



Diseño de escalas para peces

Apellidos, nombre	Romero Gil, Inmaculada (inrogi@dihma.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA)
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

Uno de los principales impactos de las presas sobre las poblaciones de peces es el denominado **efecto barrera**. Los peces exigen medios diferentes para el desarrollo de las fases principales de su ciclo biológico: reproducción, producción de juveniles, crecimiento y producción de reproductores. Por ello, la posibilidad de circular de un medio a otro es obligatoria para la supervivencia de la especie. Así, es fundamentalmente plantear medidas que minimicen dicho efecto. Una de estas medidas son las **escalas para peces**.


Al analizar el efecto de un obstáculo sobre las poblaciones de peces hay que tener en cuenta la capacidad de franqueo de las especies afectadas, las características del propio obstáculo y su variación con el régimen de caudales. En función de esos condicionantes podremos elegir y diseñar correctamente la escala para peces.

2 Objetivos

A partir del estudio de este documento, serás capaz de diseñar correctamente una escala para peces.

3 Introducción

La existencia de una presa en un cauce actúa como un obstáculo o barrera al movimiento de los peces hacia aguas arriba o hacia aguas abajo del embalse. Genera el denominado **efecto barrera**. Y este efecto puede llegar a ser en muchas ocasiones muy significativo.



Estos obstáculos creados por las presas son la causa de la desaparición de stocks enteros (salmón del Rin, del Sena, del Garona,...) o del acantonamiento de algunas especies en una parte muy reducida de una cuenca hidrográfica (salmón del Loira, alosa del Garona o la del Ródano...).

En otros casos, el efecto es tan importante que se llegan a plantear medidas más drásticas. En el Río Columbia llegaron a eliminar las presas para recuperar el salmón del Pacífico pues generaba más riqueza la pesca deportiva del salmón que la generación de energía.

4 Desarrollo

En un Estudio de Impacto Ambiental debemos valorar los efectos ambientales de la obra en cuestión, una presa por ejemplo, y plantear medidas que puedan evitar, minimizar o restaurar los efectos. Para el caso del efecto barrera, generalmente la medida adecuada es la implantación de **pasos para peces o dispositivos de franqueo** [1].

Existen diversos tipos de dispositivos que pueden diseñarse, dependiendo fundamentalmente de las especies de peces que queramos proteger. Si en nuestro caso concreto tenemos diversas especies, deberemos elegir y diseñar el dispositivo para la especie más crítica y con mayores restricciones.

En los siguientes apartados veremos los condicionantes que debemos tener presentes y los aspectos imprescindibles para diseñar correctamente un paso para peces.

4.1 Capacidad de franqueo de las especies afectadas


Para franquear un obstáculo, el pez ha de ser capaz de desarrollar una velocidad de natación superior a la del agua, durante un tiempo suficiente para superar el obstáculo, o bien, en el caso de que éste no pueda ser sobrepasado nadando, ha de realizar un salto lo suficientemente alto y largo para evitarlo.

Las **capacidades de natación y salto** de un pez dependen a su vez de varios factores. En primer lugar, varían según las especies. Entre los peces ibéricos que son capaces de desarrollar mayor velocidad de natación nos encontramos los salmónidos y los ciprínidos reófilos (pe. barbos). Las mismas especies citadas pueden saltar con facilidad, mientras que otras no saltan o se muestran muy reacias a ello (pe. sábalos y alosas, lampreas, esturiones).

El **tamaño** del pez, dentro de una misma especie, está directamente relacionado con su velocidad máxima de natación y con su capacidad de salto, y también con el tiempo durante el que es capaz de mantener dicha velocidad. Todas ellas aumentan con el tamaño del pez.

Este concepto resulta de la mayor importancia, pues un obstáculo puede ser sobrepasado por algunos de los individuos de mayor tamaño, y dar la impresión de ser franqueable para la especie en cuestión. La importancia de un obstáculo debe evaluarse por el número de peces que no consiguen franquearlo, y no por el de los que lo superan. En el caso de migraciones de reproducción, es importante garantizar el paso de todos los individuos que hayan alcanzado la madurez sexual.

