Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero Revisión de tercer ciclo (2022-2027)

ANEJO 12
PROGRAMA DE MEDIDAS

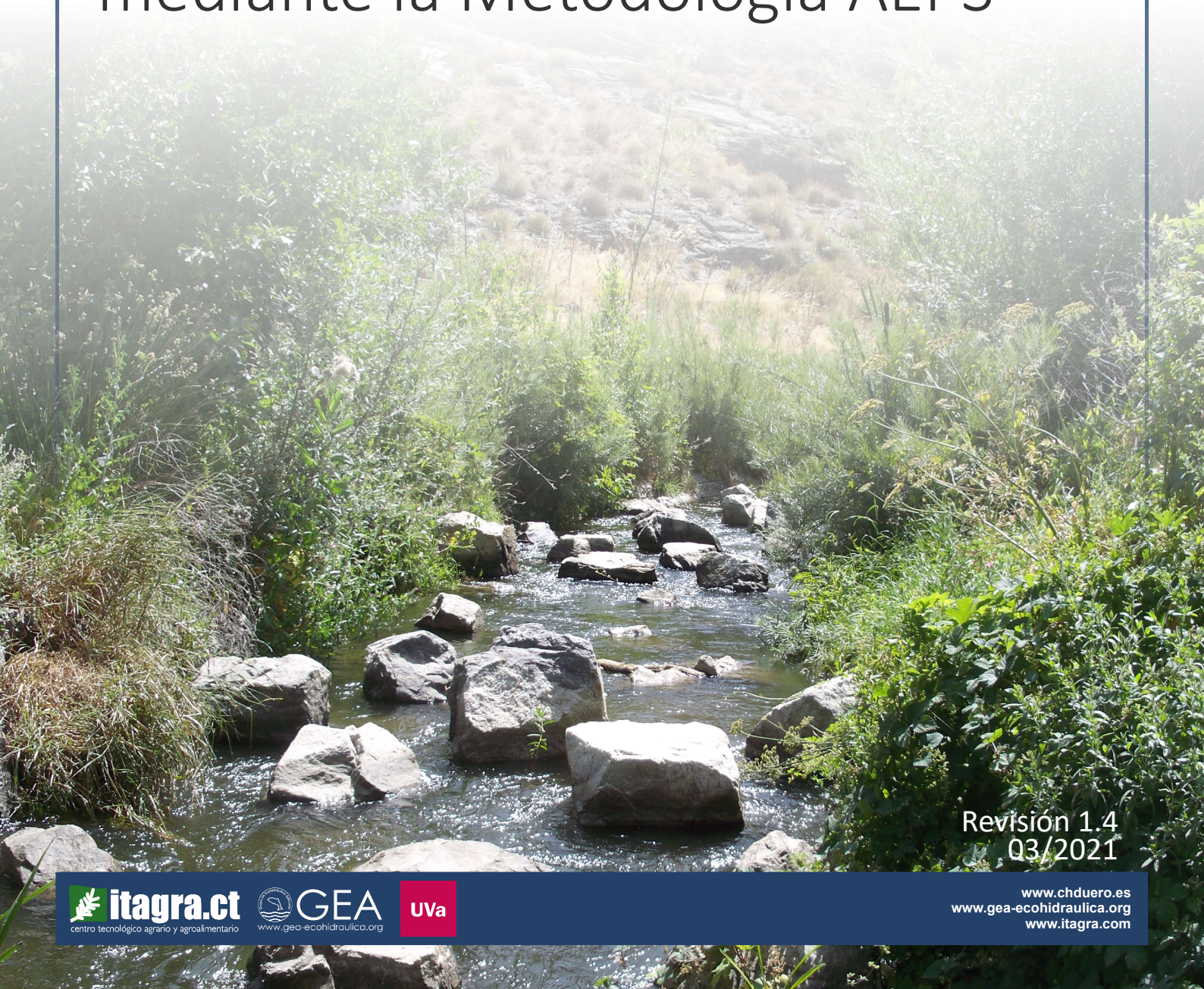
APÉNDICE VII. MANUAL DE EVALUACIÓN DE PASOS NATURALIZADOS PARA PECES MEDIANTE LA METODOLOGÍA AEPS

MARZO 2022

Confederación Hidrográfica del Duero O.A.

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO, O.A.

Manual de Evaluación de Pasos Naturalizados para peces mediante la Metodología AEPS



Revisión 1.4
03/2021

itagra.ct centro tecnológico agrario y agroalimentario
GEA www.gea-ecohidraulica.org
UVa
www.chduero.es
www.gea-ecohidraulica.org
www.itagra.com

© Confederación Hidrográfica del Duero, Valladolid, 2021

Manual de Evaluación de Pasos Naturalizados para peces mediante la Metodología AEPS

Dirección y Realización:

Grupo de Ecohidráulica Aplicada:

Juan Francisco Fuentes-Pérez
Jorge Valbuena-Castro
Francisco Javier Bravo-Córdoba
Ana García-Vega
Andrés Martínez de Azagra Paredes
Francisco Javier Sanz-Ronda

Confederación Hidrográfica del Duero:

Arturo Prieto Blanco
Javier Rodríguez Arroyo
Isabel Catalina Herrero
Nicolás García Gutiérrez
Ignacio Rodríguez Muñoz

Índice

1. Introducción 4
   1.1. El efecto barrera y la fragmentación de los ríos 4
   1.2. Medidas correctoras 5
   1.3. Problemática actual 5
   1.4. Finalidad del manual 6
2. Consideraciones previas 7
   2.1. Tipologías de paso objeto del manual 7
   2.2. Especies objeto 9
   2.3. Momento de evaluación 10
   2.4. Obstrucciones y falta de mantenimiento 10
   2.5. Material necesario 11
3. Medición de variables y evaluación 12
   3.1. Atracción 16
      a) Caudal relativo de atracción ($Q_{atracción}$) 16
      b) Ubicación: Distancia relativa de la entrada al paramento del azud (D_A) 17
      c) Ubicación: Emplazamiento de la entrada (E_A) 18
      d) Valoración global de la atracción 19
   3.2. Entrada 20
      a) Velocidad en la entrada (V_E) 20
      b) Profundidad media en la entrada (h_E) 21
      c) Anchura media de paso o distancia media entre bloques (b_E) 22
      d) Orientación de la entrada (O_E) 22
      e) Tipo de conexión río-paso (T_E) 23
      f) Valoración global de la entrada 24
   3.3. Pasaje 24
      3.3.1. **Tipo 1:** Construcciones de rugosidad uniforme 26
         a) Profundidad media de pasaje (h_{Ps}) 27
         b) Proporción de paso (P_{Ps}): Velocidad flujo (V_{flujo}) y distancia de nado (D_{nado}) 27
      3.3.2. **Tipo 2:** Construcciones de bloques de gran tamaño 29
         a) Diámetro medio del bloque ($Ø_{Ps}$) 29
         b) Distancia transversal media entre bloques (DT_{Ps}) 30
         c) Distancia longitudinal media entre bloques (DL_{Ps}) 30

d) Velocidad media entre bloques ($V_{entre\ bloques,\ Ps}$) 30
e) Profundidad media entre bloques ($h_{entre\ bloques,\ Ps}$) 31
f) Velocidad media detrás de bloques ($V_{detrás\ bloques,\ Ps}$) 31
g) Profundidad media detrás de bloques ($h_{detrás\ bloques,\ Ps}$) 32
3.3.3. **Tipo 3:** Construcciones de tipo rápido-remanso 32
a) Velocidad media de paso (V_{Ps}) 32
b) Potencia disipada (N_{Ps}) 33
c) Tirante medio o profundidad media del estanque (t_{Ps}) 34
d) Profundidad de paso (h_{Ps}) 34
e) Anchura media de paso (b_{Ps}) 34
f) Tipo de conexión dentro del paso (T_{Ps}) 35
3.3.4. Valoración global del pasaje 35
3.4. Salida 36
a) Velocidad media en la salida (V_S) 37
b) Profundidad en la salida (h_S) 37
c) Tipo de conexión en la salida (T_S) 37
d) Anchura de la salida (b_S) 38
e) Valoración global de la salida 38
3.5. Parámetros auxiliares 39
a) Zonas de descanso y refugio 39
b) Poza de ascenso 39
c) Sustrato 40
d) Grado de naturalización 41
e) Medidas auxiliares para caudales bajos 42
f) Caudal de atracción auxiliar 42
g) Mantenimiento 43
h) Valoración global de parámetros auxiliares 44
4. Integración de resultados 45
5. Referencias 45
6. Notación y simbología 48
Anexo 1: Estadillos de Campo 49
Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme 50
Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño 52

Tipo 3: Construcciones de tipo rápido-remanso 54
Anexo 2: Ejemplos de Evaluación 56
Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme 57
Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño 59
Tipo 3: Construcciones de tipo rápido-remanso 61

1. Introducción

1.1. El efecto barrera y la fragmentación de los ríos

La sociedad actual realiza un aprovechamiento intenso de los recursos hídricos para poder satisfacer sus necesidades básicas (producción energética, abastecimiento, riego, industria, etc.) y poder así mantener su estilo de vida. Esto ha provocado la construcción de numerosas **obras transversales en los ríos**, como presas y azudes, causando una inevitable fragmentación del hábitat y la alteración de los ecosistemas fluviales. En Europa existen unas 7.000 grandes presas [1] y más de un millón de barreras de menor tamaño [2]. En España se estima que existen más de 26.000 obstáculos artificiales [3], [4]. En el caso concreto de la demarcación hidrográfica del Duero, hasta el momento hay inventariados más de 5000 obstáculos transversales [5].

