estimada).

La estimación de la velocidad se puede realizar considerando que las velocidades adecuadas en instalaciones de este tipo oscilan entre 1 y 3 m / seg. por lo tanto un valor aproximado para una estimación inicial puede ser un valor medio (alrededor de 1.5 m / seg.).

Al afinar los cálculos este valor puede ir ajustándose pero considerando siempre que no se debe sobrepasar el valor de 3 m/seg. ya que podría provocar problemas de corrosión en los tubos sobre todo en la zona de los codos y en los cambio de dirección por el impacto del caudal excesivo en esas zonas.

Otro parámetro que ayudará en el ajuste de la velocidad es el diámetro comercial de las tuberías ya que hay que utilizar lo que el mercado suministra.

La posible corrección por altas y bajas temperaturas no es necesario realizarla ya que las temperaturas usuales en estas instalaciones pueden ser consideradas como temperatura ambiente.

La fórmula para el cálculo de la velocidad teniendo en cuenta con los diámetros comerciales es la siguiente:

$$V = 1.273 \times (C / \Phi)^2$$

Siendo:

V = Velocidad en m / seg.

C = Caudal en m<sup>3</sup> / seg.

$\Phi$  = Diámetro interior en metros de la tubería comercial.

### 1.8.2.2.7. Cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías

Las pérdidas hidráulicas o de presión, normalmente llamadas de carga, se originan por tres causas fundamentales:

- La viscosidad del líquido.
- El rozamiento del fluido con las paredes de las tuberías.
- Los cambios de dirección y/o de diámetro de la tubería que provocan cambios de velocidad. Estas pérdidas se suelen traducir a pér-



medidas equivalentes por rozamiento y se cuantifican en «longitudes de tubo equivalente».

Las pérdidas por rozamiento son medidas normalmente en alturas de elevación, tienen por lo tanto dimensiones de longitud (metros). A veces estas pérdidas se dan en diferencias de presión entre dos puntos y para convertirlas en alturas se puede utilizar la siguiente expresión:

$$H = (P_1 - P_2) / S$$

Siendo:

$H$  = Pérdidas por rozamiento en metros.

$(P_1 - P_2)$  = Caída de presión en  $N / m^2$ .

$S$  = peso específico del fluido en  $N / m^3$ .

Los fabricantes de tubos suelen presentar las pérdidas por fricción en las tuberías en forma tabular. El cuadro 1.67 incorpora una tabla, en versión original, cuyas variables de entrada son el diámetro nominal de la tubería y el caudal. Las variables que se obtienen son la velocidad media en la tubería y las pérdidas por rozamiento por unidad de longitud. Esta tabla es muy útil para los cálculos preliminares y no considera los efectos del «biofouling».

**CUADRO 1.67.**  
Pérdidas por rozamiento.

**FRICTIONAL LOSSES IN PLASTIC SCHEDULE 80 PIPES**

These values should be typical of clean used plastic pipe and seawater. Note assumptions inherent in calculations. They do not include allowance for any significant biofouling, which can create much higher losses. Since schedule 80 pipe has relatively small inside diameters, these values should be conservative for schedule 40 or other thinner walled pipes. Velocities in ft/s and losses in ft of head per 100 ft of pipe.

Flow GPM	Flow LPM	Nominal Pipe Sizes (in.)															
		1		1½		2		3		4		6		8		12	
		vel	loss	vel	loss	vel	loss	vel	loss	vel	loss	vel	loss	vel	loss	vel	loss
10	0.63	4.4	8.8	1.8	1.1	1.1	0.31	0.5	0.04								
20	1.26	8.9	32.0	3.6	3.7	2.2	1.1	1.0	0.16	0.6	0.04						
30	1.89	13.3	72.1	5.5	7.9	3.2	2.3	1.5	0.32	0.8	0.09						
50	3.15			9.1	20.0	5.4	5.6	2.4	0.81	1.4	0.21	0.6	0.03				
70	4.42			12.7	37.1	7.6	10.7	3.4	1.5	2.0	0.39	0.9	0.05				
100	6.31			18.2	71.7	10.8	20.2	4.8	2.9	2.8	0.74	1.2	0.10	0.7	0.03		
150	9.46					16.2	42.8	7.3	5.9	4.2	1.5	1.9	0.21	1.1	0.06	0.5	0.008
200	12.62							9.7	10.2	5.6	2.6	2.5	0.36	1.4	0.09	0.6	0.014
250	15.77							12.1	15.5	7.0	4.0	3.1	0.54	1.8	0.14	0.8	0.020
300	18.93							14.5	21.7	8.4	5.5	3.7	0.74	2.1	0.19	1.0	0.028
350	22.08							17.0	29.5	9.8	7.4	4.3	0.98	2.5	0.26	1.1	0.036
400	25.24							19.4	37.4	11.2	9.7	4.9	1.25	2.8	0.32	1.3	0.047
500	31.55									13.9	14.5	6.2	1.9	3.5	0.49	1.6	0.070
600	37.85									16.7	21.5	7.4	2.7	4.2	0.68	1.9	0.097
700	44.16									19.5	26.9	8.6	3.6	4.9	0.90	2.2	0.127
800	50.47											9.9	4.6	5.6	1.16	2.5	0.166
900	56.78											11.1	5.7	6.3	1.4	2.8	0.202
1000	63.09											12.3	6.9	7.0	1.8	3.2	0.242
1200	75.71											14.8	9.7	8.4	2.4	3.8	0.336

Assumptions: Seawater, 70°F (21°C), Kinematic viscosity =  $1.1 \times 10^{-5} \text{ft}^2/\text{s}$ , Equivalent Sand Roughness =  $4.2 \times 10^{-5} \text{ft}$ , PVC schedule 80 pipe inside diameters, Darcy-Weisbach Equation.



La fórmula para el cálculo de las pérdidas de carga puede ser la de Darcy – Weisbach:

$$P_c = fLV^2 / 2g \Phi$$

Considerando las pérdidas localizadas queda la expresión siguiente:

$$P_c = f(L + \Sigma P_l) V^2 / 2g \Phi \quad (1)$$

Siendo:

$P_c$  = Pérdidas de carga en metros.

$f$  = Coeficiente de pérdidas por rozamiento.

$L$  = Longitud de la tubería en metros.

$\Sigma P_l$  = Sumatorio de longitudes equivalentes en metros para pérdidas localizadas: codos, válvulas, salidas de tanques, cambios bruscos de diámetro...

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

$V$  = Velocidad del fluido en metros por segundo.

$g$  = Aceleración de la gravedad en m / seg<sup>2</sup>.

El coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) depende del número de Reynolds, de las rugosidades internas de la tubería y del diámetro de la misma.

El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del conducto por el que fluye. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$R_e = \Phi \times V / \vartheta$$

Siendo:

$R_e$  = Número de Reynolds.

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

$V$  = Velocidad media del líquido en metros por segundo.

$\vartheta$  = Viscosidad cinemática del líquido en m<sup>2</sup> / seg.

El valor de la viscosidad cinemática para agua de mar de 1035 de salinidad a 20 °C es  $1,0459 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> / seg.

Cuando el número de Reynolds es inferior a 2100 el flujo es laminar, cuando está entre 2100 y 4000 el flujo es de transición y para valores mayores que 4000 el flujo se considera como turbulento.

Una vez calculado el número Reynolds se pueden utilizar las ecuaciones de Poiseuille, Blasius, Colebrook – White, Nikuradse y otras para



determinar los valores del coeficiente de pérdidas por rozamiento  $f$ . Pero en la práctica se recurre a un ábaco conocido como diagrama de Moody que se adjunta otra vez en la figura 1.68.

Para entrar en este diagrama necesitamos dos variables: el número de Reynolds (ya obtenido) y la rugosidad relativa.

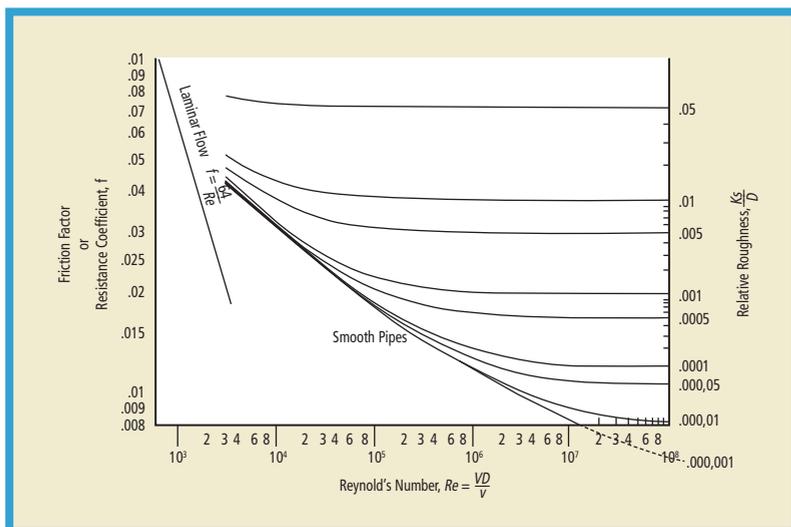


FIGURA 1.68. Diagrama de Moody.

La rugosidad relativa se define con la expresión adimensional siguiente:

$$K_s / \Phi$$

Siendo:

$K_s$  = Rugosidad de arena equivalente en metros.

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

La rugosidad de arena equivalente es una estimación de la rugosidad de la superficie interior de las tuberías relacionada con el material base, el servicio y la limpieza. Su valor para los materiales normalmente usados en acuicultura es  $1,3 \times 10^{-5}$  metros. Si una línea tiene incrustaciones (biofouling) considerables este valor aumenta hasta el intervalo  $3 - 9 \times 10^{-4}$  a  $3 - 9 \times 10^{-3}$  metros, aun después de una limpieza rigurosa debido a la existencia de residuos adheridos. Si las incrustaciones



han reducido considerablemente el diámetro de la tubería el valor de  $K_s$  puede llegar hasta 0,003 metros.

Entrando con la rugosidad relativa desde el margen derecho del diagrama de Moody y con el número de Reynolds desde la parte inferior se obtiene el coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) en el eje izquierdo de dicho diagrama gracias a la intersección de los dos valores anteriores citados.

Si el caudal recorre tuberías con diámetros diferentes, si los materiales cambian o si las condiciones son variables a lo largo de la línea, cada sección se debe calcular con el procedimiento ya descrito y los resultados se suman para calcular las pérdidas de carga.

Otro método para estimar las pérdidas de carga se basa en la ecuación de Hazen-Williams:

$$P_c = 10,7 Q^{1,85} L / C^{1,85} \Phi^{4,87}$$

Siendo:

$P_c$  = Pérdidas de carga en metros.

$Q$  = Caudal en  $m^3 / \text{seg}$ .

$L$  = Longitud de la tubería en metros.

$C$  = Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional).

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

El valor de « $C$ » para los materiales «plásticos» habituales en acuicultura es de 130 para los nuevos y de 100 para los «usados». Para la tubería de hormigón es de alrededor de 100 para la «nueva» y 60 para la «usada». Estos valores son para tuberías con un buen mantenimiento y sin incrustaciones importantes.

Si la sección de la tubería tiene accesorios, equipos o transiciones que impliquen cambios de diámetro, estos provocan pérdidas por rozamiento adicionales que se pueden llamar **pérdidas localizadas**. Todas estas pérdidas se deben calcular separadamente y sumadas para calcular la pérdida de carga entre dos puntos considerados.

Estas pérdidas por rozamiento dependen del tipo de accesorio o transición, del cambio de caudal, del material y del estado de las superficies internas de la tubería. En la práctica solo se considera el tipo de accesorio y el cambio de caudal.



Las pérdidas localizadas son función solamente de la velocidad y se pueden calcular con la fórmula siguiente:

$$P_l = KV^2 / 2g$$

Siendo:

$P_l$  = Pérdida localizada en metros.

$K$  = Coeficientes de pérdida tabulados en la literatura técnica especializada o suministrados por los fabricantes de las piezas de la tubería (adimensional).

$V$  = Velocidad media en la tubería en m / seg.

$g$  = Aceleración de la gravedad = 9.81 m / seg<sup>2</sup>.

Algunos de los valores de los coeficientes de pérdida ( $K$ ) para accesorios y transiciones se citan a continuación.

Para el uso de estos valores se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Pueden variar con las velocidades del fluido tanto «aguas arriba» como «aguas abajo» del accesorio o transición.
- No se consideran las incrustaciones (biofouling).
- Tienen alguna dependencia del diámetro del tubo. A los diámetros más pequeños les corresponden valores más altos de  $K$ .
- Los accesorios con bridas tienen valores más bajos que los roscados.

ACCESORIOS	COEFICIENTE DE PÉRDIDA
Acoplamientos y uniones	0,04 – 0,08
Codos de 45°	0,35 – 0,40
Codos de 90°	0,75 – 0,90
Retorno de 180°	0,4 – 1,5
«T»	0,04 – 0,9
«T» usada como codo	1,3 – 1,8
Válvula de compuerta abierta	0,17 – 0,2
Válvula de mariposa abierta	0,24
Válvula de retención de compuerta	2,0 – 3,0
Válvula de retención de disco	10,0



TRANSICIONES CONTRACCIÓN $D_2/D_1$		TRANSICIONES EXPANSIÓN $D_1/D_2$	
0 (salida tanque)	0,50	0 (entrada tanque)	1,0
0,2	0,49	0,2	0,92
0,4	0,42	0,4	0,72
0,6	0,32	0,6	0,42
0,8	0,18	0,8	0,16

Las pérdidas de carga para equipos instalados en la línea, tales como intercambiadores de calor y esterilizadores de UV, son habitualmente proporcionadas por el fabricante.

Otro método que a veces se utiliza para el cálculo de las pérdidas de carga en accesorios es el concepto de «longitud equivalente». En este método las pérdidas de carga se expresan en términos de longitud de tubo recto equivalente y estos datos tabulados son un factor que se debe multiplicar por el diámetro de la tubería asociada para calcular la pérdida de carga real.

Al conocer el coeficiente de pérdidas por rozamiento y las pérdidas localizadas ya se puede calcular el valor de las pérdidas de carga utilizando la fórmula (1).

#### 1.8.2.2.8. «Water Hammer»

El «water hammer» es un fenómeno de presión transitorio causado por un cambio brusco de la velocidad del fluido que circula por una tubería debido normalmente al cierre brusco de una válvula. Esta deceleración rápida causa una onda de presión que se propaga «aguas arriba» donde se refleja y vuelve creando un incremento de presión en la zona de velocidad más lenta. El pulso de presión origina un ruido peculiar que se repite a intervalos regulares.

El aumento de presión puede llegar a superar en varios órdenes de magnitud la presión normal del sistema. Como las tuberías utilizadas en estas instalaciones son de material sintético y de baja presión, este transitorio puede provocar la rotura de las mismas.

La magnitud del pulso de presión depende de la velocidad media del agua en la tubería, de su longitud y de la velocidad de interrupción del caudal. Las velocidades altas y la longitud de las tuberías son factores adversos en cambio el diámetro de la tubería y el caudal no tienen tanta influencia.



La situación más habitual que produce este fenómeno es la apertura rápida de una línea que provoca una velocidad muy alta del caudal y que encuentra de repente un codo o una válvula casi cerrada o el cierre demasiado rápido de una válvula (menos de 1,5 segundos, dependiendo del tamaño). Las válvulas de apertura y cierre rápido con un cuarto de vuelta y las de mariposa son las más susceptibles para la producción de este fenómeno.

Una fórmula clásica para calcular el efecto del «water hammer» es la siguiente:

$$\Delta P = [(0.070) VL / t] + P_e$$

Siendo:

$\Delta P$  = Incremento de presión en psi.

$V$  = Velocidad del caudal en pies por segundo.

$L$  = Longitud de la tubería aguas arriba en pies.

$t$  = Tiempo de cierre de la válvula en segundos.

$P_e$  = Presión de entrada en psi.

La figura 1.69 visualiza un ábaco para calcular el incremento de presión provocado por este fenómeno. El pulso de presión se puede calcular conociendo la velocidad media del fluido en la tubería, la longitud de la misma y el tiempo de cierre de la válvula.