Por último, las **condiciones fisiológicas** del pez (enfermedades, estado reproductivo, estrés, etc.) pueden afectar significativamente a la capacidad de franqueo de obstáculos.



Supón que debes estudiar la manera de proteger los peces que tienes en un cauce. Para eso realizas el inventario ambiental de tu tramo de cauce y te encuentras con que pueden existir dos especies de salmónidos distintas, A en estado adulto y B en estado alevín.

La especie A es capaz de saltar en estado adulto 15 cm y puede superar velocidades de 0.10 m/s. La especie B es capaz de saltar en estado adulto 25 cm, pero en estado alevín sólo salta hasta 10 cm y nada hasta velocidades de 0.30 m/s.

¿Para qué especie te plantearías diseñar el paso?

La **temperatura** del agua tiene una incidencia muy importante en la capacidad de franqueo de obstáculos por parte de un pez, al afectar tanto a su metabolismo como a las características físicas del agua (viscosidad, por ejemplo). Mientras que la velocidad máxima aumenta con la temperatura del agua de forma muy notable (pe. para una trucha de 20 cm, prácticamente se duplica al pasar la temperatura de 5°C a 15°C), el tiempo de resistencia disminuye (pe. en el caso anterior, disminuye del orden de cinco veces). La consideración conjunta de ambas variables determinará la capacidad de tránsito del pez por el obstáculo considerado.

4.2 Características del obstáculo y régimen de caudales

El hecho de que un obstáculo sea franqueable o no, no depende exclusivamente de su altura, sino también de las condiciones hidrodinámicas al pie del obstáculo (velocidad y profundidad del agua, configuración de los chorros de corriente, turbulencia, etc.) en relación con la capacidad de natación y salto de la especie en cuestión. Por ello juegan un papel muy importante la geometría del obstáculo y el caudal que circula por el río. Este aspecto es particularmente importante en obstáculos de escasa altura (menores de 1-1.5 m).

Para que un obstáculo sea franqueable debe existir una lámina suficiente de agua en las paredes del azud como para permitir la natación del pez, y se necesita una poza a pie de obstáculo, con condiciones admisibles de turbulencia, en la que el pez pueda tomar impulso. Además no deben de existir cambios de pendiente a lo largo del perfil de la pared del azud. Estas tres condiciones varían en función del caudal, por lo que obstáculos que por su naturaleza son franqueables durante una época del año (pe. pequeños azudes en época invernal), pueden resultar no serlo en otras épocas, o serlo sólo para determinadas especies o individuos de cierto tamaño. No se debe subestimar el impacto de estos obstáculos temporalmente infranqueables, por cuanto pueden originar retrasos en las migraciones, obligando a los peces a permanecer en tramos de río poco adecuados, modificando la sincronía entre los fenómenos de migración y maduración sexual, o provocando heridas y estrés en los individuos que intentan repetidamente su franqueo en condiciones desfavorables. También es importante tener en cuenta que en el mismo tramo de río pueden convivir varias especies que desarrollen movimientos migratorios durante distintas épocas del año.

Incluso asegurando que esta barrera pueda ser franqueada por los peces, mediante los métodos que veremos a continuación, no se evitan todos los efectos derivados de la barrera que supone una presa. En primer lugar hay que tener en cuenta que, por muy adecuado que sea su diseño, un dispositivo de paso en una presa nunca resultará completamente permeable al paso de los peces. De otra parte, el franqueo de un paso suele imponer retrasos en la migración y un aumento del desgaste físico del pez (haciéndolo más susceptible a las enfermedades y a la depredación). Ello puede alterar la sincronización entre los procesos de maduración sexual y migración, afectando al éxito reproductor, especialmente cuando se acumulan en una cuenca fluvial un obstáculo tras otro.

