



Conservación de la Naturaleza | Acciones

◀ Especies amenazadas | Vertebrados

5. MEDIDAS CORRECTORAS.

5. 1. Alternativas.

El impacto producido en los peces por una presa en un curso de agua puede corregirse de diversas maneras:

1. Eliminación del obstáculo. Siempre que la presa no tenga utilidad es conveniente su voladura, permitiendo así la libre circulación de los peces. Este sistema es el más adecuado en el caso de pequeñas presas de molinos o canales de derivación ya en desuso.
2. Construcción de dispositivos especiales que ayuden a los peces a franquear el obstáculo. Pueden estar integrados en la presa o en sus proximidades.
3. Instalación de dispositivos en las tomas de agua, canales de derivación y entrada a turbinas de centrales eléctricas, que desvíen a los peces en su migración río abajo.
4. Transporte de los peces con camiones. Una solución nada despreciable consiste en atrapar a los peces aguas abajo de la presa y transportarlos en cisternas aguas arriba, superando así el obstáculo.

5.2. Pasos para peces.

El principio general de los dispositivos de franqueo consiste en atraer a los moradores a un punto determinado del río aguas abajo del obstáculo a franquear e incitarles, e incluso obligarles a pasar aguas arriba, abriéndoles una vía de agua (pasos de peces *sensu stricto*) o atrapándoles en una cubeta liberándoles aguas arriba del obstáculo (ascensores y sistemas de trampa y transporte).

5.2.1. Diseño de los pasos.

El diseño de un paso debe tener en cuenta ciertos aspectos del comportamiento de los peces migradores. Algunas especies son muy sensibles a determinados factores que pueden ser causa de su bloqueo en una determinada zona: caídas importantes, turbulencias excesivas, existencia de zonas de recirculación demasiado grandes o velocidades demasiado débiles. Las velocidades del agua en el paso y sus cercanías deben resultar compatibles con las capacidades de natación de las especies implicadas. Los dispositivos deben permitir el paso de todos los individuos, no sólo de los superdotados o los más grandes.

La eficacia de una obra de franqueo situada en una presa depende del mantenimiento de un caudal reservado importante. Aparte de los factores hidrodinámicos, el pez es sensible a otros parámetros ambientales (oxígeno disuelto, temperatura, ruido, olor, etc.) que pueden resultar disuasorios. Puede suceder por ejemplo que la calidad del agua que alimenta el paso sea diferente a la que pasa por la presa (Larinier 1992a).

El pez posee así mismo exigencias o preferencias en la intensidad de luz ambiental. Ciertas situaciones pueden resultar disuasorias para el pez: una elevada luminosidad en la entrada del paso, condiciones insuficientes de luz dentro de él, o iluminación del paso por la noche para las especies lucífugas.

La influencia de la mayor parte de estos parámetros en el comportamiento de las especies de peces migradores está mal documentada actualmente y la poca información de la que se dispone proviene de observaciones puntuales.

5.2.1.1. Localización de la entrada y eficacia.

Para que un paso pueda considerarse eficaz es necesario que el pez pueda encontrar la entrada y franquear el obstáculo sin retraso, estrés o daños perjudiciales en su migración río arriba. La entrada es la parte más importante en el diseño de estos dispositivos, ya que de ella depende el franqueo del obstáculo (Clay 1995).

La atracción hacia un dispositivo de franqueo va a estar ligada a su localización en el obstáculo, en particular a la situación de la entrada, así como a las condiciones hidrodinámicas (caudales, velocidades, líneas de corriente) en sus proximidades. El pez debe poder detectar el flujo de agua proveniente del paso a la mayor distancia posible de la entrada. La atracción estará ligada a la situación y orientación de la "llamada de agua", su velocidad y caudal. La entrada o entradas no deben estar enmascaradas ni por las salidas de las turbinas o de los vertederos, ni por zonas de recirculación o de aguas muertas. La entrada del paso no representa más que una parte reducida comparada con el tamaño del obstáculo y está alimentada por un caudal constituido por una fracción limitada del caudal total del curso de agua.

El problema de la atracción de los dispositivos se plantea en diferentes términos según las especies a las que se dirija. Para los migradores diadromos se procurará atraer a todos los peces (o al menos el mayor número posible) al pie de la obra, para minimizar los retrasos en la migración. Para ciertas especies holobióticas, en particular los ciprínidos, bastará con reestablecer una comunicación en el curso de agua a través del obstáculo. Se dará más importancia a la comodidad del pez en el paso que a la atracción hacia éste.

En una presa existente, o en un obstáculo natural como un rápido o un salto, es posible observar el comportamiento de los peces al pie del obstáculo, es decir, su ruta de migración, sus zonas de concentración y los puntos de la presa donde se efectúan sus tentativas de franqueo. Estas indicaciones permiten elegir la situación de la entrada del paso. De manera general, el pez tiene tendencia a remontar la corriente lo más aguas arriba posible, hasta que se encuentra con una caída de una altura infranqueable o con corrientes o turbulencias demasiado violentas. Conviene instalar la entrada del paso lo más cerca posible de este punto. No es conveniente situarla demasiado aguas abajo del obstáculo. La colocación de pasos

en las orillas o en sus proximidades es preferible a la instalación en medio de la presa, no solamente porque los migradores tienen una tendencia general a desplazarse por las orillas sino también para facilitar el acceso para su control, vigilancia y mantenimiento.

El problema es singularmente complicado, así como de difícil solución, en aquellos casos en que el dispositivo de franqueo está destinado a diversas especies cuyas capacidades de natación y comportamiento migratorio pueden ser diferentes, y algunas veces hasta mal conocidas. Si el paso está destinado a salmones, la entrada estará situada lo más aguas arriba posible, relativamente cerca de la salida de las turbinas. Por el contrario, esta instalación no será favorable para los pequeños ciprínidos, que no poseen las mismas capacidades de natación. Para estas especies será preferible situar la entrada del paso aguas abajo, en una zona menos turbulenta. De aquí la necesidad de definir al principio de un proyecto las especies a las que está destinada la obra.

El caudal en el dispositivo de franqueo debe estar a escala del caudal del curso de agua en periodo de migración. De manera general son del orden del 1 al 5 % del caudal circulante. Es evidente que la atracción será mayor cuanto más importante sea el caudal que transita por el paso (Larinier 1992b). En general, se puede afirmar que el aumento del caudal de atracción se traducirá en una mejora de la eficacia.

En una obra en proyecto, o en un curso de agua donde las especies migradoras han desaparecido y son objeto de un plan de restauración, no se pueden hacer más que hipótesis sobre el comportamiento del pez ante el obstáculo y solo puede ser tenida en cuenta la experiencia de la persona que proyecta la obra.

Cuando las zonas de bloqueo de los peces no están claramente identificadas y son susceptibles de cambiar según las condiciones de funcionamiento de la central, la eficacia de un dispositivo de franqueo será mayor si se instalan varias entradas en los puntos que *a priori* parecen más favorables.

Es indispensable crear al nivel de la entrada del paso velocidades de agua elevadas, que sean compatibles con todas las especies migradoras implicadas. Se puede adoptar como velocidad mínima en la entrada un valor del orden de 1 ms^{-1} . La velocidad óptima para los salmónidos y los grandes migradores es del orden de 2 a 2.4 ms^{-1} , que corresponde a una caída de 0.2 a 0.3 m en la entrada (Larinier 1992b).

Al pie de las turbinas o de los aliviaderos es preferible orientar el flujo del paso paralelamente a la dirección del desagüe. Cuando el flujo sea fuerte, se reducirá de manera progresiva del centro hacia los márgenes, guiando al pez hacia la entrada de los pasos. En el caso en que el caudal vertido es insuficiente para impedir a los migradores aproximarse al aliviadero, se concentrarán los desagües en los márgenes próximos a los dispositivos de franqueo. Se evitará utilizar los desagües centrales que llevarían a los peces lejos de los pasos.

En los periodos de fuerte desagüe se debe evitar dejar cerrados uno o dos vertederos entre dos abiertos, ya que ésto puede crear zonas muertas donde queden atrapados los peces. De la misma manera, conviene no reducir demasiado los desagües en las orillas pues crearía una zona de recirculación con una corriente dirigida hacia la presa, que enmascararía la entrada del paso próxima.

Las velocidades del agua en la o las entradas tienen que ser lo suficientemente elevadas para las diferentes condiciones de nivel aguas abajo que se pueden encontrar en periodo de migración. De manera general, pueden mantenerse velocidades suficientes modulando el caudal en el paso según las condiciones de nivel aguas abajo.

El dispositivo generalmente adoptado para regular la velocidad al nivel de la entrada es una compuerta regulable. Su cota de desagüe está controlada de manera que la diferencia de cotas de agua de una parte y otra de esta compuerta sea constante e igual a una cantidad establecida previamente. Este dispositivo necesita dos sondas de nivel instaladas una aguas arriba de la compuerta en el paso y la otra aguas abajo en la proximidad de la entrada. Cuando las variaciones de nivel son importantes se puede instalar una compuerta telescópica con diferentes elementos. En las instalaciones más modestas o en aquéllas en las que las fluctuaciones de nivel aguas arriba y abajo son menos frecuentes, la regulación de la velocidad se podrá efectuar por medio de una compuerta manual, o un simple muro de contención, con una ranura al nivel de la entrada. Otra solución consiste en variar el caudal en la obra en función del nivel abajo y arriba, conservando velocidades bastante fuertes, siendo así innecesaria la instalación de un órgano móvil en la entrada.

