



Conservación de la Naturaleza | Acciones

◀ Especies amenazadas | Vertebrados

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/m^3),

p es la masa del agua ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$),

g es la aceleración de la gravedad,

Q es el caudal en el paso (m^3/s),

C es la caída entre dos estanques (m),

V es el volumen de agua en el estanque considerado (m^3).

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 $200 \text{ vat}/\text{m}^3$. Para pasos pequeños y pasos de sábalos y ciprínidos conviene tomar valores menores, inferiores a $150 \text{ vat}/\text{m}^3$.

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 m' para los grandes salmónidos migradores y los peces de gran talla, y de 0.04 m' 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,

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

donde, Q es el caudal (m³/s),

b es la anchura de la escotadura (m),

H_l 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,

C_d 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$, 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 m^3/s en la esclusa y por la creación de un flujo de superficie obtenido alzando parcialmente la puerta superior.

Cerrar Ventana