Entre todos los impactos ambientales negativos causados por estas barreras, la **fragmentación longitudinal de los ríos** es considerado el más importante [6]. La fragmentación afecta especialmente a la fauna piscícola, ya que ésta requiere acceder a un amplio espectro de hábitats para poder completar sus ciclos vitales (alimentación, reproducción, búsqueda de refugio, etc.) [7], [8] (Figura 1). En la Península Ibérica, la fragmentación de los ríos, junto a otros impactos antrópicos (como la contaminación, la regulación de caudales, la introducción de especies exóticas, etc.), ha tenido como resultado la **desaparición total o parcial de muchas especies** emblemáticas, como el esturión, la anguila, el sábalo, el salmón o las lampreas, o bien, una **disminución importante de sus poblaciones**, estando clasificadas muchas especies actualmente como vulnerables (por ejemplo, algunas especies de barbo o boga) [9].



FIGURA 1. BARBO IBÉRICO (*LUCIOBARBUS BOCAGEI*) INTENTANDO FRANQUEAR SIN ÉXITO LA PRESA DE VILLAHOZ (RÍO ARLANZA, SPAIN).

1.2. Medidas correctoras

Las soluciones más extendidas para mitigar este problema son los **pasos para peces** [10], [11]. Se trata de estructuras que facilitan la circulación de los peces de un lado a otro del obstáculo. Existen muchos tipos y pueden estar construídos con diferentes materiales. Entre ellos destanca los pasos naturalizados (Figura 2). En general, consisten en canales donde se ralentiza el flujo mediante bloques de piedra, dispuestos de manera aleatoria o sistemática, solos o agrupados, provocando unas **condiciones hidráulicas asumibles por la capacidad natatoria de los peces** sin producir fatigas ni retrasos en la migración [10], [12].



FIGURA 2. EJEMPLO DE PASO PARA PECES (TIPO RÍO ARTIFICIAL CON BLOQUES DE GRAN TAMAÑO) ADOSADO A UN AZUD EN EL RÍO TORMES (LEDESMA, SALAMANCA).

En la actualidad, la demanda de conocimientos especializados para el diseño y evaluación de pasos para peces, así como de personal cualificado para su construcción y seguimiento, se ha incrementado notablemente. Esto se debe, tanto a los **requerimientos legales** derivados de la normativa europea (la Directiva 2000/60/CE [13]) y de la legislación nacional (Leyes de Aguas, Pesca, Protección del Patrimonio Natural, etc.), como a la **conciencia ambiental** creciente y al interés estratégico en **compatibilizar los aprovechamientos hidráulicos** con la conservación de especies.

1.3. Problemática actual

Desafortunadamente, el funcionamiento de estos dispositivos de paso a menudo se ha puesto en entredicho, debido al escaso control de los dispositivos construidos antes de la última década, y los resultados negativos que se han observado en los pocos pasos evaluados [14], [15]. Por ello, la administración está empezando a exigir el seguimiento y evaluación de estas estructuras, para asegurar su correcto funcionamiento, no solo de forma puntual, sino también a lo largo del año [16]. Las causas del mal funcionamiento se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

1) **Un mal diseño inicial de la estructura**. Por ejemplo, un salto entre estanques excesivo, una pendiente longitudinal exagerada, un caudal insuficiente (llamada insuficiente) o una ubicación inadecuada.
2) **Una mala ejecución de obra**. Es decir, una construcción que difiere de lo diseñado y sin un control para adaptarse a posibles alteraciones.
3) **Un desajuste con los diferentes escenarios hidrodinámicos que se dan en los ríos** [17]. No haber considerado la dinámica natural del río o del tramo en el diseño del paso, ignorando medidas que aseguren su correcto funcionamiento durante todo el ciclo hidrológico.
4) **Un mantenimiento inadecuado.** Es decir, la ausencia de revisiones periódicas para limpiar posibles arrastres del río o detectar anomalías en su funcionamiento.

En este sentido, el diseño y la construcción de un paso piscícola es la primera fase para permitir la migración de la fauna piscícola, pero no la última. Se ha de asegurar que el paso funcione de forma adecuada para las especies de peces que habitan el tramo de río durante los caudales habituales en la época del año en la que realizan sus movimientos. Para ello, **es preciso realizar una evaluación post-construcción, así como un seguimiento continuo** que asegure que el diseño inicial y el funcionamiento esperado no se han visto alterados.

1.4. Finalidad del manual

Las condiciones expuestas han motivado a la Confederación Hidrográfica del Duero a la creación del presente manual, que pretende proporcionar una **herramienta para el seguimiento y evaluación de pasos piscícolas**, así como clasificar su grado de franqueabilidad.

El manual se centra en la evaluación de los comúnmente denominados pasos para peces naturalizados (Figura 3 y Figura 4) y proporciona una **metodología de evaluación sencilla, rápida y práctica**, sin la necesidad de uso de equipo sofisticado y proporcionando resultados cuantificables que sirven para identificar los problemas que presenta un determinado paso y para entrever las posibles mejoras o soluciones a adoptar. Esta metodología se ha denominado AEPS, siglas de las cuatro fases o etapas que deben seguirse para la evaluación de un paso para peces: Atracción, Entrada, Pasaje y Salida.

Este trabajo recoge el testigo del manual publicado en 2016 sobre evaluación de pasos de estanques sucesivos [16], presentando una metodología adaptada a los pasos naturalizados y sus peculiaridades. Para ello, se han seguido los mismos principios fundamentales a la hora de elaborarla:

1) **Práctico y sencillo de aplicar.**
2) **Fundamentado en la biología de las especies objetivo y en la hidráulica del paso**.
3) **Detallado,** que considere todas las etapas del movimiento del pez por el paso (AEPS).
4) **Capaz de determinar la funcionalidad del paso e identificar los posibles problemas.**
5) **Útil para todas las fases del proyecto de un paso** (diseño, construcción y funcionamiento).
6) **Que aporte resultados concluyentes y fácilmente interpretables,** adaptándolos a las peculiaridades de esta tipología de paso.

2. Consideraciones previas

2.1. Tipologías de paso objeto del manual

Los pasos para peces naturalizados son aquellos sistemas de franqueo que pretenden imitar las condiciones de un río natural. Se pueden dividir en dos tipos fundamentales en función de su ubicación (Figura 3):

A. **Río artificial** (*bypass channel*). Se trata de un canal lateral construido por una de las márgenes con una pendiente del 1 al 5% [18] que ofrece a los peces un camino alternativo para sortear el obstáculo.
B. **Rampas de piedra** (*rock ramp fishway*). Se trata de un canal con pendiente de hasta el 10% [18], adosado al paramento del azud (pudiendo ocupar el ancho completo de éste o sólo una parte).