Es importante, por tanto, conocer bien los niveles de agua en periodo de migración que se tienen aguas arriba y abajo del obstáculo.

Sea cual sea el tipo de paso adoptado tiene que disponer en la entrada de una fosa de una profundidad suficiente, para que el pez pueda permanecer al pie de la obra sin dificultad (fig. 26E).

La situación de la entrada en el obstáculo no es el único factor a tener en cuenta. La salida del paso no tiene que estar situada ni en una zona de fuerte velocidad, en las proximidades de un aliviadero, para que el pez no pase otra vez aguas abajo, ni en una zona de aguas muertas o de recirculación en la que pueda quedar atrapado.

5.2.1.1.1. Casos prácticos.

La situación de un paso en un obstáculo inclinado en relación al eje del curso de agua se hace en la parte más aguas arriba de la obra (fig. 26A, C y D).

En el caso de una presa en ángulo, la instalación del paso en la parte central del curso de agua parece la más favorable desde un punto de vista estrictamente biológico. Sin embargo, esta situación puede tener ciertos problemas de accesibilidad (fig. 26B).

En el caso de un obstáculo perpendicular al eje del curso de agua, el dispositivo será instalado en un lado o en otro de la presa en función de los desagües y sobre todo de la topografía del cauce en la parte inferior de la presa (fig. 26E). En el caso de un obstáculo de gran longitud conviene colocar un dispositivo de franqueo en cada orina (fig. 26F).

Es posible en determinados casos modificar la morfología del cauce aguas abajo del obstáculo, para facilitar el acceso de los peces a los dispositivos. Se puede colocar una cubierta de piedras bajo el agua, en una parte relativamente alta del centro del curso de agua, en la parte inferior de la presa, creando dos canales laterales más profundos. Los peces estarían así canalizados hacia los dispositivos de franqueo (fig. 27A).

Figura 26. [Disposición del paso en el obstáculo](#). A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo perpendicular.

Figura 27. [Disposición del paso en el obstáculo](#). A. Cubierta de piedras bajo el obstáculo para facilitar el acceso de los peces a los pasos. B. Situación del paso cuando existen problemas de espacio junto al obstáculo. C, D y E. Situación correcta del paso en un aprovechamiento hidroeléctrico. F. Situación incorrecta del paso en un aprovechamiento hidroeléctrico.

Puede ocurrir que debido a la falta de espacio el paso tenga que desembocar bastante aguas abajo del obstáculo (fig. 27B). Conviene compensar la situación desfavorable de la entrada aumentando notablemente el caudal en el dispositivo, que deberá representar una fracción significativa del caudal del curso de agua en periodo de migración (fig. 27B).

En un aprovechamiento hidroeléctrico donde todo el caudal pasa por las turbinas, los migradores son generalmente atraídos hacia los aspiradores de éstas. En este caso, se instala la entrada del paso en un lado de la central, preferentemente en la orilla (fig. 27C, D y F). En una central con varias turbinas, situada en un curso de agua importante, es posible atraer los peces a lo largo de la presa instalando un canal colector con una serie de entradas encima de los aspiradores de las turbinas. Las dos entradas principales están situadas en cada extremo de la presa, las entradas secundarias entre las turbinas. Es preferible no multiplicar exageradamente el número de entradas, la experiencia ha mostrado que en ese caso se aumentan los riesgos de que un pez penetre en la galería por una entrada y vuelva a salir por otra (Larinier 1992b).

Cuando el pez migrador pueda presentarse en diferentes puntos de la presa, conviene prever varios dispositivos de franqueo independientes (fig. 27E).

En el caso particular en que la central esté instalada en una derivación es difícil decidir si el paso debe ser instalado en la presa o en la central. Conviene estudiar en cada caso los caudales de agua en periodo de migración. La experiencia muestra que es indispensable la construcción de dos dispositivos distintos.

5.2.1.2. Factores biológicos.

El principal factor biológico a tener en cuenta en el diseño de un paso de peces es la capacidad de natación de los migradores, en términos de velocidad y resistencia. Se pueden distinguir en los peces varios niveles de actividad que implican diferentes músculos:

- La actividad de crucero, que concierne a los mecanismos de actividad muscular aerobios (músculos rojos), susceptible de ser mantenida durante horas.
- La natación de alta velocidad, asociada siempre a una corta resistencia, resultado de un esfuerzo continuo e intenso. No puede ser mantenida más que unos segundos. Estarían a este nivel el salto y las grandes aceleraciones, actividades extenuantes de muy corta duración. Los mecanismos musculares implicados son los anaerobios (músculos blancos). Es esencial en los peces migradores que tienen que saltar o remontar caídas de agua difíciles.
- La actividad sostenida. Este tipo de natación puede ser mantenida durante algunos minutos. Implica diferentes mecanismos aerobios y anaerobios, pero más bien a los anaerobios, ya que la intensidad del esfuerzo es muy grande.

Beach (1984) y Larinier (1992c) exponen análisis detallados de los diferentes tipos de natación en los peces.

5.2.1.3. Protección de los dispositivos de paso.

La protección de los pasos contra los cuerpos flotantes se efectúa por los medios clásicos empleados en las obras hidráulicas: rejillas con barras suficientemente espaciadas (de 25 a 30 cm) para permitir el paso de grandes migradores, pantallas de mampostería u hormigón (fig. 28), hileras de rieles, e incluso pequeños diques de madera situados aguas arriba de la obra.

En las proximidades de la salida de los dispositivos pueden formarse zonas de recirculación, que atrapen materiales a la deriva y obstruyan las rejillas. Es importante entonces tener en cuenta las condiciones hidrodinámicas en este punto. La salida no debe situarse en una zona de gran velocidad. La situación es favorable para una evacuación de cuerpos flotantes, pero el pez que sale del paso corre el riesgo de ser arrastrado aguas abajo de nuevo. Es preferible disponer la salida del paso lateral al nivel de presa aguas arriba.

Los pasos pueden protegerse también en toda su longitud con rejillas metálicas que impidan la caída y acumulación de ramas, hojas, etc.

Sea el que sea el sistema de protección previsto, el paso debe ser accesible a las operaciones de mantenimiento y reparación. Por ello, los pasos situados en las orillas son preferibles a aquéllos implantados en el centro del cauce.

5.2.2. Tipos de pasos para peces.

Existe gran variedad de dispositivos con la misma función utilizados en todo el mundo. Sin embargo, se pueden agrupar en unos cuantos tipos que reúnen ciertas condiciones.

Figura 28. [Sistemas de protección para flotantes en los dispositivos de paso](#).

5.2.2.1. Pasos rústicos.

Los pasos rústicos o pasos atípicos comprenden actuaciones emprendidas en obstáculos de pequeño tamaño, de altura limitada y con pendientes máximas de algunas unidades por ciento. Pueden consistir en la abertura de una brecha en el obstáculo, en un canal en diagonal sobre la falda del obstáculo, en una compuerta, etc.

5.2.2.2. Ríos artificiales.

El río artificial consiste en conectar el nivel de presa aguas arriba y aguas abajo por un canal que imita un río natural, en el

que la energía y la velocidad del agua se reducen por la rugosidad del fondo y por una sucesión de piedras, ramas o escalones más o menos regularmente repartidos (fig. 29). Este tipo de obra puede ser multiuso, siempre que se respeten en su diseño ciertas dimensiones. Puede funcionar como dispositivo de franqueo para peces migradores y como curso de agua viva para canoas-kayaks. Por ejemplo, en Francia existen actualmente una docena de dispositivos de franqueo similares a los ríos artificiales (Larinier 1992d) y se prevé en los próximos años un uso más frecuente. Tienen algunos problemas, como su débil pendiente, que se traduce en longitudes importantes, y su imposibilidad de adaptarse a variaciones de nivel aguas arriba notables sin necesidad de dispositivos especiales.

Es conveniente instalar un paso para peces clásico en la salida para permitir al migrador salir de la obra sean cuales sean las condiciones aguas arriba. Como en cualquier dispositivo conviene situar la entrada en la zona de bloqueo de los migradores. Pero, teniendo en cuenta la debilidad de la pendiente, puede resultar difícil instalar la entrada justo al pie del obstáculo, tendrá que situarse más aguas abajo. Esto puede limitar su eficacia, y por tanto su interés, en los grandes cursos de agua. En cursos de agua menores se puede solucionar este problema dejando pasar por la obra una fracción notable del caudal total del río.

Se pueden distinguir dos tipos de ríos artificiales:

- Aquéllos en los que la disipación de la energía está concentrada a nivel de los saltos producidos por escalones regularmente espaciados. Estos crean una sucesión de estanques de una anchura tal que toda la energía se disipa antes del salto siguiente.

- Aquéllos donde la disipación de la energía está menos localizada y se efectúa más o menos regularmente a lo largo de todo el dispositivo, por medio de rugosidades, ramas, bloques de piedras, etc.

Figura 29. Río artificial.

Figura 30. Sistema de pre-presas.

Este tipo de obra conviene esencialmente a obstáculos instalados en cursos de agua de débil pendiente en los que el nivel aguas arriba queda prácticamente constante. Se ha utilizado en países como Francia, Holanda, Bélgica, Dinamarca o Austria.

Con esta misma estructura pueden construirse canales de freza artificiales, que mantengan condiciones estables de caudal y un lecho óptimo para los huevos de los peces (Stojic & Povz 1994).