La velocidad del fluido se encuentra a la izquierda de la escala A y la longitud del tubo en la escala D. Estos dos puntos se unen con una línea recta. El punto de intersección de esta línea con la escala C se une con una segunda línea recta con el valor conocido del tiempo de cierre de la válvula que está en la derecha de la

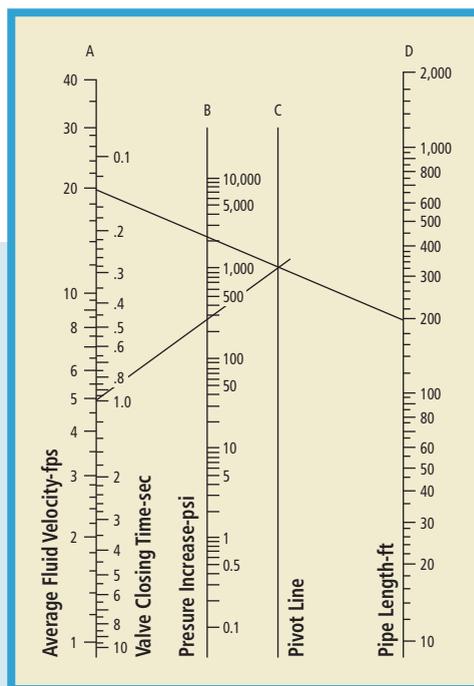


FIGURA 1.69.

Abaco para el «water hammer».



escala A. El pulso de presión se puede leer en la intersección de esta segunda línea recta con la escala B. Este valor hallado se debe sumar a la presión de la tubería para encontrar la máxima presión que debe ser utilizada en el diseño de los componentes de la línea.

La solución técnica actual para prevenir este fenómeno es la instalación de un amortiguador de pulsaciones. El diseño más habitual es hidro-neumático que consta de un recipiente a presión con un gas comprimido, generalmente aire o nitrógeno, separado del líquido del sistema por un diafragma. Este equipo se instala lo más cerca posible de la bomba o de la válvula de actuación rápida y se carga al 85 % de la presión del fluido en la tubería.

### 1.8.2.2.9. Control de las incrustaciones (*biofouling*)

Uno de los factores con mayor influencia en las instalaciones que manejan agua marina es el fenómeno de las incrustaciones o «*biofouling*». Su control es una de las operaciones más complicadas dentro de las actividades de una instalación de cultivos marinos.

La primera precaución es la instalación de todos los equipos y componentes (tuberías, filtros...) redundantes para asegurar siempre la operación sin incidentes. Se deben alternar la operación de cada uno de los dos sistemas durante períodos determinados que podrían ser cada dos semanas.

Una consideración durante la fase de diseño puede ser la definición de velocidades altas del flujo que evitan la fijación de los seres vivos. Para lograr este efecto se necesitan velocidades superiores a los 3 m /seg. Cuando ya se alcanzan velocidades del orden de 4 m /seg. y han entrado partículas abrasivas (arena) la vida en operación de los tubos se puede reducir sensiblemente por la erosión sobre todo en los codos y en áreas de cambio de sentido del caudal. Las mareas vivas pueden incrementar también la velocidad en las tuberías a veces entre 1,5 y 3 veces con lo cual se pueden producir velocidades no aceptables. Otro riesgo de las altas velocidades y largas tuberías rectas puede ser la aparición del fenómeno del «*water hammer*». Todas estas posibilidades tienen que ser consideradas en el diseño para evitar daños irreparables.

También durante el diseño hay que prever la instalación de medidas para facilitar los trabajos de limpieza tales como la instalación de bridas



de acceso o el desmontaje de tramos rectos de tubería para facilitar el acceso al interior de las mismas.

El «biofouling» aumenta considerablemente la rugosidad de las superficies internas de las tuberías y componentes de tal forma que reduce el caudal, incrementa la velocidad del fluido en la tubería y las pérdidas por rozamiento. Estos efectos pueden causar deficiencias en el funcionamiento de la instalación e incluso fallos de sistemas enteros que arruinarían la producción.

A continuación se esquematizan varios métodos para el control del «biofouling» que ya se han utilizado y además se identifican sus ventajas e inconvenientes:

<b>Método</b>	<b>sistema doble.</b>
Ventajas	Muy efectivo. Aumento de caudal potencial. Menor necesidad del procesado inicial del agua.
Inconvenientes	Muy caro.
<b>Método</b>	<b>Desecación.</b>
Ventajas	Barato. Asegura un drenaje completo.
Inconvenientes	Mucho tiempo fuera de servicio. No elimina los organismos muertos.
Comentarios	Efectivo sobre todo en instalaciones grandes.
<b>Método</b>	<b>Alta velocidad del caudal.</b>
Ventajas	Barato y efectivo con precaución. Puede ser apoyado con métodos mecánicos. No se necesita procesamiento previo del agua.
Inconvenientes	Si la velocidad es demasiado baja aparece el «biofouling». Si la velocidad es demasiado alta produce erosión. Muy susceptible al fenómeno del «water hammer». Pérdidas de energía debidas al rozamiento.
Comentarios	Más apropiada en grandes instalaciones donde el coste es un factor importante.
<b>Método</b>	<b>Agua caliente a presión.</b>
Ventajas	Elimina la necesidad de un sistema redundante.
Inconvenientes	Las tuberías de material sintético pueden ser dañadas por las altas temperaturas. No elimina los organismos muertos. Sistema fuera de servicio durante el tratamiento.
Comentarios:	Más apropiado en sistemas cerrados con temperatura controlada.



<b>Método</b>	<b>Cloración.</b>
Ventajas	Efectivo pero con precauciones.
Inconvenientes	Los residuos del cloro son problemáticos. Posible impacto ambiental. Altos costes de operación.
Comentarios	Limitaciones en las descargas.
<b>Método</b>	<b>Agua dulce a presión.</b>
Ventajas	Uso periódico y efectivo. Barato.
Inconvenientes	Limitación del uso de agua dulce a gran escala. No elimina los organismos muertos. Sistema fuera de servicio durante el tratamiento.
Comentarios	Más aplicable a pequeña escala.
<b>Método</b>	<b>Equipos mecánicos</b>
Ventajas	Eliminan las incrustaciones. Recuperan el caudal. Baratos. Efectivos y rápidos.
Inconvenientes	Mantenimiento periódico antes de que aparezca el problema. Normalmente necesitan acceso por ambos extremos de la tubería.
Comentarios	Solución final. Más efectivos si se consideran en la fase de diseño.
<b>Método</b>	<b>Productos tóxicos.</b>
Ventajas	Efectivo para pequeñas áreas donde los efectos del incrustamiento son más severos. Usados con limitación pueden ser aceptables medioambientalmente
Inconvenientes	Aplicación limitada.
Comentarios	Muy caros.
<b>Método</b>	<b>Filtración.</b>
Ventajas	Puede reducir los problemas del «biofouling» si los equipos son necesarios por otras razones.
Inconvenientes	Caro para caudales altos. Fallos o una aplicación limitada pueden anular su efectividad.
Comentarios	Más efectivo con filtración fina.
<b>Método</b>	<b>Tratamiento con UV.</b>
Ventajas	Puede reducir los problemas del «biofouling» si los equipos son necesarios por otras razones.
Inconvenientes	Caro para caudales altos. Vigilancia de su funcionamiento.
Comentarios	Usado a nivel de laboratorio.

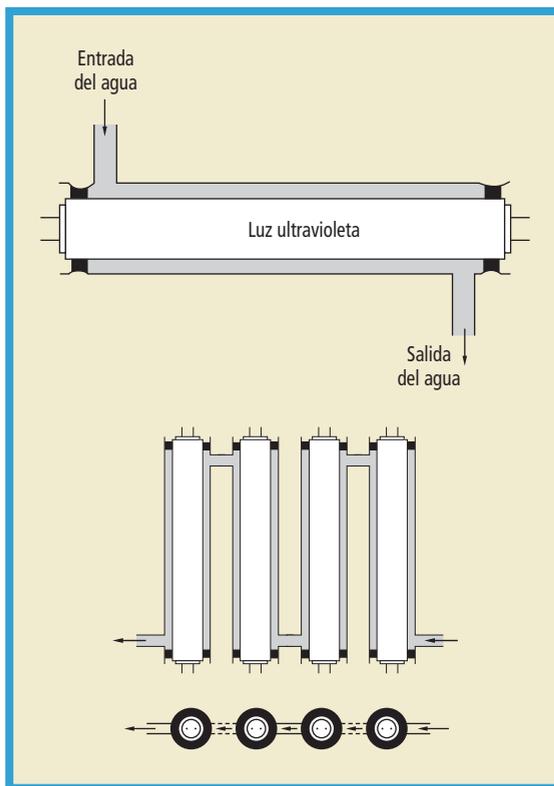


### 1.8.2.3. Sistema de esterilización

Este sistema se ubica después de los tanques de agua filtrada a  $1\mu$  para adecuar el agua para los usos requeridos. La instalación consta de unas baterías de lámparas de luz ultravioleta colocadas en serie según se indica en la figura 1.70.

Este sistema tiene los siguientes componentes:

- Cámara de irradiación fabricada en polietileno estabilizado a la radiación U. V.
- Funda isotérmica de cuarzo puro de alta resistencia y alta transmisión a la radiación U. V.
- Generador de mercurio a baja presión.
- Cuadro de mando y control que incluye reactancias de arranque instantáneo, condensadores para compensar el factor de poten-



**FIGURA 1.70.**  
Sistema de esterilización.



cia, filtros antiparasitarios, pilotos de señalización de avería y contador horario para control de horas de funcionamiento.

#### 1.8.2.4. Sistema de calentamiento

Las posibles fuentes de energía para el calentamiento del agua pueden ser: solar, eólica, energía eléctrica de la red o combustibles sólidos. Según el emplazamiento y haciendo un estudio de viabilidad económica previo se elegirá una de ellas o una principal y otra de apoyo.

Una de las alternativas para el calentamiento de agua es el uso de intercambiadores de calor con carcasa de acero inoxidable y tubos o placas de titanio (Figura 1.71). Los cambiadores suelen estar interconectados, como se aprecia en la figura 1.72, para dar servicio a más de una línea en caso de avería de alguno de ellos.

Aunque cada uno de estos intercambiadores es capaz de suministrar la energía necesaria para calentar cada una de las líneas, como medida de seguridad y pensando en posibles ampliaciones posteriores del proyecto, es conveniente instalar en cada unidad de calentamiento dos unidades iguales con lo que se multiplica por dos la capacidad de calentamiento de la instalación.

Las características técnicas de estos equipos se detallan a continuación:

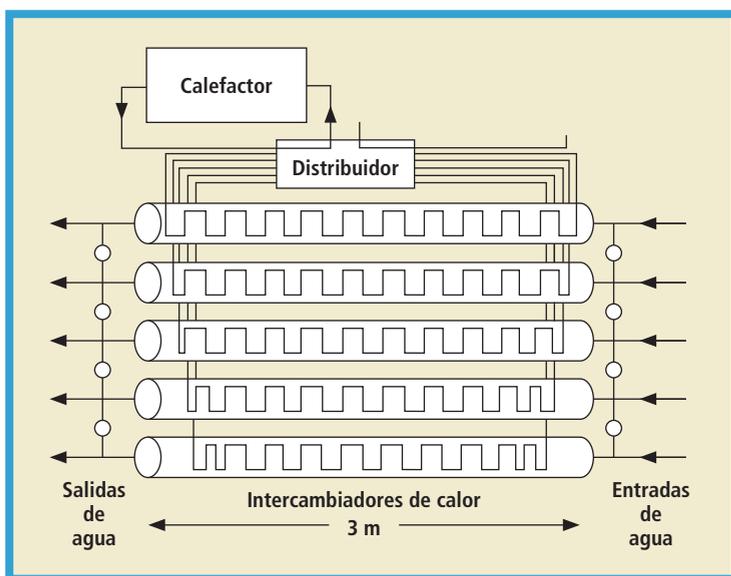
- Temperatura de entrada.
  - Temperatura de salida.
  - Capacidad total.
  - Área de intercambio.
- Número y material de las placas.
  - Pérdida de carga.



**FIGURA 1.71.**  
Intercambiadores de calor.

Dependiendo del tamaño de la instalación puede ser necesario instalar intercambiadores de mayor porte tal como el que se aprecia en la figura 1.73.

Su fuente de alimentación puede ser una caldera de gasóleo a baja temperatura (70° C) que calienta el agua dulce del circuito primario que luego elevará la temperatura del cir-



**FIGURA 1.72.**  
Interconexión de los intercambiadores de calor.

cuito secundario que es el agua de mar de cultivo. En caso de emergencia se puede utilizar la caldera de la calefacción para esta misión.

La segunda alternativa es el empleo de calentadores, evitando los cambiadores de calor.

Como el control de la temperatura es vital para la instalación esta tarea se recomienda a series de dos termostatos instalados en las tuberías: uno está en contacto con el agua y el otro con la pared del tubo, tarados a temperaturas ligeramente diferentes para que su control sea redundante.

Una medida recomendable es climatizar toda la instalación de la zona húmeda a una temperatura similar a la máxima de los tanques de cultivo (alrededor de 20 °C) con lo cual las pérdidas de calor de los tanques serán mucho menores.



**FIGURA 1.73.**  
Intercambiador de calor.



En tanques pequeños (rotíferos, artemia...) puede ser interesante la utilización de termostatos eléctricos (como los acuarios) que ya incorporan una resistencia y permiten una regulación muy precisa.

A continuación se dan unas ideas básicas y muy sencillas para calcular la energía que se necesita para calentar o enfriar el agua que se va a utilizar en el cultivo.

La potencia calorífica se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$P_c = C_m \times C_e \times \Delta T$$

Siendo:

$P_c$  = Potencia calorífica.

$C_m$  = Caudal másico.

$C_e$  = Calor específico.

$\Delta T$  = Variación de temperatura.

La potencia calorífica siempre se relaciona con la masa de agua no con el caudal por lo tanto el primer paso es transformar el caudal en volumen ( $m^3/\text{seg.}$ ) en caudal en masa ( $\text{kg}/\text{seg.}$ ), esto se logra multiplicando el primero por la densidad del agua que manejamos:

$$C_m = C_v \times \rho_m$$

Siendo:

$C_m$  = Caudal en masa ( $\text{kg.} / \text{seg.}$ ).

$C_v$  = Caudal en volumen ( $m^3 / \text{seg.}$ ).

$\rho_m$  = Densidad del agua de mar ( $\text{kg.} / m^3$ ).

El caudal en volumen del agua en cada uno de los tanques de cultivo ya se ha definido para cada uno de los estados de moluscos y de peces en las secciones correspondientes (1.7.3 y 2.3).

La densidad del agua de mar es variable según la zona pero como densidad media puede considerarse el valor de  $1035 \text{ kg.} / m^3$ .

El calor específico es la cantidad de calor que hay que proporcionar a un gramo de sustancia para que eleve su temperatura un grado centígrado. Su unidad es  $\text{cal} / (\text{g } ^\circ\text{C})$ . En el Sistema Internacional de Unidades de Medida es  $\text{J} / (\text{kg. } ^\circ\text{K})$ . El factor de conversión es 4186. En el caso del agua el calor específico es  $1 \text{ cal} / (\text{g } ^\circ\text{C})$  ó  $4186 \text{ J} / (\text{kg. } ^\circ\text{K})$ . Este valor puede ser utilizado en los cálculos para el agua de mar.



La variación de temperatura ( $\Delta T$ ) es la diferencia entre la temperatura del agua de cada uno de los tanques de cultivo y la del mar en la zona de la instalación.

La temperatura del agua en cada uno de los tanques de cultivo ya se ha definido para cada uno de los estados de moluscos y de peces en las secciones correspondientes (1.7.3 y 2.3).

La temperatura del mar en cada zona puede ser obtenida de los datos estadísticos que existen de todo el litoral y deben elegirse las condiciones más extremas en verano y en invierno pues serán los casos más desfavorables y nos darán las variaciones de temperatura que permitirán calcular el calor máximo a suministrar en invierno y la posible refrigeración que será necesario realizar en verano.

Con la identificación de todos estos datos ya se puede para cada conjunto de tanques de cultivo de cada fase calcular la potencia que se necesita.

A esta potencia calculada es necesario aplicarle dos factores de corrección para acercarnos a la realidad considerando el agua que está en las tuberías y un coeficiente de seguridad. En el primer caso y de forma preliminar puede estimarse el agua de las tuberías como un tanto por ciento del total que se maneja y de forma definitiva cuando ya se hayan calculado las tuberías. La elección del coeficiente de seguridad es una decisión muy personal del diseñador pero como base a considerar un 30% puede ser aceptable.

Con todos estos datos ya se puede dimensionar la caldera y/o bomba de calor según las necesidades. Como regla de buena práctica deben elegirse siempre dos calderas y dos bombas de calor para tener siempre una en «stand by».