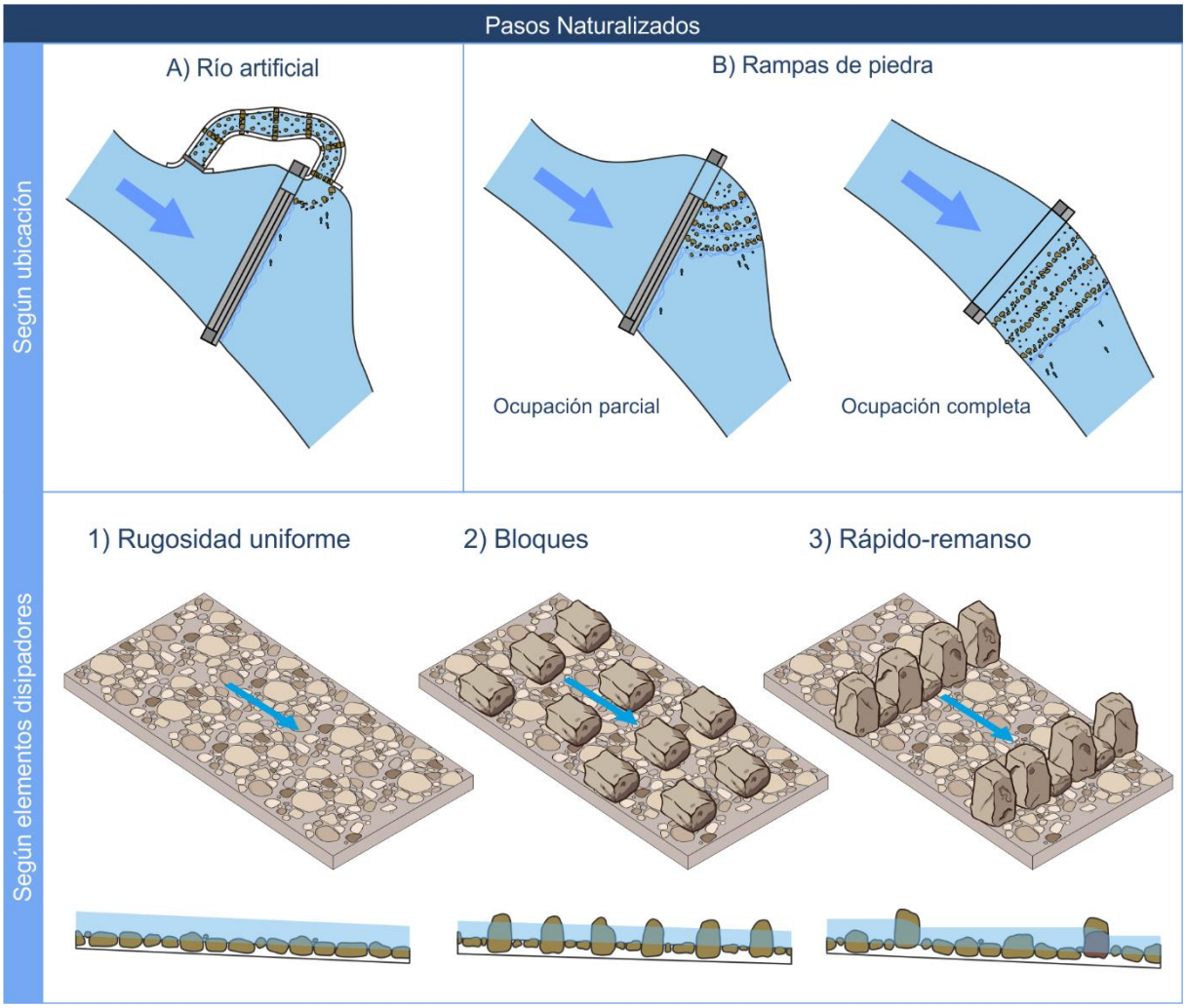


FIGURA 3. TIPOLOGÍAS DE PASOS NATURALIZADOS SEGÚN UBICACIÓN Y ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA HIDRÁULICA.



FIGURA 4. DIFERENTES EJEMPLOS Y TIPOLOGÍAS DE PASOS NATURALIZADOS. a) RÍO ARTIFICIAL DE RUGOSIDAD UNIFORME. b) RÍO ARTIFICIAL CON BLOQUES DE GRAN TAMAÑO. c) RÍO ARTIFICIAL TIPO RÁPIDO-REMANSO. d) RAMPA DE RUGOSIDAD UNIFORME. e) RAMPA CON BLOQUES DE GRAN TAMAÑO. f) RAMPA TIPO RÁPIDO-REMANSO. EN OCASIONES, EL EXCESO DE ESCOLLERA EN LOS TALUDES DE ORILLA PROVOCA UN EFECTO ESTÉTICO NO DESEADO. SE RECOMIENDAN TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN BASADAS EN BIOINGENIERÍA SIEMPRE QUE SEA POSIBLE.

La diferencia de pendiente entre ríos y rampas radica en el desarrollo longitudinal de la construcción. Así, al ser los ríos artificiales, por lo general, más largos, se requiere menor pendiente que para las rampas, que generalmente tienen un desarrollo más corto.

En función de los elementos utilizados para disipar la potencia hidráulica de la corriente y las zonas de descanso que se crean para la ictiofauna, podemos distinguir tres tipos de estructuras (aplicables tanto a los ríos artificiales como a las rampas de piedra) (Figura 3 y Figura 4):

1. **Construcciones con rugosidad uniforme** (*embedded-boulder construction*) (Figura 4, a y d): pendiente suave, con lecho compuesto de gravas y pequeños bloques, que permanecen bajo la lámina de agua, quedando una estructura compacta y con una rugosidad uniforme. El pez descansa en la mitad inferior de la columna de agua, donde la velocidad es menor y puede refugiarse en los intersticios del fondo.
2. **Construcciones con bloques de gran tamaño** (*rockfill construction*) (Figura 4, b y e): lo mismo que en el caso anterior, pero incorporando grandes bloques de piedra que

sobresalen del agua para aumentar la rugosidad, disipar una mayor cantidad de energía y procurar refugio a los peces tras ellos. Resultan convenientes en el rango superior de pendientes.

3. **Construcciones de tipo rápido-remanso** *(dispersed/cascaded construction*) (Figura 4, c y f): se basan en la división de la pendiente formando estanques mediante el uso de rocas de distinto tamaño, dispuestas a modo de tabiques con vertederos, y en los que el lecho se encuentra protegido por gravas y cantos. El pez se protege y descansa tras los tabiques y en las zonas más profundas y con menos corriente de los estanques. Es la solución que más se asemeja a las tradicionales escalas de artesas (o de estanques sucesivos).

Por lo tanto, si bien el proceso de evaluación presentará los mismos pasos, las valoraciones diferirán en función de la ubicación y la tipología del paso, y habrá que considerar parámetros diferentes.

> **Nota**
>
> Las estructuras que superen los rangos de pendiente definidos no serán objeto de este manual, debido a que dejarán de imitar las condiciones de un río natural.
>
> En estos casos, en construcciones tipo rápido-remanso se recomienda el uso del manual específico para la evaluación de escalas de estanques sucesivos:
>
> [16] CHD, Manual para la evaluación de la funcionalidad de pasos para peces de estanques sucesivos. Metodología AEPS (1.0). Valladolid (España), Confederación Hidrográfica del Duero, 2016. Enlace.

2.2. Especies objeto

Los valores empleados en este manual se centran en las necesidades de algunas de las especies más ampliamente distribuidas en la Península Ibérica, de especial importancia en la cuenca del Duero y con capacidad de nado conocida: la **trucha común** (*Salmo trutta*), el **barbo ibérico** (*Luciobarbus bocagei*) y la **boga del Duero** (*Pseudochondrostoma duriense*) (Figura 5).



a) *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758)



b) *Luciobarbus bocagei* (Steindachner, 1864)



c) *Pseudochondrostoma duriense* (Coelho, 1985)

FIGURA 5. LAS ESPECIES OBJETO DEL MANUAL DE EVALUACIÓN, MODIFICADO DE [19]. a) TRUCHA COMÚN. b) BARBO IBÉRICO. c) BOGA DEL DUERO.

2.3. Momento de evaluación

Las evaluaciones se deben llevar a cabo en **condiciones de caudal habitual para la época de migración de las especies de peces presentes** en el tramo de río en estudio. Para determinar este momento, será preciso: 1) conocer la fauna piscícola potencial del tramo, 2) conocer sus periodos de migración y 3) tener una serie histórica de los caudales circulantes por el río donde el paso esté instalado.

A modo orientativo, en la cuenca del Duero, la boga y el barbo desarrollan sus movimientos migratorios principales desde abril a julio, mientras que la trucha común lo hace desde octubre a enero [20]–[22]. Para conocer los caudales adecuados con los que realizar la evaluación, se consultarán las series históricas oficiales de información hidrológica de la cuenca de estudio (p. ej. en la cuenca del Duero a través de: http://www.saihduero.es/).

Una vez obtenidos los datos, se realizará una media de los caudales mensuales durante el periodo migratorio con objeto de obtener una estimación del caudal recomendado para la evaluación.

2.4. Obstrucciones y falta de mantenimiento

En ocasiones, durante la visita de evaluación, pueden existir obstrucciones de carácter temporal que afecten en mayor o menor medida al funcionamiento del paso, no reflejando por tanto su funcionamiento habitual. En estos casos, si existen elementos que claramente perjudican el movimiento de los peces (p. ej. obstrucciones provocadas por materiales a la deriva durante las crecidas), siempre que sea posible, se procederá a retirarlos para posteriormente evaluar el paso, y si no fuera posible, no se efectuará la evaluación hasta su eliminación.

Nota

En cualquier caso, cuando se precise un mantenimiento previo a la evaluación, se indicará de forma complementaria a los resultados finales de la evaluación (apartado “Medición de variables y evaluación → Otros parámetros auxiliares”).

2.5. Material necesario

La metodología propuesta está diseñada para una fácil aplicación y, por tanto, **no requeire material especializado** para la medición de las variables objeto de evaluación. El equipo mínimo de medición consiste en:

1. Flexómetro, para medidas puntuales.
2. Cinta métrica, para medir la sección transversal objeto de aforo.
3. Velocímetro, para la toma de velocidades puntuales y aforo.
4. Cuaderno de campo - Estadillo, para la anotación de las variables.