Un primer problema que se presenta es la localización del obstáculo. Tanto en las migraciones aguas arriba como en las de aguas abajo la corriente orienta a las comunidades de peces. Estos nadan contra la corriente en las migraciones aguas arriba, y tienden a derivar pasivamente con ella durante las migraciones aguas abajo. Mientras que en la migración aguas arriba la corriente puede seguir siendo aprovechada para dirigir a los peces hacia la entrada de los dispositivos de paso (la denominada "llamada" de un paso), en el caso de la migración aguas abajo esta posibilidad desaparece con el embalse.

Si no existen dispositivos de corrección, el paso del obstáculo ha de realizarse a través de vertederos en lámina libre u orificios de fondo en el azud (siendo preciso en ambos casos que circule caudal por ellos), o (lo que sucede con mayor frecuencia) a través del canal de descarga de la central, previo paso a través de las turbinas.

4.3 Tipos de dispositivos de franqueo

4.3.1 Migración hacia aguas abajo

Para la migración hacia aguas abajo, generalmente se utilizan estructuras de bypass, ubicadas aguas arriba de las turbinas hidroeléctricas. Los peces son desviados de la entrada a la turbina, manteniendo a la vez un adecuado caudal para asegurar la correcta operación de la misma. Los peces son desviados hacia un canal de descarga permitiendo su migración aguas abajo. Existen dos tipos de dispositivos para limitar o dirigir el paso de los peces en las presas y tomas de agua: las barreras y los canales de desviación.

- A) **Barreras.** Modifican la trayectoria de los peces, ya sea turbinas o canales de derivación. Pueden ser barreras físicas o de comportamiento.
- Las barreras físicas consisten simplemente en rejas o rejillas de aberturas de tamaño menor a las dimensiones del pez que les impide el paso. Existen diferentes tipos, temporales, tipo Eicher, hidrodinámicas, estáticas, rotatorias,...
 - Las barreras de comportamiento provocan un cambio de comportamiento (atracción, repulsión, guía) en los peces que conduce a un cambio en sus trayectorias. Tienen un bajo coste y están indicadas sobre todo para pequeños peces que son difíciles de proteger con barreras físicas. Según el estímulo (visual, auditivo, hidrodinámico o eléctrico) nos encontramos con diferentes tipos, pantallas de burbujas, pantallas luminosas de atracción o de repulsión, pantallas sonoras y pantallas eléctricas.
- B) **Canales de desviación.** Sea cual sea el dispositivo utilizado para evitar que los peces pasen por ejemplo hacia las turbinas, debe existir un desvío alternativo que permita a los peces rodear el obstáculo y llegar a su medio de origen sin sufrir daños. Se puede aumentar la atracción utilizando la luz, ya que una gran parte de la migración se realiza por la noche. El transporte aguas abajo se hace por medio de conductos o canales en los que se debe evitar todo tipo de choques, obstáculos, rugosidades, ángulos bruscos, ... La entrada debe estar situada lo más cerca posible de la zona de desviación.

4.3.2 Migración hacia aguas arriba

Para minimizar el efecto barrera, una de las soluciones puede ser también la demolición del obstáculo, que suele ser lo más efectivo y económico [1]. Si no se plantea la demolición, deberemos incluir algún tipo de dispositivo de franqueo que debe ser capaz de atraer a los migradores a un punto determinado de un curso de agua abajo del obstáculo. Posteriormente debemos incitarles, o incluso obligarles, a pasar aguas arriba abriéndoles una vía de agua (vías en sentido estricto) o atrapándolos en una cuba y vertiendo ésta aguas arriba (ascensores y sistemas de captura y transporte). Para ello el pez debe encontrar la entrada, franquearla sin retrasos, estrés o heridas perjudiciales para la migración. Existe una gran variedad de estructuras de paso pensadas para salvar todo tipo de situaciones. Una clasificación sencilla sería:

- A) **Pasos rústicos.** Comprenden actuaciones emprendidas en obstáculos de pequeño tamaño, de altura limitada y con pequeñas pendientes. Pueden consistir en una abertura de una brecha en el obstáculo, en un canal en diagonal sobre la falda del obstáculo, en una compuerta, etc.
- B) **Escalas de "Artesas" o de diques sucesivos.** Es el tipo de vía que se utiliza más. Consiste en una serie de estanques que parten del pie del obstáculo y llegan hasta el tramo situado aguas arriba. Los tabiques que separan los estanques están provistos de aliviaderos, orificios o hendiduras verticales por las que transita el agua que fluye en la



- vía y que controlan el nivel del agua en cada estanque. Los estanques juegan un papel doble, pues aseguran una disipación adecuada de la energía en el agua que transita en la vía y asegura la existencia de zonas de reposo para los peces. El desnivel entre dos estanques sucesivos está en función de las especies migratorias consideradas. La pendiente de una vía de estanques varía normalmente entre el 10 y el 15%.
- C) **Escalas con ralentizadores.** En las escalas con ralentizadores, o “Denil” por el nombre de su inventor, se dispone en el fondo y/o en las paredes de un canal con una gran pendiente (hasta el 20%) deflectores con formas más o menos complejas destinados a reducir las velocidades medias creando corrientes helicoidales.
- D) **Esclusa de peces.** La esclusa de peces (o esclusa “Borland”) funciona siguiendo un principio similar al de una esclusa de navegación. Los migradores son atrapados en la cámara de la esclusa y luego se les da paso como se hace con un barco. Se utilizan para cualquier desnivel y normalmente cuando las poblaciones piscícolas de la zona son malas nadadoras [1].
- E) **Río artificial.** La vía del tipo “río artificial” consiste en unir dos tramos fluviales mediante un canal excavado en una de las orillas. Su fondo y paredes están provistos de rugosidades y obstáculos, que en cierto modo reconstruyen las condiciones que se dan en un cauce natural. La pendiente de una obra de este tipo no puede, sin embargo, superar unos pocos tantos por ciento. Su implantación, debido a la longitud que necesita, es a menudo problemática, aunque se integra bien en el paisaje natural.
- F) **Ascensor.** Los peces son atraídos a un recinto y después elevados como si fuesen un barco. Una vez introducidos los peces en el interior de un compartimento donde acuden atraídos por una corriente de agua, se procede a la inundación de dicho compartimento, cerrando la abertura de salida e incrementando el flujo de entrada. Cuando el nivel de agua en el depósito interior alcanza el nivel superior del río, los peces pueden abandonar el recinto impulsados por simples dispositivos flotantes colocados bajo ellos. Suelen utilizarse en el caso de grandes desniveles [1, 2].
- G) **Traslado en cubas.** Generalmente sólo es recomendable para especies en peligro de extinción por su gran coste. Debemos asegurar y mantener las condiciones adecuadas de temperatura y oxígeno en el interior de las cubas.

¿Recuerdas las dos especies que hemos visto anteriormente, A en estado adulto y B en estado alevín? Si la altura de tu obtáculo es de 4.5 m ¿Qué tipo de dispositivo elegirías?

4.4 Diseño de escalas piscícolas

Ya hemos visto que existen diversos tipos de escalas piscícolas. Sin embargo nos restringiremos al diseño de las **escalas de "Artesas" o de diques sucesivos** debido a que su uso generalizado asegura una mayor eficacia, son fáciles de construir y es sencillo comprobar su adecuado funcionamiento [3, 4]. Las escalas de artesas son las que mejor se ajustan a las especies reófilas, nadadoras en la columna de agua y de cuerpo fusiforme y alargado (salmónidos, barbos, bogas, cachos), dominantes en los tramos fluviales afectados por presas. Cuando se hace frente a varias especies migratorias este tipo de escala es normalmente la mejor solución. Se debe dimensionar la vía para la especie más exigente (en términos de caída entre los estanques, velocidades, potencia volumétrica disipada...) [5].

Estas escalas consisten en una serie de artesas o depósitos dispuestos sucesivamente uno después de otro, y comunicados entre sí por vertederos. En la figura 1 podemos ver un esquema de este tipo de pasos.