Otra recomendación práctica importante es la instalación de bombas de recirculación entre los tanques y la caldera o bomba de calor ya que permitirán un mayor control de la temperatura y un ahorro de energía. Para la elección de estos equipos la mejor solución es seguir las indicaciones de los suministradores.

#### 1.8.2.5. Sistema de aireación

El suministro del aire se realiza por medio de soplantes similares a las mostradas en la figura 1.74 o compresores de baja presión y la



distribución por medio de difusores o aireadores de gravedad (duchas de agua que al pulverizarla aumentan la superficie de contacto con el aire y aumenta su disolución). También se puede utilizar el sistema «air – lift» que consiste en inyectar aire en un tubo vertical y al salir arrastra el agua y a la vez aumenta su contenido de aire y por lo tanto de oxígeno.

El caudal de aire que suministra una soplante depende de la presión de descarga: a menor presión, mayor caudal. Su funcionamiento normal es a baja presión (menos de un metro de columna de agua) y su consumo es moderado (1 – 2 Kw. / hora). Los tanques donde se suministra el aire deben estar a la misma altura y si se cierran muchas salidas aumentará la presión y bajará el rendimiento. Para paliar este hecho se suelen instalar válvulas de seguridad de alta presión que alivian los picos de presión.

La limpieza del aire se controla mediante unos filtros situados en la descarga y la distribución se realiza, dependiendo del tamaño del tanque, con tubo rígido o por medio de «macarrón». La entrada del aire siempre se realiza por la parte inferior de los tanques.

En las instalaciones de gran producción es necesario diseñar e instalar una red de suministro de aire y oxígeno ya que el contenido de este en el aire y en el agua suele ser insuficiente sobre todo en las instalaciones de cultivo de peces. Además al aumentar la temperatura de cultivo disminuye la solubilidad del oxígeno. Esta instalación más compleja debe incorporar los equipos de suministro de aire (soplantes o compresores), las unidades de suministro de oxígeno (depósitos o



**FIGURA 1.74.**  
Soplantes.



generadores), la red de distribución (tuberías, válvulas, presostatos...) y el sistema de instrumentación y control.

Este sistema es de vital importancia para la instalación ya que la falta o el exceso (sobresaturación) de oxígeno son mortales para los seres en cultivo. Por esta razón se deben colocar sensores en cada tanque que avisen de la deficiencia y a la vez el propio sistema tome acción inyectando oxígeno o favoreciendo la aireación.

El diseño del equipo de aireación u oxigenación se basa en la cantidad de oxígeno necesario y en la concentración mínima de oxígeno disuelto. Para juveniles y crustáceos el criterio recomendado es un mínimo de 6 mg / l. En el caso de huevos, larvas y seres muy pequeños es aconsejable aumentar los niveles de oxígeno disuelto.

El oxígeno requerido para la alimentación de los seres cultivados puede ser definido con las expresiones siguientes:

- Demanda media de oxígeno (Kg. / día) = 0,20 R
- Demanda máxima de oxígeno (Kg. / día) = 0,29 R

Siendo:

R = Ración total de alimento en Kg./día.

Como los aireadores sumergidos son los más utilizados, a continuación se detalla una fórmula de cálculo de su eficiencia en la transferencia de oxígeno:

Este parámetro se establece normalmente en condiciones normales de presión (1 atmósfera), temperatura (20 °C) y condiciones de agua limpia. La eficiencia de transferencia se expresa en Kg. O<sub>2</sub>/KW – hora o en lb. O<sub>2</sub> / HP - hora. Esta variable en otras condiciones se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$N = N_0 [(bC_{ef.} - C) 1,024^{(T-20)} (a) / C_0]$$

Siendo:

N = Eficiencia de la transferencia en las condiciones de la instalación (lb. O<sub>2</sub> / HP – hora).

N<sub>0</sub> = Eficiencia de la transferencia en condiciones normales (lb. O<sub>2</sub> / HP – hora).

C<sub>ef.</sub> = Concentración efectiva media de saturación del oxígeno disuelto (mg / l).



$C_0$  = Concentración de saturación del oxígeno disuelto (mg / l) a 20 °C y a la presión y salinidad dadas.

$C_1$  = Concentración de saturación del oxígeno disuelto (mg / l) a 1 atmósfera y a la temperatura y salinidad dadas.

$C$  = Concentración media de saturación del oxígeno disuelto (mg / l) en el sistema.

$T$  = Temperatura.

$b = C_1$  condiciones instalación /  $C_1$  condiciones normales.

$a$  = Tasa transferencia condiciones instalación/Tasa de transferencia condiciones normales.

El incremento en la concentración de oxígeno depende del tipo de difusor, del tamaño de la burbuja, del tiempo de contacto y de la turbulencia. Para simplificar un poco se pueden utilizar las dos fórmulas siguientes para el cálculo de  $C_{ef.}$ :

Para difusores con burbujas medias y grandes:

$$C_{ef.} = C_1 (1,00 + 0.008 Z)$$

Para difusores con burbujas pequeñas:

$$C_{ef.} = C_1 (1,00 + 0.016 Z)$$

Siendo:

$Z$  = profundidad del difusor en pies.

Para cálculos de diseño preliminares se pueden considerar los valores siguientes (lb.  $O_2$  / HP – hora) como una tasa de transferencia de referencia:

- Difusores de burbuja pequeña o fina: 2,0.
- Difusores de burbuja media: 1,6.
- Difusores de burbuja grande: 1,0.

Otro método práctico que se puede utilizar para el cálculo de la eficiencia de la transferencia ( $N$ ) es la utilización de la gráfica del cuadro 1.75 en la que se representa  $N$  en función de la temperatura y de la concentración del oxígeno disuelto para unas condiciones determinadas: difusor de burbuja fina, salinidad de 35 por mil,  $a = 0,9$ ,  $b = 1,0$  y profundidad del difusor 3 pies.

La eficiencia de la absorción es el porcentaje del oxígeno transferido del aire al agua. Este parámetro depende de la temperatura, de



la profundidad, del caudal de aire, del tipo de difusor y de la concentración de oxígeno disuelto.

El caudal de aire se puede medir en pies cúbicos de referencia por minuto que representan el caudal a 20 °C, 1 atmósfera y 36% de humedad relativa. Un pie cúbico de referencia de aire contiene 0,0521 lb de aire y 0,0173 lb de oxígeno.

La figura 1.76 muestra una tabla útil para calcular la eficiencia de la absorción en función de la profundidad del difusor y del oxígeno disuelto (DO) para unas condiciones determinadas:  $a = 1,0$ ,  $b = 1,0$ , caudal de 2 pies cúbicos de aire por minuto en agua dulce,  $T = 20$  °C, salinidad = 1035 y presión barométrica = 1 atmósfera.

Conociendo la demanda de oxígeno (OD) y la eficiencia de absorción se puede calcular la potencia de las soplantes:

$$\text{Potencia soplantes (HP)} = 1,50 \text{ (OD)/N}$$

Siendo:

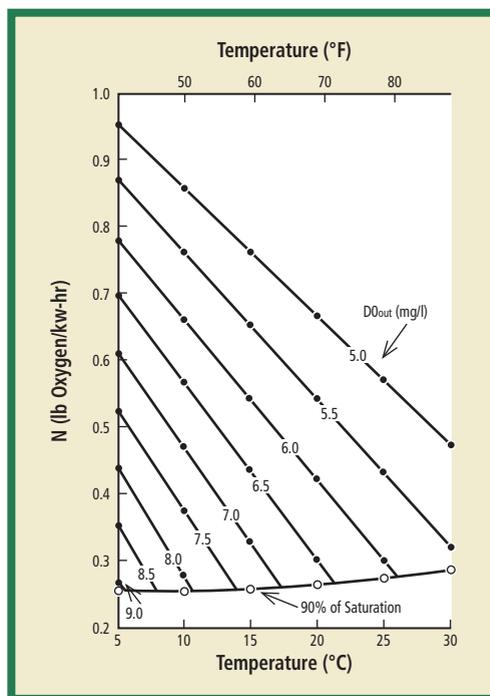
OD = Demanda de oxígeno en lb/hora

N = Eficiencia de absorción en lb O<sub>2</sub>/HP – hora

Para el cálculo de los equipos de oxigenación es suficiente con el conocimiento de la demanda de oxígeno (OD).

Todo el procedimiento es largo, un tanto complicado y no exacto por las sucesivas suposiciones que se han ido haciendo. Puede ser útil para los cálculos preliminares y luego para la elección final de los equipos es más interesante, rápido y económico confiarse a los suministradores habituales que manejan los cálculos en su «día a día».

**FIGURA 1.75.**  
Cálculo de la eficiencia de la transferencia (Huguenin & Colt).





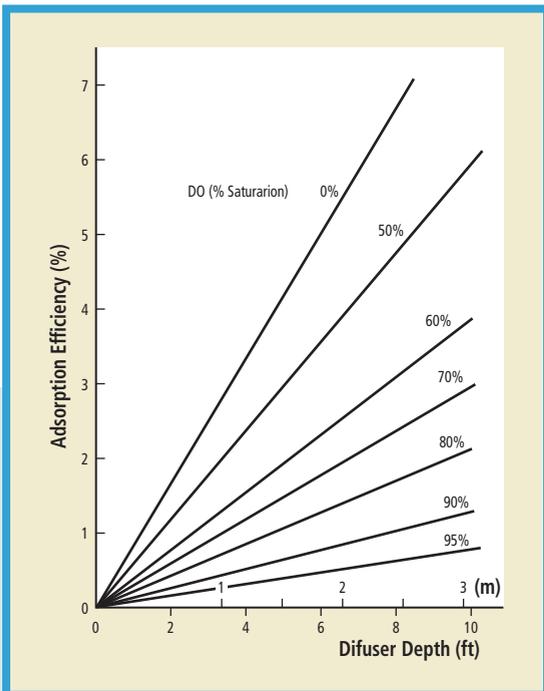
La única referencia lógica y razonable la hemos encontrado en el diseño de los mini criaderos de D. Alejandro Guerra y es la que vamos a recomendar, ya que el consumo de aire en este tipo de instalaciones es enormemente variable, según nos han confirmado los expertos consultados de los centros de investigación.

La referencia es el dato de un consumo de 3000 l / minuto, para una instalación con una producción de ocho millones de semillas («hatchery» de bivalvos). Para cualquier proyecto a realizar se puede extrapolar para la producción estimada y teniendo en cuenta los solapes que hay entre cada uno de los ciclos de producción, se pueden considerar unas necesidades dobles.

Así como para los moluscos bivalvos la aireación es suficiente, en el caso de los peces y sobre todo cuando se desea aumentar la bio-

masa de cultivo es necesaria la instalación de oxigenación pues únicamente con aire no se pueden alcanzar las cantidades de oxígeno disuelto que se necesitan. Esta es la principal razón para la oxigenación pero también hay otras de gran interés: disminución del caudal de agua (en operación normal ahorrando agua de bombeo o en caso de fallo exterior), aumento de la temperatura del agua que provoca la disminución del oxígeno disuelto y durante el transporte de peces vivos.

Considerando todas estas razones se pueden tener dos sistemas de distribución de oxígeno: el normal, que actúa de forma continua, y el de emergencia.



**FIGURA 1.76.**  
Eficiencia de la absorción  
(Huguenin & Colt).



El primero lo requieren los seres con mayores necesidades tales como las fases de post larvas, destete y pre engorde así como los cultivos auxiliares de artemia y rotífero. El segundo además de entrar en funcionamiento en las emergencias ya citadas (bajo caudal y alta temperatura) es también útil como apoyo a las fases de reproductores y larvaria en estos casos excepcionales.

Los sistemas más utilizados para el suministro se esquematizan a continuación:

- El enriquecimiento del oxígeno a través de difusores (figura 1. 77) alimentados por depósitos industriales como el de la figura 1.78. Este sistema es mas barato porque no gasta energía pero es el de menor rendimiento (60 – 70%) por lo ya explicado antes en la parte teórica de adsorción. Con este sistema se oxigena cada tanque individualmente. Del depósito de oxígeno parte una manguera para la zona de cultivo con las tuberías de suministro de agua. Esta conducción se va subdividiendo con las conducciones de agua hacia cada uno de los tanques de cultivo. El objetivo es mantener en cada tanque una concentración de oxígeno de 6 – 7 mg / l. Un oxímetro situado en la salida de cada tanque de cultivo puede controlar este parámetro, de vital importancia, abriendo o cerrando una electroválvula que suministra el oxígeno puro necesario. Este control es muy importante cuando los seres en cultivo acaban de comer ya que su consumo de oxígeno aumenta considerablemente. Esta regulación del oxígeno es vital cuando falla el suministro del agua y también para evitar cambios bruscos en la concentración que afectan gravemente a la salud de los seres cultivados.
- La inyección directa en el sistema de bombeo tiene mayor rendimiento (95%), su instalación es sencilla y de un coste algo superior a la anterior por el control del agua que se debe oxigenar.
- La utilización del tanque mezclador. En este caso es necesario derivar un caudal de agua hasta el mezclador donde se oxigena a presión (Figura 1.79). Es una alternativa más cara porque supone gastos de bombeo y control pero de mayor rendimiento (próximos al 100%).
- La utilización de un salto natural o cascada para la oxigenación. Es el más barato ya que no hay coste energético.



**FIGURA 1.77.**  
Difusor de oxígeno.



**FIGURA 1.78.**  
Depósitos de oxígeno.

El sistema de emergencia actúa normalmente con mangueras porosas o mediante la inyección directa en la impulsión de las bombas de recirculación (si existen).

Actualmente uno de los métodos más rentables para obtener oxígeno «in situ» es el de los generadores por adsorción. La adsorción es un fenómeno de naturaleza física por el que las moléculas de un gas quedan retenidas en un cuerpo sólido. En estos generadores se introduce el aire a presión y se le hace pasar por lechos moleculares de zeolita que retienen el nitrógeno del aire y liberan el oxígeno que se almacena en un tanque. La zeolita es un silicato aluminico hidratado, compuesto por calcio, sodio, potasio, magnesio y otros minerales, que presenta una estructura porosa. Antes de que la zeolita se sature, se detiene la corriente de aire y se procede a la eliminación del nitrógeno almacenado.

Cuando la presión total de gases (PTG) en el agua (suma de las distintas presiones parciales de los gases disueltos en el agua) es superior al 100 % el agua está **sobresaturada**. Con esta situación las larvas y los seres más pequeños pueden sufrir daños importantes por la enfermedad de la burbuja ya que se introduce en su organismo nitrógeno y otros gases disueltos. La PTG se puede medir con el saturómetro de Weiss.

Este fenómeno se produce cuando se calienta el agua (más temperatura menos solubilidad de los gases), con la entrada de aire en el cir-



cuito de agua o cuando se inyecta aire a presión. La disolución de nitrógeno en el agua puede ser letal. La utilización de bombas sumergidas de impulsión en vez de las de aspiración suele evitar en parte este fenómeno.

Cuando existe el riesgo de introducción de aire es necesario desgasificar el agua. El método más sencillo y usual es hacer caer el agua en cascada antes del tanque de cabecera que permite recuperar la presión normal de gases.

La principal diferencia entre el uso del aire y el oxígeno está en su composición. Si se utiliza aire cualquier sobresaturación aumenta la presión total de gases (PTG) y el aumento del nitrógeno es peligroso, pero si se sobresatura con oxígeno la PTG casi no se modifica y no hay aumento de nitrógeno.



**FIGURA 1.79.**  
Reactor de oxígeno.

### 1.8.2.6. Tanques de cultivo

#### 1.8.2.6.1. *Reproductores*

Los reproductores se pueden alojar en bandejas (Figura 1.24) colocadas en estanterías similares a las mostradas en las figuras 1.80 y 1.81. El agua estará permanentemente en circuito abierto y se deben prever unos pequeños colectores con un tamiz para recoger los huevos (almejas y ostión) o las larvas (ostra plana) (Figura 1.82). La figura 1.83 muestra la bandeja para la incubación de los huevos ya fecundados.

El material más habitual suele ser resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio.

#### 1.8.2.6.2. *Larvas.*

Los tanques habitualmente utilizados para el cultivo larvario son troncocónicos para facilitar las limpiezas periódicas (cada dos días) similares a los mostrados en las figuras 1.84 y 1.85. Estos tanques se apoyan en un trípode, se airean con una tubería de plástico y en su parte inferior llevan un colector con tamices entre 20 y 300 $\mu$  para la recogida de las larvas en el momento de la limpieza. Pueden ser de po-



**FIGURA 1.80.**  
Conjunto de bandejas de reproductores.



**FIGURA 1.81.**  
Conjunto de bandejas de reproductores.



**FIGURA 1.82.**  
Colector de huevos o larvas.



**FIGURA 1.83.**  
Bandeja para la incubación de huevos.

liéster reforzado con fibra de vidrio. El esquema mostrado en el cuadro 1.86 visualiza el vaciado de un tanque de cultivo larvario.