5.2.2.3. Pre-presas.

Las pre-presas constituyen una solución para resolver el problema del franqueo en los obstáculos de débil altura. Están formadas por varios muros que crean, aguas abajo del obstáculo, grandes estanques que fraccionan el salto a franquear (fig. 30). Este sistema se instala generalmente en las proximidades de una de las dos orillas para facilitar el mantenimiento. En los pequeños cursos de agua pueden ser implantados sin inconveniente en toda la anchura del cauce. El interés de este dispositivo está en su atracción, ya que por el paso puede transitar una gran proporción del caudal del curso de agua. Esta atracción está en detrimento de la comodidad del pez. Si en los pasos de estanques el salto adoptado por los salmónidos es del orden de 0.3 m, en las pre-presas se eligen generalmente valores más elevados, a fin de limitar el número de estanques. Estos sistemas suelen disponerse en ríos con salmónidos.

5.2.2.4. Pasos de estanques sucesivos.

Este tipo de dispositivo es sin lugar a dudas el más utilizado, no solamente por su diseño simple sino también por sus grandes posibilidades de uso. Con un buen diseño puede ser utilizado por diferentes especies de peces.

5.2.2.4.1. Funcionamiento y diseño.

El principio de los pasos de estanques sucesivos consiste en dividir la altura a franquear en pequeños saltos, formando una serie de estanques. El paso del agua de un estanque a otro se puede efectuar por desbordamiento de superficie (tabiques vertientes), por desagüe a través de uno o varios orificios situados en los tabiques de separación de los estanques (orificios sumergidos), o por desagüe a través de escotaduras en los tabiques (escotaduras laterales o superiores) (fig. 32A). Se encuentran también pasos de tipo mixto, por combinación de dos o más de los dispositivos anteriores (fig. 32B).

Los principales parámetros de un paso de este tipo son las dimensiones de los estanques y las características geométricas de los tabiques (dimensiones de escotaduras y orificios). Estas características geométricas son las que, en función de las cotas de nivel aguas abajo y arriba de la obra, determinan el comportamiento hidráulico del paso.

La circulación de migradores será más fácil cuando la diferencia de nivel entre dos estanques sea débil. Si no puede reducirse el desnivel el número de estanques se hace excesivo.

Generalmente, la velocidad máxima del agua en la caída entre estanques (v) es aproximadamente

$$v = (2g \cdot C)^{0,5}$$

donde, C es la altura de la caída entre estanques,
 g es la aceleración de la gravedad.

Por ejemplo, para diferencias de nivel entre estanques de 15, 30 y 45 cm corresponden velocidades máximas próximas a 1.7, 2.4 y 3 m/s respectivamente (Larinier 1992d).

Los saltos entre estanques se eligen en función de la capacidad de natación o de salto de las especies implicadas.

Según Larinier (1992d), el flujo de agua en el paso puede ser de dos tipos: de profundidad o de superficie. El flujo de profundidad (fig. 31A) se prolonga a nivel de cada tabique hacia el fondo del estanque. La energía se disipa por mezcla turbulenta y dispersión con un resultado situado a pie del salto. En este tipo de flujo el pez debe saltar en la lámina de agua para pasar de un estanque a otro. Se reserva a los salmónidos y se adopta un salto cercano a 0.3 m. En algunos casos se aumenta, para los grandes salmónidos a 0.6 m y a 0.45 para la trucha. Según Beach (1984) no debe sobrepasar en general 0.45 m. El volumen de los estanques tiene que aumentar paralelamente con el fin de disipar correctamente la

energía suplementaria. Este tipo de paso tiene que evitarse para el sábalo.

Figura 31. Flujo del agua en un paso de estanques sucesivos. A. Flujo de profundidad. B. Flujo de superficie.

Figura 32. Pasos de estanques sucesivos. A. Paso con escotaduras superiores. B. Paso con escotaduras laterales y orificios sumergidos.

El flujo superficial (fig. 3 1 B), que se forma a nivel del estrechamiento del tabique que separa dos estanques, permanece en superficie. Su energía se disipa en el estanque siguiente creando grandes zonas de recirculación. Para este tipo de pasos (orificios sumergidos), se dispondrá de caídas entre estanques de 0.3 a 0.4 m para el salmón y el reo, 0.3 m para la trucha y los ciprínidos reófilos, y de 0.2 a 0.3 m para el sábalo (preferentemente 0.25 m). Para la mayor parte de los ciprínidos conviene considerar caídas comprendidas entre 0.15 y 0.25 m.

La dificultad de paso de los migradores aumenta con la turbulencia y aireación de los estanques. Un indicador simple del nivel de agitación en los estanques es la potencia disipada

$$(P), \text{ es decir: } P = (p \cdot g \cdot Q \cdot C) / V$$

donde, P es la potencia disipada (vat/m³),

p es la masa del agua (1000 kg/m³),

g es la aceleración de la gravedad,

Q es el caudal en el paso (m³/s),

C es la caída entre dos estanques (m),

V es el volumen de agua en el estanque considerado (m³).

Este criterio permite determinar el volumen de agua mínimo en un estanque si se fijan las caídas y el caudal o, por el contrario, el caudal máximo que transita si se imponen las caídas y los volúmenes de los estanques.

Para los pasos de salmónidos se tendrá como límite superior de potencia 200 vat/ m³. Para pasos pequeños y pasos de sábalos y ciprínidos conviene tomar valores menores, inferiores a 150 vat/ m³.

El volumen mínimo en los estanques está fijado por el caudal del salto. Sus dimensiones dependerán de la orientación y la configuración de los flujos de agua. Conviene evitar fenómenos de "cortocircuito", es decir el paso directo de un flujo de fuerte velocidad de un estanque al siguiente sin disipación de una fracción suficiente de su energía cinética. Los flujos no deben chocar muy violentamente ya que pueden perturbar el comportamiento del migrador.

La profundidad mínima de los estanques también es función de la especie implicada. Para los salmones es del orden de 1 m, mientras que para las truchas pueden ser suficientes valores de 0.6 m.

Beach (1984) propone unas dimensiones mínimas para los estanques de 3 m de longitud, 2 m de anchura y 1.2 m de profundidad. Según este autor los tabiques tienen que tener un espesor de 0.3 m con escotaduras de 0.6 m de anchura y 0.25 m de altura.

Con flujos de superficie, las escotaduras deben tener anchuras mínimas de 0.3 a 0.4 m para los grandes salmónidos migradores, de 0.45 m para los sábalos y de 0.2 m para la trucha. Para las especies migradoras potamodromas las anchuras mínimas se fijan en función de las tallas de los peces.

Con flujos de profundidad, conviene tomar anchuras sensiblemente más importantes, sobre todo si el pez debe saltar para acceder al estanque superior. Sea cual sea la especie considerada, es conveniente que las escotaduras sean suficientemente anchas (superiores a 0.15 - 0.2 m) para evitar que la obra se pueda obstruir. Se suelen tomar superficies mínimas de orificios de 0.09 a 0.1 m² para los grandes salmónidos migradores y los peces de gran talla, y de 0.04 m² para la trucha y la mayor parte de ciprínidos.

Las fórmulas usuales de hidráulica permiten calcular los caudales en un paso en función de sus características geométricas.

La expresión siguiente, por ejemplo, proporciona el caudal a través de un orificio sumergido,

$$Q = C_d \cdot S \cdot (2g \cdot C)^{0,5}$$

donde, Q es el caudal (m³/s),

S es la sección del orificio (m²),

g es la aceleración de la gravedad,

C es la caída entre dos estanques (m),

C_d es el coeficiente de caudal.

Los principales factores que afectan al coeficiente de caudal son la forma y el perfil del orificio, la anchura del tabique en el que está el orificio, así como la posición de éste. En general, el coeficiente de caudal puede variar de 0.65 a 0.85.

La expresión siguiente proporciona el caudal a través de una escotadura vertical,

$$Q = C_d \cdot b \cdot H \cdot (2g \cdot C)^{0,5}$$

donde, Q es el caudal (m³/s),

b es la anchura de la escotadura (m),

Hl es la carga sobre la escotadura (m), es decir, la diferencia entre la cota de nivel de agua aguas arriba y en la base de la escotadura,

g es la aceleración de la gravedad,

C es la caída entre dos estanques,

Cd es el coeficiente de caudal.

En la práctica, el nivel de precisión obtenido es suficiente para diseñar correctamente una obra. Si por el paso circula íntegramente el caudal reservado, como es el caso de las minicentrales de montaña, es necesaria una precisión superior en la estima del caudal.

5.2.2.4.2. Ejemplos de pasos de estanques utilizados en el mundo.

- Paso tipo "Ice Harbor" (fig. 33A).

Este dispositivo ha sido utilizado con frecuencia para los salmónidos y en algunas ocasiones para el sábalo en las costas este y oeste de Estados Unidos. La experiencia muestra que el paso del sábalo es problemático si no se producen ciertas modificaciones en las dimensiones de la obra.

Paso de escotaduras laterales profundas y orificios sumergidos (fig. 33B).

Este paso es muy utilizado en Francia. La comunicación entre estanques se efectúa por escotaduras laterales y orificios de fondo situados en lados opuestos del tabique, alternando sus posiciones de un tabique a otro. El flujo es de superficie y es la longitud de la escotadura la que determina en cierta medida las dimensiones del estanque. Su volumen mínimo está fijado por la potencia disipada. La principal ventaja de este tipo de paso reside en la simplicidad de su construcción y en el hecho de que soporta variaciones notables del nivel de agua.

- Paso para ciprínidos y truchas (fig. 33C).

Los pasos de estanques con escotaduras superficiales y orificios sumergidos rectangulares son frecuentemente utilizados en Alemania y Suiza. En este tipo de paso existen pocas turbulencias y conviene a la mayoría de especies, hasta las de pequeño tamaño. Puede ser poco atractivo y difícil de encontrar para el pez en un gran curso de agua, teniendo en cuenta su bajo caudal. Solamente tolera débiles cambios de caudal.

