



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster en Investigación en Conservación y Uso  
Sostenible de los Sistemas Forestales**

# **Metodología para la evaluación de pasos para peces de estanques sucesivos**

**Alumno: Jorge Valbuena Castro**

Tutores: Francisco Javier Sanz Ronda  
Andrés Martínez de Azagra Paredes

Septiembre de 2015

## Contenido

MEMORIA.....	6
0. Resúmenes.....	7
0.1. Resumen.....	7
0.2. Abstract.....	7
1. Antecedentes.....	8
2. Objetivos.....	10
3. Material y métodos.....	10
3.1. Introducción a la metodología.....	10
3.2. Bases de aplicación de la metodología.....	12
3.3. Variables fundamentales.....	14
3.3.1. Atracción.....	14
3.3.2. Entrada.....	16
3.3.3. Pasaje.....	19
3.3.4. Salida.....	23
3.4. Observaciones de relevancia.....	25
3.5. Localización del caso práctico.....	26
3.6. Información recogida sobre la escala.....	28
4. Resultados.....	28
5. Discusión.....	29
6. Conclusiones.....	31
7. Agradecimientos.....	32
8. Bibliografía.....	32
ANEJOS A LA MEMORIA.....	37
A.1. Puntuación y croquis explicativos de las variables fundamentales.....	38
A.1.1. Atracción.....	39
A.1.1.1. Distanciamiento entre la llamada y la entrada (A2).....	39
A.1.1.2. Adecuación de la ubicación de la entrada para peces (A3).....	39
A.1.2. Entrada.....	40
A.1.2.1. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río (E1).....	40
A.1.2.2. Anchura del elemento de entrada (E2).....	41
A.1.2.3. Profundidad de paso en el elemento de entrada (E3).....	41
A.1.2.4. Orientación de la entrada respecto del río (E4).....	41
A.1.2.5. Poza de remonte (E5).....	42
A.1.2.6. Tipología del elemento de entrada (E6).....	42
A.1.3. Pasaje.....	42

Alumno: Jorge Valbuena Castro

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Investigación en Conservación y Uso Sostenible de los Sistemas Forestales

A.1.3.1. Desnivel entre láminas de agua de estanques sucesivos ( <i>Ps1</i> ) .....	42
A.1.3.2. Tirante medio de los estanques ( <i>Ps3</i> ).....	43
A.1.3.3. Rectangularidad de los estanques ( <i>Ps4</i> ).....	43
A.1.3.4. Anchura de los elementos de paso entre estanques ( <i>Ps5</i> ) .....	43
A.1.3.5. Profundidad de paso en los elementos de paso ( <i>Ps6</i> ) .....	44
A.1.3.6. Tipología de los elementos de paso ( <i>Ps7</i> ) .....	44
A.1.4. Salida.....	44
A.1.4.1. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río ( <i>S1</i> ) .....	44
A.1.4.2. Anchura del elemento de salida ( <i>S2</i> ) .....	44
A.1.4.3. Profundidad de paso en el elemento de salida ( <i>S3</i> ).....	45
A.1.4.4. Orientación de la salida respecto del río ( <i>S4</i> ).....	45
A.1.4.5. Distanciamiento entre la salida y el vertido sobre la coronación del obstáculo ( <i>S5</i> )	46
A.1.4.6. Tipología del elemento de salida ( <i>S6</i> ).....	46
A.2. Desarrollo del caso práctico.....	47
A.3. Notación .....	48
MATERIAL COMPLEMENTARIO .....	52
M.C.1. Aplicación de una metodología alternativa al caso práctico .....	53

## Índice de Figuras

Figura 1. Gráfico de puntuación de la variable fundamental $A1$ .....	15
Figura 2. Gráfico para la puntuación de $A2$ .....	15
Figura 3. Gráfico de puntuación para la variable $A3$ .....	16
Figura 4. Gráfico de puntuación para la variable $E1$ .....	17
Figura 5. Gráfico de puntuación de $E2$ .....	17
Figura 6. Gráfico de puntuación asociado a $E3$ .....	18
Figura 7. Gráfico para la puntuación de $E5$ .....	19
Figura 8. Gráfico para la puntuación de la variable fundamental $Ps1$ .....	20
Figura 9. Gráfico de puntuación de $Ps2$ .....	20
Figura 10. Gráfico empleado para la puntuación de $Ps3$ .....	21
Figura 11. Sistema de puntuación de la relación entre $L$ y $b$ (izquierda) y entre $B$ y $b$ (derecha).	22
Figura 12. Gráfico para la puntuación de la anchura del elemento de paso (izquierda) y el área de un orificio (derecha). ....	22
Figura 13. Gráfico de puntuación ligado a la variable $S1$ .....	24
Figura 14. Gráfico empleado para la puntuación de $S5$ .....	25
Figura 15. Croquis del entorno del paso para peces (izquierda) y detalle del mismo con la numeración de los estanques considerada en la evaluación (derecha).....	27
Figura 1.A. Explicación de la utilización de un gráfico de puntuación: (1º) situamos en el eje de abscisas el valor medido (arriba a la izquierda), (2º) trazamos una línea vertical que corte la curva del gráfico (arriba a la derecha), (3º) trazamos una línea horizontal que llegue al eje de ordenadas desde el punto de corte entre la línea vertical y la curva (abajo a la izquierda), y (4º) el punto de corte de la línea horizontal con el eje vertical nos indica el valor que deberemos asignar a la variable en cuestión según la graduación del eje (abajo a la derecha).....	38
Figura 2.A. Croquis de la variable $A2$ , en amarillo, sobre una escala y su llamada (izquierda) y el detalle aumentado de la planta del elemento de entrada en que se debe de realizar su medición, en amarillo también (derecha).....	39
Figura 3.A. Medición de $A3$ , en amarillo, sobre el azud en que se emplaza la escala (izquierda) y detalle agrandado del punto, también en amarillo, en que se mide sobre la planta del elemento de entrada (derecha).....	39
Figura 4.A. Croquis de ubicaciones idóneas. ....	40
Figura 5.A. Croquis de ubicaciones intermedias. ....	40
Figura 6.A. Croquis de ubicaciones malas. ....	40
Figura 7.A. Esquema explicativo de la variable $E1$ .....	40
Figura 8.A. Croquis de la medición de $E2$ sobre un vertedero sumergido (izquierda), un vertedero libre (centro) y una hendidura vertical (derecha). ....	41
Figura 9.A. Punto de medición de $E3$ , en amarillo, sobre el perfil del elemento de entrada (izquierda) y su planta (derecha).....	41
Figura 10.A. Croquis de las zonas en las que clasificar la orientación de la entrada. ....	41
Figura 11.A. Explicación gráfica de la variable $E5$ .....	42

---

Figura 12.A. Esquema explicativo de la variable $Ps1$ .....	42
Figura 13.A. Dibujo que explica la variable altura hasta el umbral del elemento de paso ( $P$ ) necesaria para el cálculo de $Ps3$ .....	43
Figura 14.A. Vista en planta de un estanque tipo en la que se explica cómo medir las variables asociadas a $Ps4$ .....	43
Figura 15.A. Anchura en un vertedero sumergido (izquierda), uno libre (centro izquierda), una hendidura vertical (centro derecha) y un orificio de fondo (derecha). ....	43
Figura 16.A. Explicación de la medición de la variable $Ps6$ , en amarillo, sobre el alzado de un elemento de paso (izquierda) y su planta (derecha).....	44
Figura 17.A. Los diferentes tipos de elementos de paso más habituales que de izquierda a derecha son: hendidura vertical, vertedero sumergido+orificio, vertedero libre+orificio, orificio, vertedero sumergido y vertedero libre. ....	44
Figura 18.A. Explicación de la variable $S1$ sobre el alzado del elemento de salida. ....	44
Figura 19.A. Representación de la variable $S3$ , en amarillo, sobre el alzado del elemento de salida (izquierda) y su planta (derecha).....	45
Figura 20.A. Categorías en las que se clasifica la salida representadas sobre la salida de una escala. ....	45
Figura 21.A. $S5$ representada, en amarillo, sobre una escala para peces y su obstáculo (izquierda) y detalle aumentado del punto, también en amarillo, de su medición sobre la planta del elemento de salida (derecha). ....	46

**Índice de tablas**

Tabla 1. Clasificación de la evaluación y la necesidad de realizar mejoras a partir de la puntuación obtenida por cada una de las categorías o toda la escala evaluada. .... 14

Tabla 2. Clasificación en que se incluirán las observaciones de relevancia consideradas junto con sus correspondientes puntuaciones. ....26

Tabla 1.A. Valores medidos de cada una de las variables fundamentales y su correspondiente puntuación. ....47

Tabla 2.A. Asignación de puntuación a las diferentes observaciones de relevancia de cada categoría.....48

Tabla 3.A. Puntuación total, su rango de referencia correspondiente y la clasificación de cada una de las categorías..... 48

Tabla 4.A. Puntuación total de la escala evaluada así como el rango de referencia en que se puede incluir, y la consiguiente clasificación. ....48

Tabla 1.M.C. Primera parte de la metodología alternativa.....54

Tabla 2.M.C. Segunda parte de la metodología alternativa.....55

Tabla 3.M.C. Tercera parte de la metodología alternativa.....56

Tabla 4.M.C. Cuarta parte de la metodología alternativa.....57

Tabla 5.M.C. Quinta parte de la metodología alternativa.....58

# MEMORIA

## 0. Resúmenes

### 0.1. Resumen

Los pasos para peces son dispositivos que se han construido en todo el mundo con el fin de permitir principalmente los desplazamientos de los peces hacia aguas arriba y aguas abajo de los obstáculos que se encuentran en los cursos de agua. Sin embargo a pesar de ser muy abundantes, son pocos los que han sido estudiados para determinar si son capaces de satisfacer las finalidades para las que fueron creados.

Este trabajo busca desarrollar una metodología que permita evaluar la tipología de pasos para peces más común, las escalas de estanques sucesivos o de artesas, centrándose en las necesidades de las especies más ampliamente distribuidas en la península Ibérica: trucha común, barbo común ibérico y boga del Duero. Dicha metodología debe ser lo suficientemente sencilla, rápida y práctica para que permita su utilización sin muchos equipos especializados y que requiera de poco personal, con poca formación previa en esta temática. Así mismo, permitirá obtener resultados cuantificables que servirán para identificar los problemas que presente una escala para peces así como la manera de solventarlos y la urgencia de su solución. Esta metodología se ha evaluado mediante la aplicación práctica a un caso concreto y comparándola con otras metodologías existentes con el mismo objetivo. Entre los resultados más interesantes cabe señalar su capacidad para la fácil identificación de los problemas de una determinada escala frente a otras metodologías. Esto se traducirá en una optimización de los esfuerzos y recursos a la hora de llevar a cabo una adecuación del paso.

**Palabras clave:** *evaluación, paso para peces, escala para peces, estanques sucesivos, artesas.*

### 0.2. Abstract

Fish passes are devices that have been built all around the world mainly to allow fishes move upstream and downstream of the obstacles placed in the river. However, only few of them have been assessed to know if they satisfy the purposes for what they were designed.

This work develops a methodology to assess the most common kind of fish passes, that are pool-type fishways, focusing on the needs of the most distributed species in the Iberian peninsula: brown trout, Iberian barbell and northern straight-mouth nase. This methodology must be easy, fast and practical to allow many uses without too much specialized equipment requiring

---

Alumno: Jorge Valbuena Castro

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Investigación en Conservación y Uso Sostenible de los Sistemas Forestales



few staff, with or without any prior training on this area. This methodological framework will bring measurable results that will identify the problems of a fish pass. It also shows how to solve those problems and the urgency of their solution. In addition, it will be applied to a case study to show its utilization, potentiality, and offering a practical example for the users. This methodology has been evaluated through a case study and compared with others with the same purpose. It is worthy to notice that unlike other methodologies this one allows to easily identify the problems of a fishway. More over it will optimize the resources to improve the fishway.

**Keywords:** *assessment, fish pass, fishway, pool-type, pool pass.*

## 1. Antecedentes

El ser humano ha realizado numerosas alteraciones en los cursos de agua de todo el planeta a lo largo de la historia, dentro de las cuales destaca, especialmente, la construcción de obras transversales como presas o azudes durante el siglo XX (Malmqvist & Rundle, 2002; Nilsson *et al.*, 2005; Katopodis & Williams, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2013). Este tipo de obras tiene un impacto negativo sobre la ictiofauna ya que, entre otros rompen la conectividad longitudinal de los ríos generando lo que se conoce como efecto barrera (Ward & Standford, 1995; FAO & DVWK, 2002; Nilsson *et al.* 2005; Falke & Gido, 2006; Roscoe & Hinch, 2010; Santos *et al.*, 2012; Williams *et al.*, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Febrina *et al.*, 2015). Este efecto impide o limita los desplazamientos piscícolas, llegando a producir alteraciones en el comportamiento reproductivo (retrasos en la freza, puestas en lugares inadecuados, etc.) y en la estructura de las comunidades (aislamiento poblacional, disminución de la diversidad, degeneración genética, etc.) que pueden desembocar en reducciones drásticas de las poblaciones piscícolas llegando incluso a hacerlas desaparecer (Jungwirth *et al.*, 1998; FAO & DVWK, 2002; Santos *et al.*, 2002; Nilsson *et al.*, 2005; Calles & Greenberg, 2009; Williams *et al.*, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Febrina *et al.*, 2015). Ante esta situación, se han planteado varias soluciones para mitigar esos efectos negativos, siendo una de ellas la construcción de dispositivos de franqueo denominados pasos para peces (Katopodis, 1992; Clay, 1995; Pompeu & Martínez, 2007; Bunt *et al.*, 2012; McLaughlin *et al.*, 2013; Foulds & Lucas, 2013; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Febrina *et al.*, 2015).

Los peces realizan desplazamientos tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo, habiéndose comprobado que un tipo de movimiento es tan importante como el otro (Malmqvist & Rundle, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2013). Históricamente se ha prestado más atención a los movimientos de ascenso que de bajada, sin embargo, esa tendencia ha cambiado y se

consideran ambos tipos por igual. Por ello, la definición actual de los pasos para peces incluye los desplazamientos en ambas direcciones (Jungwirth *et al.*, 1998; Agostinho *et al.*, 2002; Larinier & Travade, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Katopodis & Williams, 2012; Williams *et al.*, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Marrinier *et al.*, 2014).