La metamorfosis es el estado de paso de larva a post larva. En este momento los seres ya adoptan su forma adulta. Las almejas se depositan en el fondo y las ostras se adhieren a un colector, de material plástico, similar al que se visualiza en la figura 1.26 que se colocan en los tanques en estructuras de soporte como las de la figura 1.87. Otros filtros utilizados para la recogida de larvas de moluscos se visualizan en la figura 1.88.

#### 1.8.2.6.3. *Post larvas y semillas*

Las post larvas y semillas suelen alojarse en tanques rectangulares en bandejas flotantes tal como se aprecia en la figura 1.89 o en tambores también flotantes (Figura 1.90). Actualmente pueden ser de poliéster reforzado con fibra de vidrio e incorporan un conducto de aireación.



**FIGURA 1.84.**  
Tanques para el cultivo de larvas.



**FIGURA 1.85.**  
Tanques para el cultivo de larvas.

Los cilindros o tambores son similares a los mostrados en la figura 1.91 que a su vez flotan en tanques rectangulares tal como se aprecia en la figura 1.92. También son de poliéster reforzado con fibra de vidrio e incorporan un conducto de aireación.

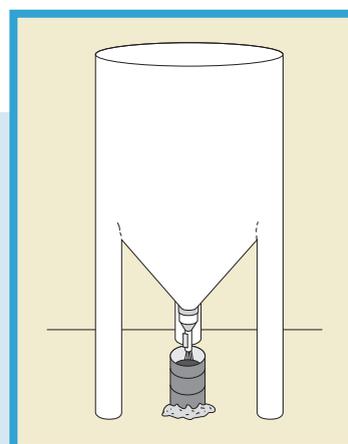
Estos tanques rectangulares tienen unas dimensiones mínimas de 3 - 5 m de largo por 1 m de ancho por 0,8 metros de profundidad con capacidades entre 3.500 y 7.000 litros.

Los tamices que incorporan tanto las bandejas como los tambores son su característica diferencial ya que a medida que van creciendo los seres va aumentando el tamaño de la malla: 250, 500, 750 micras y 1 mm.

#### 1.8.2.7. Sistema de producción de microalgas

Las microalgas son el alimento de los pequeños bivalvos por lo tanto esta actividad es una de las más fundamentales de la instalación.

Los aspectos que en este libro se tratan se relacionan únicamente con la Ingeniería por lo tanto en este apartado solo se expondrán los métodos generales y las variables que se necesitan para calcular las instalaciones y equipos que darán este servicio.



**FIGURA 1.86.**  
Vaciado de un tanque de cultivo larvario (esquema).



**FIGURA 1.87.**  
Estructuras soporte  
de colectores.



**FIGURA 1.88.**  
Filtros para la recogida  
de larvas de moluscos.

De los tres métodos posibles que existen para el cultivo de fitoplancton (por lotes, semicontinuo y continuo) el mas utilizado es el primero de ellos y es el que vamos a describir y facilitar los parámetros de cultivo.

En este método de cultivo se mantienen los inóculos de las diversas especies en tubos de ensayo de 15 a 20 ml (Figura 1.28) en las condiciones que más adelante se definirán. Poco a poco se van trasladando a recipientes más grandes (erlenmeyers de 200 a 250 ml y botellones o reactores de 5 a 6 litros) (Figuras 1.93 y 1.94), que se mantienen en la cámara isoterma, hasta llegar a las bolsas de polietileno de cultivo que tienen una capacidad máxima de 500 litros (1.95). Estas bolsas se sostienen mediante una estructura de alambre y están perfecta-



**FIGURA 1.89.**  
Tanques y bandejas para  
post larvas.



**FIGURA 1.90.**  
Tanques y tambores  
para post larvas.



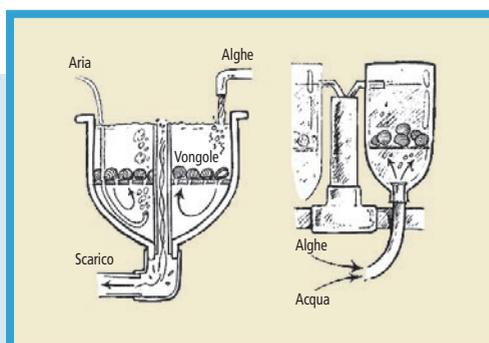
mente tapadas para evitar la contaminación de los cultivos. Cuando el consumo lo requiera se realizarán cultivos masivos en tanques mas grandes (desde 1.000 a 10.000 litros) en naves con cubierta transparente (Figura 1.96).

El control del crecimiento se realiza mediante el aporte de nutrientes, la intensidad de la luz, el suministro de CO<sub>2</sub> y la regulación del pH.

Los nutrientes principales son nitrógeno, fósforo y minerales que se mantienen en agua desionizada para ir preparando diariamente las disoluciones de trabajo.

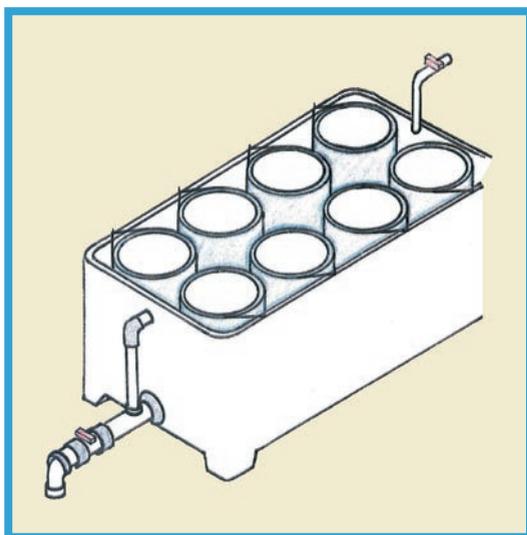
Los **parámetros** más importantes que deben ser mantenidos para el cultivo en la **cámara isoterma** se relacionan a continuación:

- Agua esterilizada: U. V. u O<sub>3</sub>.
- Agua filtrada: 0,45μ.
- Climatización: 20 °C de temperatura constante.



**FIGURA 1.91.**

Cilindros de cultivo de post larvas y semillas.



**FIGURA 1.92.**

Tanque de cultivo de semillas.



**FIGURA 1.93.**  
Erlenmeyers para el cultivo de fitoplancton.



**FIGURA 1.94.**  
Reactores para el cultivo de fitoplancton.

- Iluminación con fluorescentes constante las 24 horas: 4.000 – 8.000 lux. Una norma mas precisa para la potencia es utilizar 2 – 4 watos por litro.
- Suministro de CO<sub>2</sub>.

Los **parámetros** para el **cultivo masivo** son los siguientes:

- Agua esterilizada: U. V. u O<sub>3</sub>.
- Agua filtrada: 0,45μ.
- Aireación con enriquecimiento de CO<sub>2</sub>.
- Climatización: 20 °C de temperatura constante.
- Construcción de tipo invernadero.
- Iluminación: durante el día luz natural y fluorescentes durante la noche de 4.000 – 8.000 lux.
- Renovación de agua caliente: 5 % diario.

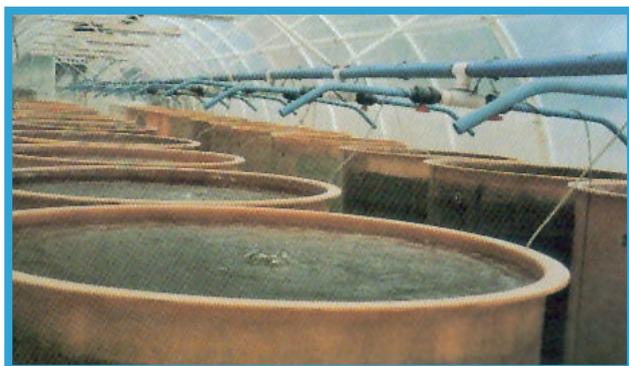
Como complemento para calcular las necesidades de luz se incluye la información siguiente:

- Bolsas plásticas de 80 litros: 2 – 4 w / l
- Bolsas plásticas de 500 litros: 0,3 – 0,4 w / l
- Tanques de 2.000 – 4.000 litros: 0,3 – 0,4 w / l
- Tanques exteriores de 10.000 litros: Luz natural

Una parte importante de este sistema es el suministro de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) necesario para la respiración de las microalgas.



**FIGURA 1.95.**  
Bolsas de polietileno para el cultivo de fitoplancton.



**FIGURA 1.96.**  
Tanques para cultivo masivo de fitoplancton.

El cuadro 1.97 proporciona datos complementarios y esquematiza otros ya dados en las páginas anteriores: fase de cultivo de fitoplancton, filtración, esterilización, temperatura, abono, aireación, necesidades de luz y destino.

A continuación se incluyen una serie de datos útiles y necesarios para el dimensionamiento de este subsistema:

- Necesidad de las microalgas: 4 litros de CO<sub>2</sub> por hora y por litro de cultivo.
- Factores de conversión:

Líquido presurizado (fase sólida)	GAS (*)
1,000 Kg.	530 litros
1,887 Kg.	1.000 litros

(\*) = Volumen de gas medido a 1,013 bar y 15 °C de temperatura.

Con estos datos se puede calcular fácilmente las necesidades de gas y el número de botellas que es necesario instalar.

La instalación consta fundamentalmente de los siguientes elementos:

- Un bloque de botellas como fuente principal de abastecimiento del gas y otro bloque de reserva que entra automáticamente en funcionamiento cuando el primer bloque se agota.
- Tubería de distribución con los ramales necesarios a cada bolsa o tanque.
- Regulador de caudal para la distribución.



**CUADRO 1.97.**  
Datos cultivo de fitoplancton (Cuadernos Xunta).

FASE	FILTRO	ESTERILIZADO	°C	ABONO	AIRE	LUZ	DESTINO
Inóculo 10 ml	0,45 μ	UV	20°C	Sales Oligo. Vitam.		80 W por estante	Cepas
Cepa de 150 ml	0,45 μ	UV	20°C	Sales Oligo. Vitam.		80 W por estante	Reactor
Reactor 6-10 l	1 μ	UV	20°C	Sales Oligo. Vitam.	30 l/h	De 2 a 4 w/l	Bolsa Larva
Bolsa 30 l	1 μ	UV	20°C	Sales Oligo. Vitam.	200 l/h	1 w/l	Bolsa 400 l Larvas. Tanque
Bolsa 400 l	1 μ	Quim.	Ambiente	Industria	1,5 m <sup>3</sup> /h	0,3 ó 0,4 w/l	Repro. Semil.
Tanque 1-3 m <sup>3</sup> /l	1 μ	Quim.	Ambiente	Industria	1,5 m <sup>3</sup> /h	0,3 ó 0,4 w/l	Repro. Semil.
Tanque externo	1 μ	Quim.	Ambiente	Industria	1,5 m <sup>3</sup> /h	0,3 ó 0,4 w/l	Repro. Semil.

**1.8.2.8. Sistema de decantación de residuos**

Este sistema puede tener dos fases o etapas: una primera de decantación y la segunda de estabilización. La primera es necesaria si el volumen de residuos es considerable (más adelante se darán cifras). Antes de la descarga al mar se debe construir un colector separado del estanque de decantación a donde llegue únicamente el agua después de haberse decantado los residuos, esto se logra comunicando el estanque de decantación con este colector con una tubería instalada en la parte mas alta del tanque de decantación para que solo el agua superficial sea enviada al mar y no arrastre los residuos depositados en el fondo (Figura 1.98).

La sedimentación depende de la densidad de las partículas, de su forma y de su tamaño. Las partículas más grandes y con mayor densidad se depositarán más rápido que las pequeñas siempre en función de su velocidad de sedimentación.

Las variables a considerar se definen a continuación:

- **Forma:** rectangular para mantener la componente horizontal de la velocidad del agua uniforme.
- **Profundidad:** entre 1 y 2 metros para facilitar la retirada de los residuos.
- **V<sub>H</sub>**= Componente horizontal de la velocidad del agua.
- **V<sub>v</sub>**= Componente vertical de la velocidad del agua.
- **V** = Velocidad de sedimentación de las partículas.



**FIGURA 1.98.**  
Sistema de decantación de residuos (Global Aquafish).

Si  $V > V_v$  las partículas se decantarán totalmente. Si las partículas están distribuidas uniformemente, aquellas con velocidades menores que  $V_v$  se eliminarán en la proporción  $V / V_v$ . Evidentemente si se disminuye  $V_v$  se eliminarán partículas más pequeñas pero es necesario aumentar el tamaño del estanque de sedimentación.

La componente vertical de la velocidad del agua también se llama **tasa de carga de superficie** ya que son los metros cúbicos de partículas residuales que se depositan por metro cuadrado de fondo en un día:  $\text{m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} = \text{m} / \text{día}$ . Esta es la unidad normalmente utilizada para medir este parámetro.

Sus valores tomados como normales para las instalaciones de acuicultura son los siguientes:

- Cultivo de seres en agua fría: 40 – 60 m / día.
- Cultivo de seres en agua caliente: 160 – 175 m / día.

Estos valores deben ser considerados con los picos de caudal diarios.

El **estanque de estabilización** se debe construir cuando la tasa de carga de superficie supere los 30 m / día para cultivos de agua fría y 100 m / día para los de agua caliente. El diseño de este estanque debe realizarse para almacenar los residuos de cuatro horas de producción de la instalación con una profundidad entre 1 y 2 metros.

Cálculo de la velocidad vertical de sedimentación para un tamaño determinado de partícula que garantiza su eliminación total ( $V_v$ ):

$$V_v = P \times V_H / L$$

Siendo:

$P$  = Profundidad del estanque en metros.



$V_H$  = Componente horizontal del agua en m / seg.

$L$  = Longitud del estanque en la dirección del caudal en metros.

Cálculo de la componente horizontal del agua ( $V_H$ ):

$$V_H = C / P \times A$$

Siendo:

$C$  = Caudal en  $m^3$  / segundo.

$P$  = Profundidad del estanque en metros.

$A$  = Anchura del estanque en metros.

Por lo tanto la componente vertical de la velocidad del agua será:

$$V_V = C / A \times L (*)$$

Cuanto más se disminuya esta velocidad se lograrán eliminar partículas de un peso más pequeño pero, de acuerdo con la fórmula, habría que aumentar las dimensiones del estanque y por lo tanto su coste. Como siempre es necesario llegar a un compromiso entre el peso de las partículas a eliminar y la inversión económica a realizar, cumpliendo la legislación medioambiental vigente.

Para verificar si los residuos se depositarán en el fondo es necesario comparar la componente vertical de la velocidad del agua con la velocidad de decantación de los residuos. Para definir esta velocidad se consideran las experiencias de Gowen y Bradbury en 1987:

- Velocidad de los residuos de la alimentación:  $2,4 \times 10^{-3}$  m / seg.
- Velocidad de los residuos fecales:  $6 \times 10^{-4}$  m / seg.

Para definir el estanque de decantación se necesitan calcular sus dimensiones: longitud, anchura y profundidad. Esta última según la experiencia debe estar entre 1 y 2 metros. Por lo tanto se deben calcular las otras dos. La anchura debe ser lo mayor posible para lograr una mayor uniformidad en la velocidad del agua (> 5 metros).

Como ya se ha comentado la velocidad vertical del agua debe ser mas pequeña que la menor de las velocidades de sedimentación de los residuos, en este caso los fecales ( $6 \times 10^{-4}$ ), por lo tanto considerando un valor mas pequeño que este, aplicando la fórmula (\*) y considerando un valor adecuado, según las posibilidades del terreno, para la anchura del estanque se puede calcular la longitud:

$$L = C / A \times V_V$$



Un cálculo muy importante para los vertidos al mar es el relacionado con su descarga: ¿por gravedad o con el auxilio de una bomba?

Desde el punto de vista de la viabilidad económica esta consideración es muy importante ya que si se necesita una bomba para la descarga el gasto energético pesará en la instalación durante toda su vida.

Los datos del sistema de decantación de residuos, que según el proyecto ya se han definido, son los siguientes:

- Altura sobre el nivel del mar de los estanques de decantación y de estabilización.
- Profundidad de estos estanques sobre el nivel del mar.
- Longitud de la tubería de descarga.