Figura 33. Tipos de tabique en pasos de estanques sucesivos. A. Paso tipo "Ice Harbor". B. Paso de escotaduras laterales y orificios sumergidos. C. Paso para ciprínidos y truchas.

- Paso de escotaduras verticales (fig. 34A y B).

Este tipo de paso se estudió para permitir al salmón franquear los rápidos de Hell's Gate en el río Fraser en Canadá. El modelo original consistía en una sucesión de grandes estanques con dos escotaduras verticales. Se han construido por todo el mundo numerosos pasos basados en el mismo principio, pero con una sola escotadura. La mayor ventaja de este paso es que soporta variaciones importantes del nivel de agua. Las condiciones de velocidad y de turbulencia permanecen muy estables. El pez puede franquear el paso nadando a la profundidad elegida.

- Paso de escotaduras triangulares (fig. 34C).

Este tipo puede funcionar con una amplia gama de caudales y de niveles de agua, sin que sea necesario añadir un caudal de apoyo o un dispositivo de regulación de caudal. Se comporta como un paso de estanques sucesivos en aguas bajas y como un canal en aguas altas. Ha sido utilizado en la costa oeste de Estados Unidos y se han realizado ensayos con este modelo en Francia.

5.2.2.4.3. Aplicación de los pasos de estanques.

El paso de estanques parece ser la mejor solución para muchas especies (salmón, reo, trucha, ciprínidos, etc.), ya que es menos selectivo que los pasos de ralentizadores. Como puede tener cambios de dirección frecuentes y relativamente bruscos (virajes de 180°), se puede integrar fácilmente en obras existentes.

Los pasos con orificios sumergidos presentan en general poco interés y actualmente no se suelen utilizar. Su mantenimiento es difícil debido a la obturación frecuente de los orificios. Estos dispositivos no están indicados para los sábalos. Monk *et al.* (1989) encuentran que el sábalo es incapaz de pasar a través de orificios sumergidos, acumulándose en la parte inferior de la escala para finalmente morir. Los pasos que además tienen escotaduras resultan mucho más efectivos que los que tienen únicamente orificios sumergidos. Por el contrario, sí se utilizan para el esturión, ya que esta especie prefiere moverse por el fondo. Sin embargo, los orificios tienen que ser lo suficientemente grandes para permitir el paso de los individuos mayores (Warren & Beckinan 1993).

Figura 34. Tipos de tabique en pasos de estanques sucesivos. A y B. Paso de escotaduras verticales. C. Paso de escotaduras triangulares.

Los pasos con escotaduras, asociados o no a orificios de fondo, son los de uso más común ya que se adaptan a numerosos casos. Admiten una extensa gama de caudales, y cuando las aberturas son suficientemente profundas, soportan variaciones importantes del nivel de agua. Los pasos de escotaduras verticales no convienen a los grandes migradores nada más que cuando existen caudales importantes (superiores a 0.7?1 m³/s). Presentan la ventaja de adaptarse a grandes variaciones de nivel (varios metros).

Por su parte, Backiel (1985) señala que los pasos de estanques no ayudan a aumentar las poblaciones de especies

migradoras en los ríos, y duda del valor de estos dispositivos, aún cuando tengan un buen diseño.

Linlokken (1993) ha estudiado la eficacia de los pasos de estanques en Noruega, encontrando que la fracción de peces que franqueaba los obstáculos a través de estos dispositivos constituía una parte insignificante de la población total. Este autor sugiere un aumento del caudal en los pasos para obtener un mejor funcionamiento.

5.2.2.5. Pasos de ralentizadores.

El principio de estos pasos consiste en disponer detectores en el fondo y/o las paredes de un canal rectilíneo de pendiente relativamente fuerte y de sección rectangular, destinados a reducir la gran velocidad de caída del agua.

5.2.2.5. 1. Funcionamiento y diseño.

Estos ralentizadores están colocados muy cerca unos de otros, formando un ángulo con el eje del canal y creando corrientes helicoidales secundarias que aseguran una fuerte disipación de la energía en el seno de la corriente de agua. La dimensión y la posición de los detectores juegan un importante papel.

Los pasos de ralentizadores han sido probados en diferentes localidades de Gran Bretaña, Irlanda, Canadá, Dinamarca (Berg 1984) y Francia (Larinier 1992e).

El diseño de un dispositivo de este tipo requiere un conocimiento previo de la relación entre caudal y profundidad. Existen muy pocos datos disponibles, y aquéllos que lo están se refieren a pasos tan diferentes que es difícil compararlos (Beach 1984).

Se puede definir para todo paso de ralentizadores un funcionamiento "hidráulico" y un funcionamiento "biológico":

- Funcionamiento "hidráulico". Se necesita un caudal mínimo para que se formen las corrientes helicoidales. Por debajo de este valor el paso se comporta como un mini-paso de estanques sucesivos. Por encima de ese valor, en función de la pendiente y del tipo y dimensiones de los ralentizadores, aparecen ondas que barren el paso desde aguas arriba hasta aguas abajo. Las corrientes helicoidales no se forman más que esporádicamente y el caudal pasa progresivamente a régimen torrencial, eliminándose así la función del ralentizador.

- Funcionamiento "biológico". Estos pasos suelen estar adaptados a ciertas especies y ciertos tamaños de migradores. El correcto diseño de un paso de ralentizadores (pendiente, dimensiones, caudal en el paso) para una especie migradora dada no se puede realizar más que con la experiencia adquirida con pasos probados *in situ*.

El funcionamiento "hidráulico" de un paso puede determinarse estudiando un modelo reducido. El funcionamiento "biológico" es más difícil de apreciar y sólo puede estimarse en las presas existentes con un control riguroso, es decir, apuntando las condiciones hidráulicas cada vez que se capturan peces con trampas.

Beach (1984) desarrolla diversas ecuaciones para calcular las fuerzas a las que está sometido un pez en un paso de este tipo. También propone una fórmula para calcular la máxima velocidad del agua en el paso.

Se dispone de cierta libertad en la elección de las dimensiones de los ralentizadores, pero conviene anotar dos puntos importantes:

Un incremento de la dimensión de los ralentizadores, quedando la pendiente constante, se traduce en un aumento de la dimensión de las corrientes helicoidales y paralelamente en un aumento de las velocidades del agua. Si el tamaño de estas corrientes es importante puede disminuir la eficacia del paso. El pez tendrá tendencia a orientarse en relación a las componentes locales de la velocidad y a chocarse con los ralentizadores.

- Una reducción del tamaño de los ralentizadores también tiene inconvenientes, el funcionamiento hidráulico es proporcional a sus dimensiones.

Tiene gran interés establecer una relación longitud de pez/dimensión de ralentizadores lo más grande posible.

Un paso de ralentizadores no presenta zonas de reposo, el pez debe franquearlo de un solo esfuerzo. Así, cuando el desnivel es muy importante, el migrador debe realizar un esfuerzo intenso con una duración que puede rápidamente sobrepasar sus capacidades de resistencia. Conviene entonces instalar uno o varios estanques de reposo dentro del paso.

Un informe del "Committee on Fish Passes" de Gran Bretaña propuso en 1942 (Beach 1984) un paso ideal de ralentizadores con una anchura de canal de 0.91 m y deflectores colocados a una distancia igual a dos tercios de la anchura del canal (aproximadamente 0.6 m) y un ángulo de 45° con éste. Los estanques de reposo tenían 3 m de longitud, 2 m de anchura y 1.2 m de profundidad.

Los tramos de los pasos de ralentizadores deben ser rectilíneos, los cambios de dirección sólo se puede hacer a nivel de un estanque de reposo. Este debe poseer una longitud suficiente para que el caudal de agua no vaya chocando violentamente con las paredes (en particular en el caso de un cambio de dirección de 180°) o perturbe la formación de corrientes en hélice en el tramo siguiente. Generalmente es aceptable una longitud de estanque de reposo de 3 m.

La entrada del paso debe estar suficientemente sumergida para evitar una aceleración local y todo salto perjudicial al paso de los peces. Para evitar el riesgo de heridas, deben penetrar en el paso sin saltar. En las condiciones de estiaje, el ralentizador de la entrada debe estar sumergido en un valor al menos igual al nivel de agua en el ralentizador de la salida.

5.2.2.5.2. Tipos de pasos de ralentizadores.

- Paso de ralentizadores planos (fig. 35).

Este es el tipo de paso de ralentizadores más común. Ha sido ampliamente utilizado en la costa este de Estados Unidos para el salmón atlántico y en Europa (Francia, Gran Bretaña, Irlanda, Suecia) para el salmón y el reo. Su principal interés proviene de la simplicidad de construcción de los detectores, de forma plana y dispuestos formando un ángulo de 45° con el canal. La anchura del canal puede variar de 0.6 a 1 m, y la pendiente del 12 al 20%. Los ralentizadores suelen ser de chapa (de 8 a 10 mm de espesor), de madera o de hormigón (espesor máximo L/20, siendo L la anchura del canal).

Figura 35. [Paso de ralentizadores planos.](#)

Figura 36. Paso de ralentizadores tipo "Fatou".

Para los grandes salmónidos migradores se adoptan generalmente pendientes máximas del 20% y valores de L comprendidos entre 0.8 y 1 m. En algunas instalaciones se toman valores mayores de L (1.2-1.3 m). Es interesante elegir dimensiones de ralentizadores que obliguen a reducir la pendiente (de manera que se mantengan velocidades y niveles de aireación y turbulencia aceptables), pero se inhabilita así a los individuos más pequeños (aumento de la dimensión de las corrientes helicoidales y de la longitud del tramo).