A pesar de la abundancia de pasos para peces existentes en el mundo, debido a que solo una pequeña parte de los mismos ha sido evaluada, el conocimiento sobre su funcionamiento es reducido y a menudo poco fiable (Agostinho *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2002; Calles & Greenberg, 2005; Pompeu & Martínez, 2007; Roscoe & Hinch, 2010; Noonan *et al.*, 2012; Piper *et al.*, 2012; Williams *et al.*, 2012; Cooke & Hinch, 2013; Febrina *et al.*, 2015). En los pocos casos estudiados se ha observado mucha divergencia. Mientras que a veces su efecto es positivo para los peces (tránsito adecuado y sin retrasos), otras veces no presentan efecto alguno o incluso pueden llegar a resultar perjudiciales (retrasos, aglomeraciones, depredación, dispersión de especies invasoras, etc.) (Roscoe & Hinch, 2010; Bunt *et al.*, 2012). Por tanto, la presencia de un paso para peces no siempre garantiza que la ictiofauna pueda superar un obstáculo o al menos hacerlo de manera adecuada (Roscoe & Hinch, 2010). Por ello, es necesario que todos estos dispositivos sean evaluados tras su construcción para asegurar su correcta ejecución respecto al proyecto original, así como su adecuación para la fauna involucrada y siempre, teniendo en cuenta las condiciones ambientales existentes en la zona (Jungwirth *et al.*, 1998; Roscoe & Hinch, 2010; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Towler *et al.*, 2013; Febrina *et al.*, 2015).

Dentro de los trabajos de evaluación hay que distinguir dos grandes tipos de líneas de actuación: la hidráulica y la biológica. Mientras que la primera atiende a aspectos de la mecánica de fluidos dentro de la estructura, su diseño, su dimensionado y su situación con respecto a las láminas de agua (Sanz-Ronda *et al.*, 2014), la segunda se centra en los requerimientos de los peces que emplean estos dispositivos.

La forma lógica de actuar al evaluar un paso para peces, tras su ejecución, es comenzar atendiendo a las cuestiones hidráulicas y de diseño. Esto, permitirá la identificación y solución de problemas que afectan negativamente al funcionamiento. Una vez identificados y corregidos los aspectos conflictivos, si existieran, se procedería con la evaluación biológica. Sin embargo en la práctica, debido a la ausencia de tiempo y de medios tanto materiales como económicos, se suele atender exclusivamente a las variables hidráulicas y de dimensionamiento como método de evaluación aproximado para determinar la eficiencia de un paso para peces (Sanz-Ronda *et al.*, 2013).

Así mismo, a pesar de que actualmente existen múltiples trabajos que tratan de manera amplia el tema de los pasos para peces y desde diferentes enfoques [manuales de diseño (Clay, 1995; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002), artículos científicos (Wang *et al.*, 2010; Sanz-Ronda *et al.*, 2013), cursos y material de formación (Sanz-Ronda *et al.*, 2014), entre otros] aún son escasos los que se centran específicamente en su evaluación (Roscoe & Hinch, 2010). Además, esos pocos trabajos suelen atender a un mismo conjunto de aspectos (Roscoe & Hinch, 2010), que resulta muy reducido y que se aplican sobre casos concretos; siendo a día de hoy y dentro de la revisión bibliográfica realizada, la guía de Towler *et al.* (2013) la única que trata la evaluación de pasos para peces de una forma amplia.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el gran número de estructuras construidas y que se construirán, así como la imposibilidad de aplicación de las metodologías de evaluación existentes (ya sea por complejidad o coste) se concluye que es necesario el diseño de un nuevo método de evaluación, que sea de amplio espectro, objetivo, fiable y fácil de aplicar.

## **2. Objetivos**

Los objetivos perseguidos con este trabajo son dos. El primero es el desarrollo de una metodología técnica para la evaluación del ascenso de los peces a través de una tipología concreta de pasos piscícolas: las escalas de estanques sucesivos. Ésta metodología deberá ser práctica y de sencilla aplicación, posibilitando así su utilización por diferentes agentes concededores en mayor o menor medida de este tipo de procedimientos. De esta manera serán capaces de determinar la funcionalidad de este tipo de dispositivos, identificar sus problemas y solucionarlos. El segundo objetivo persigue demostrar la aplicabilidad y potencialidad de la metodología desarrollada a través de su aplicación en un caso práctico así como su comparación con la metodología más popular existente hasta la fecha. Esto permitirá evaluar su funcionalidad y demostrar un ejemplo de aplicación real.

## **3. Material y métodos**

### **3.1. Introducción a la metodología**

En el presente trabajo se consideran pasos para peces aquellas estructuras, dispositivos o mecanismos que permiten el desplazamiento de los peces hacia aguas arriba y/o hacia aguas abajo de un obstáculo emplazado en un río; y que de forma ideal, posibiliten ese movimiento sin

que los peces experimenten retrasos, daños, inseguridad, o selectividad en cuanto a los individuos que son capaces de utilizarlo con éxito por razones de sexo o edad (Katopodis, 1992; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Roscoe & Hinch, 2010; Bunt *et al.*, 2012; Towler *et al.*, 2013).

Dentro de las diferentes tipologías de pasos para peces existentes, se consideró la denominada “escalas de estanques sucesivos o artesas”, debido a que es la más utilizada (Martínez de Azagra, 1999; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2010; Katopodis & Williams, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Fuentes-Pérez *et al.*, 2014). Son dispositivos que conectan las masas de aguas arriba y abajo de un obstáculo mediante una serie de depósitos consecutivos colocados a modo de escaleras entre los cuales, el agua fluye de una determinada manera a través de una serie de elementos de paso tales como tabiques vertientes, vertederos, hendiduras u orificios (Clay, 1995; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; Towler *et al.*, 2013).

La metodología desarrollada se planteó para tres especies piscícolas ampliamente distribuidas en la península Ibérica: trucha común (*Salmo trutta* Linnaeus 1758), barbo común ibérico (*Luciobarbus bocagei* Steindachner 1864) y boga del Duero (*Pseudochondrostoma duriense* Coelho 1985), todas ellas con capacidades natatorias similares (Castro-Santos *et al.*, 2012; Sanz-Ronda *et al.*, 2015). Así mismo, se consideró únicamente el ascenso de los peces hacia aguas arriba ya que en estos desplazamientos, los pasos para peces son la única opción para superar un determinado obstáculo, mientras que para el descenso, cuyo conocimiento es reducido, los peces pueden emplear diferentes alternativas: el paso, los aliviaderos o rebajes, estructuras de descenso específicas o caída por coronación (FAO & DVWK, 2002; Armstrong *et al.*, 2004). Además, se recomienda que esta metodología se aplique especialmente en la época de migración de la ictiofauna presente en el curso de agua en que se emplaza la escala ya que, aunque este tipo de dispositivos debe de resultar funcional durante todo el año siempre que el régimen del río lo permita (Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002), es primordial por la cuantía de desplazamientos y la sostenibilidad poblacional, que trabajen de forma óptima en este periodo (Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004). En el caso de la trucha común, su migración reproductiva hacia aguas arriba suele producirse de noviembre a diciembre pudiendo alargarse hasta enero o febrero (Doadrio, 2002; FAO & DVWK, 2002; Gosset *et al.*, 2006). El barbo común y la boga del Duero suelen migrar para reproducirse desde marzo hasta junio pudiendo incluso llegar hasta julio (Doadrio, 2002).

Todas las abreviaturas y símbolos que se utilizan de aquí en adelante se encuentran reflejados en “anejos a la memoria” (Ver A.3.).

Teniendo en cuenta las partes principales de las escalas para peces objeto de estudio, los aspectos a tener en cuenta en su evaluación se pueden clasificar en cuatro categorías: atracción (*A*), entrada (*E*), pasaje (*Ps*) y salida (*S*). *A* se entiende como la aproximación de los peces al dispositivo de franqueo. *E* es la acción por la que los peces atraviesan un elemento de entrada que les hace pasar del río al interior de escala. *Ps* es el recorrido que realizan los peces por el interior del dispositivo después de la entrada y hasta alcanzar la parte de más aguas arriba. Finalmente, *S* hace referencia al hecho por el que los peces, una vez que han concluido el pasaje, atraviesan un elemento de salida que les hace pasar del interior del paso piscícola hacia aguas arriba del obstáculo.

Dentro de esas cuatro categorías, se establecieron 38 aspectos a los que atender como necesarios para la realización de un proceso evaluador completo. 22 de los cuales son estrictamente necesarios en la evaluación según criterio de experto y reciben el nombre de “variables fundamentales” (*V*) (Ver 3.3.). Los materiales necesarios para el estudio de estas variables son un flexómetro, una pértiga, un velocímetro de flujo o simplemente mediante la observación. Los 16 aspectos restantes se consideraron como menos trascendentes según el criterio de experto ya que, es conveniente su consideración aunque no necesaria, y se denominaron “observaciones de relevancia” (*O*) (Ver 3.4.). Las observaciones de relevancia serán analizadas mediante el criterio lógico de la persona evaluadora.

### **3.2. Bases de aplicación de la metodología**

A partir de las recomendaciones recogidas por la bibliografía y las experiencias en campo y laboratorio del Grupo de Ecohidráulica Aplicada (*GEA*) de la Universidad de Valladolid, se establecieron para cada aspecto de la metodología los valores o características que resultaban muy buenos (puntuación máxima), buenos (alta-media), regulares (media), malos (media-baja) y muy malos (baja) para los peces. Esas puntuaciones son empleadas directamente como categorías para clasificar algunos aspectos (rangos de puntuación) (Ver 3.3.) mientras que para otros, sirven para la elaboración de los gráficos que definen la puntuación final según el valor del aspecto en cuestión (gráficos de puntuación) (Ver 3.3.). Estos índices gráficos se realizaron utilizando los límites y valores recomendados como puntos de paso obligatorios en su definición.

En cuanto a la aplicación de la metodología, una vez analizadas y medidas las variables fundamentales y de las observaciones de relevancia sobre la escala a evaluar, se procederá a asignar una puntuación a cada una de ellas (Ver 3.3. y 3.4.). Trabajar con las puntuaciones de

cada uno de los aspectos por separado, permite identificar aquellos que presenten problemas y cómo se deben de modificar para incrementar su puntuación y por tanto, el funcionamiento general de la escala.

En el caso de las variables fundamentales, la puntuación se obtendrá a partir de un gráfico o rangos de puntuación asociados a cada una de ellas (Ver A.1.). Además en la categoría pasaje, se calcularán las puntuaciones correspondientes al promedio de los valores de cada una de las variables medidas sobre el estanque tipo, es decir, aquel que es igual a la mayoría; y por otro lado, se calcularán las puntuaciones correspondientes a cada uno de los estanques singulares, que son aquellos distintos al resto. Después se comparará entre el estanque tipo con cada uno de los estanques singulares para conocer cuál es el que proporciona una menor puntuación total. Ése será el estanque empleado para la evaluación de esta categoría en particular y de toda la escala en general.

Las observaciones de relevancia serán asignadas a una clase que está vinculada a una puntuación concreta a partir del criterio de la persona evaluadora (Ver 3.4.). Una vez que todas hayan sido incluidas en una clase, y recibido la puntuación correspondiente, se realizará una media aritmética del conjunto de las puntuaciones de las observaciones ligadas a cada categoría (Ver 3.4.).

Cuando se dispone de las puntuaciones de las variables fundamentales y de la puntuación media de las observaciones de relevancia de cada categoría, se procederá a determinar por separado la puntuación correspondiente a la atracción (Exp. I), a la entrada (Exp. II), al pasaje (Exp. III) y a la salida (Exp. IV). Posteriormente, los resultados obtenidos para cada categoría se utilizan para el cálculo de la puntuación pertinente a toda la escala en conjunto (Exp. V). Las expresiones implicadas ponderan, a partir del criterio de experto, cada uno de los aspectos incluidos en cada categoría en función de su importancia en el ascenso de los peces (Exp. I, Exp. II, Exp. III y Exp. IV) o dichas categorías en el conjunto del paso para peces (Exp. V).

Finalmente, a partir de la puntuación obtenida para cada categoría y para toda la escala, se clasificará el resultado de la evaluación (Tabla 1) y se determinará el grado de necesidad que presenten en cuanto a realizar modificaciones o mejoras (Tabla 1).

$$P. A=0,40*P. A1+0,30*P. A2+0,25*P. A3+0,05*P. O.A. \quad (\text{Exp. I})$$

$$P. E=0,30*P. E1+0,25*P. E2+0,15*P. E3+0,10*P. E4+0,1*P. E5+0,05*P. E6+0,05*P. O.E. \quad (\text{Exp. II})$$

$$P. Ps=0,25*P.Ps1+0,15*P.Ps2+0,15*P.Ps3+0,15*P.Ps4+0,10*P.Ps5+0,10*P.Ps6+0,05*P.Ps7+0,05*P.O.Ps. \quad (\text{Exp. III})$$

$$P. S=0,30*P. S1+0,25*P. S2+0,15*P. S3+0,10*P. S4+0,10*P. S5+0,05*P. S6+0,05*P. O.S. \quad (\text{Exp. IV})$$

$$P. \text{ escala} = 0,40 * P. A + 0,30 * P. E + 0,20 * P. Ps + 0,10 * P. S$$

(Exp. V)

donde *P.* hace referencia a la puntuación de la categoría, variable fundamental u observación de relevancia a la que acompaña; *O.A.* se refiere a las observaciones de relevancia de la atracción; *O.E.* corresponde a las observaciones de relevancia de la entrada; *O.Ps.* son las observaciones de relevancia de la categoría pasaje; y *O.S.* hace referencia a las observaciones de relevancia de la salida.

**Tabla 1.** Clasificación de la evaluación y la necesidad de realizar mejoras a partir de la puntuación obtenida por cada una de las categorías o toda la escala evaluada.

Rango de referencia	Clasificación de la evaluación	Modificaciones o mejoras
$0 \leq P. \leq 4$	Desfavorable	Muy necesarias
$4 < P. \leq 7$	Favorable	Bastante necesarias
$7 < P. \leq 10$	Muy favorable	Poco necesarias

Donde: *P.* hace referencia a la puntuación de la variable fundamental u observación de relevancia a la que acompaña.

### 3.3. Variables fundamentales

A continuación se presenta una breve explicación de las variables fundamentales, que son aclaradas por diversos croquis en “anejos a la memoria” (Ver A.1.), y que están ordenadas de mayor a menor importancia dentro de cada categoría según criterio de experto. Cada una de las variables va ligada a diferentes dibujos explicativos y a un gráfico o rango de puntuación, cuya utilización se explica detalladamente en “anejos a la memoria” (Ver A.1.). De aquí en adelante, se utilizará el término río o curso de agua indistintamente; englobándose dentro de esos términos otros sistemas que pueden contar con escalas para peces tales como arroyos, regatos, ramblas, etc.