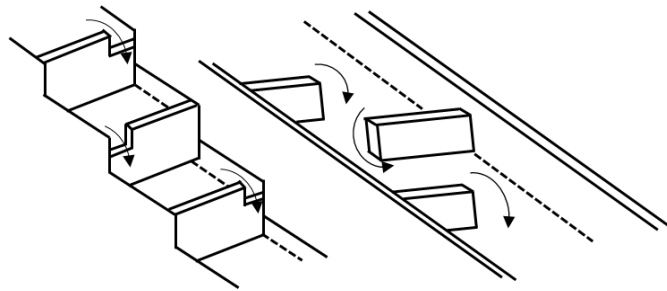


Figura 1. Escalas de artesas con escotaduras verticales

Para las dos especies que hemos visto anteriormente, A en estado adulto y B en estado alevín, si el caudal en el cauce es de 1800 L/s, intenta diseñar la escala siguiendo los pasos que te indico a continuación.

La escala se diseña para permitir el paso de individuos adultos de barbos y bogas, es decir de peces de tamaños comprendidos generalmente entre 12 cm y 75 cm (máximo tamaño de barbos y truchas adultas). En la figura 2 se observa las dimensiones que deben diseñarse.

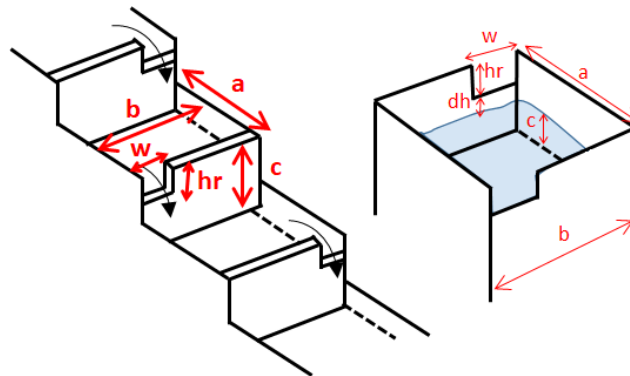


Figura 2. Estructura de una escala de artesa con escotaduras verticales

4.4.1 Salto entre artesas

La altura de salto entre artesas d_h tiene importancia puesto que su aumento incrementa la velocidad de las aguas.

La velocidad máxima de natación de un pez depende de la especie y sobre todo del tamaño del mismo y de la temperatura de las aguas. Si se trata de ciprínidos, en el momento de la freza (primavera) las temperaturas de las aguas están entre 12-24 °C, mientras que los salmónidos desovan en invierno con temperaturas entre 2-15 °C. El tamaño mínimo de los peces que queremos que asciendan por la escala se fijará en función de las especies que intentemos proteger y de su tamaño de madurez.

Con estas características podremos estimar las velocidades de natación máximas (v_{max}) y el tiempo mínimo (t_{min}) que los peces pueden mantener este esfuerzo. En teoría, la escala debería de tener una longitud máxima (L_{max}) dada por la ecuación 1.

$$L_{max} = v_{max} \times t_{min}$$

Ecuación 1. Longitud máxima de la escala

Para el cálculo del dimensionamiento de la escala deberemos proponer una altura de salto d_h (generalmente entre 0.15 m y 0.40 m), de tal forma que origine una velocidad aceptable para los peces que se diseñe la escala. Debe cumplirse la ecuación 2.

$$v_{max} < \sqrt{2 \times g \times d_h}$$

Ecuación 2. Velocidad máxima que debe cumplirse

4.4.2 Caudal de llamada

Los peces migradores cuando se encuentran con un obstáculo tienden a remontar por donde llegue un caudal significativo. El caudal de llamada (Q_{ll}) de una escala de peces se cuantifica en relación al caudal circulante por el cauce. La práctica aconseja un caudal de llamada cuantificado en el 5% del caudal medio anual del tramo fluvial.