De forma adicional se considera necesario el uso de **equipos de protección individual** de acuerdo al riesgo existente en las estructuras que se vayan a medir, siendo imprescindibles:

1. Vadeador y/o calzado apropiado.
2. Chaleco salvavidas.
3. Casco de seguridad con barboquejo.

Así mismo, el apoyo puntual de equipos topográficos (nivel, estación total y GPS) puede ser interesante como herramientas para agilizar la toma de datos y ubicación de la estructura.

3. Medición de variables y evaluación

Los pasos piscícolas se evaluarán considerando las cuatro fases más relevantes que el pez debe afrontar a la hora de enfrentarse a ellos durante su migración ascendente [23], [24]: atracción hacia el paso, entrada, pasaje y salida del paso (Figura 6).

1. La **Atracción** considera la facilidad con la que los peces pueden localizar la entrada del paso.
2. La **Entrada** es la acción por la cual los peces pasan del río (aguas abajo) al interior del paso piscícola.
3. El **Pasaje** comprende el recorrido que realizan los peces por el interior del paso, desde la parte inferior hasta alcanzar la parte superior.
4. La **Salida** es el proceso de abandono del paso para incorporarse de nuevo al río (aguas arriba).

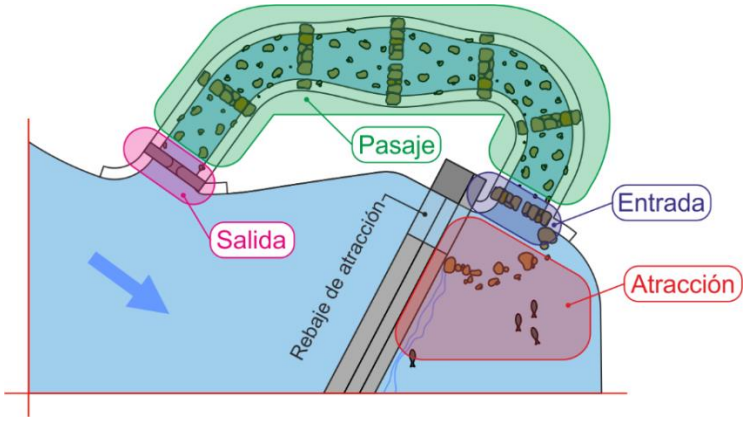


FIGURA 6. LAS CUATRO FASES MÁS RELEVANTES A LAS QUE TENDRÁ QUE ENFRENTARSE UN PEZ.

Cada una de estas fases lleva asociadas varias variables clave (Tabla 1). Las variables se evaluarán de forma categórica utilizando **cuatro niveles** diferenciados (Tabla 2): correcto, aceptable, incorrecto e incompatible. Estas variables determinarán la valoración de cada una de las fases y la valoración total del paso. El proceso de evaluación del paso es sencillo y consta de tres pasos fundamentales:

1. En primer lugar, **se medirán y evaluarán todas de las variables que caracterizan cada fase** de acuerdo a cada tipología de paso (Tabla 1). Esto se hará mediante las tablas de valoración de cada variable (Figura 7), que están disponibles en las secciones sucesivas del manual.

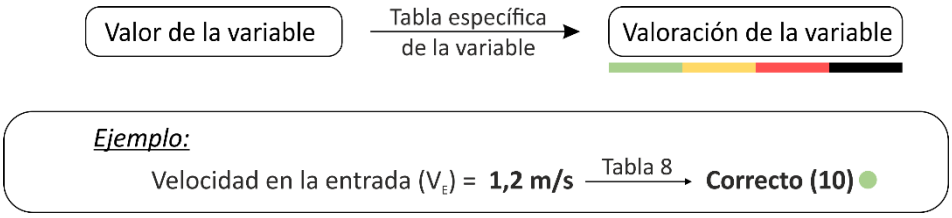


FIGURA 7. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES QUE CARACTERIZAN LAS FASES. EJEMPLO DE VALORACIÓN DE UNA VARIABLE.

TABLA 1. VARIABLES A MEDIR Y EVALUAR, Y PROCESO DE VALORACIÓN DE FASES Y VALORACIÓN GLOBAL.

<table>
<tr><th rowspan="2">Fase</th><th colspan="3">1. Variables a medir y evaluar</th><th rowspan="2">2. Valoración global de fase[1]</th><th rowspan="2">3. Valoración del paso[1]</th></tr>
<tr><th>Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme</th><th>Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño</th><th>Tipo 3: Construcciones de tipo rápido-remanso</th></tr>
<tr><td>Atracción</td><td colspan="3">Caudal relativo de atracción ($Q_{atracción}$)</td><td rowspan="3">Media geométrica</td><td rowspan="13">Media geométrica de valores numéricos obtenidos en cada fase.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ubicación: Distancia relativa de la entrada al paramento del azud (D_A)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ubicación: Emplazamiento de la entrada (E_A)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Entrada</td><td colspan="3">Velocidad en la entrada (V_E)</td><td rowspan="5">Media geométrica</td></tr>
<tr><td colspan="3">Profundidad en la entrada (h_E)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Anchura media de paso o distancia media entre bloques (b_E)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Orientación de la entrada (O_E)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de conexión río-paso (T_E)</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Pasaje</td><td rowspan="3">Profundidad media de pasaje (h_{Ps})</td><td>Diámetro medio del bloque ($Ø_{Ps}$)</td><td>Velocidad media de paso (V_{Ps})</td><td rowspan="7">Media geométrica</td></tr>
<tr><td>Distancia transversal media entre bloques (DT_{Ps})</td><td rowspan="2">Potencia disipada (N)</td></tr>
<tr><td>Distancia longitudinal media entre bloques (DL_{Ps})</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Proporción de paso (P_{Ps}): Velocidad flujo (V_{flujo}) y distancia de nado (D_{nado})</td><td>Velocidad media entre bloques ($V_{entre\ bloques,\ Ps}$)</td><td>Profundidad de paso (h_{Ps})</td></tr>
<tr><td>Profundidad media entre bloques ($h_{entre\ bloques,\ Ps}$)</td><td>Anchura media de paso (b_{Ps})</td></tr>
<tr><td>Velocidad media detrás de bloques ($V_{detrás\ bloques,\ Ps}$)</td><td rowspan="2">Tipo de conexión dentro del paso (T_{Ps})</td></tr>
<tr><td>Profundidad media detrás de bloques ($h_{detrás\ bloques,\ Ps}$)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Salida</td><td colspan="3">Velocidad media en la salida (V_S)</td><td rowspan="4">Media geométrica</td></tr>
<tr><td colspan="3">Profundidad en la salida (h_S)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Tipo de conexión en la salida (T_S)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Anchura de la salida (b_S)</td></tr>
</table>

[1]Los resultados numéricos de las medias geométricas se transformarán a valores categóricos mediante la Tabla 3.

TABLA 2. SIGNIFICADO DE LAS VALORACIONES DE CADA VARIABLE.

Valoración	Significado	Valor numérico
Correcto	Corresponde con un valor compatible para una gran mayoría de individuos de la población.	10[1]
Aceptable	Corresponde con un valor compatible para gran parte de la población.	6,5
Incorrecto	Corresponde con un valor compatible para una pequeña parte de la población.	3,5
Incompatible	Corresponde con un valor inasumible para casi todos los individuos de la población.	0

[1]Un valor de 10, implica que el paso construido cumple con los umbrales superiores y más eficientes de las recomendaciones de diseño. Esto, no implica que el 100% de la población piscícola vaya a franquearlo.

Nota

Las valoraciones de cada variable están basadas en umbrales definidos por guías de diseño y evaluaciones de pasos piscícolas. Estas valoraciones pueden ser revisadas en futuras versiones del manual, a medida que se avance en el conocimiento de pasos naturalizados.

2. Posteriormente, **la valoración global de la fase se hará mediante la media geométrica** de las valoraciones de las variables. La valoración de cada fase se proporcionará de forma numérica y categórica. La conversión de los valores numéricos obtenidos para cada fase se transformará en categóricos a través de la Tabla 3 (Figura 8).

TABLA 3. TRADUCCIÓN DEL VALOR NUMÉRICO DE CADA FASE O VALOR NUMÉRICO FINAL DEL PASO A CATEGORÍAS.

Valor numérico de la fase	Valoración
≥ 8,25	Correcto
≥ 5 a < 8,25	Aceptable
< 5	Incorrecto
0	Incompatible

Nota

Nótese que el rango de valores para la conversión de valores numéricos a categóricos es reflejo de la media de los valores de las variables de cada fase.