Como es habitual se puede aplicar la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$P_c = fLV^2 / 2g \Phi$$

Considerando las pérdidas localizadas en codos, tomas y cambios de dirección queda la expresión siguiente:

$$P_c = f(L + \Sigma P_l) V^2 / 2g \Phi (1)$$

Siendo:

$P_c$  = Pérdidas de carga en metros.

$f$  = Coeficiente de pérdidas por rozamiento.

$L$  = Longitud de la tubería en metros.

$\Sigma P_l$  = Sumatorio de longitudes equivalentes en metros para pérdidas localizadas: codos, válvulas, cambios bruscos de diámetro...

$\Phi$  = Diámetro de la tubería en metros.

$V$  = Velocidad del fluido en metros por segundo.

$g$  = Aceleración de la gravedad en m / seg<sup>2</sup>.

El cálculo del coeficiente de pérdidas por rozamiento ( $f$ ) y de las pérdidas localizadas ya se ha detallado en la página 139 y siguientes.

Como se conoce el caudal de descarga se puede calcular la velocidad media en la tubería que va hacia el mar:

$$C = VS \text{ de donde } V = C / S$$

Siendo:

$V$  = Velocidad media del agua en la tubería en m/seg.

$C$  = Caudal en m<sup>3</sup>.



$$S = \text{Área de la tubería} = \pi R^2$$

$R$  = Radio de la tubería.

Como se conoce esta velocidad, el coeficiente  $f$ , la longitud y el diámetro de la tubería, las pérdidas localizadas y la aceleración de la gravedad ya se pueden calcular las pérdidas de carga.

Si la diferencia de alturas entre la descarga y el nivel del mar es mayor que estas pérdidas de carga calculadas el sistema descargará por gravedad.

Esta verificación también podría hacerse a la inversa: presuponiendo la diferencia de alturas como pérdidas de carga y entonces calcular la velocidad media en la tubería de descarga y luego al calcular el caudal verificar que es superior al necesario.

### 1.8.3. Circuito de agua dulce

El agua dulce sólo se emplea para labores de limpieza y se utiliza el servicio normal de agua exterior, pero para caso de emergencia se puede tener un tanque de reserva de 5000 l, por supuesto exterior y emplazado en un lugar más elevado que la cota normal de la instalación para poder distribuirla por gravedad.

### 1.8.4. Suministro eléctrico

El suministro normal se efectúa por la conexión a la red local pero se debe prever un grupo electrógeno doble cuyo primer bloque entra en funcionamiento automáticamente cuando hay un corte de electricidad permaneciendo el segundo en reserva.

Si la acometida es de alta tensión se pueden instalar dos transformadores en paralelo, cada uno de ellos con la potencia necesaria para el funcionamiento de la instalación.

A continuación se adjunta un esquema de los equipos que se deben considerar para el balance eléctrico. El orden establecido es el camino del agua desde la aspiración a la descarga. Otra consideración importante es identificar los que deben funcionar en caso de emergencia para el cálculo de los grupos electrógenos y los que deben operar a la vez (factor de simultaneidad).

- Sistema de aspiración:
  - Bombas de aspiración.



- Filtros de limpieza de algas y de sílex.
- «Skimmers» y otros.
- Filtración: bombas de los diversos sistemas.
- Calentamiento:
  - Calderas y bombas de calor.
  - Bombas de impulsión y recirculación.
  - Resistencias en tanques.
- Esterilización: consumo de los equipos de UV u ozono.
- Sistema de aireación: soplantes, compresores, equipos oxigenación, bombas...
- Cultivos auxiliares:
  - Microalgas: bombas, equipo CO<sub>2</sub>, climatizador...
  - Artemia y rotífero: calentadores.
  - Laboratorio: equipamiento.
- Sistema de instrumentación y control: medidores, accionadores, equipos de control, válvulas, presostatos...
- Iluminación.
- Otros: frigoríficos, congeladores, equipos mantenimiento, equipos medida...

#### 1.8.5. Sistema de instrumentación y control

En cualquier instalación moderna este sistema es fundamental y debe ser instalado siempre que la inversión lo permita aunque sea sencillo y rudimentario.

Como recomendación los parámetros identificados a continuación se pueden incluir en este sistema de instrumentación y control:

- Concentración de oxígeno de cada tanque de cultivo.
- pH en las descargas de cada sistema.
- Amonio en las descargas de cada sistema.
- Nivel de agua en los tanques de cabecera.
- Funcionamiento equipos eléctricos (bombas, filtros, esterilizadores...)
- Parámetros de producción.
- Alimentación.
- Stock.

Este capítulo no se desarrolla porque corresponde claramente a otro campo de la Ingeniería.



## 1.9. PLANOS DE DISPOSICIÓN GENERAL Y DE DETALLE

Esta actividad del proyecto debe ser preparada con sumo cuidado y detalle porque su buena realización supondrá un gran avance y una aproximación importante a la realidad. Las siguientes recomendaciones pueden ayudar a cumplir este objetivo:

- Se deben elaborar primero los planos de disposición general, citando en estos los planos de los sucesivos conjuntos y subconjuntos hasta llegar a los más pequeños detalles. **Debe haber una trazabilidad total desde el plano más general hasta el último de detalle (una válvula por ejemplo).**
- Puede ser muy interesante incluir en anexos de la especificación técnica, por ejemplo, los detalles y características técnicas de cada uno de los equipos individuales (bombas, filtros, colectores, válvulas, tuberías...). Cuanto mayor sea esta definición mucho mejor. Es conveniente ya elegir la marca y modelo específico para cada servicio. Incluir en estos anexos fotos y esquemas de los equipos elegidos.
- Los diagramas de flujo se deben realizar minuciosamente incluyendo todos los elementos de cada circuito.
- Es conveniente preparar estos diagramas para cada sistema o subsistema pues de esta forma se puede evitar su complejidad y serán mucho más claros y fáciles de entender. No amontonar muchas líneas y equipos en cada uno de los diagramas.

## 1.10. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

A continuación se citan una serie de consideraciones que pueden auxiliar a lograr un presupuesto razonable y convincente para los que tengan que examinarlo o aprobarlo:

- El presupuesto debe ser lo más detallado posible llegando a los más pequeños elementos: filtros de sílex, válvula de mariposa, porta cartuchos, compresor, gas refrigerante, colectores, tamices para el laboratorio...



- Los precios obtenidos en esta fase del proyecto son un tanto aproximativos y altos pero no importa porque siempre es conveniente que el presupuesto esté preparado un poco al alza porque a veces pasan hasta dos años hasta que se lleva a cabo y de esta forma se tiene en cuenta la inflación y las subidas de los precios.



# 2

## **HATCHERY DE PECES: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS**





# 2

## HATCHERY DE PECES: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Existen muchas partes del proyecto comunes en las hatcheries de moluscos y de peces por lo tanto y en aras de evitar repeticiones a continuación se detallan los capítulos ya desarrollados en la primera parte del libro (hatchery de moluscos) y que son directamente aplicables a esta segunda parte simplemente cambiando la especie, el emplazamiento o variables análogas:

- **1.1. Estudios previos.**
  - 1.1.1. Estudio de viabilidad biológica.
  - 1.1.2. Identificación del emplazamiento.
- **1.2. Primeras actividades del proyecto.**
  - 1.2.1. Separata para la Dirección General de Costas.
  - 1.2.2. Solicitud de la Declaración de Impacto Ambiental.
- **1.3. Memoria del proyecto.**
- **1.4. Estudio de mercado.**
- **1.5. Estudio de viabilidad técnica.**
- **1.6. Estudio de viabilidad económica.**
- **1.7. Plan de producción.**
  - 1.7.1. Introducción.
  - 1.7.2. Definición de las necesidades.
  - 1.7.3. Parámetros a considerar (Se incluirán datos específicos para peces).
  - 1.7.4. Ciclos de producción.
  - 1.7.5. Dimensionamiento de la instalación (Se incluirán datos específicos para peces).
- **1.8. Especificación Técnica de Diseño.**



- 1.8.1. Disposición general (Se incluirán datos específicos para peces).
- 1.8.2. Circuito de agua salada (Se incluirán datos específicos para peces).
  - 1.8.2.1. Sistema de bombeo.
  - 1.8.2.2. Sistema de conducción, filtración y desagüe.
  - 1.8.2.3. Sistema de esterilización.
  - 1.8.2.4. Sistema de calentamiento.
  - 1.8.2.5. Sistema de aireación (Se incluirán datos específicos de oxigenación para peces).
  - 1.8.2.6. Tanques de cultivo (Se incluirán datos específicos para peces).
    - 1.8.2.7. Sistema de producción de microalgas.
    - 1.8.2.7. Sistema de decantación de residuos.
- 1.8.3. Circuito de agua dulce.
- 1.8.4. Sistema eléctrico.
- 1.8.5. Sistema de instrumentación y control.
- **1.9. Planos de disposición general y de detalle.**
- **1.10. Criterios para la elaboración del presupuesto.**

A continuación se describen los aspectos específicos de las hatcheries de peces respecto de la de moluscos siguiendo la idea de todo el libro de máxima «practicidad» de tal forma que la información suministrada pueda servir como base de un proyecto a desarrollar.

## 2.2. PLAN DE PRODUCCIÓN

En este apartado se incluyen los parámetros a considerar que son específicos para los peces y que son fundamentales para elaborar el plan de producción y por lo tanto para el dimensionamiento final de la instalación.

### 2.2.1. Parámetros a considerar

Siguiendo el orden ya establecido para los moluscos a continuación se van a identificar las variables que se deben considerar en general para cualquier especie de peces y se van a particularizar estos datos para la



dorada (en rojo) y la lubina (en rojo) y en verde los específicos de la lubina) También se incluirán algunos datos útiles para el rodaballo (en marrón).

Las **etapas de cultivo** se esquematizan a continuación incluyendo su **peso** aproximado:

- Puesta e incubación de huevos.
- Fase larvaria: 0 gramos (para cálculos).
- Metamorfosis.
- Fase post larvaria: 0.02 – 0.05 gramos.
- Destete de los alevines: 0.05 – 3 gramos.
- Preengorde de los alevines: 3 – 15 gramos.

Las **mortalidades** que es necesario conocer para la definición del plan de producción se detallan a continuación:

- Fase larvaria: 80%.
- Fase post larvaria: 20%.
- Destete de los alevines: 5%.
- Pre engorde: 5%.

Los datos desde la **etapa de la fecundación del huevo hasta el estado de larva** viable de dos días de duración se expresan a continuación particularizando esta información para la dorada y la lubina.

Para la **dorada** son los siguientes:

- Producción de huevos: 800.000 huevos por kilogramo de peso.
- Porcentaje de fertilización: 90 - 95%.
- Porcentaje de eclosión: 70 - 80%.

Si se consideran los porcentajes mínimos (90 y 70%), para utilizar una hipótesis conservadora, el «número de larvas viables de dos días de edad por cada kilogramo de peso de la hembra» de dorada es de 504.000.

Los datos de la etapa de fecundación del huevo hasta el estado de larva para la **lubina** se esquematizan a continuación:

- Producción de huevos: 300.000 huevos por kilogramo de peso.
- Porcentaje de fertilización: 90 – 95%.
- Porcentaje de eclosión: 65 – 70%.

Si se consideran los porcentajes mínimos (90 y 65%), para ser conservadores, el «número de larvas viables de dos días de edad por cada kilogramo de peso de la hembra» de lubina es de 175.500.



Los **tiempos** de cada una de las fases de cultivo ya citadas se identifican a continuación:

- **Incubación:** 7 días. 6-8 días.
- Fase larvaria: 40 – 45 días. 90 días.
- Fase post larvaria: 20 – 30 días.
- Destete de los alevines: 50 -70 días.
- Pre engorde: 50 – 70 días.

Las **densidades** de seres en cada una de las fases de producción se detallan en el esquema siguiente:

- Incubación:
  - o Dorada: 2.500.000 huevos por metro cúbico.
  - o Lubina: 1.500.000 huevos por metro cúbico.
- Fase larvaria: 2 kilogramos por metro cúbico.
- Fase post larvaria: 5 kilogramos por metro cúbico.
- Destete de los alevines: 15 kilogramos por metro cúbico.
- Pre engorde: 15 kilogramos por metro cúbico.

Las **renovaciones de agua (R)** recomendadas para cada una de las fases se esquematizan a continuación:

- Cuarentena: 4 R / día = 17% hora.
- Selección de reproductores: 12 R / día = 50% hora.
- Mantenimiento de reproductores: 4 R / día = 17% hora.
- Incubación: 3 R / día = 12% hora.
- Fase larvaria: 3 R / día = 12% hora.
- Fase post larvaria: 12 R / día = 50% hora.
- Destete de los alevines: 12 R / día = 50% hora.
- Pre engorde: 12 R / día = 50% hora.
- Fitoplancton: 0 R / día. Consumo ~ 5% día.
- Rotífero: 0 R / día. Consumo ~ 5% día.
- Artemia: 0 R / día. Consumo ~ 5% día.

### 2.2.2. Dimensionamiento de la instalación

Los datos necesarios para el cálculo del volumen de agua necesario y de la capacidad de los tanques de la instalación para cada una de las etapas de cultivo ya se han identificado en el párrafo anterior (2.2.1.) para cada una de las fases.



Considerando los datos que se identifican a continuación para cada fase se pueden calcular fácilmente tanto el volumen de agua que se necesita como el número de tanques a instalar. **Se cita como ejemplo el caso de la fase larvaria:**

- Peso inicial: 0 gramos. 0.2 gramos.
- Peso final: 0.02 gramos. 2 gramos.
- Densidad máxima: 2 Kg. / m<sup>3</sup>.
- Mortalidad: 80%.
- Número de ciclos de producción (según plan de producción).
- Margen de seguridad (tanques y volumen de agua): 20 – 25%.

En el caso particular de la fase larvaria hay que procurar que la relación entre la superficie libre del tanque y la profundidad o altura del agua sea superior a 5 para favorecer el desarrollo de la vejiga natatoria de las larvas en cultivo.

## 2.3. REQUERIMIENTOS DE LAS FASES DE PRODUCCIÓN

En este apartado se recopilan los parámetros ya definidos para el dimensionamiento general de la instalación así como las condiciones necesarias auxiliares que cada fase del cultivo necesita para llevarlo a buen término.

La consideración de todas estas variables será fundamental para definir todos los sistemas y equipos que son necesarios en la instalación así como para establecer la disposición general de la planta.

En los siguientes párrafos se identifican las variables generales recomendadas para cualquier cultivo de peces y en rojo se facilitan las cifras concretas para dorada y lubina.

### 2.3.1. Cuarentena

Los peces recién llegados a la planta deben ser sometidos a un período de cuarentena y las condiciones de la misma se esquematizan a continuación:

- **Aireación:** Si.
- **Aislamiento:** Si. Física y sanitariamente.



- **Densidad** recomendada: 5 kg./m<sup>3</sup>.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** sílex (30 - 40 μ).
- **Iluminación:** 1000 lux con regulación.
- **Oxígeno:** Si (emergencia).
- **Renovaciones** de agua diarias (cuatro).
- **Salinidad:** ambiente natural.
- **Temperatura** del agua: Si.

### 2.3.2. Selección de los progenitores

- **Aireación:** Si.
- **Aislamiento:** Si. Física y sanitariamente.
- **Densidad** recomendada: 5 kg. / m<sup>3</sup>.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** 10 μ.
- **Iluminación:** 1000 lux con regulación.
- **Oxígeno:** Si (emergencia).
- **Renovaciones** de agua diarias (doce = 50% hora).
- **Salinidad:** ambiente natural.
- **Temperatura** del agua: Si.

### 2.3.3. Progenitores

- **Aireación:** Si.
- **Aislamiento:** Si. Física y sanitariamente.
- **Densidad** recomendada: 2 kg. / m<sup>3</sup>.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** sílex (30 - 40 μ).
- **Iluminación:** 1.000 lux y regulación del fotoperíodo.
- **Oxígeno:** Si (emergencia).
- **Renovaciones** de agua diarias (cuatro = 17% hora).
- **Salinidad:** ambiente natural (1035).
- **Tanques:** esquinas suaves con radio amplio (0.5 metros). Tres salidas de agua: fondo (limpieza), superficie (recogida de huevos) y superficie (reboadero). Profundidad máxima 1,30 metros.
- **Temperatura** del agua: Si. (18 °C máxima y 15 °C recomendada para la dorada y 20 °C máxima y 13 – 15 °C recomendada para la lubina). Regulación del termoperíodo.