#### 3.3.1. Atracción

##### 3.3.1.a. Caudal de llamada total (A1):

Es el flujo empleado para aumentar la llamada, es decir, la agitación de las aguas en el entorno de la entrada del paso para peces (Exp VI). Si el caudal de llamada total es demasiado reducido, no resulta suficientemente efectivo como para cumplir con su objetivo de atraer a la mayoría de los peces de la población piscícola hasta las inmediaciones de la escala (Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; Larinier, 2002b; GEA).

$$Q_{llamada\ total} = \frac{Q_{escala} + Q_{llamada\ auxiliar}}{Q_{curso}} \times 100$$

(Exp.VI)

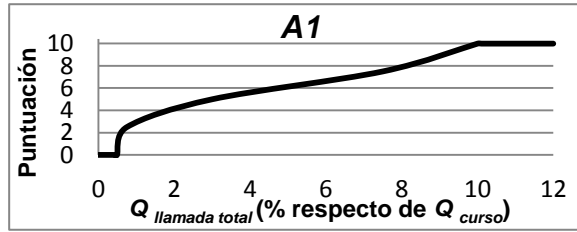


Figura 1. Gráfico de puntuación de la variable fundamental A1.

donde  $Q_{llamada\ total}$  es el caudal que sirve para la llamada respecto del caudal total de la corriente (%);  $Q_{escala}$  es el que circula a través del interior de la escala ( $m^3/s$ );  $Q_{llamada\ auxiliar}$  es el caudal que no circula por la escala y busca atraer a los peces ( $m^3/s$ ); y  $Q_{curso}$  es el que circula por el cauce en que se emplaza la escala evaluada ( $m^3/s$ ).

**3.3.1.b. Distanciamiento entre la llamada y la entrada (A2):**

Analiza la proximidad o lejanía del caudal de llamada auxiliar respecto del elemento por el que los peces entran en el interior de la escala. Esta variable se medirá como la distancia (en % respecto de la anchura del curso de agua) entre el centro de la proyección en planta del elemento de entrada (por ejemplo hendidura, vertedero, etc.) y el punto más próximo de aguas blancas o espumosas debidas al impacto del caudal de llamada auxiliar sobre la lámina de agua del río (Figura 2.A.). Si la llamada se encuentra demasiado separada de la entrada, su efecto de atracción para los peces será demasiado reducido o nulo (GEA).

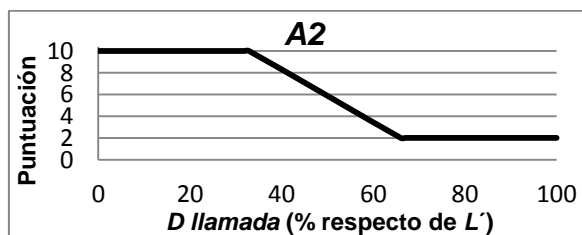


Figura 2. Gráfico para la puntuación de A2.

**3.3.1.c. Adecuación de la ubicación de la entrada para peces (A3):**

Hace referencia a la localización que presenta la entrada del paso para peces respecto de la que debería de tener de forma idónea. Esto influye en la facilidad con que los peces encuentran



la entrada de la escala. Se considerarán ubicaciones idóneas aquellas en las que la entrada del paso se encuentre lo más aguas arriba que permita el obstáculo (Figura 4.A.), siempre y cuando exista una profundidad de agua suficiente ( $\geq 0.5\text{m}$ ) como para posibilitar que los peces alcancen el interior del paso piscícola sin quedar excesivamente expuestos a depredadores, presentar daños por rozadura en la parte ventral o sufrir un estrés excesivo. En caso de que la ubicación situada lo más aguas arriba no presente la profundidad mínima ( $< 0.5\text{m}$ ) no se considerará idónea. En su lugar, la mejor opción será aquella que esté inmediatamente aguas abajo pero que sí que presente el calado mínimo. Esta variable se medirá como la distancia (en m) que se extiende desde el centro de la proyección en planta del elemento de entrada y el punto más cercano de la ubicación idónea en que se debería de emplazar (Figura 3.A.) (Bunt, 2001; Agostinho *et al.*, 2002; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002b; Marriner *et al.*, 2014; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA).

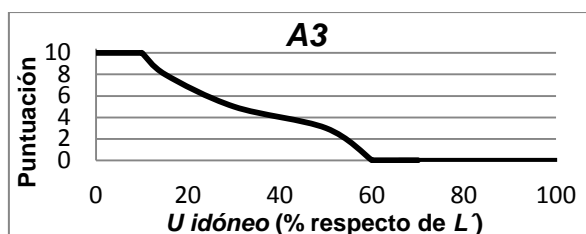


Figura 3. Gráfico de puntuación para la variable A3.

### 3.3.2. Entrada

#### 3.3.2.a. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río (E1):

Es la diferencia de cota medida (en m) sobre el eje vertical entre las láminas de agua del río y del primer estanque (Figura 7.A.). Las láminas de agua se deberán medir antes de la contracción que presenta el flujo antes de atravesar el elemento de entrada y tender a ser estables o lo que es lo mismo, horizontales, sin saltos o alteraciones importantes. Además, el punto considerado en el río deberá estar lo más próximo posible a la entrada del paso piscícola. Si el desnivel es demasiado pequeño, el efecto llamada que produce el caudal que circula por la escala es muy reducido, lo que no incentiva a que los peces se introduzcan en el dispositivo. Del mismo modo, si el valor de esta variable resulta demasiado grande, la proporción de individuos de la población piscícola capaces de vencer la corriente e introducirse en la escala es mínima o inexistente (Katopodis, 1992; Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; GEA).

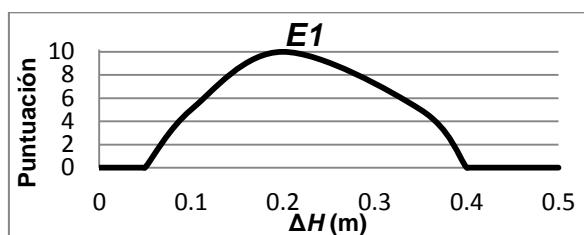


Figura 4. Gráfico de puntuación para la variable  $E1$ .

### 3.3.2.b. Anchura del elemento de entrada ( $E2$ ):

Se trata de la anchura (en m) respecto del eje horizontal del elemento por el que los peces acceden al interior del paso piscícola (Figura 8.A.). Si la anchura es demasiado reducida existe un elevado riesgo de que el elemento de entrada presente obstrucciones por restos arrastrados por la corriente. En ese caso, también existe un elevado riesgo de que los peces sufran daños por rozaduras y una elevada selectividad en cuanto a los que lo pueden utilizar con éxito ya que, los ejemplares de mayor tamaño tendrán cierta indisposición o dificultad para atravesarlo. En caso de que existan orificios, no se tendrán en cuenta debido a que su medición resulta muy difícil. Y además, suelen servir solamente para eliminar la arena que se acumula en el interior del paso; por lo que, normalmente presentan dimensiones muy reducidas como para que pueda atravesarlos un pez (Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; GEA).

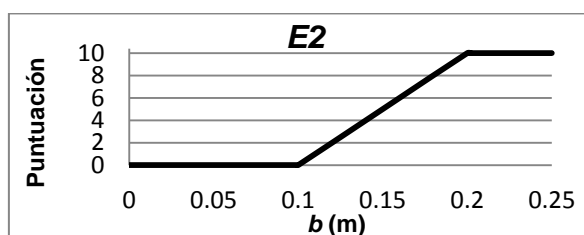


Figura 5. Gráfico de puntuación de  $E2$ .

### 3.3.2.c. Profundidad de paso en el elemento de entrada ( $E3$ ):

Es el nivel (en m) de agua en el elemento por el que los peces pasan del río al interior del primer estanque de la escala (Figura 9.A.). Esta variable se medirá como la diferencia de cota sobre el eje vertical entre la lámina de agua y el umbral del elemento de entrada, realizándose ambas mediciones en el centro de la proyección en planta de dicho elemento. Valores

demasiado pequeños de esta variable pueden implicar que el pez sufra heridas por rozadura o que tenga que saltar para acceder al paso (*GEA*).

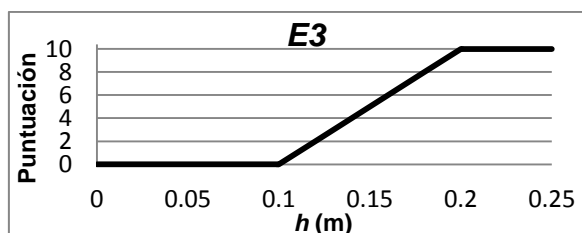


Figura 6. Gráfico de puntuación asociado a E3.

### 3.3.2.d. Orientación de la entrada respecto del río (E4):

Posición hacia la que se dirige la entrada en relación con el eje longitudinal del río, expresada en grados sexagesimales ( $^{\circ}$ ) (Figura 10.A.). Se analiza como la dirección por la que los peces se introducen en el interior del paso, y que es perpendicular a la abertura que presente el elemento de entrada (FAO & DVWK, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; *GEA*).

- A) Entrada orientada paralela al eje del río ( $0^{\circ} \leq A \leq 90^{\circ}$ ) en dirección a la lógica aproximación de los peces = 10 puntos.
- B) Entrada orientada perpendicular al eje del río ( $90^{\circ} < A \leq 135^{\circ}$ ) = 2.5 puntos
- C) Entrada orientada paralela al eje del río ( $135^{\circ} < A \leq 180^{\circ}$ ) en dirección contraria a la lógica aproximación de los peces = 0 puntos.

### 3.3.2.e. Poza de remonte (E5):

Se refiere al volumen de agua que permite a los peces tomar impulso para adentrarse desde el río hacia el interior del paso piscícola (Figura 11.A.). Su adecuación se determinará a partir de la profundidad de agua medida en metros donde la lámina de agua de la corriente hacia aguas abajo del elemento de entrada sea estable, es decir, horizontal y sin saltos de relevancia. Una profundidad demasiado reducida impedirá que los peces puedan tomar el impulso que necesitan para adentrarse en la escala (Martínez de Azagra, 1999; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; *GEA*).

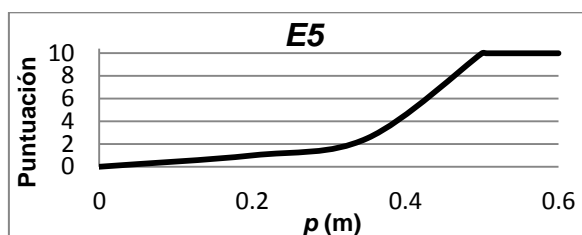


Figura 7. Gráfico para la puntuación de E5.

### 3.3.2.f. Tipología del elemento de entrada (E6):

Refleja a través de qué tipo de elemento acceden los peces al interior de una escala (comentado en apartados anteriores) (Figura 8.A.). En caso de que existan orificios no se tendrán en cuenta debido a que su medición resulta muy difícil y suelen presentar dimensiones muy reducidas, ya que normalmente sirven para eliminar la arena que se acumula en el interior del paso (Katopodis, 1992; FAO & DVWK, 2002; GEA). Para su puntuación ver “3.3.3.g.”.

### 3.3.3. Pasaje

#### 3.3.3.a. Desnivel entre láminas de agua de estanques sucesivos (Ps1):

Es el promedio de la diferencia de cota (en m) sobre el eje vertical entre las láminas de agua de estanques sucesivos (Figura 12.A.). Las mediciones se harán donde las láminas de agua sean horizontales, sin saltos o alteraciones de relevancia, y antes de la contracción que presenta el flujo al atravesar un elemento de paso. Si el desnivel es demasiado pequeño se reduce el interés de los peces por ascender a través de los estanques y como consecuencia, el número de individuos que atraviesan el dispositivo. Del mismo modo, si el valor de esta variable resulta demasiado grande, la proporción de individuos de la población piscícola capaces de pasar de un estanque al siguiente es mínima o inexistente debido al gran esfuerzo que supone (Katopodis, 1992; Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; GEA).

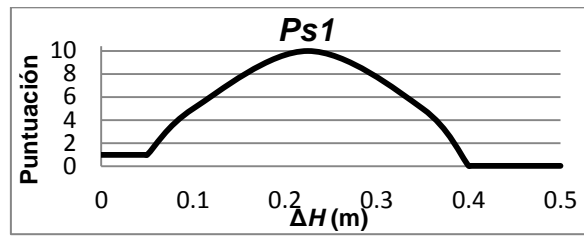


Figura 8. Gráfico para la puntuación de la variable fundamental Ps1.

**3.3.3.b. Potencia disipada por unidad de volumen (Ps2):**

Promedio de la potencia de la corriente (en W/m<sup>3</sup>), entendida como energía que presenta por unidad de tiempo que es disipada en el volumen de agua de los estanques de la escala (Exp. VII). Un exceso de potencia disipada puede provocar una reducción en la motivación de los peces para ascender a través del paso, mientras que poca disipación puede provocar recirculaciones y turbulencias que desorienten a los individuos que se encuentren dentro de la escala (Clay, 1995; Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Towler *et al.*, 2015; GEA).

$$N = \frac{g \cdot \rho \cdot Q_{escala} \cdot \Delta H}{B \cdot L \cdot t_{med}}$$

(Exp.VII)

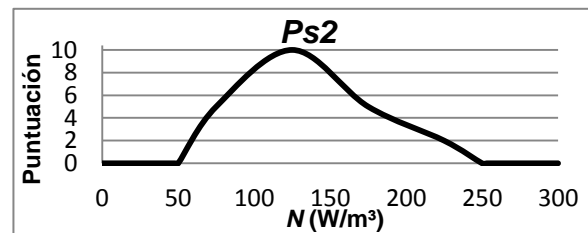


Figura 9. Gráfico de puntuación de Ps2.

donde N es la potencia disipada por unidad de volumen (W/m<sup>3</sup>); g es la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>); ρ es la de densidad absoluta del agua en el curso considerado (kg/m<sup>3</sup>); ΔH hace referencia al desnivel entre las láminas de agua consecutivas (m); B es la anchura del estanque que se evalúa (m); L es la longitud del estanque que se evalúa (m); y t<sub>med</sub> es el tirante medio del estanque que se evalúa (m).

**3.3.3.c. Tirante medio de los estanques (Ps3):**

Se trata del promedio del calado o nivel de agua existente en el interior de los estanques (en m) (Exp. VIII) (Figura 13.A.). Las mediciones sobre la lámina de agua se harán donde ésta tienda a ser horizontal, sin saltos o alteraciones de relevancia a la mitad de la longitud de los estanques. Valores demasiado reducidos de esta variable pueden dificultar el desplazamiento de los peces por el interior de los estanques, impedir que puedan descansar adecuadamente durante el ascenso, quedar expuestos a posibles depredadores, sufrir daños por rozadura y estar sometidos a gran estrés. Todo ello puede disminuir su motivación para ascender por la escala (Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; GEA).

$$t_{med} = P + h - \frac{\Delta H}{2}$$

(Exp.VIII)

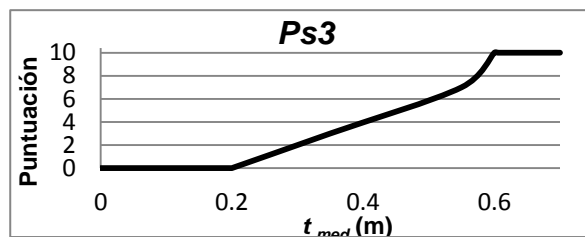


Figura 10. Gráfico empleado para la puntuación de Ps3.

donde *P* es la altura desde el lecho o suelo hasta el umbral del elemento de paso (m); y *h* es la carga de vertido en el elemento de paso, es decir, diferencia de cota entre la lámina de agua antes de la contracción que sufre al pasar por el elemento y la altura umbral del vertedero (m).