Para los pasos específicos de trucha se eligen dimensiones de ralentizadores y longitudes de tramo muy reducidas. Los valores de L están comprendidos entre 0.5 y 0.7 m, con una pendiente máxima del 20%.

- Paso de ralentizadores de tipo "Fatou" (fig. 36).

El paso "Fatou" está directamente inspirado en el modelo original puesto a punto por Denil en 1909. Es muy eficaz desde un punto de vista hidráulico. Presenta dos grandes inconvenientes, por un lado su dificultad de construcción ligado a la forma de los ralentizadores y su sensibilidad a la obstrucción por ramas y otros cuerpos a la deriva. Por otra parte, la eficacia hidráulica de los ralentizadores hace que exista una energía cinética limitada que se traduce en un chorro de agua poco marcado en la entrada del paso, y por tanto una atracción moderada. Las condiciones de utilización son idénticas a las de los ralentizadores planos, pero se prefiere generalmente este último tipo.

- Paso de ralentizadores de fondo (fig. 37A).

Este paso tiene detectores de fondo que se colocan en un plano paralelo al del pasadizo. Pueden disponerse en bandas longitudinales yuxtapuestas en número indefinido. Conviene, para establecer el flujo, separar cada hilera de ralentizadores por una banda longitudinal de la misma altura. Este tipo de dispositivo ha sido utilizado en Bélgica y principalmente en Francia (Larinier 1992e). Los ralentizadores son de chapa (espesor de 8 a 10 mm) y su altura varía de 0.08 a 0.2 m. Para los grandes salmónidos migradores se adoptan generalmente alturas de ralentizadores entre 0.1 y 0.2 m, para una pendiente máxima del 15-16%. Para los pasos específicos de trucha se adoptan dimensiones y longitudes de paso más reducidas, con valores de altura de ralentizadores comprendidos entre 0.08 y 0.1 m, con una pendiente máxima del 15-16%.

Figura 37. [Tipos de pasos de ralentizadores.](#) A. Paso de ralentizadores de fondo. B. Paso de ralentizadores mixto.

Figura 38. Paso de ralentizadores tipo Alaska.

- Paso de ralentizadores mixto (fig. 37B).

Ciertos pasos de ralentizadores de fondo pueden utilizarse, mediante algunas modificaciones, para el paso de canoas y kayaks. En algunas ninicentrales es posible la construcción de una sola obra que sirva a la vez de dispositivo de franqueo para los peces hacia aguas arriba y para las canoas-kayaks aguas abajo. Es preferible instalar ralentizadores gruesos de madera a delgados de chapa, más peligrosos. Se eligen ralentizadores de forma simple y en ángulo, de sección cuadrada, donde la abertura tiene un ángulo de 90°. Las bandas longitudinales han sido ajustadas a un modelo inicial a fin de reducir la agresividad de los ralentizadores para la práctica de canoa-kayak (Larinier 1992e). Estas bandas longitudinales tienen por efecto acelerar el flujo y se limita en la medida de lo posible su anchura. Los ralentizadores tienen una sección cuadrada, de dimensiones que varían entre 8 y 15 cm, la más frecuente está en 10-12 cm. Se yuxtaponen varios ralentizadores de manera que se obtenga una anchura suficiente para el paso de embarcaciones (generalmente comprendida entre 1.4 y 2.1 m). La pendiente máxima admitida es del 15-16%. El mayor inconveniente de este dispositivo es que hidráulicamente es menos eficaz que el paso de ralentizadores de fondo, lo que se traduce en un margen de funcionamiento "biológico" muy reducido que depende de las capacidades de natación del pez.

Generalmente, se reserva este tipo de dispositivo a los grandes salmónidos migradores (talla superior a 40 cm), con la condición de que las variaciones de nivel aguas arriba queden limitadas. El margen de funcionamiento para el paso de grandes salmónidos deberá situarse entre 250 litros/s/m y 800-900 litros/s/m (que corresponde a una variación de nivel aguas arriba del orden de 30-40 cm). El margen de funcionamiento para la trucha es más débil (del orden de una decena de cm), por lo que el uso del dispositivo está limitado en esta especie.

- Paso de ralentizadores tipo Alaska (fig. 38).

Este tipo de paso se desarrolló para el salmón del Pacífico en los años sesenta en Alaska, a partir de un prototipo ensayado con un modelo. Es de pequeñas dimensiones (anchura 0.56 m, altura 0.7 m, anchura interior 0.35 m) y permite la utilización de pendientes fuertes del 25 al 35 %. Existen diversas variantes, diferentes en altura e inclinación de los ralentizadores laterales. Este modelo de paso fue desarrollado con el fin de equipar saltos naturales de Alaska situados en zonas difícilmente accesibles, donde la construcción de pasos de hormigón, sin excesivo coste económico, se hacía imposible (Beach 1984, Larinier 1992e). El dispositivo era prefabricado con elementos de aleación de aluminio (espesor de 6 mm) con un peso cercano a 240 kg, transportado por helicóptero e instalado en el sitio.

5.2.2.5.3. Interés de los pasos de ralentizadores.

El flujo de agua en los pasos de ralentizadores está caracterizado por una velocidad y una aireación importantes. Este tipo de paso está reservado a peces reófilos de gran talla como los grandes salmónidos migradores, la lamprea marina (que utiliza con una gran facilidad este tipo de dispositivo), las grandes truchas o los barbos. De manera general se destinarán estos pasos a los peces con tallas superiores a 30 cm. Pueden ser utilizados por especies de talla inferior como la trucha, siempre y cuando se reduzcan las dimensiones de los ralentizadores.

El esfuerzo que se requiere en estos dispositivos exige el dominio de la velocidad de sprint, que los peces no pueden mantener más que unos segundos. Esta es la razón limitante para los individuos de pequeña talla, que no tienen resistencia suficiente. Es perfectamente posible, adoptando ralentizadores de pequeñas dimensiones, adaptar la hidrodinámica del paso (velocidades, dimensiones de las corrientes helicoidales) a individuos de pequeña talla, situándole en el dominio de las velocidades sostenidas que el pez puede mantener durante decenas de segundos. Se terminan diseñando pasos de pequeñas dimensiones con todos los inconvenientes que eso acarrea, como caudales de

funcionamiento muy limitados (algunas decenas de litros/segundo), poca atracción, obstrucción y poca tolerancia a variaciones de nivel aguas arriba.

Se ha observado el paso de peces de pequeña talla por dispositivos de ralentizadores. Se han visto cuando el paso estaba sub-alimentado (caudal inferior al valor de llenado de las corrientes helicoidales) y funcionaba como un mini-paso de estanques, reposando los peces en el espacio inter-ralentizadores. En otros casos, cuando el paso está correctamente alimentado, es posible que ciertos peces de pequeño tamaño utilicen las zonas calmas entre los ralentizadores, consiguiendo franquear el paso progresivamente (Larinier 1992e).

5.2.2.6. Esclusas para peces.

Una esclusa de peces o esclusa "Borland" se compone generalmente de una cámara aguas arriba situada al nivel del embalse conectada a una cámara aguas abajo de grandes dimensiones por un conducto inclinado o pozo vertical. En cada extremidad de las cámaras se instalan compuertas automatizadas (fig. 39).

Figura 39. [Ascensor para peces.](#)

Figura 40. Esclusa para peces.

5.2-2-6.1- Funcionamiento.

El principio de funcionamiento de una esclusa de peces es muy similar al de una esclusa de navegación. Se atrae al migrador a la cámara aguas abajo y se sigue el mismo procedimiento que con un barco. Se incita al pez a salir de la esclusa creando en el interior una corriente descendente gracias a la abertura de un "by-pass" situado en la parte inferior del dispositivo.

El ciclo de funcionamiento se puede resumir así:

- Fase de atracción. La compuerta aguas abajo se abre, el caudal en la esclusa está controlado por la compuerta aguas arriba. El agua corre desde la cámara superior hacia la cámara de estabulación inferior, atrayendo así al pez hacia el interior.
- Fase de llenado y salida. Después de cierta duración de la fase de atracción, la compuerta aguas abajo se cierra y la esclusa se rellena. El pez encuentra entonces la superficie libre en el conducto, remonta y alcanza la cámara aguas arriba que está llena. Se incita al pez a pasar al embalse creando una corriente de atracción gracias a la abertura de un "by-pass" en la cámara inferior.
- Fase de vaciado. Al cabo de cierto tiempo se cierra la compuerta aguas arriba. El vaciado se efectúa progresivamente por el "by-pass". Cuando el vaciado es casi total se procede a la reapertura de la compuerta de la cámara inferior. Este vaciado progresivo por el "by-pass" permite evitar fuertes velocidades en la entrada de la esclusa que arriesguen la vida de los peces situados en las proximidades.

La duración total del ciclo puede variar de una a más de cuatro horas.

La concepción de una esclusa "Borland" es muy flexible y puede ser adaptada a diversos tipos de obstáculos y a alturas de salto variables de algunos metros a más de 60 m. Cuando el desnivel es inferior a 4-5 m es posible dejar abierto todo el sistema, incluso la cámara aguas abajo.

5.2.2.6.2. Eficacia.

La eficacia de una esclusa es función, como para todo dispositivo de franqueo, de su atracción. La entrada de la esclusa debe estar bien situada. Cuando el nivel debajo de la presa varía, se controla la compuerta inferior para conservar velocidades suficientes en la entrada. Es preferible iluminar la cámara inferior de manera que se asegure una transición del pez entre el medio exterior y la esclusa.