4.4.3 Tamaño de las artesas

Los peces dentro de cada artesa no deben encontrar dificultades con la turbulencia de las aguas. Debido a que las artesas tienen que disipar la energía cinética de las aguas que caen del vertedero superior se originan turbulencias. Por ello al diseñar el tamaño de las artesas deberemos tener en cuenta los umbrales de disipación de energía que aguantan los peces. Para los salmónidos se acepta el límite de 200 wattios/m³, y atendiendo a las menores capacidades natatorias de los ciprínidos reófilos tomaremos como límite 190 W/m³.

La potencia de disipación de energía P (W/m³) debe cumplir la ecuación 3, donde Q_e es el caudal que circula por la escala (m³/s), g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²), j es el peso específico del agua (1000 kg/m³), d_h es la altura del salto de la artesa (m) y V es el volumen de la artesa (m³)

$$P = \frac{Q_e \times g \times j \times d_h}{V}$$

Ecuación 3. Potencia de disipación de energía (W/m³)

Suponiendo que pasamos todo el caudal de llamada por la escala ($Q_e = Q_{ll}$), el volumen de la artesa vendrá dado por la ecuación 4 para los ciprínidos reófilos y por la ecuación 5 para los salmónidos.

$$V_1 = \frac{Q_{ll} \times 9.81 \times 1000 \times d_h}{190}$$

Ecuación 4. Volumen de la artesa para ciprínidos reófilos (m³)

$$V_2 = \frac{Q_{ll} \times 9.81 \times 1000 \times d_h}{200}$$

Ecuación 5. Volumen de la artesa para salmónidos (m³)

Este valor del volumen de la artesa V_1 o V_2 nos da una combinación de las dimensiones de sus lados, según la ecuación 6, donde a corresponde a su longitud, b a su anchura y c a su profundidad. Normalmente, es conveniente que la profundidad c sea mayor de 0.75 m para proteger a los peces de los depredadores y de los furtivos. En todo caso la profundidad tiene que ser mayor que el doble de la altura del salto ($c > 2 \times d_h$) con objeto de que el pez pueda tomar el impulso para el salto. Se tantean valores de anchura y longitud ($a > b$) según facilidad de construcción.



$$V_1 = a \times b \times c$$

Ecuación 6. Volumen de la artesa para ciprínidos reófilos (m3)

Con estas consideraciones puede resultar que el tamaño de artesa que obtengamos resulte excesivo. Con objeto de disminuir los costos de construcción se puede hacer pasar por la escala solo una parte del caudal de llamada (Q_{ll}) e inyectar el caudal restante en la artesa más baja, es decir en la primera. Normalmente se hace pasar la mitad o un tercio del caudal de llamada. Por ejemplo, si hacemos que sólo pase un tercio del caudal de llamada, la ecuación 4 quedaría como la ecuación 7.

$$V_1 = \frac{0.33 \times Q_{ll} \times 9.81 \times 1000 \times d_h}{190}$$

Ecuación 7. Volumen de la artesa para ciprínidos reófilos (m3)

La primera artesa que recibe el caudal inyectado deberá tener un volumen mayor, y a la entrada del caudal inyectado deberá tener una rejilla (separación entre barras de 2.5 cm) para evitar que los peces intenten subir por ella.

La última artesa convendrá protegerla para evitar la entrada de troncos y objetos flotantes que obturen el funcionamiento de la escala, en especial dotarla de rejillas gruesas y no tener la entrada expuesta directamente a la corriente. Además, la entrada del agua a esta última artesa deberá tener un mecanismo para que el caudal que entre siempre sea superior al fijado (Q_{ll} o la proporción fijada).