**NOTA:** En caso de no poderse medir las diferentes variables que se requieren para el cálculo del tirante medio, se aceptará la medición de la profundidad en el centro del estanque.

**3.3.3.d. Rectangularidad de los estanques (Ps4):**

Son las relaciones existentes entre las dimensiones de los estanques (Exp. IX) (Figura 14.A) y que condicionan la presencia o no de fenómenos de recirculación y turbulencia del agua en el interior de los mismos. En caso de que los valores observados en la escala a evaluar sean mucho menores de lo aconsejado por la bibliografía, los peces pueden ver reducida su motivación para ascender por los estanques del paso mientras que, si sobrepasan significativamente esas recomendaciones pueden desorientarse, lo que dificulta sensiblemente su ascenso (Martínez de Azagra, 1999; Larinier, 2002; Wang *et al.*, 2010; GEA).

$$\frac{L}{b} \text{ y } \frac{B}{b}$$

(Exp. IX)

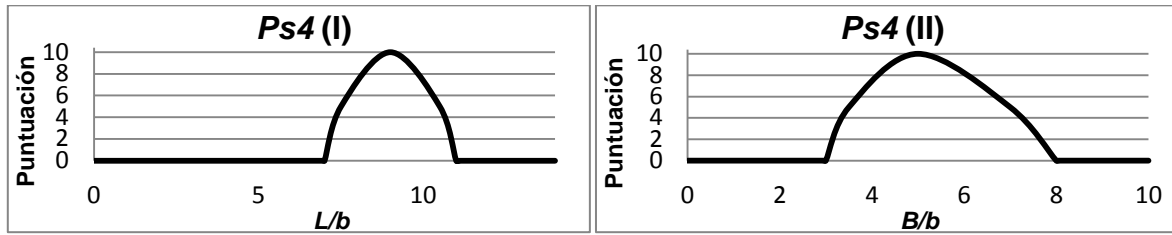


Figura 11. Sistema de puntuación de la relación entre  $L$  y  $b$  (izquierda) y entre  $B$  y  $b$  (derecha).

donde  $b$  es la anchura del elemento de paso (m).

**3.3.3.e. Anchura de los elementos de paso entre estanques (Ps5):**

Consiste en el promedio de la anchura en metros respecto del eje horizontal de los elementos por los que los peces pasan de un estanque hacia otro (Figura 15.A.). En caso de tratarse de un orificio, además de la anchura deberá considerarse su altura medida sobre el eje vertical para calcular su área (en  $m^2$ ). En caso de que los elementos de paso presenten una anchura demasiado reducida existe un elevado riesgo de que se presenten obstrucciones por restos, daños en los peces por rozadura, o de que solo puedan atravesarlos los individuos de menor tamaño (Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; GEA).

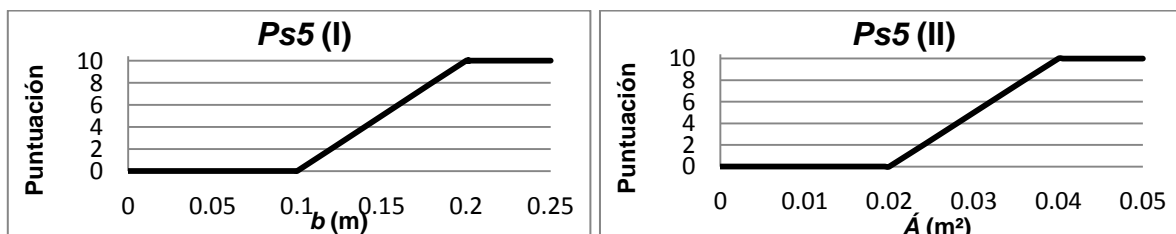


Figura 12. Gráfico para la puntuación de la anchura del elemento de paso (izquierda) y el área de un orificio (derecha).

**3.3.3.f. Profundidad de paso en los elementos de paso (Ps6):**

Hace referencia al promedio del nivel de agua (en m) en los elementos de paso por los que los peces se desplazan entre estanques (Figura 16.A.). Se mide como de la diferencia de cota sobre el eje vertical entre la lámina de agua y el umbral del elemento de paso. Ambas mediciones se realizan en el centro de su proyección en planta. Si los valores observados son

muy pequeños puede ser que los peces sufran heridas por rozadura o que tenga que saltar de un estanque a otro (*GEA*). Para su puntuación se emplea la “Figura 6”.

### 3.3.3.g. Tipología de los elementos de paso (*Ps7*):

Son los tipos de elementos de paso por los que los peces se desplazan de un estanque a otro (Figura 17.A.) (Katopodis, 1992; FAO & DVWK, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; *GEA*).

- Hendidura vertical (con o sin orificio): 10 puntos.
- Vertedero con vertido sumergido + orificio de fondo: 10 puntos.
- Vertedero con vertido libre + orificio de fondo: 9 puntos.
- Orificio de fondo: 7.5 puntos.
- Vertedero con vertido sumergido: 5 puntos.
- Vertedero con vertido libre: 2.5 puntos.

### 3.3.4. Salida

#### 3.3.4.a. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río (*S1*):

Es la diferencia de cota (en m) medida sobre el eje vertical existente entre las láminas de agua del último estanque y del curso de agua hacia aguas arriba del obstáculo (Figura 18.A.). En ambos puntos, las láminas de agua deberán ser horizontales, no presentar saltos, ni contraerse por su proximidad al elemento de salida. Además, el punto considerado en el río deberá estar lo más próximo posible a la salida del paso piscícola. Si el desnivel es demasiado pequeño se reduce el interés de los peces por salir de la escala. Por otro lado, si esta variable resulta demasiado grande, la proporción de individuos de la población piscícola capaces de realizar el gran esfuerzo para poder salir del paso es mínima o inexistente (Katopodis, 1992; Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Sanz-Ronda *et al.*, 2013; *GEA*).



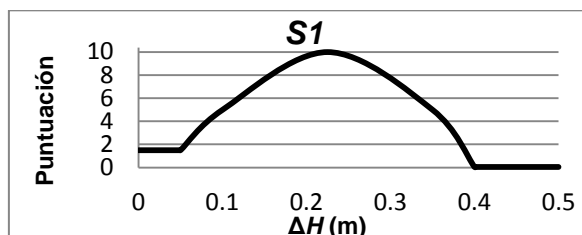


Figura 13. Gráfico de puntuación ligado a la variable  $S1$ .

### 3.3.4.b. Anchura del elemento de salida ( $S2$ ):

Anchura (en m) sobre el eje horizontal del elemento por el que los peces salen del interior del paso piscícola hacia el río (Figura 15.A.). Para definir esta variable más en detalle y puntuarla se tendrá en cuenta lo expuesto anteriormente (Ver 3.3.3.e y Figura 12).

### 3.3.4.c. Profundidad de paso en el elemento de salida ( $S3$ ): (GEA).

Se trata del nivel de agua en metros en el elemento de paso por el que los peces salen del último estanque de la escala hacia el río (Figura 19.A.). Se medirá como la diferencia de cota sobre el eje vertical entre la lámina de agua sobre el elemento de salida y su umbral; realizándose ambas mediciones en el centro de la proyección en planta de dicho elemento. Si esta variable presenta valores demasiado pequeños, los peces pueden sufrir heridas por rozadura o puede ser necesario que tenga que saltar para salir del paso. Para puntuarla ver "Figura 6".

### 3.3.4.d. Orientación de la salida respecto del río ( $S4$ ):

Hace referencia a la posición hacia la que se enfoca la abertura del elemento de salida respecto del eje longitudinal del río (Figura 20.A.). Esa dirección coincide con la trayectoria por la que los peces salen del paso, es decir, es perpendicular al elemento de salida (Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA).

- A) Salida orientada paralela al eje del río ( $0^\circ \leq A \leq 90^\circ$ ) y a favor del sentido del flujo: 10 puntos.
- B) Salida orientada perpendicular al eje del río ( $90^\circ < A < 135^\circ$ ): 8 puntos.
- C) Salida orientada paralela al eje del río ( $135^\circ \leq A \leq 180^\circ$ ) y enfrentada al sentido del flujo: 4 puntos.

### 3.3.4.e. Distanciamiento entre la salida y el vertido sobre la coronación del obstáculo (S5):

Analiza la proximidad o lejanía de la salida del paso para peces respecto de la zona por la que se vierte el flujo sobre la coronación del obstáculo (Figura 21.A.). Esta variable se medirá como la distancia, en metros, existente entre el punto medio de la proyección en planta del elemento de salida y el punto más próximo de la coronación del obstáculo por la que se vierte agua. Distancias demasiado reducidas pueden provocar que cuando los peces salen del paso se vean arrastrados hacia aguas abajo del obstáculo (Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA).

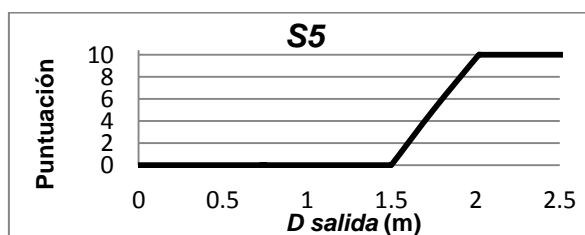


Figura 14. Gráfico empleado para la puntuación de S5.

### 3.3.4.f. Tipología del elemento de salida (S6):

Refleja mediante qué tipo de elemento de salida los peces pasan del interior de la escala, a la corriente hacia aguas arriba del obstáculo (Figura 17.A.) (Katopodis, 1992; FAO & DVWK, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA). Para la puntuación de S6 ver “3.3.3.g.”.

## 3.4. Observaciones de relevancia

Cada una de las cuatro categorías consideradas presenta diferentes observaciones de relevancia que deberán ser atendidas durante la evaluación de un paso. En la atracción (O.A.)

se debe prestar atención al mantenimiento y a la limpieza. Dentro de la entrada (O.E.), se tendrá en cuenta el mantenimiento y limpieza, la existencia y adecuación de barreras de guiado hacia la entrada, elementos para la regulación del salto entre las láminas de agua, y si hay o puede haber otras descargas de flujo distintas a la de la escala y del caudal de llamada que puedan desorientar a los peces. Al evaluar el pasaje (O.Ps.) los aspectos a considerar son: mantenimiento y limpieza, naturalización del lecho con piedras, esquinas redondeadas, presencia de deflectores en los estanques y fugas de caudal importantes. Por último, en la salida (O.S.) se debe analizar: el mantenimiento y la limpieza, si hay y cómo es el dispositivo contra la entrada de elementos arrastrados por la corriente, las compuertas de regulación de caudales, barreras de guiado para evitar que los peces puedan caer hacia aguas abajo, y la profundidad en el río derivada del grado de aterramiento del obstáculo (Armstrong *et al.*, 2004; Towler *et al.*, 2013; GEA).

Las puntuaciones que se asignarán a las diferentes categorías en que se clasificarán las observaciones de relevancia se muestran a continuación:

**Tabla 2.** Clasificación en que se incluirán las observaciones de relevancia junto con sus correspondientes puntuaciones.

Categorías de asignación de las observaciones de relevancia	Puntuación correspondiente
Muy adecuado/a	+10
Adecuado/a	+5
No se conoce	0
Inadecuado/a	-5
Muy inadecuado/a	-10

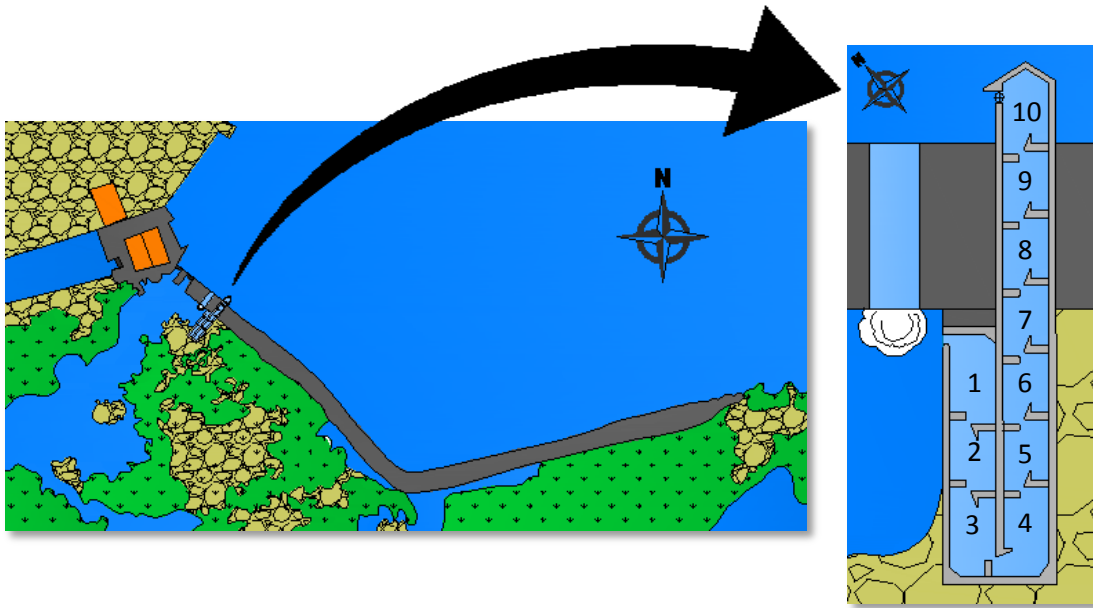
**NOTA:** "Mantenimiento y limpieza" nunca puede ser clasificada como "no se conoce".

### 3.5. Localización del caso práctico

El caso práctico que se plantea en el presente trabajo se localiza en el paso para peces del azud asociado a la central hidroeléctrica de Almenara, en el río Tormes, que se encuentra en el término municipal de Almenara de Tormes (Salamanca, España (41°03'29,86"N, 5°49'27,75"O)). La recogida de la información y datos necesarios se realizó durante el mes de junio de 2015.

El azud objeto de estudio presenta forma de "L" (Figura 15), una altura de 3,27 m y una cuerda o longitud de coronación de 230 m (C.H.D., 2015). La escala que se evaluó se encuentra más próxima de la margen derecha, en dirección hacia aguas abajo, que es también donde se

encuentra un rebaje en el labio del azud de 2 m de ancho para aumentar la llamada hacia la escala, dos compuertas para el vaciado del azud y la casa de turbinas de la central.



**Figura 15.** Croquis del entorno del paso para peces (izquierda) y detalle del mismo con la numeración de los estanques considerada en la evaluación (derecha).