Entrada, Pasaje y Salida (media geométrica):

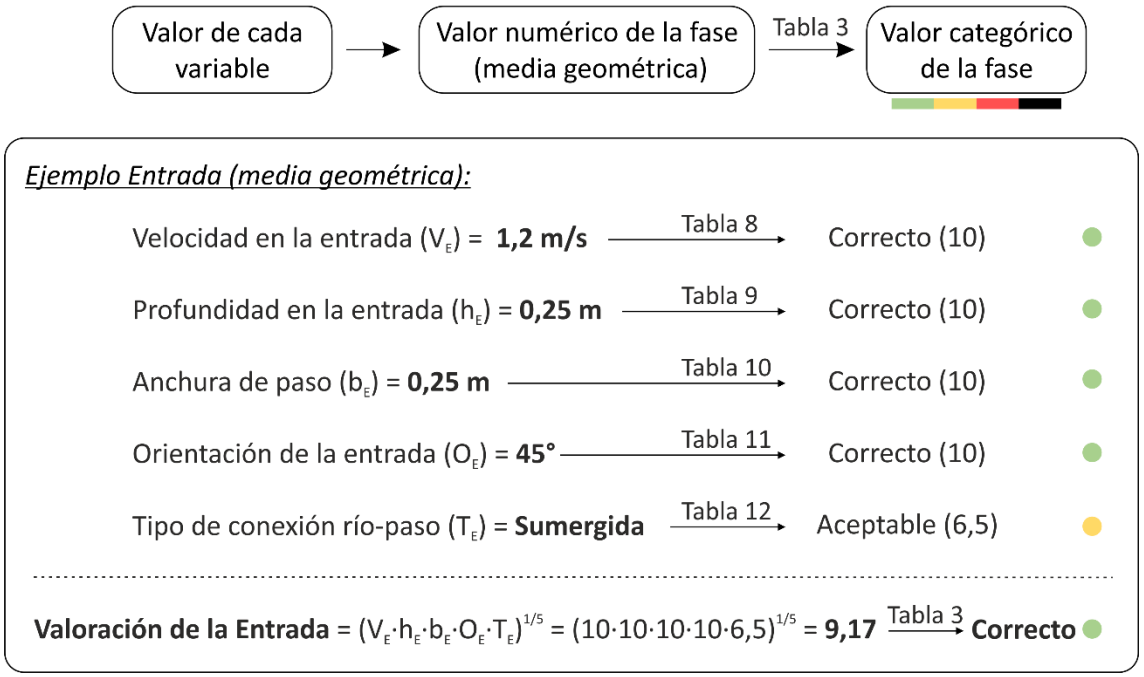


FIGURA 8. VALORACIÓN GLOBAL DE LAS FASES. EJEMPLO DE VALORACIÓN DE LA FASE ENTRADA.

3. Finalmente, se obtendrá una **valoración global del paso mediante la media geométrica de las valoraciones numéricas de cada fase** (Figura 9). Este valor se podrá transformar a categórico a través de la Tabla 3.

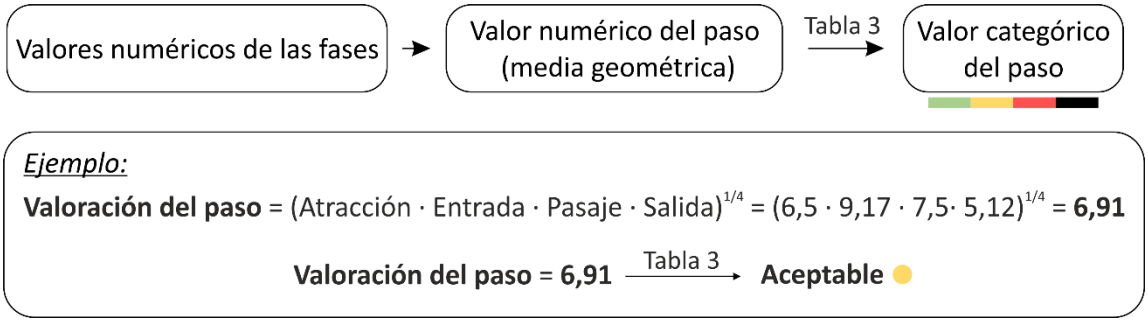


FIGURA 9. VALORACIÓN GLOBAL DEL PASO. EJEMPLO DE VALORACIÓN DE UN PASO.

La evaluación por variables fundamentales en cada fase, permitirá evaluar el paso de forma global, tanto de forma categórica como numérica, a la vez que identificar variables mejorables que ayuden a priorizar actuaciones cuando sean necesarias.

3.1. Atracción

La atracción evalúa la facilidad con la que los peces pueden detectar la entrada del paso piscícola. Principalmente se evaluará mediante tres variables: el **caudal relativo** y dos variables que caracterizan la ubicación del paso, la **distancia relativa de la entrada al paramento del azud** y el **emplazamiento de la entrada**.

Uno de los parámetros más importantes y en los que las referencias bibliográficas coinciden es el caudal asociado al paso. Sin embargo, un caudal adecuado en el paso puede verse afectado por una incorrecta ubicación del mismo. Por ello, el mayor peso de la valoración recaerá en el caudal relativo a la hora de valorar la fase (sección c).

En este sentido, **los parámetros relativos a la ubicación,** al tratarse de parámetros que únicamente afectan a la valoración del caudal del paso **no recibirán una valoración incompatible**.

a) Caudal relativo de atracción ($Q_{atracción}$)

Se corresponde con el flujo que posibilita la "**llamada"** (agitación de las aguas, ruido, oxigenación, etc.) en el entorno de la entrada del paso y que atrae a los peces hacia dicha entrada. El caudal, la turbulencia y el campo de velocidad deben ser atractivos, de forma que prevalezcan sobre otros vertidos que puedan presentarse en el obstáculo o su entorno. En este sentido, se recomienda que en la entrada del paso se concentre entre el 1% y el 5% del caudal circulante por el río en la época de migración [25].

$$Q_{llamada} = Q_{paso} + Q_{auxiliar} \quad (1)$$

$$Q_{atracción} = \frac{Q_{llamada}}{Q_{río}} \cdot 100 \quad (2)$$

Siendo:

$Q_{atracción}$: el % del caudal que sirve para la llamada respecto del total de la corriente/río (%)

Q_{paso}: el caudal que circula a través del paso piscícola (m^3/s)

$Q_{río}$: el caudal total circulante por el río (m^3/s)

$Q_{auxiliar}$: el caudal auxiliar de llamada peces (m^3/s)

TABLA 4. VALORACIÓN DEL CAUDAL RELATIVO DEL PASO.

Caudal de atracción ($Q_{atracción}$ *en %)*	Valoración
$Q_{atracción} > 5$ %	Correcto → 10
1 % ≤ $Q_{atracción} < 5$ %	Aceptable → 6,5
0,5 % ≤ $Q_{atracción} < 1$ %	Incorrecto → 3,5
$Q_{atracción} < 0,5$ %	Incompatible → 0

Nota

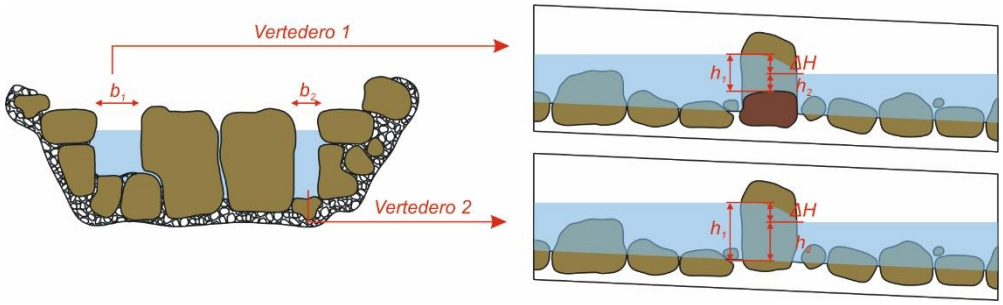
La consulta del caudal instantáneo del río se puede realizar a través del sistema de información hidrológico de la cuenca de estudio. Por ejemplo, en la cuenca del Duero, a través de sistema automático de información hidrológica de la CHD. (http://www.saihduero.es/).

El caudal circulante por el paso para peces se tendrá que calcular durante la visita a través de su **aforo en la entrada o salida** del dispositivo de paso. Se ha de recordar que el caudal del río durante la visita ha de estar comprendido dentro de los caudales habituales de las épocas del año en las que se producen los movimientos ascendentes de los peces.

En el caso particular de pasos tipo rápido-remanso, el caudal se podrá calcular utilizando fórmulas de gasto [10]. De tal forma que:

$$Q_{vertido\ i} = \frac{2}{3} \cdot C_s \cdot b_i \cdot h_{1,i}^{1,5} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \qquad C_s = 0{,}812 \left[1 - \left(\frac{h_{2,i}}{h_{1,i}} \right)^{1,5} \right]^{0,335}$$

Donde $Q_{vertido\ i}$ es el caudal por cada uno de los vertederos *i* que haya en el tabique que se considere para el cálculo (m^3/s), b_i es la anchura del vertedero *i* (m), $h_{1,i}$ es la carga de vertido en el vertedero *i*, $h_{2,i}$ es la altura de la lámina aguas abajo del tabique desde el umbral del vertedero *i* ($h_{1,i}$-ΔH_i) (m), C_s es el coeficiente de sumergencia y *g* corresponde a la gravedad. En caso de vertidos libres, donde no exista $h_{2,i}$ ($h_{1,i} \leq \Delta H_i$), el valor de C_s tomará el valor de 0,812.