La eficacia de un dispositivo como éste está sin duda ligada al comportamiento del pez, que debe permanecer en la cámara inferior durante toda la fase de atracción, seguir el nivel del agua en la fase de llenado y salir de la esclusa antes del vaciado. Es necesario que las velocidades y turbulencias en el estanque de estabulación aguas abajo sean adecuadas para el pez. Se tiene que evitar un llenado muy rápido que produzca turbulencias excesivas y un fuerte arrastre de aire a la superficie que pueda incitar al pez a quedarse en la cámara inferior. Conviene dejar un tiempo suficiente al pez para salir de la esclusa a fin de evitar que vuelva hacia abajo en la fase de vaciado.

Las características óptimas del ciclo de funcionamiento están totalmente ligadas a la especie implicada. Sin embargo, es imposible determinar *a priori* cuáles serían las condiciones hidráulicas óptimas para los migradores. Conviene entonces dar al funcionamiento de una esclusa un máximo de flexibilidad (en la duración de cada fase del ciclo, en el grado y el tiempo de abertura de compuertas abajo y arriba, etc.).

A pesar de estas precauciones, numerosas esclusas se han mostrado poco o nada eficaces (Travade & Larinier 1992a). El mayor inconveniente de la esclusa es que su capacidad de paso es generalmente débil en comparación con un paso clásico, por el carácter discontinuo de su funcionamiento. El sistema es muy eficaz en la captura nada más que un tiempo determinado. En fase de llenado o salida no hay ninguna atracción al pie del dispositivo y el pez que se presenta en la entrada de la esclusa puede evitar la zona antes de que el ciclo comience de nuevo.

Las esclusas construidas en Estados Unidos en los primeros aprovechamientos del río Columbia han sido abandonadas, construyendo pasos de estanques en su lugar. De la misma manera, en Francia la mayor parte de las esclusas se juzgan ineficaces (algunas por razones evidentes de concepción) y también han sido reemplazadas por pasos de estanques.

Las dificultades, ligadas al comportamiento de ciertas especies, han sido solucionadas en Estados Unidos y Rusia de la manera siguiente: los migradores son atrapados en un gran estanque de estabulación situado al pie de la esclusa. Son dirigidos a ésta con la ayuda de una rejilla móvil fija a una plataforma corrediza, que se desplaza sobre railes horizontales a lo largo de las paredes laterales del estanque. Finalmente, otra rejilla móvil sigue el nivel de agua en periodos de llenado obligando a los peces a pasar aguas arriba.

Dado este grado de sofisticación, es preferible optar por un ascensor mecánico o un paso clásico.

5.2.2.6.3. Utilización de esclusas de navegación.

El paso de peces migradores por las esclusas de navegación suele ser accidental, teniendo en cuenta la carencia de atracción de estas obras, generalmente situadas en zonas relativamente calmas a fin de facilitar las maniobras de los barcos. Un estudio efectuado en Estados Unidos, en la presa Bonneville del río Columbia, mostró que menos del 15 % de los migradores recurrían a la esclusa instalada como medio de paso aguas arriba (Travade & Larinier 1992a). Por el contrario, más de 10000 sábalos transitaron por la esclusa de barcos situada en Beaucaire, en el río Ródano (Francia) en 1992 en 49 ciclos de captura. El caudal de atracción óptimo fue del orden de 60 m³/s, que corresponde a un porcentaje variable entre el 2 y el 8% de caudal turbinado (Travade & Larinier 1992a).

Las esclusas de navegación, a condición de ajustar su gestión, pueden constituir una alternativa interesante y nada despreciable en la concepción de dispositivos de franqueo en presas existentes. Es necesario crear una corriente de atracción suficiente en el canal de entrada aguas abajo de la esclusa. Esta atracción se crea generalmente manteniendo abiertas (parcial o totalmente) las compuertas de llenado, estando las puertas inferiores abiertas. Una vez la esclusa llena, es necesario mantener velocidades suficientes para incitar al pez a pasar aguas arriba. La salida del pez está asegurada por el mantenimiento de un caudal de varios m³/s en la esclusa y por la creación de un flujo de superficie obtenido alzando parcialmente la puerta superior.

5.2.2.7. Ascensores para peces.

En principio, un ascensor para peces es un sistema mecánico que consiste en capturar a los migradores al pie del obstáculo en una cuba, que contiene una cantidad de agua apropiada a su número, para después elevarles y liberarles aguas arriba de la presa (fig. 40).

5.2.2.7. 1. Funcionamiento.

Los inigradores son atraídos a un estanque de captura por un caudal de atracción. El dispositivo de captura está constituido en general por rejillas formando un dispositivo anti-retorno. Justo por debajo de esta jaula se dispone una rejilla vertical que impide la penetración de los peces por debajo de la cuba cuando ésta está en maniobra.

La elevación de la cuba está asegurada por un elevador eléctrico soportado por una superestructura metálica o de hormigón. La liberación aguas arriba se efectúa vaciando la cuba, a veces con la ayuda de una compuerta.

Existen dos maneras de liberar a los peces aguas arriba. Una es el desagüe directo de la cuba en el embalse y la otra es a través de un canalón de desagüe conectado al plano de agua, si el ascensor no está instalado a nivel del embalse. Se mantiene una corriente permanente en el canal para orientar a los peces e incitarles a alcanzar el embalse.

Cuando el número de peces que remontan es elevado y soportan mal el confinamiento (sábalo por ejemplo), se necesita un gran volumen en el estanque de estabulación. En este caso el dispositivo de captura se utiliza con dificultad pues su tamaño hace difícil la maniobra. Es posible remediarlo con un dispositivo diferente. Los peces son capturados y mantenidos en un estanque de gran tamaño en la entrada del cual hay un dispositivo antiretorno. Inmediatamente antes de la elevación, los peces son empujados por una rejilla móvil vertical instalada sobre un carro de desplazamiento horizontal que les concentra en la cuba. La misma rejilla, compuesta de dos trampas articuladas, asegura entonces la captura (trampa abierta dispuesta en forma de nasa) y la concentración (trampa cerrada formando una rejilla plana). Este sistema ha sido utilizado en Francia en los ascensores de Golfech (río Garona) y de Tuilières (río Dordoña) (Travade & Larinier 1992a).

El funcionamiento de estos dos tipos de ascensor es el siguiente:

Ascensor con dispositivo de captura integrado en la cuba.

Fase de captura del pez. La cuba está en posición baja, la rejilla de separación entre la superestructura del ascensor y la jaula de captura está abierta. Los peces, atraídos por la corriente de agua, remontan en la jaula donde son atrapados por el dispositivo anti-retorno,

* Fase de elevación de la cuba y desagüe. La rejilla vertical de separación impide el acceso de los peces hacia abajo. La cuba es elevada y vaciada aguas arriba.

* Fase de descenso de la cuba. Después del vaciado, la cuba desciende en posición de captura. La rejilla vertical de separación se vuelve a abrir.

Ascensor con concentración de peces mecanizada.

Fase de captura de peces. La cuba está en posición baja, la rejilla de separación entre la superestructura del ascensor y el estanque de estabulación está abierta. Los peces, atraídos por la corriente de agua, remontan naturalmente en el estanque y la sección situada por encima de la cuba. Son atrapados por el dispositivo anti-retorno situado en la entrada del estanque.

* Fase de introducción de peces en la cuba. La rejilla móvil de concentración avanza hacia la cuba y empuja a los peces por encima de ella. La velocidad de desplazamiento de la rejilla de concentración mecanizada es del orden de 5 a 15 m/minuto. Finalmente, la rejilla vertical de separación que impide el acceso de los peces por encima de la cuba se vuelve a cerrar.

Fase de elevación de la cuba. La cuba se eleva y se vacía aguas arriba. Durante ese tiempo, la rejilla móvil retrocede y vuelve a la posición de captura.

* Fase de descenso de la cuba. Después del vaciado, la cuba desciende en posición de captura. La rejilla vertical de separación está abierta de nuevo.

Las condiciones de instalación de un ascensor son similares a las de otros tipos de dispositivos de franqueo. La situación de la entrada es función de la configuración del sitio y el caudal de atracción debe estar a escala del curso de agua. El

desagüe en la entrada de la obra debe tener cierta velocidad para incitar a los peces a penetrar. Se debe mantener un salto de unos 0.2 a 0.3 m.

En el caso de los ascensores con dispositivo de captura incorporado a la cuba de elevación, puede ser interesante instalar el ascensor por encima de un paso de estanques corto o uno de ralentizadores. Esto permite reducir la altura a la que está situado el dispositivo antiretomo, protegiéndolo así de las riadas y limitando su mantenimiento.

Para los ascensores con dispositivo de captura incorporado a la cuba, el caudal de atracción es inyectado por encima de la jaula de captura. Para los ascensores con dispositivo de concentración tendrá interés repartir el caudal en varios puntos de inyección, una parte por encima de la cuba y otra sobre las paredes laterales del estanque. El agua es inyectada a través de rejillas con una velocidad inferior a 0.4 m/s.

Debe mantenerse una velocidad mínima de 0.6 a 1 m/s en el orificio de entrada para atraer al pez. Se adopta un volumen mínimo del orden de 6 litros/kg de pez elevado, de 2 a 6 litros/individuo para la trucha, 30 a 60 litros/individuo para el salmón y el reo y cerca de 10 litros/individuo para el sábalo. Se puede aumentar su eficacia anti-retorno disponiendo en cada orificio listones verticales articulados jugando el papel de trampilla o de válvula. Tienen que ser suficientemente ligeros para no entorpecer la entrada de los peces. Para los ascensores de concentración mecánica de peces donde las rejillas articuladas hacen a la vez función de nasa y de rejilla de concentración, la separación de las rejillas en posición de captura es del orden de 30 a 40 cm.