Esta escala para peces consta de 10 estanques sucesivos conectados por hendiduras verticales, siendo 4 de los estanques singulares (Figura 15). La elección de esta escala para su evaluación fue debido, en primer lugar a que se ubica en uno de los principales ríos de la cuenca hidrográfica del Duero el cual, a su vez, es uno de los más importantes de la península Ibérica (Morán-Tejada *et al.*, 2011), y en segundo lugar, por tratarse de un caso en el que el diseño y ejecución del proyecto resultan muy adecuados ya que previamente a realizar su evaluación no se observaron problemas que pudieran comprometer el correcto funcionamiento del dispositivo.

El caudal medio anual circulante por el río Tormes en el tramo de estudio (estación de aforos A087 Salamanca) es de  $24,78 \text{ m}^3/\text{s}$  (C.H.D., 2014); siendo el mes de junio de 2014,  $78,73 \text{ m}^3/\text{s}$  su caudal máximo registrado y  $6,73 \text{ m}^3/\text{s}$  el mínimo (C.H.D., 2014). Durante la evaluación, el caudal circulante por el río en esa estación de aforos fue de  $17,99 \text{ m}^3/\text{s}$  (S.A.I.H. del Duero, 2015), y la diferencia de nivel entre las láminas de agua a ambos lados del obstáculo era de 1,93 m.

En este tramo de río, tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo del obstáculo, se encuentran diversas especies piscícolas autóctonas de la familia *Cyprinidae* como el barbo

Alumno: Jorge Valbuena Castro

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Investigación en Conservación y Uso Sostenible de los Sistemas Forestales

común ibérico y la boga del Duero (MÍRAME-IDEDuero, 2015), que son dos de las tres especies en las que se centra la metodología propuesta. Además, están presentes varias especies exóticas pertenecientes a las familias *Cyprinidae*, *Salmonidae*, *Poeciliidae*, y *Centrarchidae* (MÍRAME-IDEDuero, 2015).

### 3.6. Información recogida sobre la escala

Debido a la disponibilidad de equipo especializado, y con el fin de conseguir maximizar la precisión de este caso práctico, se empleó un flexómetro y una estación total *Leica* modelo *TC307*, con prisma y pértiga para la toma de datos correspondientes a las variables fundamentales. Por las mismas razones, el caudal que circulaba por el interior de la escala en el momento de la evaluación se determinó mediante la ecuación de gasto para una hendidura vertical (Exp. X) (Clay, 1995; Martínez de Azagra, 1999) y los coeficientes propuestos por Fuentes-Pérez *et al.* (2014):

$$Q_{Hendidura\ Vertical} = c * b * h * \sqrt{2 * g * \Delta H} \quad (\text{Exp. X})$$

donde  $Q_{Hendidura\ Vertical}$  es el caudal que circula a través de una hendidura vertical; y  $c$  es el coeficiente de gasto (0,758) (Fuentes-Pérez *et al.*, 2014).

El cálculo del caudal que circula a través del rebaje en el labio del azud para la llamada se calculó con un velocímetro y la ecuación de continuidad (Exp. XI):

$$Q = v * s \quad (\text{Exp. XI})$$

donde  $Q$  es el caudal circulante ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $v$  es la velocidad del flujo ( $\text{m}/\text{s}$ ); y  $s$  es la sección por la que fluye el flujo ( $\text{m}^2$ ).

## 4. Resultados

Una vez recogida y estimada la información necesaria sobre la escala, se procedió a calcular la puntuación correspondiente a cada variable fundamental tal y como se muestra en el documento “anejos a la memoria” (Tabla 1.A.). Para las variables incluidas en el pasaje se trabajó con los datos de 5 estanques diferentes, un conjunto de datos provenientes del estanque tipo y 4 de los estanques singulares (Figura 15). Después, y en base al criterio del

evaluador, se establecieron las puntuaciones correspondientes a las observaciones de relevancia de cada categoría (Tabla 2.A.).

A partir de las puntuaciones asignadas a las variables fundamentales y a las observaciones de relevancia, se procedió a calcular la puntuación de cada categoría [5,8 puntos para A; 8,72 para E; 7,18 para Ps; y 6,76 para S (Tabla 3.A.)] para así, en base al resultado de cada categoría calcular la puntuación correspondiente a toda la escala [7,05 puntos (Tabla 4.A.)].

Así mismo, se aplicó este mismo caso práctico a la metodología propuesta por Towler *et al.* (2013). El resultado de la utilización de esta metodología se muestra en “material complementario” (Ver M.C.1).

## 5. Discusión

Según la metodología propuesta, la escala objeto de estudio presenta un funcionamiento muy favorable, pudiendo considerar las posibles mejoras como poco necesarias dada la puntuación global obtenida [7,05 (Tabla 4.A.)]. Su aplicación ha permitido conocer que algunas de las variables analizadas presentan inconvenientes concretos. Los mayores problemas se han encontrado relacionados con las dimensiones de los estanques (Tabla 1.A.); aunque a efectos prácticos, no se considera un condicionante estricto de que los peces puedan o no ascender por una escala y el peso relativo de esta variable es compensado por el resto de parámetros considerados, tal y como se observa a través de la puntuación final del *Ps*. Otro problema especialmente relevante es el reducido desnivel entre las láminas de agua en la salida (Tabla 1.A.), que puede provocar una reducción en la motivación de los peces para abandonar el paso piscícola; no obstante, ofrece unas condiciones hidráulicas que pueden ser superadas por casi la totalidad de la población piscícola (Katopodis, 1992; Jungwirth *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002; Armstrong *et al.*, 2004; Sanz-Ronda *et al.*, 2013). Así mismo, la ubicación del paso para peces está extremadamente alejada de su emplazamiento idóneo (Tabla 1.A.). Hecho que podría dificultar que los peces encontraran fácilmente la entrada de la escala, reduciendo el número de individuos capaces de adentrarse en ella y superarla (Bunt, 2001; Agostinho *et al.*, 2002; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002b; Marriner *et al.*, 2014; Sanz-Ronda *et al.*, 2014).

En cuanto al estudio por estanques, se ha observado que el estanque 4 presenta puntuaciones menores que las del resto (Tabla 1.A.). De manera que es el estanque que más condiciona el pasaje de los peces por la escala. Esto se puede deber a que en el momento de la evaluación,

la hendidura vertical que está entre los estanques 3 y 4 presentaba una obstrucción por restos vegetales; lo que podía cambiar el normal funcionamiento de alguno de los estanques adyacentes (Fuentes-Pérez *et al.*, 2014). Tal y como indican Martínez de Azagra (1999), FAO & DVWK (2002) y Towler *et al.* (2013), este tipo de obstrucciones son la principal causa de alteraciones en el funcionamiento de estos dispositivos.

A pesar de las limitaciones expuestas, la evaluación del resto de parámetros indica que esta escala se encuentra dentro de los límites de funcionamiento correctos.

Analizando el único trabajo, propuesto por Towler *et al.* (2013), del que se tiene conocimiento que persigue el mismo objetivo que lo expuesto en este documento se observan múltiples diferencias: en las bases, la aplicación y los resultados que proporcionan. Las diferencias en cuanto a las bases y aplicación residen en las especies piscícolas objetivo, la tipología de dispositivos de franqueo o pasos evaluados, el tipo de aspectos a los que se atiende y los potenciales usuarios a los que se enfoca. En cuanto a los resultados, a diferencia de la metodología aquí presentada, el trabajo de Towler *et al.* (2013) no ofrece apenas aspectos cuantitativos, ni posibles mejoras y con qué premura se deben realizar.

Al aplicar el caso práctico considerado en este trabajo a ambas metodologías, se observa que la metodología desarrollada por Towler *et al.* (2013), de forma principalmente descriptiva y apenas cuantitativa, atiende a aspectos del entorno y de diseño del dispositivo; dejando de lado las cuestiones hidráulicas. Cuando se debe atender conjuntamente a aspectos de diseño e hidráulicos para poder determinar la eficiencia de su funcionamiento (Sanz-Ronda *et al.*, 2014). También, de acuerdo a lo ya comentado, se observó como el trabajo de Towler *et al.* (2013) no facilitaba apenas resultados cuantitativos ni orientación para solventar los problemas existentes en la escala evaluada.

En cuanto a las limitaciones del marco metodológico propuesto, cabe destacar que éste se centra únicamente en tres especies piscícolas concretas ajustándose a sus requerimientos hidráulicos, capacidades natatorias y preferencias etológicas. Esto condicionará su uso para otras especies, ya que, no todas las especies piscícolas son iguales en cuanto a exigencias y aptitudes para afrontar un paso para peces (Martínez de Azagra, 1999; FAO & DVWK, 2002; Larinier, 2002b; Castro-Santos *et al.*, 2012; Towler *et al.*, 2013; Sanz-Ronda *et al.*, 2015). No obstante cabe destacar que una vez se obtengan estudios específicos para otras especies, esta metodología se podrá adaptar para considerarlas, aumentando su rango de aplicabilidad. Así mismo, trata aspectos de diseño e hidráulicos relacionados con la escala para peces a evaluar y sus conexiones con el río en que se ubica, dejando a un lado cuestiones biológicas propiamente dichas. Aunque como se dijo anteriormente, a pesar de que el funcionamiento de un paso para

peces viene condicionado por cuestiones de diseño, hidráulicas y biológicas; su funcionalidad puede estudiarse indirectamente a través de las dos primeras solamente (Katopodis, 1992; Agostinho *et al.*, 2002; FAO & DVWK, 2002; Katopodis & Williams, 2012; Williams *et al.*, 2012; Foulds & Lucas, 2013). Además, debido a que esta metodología se aplica en un momento puntual, se asume que esos resultados puntuales reflejan el funcionamiento continuo del dispositivo, asumiendo fenómenos transitorios, como obstrucciones, como algo permanente.

Por último, uno de los puntos fuertes a destacar de este marco metodológico es que permite obtener resultados cuantitativos y con moderada subjetividad que posibilitan la identificación de problemas particulares que puedan influir en el ascenso de los peces a través del dispositivo así como, determinar numéricamente la magnitud de la posible mejora a realizar y su urgencia. Esto puede permitir una identificación más rápida de los problemas y por lo tanto una mayor eficacia en su solución. Además, dado el grado de detalle con el que se explican los aspectos a considerar, su medición y cómo proceder con la información recogida en campo se facilita que sea utilizada por usuarios con una experiencia reducida en materia de pasos para peces así como en su evaluación.

## 6. Conclusiones

La metodología propuesta en este trabajo proporciona un sistema novedoso, que aparentemente es una buena opción, para la evaluación del ascenso de los peces a través de las escalas de estanques sucesivos en cursos de agua en los que estén presentes las especies objetivo (trucha común, barbo común ibérico y/o boga del Duero). Además, permite su evaluación detallada de una forma cuantitativa a la vez que identifica rápidamente los problemas existentes. Esta metodología pone de manifiesto la importancia de atender a aspectos de diseño e hidráulicos para determinar indirectamente la eficiencia de una escala para peces.

El caso práctico sobre el que se evalúa esta metodología, pone de manifiesto su sencillez y lógica, lo que hace que el conocimiento necesario para su aplicación sea básico y, por tanto, que su uso por diferentes agentes conduzca a similares resultados.

En cuanto a su comparativa con otras metodologías existentes, dentro de donde abarca nuestro conocimiento, la aquí expuesta es la primera capaz de clasificar cuantitativamente la escala de forma disgregada lo que permite identificar errores específicos. Esto sin lugar a duda facilitará la correcta distribución de recursos cuando haya que modificar un paso para peces.



## 7. Agradecimientos

El trabajo de campo ha sido realizado gracias al convenio existente entre la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD), Itagra.ct y GEA (Grupo de Ecohidráulica Aplicada) de la Universidad de Valladolid. Además, el autor agradece especialmente toda la ayuda prestada por sus tutores así como a Juan Francisco Fuentes Pérez, Francisco Javier Bravo Córdoba, Jorge Ruiz Legazpi, Sara Uzquiano Pérez y los familiares del propio autor.

## 8. Bibliografía

- Agostinho A.A., Gomes L.C., Fernandez D.R., Suzuki H.I., 2002. Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* 18, 299-306.
- Armstrong G., Aprahamian M., Fewings A., Gough P., Reader N., Varallo P., 2004. Guidance notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and Wales. Environment Agency: National Fish Pass Manual, Versión 1.
- Bunt C., 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fish Manage Ecol* 8, 95-105.
- Bunt C., Castro-Santos T., Haro A., 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications* 28, 457-478.
- C.H.D., Confederación Hidrográfica del Duero, 2015. Portal de la Confederación Hidrográfica del Duero [On Line]. Disponible en [www.chduero.es](http://www.chduero.es).
- C.H.D., Confederación Hidrográfica del Duero, 2014. Anuario de Datos Foronómicos, servicio integrado S.A.I.H.-R.O.E.A, año hidrológico 2013-2014 [On Line]. Disponible en [www.saihduero.es](http://www.saihduero.es).
- Calles E., Greenberg L., 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the river Emån. *River research and applications* 21, 951-960.
- Calles O., Greenberg L., 2009. Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications* 25, 1268-1286.

- Castro-Santos T., Sanz-Ronda F.J., Ruiz-Legazpi J., Jonsson B., 2012. Breaking the speed limit—comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Can J Fish Aquat Sci* 70, 280-293.
- Clay C.H., 1995. Design of fishways and other fish facilities. CRC Press.
- Cooke S.J., Hinch S.G., 2013. Improving the reliability of fishway attraction and passage efficiency estimates to inform fishway engineering, science, and practice. *Ecol Eng* 58, 123-132.
- Doadrio I., 2002. Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza: Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- Falke J.A., Gido K.B., 2006. Spatial effects of reservoirs on fish assemblages in Great Plains streams in Kansas, USA. *River Research and Applications* 22, 55-68.
- Febrina R., Sekine M., Kanemoto H., Yamamoto K., Kanno A., Higuchi T., Imai T., 2015. Study on Fish Migration through a Stone-Embedded Fish Passage Based on Preference. *Journal of Water and Environment Technology* 13, 77-87.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/Deutcher Verband fur Wasserwirtschaft und Kulturbau eV (DVWK), 2002. Fish passes- Design, dimensions and monitoring.
- Foulds W.L., Lucas M.C., 2013. Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Ecol Eng* 58, 423-433.
- Fuentes-Pérez J., Sanz-Ronda F., de Azagra Paredes, A Martínez, García-Vega A., 2014. Modeling Water-Depth Distribution in Vertical-Slot Fishways under Uniform and Nonuniform Scenarios. *J Hydraul Eng*.
- Gosset C., Rives J., Labonne J., 2006. Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecol Freshwat Fish* 15, 247-254.
- Jungwirth M., Schmutz S., Weiss S., 1998. Fish migration and fish bypasses. Fishing News Books Oxford.
- Katopodis C., 1992. Introduction to fishway design. Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans.