El **caudal por el paso** (Q_{paso}) será la suma de los caudales parciales por todos los vertederos, es decir el sumatorio de los vertidos presentes:

$$Q_{paso} = \sum_{i=1}^{n} Q_{vertido\ i}$$

b) Ubicación: Distancia relativa de la entrada al paramento del azud (D_A)

En general, conviene que la distancia de la entrada de peces sea **lo más cercana posible al azud** [25] para que los peces puedan detectarla con mayor facilidad [18], [25], [26], evitando zonas de aguas blancas (es decir, excesivamente turbulentas) y zonas de aguas muertas (o lo que es lo mismo, agua parada) que desorienten al pez [18]. Algunos autores consideran que los peces pueden localizar fácilmente la entrada a distancias inferiores a 3 m [26]–[29]. De forma orientativa, se podrá evaluar la distancia relativa de la entrada al azud mediante la ecuación Ec. (3) (Figura 10). La anchura de la entrada corresponderá a la anchura total del paso.

$$\text{Distancia relativa} = \frac{\text{Distancia al azud}}{\text{Anchura entrada}} \qquad (3)$$

TABLA 5. VALORACIÓN DE LA DISTANCIA RELATIVA DE LA ENTRADA DEL PASO.

Distancia relativa (D_A)	Valoración
$D_A \leq 3$	Correcto → 10
$3 > D_A \leq 5$	Aceptable → 6,5
$D_A > 5$	Incorrecto → 3,5

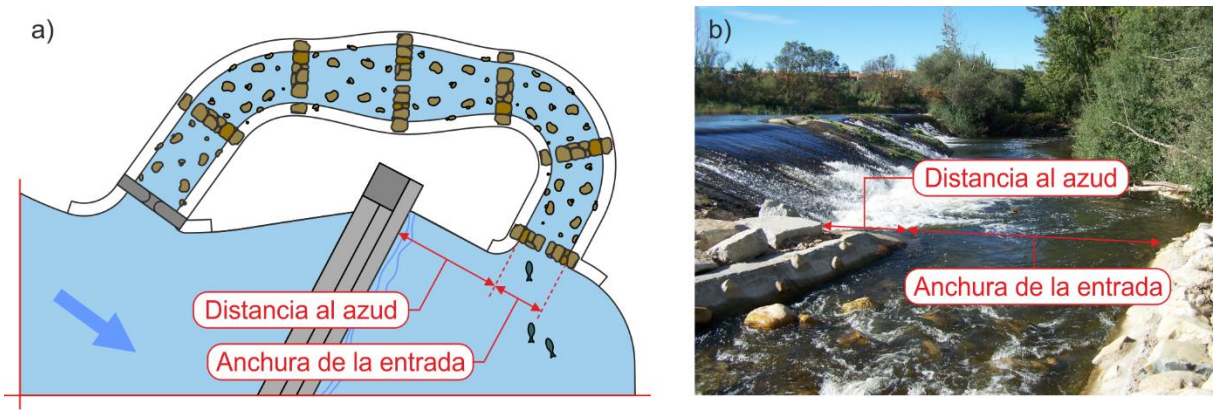


FIGURA 10. DISTANCIA AL PARAMENTO DEL AZUD Y ANCHURA DE LA ENTRADA. a) ESQUEMA GRÁFICO. b) RÍO ARTIFICIAL DE BLOQUES EN EL RÍO SEGURA (AZUD EL MENJÚ, MURCIA).

Las estructuras que compensen una distancia relativa elevada con **estructuras de guiado para peces**, **serán valoradas como correctas** (Figura 11).

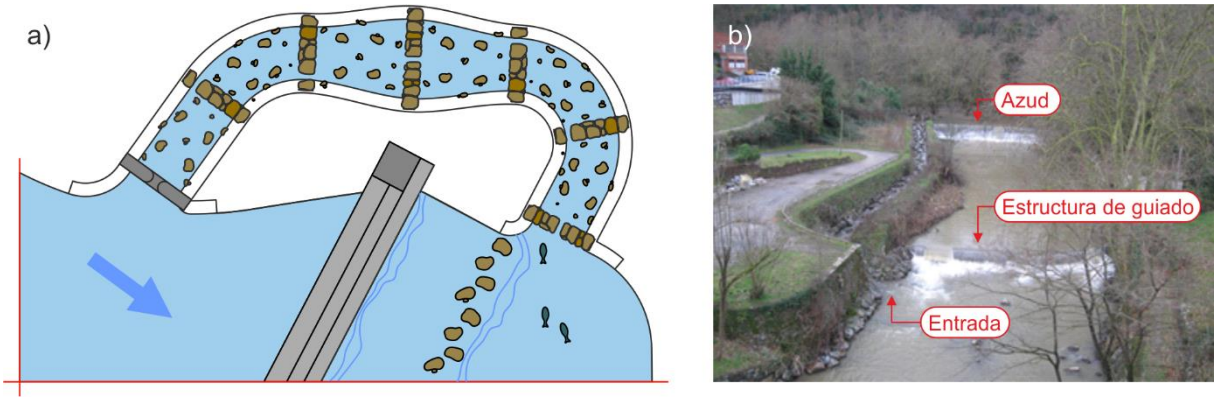


FIGURA 11. PASO CON ESTRUCTURA DE GUIADO. a) ESQUEMA GRÁFICO. b) RÍO ARTIFICIAL DE BLOQUES EN EL RÍO ORIA (AZUD EL GARAIKOERROTA, GIPUZKOA)

c) Ubicación: Emplazamiento de la entrada (E_A)

Para que el paso sea atractivo para los peces, éste debe situarse de forma adecuada (Figura 12a). La entrada de los peces (o salida de agua) debe ubicarse donde se concentren los peces en el ascenso de forma natural [25], generalmente en la orilla del río donde la corriente sea mayor [18] y/o en el margen de más aguas arriba. Es importante tener en cuenta los patrones de flujo, la presencia de pozas, la topografía, etc., para seleccionar la idoneidad del margen y su valoración [25].

TABLA 6. VALORACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL PASO.

Emplazamiento de la entrada (E_A)	Valoración
Figura 12a	Correcto → 10
Figura 12b	Aceptable → 6,5
Figura 12c	Incorrecto → 3,5

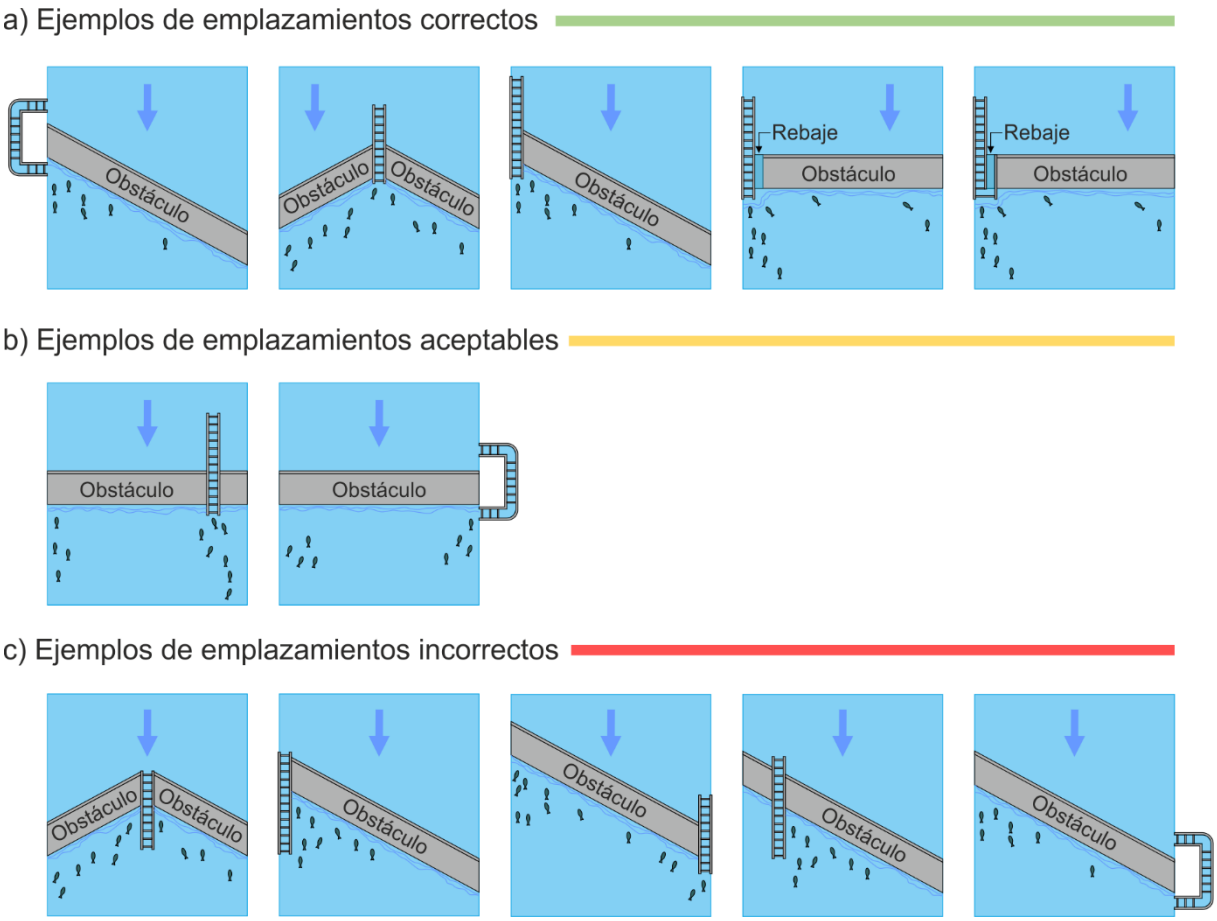


FIGURA 12. EJEMPLO DE POSIBLES EMPLAZAMIENTOS DE LA ENTRADA [25].