La naturaleza de las diversas rejillas que sirven para la inyección del caudal de atracción, el confinamiento de los peces en la estructura de captura, o la concentración de peces por debajo de la cuba, se determinan en función de las especies, su tamaño y el mantenimiento que requiera. Para impedir el estancamiento de los peces, las rejillas de malla cuadrada o rectangular o las rejillas de barrotes de sección rectangular son preferibles a las rejillas de barrotes de sección circular.

Se elige un espacio entre barrotes inferior a 5 cm dependiendo de la anchura de la cabeza de los peces más pequeños que se atrapen:

- 2.5 a 3.5 cm, para los peces de talla superior a 30 cm,
- 2 a 2.5 cm, para la trucha,
- 2.5 cm, para la lamprea,
- 0.5 cm, para la anguila.

La superficie de la rejilla deberá respetar el criterio habitual de velocidad de inyección de atracción suplementario en los pasos (velocidad máxima < 0.3 a 0.4 m/s).

Para las cubas de pequeño tamaño (300 a 800 litros) de ascensores de salmónidos el vaciado de la cuba se realiza fácilmente por basculamiento. En las cubas de gran volumen es necesaria una compuerta de vaciado.

Las dimensiones de las estructuras del ascensor tienen que tener en cuenta los siguientes criterios: volumen de agua mínima disponible por pez, velocidades de flujo y dimensiones mínimas de la estructura (longitud, anchura, profundidad) ligadas a la especie.

Se elige un volumen de agua del orden de 15 litros por kg de pez atrapado, 5 a 15 litros por individuo para la trucha, 80 a 150 litros para el salmón y el reo, y cerca de 30 litros por individuo para el sábalo.

Las dimensiones mínimas de la estructura son las siguientes (longitud x anchura x profundidad):

- salmón: 2.5 m x 1.5 m x 1 m (3.75 m³),
- trucha: 1.5 m x 1 m x 0.8 m (1.2 m³),
- sábalo: 5 m x 2.5 m x 1.5 m (18.7 m³).

El vaciado de la cuba en el plano de agua o en el canal de transferencia se debe hacer en una zona suficientemente profunda y ancha para evitar los choques de los peces con las paredes o con el fondo. El punto de desagüe será elegido de manera que se impida la entrada de los peces con capacidades de natación reducidas en las turbinas o en los vertederos. Se deben evitar de igual manera las zonas de recirculación o de turbulencias que desorienten al pez.

Si es necesario un canalón de desagüe para guiar a los peces a salir de la cuba, deberá ser perfectamente liso y de sección circular. El canal de transferencia también debe ser suficientemente largo y profundo para no ocasionar perturbaciones en el comportamiento de los peces. Se adoptará una anchura mínima de 0.5 m para la trucha, 1 m para el salmón y 1.5 m para el sábalo. La velocidad de flujo debe incitar al pez a remontar, adaptándose velocidades comprendidas entre 0.3 y 0.6 m/s. Para evitar que los peces se hieran o choquen, la altura del salto entre el punto de desagüe y el plano de agua no debería exceder de unos 5 m.

5.2.2.7.2. Interés de los ascensores.

Los criterios de concepción de los ascensores resultan esencialmente de la experiencia adquirida en la costa este de Estados Unidos y en Francia (Travade *et al.* 1992).

La elección del tipo de ascensor depende del número de peces y las especies susceptibles de ser atrapadas por la obra.

El primer tipo de ascensor está adaptado a sitios donde el número de peces presentes simultáneamente en el paso no pasa de algunas decenas de individuos, y no existen especies frágiles con riesgo de sufrir grandes daños o estrés. Por regla general, está perfectamente adaptado a poblaciones de salmónidos (salmón, reo, trucha) en los que la migración anual no excede de algunos millares de individuos. No obstante, la obra debe situarse en una parte del curso de agua donde el número de individuos de especies potamodromas susceptibles de remontar la obra sea reducido (pequeños cursos de agua o partes superiores de grandes cursos de agua de salmónidos migradores). Este tipo de ascensor no está indicado para el sábalo, teniendo en cuenta la fragilidad de la especie y su modo de migración "en picos". Es también posible adaptar este tipo de ascensor a sitios donde las migraciones son numéricamente importantes, pero se necesita la instalación de una

jaula de gran tamaño, por ejemplo el aprovechamiento de Pejepecot en el río Androscoggin en Estados Unidos (Travade & Larinier 1992a).

Cuando el número de peces presentes simultáneamente en la obra es elevado (algunas centenas a algunos millares de individuos) y están presentes especies frágiles como el sábalo, es más sensato utilizar un ascensor con dispositivo de concentración. Este es el caso de la parte inferior de grandes cursos de agua donde, además del sábalo, varias decenas de miles de peces pertenecientes a especies potamodromas son susceptibles de remontar la obra. Por ejemplo, en el ascensor de Golfech (Francia) se contaron en 1989 más de 66 000 sábalos (con un peso del orden de 120 toneladas) y alrededor de 30 000 individuos pertenecientes a unas veinte especies diferentes (Travade *et al.* 1992).

Las principales ventajas de los ascensores de peces en comparación con otros tipos de pasos residen en su coste de construcción, prácticamente independiente de la altura del salto a franquear, en su débil estorbo o congestión, y en su menor sensibilidad a las variaciones de nivel de agua aguas arriba de la presa. Pueden ser muy eficaces para ciertas especies que presentan dificultades remontando los pasos clásicos, como el sábalo por ejemplo.

Según Warren & Beckman (1993) los ascensores son útiles para el esturión, que rara vez asciende por las escalas de peces. Estos autores encuentran que en la presa de Bonneville (río Columbia, Estados Unidos), dotada con tres ascensores y cuatro escalas para peces, el éxito de los ascensores con el esturión era mucho mayor que con las escalas. En Rusia, aunque las presas tienen escalas tradicionales, son impracticables para los grandes esturiones. Sin embargo, se han construido dos ascensores específicos para diferentes especies de esturión en la presa Volgograd, en el río Volga, alcanzando un gran éxito.

La eficacia de los ascensores para las especies de pequeño tamaño como la anguila es generalmente parcial porque es imposible utilizar, por razones de explotación, rejillas suficientemente finas.

Sus principales inconvenientes residen en su explotación, en los costes elevados de funcionamiento y en la posibilidad de avería de los dispositivos.

5.2.2.8. Dispositivos de franqueo para sábalos.

En los últimos años, en países como Francia o Estados Unidos, se ha observado que la mayor parte de los pasos de peces son ineficaces para el sábalo, el cual ha sufrido una rarefacción e incluso desaparición en los ríos de estos países (Larinier & Travade 1992).

El sábalo es peor nadador que el salmón o el reo. Cuando la distancia a franquear supera algunas decenas de metros, velocidades del orden de 2 m/s constituyen una seria dificultad para estos peces.

El sábalo es un pez de superficie que se desplaza en bancos. Conviene ofrecerle dispositivos de franqueo suficientemente grandes para evitar destruir los bancos. El sábalo parece buscar vías de agua en redes paralelas con velocidad importante. Evita en la medida de lo posible zonas turbulentas en las que se mueve con bastante más dificultad que los salmónidos. No salta como lo hacen la mayor parte de los salmónidos y no franquea generalmente los obstáculos más que nadando. Su comportamiento en los pasos de peces está caracterizado por idas y venidas frecuentes, ya que un banco entero puede quedar atrapado por determinados flujos.

La observación visual en diversas localidades así como diferentes estudios de radioseguimiento permiten poner en evidencia el hecho de que el sábalo se muestra mucho menos activo que los salmónidos al pie de un obstáculo y puede quedar bloqueado durante largo tiempo en una zona de atracción.

El sábalo por otra parte muy sensible a variaciones grandes de luminosidad. Parece indispensable iluminar las partes subterráneas y las zonas sombreadas de los dispositivos de franqueo.

Los pasos de estanques pueden resultar eficaces para el sábalo con un cierto número de precauciones. No se deben utilizar orificios de fondo, ya que tiende a quedar atrapado en las contracorrientes situadas en superficie por encima de los orificios. Algunos dispositivos de orificios sumergidos han tenido que ser abandonados en la costa oeste de Estados Unidos debido a los bloqueos y muertes observados.

Cierto número de observaciones muestran que es fácil que el sábalo permanezca atrapado en los rincones y en las zonas de recirculación dentro de un paso. En consecuencia, es importante minimizar estas zonas perjudiciales al funcionamiento hidráulico del paso, en particular en los estanques muy voluminosos donde se crea un cambio de dirección del flujo. Como es difícil eliminar estas zonas, es posible impedir el acceso del pez con la ayuda de rejillas.

Existen en Francia, Estados Unidos y Canadá diversos pasos de ralentizadores para el sábalo. La observación muestra de manera evidente que el sábalo supera un poco peor que los salmónidos los flujos en hélice característicos de estos dispositivos.

Se han efectuado diversos estudios para comparar las eficacias en un mismo obstáculo de los pasos de ralentizadores y de estanques. Por ejemplo, en Canadá, los experimentos han mostrado que los sábalos utilizan antes el paso de ralentizadores que el de estanques instalado en las proximidades. Este resultado puede atribuirse por una parte a la gran atracción del paso de ralentizadores, y por otra a la estrechez del paso de estanques, menos apropiado al sábalo que el otro tipo de dispositivo. Estos resultados se tienen que interpretar con mucha precaución, ya que serían diferentes si se ampliaban las dimensiones de los estanques (Larinier & Travade 1992).