- Katopodis C., Williams J.G., 2012. The development of fish passage research in a historical context. *Ecol Eng* 48, 8-18.
- Larinier M., 2002. Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364, 54-82.
- Larinier M., 2002b. Location of fishways. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364, 39-53.
- Larinier M., Travade F., 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364, 181-207.
- Malmqvist B., Rundle S., 2002. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environ Conserv* 29, 134-153.
- Marriner B.A., Baki A.B.M., Zhu D.Z., Thiem J.D., Cooke S.J., Katopodis C., 2014. Field and numerical assessment of turning pool hydraulics in a vertical slot fishway. *Ecol Eng* 63, 88-101.
- Martínez de Azagra Paredes, A, 1999. Escalas para peces. Publicaciones E.T.S.II.AA., 35.
- McLaughlin R.L., Smyth E.R., Castro-Santos T., Jones M.L., Koops M.A., Pratt T.C., Vélez-Espino L., 2013. Unintended consequences and trade-offs of fish passage. *Fish Fish* 14, 580-604.
- MÍRAME-IDEDuero, 2015. Sistema de Información MÍRAME-IDEDuero [On Line]. Disponible en [www.mirame.chduero.es](http://www.mirame.chduero.es).
- Morán-Tejeda E., López-Moreno J.I., Ceballos-Barbancho A., Vicente-Serrano S.M., 2011. River regimes and recent hydrological changes in the Duero basin (Spain). *Journal of hydrology* 404, 241-258.
- Nilsson C., Reidy C.A., Dynesius M., Revenga C., 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308, 405-408.
- Noonan M.J., Grant J.W., Jackson C.D., 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish Fish* 13, 450-464.
- Piper A.T., Wright R.M., Kemp P.S., 2012. The influence of attraction flow on upstream passage of European eel (*Anguilla anguilla*) at intertidal barriers. *Ecol Eng* 44, 329-336.

- Pompeu P.d.S., Martinez C.B., 2007. Efficiency and selectivity of a trap and truck fish passage system in Brazil. *Neotropical Ichthyology* 5, 169-176.
- Roscoe D.W., Hinch S.G., 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish Fish* 11, 12-33.
- S.A.I.H. del Duero, 2015. Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Cuenca Hidrográfica del Duero [On Line]. Disponible en [www.saihduero.es](http://www.saihduero.es).
- Santos J., Ferreira M., Godinho F., Bochechas J., 2002. Performance of fish lift recently built at the Touvedo Dam on the Lima River, Portugal. *J Appl Ichthyol* 18, 118-123.
- Santos J.M., Silva A., Katopodis C., Pinheiro P., Pinheiro A., Bochechas J., Ferreira M.T., 2012. Ecohydraulics of pool-type fishways: getting past the barriers. *Ecol Eng* 48, 38-50.
- Sanz Ronda F., Bravo F., Fuentes J., Ruiz Legazpi J., García Vega A., Ramos N., Salgado V., Martínez de Azagra A., 2013. Pasos para peces: escalas y otros dispositivos de paso. *Notas técnicas del CIREF* 7, 17.
- Sanz-Ronda F.J., Bravo-Córdoba F.J., Ruiz-Legazpi J., Fuentes-Pérez J.F., García-Vega A., Salgado-González V., Valbuena-Castro J., Ramos-González N., Martínez de Azagra Paredes, A., 2014. Criterios de diseño, construcción y evaluación.
- Sanz-Ronda F.J., Ruiz-Legazpi J., Bravo-Córdoba F.J., Makrakis S., Castro-Santos T., 2015. Sprinting performance of two Iberian fish: *Luciobarbus bocagei* and *Pseudochondrostoma duriense* in an open channel flume. *Ecol Eng* 83, 61-70.
- Towler B., Mulligan K., Haro A., 2015. Derivation and application of the energy dissipation factor in the design of fishways. *Ecol Eng* 83, 208-217.
- Towler B., Orvis C., Dow III D., Haro A.J., 2013. *Fishway Inspection Guidelines*.
- Wang R., David L., Larinier M., 2010. Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 02.
- Ward J.V., Stanford J., 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regul Rivers: Res Manage* 11, 105-119.

---

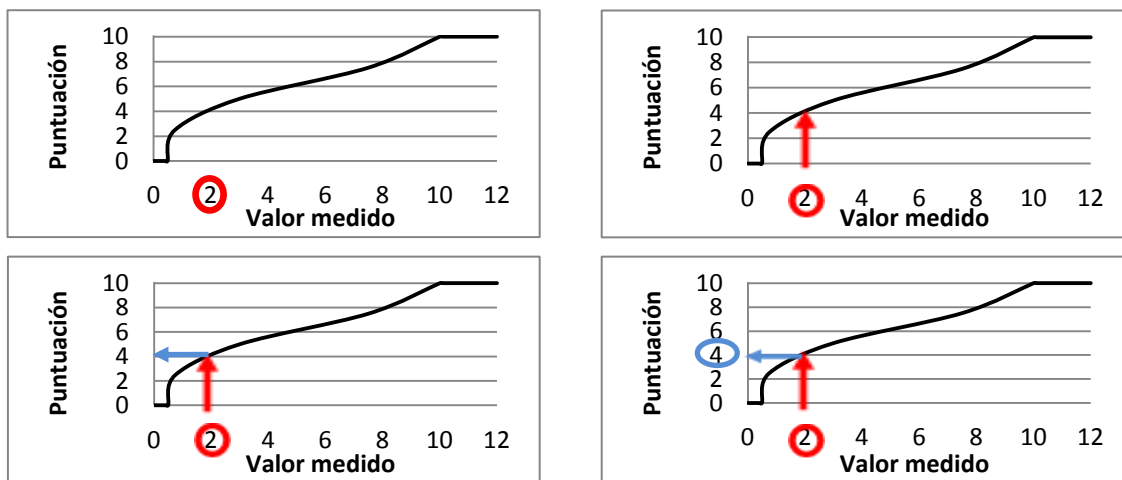
Williams J., Armstrong G., Katopodis C., Larinier M., Travade F., 2012. Thinking like a fish: a key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications* 28, 407-417.

# ANEJOS A LA MEMORIA

### A.1. Puntuación y croquis explicativos de las variables fundamentales

En este apartado se presentan los diferentes croquis que aclaran la manera en que se deben de realizar las mediciones y observaciones pertinentes para cada una de las variables fundamentales consideradas. Además se incluyen una serie de notas explicativas

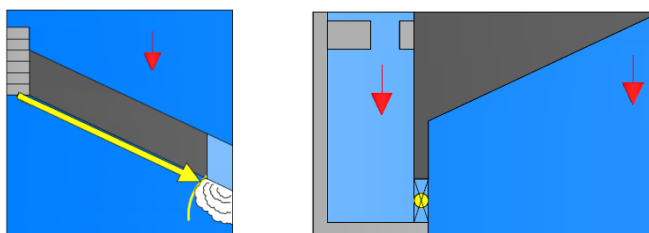
Para aquellas variables que estén asociadas a rangos de puntuación simplemente se debe determinar en cuál de esos rangos se encuentra el valor o aspecto que estemos analizando. Después, a dicha variable se la asigna el valor que lleve asociado el correspondiente rango. La manera de proceder con aquellas variables que estén ligadas a un gráfico de puntuación se presenta en la figura 1.A. Si el valor medido de una variable queda fuera de los valores recogidos en los ejes del gráfico, la puntuación que se le asignará a dicho valor será la que presente el mayor valor representado en ese eje.



**Figura 1.A.** Explicación de la utilización de un gráfico de puntuación: (1º) situamos en el eje de abscisas el valor medido (arriba a la izquierda), (2º) trazamos una línea vertical que corte la curva del gráfico (arriba a la derecha), (3º) trazamos una línea horizontal que llegue al eje de ordenadas desde el punto de corte entre la línea vertical y la curva (abajo a la izquierda), y (4º) el punto de corte de la línea horizontal con el eje vertical nos indica el valor que deberemos asignar a la variable en cuestión según la graduación del eje (abajo a la derecha).

**A.1.1. Atracción**

**A.1.1.1. Distanciamiento entre la llamada y la entrada (A2)**

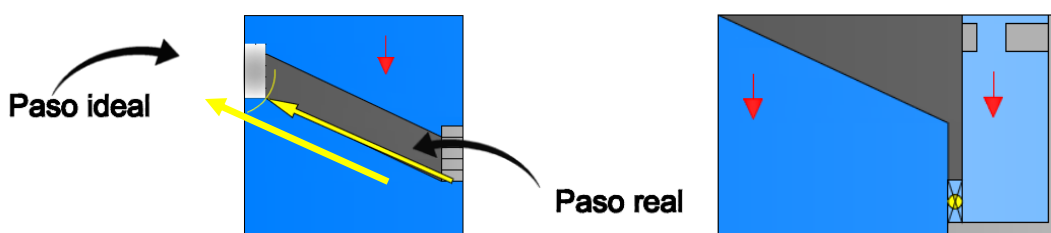


**Figura 16.** Croquis de la variable A2, en amarillo, sobre una escala y su llamada (izquierda) y el detalle aumentado de la planta del elemento de entrada en que se debe de realizar su medición, en amarillo también (derecha).

**NOTA (1):** si la llamada desemboca sobre el elemento de entrada la puntuación asignada será de 0 puntos ya que, se produce una turbulencia demasiado elevada que puede desorientar o asustar a los peces cuando entran del río hacia el primer estanque.

**NOTA (2):** si no se observa una llamada claramente definida, es decir, se vierte caudal sobre toda la coronación del obstáculo se asignarán 0,5 puntos ya que, se puede provocar un efecto de confusión sobre los peces que les impida localizar la entrada.

**A.1.1.2. Adecuación de la ubicación de la entrada para peces (A3)**



**Figura 3.A.** Medición de A3, en amarillo, sobre el azud en que se emplaza la escala (izquierda) y detalle agrandado del punto, también en amarillo, en que se mide sobre la planta del elemento de entrada (derecha).

Ejemplos de diferentes ubicaciones de la entrada de un paso para peces, considerando que en todas ellas el calado es adecuado:



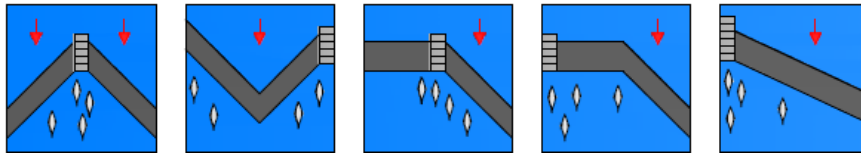


Figura 4.A. Croquis de ubicaciones idóneas.

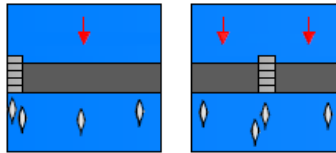


Figura 5.A. Croquis de ubicaciones intermedias.

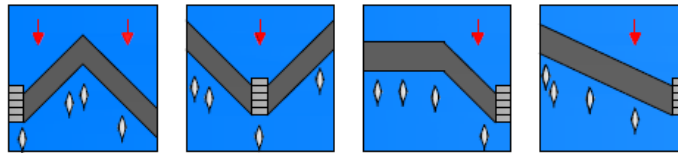


Figura 6.A. Croquis de ubicaciones malas.

## A.1.2. Entrada

### A.1.2.1. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río (E1)

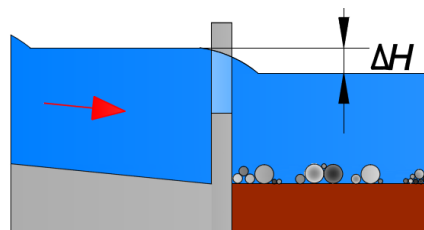
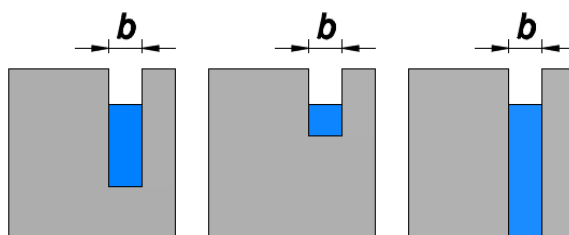


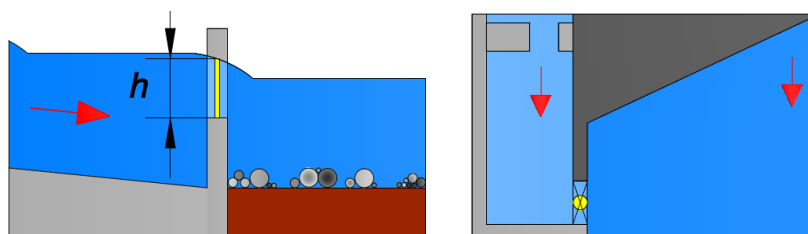
Figura 7.A. Esquema explicativo de la variable E1.

**A.1.2.2. Anchura del elemento de entrada (E2)**



**Figura 8.A.** Croquis de la medición de E2 sobre un vertedero sumergido (izquierda), un vertedero libre (centro) y una hendidura vertical (derecha).

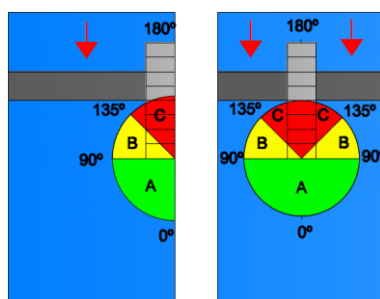
**A.1.2.3. Profundidad de paso en el elemento de entrada (E3)**



**Figura 9.A.** Punto de medición de E3, en amarillo, sobre el perfil del elemento de entrada (izquierda) y su planta (derecha).

**A.1.2.4. Orientación de la entrada respecto del río (E4)**

Según la orientación que presenta el elemento de entrada, se deberá de asignar una de las categorías mostradas en los siguientes dibujos las cuales, están asociadas a una puntuación:



**Figura 10.A.** Croquis de las zonas en las que clasificar la orientación de la entrada.

**NOTA:** (FAO & DVWK, 2002; Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA)

A) Facilita la entrada de los peces a medida que se desplazan hacia aguas arriba, a la vez que se reduce el riesgo de que se produzcan obstrucciones en el elemento de entrada por materiales arrastrados por la corriente.

B) Facilidad media de entrada de los peces a medida que se desplazan hacia aguas arriba, a la vez que el riesgo de que se produzcan obstrucciones en el elemento de entrada por materiales arrastrados por la corriente es medio.

C) Dificulta la entrada de los peces a medida que se desplazan hacia aguas arriba, a la vez que se aumenta el riesgo de que se produzcan obstrucciones en el elemento de entrada por materiales arrastrados por la corriente.

#### A.1.2.5. Poza de remonte (E5)

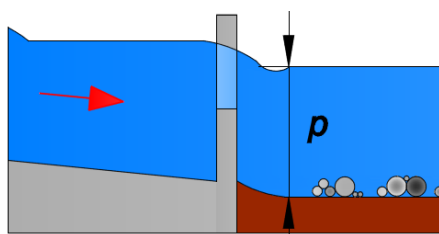


Figura 11.A. Explicación gráfica de la variable E5.