Como información adicional para la dorada y la lubina y siguiendo las recomendaciones y datos de la FAO se adjuntan las siguientes tablas:

- Tamaño y edad ideales de los reproductores de dorada y lubina (Cuadros 2.1 y 2.2).

#### CUADROS 2.1 Y 2.2.

Tamaño y edad ideales de los reproductores de dorada y lubina (Global Aquafish).

TAMAÑO Y EDAD IDEALES PARA LA DORADA	
Machos cultivados	De 2 a 3 años 0,3 a 0,5 Kg.
Machos silvestres	De 1 a 2 años 0,3 a 0,5 Kg.
Hembras cultivadas	De 4 a 6 años 1 a 2 Kg.
Hembras silvestres	De 3 a 5 años 3 a 5 Kg.

TAMAÑO Y EDAD IDEALES PARA LA LUBINA	
Machos cultivados	De 2 a 3 años 0,7 Kg.
Machos silvestres	De 2 a 4 años 0,6 Kg.
Hembras cultivadas	De 6 a 8 años 1,5 a 2 Kg.
Hembras silvestres	De 5 a 8 años 1 a 1,5 Kg.

Otro autor (Alicia Estévez García) proporciona los datos siguientes:

Especie	Sexo	Peso	Edad (años)
Lubina	Hembra	0,8 – 1	
Lubina	Macho	0,6	5 – 8
Dorada	Hembra	0,8 – 1	3 – 5
Dorada	Macho	0,5	2 – 3
Lenguado	Hembra	0,6 – 0,7	4 – 5
Lenguado	Macho	0,5	3 – 4
Rodaballo	Hembra	3 – 6	4 – 8
Rodaballo	Macho	2	2 – 3

#### 2.3.4. Incubación

- **Aireación:** Si. Suministro de aire por la parte inferior para mantener los huevos flotando.



- **Aislamiento:** Si. Térmico.
- **Densidad** recomendada: 2.500.000 huevos por m<sup>3</sup> para la dorada. 1.500.000 huevos por m<sup>3</sup> para la lubina.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** 1 μ.
- **Iluminación:** 1.000 lux. Lubina sin luz.
- **Nitrógeno amoniacal:** < 0,5 ppm.
- **Oxígeno:** Saturación.
- **Renovaciones** de agua diarias (tres = 12% hora).
- **Salinidad:** similar a los progenitores.
- **Tamaño:** < 400 μ.
- **Temperatura** del agua: similar a los progenitores.
- **Tiempo:** 7 días. 6-8 días.

### 2.3.5. Fase larvaria

- **Aireación:** Si. Suministro de aire por la parte inferior para mantener los rotíferos y las artemias flotando.
- **Aislamiento:** Si. Térmico, solar y sanitario.
- **Densidad** recomendada: 2 Kg. / m<sup>3</sup>. 40 – 50 larvas por litro.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** 1 μ.
- **Fotoperíodo:** continuo hasta la metamorfosis, durante esta 6 -8 horas de oscuridad.
- **Iluminación:** fotoperiodos largos (16 horas de luz). 1.000 lux para la dorada. 500 lux para la lubina. 1.000 – 2.000 lux por tanque.
- **Nitritos y amoniacal:** < 0,01 mg / l.
- **Oxígeno:** saturación. Mínimo 5 mg / l
- **Renovaciones** de agua diarias (tres = 12% hora). Flujo cerrado durante 5 – 10 días con renovaciones parciales cuando los compuestos nitrogenados se elevan. Desde este momento 5% a la hora y finalizar el cultivo larvario con 0,2 a 0,3 renovaciones/hora.
- **Salinidad:** 1035. 1020, 1034 – 1038 (no diferencias significativas).
- **Supervivencia:** 10 – 15%.
- **Tamaño:** 0 gramos (para cálculos). Entre 50 y 150 μ. 0.2 gramos (2,7 – 3 mm.) a 2 gramos (35 mm.).



- **Tanques:** cilíndricos con fondo cónico. Dos salidas (limpieza y re-bosadero) con filtros entre 60 y 200  $\mu$ . Al principio de 80  $\mu$  y al final entre 180 y 300  $\mu$ . Volumen entre 2 y 5 m<sup>3</sup> con alturas de agua entre 1 y 1,2 m.
- **Temperatura** del agua: Si. 18 – 20 °C para la dorada. 16 -17 °C (al principio) y 19 – 20 °C (al final) para la lubina. Máxima variación diaria: 0,5 °C. 18 -19 °C.
- **Tiempo:** 40 - 45 días. 90 días.
- **Metamorfosis:** entre 15 y 60 días. El ojo derecho migra hacia el lado izquierdo. El lado derecho queda sin ojo, se aplana y pierde el color. La vejiga natatoria desaparece y las aletas dorsales y anales aumentan de tamaño por su vida bentónica.
- **Destete:** 30 - 40 días desde su eclosión (al final de la metamorfosis). 20 mm. de longitud y 0,5 – 1 gramos de peso.

Las salidas de los tanques se pueden apreciar en la figura 2.3.

### 2.3.6. Fase post larvaria

- **Aireación:** Si. Varios puntos.
- **Aislamiento:** Si. Térmico y sanitario.
- **Densidad** recomendada: 5 Kg. / m<sup>3</sup> (máxima). 100 – 200 larvas/litro al principio y 10 – 20 alevines / litro al final.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** 10  $\mu$ .
- **Iluminación:** fotoperíodos largos (16 horas de luz al principio y 10 – 14 horas al final). 1.000 lux.



FIGURA 2.3.

Salidas de los tanques larvarios (Global Aquafish).



- **Oxígeno:** Si.
- **Renovaciones** de agua diarias (doce = 50% hora).
- **Salinidad:** 1035 - 1037.
- **Tamaño:** 0,02 – 0,05 gramos.
- **Tanques:** cilíndricos con fondos cónicos o rectangulares con inclinación del fondo hacia la salida. Dos salidas (limpieza y rebosadero).
- **Temperatura** del agua: Si. 19 – 20 °C.
- **Tiempo:** 20 - 30 días.

### 2.3.7. Destete de los alevines

- **Aireación:** Si.
- **Aislamiento:** No.
- **Densidad** recomendada: 15 Kg. / m<sup>3</sup>. 10 – 20 peces / litro (inicial). 1.000 – 2.500 alevines / m<sup>3</sup>.
- **Esterilización:** UV u O<sub>3</sub>.
- **Filtración:** 40 μ. 1 – 5 micras al principio.
- **Iluminación:** Fotoperíodos largos (14 horas de luz). 1.000 lux. Fotoperíodos largos (14 -16 horas). 500 – 1.000 lux.
- **Nitrógeno amoniacal:** < 2 ppm.
- **Oxígeno:** Si. Próximo a saturación. 4 mg./litro a la salida del tanque.
- **Renovaciones** de agua diarias (doce = 50% hora). 0,2 – 0,3 al principio hasta 0,5 renovaciones / hora al final.
- **Salinidad:** 1020 - 1035.
- **Supervivencia:** 50 – 85%.
- **Tamaño:** 0,05 – 3 gramos. 30 - 40 días desde su eclosión (al final de la metamorfosis). 20 mm. de longitud y 0,5 – 1 gramos de peso.
- **Tanques:** redondos o rectangulares con inclinación del fondo hacia la salida. Dos salidas (limpieza y rebosadero). Al principio rejilla de 200 a 300 micras. Volumen de 2 a 4 m<sup>3</sup>.
- **Temperatura** del agua: Si. Entre 18 y 22 °C. 16 -18 °C (al principio) y agua de mar al final.
- **Tiempo:** 50 - 70 días.

### 2.3.8. Pre engorde

- **Aireación:** Si.
- **Aislamiento:** No.



- **Densidad** recomendada: 15 Kg. / m<sup>3</sup>. Ver cuadro 2.4 y 2.5.
- **Esterilización:** No.
- **Filtración:** 40 μ.
- **Iluminación:** Fotoperíodo natural.
- **Oxígeno:** Si. > 60 % (> 5 mg / l).
- **Renovaciones** de agua diarias (doce = 50% hora). (15 – 20 litros por kilo y por hora. Con aireación u oxigenación puede reducirse).
- **Salinidad:** 1035. 1015 – 1035 (óptima 1020).
- **Supervivencia:** + 80%.
- **Tamaño:** 3 - 15 gramos. 1 – 10 gramos hasta 100 – 150 gramos.
- **Tanques:** redondos o rectangulares con inclinación del fondo hacia la salida. Dos salidas (limpieza y rebosadero).
- **Temperatura** del agua: Si. Entre 18 y 22 °C. Máxima 27 °C. 8 – 22 °C (óptima 16 – 18 °C).
- **Tiempo:** 50 - 70 días.
- **pH:** 7,9 – 8,2.

CUADRO 2.4.

Densidad pre engorde rodaballo (MEDAS 21).

Tamaño rodaballo (gramos)	Densidad (kg. / m <sup>3</sup> ) (*)
1 – 5	2
5 – 20	5
20 – 50	7
50 – 100	8
100 – 200	12

(\*) = Cuando el agua está saturada de oxígeno.

CUADRO 2.5.

Parámetros pre engorde rodaballo.

Edad (días)	Peso medio (g)	Densidad (ind. / m <sup>3</sup> )
40	0,1	1000 – 2000
60	0,5	1000 – 2000
90	2	1000 – 2000
120	5	1000 – 2000
150	12,5	200 – 300
180	25	200 – 300
210	30	200 – 300

Fuente: Cuadernos Xunta de Galicia.



### 2.3.9. Cultivo auxiliar de microalgas

Los parámetros que a continuación se detallan sirven de complemento a la información que se incluyó en los párrafos 1.7.5.4 y 1.8.2.7 del cultivo de moluscos.

Hay que distinguir dos etapas en el cultivo de microalgas: la producción a nivel de laboratorio en la cámara isoterma y la producción a nivel industrial, el cultivo masivo.

#### 2.3.9.1. Producción a nivel de laboratorio

A continuación se detallan las variables esenciales a tener en cuenta para el cultivo en cámara isoterma:

- **Aireación:** Si. Enriquecido con CO<sub>2</sub>.
- **Aislamiento:** Si. Térmico y sanitario.
- **Climatización:** Mantener 20 °C.
- **Esterilización:** Si.
- **Filtración:** 0,45 μ.
- **Iluminación:** 24 horas. 4.000 – 8.000 lux.
- **Oxígeno:** No.
- **Recipientes:** tubos de ensayo, matraces y erlenmeyers.
- **Renovaciones** de agua diarias: 0. Consumo: 5% día.
- **Salinidad:** 1035.
- **Temperatura** del agua: Si. 20 °C.

#### 2.3.9.2. Producción a nivel industrial

Los parámetros para el cultivo masivo se especifican a continuación:

- **Aireación:** Si. Enriquecido con CO<sub>2</sub>.
- **Aislamiento:** Si. Térmico y sanitario.
- **Climatización:** Mantener 20 °C.
- **Esterilización:** Si.
- **Filtración:** 0,45 μ.
- **Iluminación:** 24 horas. 4.000 – 8.000 lux. Aprovechar la luz natural.
- **Oxígeno:** No.
- **Recipientes:** bolsas de plástico o tanques en construcción tipo invernadero.



- **Renovaciones** de agua diarias: 0. Consumo: 5% día.
- **Salinidad:** 1035.
- **Temperatura** del agua: Si. 20 °C.

### 2.3.10. Cultivo auxiliar de rotífero

Las siguientes variables esenciales deben ser tenidas en cuenta:

- **Aireación:** Si. Varias entradas. Mantener en suspensión los rotíferos, las microalgas y las levaduras y suministrar el oxígeno necesario.
- **Aislamiento:** Si. Térmico y sanitario. Separación de la artemia.
- **Climatización:** Mantener 20 °C.
- **Esterilización:** Si.
- **Filtración:** 0,45  $\mu$ .
- **Iluminación:** luz natural.
- **Oxígeno:** Si.
- **Recipientes:** tanques rectangulares o cilíndricos. Salida inferior para limpieza. Volumen entre 1.000 y 10.000 litros.
- **Renovaciones** de agua diarias: 0. Consumo: 5% día.
- **Salinidad:** 1035.
- **Tamaño:** 100 – 200  $\mu$ .
- **Temperatura** del agua: Si. 20 °C.

### 2.3.11. Cultivo auxiliar de Artemia

A continuación se detallan los parámetros fundamentales:

- **Aireación:** Si. Descapsulación con aireación intensa.
- **Aislamiento:** Si. Térmico y sanitario. Separación de la artemia.
- **Climatización:** Mantener 28 °C. Otros autores recomiendan mantener la temperatura entre 27 y 30 °C.
- **Esterilización:** Si.
- **Filtración:** 0,45  $\mu$ .
- **Iluminación:** luz natural. 2.000 lux para la eclosión.
- **Oxígeno:** Si.
- **Recipientes:** tanques cilíndricos con fondo cónico. Salida inferior para limpieza. Incubadores para los cistes: 500 – 1.000 litros. Enriquecimiento de los nauplius: 2.000 – 3.000 litros.
- **Renovaciones** de agua diarias: 0. Consumo: 5% día.

- **Salinidad:** 1035.
- **Tamaño:** 0,5 mm (nauplio). 1 mm (metanauplio). 3 mm (juvenil).
- **Temperatura** del agua: Si. 28 – 30 °C (nauplios).

## 2.4. ZONA HÚMEDA: TANQUES DE CULTIVO DE PECES

Este apartado, eminentemente gráfico, incluye imágenes de equipos y tanques, habitualmente empleados en el cultivo de peces, y que difieren en algunos aspectos con los descritos en la sección de moluscos.

El esquema de un tanque para mantenimiento de reproductores se aprecia en la figura 2.6.

Los **huevos** fecundados y válidos flotan y por lo tanto su **recogida** debe ser realizada en la capa superficial de agua del tanque de reproducción.

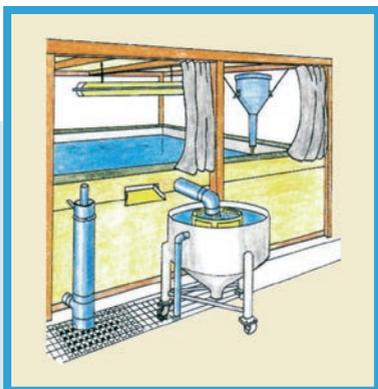
La recolección puede ser realizada con un colector semejante al de la figura 2.7 que hace una recogida directa del desagüe en la superficie del tanque o mediante un artilugio flotante que consigue recuperar los huevos con el auxilio de una corriente de aire suave. En el primer caso se puede instalar también un colector de desagüe adicional a un nivel mas bajo que el tanque que evita oscilaciones bruscas (figura 2.8).

La clasificación, pesado, desinfección y conteo de los huevos son tareas muy importantes para la viabilidad del cultivo y se recomienda seguir las recomendaciones de la FAO.

La **incubación** puede realizarse en los tanques de cultivo larvario o en tanques especialmente diseñados para este proceso. En los primeros hay que hacer tareas de limpieza de los restos de la eclosión o colocar bandejas flotantes para la separación de las larvas. Es mas aconsejable utilizar tanques específicos para la incubación.

Existen tres tipos de incubadores: estático (ya no se utiliza), «upwelling» y motorizado.

El esquema del tipo «upwelling» se muestra en la figura 2.9. Este tanque cilíndrico con



**FIGURA 2.6.**  
Esquema tanque reproductores  
(Cuadernos Xunta).



**FIGURA 2.7.**  
Recogida de huevos de peces  
(Global Aquafish).



**FIGURA 2.8.**  
Colector de desagüe (Global  
Aquafish).

fondo cónico suele tener una capacidad entre 100 y 500 litros. La renovación de agua suele ser continua (1 litro por minuto) y permite mantener densidades entre 5.000 y 9.000 huevos por litro. La aireación debe ser constante y débil para evitar los choques de los huevos con las paredes del incubador.