La captura de sábalos en ascensores o esclusas en un volumen de agua restringido y de corta duración puede producir mortandades importantes. Las esclusas Borland clásicas no se suelen utilizar en la medida en que su eficacia depende del comportamiento de la especie.

La eficacia de los pasos para sábalos es menor que para los salmónidos. Si para éstos existe una eficacia del 90 al 100%, para el sábalo una eficacia de un 75% es excepcional, 50% es excelente y 10-20% frecuente.

5.2.2.9. Pasos para anguilas.

A causa de sus capacidades de natación limitadas, el paso de la anguila por dispositivos disecados para otras especies no es posible. Los pasos de estanques sucesivos con orificios sumergidos (posibilidad de paso sin salto), con desniveles

débiles entre estanques <0.2 m), son accesibles a esta especie, pero se tiene poca información de su eficacia. Las trampas de control de estos pasos no están normalmente adaptadas para la captura de individuos de pequeña talla como la anguila. Un manejo particular de estos pasos, por ejemplo colocando estructuras muy rugosas como cepillos en la parte profunda de las escotaduras, podría mejorar el paso de esta especie por ciertos tipos de obras.

Se pueden distinguir dos grandes categorías de actuación en las fases de migración de la anguila: las intervenciones en obras de estuario y los pasos de anguilas. Las primeras se enfocan sobre las presas de estuario sometidas a mareas, donde el nivel del agua en marea alta es superior al nivel del agua aguas arriba de la obra. En la primera fase de migración continental, las anguilas utilizan las corrientes de las mareas para progresar río arriba. Las obras de estuario representan los primeros obstáculos en la colonización del medio continental. Las anguilas se acumulan en la parte inferior de estos obstáculos. Para reducir su impacto, la destrucción total de la presa parece la solución más radical. Pero, estas obras tienen objetivos hidráulicos, ya que limitan la anegación de terrenos por aguas salobres. Las acciones sobre estas obras pueden ser una solución transitoria, pues contribuyen al franqueo de obstáculos por las anguilas. Este tipo de intervención se lleva a cabo a nivel de las compuertas durante la marea alta. Las maniobras parciales de éstas permiten el tránsito de anguilas río arriba. La gestión particular de las obras debe ser desarrollada en el periodo de migración de esta especie, que depende de la situación geográfica del estuario.

Las capacidades de escalada y de reptación sobre zonas húmedas con asperezas son utilizadas para concebir pasos migratorios para las anguilas. La reptación representa una posibilidad de franqueo específica de la anguila. Su morfología serpentiforme, su gran flexibilidad vertebral así como su resistencia fuera del agua le permiten salir de ésta para rodear el obstáculo. Sørensen (1951) proporciona un rango de velocidades con las que la anguila puede franquear un paso. McCleave (1980) propone diversas ecuaciones de velocidad de natación para anguilas. El franqueo del obstáculo es posible por la disposición, en la proximidad de una zona de estacionamiento de los migradores, de una rampa equipada de un material que facilite su progresión. En diversos países han sido instaladas obras de franqueo de geometría variada (planos inclinados, canales, tubos, etc.) (Porcher 1992).

La noción de atracción de pasos está, en el estado actual de conocimientos, menos definida para la anguila que para otras especies. Es conveniente poner la entrada del paso de anguilas lo más cerca del obstáculo, cerca del punto de remonte máximo de los migradores. La localización en la orilla parece la más favorable, pero debe ser precisada en función de la gestión de la obra y de las zonas potenciales de acumulación de anguilas. Si el desnivel es importante, se pueden disponer estanques de reposo regularmente entre las rampas del paso.

En los grandes cursos de agua, la instalación de diversos dispositivos debe ser considerada por tener en cuenta a la vez la multiplicación de zonas de llegada de migradores y los efectivos que transitan por la obra en un periodo reducido.

La presencia de anguilas ha sido observada en las cercanías de pasos de peces disecados para otras especies. Es posible aprovechar la atracción creada por tal obra asociando una rampa equipada de un material adecuado (fig. 41).

Figura 41. Canal para anguilas asociado a un paso de estanques sucesivos. .

5.2.2.9.1. Tipos de pasos para anguilas

- Instalaciones rústicas (fig. 42).

Una ligera modificación de la configuración del obstáculo permite restaurar las posibilidades de franqueo. En presas de vertedero o rampas de molino, una instalación rústica en las orillas del vertedero permite mejorar el paso. Los trabajos consisten en restaurar las zonas de reptación y aumentar las irregularidades en las orillas y sobre la cresta del obstáculo. Las zonas de reptación tienen que ser accesibles a las anguilas sean cuales sean las fluctuaciones de nivel aguas arriba y aguas abajo de la presa. Deben ser situadas en las zonas de acumulación de anguilas en migración. Cuando las presas son largas, deben instalarse varias zonas de tránsito (Legault 1993).

- Canales para anguilas (fig. 43).

Son pasos exclusivos para esta especie. Pueden ser instalados en todas las presas y sólo el desnivel puede limitar su interés. Estos pasos permiten el libre franqueo, y además los dispositivos pueden integrarse en la obra. Los canales en zig-zag son más efectivos.

Los canales de anguilas se componen de dos partes:

* La rampa de subida, con la parte inferior sumergida en el plano de agua. Esta rampa está cubierta de un material que facilita la progresión de los animales, de naturaleza variable según las regiones o los países. Se mantiene húmeda permanentemente, bien por agua que cae por gravedad o regándola. El débil caudal necesario para la irrigación del sustrato (algunos litros/minuto) se completa con un caudal mayor, inyectado en las cercanías de la rampa y destinado a atraer a los migradores hacia la entrada del paso.

La parte superior, configurada para permitir el acceso de los migradores al plano superior del agua. Conviene asegurar en esta zona una transición tal que no bloquee a los migradores, ya sea por una discontinuidad en la alimentación de agua, o por la presencia de zonas de velocidad de flujo excesiva que empuje a los migradores hacia abajo.

Los dispositivos utilizados en Francia y otros países utilizan rampas de una anchura de 0.2 a 1 m, para una pendiente generalmente comprendida entre el 5 y el 45 %. Los sustratos utilizados varían según los países. Pueden ser de origen natural (guijarros, ramas, brezo, paja) o artificial (rejilla, cepillo, etc). Los sustratos naturales necesitan un mantenimiento más frecuente y deben ser reemplazados periódicamente.

Figura 42. Instalación rústica para facilitar el paso de anguilas en obstáculos de pequeña altura.

Figura 43. Canal para anguilas.

Un experimento realizado en Francia (Porcher 1992) sobre sustrato de tipo cepillo ha mostrado que el funcionamiento del dispositivo depende de las dimensiones del sustrato y de la pendiente de la rampa. Estos factores deben ser elegidos en función del tamaño de los migradores presentes en la localidad. Actualmente, los sustratos en cepillo utilizados en Francia son de dos tipos: a) tipo anguila, cuando la distancia entre los haces es de 7 a 14 mm, y b) tipo anguila, cuando la distancia es de 21 mm.

El principal problema encontrado está ligado a las fluctuaciones de nivel aguas arriba. El descenso del nivel es susceptible de crear una desecación del dispositivo de franqueo. Por el contrario, su aumento puede desembocar rápidamente en un exceso de alimentación de la rampa de subida, y en la aparición de velocidades de agua excesivas.

Este problema se puede solucionar mediante tres procedimientos diferentes:

La rampa de subida puede presentar un desnivel lateral, una zona con un débil curso de agua y con una velocidad de desagüe moderada. Este desnivel permite mantener zonas de reptación en una amplia gama de fluctuaciones de nivel del embalse. Para cubrir las variaciones de nivel de agua, pueden agruparse varias rampas de este tipo a dos niveles diferentes (fig. 43).

* El dispositivo puede instalarse en una cota más baja que el nivel mínimo del embalse. El paso al plano de agua superior es posible a través de un lecho de ramas colocado debajo de una compuerta, con el fin de disminuir localmente las velocidades de desagüe (fig. 44).

* La extremidad superior de la rampa de subida puede colocarse en una cota superior al nivel máximo del embalse. La rampa está irrigada por bombeo o aspersión. Los migradores que llegan a lo alto de la rampa entran en un plano inclinado en sentido inverso, cayendo así al plano de agua o en un vivero de almacenaje, que permite capturarlos para su transporte o conteo (fig. 45).

- Pasos mixtos.

En ciertos sitios la restauración de vías de migración puede estar asociada a la utilización recreativa del río, como la práctica de canoa-kayak. Una instalación única permite responder a este doble interés. Estas instalaciones son los pasos mixtos, eventualmente asociados a ríos artificiales. Por otra parte, los dispositivos pueden ser utilizados por otras especies piscícolas como los salmónidos.

Figura 44. [Sistema para solucionar el problema del caudal en los pasos para anguilas.](#) .

Figura 45. [Sistema para solucionar el problema del caudal en los pasos para anguilas.](#) .

- Sistemas de bombeo.

Mediante tuberías de plástico se bombea a los migradores aguas arriba de la presa. Este sistema tiene el inconveniente del gran coste económico, la necesidad de filtros y el mantenimiento constante.

Cerrar Ventana

El Ministerio de Medio Ambiente agradece sus comentarios. Copyright ? 2003 Ministerio de Medio Ambiente