#### A.1.2.6. Tipología del elemento de entrada (E6) (Figura 8.A).

### A.1.3. Pasaje

#### A.1.3.1. Desnivel entre láminas de agua de estanques sucesivos (Ps1)

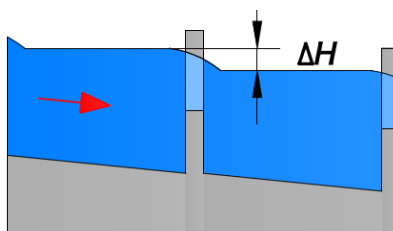


Figura 12.A. Esquema explicativo de la variable Ps1.

### A.1.3.2. Tirante medio de los estanques ( $Ps3$ )

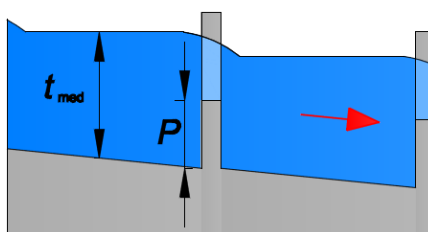


Figura 13.A. Dibujo que explica la variable altura hasta el umbral del elemento de paso ( $P$ ) necesaria para el cálculo de  $Ps3$ .

### A.1.3.3. Rectangularidad de los estanques ( $Ps4$ )

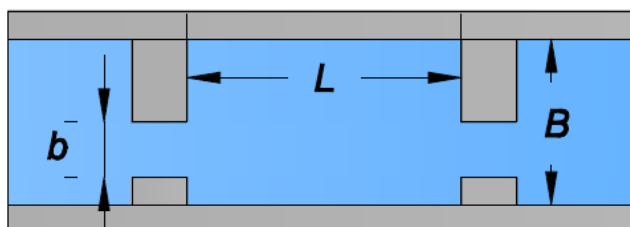


Figura 14.A. Vista en planta de un estanque tipo en la que se explica cómo medir las variables asociadas a  $Ps4$ .

### A.1.3.4. Anchura de los elementos de paso entre estanques ( $Ps5$ )

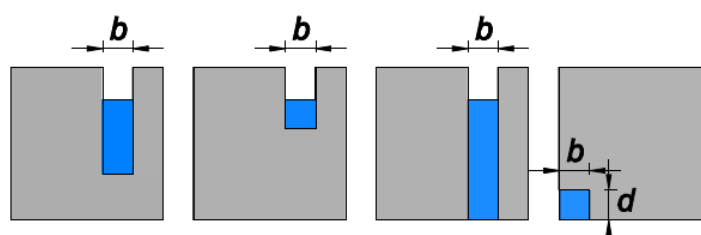


Figura 15.A. Anchura en un vertedero sumergido (izquierda), uno libre (centro izquierda), una hendidura vertical (centro derecha) y un orificio de fondo (derecha).

**NOTA:** En caso de encontrarnos con dos estructuras (p.e. vertedero y orificio), se considerará la puntuación de aquella que esté ligada a un mayor valor en la clasificación.

### A.1.3.5. Profundidad de paso en los elementos de paso ( $Ps6$ )

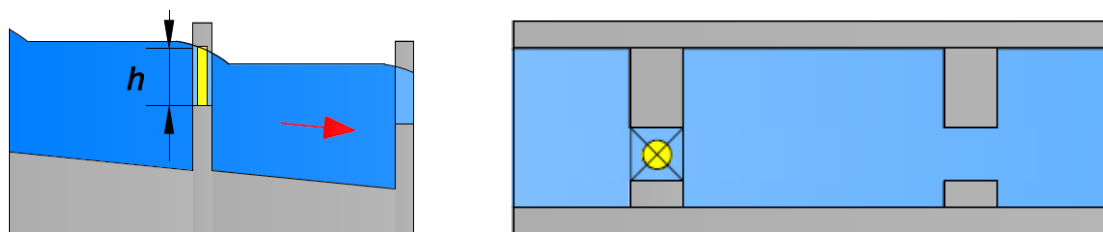


Figura 16.A. Explicación de la medición de la variable  $Ps6$ , en amarillo, sobre el alzado de un elemento de paso (izquierda) y su planta (derecha).

### A.1.3.6. Tipología de los elementos de paso ( $Ps7$ )

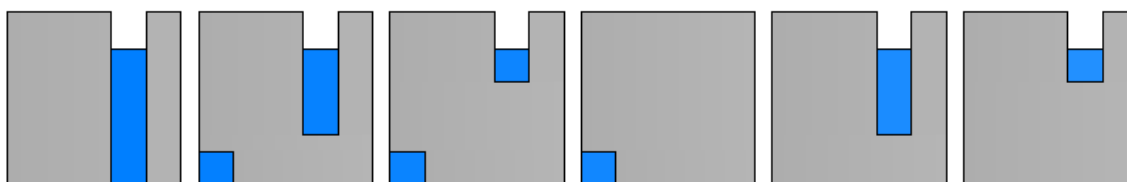


Figura 17.A. Los diferentes tipos de elementos de paso más habituales que de izquierda a derecha son: hendidura vertical, vertedero sumergido+orificio, vertedero libre+orificio, orificio, vertedero sumergido y vertedero libre.

## A.1.4. Salida

### A.1.4.1. Desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río ( $S1$ )

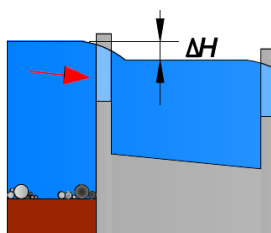
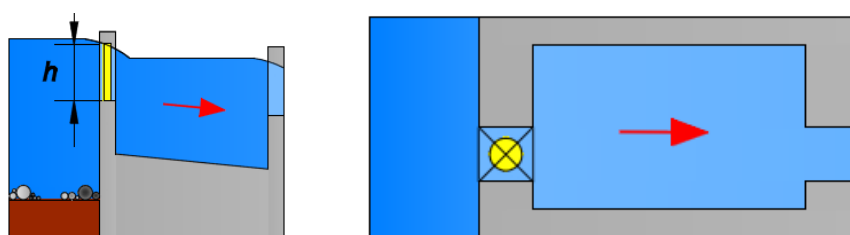


Figura 18.A. Explicación de la variable  $S1$  sobre el alzado del elemento de salida.

### A.1.4.2. Anchura del elemento de salida ( $S2$ ) (Figura 15.A).

**A.1.4.3. Profundidad de paso en el elemento de salida (S3)**

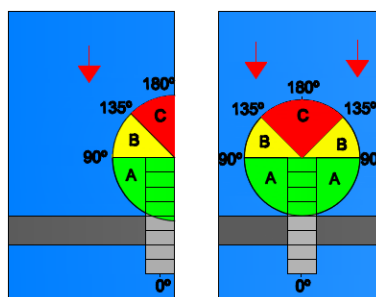


**Figura 19.A.** Representación de la variable S3, en amarillo, sobre el alzado del elemento de salida (izquierda) y su planta (derecha).

**NOTA:** en caso de que exista una compuerta o un elemento que realice esa función, S3 será la profundidad del agua debajo de dicha compuerta.

**A.1.4.4. Orientación de la salida respecto del río (S4)**

Se deberá de asignar según la orientación que presenta el elemento de salida, una de las categorías mostradas en los siguientes dibujos junto con la correspondiente puntuación:

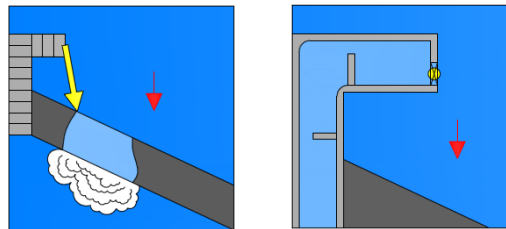


**Figura 20.A.** Categorías en las que se clasifica la salida representadas sobre la salida de una escala.

**NOTA:** (Sanz-Ronda *et al.*, 2014; GEA)

- A) Facilita la salida de los peces con un riesgo reducido de que se obstruya el elemento de salida por materiales arrastrados por la corriente.
- B) Facilita la salida de los peces con un riesgo elevado de que se produzcan obstruya el elemento de salida por materiales arrastrados por la corriente.
- C) Dificulta la salida de los peces con un riesgo medio de que se obstruya el elemento de salida por materiales arrastrados por la corriente.

#### A.1.4.5. Distanciamiento entre la salida y el vertido sobre la coronación del obstáculo (S5)



**Figura 21.A.** S5 representada, en amarillo, sobre una escala para peces y su obstáculo (izquierda) y detalle aumentado del punto, también en amarillo, de su medición sobre la planta del elemento de salida (derecha).

#### A.1.4.6. Tipología del elemento de salida (S6) (Figura 17.A).

## A.2. Desarrollo del caso práctico

En este apartado se presentan las tablas asociadas al desarrollo del caso práctico incluido en el presente trabajo:

**Tabla 1.A.** Valores medidos de cada una de las variables fundamentales y su correspondiente puntuación.

Categoría	Variable fundamental	Valor medido	Puntuación correspondiente
Atracción	<i>Q llamada total</i>	2,48%	4,5
	<i>D llamada</i>	1,30 m ( $< \frac{1}{3} * L'$ )	10,0
	<i>U idóneo</i>	124 m (54% de $L'$ )	2,0
Entrada	$\Delta H$ entrada	0,13 m	7,4
	<i>b</i> entrada	0,40 m	10,0
	<i>h</i> entrada	0,77 m	10,0
	Orientación entrada	90°	10,0
	$\rho$	1,21 m	10,0
	Tipología entrada	Hendidura vertical	10,0
Pasaje	$\Delta H$ pasaje singular 1; 3; 4; 10/ $\Delta H$ pasaje tipo	0,13; 0,16; 0,36; 0,14m/ 0,19 m	6,8; 8,1; 4,3; 7,1/ 9,5
	<i>N</i> singular 1; 3; 4; 10 / <i>N</i> tipo	109,68; 79,78; 276,29; 72,02W/m <sup>3</sup> / 133,17 W/m <sup>3</sup>	9,4; 5,9; 0; 4,7/ 7,3
	<i>t<sub>med</sub></i> singular 1; 3; 4; 10 / <i>t<sub>med</sub></i> tipo	0,70; 0,89; 1,11; 0,96m / 1,06 m	10,0; 10,0; 10,0; 10,0/ 10,0
	( <i>L/b</i> ) singular 1; 3; 4; 10/ ( <i>L/b</i> ) tipo	16,48; 16,48; 16,48; 14,29/ 11,43	0,0; 0,0; 0,0; 0,0/ 0,0
	( <i>B/b</i> ) singular 1; 3; 4; 10/ ( <i>B/b</i> ) tipo	8,57; 8,57; 8,57; 8,57/ 8,57	0,0; 0,0; 0,0; 0,0/ 0,0
	<i>b</i> pasaje singular 1; 3; 4; 10/ <i>b</i> pasaje tipo	- ; 0,21; 0,21; 0,21 m/ 0,21 m	- ; 10,0; 10,0; 10,0/ 10,0
	<i>h</i> pasaje singular 1; 3; 4; 10/ <i>h</i> pasaje tipo	- ; 0,97; 1,29; 1,03m/ 1,15 m	- ; 10,0; 10,0; 10,0/ 10,0
	Tipología pasaje	Hendidura vertical	10,0; 10,0; 10,0; 10,0/ 10,0
Salida	$\Delta H$ salida	0,03 m	1,5
	<i>b</i> salida	0,50 m	10,0
	<i>h</i> salida	1,06 m	10,0
	<i>D</i> salida	1,83 m	7,1
	Orientación salida	90°	10,0
	Tipología salida	Hendidura vertical	10,0

Donde: singular 1; 3; 4; 10 hace referencia a los datos obtenidos en los estanques singulares 1, 3, 4 y 10 respectivamente; y “ - ” indica que ese dato se encuentra incluido en la categoría entrada.



**Tabla 2.A.** Asignación de puntuación a las diferentes observaciones de relevancia de cada categoría.

<b>Categoría</b>	<b>Observación de relevancia</b>	<b>Puntuación asignada</b>
Atracción	Mantenimiento y limpieza	+10
Entrada	Mantenimiento y limpieza	+10
	Barreras de guiado hacia la entrada	-10
	Elementos para la regulación del salto entre láminas de agua	+10
	Existencia de otras descargas de flujo	-10
Pasaje	Mantenimiento y limpieza	+5
	Lecho naturalizado con piedras	0
	Esquinas redondeadas	+10
	Deflectores en los estanques	+10
	Fugas de caudal de relevancia	+10
	Oscuridad por elementos que cubran la escala	+5
Salida	Mantenimiento y limpieza	+10
	Dispositivo contra la entrada de elementos arrastrados	-10
	Compuertas de regulación de caudales	+10
	Barreras de guiado para que los peces no caigan hacia abajo	-10
	Calado en el río derivado del grado de aterramiento	+10

**Tabla 3.A.** Puntuación total, su rango de referencia correspondiente y la clasificación de cada una de las categorías.

<b>Categoría</b>	<b>Puntuación total categoría</b>	<b>Rango de referencia</b>	<b>Clasificación de la categoría</b>	<b>Modificaciones o mejoras</b>
Atracción	5,8	$4 < P' \leq 7$	Favorable	Bastante necesarias
Entrada	8,72	$7 < P' \leq 10$	Muy favorable	Poco necesarias
Pasaje	7,18	$4 < P' \leq 7$	Favorable	Bastante necesarias
Salida	6,76	$4 < P' \leq 7$	Favorable	Bastante necesarias

Donde:  $P'$  es la puntuación obtenida en cada categoría.

NOTA: para el cálculo de la puntuación de la categoría de pasaje se empleó la puntuación correspondiente al estanque con menor puntuación, el número 4.

**Tabla 4.A.** Puntuación total de la escala evaluada así como el rango de referencia en que se puede incluir, y la consiguiente clasificación.

<b>Puntuación total escala</b>	<b>Rango de referencia</b>	<b>Clasificación de la evaluación de la escala</b>	<b>Modificaciones o mejoras</b>
7,05	$7 < P'' \leq 10$	Muy favorable	Poco necesarias

Donde:  $P''$  es la puntuación obtenida para toda la escala.

### A.3. Notación

Las siguientes abreviaturas y símbolos han sido utilizados en este documento:

Alumno: Jorge Valbuena Castro

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Investigación en Conservación y Uso Sostenible de los Sistemas Forestales

A: atracción.

A': área de un orificio para el paso de los peces ( $m^2$ ).

A1: caudal de llamada total.

A2: distanciamiento entre la llamada y la entrada.

A3: adecuación de la ubicación de la entrada para peces.

b: anchura de un elemento de paso (m).