d) Valoración global de la atracción

El resultado final de la atracción se calculará mediante la media geométrica de la valoración de las variables, ponderando el peso del caudal relativo de atracción. De tal forma que:

$$Puntuación\ Atracción = \left(Q^2_{atracción} \cdot D_A \cdot E_A\right)^{1/4} \quad (4)$$

Es decir, la puntuación de la atracción será la raíz cuarta del producto del cuadrado de la valoración del caudal relativo de atracción y los valores de las variables de ubicación (distancia y emplazamiento).

La conversión de la puntuación final a categorías se hará de acuerdo a la Tabla 3 (Pag. 14).

Los pasos que ocupen la **anchura completa** del azud (rampa de piedras de anchura completa) tendrán una **valoración correcta** en este apartado, pues concentran la totalidad del caudal y se ubican en el mismo azud (Figura 13).

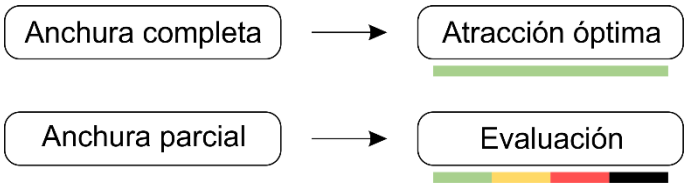


FIGURA 13. SITUACIONES QUE ESTARÁN SUJETAS A EVALUACIÓN.

3.2. Entrada

La entrada contempla la **acción por la cual los peces pasan del río (aguas abajo) al interior del paso**, una vez han localizado el mismo. La entrada al paso debe ser lo suficientemente atractiva, lo que se traduce, en general, en velocidades y turbulencias más elevadas que en el pasaje, pero siempre dentro de los límites tolerados por el pez.

Esto hace que sea frecuente encontrar situaciones incorrectas de funcionamiento como **entrada sumergida** (con apenas salto y velocidades pequeñas que la hacen poco atractiva para el pez) y/o **entrada descolgada** (es decir, con un salto de agua muy grande o velocidades excesivas para acceder al paso) [10], [17]. Incluso en ocasiones, en los casos más desfavorables, puede existir un **descalce,** si no se ha puesto cuidado en la construcción para crear una transición del paso al río adecuada (p. ej. una poza de disipación de energía), generando así una entrada descolgada, que, si bien puede ser atractiva, es, en la mayoría de los casos, difícil de superar por el pez.

a) Velocidad en la entrada (V_E)

La velocidad en la entrada ha de conseguir que ésta sea fácilmente distinguible por los peces entre otros flujos de corriente de los alrededores y desde zonas alejadas, siempre sin sobrepasar la capacidad natatoria de los peces [18], [25], [30]. Para nuestros peces, se aconsejan, de forma general, velocidades desde 0,8 m/s hasta 2 m/s para asegurar una localización correcta [18], [25]. Así mismo, y considerando la capacidad natatoria máxima de las especies objetivo, que es bastante similar conforme a investigaciones recientes [31], podremos definir los límites aceptables para la entrada (Tabla 7).

TABLA 7. VALORACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA ENTRADA DEL PASO.

Velocidad media en la entrada (V_E *en m/s*)	Valoración
$0{,}8 \leq V_E \leq 2$	Correcto → 10
$0{,}5 \leq V_E < 0{,}8$ o $2 < V_E \leq 3$	Aceptable → 6,5
$0 < V_E < 0{,}5$ o $3 < V_E \leq 4$ m/s	Incorrecto → 3,5
$V_E = 0$ o $V_E > 4$	Incompatible → 0

La velocidad en la entrada se atenúa de forma rápida al adentrarse en el flujo principal del río. Por ello, **se recomienda realizar la medida de velocidad a una distancia de 0,5 m aguas abajo** desde la primera estructura deflectora o de control (bloques) del paso (la situada en la entrada de peces). Así mismo, **la velocidad de interés corresponderá a la media de las velocidades medidas en el flujo existente entre bloques (cuando estos existan)** (Figura 14), ya que detrás de éstos se espera una velocidad menor. En entradas de gran anchura, se podrá medir una parte representativa de la misma, que incluya una representación del rango de velocidades máximas y mínimas.

Nota

La velocidad media de un flujo de agua se mide al 40% de la profundidad desde el fondo [35], [36].

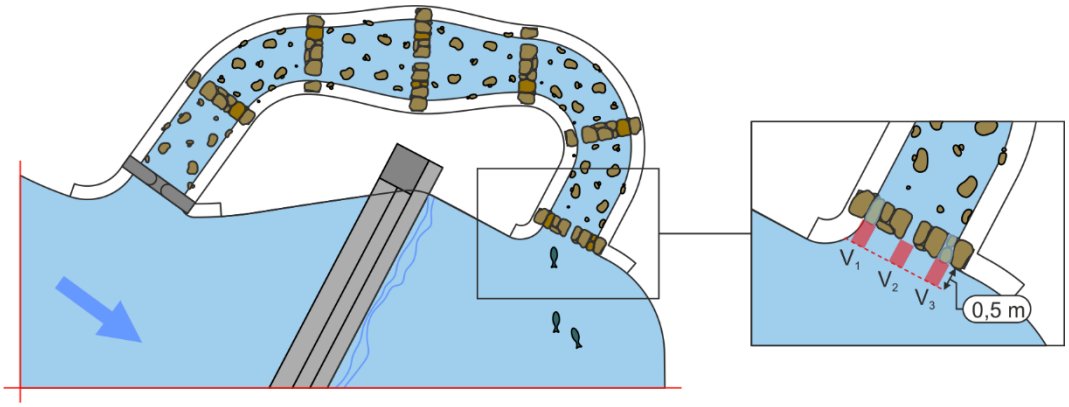


FIGURA 14. MEDICIÓN DE VELOCIDAD EN LA ENTRADA. SE MEDIRÁ A UNA DISTANCIA APROXIMADA DE 0,5 METROS Y ÚNICAMENTE SE CONSIDERARÁN LAS VELOCIDADES ENTRE BLOQUES.

En casos donde exista un salto de agua perceptible en la entrada del paso, éste se podrá transformar en velocidad mediante la Ec. (5).

$$V_E = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} \tag{5}$$

Siendo:

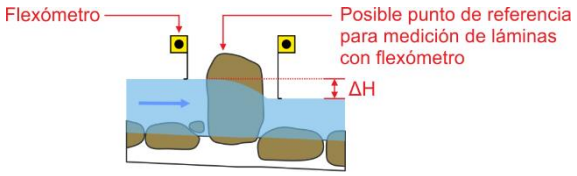
V_E: velocidad en la entrada del paso (m/s)

ΔH: desnivel de agua entre el río y el paso (o salto de agua) (m)

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2)

Nota

Para el cálculo de *ΔH* se recomienda utilizar como referencia un mismo punto geométrico en el paso, de tal forma que nos permita referenciar la altura de la lámina de agua inmediatamente después del paso y en su primer estanque.



La medición del *ΔH* en pasos con transiciones continuas al río, es decir donde no se diferencien cambios bruscos en el nivel de agua, será imposible, siendo obligatorio el uso de velocímetro.

b) Profundidad media en la entrada (h_E)

La profundidad en la entrada ha de ser tal que permita al pez enfrentarse al paso (Figura 15). Una profundidad adecuada genera zonas de descanso y hace más fácil el ascenso,

proporciona refugio y evita rozaduras y golpes. Para pasos naturalizados [18], se recomiendan profundidades siempre superiores a 30 cm - 40 cm para un funcionamiento correcto. Considerando esto, en la Tabla 8 se desglosa la valoración.

TABLA 8. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA EN LA ENTRADA DEL PASO.