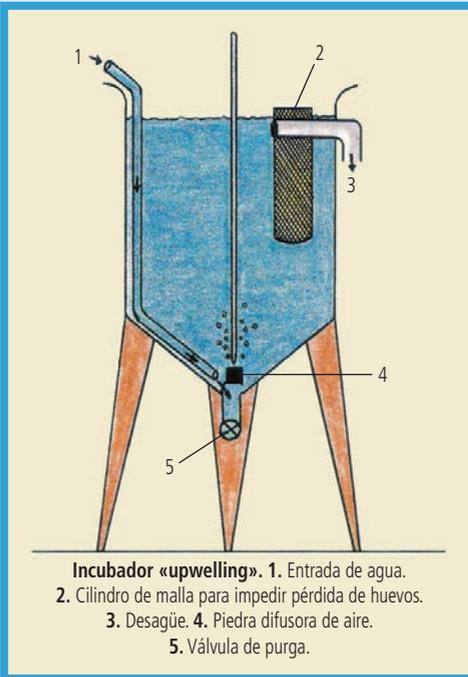
El incubador motorizado se aprecia en la figura 2.10. Este diseño se ha utilizado en Francia a nivel experimental. El elemento básico es una caja de fondo de malla conectada a un motor. Una vez por minuto el motor proporciona un movimiento vertical alternante lo que facilita una alta oxigenación del agua (más del 80%) y una agitación suave.

Este conjunto se introduce en un tanque de 35 litros con agua filtrada a 1 micra y una renovación de dos litros por minuto. Los huevos se colocan en tanques de un litro colocados en el interior de la caja con malla. La densidad de huevos puede variar entre 1.000 y 10.000 huevos por litro, manteniendo la iluminación entre 12 y 15 horas.

Las principales ventajas de este sistema son las siguientes:

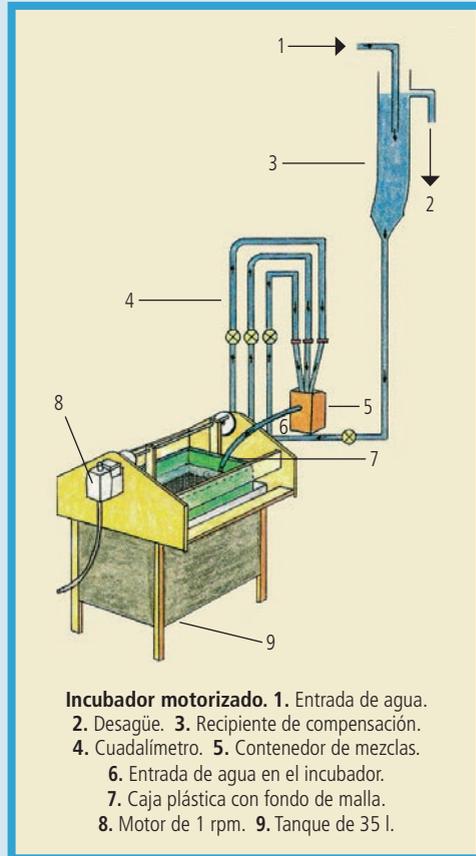
- Ocupa muy poco espacio.
- Incuba gran cantidad de huevos a la vez.
- Evita los choques de los huevos contra la pared.

La figura 2.11 muestra un modelo posible, de forma troncocónica y capacidad de alrededor de los 200 litros (recomendada entre 100 y 1.000 litros), con superficies interiores sumamente lisas. La densidad de huevos es variable según las especies pudiendo estimarse en alrededor de los 2.000 huevos por litro (1.500 para la lubina y 2.500 para



**Incubador «upwelling».** 1. Entrada de agua.  
2. Cilindro de malla para impedir pérdida de huevos.  
3. Desagüe. 4. Piedra difusora de aire.  
5. Válvula de purga.

**FIGURA 2.9.**  
Incubador «upwelling»  
(Cuadernos Xunta).



**Incubador motorizado.** 1. Entrada de agua.  
2. Desagüe. 3. Recipiente de compensación.  
4. Cuadralímetro. 5. Contenedor de mezclas.  
6. Entrada de agua en el incubador.  
7. Caja plástica con fondo de malla.  
8. Motor de 1 rpm. 9. Tanque de 35 l.

**FIGURA 2.10.**  
Incubador motorizado (Cuadernos Xunta).

la dorada). La renovación de agua es variable desde una vez por hora al principio hasta tres veces al día.

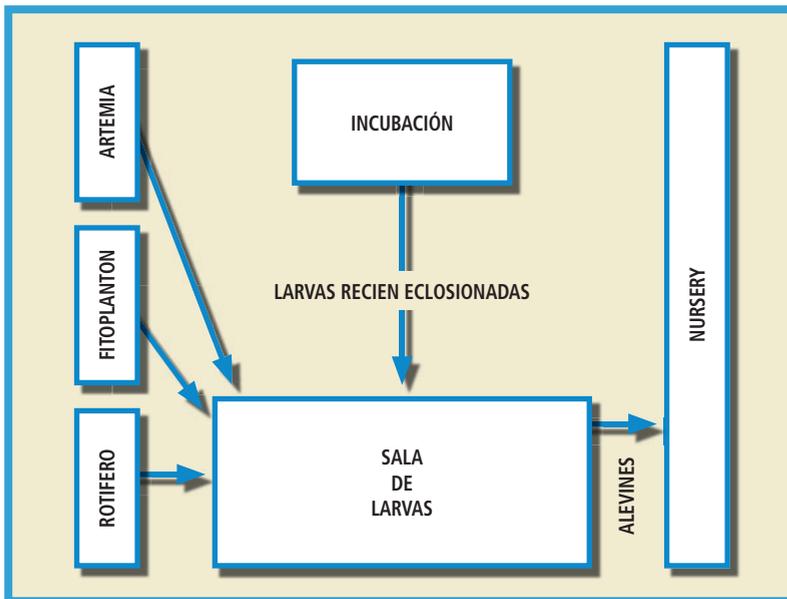
Este proceso dura entre dos y tres días según la especie y la temperatura.

Un posible esquema de la situación de la sala de larvas aparece en la figura 2.12.

Un diseño de **tanques para el cultivo larvario** se muestra en la figura 2.13. Son de forma troncocónica y de capacidad variable según la oferta del mercado. El material normalmente utilizado es el poliéster o la fibra de vidrio. Al comienzo del cultivo larvario se utilizan mallas de



**FIGURA 2.11.**  
Tanques de incubación  
(Global Aquafish).



**FIGURA 2.12.**  
Situación  
sala de larvas  
(Cuadernos  
Xunta de  
Galicia).

62 a 80 micras. A medida que las larvas van creciendo las mallas se sustituyen por otras de mayores tamaños: 125 – 150 y 200 – 300 micras.

Otra vez se recomienda seguir los protocolos de la FAO para todas las operaciones de limpieza: filtros, esterilizadores (UV), Skimmers, tan-



**FIGURA 2.13.**  
Tanques de cultivo larvario  
(Global Aquafish).



**FIGURA 2.14.**  
Tanques de destete (Global Aquafish).

ques larvarios, tuberías de agua, conductos de aire y difusores, equipos auxiliares, suelos...

Los **tanques de destete** suelen ser redondos o rectangulares con mayores dimensiones, a partir de los 10 metros cúbicos, según la oferta del mercado. La figura 2.14 muestra un posible diseño para dorada y lubina.

Para el cultivo de alevines de rodaballo, al ser peces de fondo, se necesitan tanques de poca profundidad: mucha superficie de fondo y no volumen de agua.

Los tanques de pre engorde pueden ser circulares (figura 2.15) o paralelepípedicos, de mayor tamaño (mínimo 15 metros cúbicos) que los anteriores y pueden instalarse al aire libre con una cubierta protectora o en una instalación tipo nave industrial. En zonas calurosas puede ser necesaria la instalación de un sistema de ventilación dentro de la nave.

Para el pre engorde del rodaballo se utilizan tanques de poca profundidad tales como el mostrado en la figura 2.16. Estos tanques se deben cubrir con una lona opaca, si están en el exterior, o con una



**FIGURA 2.15.**  
Tanques circulares de pre engorde  
(Global Aquafish).



**FIGURA 2.16.**  
Tanques de pre engorde de rodaballo  
(MEDAS 21).

cubierta del tipo de una nave industrial. Esta protección es muy importante ya que son muy sensibles a la luz solar porque en su medio natural hay poca luz.

La solución tipo nave industrial es más recomendable porque permite un mayor control de las variables del cultivo al evitar las variaciones climatológicas, facilita las actividades de los trabajadores, evita la degradación de los materiales, reduce el fenómeno del «biofouling», previene los actos vandálicos, impide la actuación de los depredadores pero es más cara.

Las microalgas se cultivan normalmente a nivel industrial en bolsas de plástico de 500 litros (figura 2.17) o en tanques exteriores alojados en un invernadero.



**FIGURA 2.17.**  
Bolsas para la producción  
de microalgas.



# 3

## **ENGORDE DE PECES: RODABALLO**







# 3

## ENGORDE DE PECES: RODABALLO

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte del cultivo del rodaballo se hace en instalaciones en tierra y por esta razón se incluye este capítulo en este tomo.

Realmente la mayor parte de la información incluida en los dos primeros capítulos es aplicable a estas instalaciones (emplazamiento, bombeo, filtración...) por lo que únicamente se van a tratar algunos aspectos diferenciales de este tipo de instalaciones.

### 3.2. PROCESO DE CULTIVO

El cuadro 3.1 esquematiza de una forma muy gráfica todo el proceso de cultivo del rodaballo.

Las tres principales fases de la cría del rodaballo se resumen a continuación:

- **Criadero:** desde la obtención de los huevos hasta la fase alevín entre 2 y 10 gramos.
- **Pre engorde:** desde 2 – 10 gramos hasta 100 – 150 gramos.
- **Engorde:** desde 100 – 150 gramos hasta la talla comercial (1 kg. los machos, de 1,5 a 2 kg. las hembras y los tamaños especiales hasta 3 o más kilos).

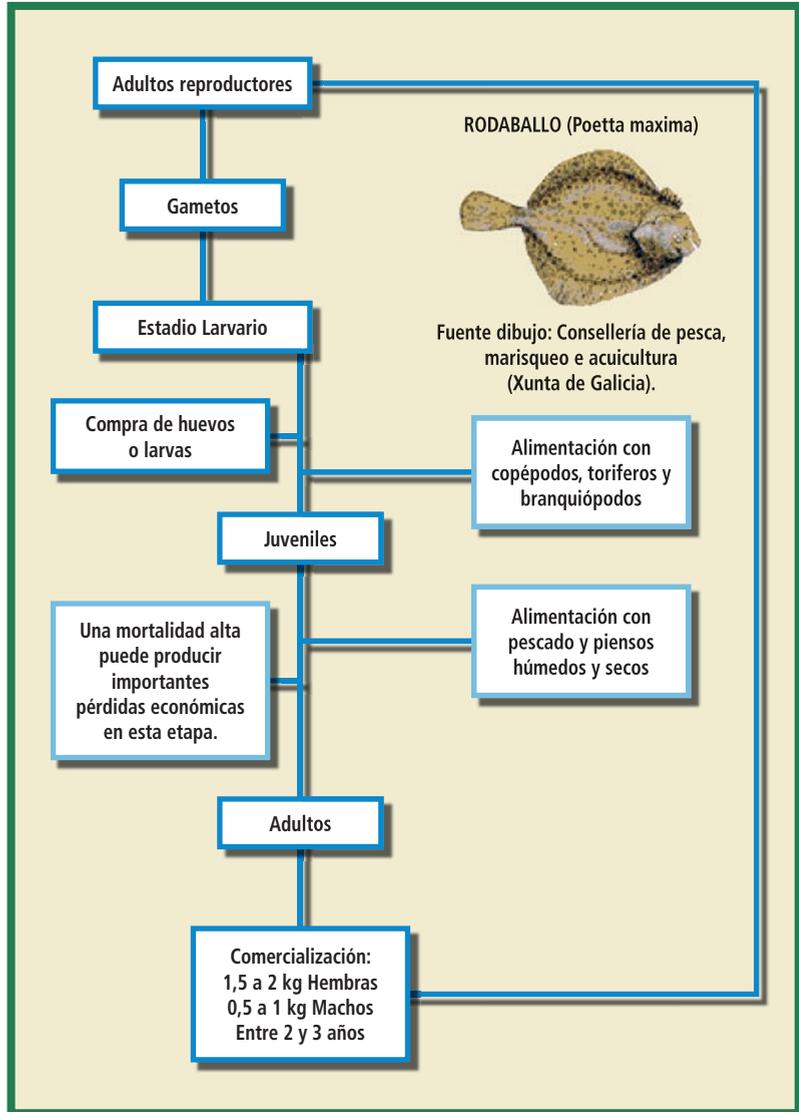
Las fases de criadero y pre engorde ya han sido consideradas en el segundo capítulo («hatchery» de peces) y en este solo se tratarán los aspectos de las instalaciones de engorde.

#### 3.2.1. Emplazamiento

Además de las consideraciones ya expuestas en los capítulos anteriores sobre la ubicación del emplazamiento, las granjas para el engorde de rodaballo tienen unas peculiaridades que se deben comentar.



CUADRO 3.1.  
Cultivo del rodaballo (MEDAS 21).



La elección del emplazamiento en las granjas de engorde de rodaballo es una decisión muy difícil sobre todo por la enorme superficie que se necesita (a veces hasta dos hectáreas) y también por la calidad



óptima del agua requerida. Hoy, más que nunca, la ubicación del emplazamiento viene determinada por decisiones políticas sobre todo, pero es necesario hacer una revisión concienzuda para verificar que cumple todos los requisitos necesarios ya que una vez elegida no hay vuelta atrás y es muy difícil corregir los problemas.

Las zonas ideales en España para este tipo de instalaciones son las costas gallega y cantábrica por sus temperaturas moderadas: 12 – 24 °C.

Las figuras 3.2 y 3.3 muestran dos vistas de una piscifactoría de rodaballo.

Los parámetros específicos que influyen en la elección del emplazamiento de una granja de engorde de rodaballo se comentan a continuación:

- **Orografía:**

El tamaño de estas instalaciones (varias hectáreas a veces) hace difícil encontrar una ubicación que además debe poseer otras características fundamentales como la **facilidad de acceso** para vehículos pesados y una **orografía moderada**, mas o menos plana, para evitar grandes movimientos de tierra que aumentan el impacto ambiental y podrían hacer la instalación económicamente inviable. El tipo de suelo también incide en los costes de excavación del terreno y por lo tanto en la viabilidad económica.



**FIGURA 3.2.**  
Instalación de Lira – Carnota.



**FIGURA 3.3.**  
Instalación de  
engorde.

La **orografía de los fondos adyacentes** también es importante para la instalación de las tuberías de aspiración y descarga ya que un perfil suave y sin cambios bruscos favorece la instalación del sistema de captación.

La altura respecto al nivel superior del mar también puede ser un factor limitante ya que si es superior a los 12 metros los gastos de bombeo pueden ser excesivos para la piscifactoría. Pero también hay que tener en cuenta que esta altura libere a la instalación de los fuertes temporales que esporádicamente afectarán a estas zonas de mar abierto.

- **Calidad del agua:**

Este parámetro es fundamental para el emplazamiento. La cercanía de poblaciones próximas o industrias contaminantes con sus posibles efluentes puede ser determinante en la elección.

La temperatura en zonas interiores también hay que estudiarla ya que variaciones diarias de dos o tres grados son muy negativas para el bienestar de los rodaballos.

Las zonas abiertas suelen ser más batidas y por lo tanto tienen más oxígeno disuelto y son beneficiosas pero habrá que proteger las estructuras de captación y el talud expuesto al mar de forma más robusta frente a las olas que lógicamente se producen. Incluso puede ser necesario proteger la instalación con estructuras especiales para prevenir temporales extraordinarios.



### 3.2.2. Captación del agua del mar

El caudal necesario para el engorde de rodaballo es muy superior al requerido para cualquier otro cultivo industrial que se realiza en tierra, «hatcheries» fundamentalmente. Un dato lo demuestra: para una instalación de 1.000 toneladas de producción al año se necesita un caudal de 5.000 litros por segundo.

Además de las consideraciones ya contempladas en los dos primeros capítulos hay que tener en cuenta la enorme energía del mar en las zonas habituales de estas instalaciones por lo tanto habrá que realizar estructuras de obra civil de gran resistencia que suelen representar alrededor de un 20% del total de la inversión de la granja.

### 3.2.3. Parámetros del engorde

Esta fase se inicia con los peces ya pre engordados, entre 100 y 150 gramos, y se prologa hasta alcanzar tallas próximas a los dos kilos, aunque este tamaño puede variar dependiendo de la demanda del mercado o de la política de gestión de la biomasa de la instalación.