4.4.4 Longitud de la escala

El número de artesas (n) necesarias dependerá del desnivel provocado por la presa (H) y de la altura de salto entre artesas (d_h), pudiendo calcularse mediante la ecuación 8. Por tanto, como cada artesa mide en longitud a metros, la escala deberá de tener una longitud total de unos $a \times n$ metros. Tras el cálculo de la longitud, hay que ver que el primer paso no quede demasiado alejado del obstáculo, pues si eso ocurre la eficacia del paso será muy baja. Para aumentar la eficacia, deberemos “replegar” la escala para que el primer paso quede lo más cerca posible del pie de presa.

$$n = \frac{H}{d_h}$$

Ecuación 8. Número de artesas

4.4.5 Anchura de los vertederos de las artesas

Fijados las alturas de los vertederos y el caudal que circule por la escala deberemos fijar la anchura de los vertederos w . Si llamamos h_r a la altura del vertedero, se debe cumplir la ecuación 9, por lo que la anchura del vertedero puede determinarse mediante la ecuación 10.

$$Q_e = S \times v = (h_r \times w) \times \sqrt{2 \times g \times d_h}$$

Ecuación 9. Caudal que circula por la escala

$$w = \frac{Q_e}{h_r \times \sqrt{2 \times g \times d_h}} = \frac{Q_e}{4.43 \times h_r \times \sqrt{d_h}}$$

Ecuación 10. Anchura del vertedero

Independientemente de lo que el cálculo anterior estime, la anchura del vertedero w tendrá que tener un tamaño suficiente para que pasen sin problemas los peces más grandes.

5 Cierre



A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto que el efecto barrera generado por la existencia de una presa puede minimizarse introduciendo diversos dispositivos de franqueo como escalas, esclusas, ascensores, traslados en cubas, etc.

No existe un tipo de vía “milagroso” más eficaz que todos los restantes. La experiencia demuestra que las vías de estanques, de ralentizadores, o incluso ascensores pueden ser igualmente eficaces o ineficaces. La multiplicidad de restricciones y factores (biológicos, hidrológicos, hidráulicos, topográficos, ...) hace que cada situación sea un caso especial. Así, la elección de un dispositivo u otro dependerá de cada caso concreto, tanto de los condicionantes del cauce y el funcionamiento de la presa, como de la especie piscícola concreta que queramos proteger. Una vez definido el dispositivo de franqueo, éste puede dimensionarse correctamente teniendo en cuenta el tamaño del pez, la capacidad de franqueo, la capacidad de nado o de salto, ...

6 Bibliografía

- [1] Sanz-Ronda, FJ.; Martínez de Azagra, A.; Bravo Córdoba, FJ.; García Vega, A.; Navarro Hevia, J.; Ruíz Legazpi, J.; Fuentes Pérez, JF.; Ramos González, N: “Soluciones técnicas para la mejora de la conectividad fluvial”. Jornadas Técnicas, Murcia, 2012. Disponible en: https://www.chsegura.es/export/descargas/cuenca/restauracionderios/jornadatecnica/docsdescarga/12_UDHIDRAULICA_UV.pdf
- [2] Martínez de Azagra Paredes, A.; García Molinos, J: “Los ascensores para peces: Una alternativa olvidada”. Revista Montes, ISSN 0027-0105, Nº. 83, 2006, págs. 47-53
- [3] Bermúdez, M.; Rico, A.; Rodríguez, A.; Pena, L.; Rabuñal, J. R.; Puertas, J.; Balairón, L.; Lara, A.; Aramburu, E.; Morcillo, F.; Castillo, M: “FishPath: aplicación informática de diseño de escalas de peces de hendidura vertical”. Ingeniería del agua, ISSN 1134-2196, Vol. 19, Nº. 3, 2015, págs. 179-191
- [4] Martínez de Azagra Paredes, A: “Escalas para peces”. Universidad de Valladolid. Publicaciones ETSIAA, 26. 1999. DOI: 10.13140/2.1.3136.5441
- [5] Sanz-Ronda, FJ.; Bravo Córdoba, FJ.; Fuentes Pérez, JF.; Ruíz Legazpi, J.; García Vega, A.; Ramos González, N.; Salgado González, VM; Martínez de Azagra, A: “Pasos para peces: escalas y otros dispositivos de paso”. Notas Técnicas del CIREF, nº 7. 2013