B: anchura de un estanque (m).

c: coeficiente de gasto a través de un elemento de paso.

d: altura de los orificios de fondo (m).

*D llamada*: distancia entre la entrada del paso para peces y la zona de impacto sobre el río (%).

*D salida*: distancia entre la salida de un paso para peces y la coronación del obstáculo en que se emplaza (m).

E: entrada.

E1: desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río.

E2: anchura del elemento de entrada.

E3: profundidad de paso en el elemento de entrada.

E4: orientación de la entrada respecto del río.

E5: poza de remonte.

E6: tipología del elemento de entrada.

g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

GEA: Grupo de Ecohidráulica Aplicada de la Universidad de Valladolid.

*h*: carga de vertido en un el elemento de paso (m).

*L*: longitud de un estanque (m).

*L'*: Longitud o cuerda de la coronación de un obstáculo (m).

*N*: potencia disipada por unidad de volumen ( $W/m^3$ ).

*O*: observaciones de relevancia.

*O.A.*: observaciones de relevancia de la atracción.

*O.E.*: observaciones de relevancia de la entrada.

*O.Ps.*: observaciones de relevancia del pasaje.

*O.S.*: observaciones de relevancia de la salida.

*p*: profundidad de la poza de remonte (m).

*P*: altura umbral del elemento de paso (m).

*P.*: puntuación de la variable u observación de relevancia a la que acompaña.

*P'*: puntuación de la categoría a la que acompaña.

*P''*: puntuación total de la escala a evaluar.

*Ps*: pasaje.

*Ps1*: desnivel entre láminas de agua de estanques sucesivos.

*Ps2*: potencia disipada por unidad de volumen.

*Ps3*: tirante medio de los estanques.

*Ps4*: rectangularidad de los estanques.

*Ps5*: anchura de los elementos de paso entre estanques.

*Ps6*: profundidad de paso en los elementos de paso.

$P_s7$ : tipología de los elementos de paso.

$Q$ : caudal ( $m^3/s$ ).

$Q_{curso}$ : caudal que circula por el cauce ( $m^3/s$ ).

$Q_{escala}$ : caudal que circula a través de la escala ( $m^3/s$ ).

$Q_{Hendidura\ Vertical}$ : caudal que circula a través de una hendidura vertical ( $m^3/s$ ).

$Q_{llamada\ auxiliar}$ : caudal que no circula por la escala para la llamada ( $m^3/s$ ).

$Q_{llamada\ total}$ : caudal para la llamada respecto del caudal total de la corriente (%).

$s$ : sección por la que fluye el flujo ( $m^2$ ).

$S$ : salida.

$S1$ : desnivel entre la lámina de agua del interior del paso y del río.

$S2$ : anchura del elemento de salida.

$S3$ : profundidad de paso en el elemento de salida.

$S4$ : orientación de la salida respecto del río.

$S5$ : distanciamiento entre la salida y el vertido sobre la coronación del obstáculo.

$S6$ : tipología del elemento de salida.

$t_{med}$ : tirante medio de un estanque (m).

$U_{idóneo}$ : distancia entre la ubicación real e ideal del paso ideal (%).

$v$ : velocidad del flujo (m/s).

$V$ : variables fundamentales.

$\Delta H$ : desnivel entre láminas de masas de agua consecutivas (m).

$\rho$ : densidad absoluta del agua en el curso de agua considerado ( $kg/m^3$ ).

# MATERIAL COMPLEMENTARIO

### **M.C.1. Aplicación de una metodología alternativa al caso práctico**

En este punto se presenta la metodología propuesta por Towler *et al.* (2013) aplicada al caso práctico en que se centra el presente trabajo:

Tabla 1.M.C. Primera parte de la metodología alternativa.

<b>FISHWAY INSPECTION CHECKLIST</b>				
Dam/Project Name: <b>Central Hidroeléctrica de Almenara</b>		Waterway: <b>Tormes</b>		
Owner (Organization): <b>Central Hidroeléctrica de Almenara</b>		Date/Time: <b>25/06/2015</b>		
Inspector(s): <b>Jorge Valbuena Castro</b>				
Owner's Representative(s) On-site: <b>_</b>				
Comments: <b>Trabajos de evaluación de los pasos para peces de la cuenca Duero para la Confederación Hidrográfica del Duero</b>				
Reason for inspection: <input type="checkbox"/> opening <input type="checkbox"/> during season/run <input type="checkbox"/> shutdown <input type="checkbox"/> construction <input checked="" type="checkbox"/> Other: <b>evaluación del funcionamiento de los pasos para peces de la cuenca Duero</b>			ESTADO	
Fishway Status: <input type="checkbox"/> de-watered/non-operational <input checked="" type="checkbox"/> watered/operational <input type="checkbox"/> watered or underwater/non-operational <input type="checkbox"/> damaged/operational <input type="checkbox"/> unknown damaged/non-operational				
1. Target species for fishway: <b>barbo común y boga del Duero</b>				HIDROLOGIA Y ECOLOGIA
2. U/S migration period: <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>J</span><span>F</span><span>M</span><span>A</span><span>M</span><span>J</span><span>J</span><span>A</span><span>S</span><span>O</span><span>N</span><span>D</span> </div>				
3. U/S fish passage design flow: <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <span>HIGH</span><span>-</span><span>(cfs)</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <span>LOW</span><span>-</span><span>(cfs)</span> </div>				
4. D/S migration period: <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>J</span><span>F</span><span>M</span><span>A</span><span>M</span><span>J</span><span>J</span><span>A</span><span>S</span><span>O</span><span>N</span><span>D</span> </div>				
5. Drainage & current river flow (if known): <b>-</b> (mi <sup>2</sup> ) <b>17.99 m<sup>3</sup>/s</b> (cfs) Comments on Hydrology & Ecology:				
6. Is the fishway and dam part of a hydroelectric project?		<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	OPERACIONES HIDROELECTRICAS
7. Is there a powerhouse at this location?		<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
8. Powerhouse hydraulic capacity:		<b>-</b>	(cfs)	
9. Project generating capacity:		<b>-</b>	(MW)	
10. Number and type of hydroelectric turbines:  <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>-</span><span>-</span><span>-</span> </div>				
11. Are units sequenced on/off to enhance fish passage? If YES, describe operations:		<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
Comments on Hydropower Operations: <b>Existen dos compuertas para el vaciado del azud en la margen derecha (hacia aguas abajo)</b>				

**Tabla 2.M.C.** Segunda parte de la metodología alternativa.

Dam/Project Name: <b>Central Hidroeléctrica de Almenara</b>			Page 2 of 5
12. Waterway upstream of the exit is clear of debris:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
13. Headgate and/or headboards are in good condition	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
14. If operational, have headboards been removed or gates raised?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
15. Are adjustable weirs/baffles set to track HW?	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
16. Trashrack is in place and clean?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
17. Trashbooms are in place?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
18. Is a staff gage installed in the fishway exit channel?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
19. Is a staff gage installed in the headpond?	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
20. Differential head measured between exit and headpond: Comments on Exit:		0.03 m	(ft.)
SALIDA AGUAS ARRIBA			
21. Ladder type:	<input checked="" type="checkbox"/> Vertical Slot	<input type="checkbox"/> Ice Harbor	<input type="checkbox"/> Pool&Weir
	<input type="checkbox"/> other:	<input type="checkbox"/> Denil	<input type="checkbox"/> Steeppass
22. Fishway is free of trash and large woody debris:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
23. Was the fishway de-watered during inspection?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
24. Concrete walls/floors are free of cracks, erosion, leaks, spalling: If NO, describe extent and location:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
25. Pools are free of sand, rocks, and other material: If NO, describe accumulations, locations and plan to remove:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
26. Baffles, baffles plates, and/or or weirs are installed properly, installed at the correct elevation, and were found in good condition: If NO, describe problems and locations (e.g., number from entrance):	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
27. Has the fishway been inspected for damage that created sharp edges, formed wooden splinters, or resulted in new obstacles (in the flow field) that could injure fish? Comments:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
28. Is the protective grating cover in place and structurally sound?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
29. Representative head measurement (over weir crest, through vertical slot): If measured, describe location and method (e.g., pool number from entrance, with staff gage):		1.15 m	(ft.)
Medido en todos los estanques, en el centro de la proyección en planta del elemento de paso			
Comments on Ladder: No todos los estanques son iguales. Acumulación de restos vegetales en solo un vertedero (entre el estanque 3 y 4)			
ESCALA (NO APLICABLE A ASCENSORES O ESCLUSAS)			



**Tabla 3.M.C.** Tercera parte de la metodología alternativa.

Dam/Project Name: <b>Central Hidroeléctrica de Almenara</b>			Page 3 of 5
30. Was the lift cycled (operated) during this inspection?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
31. Holding pool is relatively free of debris:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
32. Hopper raises smoothly without binding or vibrating:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
33. Mechanical crowder opens/closes/operates properly:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
34. Crowding proceeds in a manner consistent with design: If NO, describe problems and locations:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
35. Hopper properly aligns with chute during exit channel transfer:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
36. Is the exit channel (between lift and exit) free of debris?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
37. Other mechanical components appear in good working order: If NO, describe problems and locations:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
38. Lift appears free of sharp corners that could injure fish:	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
39. Lift cycles manually or automatically:	<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Automatically	
40. Cycle time of lift (fishing to fishing):			(min.)
41. Hopper volume (if known):			(ft <sup>3</sup> )
Comments on Lift:			
42. Is the approach to the entrance(s) free of debris and obstructions?	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
43. Are boards properly installed in the entrance?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
44. Are adjustable gates tracking TW?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
45. If operational, does the entrance jet appear appropriate?	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
46. Is a staff gage installed in the fishway entrance channel?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
47. Is a staff gage installed in the tailwater area?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
48. Differential head measured between entrance and tailwater:		0.13 m	(ft.)
Comments on Entrance:			
49. If the fishway is operational, is the AWS operating?	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input checked="" type="checkbox"/> n/a
50. AWS flow is driven by:	<input checked="" type="checkbox"/> Gravity	<input type="checkbox"/> Pump	<input type="checkbox"/> Other
51. The AWS intake screen is undamaged and free of debris:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
52. AWS appears free of debris or other blockages:	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
53. AWS flow (in cfs or % of turbine discharge)		2.86% respecto Q total	
54. Has this flow been verified? If YES, by whom and/or how?	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> n/a
Comments on AWS: <b>Impacta directamente en el río, suficientemente próximo a la entrada pero no encima de ella</b>			

ASCENSORES

ENTRADA HACIA AGUAS ARRIBA

**Tabla 4.M.C.** Cuarta parte de la metodología alternativa.

Dam/Project Name: <b>Central Hidroeléctrica de Almenara</b>	Page 4 of 5
<p>55. Are there facilities specifically design for d/s passage on site?      <input type="checkbox"/> YES      <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>56. If so, are d/s facilities open and operational?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>57. Identify all possible SAFE routes for d/s passage at this site:                      ] d/s bypass      <input type="checkbox"/> spillway      <input type="checkbox"/> floodgate      <input type="checkbox"/> logsluice      <input type="checkbox"/> surface collect.                  If other routes, describe:</p> <p>58. Flow field in impoundment appears conducive to d/s passage:      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/>                  n/a If NO, describe problems and locations:</p> <p>59. If appropriate, are overlays in place on trash racks?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>60. Are screens (or overlays on trashracks) relatively free of debris?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>61. Is there any evidence of fish impingement on racks or screens?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO                  If YES, describe problems and locations:</p> <p>62. Is the d/s bypass intake adequately lit and free of debris?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>63. Is the d/s conveyance free of debris and obstructions?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>64. Are sharp corners evident in the bypass which could injure fish?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>65. Approximate depth of flow over bypass crest: _____ (ft.)</p> <p>66. Does d/s bypass discharge into sufficiently deep pool/water?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>67. Approximate plunge height from d/s bypass crest to receiving pool/water: _____ (ft.)</p> <p>68. Is there evidence of significant predation at receiving pool/water?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO                  If YES, describe:</p> <p>69. D/S Bypass flow (in cfs or % of turbine discharge)                  (<sup>cfs</sup>/<sub>%</sub>) Comments on D/S Passage: <b>Existe un tobogán para incrementar la llamada que puede ser utilizado para el descenso</b></p>	DISPOSITIVOS PARA LA MIGRACIÓN DE DESCENSO
<p>70. Is the facility equipped for trapping &amp; sorting?      <input type="checkbox"/> YES      <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>71. Systems for transfer from tank to truck appear in order?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>72. Do mech. components (e.g., winches, gates) appear serviceable?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>73. Were gates/winches tested during inspection?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO                  Note any concerns:</p> <p>74. Is there a counting house/room at the site?      <input type="checkbox"/> YES      <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>75. Is the counting window clean and properly lit?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>76. Is CCTV and camera system operating properly?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a</p> <p>77. If counts are automated (e.g. resistance), is it functioning?      <input type="checkbox"/> YES      <input type="checkbox"/> NO      <input type="checkbox"/> n/a                  Comments on Counting &amp; Trapping:</p>	

**Tabla 5.M.C.** Quinta parte de la metodología alternativa.

Dam/Project Name: <span style="color: #0070C0;">Central Hidroeléctrica de Almenara</span>	Page 5 of 5
78. Is there an eel pass on site? <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> n/a</span> 79. If YES, what is the type of eel pass:   <input type="checkbox"/> volitional ramp (TW to HW) <input type="checkbox"/> permanent ramp & trap/lift <input type="checkbox"/> temporary ramp & bucket 80. Describe the eel pass substrate media type:   <input type="checkbox"/> stud (peg) <input type="checkbox"/> bristle <input type="checkbox"/> geotextile mat <input type="checkbox"/> other: 81. Is the eel pass currently operating (i.e., wetted and installed)? <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> n/a</span> Identify the water source (i.e., gravity, pump): 82. Is the media clean of debris and watered throughout? <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> n/a</span> Describe depth of flow and adequacy of attraction: Comments on Eel Pass:	PASOS PARA ANGUILAS
<p><u>OBSERVATIONS ON THE PRESENCE AND/OR MOVEMENT OF FISH DURING INSPECTION:</u></p>	
<p><u>GENERAL COMMENTS:</u></p> <p><span style="color: #0070C0;">Aparentemente, atendiendo a la apariencia de las condiciones hidráulicas en el interior del paso de forma visual, los peces pueden ascender a través del dispositivo.</span></p>	
<p><u>RECOMMENDATIONS:</u></p> <p><span style="color: #0070C0;">No abrir las compuertas para el vaciado del azud en las épocas de mayor número/probabilidad de desplazamientos de los peces para evitar poder despistarlos/confundirlos a la hora de encontrar la entrada del paso.</span></p> <p><span style="color: #0070C0;">Colocar un dispositivo contra la entrada de restos en el interior del paso.</span></p> <p><span style="color: #0070C0;">Mejorar la limpieza del paso (restos arrastrados por el río).</span></p>	