Para la definición de los parámetros ambientales del engorde se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

- **Intervalo óptimo:** rango de valores en el que la especie se desarrolla con normalidad. Buena salud y gran desarrollo.
- **Valor óptimo:** el de mayor crecimiento.
- **Intervalo aceptable:** mantiene sus constantes vitales pero con crecimiento inferior al normal.
- **Intervalo de resistencia:** produce alteraciones en el desarrollo y en las constantes vitales.
- **Límite de tolerancia:** si se sobrepasa por exceso o por defecto se produce la muerte del ser.

Los parámetros ambientales más importantes para el engorde de rodaballo se comentan brevemente a continuación:

- **Temperatura:**
  - Intervalo óptimo: 8 – 22 °C.
  - Valor óptimo: 16 °C (decrece con la edad del ser).



Es más perjudicial el exceso de temperatura que el defecto ya que deja de alimentarse, se producen enfermedades y aumenta su sensibilidad ante el amonio y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

- **Salinidad:**

- Intervalo óptimo: 1025 – 1035.
- Valor óptimo: 1020.
- Intervalo de resistencia: 1010 – 1040.

A partir de un kilo la salinidad óptima es la de mar abierto. El intervalo de resistencia es amplio y entre estos valores solo se aprecian pequeñas variaciones en el crecimiento.

- **Oxígeno:**

- Intervalo óptimo: +90% (+7 mg / l).
- Intervalo de resistencia: 5 mg / l
- Límite de tolerancia: 1 mg / l
- Valor máximo: 300%, aparece sobreexcitación.

Un rodaballo consume la mitad de oxígeno que un pez nadador. El consumo de oxígeno respecto al peso es mayor cuanto más pequeño es el pez ya que es más activo.

El consumo de oxígeno está íntimamente ligado con la temperatura ya que al aumentar esta disminuye el oxígeno. Las elevaciones de temperatura también aumentan la alimentación y el ser es cuando mas necesita el oxígeno para su metabolismo y para compensar la pérdida de calidad del agua por los restos del pienso. Los cambios bruscos pueden provocar stress.

- **Presión total de gases:**

Es la suma de las presiones parciales de todos los gases disueltos en un fluido. Si esta presión es superior a la atmosférica se produce la sobresaturación que provoca la formación de burbujas en los peces que les producen embolias y otros daños mortales. La sobresaturación de oxígeno no es problemática e incluso es beneficiosa ya que desplaza al nitrógeno que favorece la aparición de burbujas peligrosas. La solución para este problema ya se apuntó en el primer capítulo.



Las causas naturales de la sobresaturación son las siguientes:

- El oleaje puede inyectar aire a presión.
- Una bajada brusca de la presión atmosférica.

Las causas provocadas por la propia instalación se esquematizan a continuación:

- Entrada de aire en las bombas de aspiración.
- Fugas en los conductos de aspiración de agua que absorben aire.

• **pH:**

- Límite de tolerancia: 6,5.

El Ph en el mar se mantiene muy estable en valores entre 8 y 8,4 y el único factor que lo baja es la producción de CO<sub>2</sub> por la respiración de los peces y las bacterias. La mejor solución para evitar este problema es la aireación del agua que libera el exceso de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

• **Amoniaco:**

- Intervalo óptimo: 0,3 – 0,5 mg / l
- Intervalo de resistencia: < 0,6 mg / l
- Límite de tolerancia: 5 mg / l

Estos valores son un tanto aproximados.

• **Turbidez:**

No tiene gran importancia. Dificulta la visión de los peces para la alimentación y el control de los tanques.

Todos estos parámetros deben ser medidos diariamente y el oxígeno en continuo en los tanques de cabecera y a la salida de los tanques de cultivo.

Las densidades de cultivo en el engorde se relacionan a continuación:

Tamaño rodaballo (gramos)	Densidad (kg. / m <sup>2</sup> )
200 – 500	12 – 15
500 – 1000	15 – 25
1000 – 2000	25 – 35

Los rodaballos al alcanzar la madurez sexual detienen su crecimiento durante cuatro meses aproximadamente. Este hecho natural tiene im-

plicaciones económicas negativas por lo tanto para evitar este estado se puede regular el fotoperiodo o reducir el tamaño de venta.

### 3.2.4. Filtración en las instalaciones de engorde de rodaballo

Como estas instalaciones se ubican en mar abierto en la aspiración se acumulan una gran cantidad de macroalgas y otras basuras de gran tamaño que es necesario eliminar. El sistema «quita – algas» se encarga de ello y está constituido por una rejilla que retiene los residuos no deseados. Se suele instalar en el prefoso de bombas y los materiales retenidos se elevan hasta un tanque de lodos situado en la superficie del terreno. Para mayor seguridad es recomendable instalar dos sistemas. Un sistema para la eliminación de estos residuos se aprecia en la figura 3.4.

Antes del tanque de cabecera se debe filtrar el agua para eliminar las partículas mayores de 50 – 100 micras. Esto se consigue con baterías de filtros de arena o filtros de tabor autolimpiables ya descritos anteriormente. Estos últimos tienen mayor rendimiento que los primeros.



**FIGURA 3.4.**  
Sistema «quita – algas».

### 3.2.5. Tanques de cultivo

Los tanques para el rodaballo son de poca profundidad, entre 0,5 y 1 metro, y en la práctica entre 60 y 80 centímetros. Esto es debido a que este pez descansa sobre el fondo y no utiliza el volumen del tanque por lo que además la capacidad se especifica en metros cuadrados.

El **tamaño** de los tanques varía con la talla de los peces. Los alevines recién llegados a la granja de 100 – 150 gramos se alojan en tanques de 30 a 50 m<sup>2</sup> para facilitar el control de los parámetros de cultivo. Los tanques más pequeños no permiten aprovechar óptimamente el espacio porque tienen poca superficie útil de cultivo por unidad de superficie



de instalación. A medida que van creciendo los peces se trasladan a tanques de mayor tamaño: entre 50 y 150 m<sup>2</sup> (Fuente **MEDAS 21**).

La **forma** es también importante ya que su geometría tiene que favorecer la renovación del agua en el tiempo establecido de tal forma que no queden zonas con el agua estancada. Una tasa de renovación adecuada es cambiar toda el agua del tanque cada dos horas. Las formas más usuales son las siguientes:

- **Circular:** favorece la circulación y la autolimpieza. El principal inconveniente es el escaso aprovechamiento del espacio. (Figura 3.5).
- **Cuadrado:** aprovecha muy bien el espacio pero la circulación es peor ya que tiene zonas «muertas» en las esquinas. Este inconveniente se puede solucionar redondeándolas. (Figura 3.6).
- **Rectangular:** aprovecha el espacio pero la recirculación no es buena. Se puede mejorar como el cuadrado.

Las superficies inclinadas habituales en el fondo de los tanques para facilitar la limpieza y el vaciado deben tener una pendiente muy ligera



**FIGURA 3.5.**  
Tanques circulares.



**FIGURA 3.6.**  
Tanques cuadrados.



para evitar «incomodidades» a los rodaballos que viven apoyados en el fondo.

Los **materiales** posibles de los tanques se comentan a continuación:

- **Hormigón armado:** evitar la porosidad para que las armaduras no se oxiden y estalle el hormigón.
- **Hormigón en masa:** no hay problemas de oxidación.
- **Hormigón reforzado con fibra de vidrio:** buen acabado, poco peso y muy resistente pero caro.
- **Ladrillos o bloques:** de fácil construcción y muy versátiles pero necesitan un buen acabado final.
- **Fibra de vidrio:** son los utilizados en los criaderos y pre engorde. Muy buen acabado. Utilizado como recubrimiento de otros materiales.

La **forma de entrada del agua** en los tanques tiene también una gran importancia ya que influye en la circulación del agua. El chorro de entrada a cierta presión debe incidir tangencialmente para forzar la circulación en el sentido de las agujas del reloj. Es ideal situar varios chorros de la misma forma ya citada y a diversas profundidades para favorecer la circulación a todos los niveles. Esto se consigue con una entrada de agua en forma de columna con varios taladros a diferentes alturas.

La **descarga** de agua también es importante. El flujo sigue una trayectoria helicoidal hacia el desagüe central. Es fundamental renovar el agua de las capas más profundas ya que es la que contiene más residuos. Para esto se coloca una estructura de dos tubos concéntricos en el centro justo encima del agujero de desagüe para vaciado. El tubo exterior va perforado en su parte inferior para absorber el agua de las capas más profundas. El agua sube por el interior de los tubos y se descarga por el interior del tubo interior que sirve además para regular la altura del agua en el tanque.

Otras recomendaciones útiles se esquematizan a continuación:

- Agrupar los tanques de dos en dos o de cuatro en cuatro.
- Pasillos amplios para facilitar la entrada de vehículos especiales y la carga de los peces después del despesque.

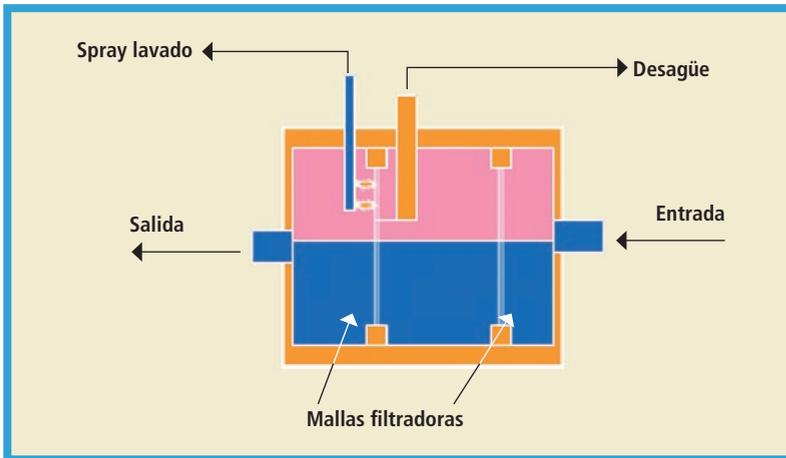


Los tanques de engorde se sitúan actualmente al aire libre porque el peso de los peces que se manejan, a veces más de mil toneladas, hacen inviable económicamente la instalación en una nave. Las figuras 3.3 y 3.5 muestran una instalación de engorde al aire libre.

### 3.2.6. Descarga de efluentes

El engorde del rodaballo se hace en circuito abierto por lo tanto antes de la descarga del agua al mar hay que tratarla para eliminar los residuos que han aportado los peces y su alimentación.

La eliminación de estos residuos se encomienda a filtros autolimpiables que se muestran en las figuras siguientes:



**FIGURA 3.8.**  
Esquema de filtro de discos.



**FIGURA 3.9.**  
Filtro de discos.

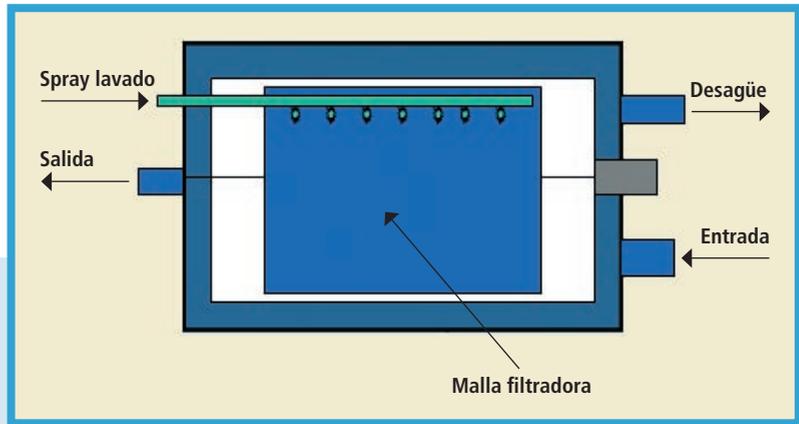


FIGURA 3.10.  
Esquema de filtro de tambor.



FIGURA 3.11.  
Filtro de tambor.

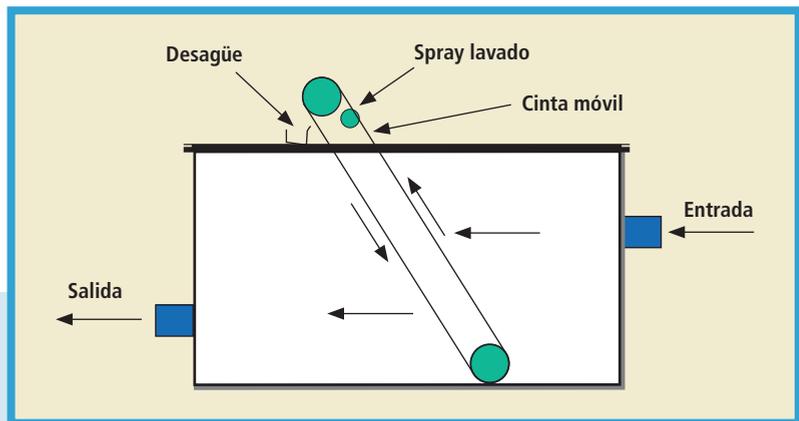


FIGURA 3.12.  
Esquema de filtro de banda.



**FIGURA 3.13.**  
Filtro de banda.





# 4

## REFERENCIAS

The background of the page is a high-angle, aerial photograph of a forested landscape. A prominent, light-colored, winding road or path cuts through the dense green trees, creating a zig-zag pattern across the terrain. The overall color palette is dominated by various shades of green and blue, with the road providing a stark white contrast. The image has a slightly grainy, halftone-like texture.





# 4

## REFERENCIAS

- AMAT, I., BEAZ PALEO, J. D., DOÑA, M. and SENANTE, F., 1990. Proyecto de una hatchery de almeja y ostra en la ría de «O Barqueiro» (A Coruña).
- 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., 2000 Marine Aquaculture in Spain: a present and future overview. Universidad de Plymouth.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 Ingeniería de los cultivos marinos: I+D en la ETSIN. Oceans III Millenium. Pontevedra.
- BEAZ PALEO, J. D., 2001 As novas tecnoloxías: Enxeñería 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 Los Cultivos Marinos: situación actual y futuro, tipos de cultivos e instalaciones, especies, ingeniería y nuevas tecnologías. VI Jornada Técnica de difusión del sector pesquero. Celeiro.
- 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 Cultivo de Moluscos. Seminario Acuicultura, Alternativa Alimentaria. Bogotá.
- 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., 2006 Diseño e Ingeniería de las «Hatcheries» de Moluscos Bivalvos. II Congreso Nacional de Acuicultura: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.



- BEAZ PALEO, J. D., 2006 Diseño e Ingeniería de las «Hatcheries» de Peces. II Congreso Nacional de Acuicultura: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- 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.
- BLANCO, J., 1991 El Fitoplancton: su cultivo. Cuaderno 2. XUNTA DE GALICIA.
- CUÑA, M. A., 1991 Instalaciones en el criadero de moluscos. Cuaderno 15. XUNTA DE GALICIA.
- ESTÉVEZ, A., 1991 Reproducción de peces cultivados. Cuaderno 7. XUNTA DE GALICIA.
- FAO, 2002 Status of the world fisheries and aquaculture 2002. Roma.
- FAO, 2006 Status of the world aquaculture 2006. Roma.
- FERNÁNDEZ, I., 1991 Reproducción y acondicionamiento de bivalvos en el criadero. Cuaderno 16. XUNTA DE GALICIA.
- FERNÁNDEZ, I., Cuña, M. A. and A. Pérez, 1991 Cultivo de bivalvos en criadero. Cuaderno 17. XUNTA DE GALICIA.
- GLOBAL AQUAFISH, 2004 Diseño de un criadero de moluscos bivalvos para la Cofradía de Noia.
- GLOBAL AQUAFISH, 2005 Instalación de investigación en Bou Ismail (Argelia). «Hatchery» de peces. Asociación Española para la Cooperación Internacional (AECI).
- GLOBAL AQUAFISH, 2004 – 2006 Collective Research of Aquaculture Biofouling (CRAB). Unión Europea.
- HUGUENIN, J. E., and J. COLT, 1992 Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems.
- MAPYA, 2007 WEB.
- MEDAS 21, 2003 Manual de Rodaballo.
- ORTEGA, A., 1991 Zooplancton: su cultivo. Cuaderno 3. XUNTA DE GALICIA.
- ORTEGA, A., 1991 La planta de cultivo de peces. Cuaderno 6. XUNTA DE GALICIA.
- ORTEGA, A., 1991 Desarrollo larvario y destete en peces cultivados. Cuaderno 8. XUNTA DE GALICIA.
- PIEDRAHITA, R. H., 1991 Engineering Aspects of Warmwater Hatchery Design. World Aquaculture Society. 22<sup>nd</sup> Annual Meeting. San Juan (Puerto Rico).