Profundidad media en la entrada (h_E *en m*)	Valoración
$h_E \geq 0{,}3$ m	Correcto → 10
$0{,}2 \leq h_E < 0{,}3$ m	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq h_E < 0{,}2$ m	Incorrecto → 3,5
$h_E < 0{,}1$ m	Incompatible → 0

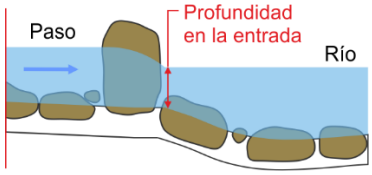


FIGURA 15. PROFUNDIDAD EN LA ENTRADA.

c) Anchura media de paso o distancia media entre bloques (b_E)

La anchura entre bloques en la entrada del paso deberá permitir el tránsito del pez sin provocarle daños ni heridas. Para ello será necesario que esta distancia sea mayor a la anchura intercostal del pez de mayor tamaño que vaya a hacer uso del paso, considerando además una holgura que evite roces con los bloques laterales. Se recomienda que la anchura media sea de al menos tres veces la anchura del pez en vertederos, y de al menos 0,3 m para un funcionamiento correcto del paso y evitar obstrucciones [32]. Considerando esto, la Tabla 9 establece el rango de valoración de la anchura de paso y distancia entre bloques.

TABLA 9. ANCHURA MEDIA DE PASO Y DISTANCIA MEDIA ENTRE BLOQUES EN LA ENTRADA PARA PASOS NATURALIZADOS.

Anchura de paso o distancia entre bloques (b_E *en m*)	Valoración
$b_E \geq 0{,}3$ m	Correcto → 10
$0{,}2 \leq b_E < 0{,}3$ m	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq b_E < 0{,}2$ m	Incorrecto → 3,5
$b_E < 0{,}1$ m	Incompatible → 0

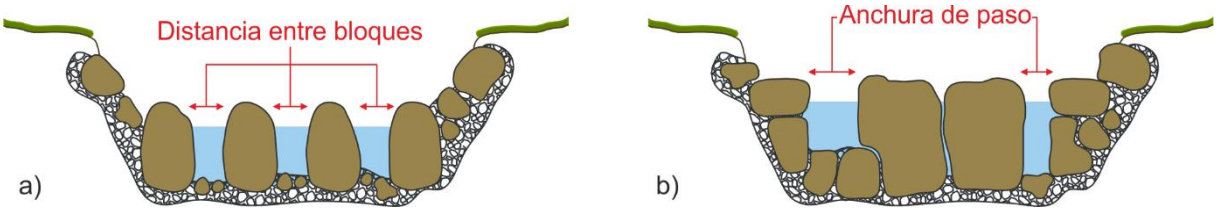


FIGURA 16. DISTANCIA ENTRE BLOQUES EN PASOS DE BLOQUES (a) Y ANCHURA DE PASO EN PASOS TIPO RÁPIDO-REMANSO (b).

d) Orientación de la entrada (O_E)

Indica el sentido (ángulo) hacia el que se orienta la entrada de peces de una escala respecto del eje longitudinal del río. A pesar de que el paso tenga diferentes cambios de orientación en su trazado, siempre se ha de procurar que tenga una salida de agua (entrada de peces)

orientada en la dirección del eje hidráulico y el flujo del río. Esto se debe a que nuestros peces migran principalmente en contra de la corriente (reotaxis positiva) [18] (Figura 17).

TABLA 10. VALORACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LA ENTRADA DEL PASO.

ZONA	Orientación de la entrada (O_E *en °*)	Valoración
A	$0 \geq O_E \leq 90$ o $270 \geq O_E \leq 360$	Correcto → 10
B	$90 > O_E \leq 135$ o $270 > O_E \leq 225$	Aceptable → 6,5
C	$135 > O_E \leq 170$ o $270 > O_E \leq 190$	Incorrecto → 3,5
D	$170 > O_E < 190$	Incompatible → 0

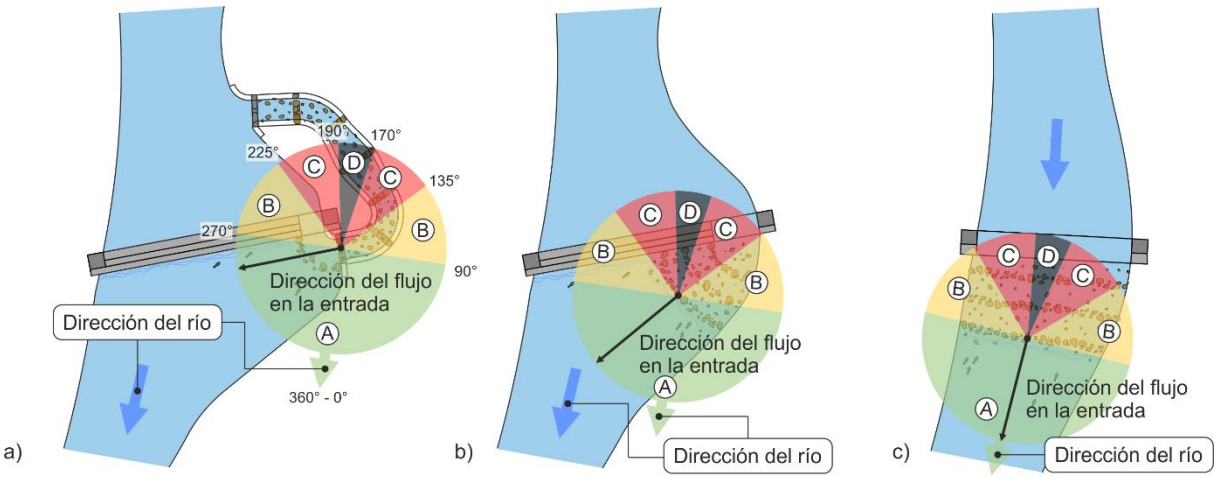


FIGURA 17. CLASIFICACIÓN DE LA ORIENTACIÓN EN LA ENTRADA. a) EJEMPLO APLICADO SOBRE RÍO ARTIFICIAL. b) EJEMPLO APLICADO SOBRE UNA RAMPA DE OCUPACIÓN PARCIAL. c) EJEMPLO APLICADO SOBRE UNA RAMPA DE OCUPACIÓN COMPLETA.

e) Tipo de conexión río-paso (T_E)

En general, en los pasos naturalizados se busca una transición continua entre el paso y el río [18]. En este sentido se evitarán saltos de agua bruscos, donde no exista conexión entre láminas de agua y se requiera que el pez salte para entrar en él (Tabla 11 y Figura 18). En general, en los pasos naturalizados existen varias opciones de ascenso para el pez, por lo que **se considerarán las más favorables, a la hora de evaluar el vertido de conexión**.

Las mejores conexiones son aquéllas en las que el vertedero es continuo desde la superficie hasta el lecho [33] (Figura 18a), es decir una hendidura vertical que maximiza la profundidad de paso, permite la auto-limpieza y asegura un flujo continuo entre lecho y estanques. Las conexiones con el vertedero sumergido (Figura 18b) limitan la profundidad de pasaje, pero proporcionan un contacto entre láminas que también facilita la entrada del pez. Las conexiones con vertido libre serán las más desfavorables, pudiendo ser incorrectas o incompatibles en función del salto entre láminas de agua que provoquen (Figura 18c-d). Este tipo de conexión evita el contacto entre láminas de agua desde el río al paso, dificultando la entrada del pez.

TABLA 11. VALORACIÓN DE LA TRANSICIÓN DE LA ENTRADA DEL PASO AL RÍO.

Conexión río-paso (T_E)	Valoración
Continua o hendidura	Correcto → 10
Sumergida	Aceptable → 6,5
Libre - Salto menor ($\Delta H \leq 0{,}1$ m)	Incorrecto → 3,5
Libre - Salto mayor ($\Delta H > 0{,}1$ m)	Incompatible → 0

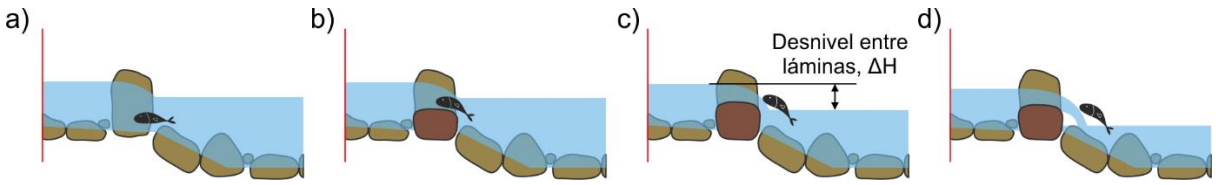


FIGURA 18. POSIBLES TIPOLOGÍAS DE CONEXIÓN EN LA ENTRADA. a) CONTINUA O HENDIDURA, CON CONTACTO DIRECTO ENTRE LÁMINA DE AGUA Y LECHO EN EL VERTEDERO. b) SUMERGIDA, EXISTE VERTIDO, PERO ESTÁ SUMERGIDO (HAY CONTACTO ENTRE LÁMINAS). c) VERTIDO LIBRE DE SALTO MENOR, EXISTE UN VERTIDO LIBRE DE AGUA INFERIOR O IGUAL A 0,1 METROS. d) VERTIDO LIBRE DE SALTO MAYOR, EXISTE UN VERTIDO LIBRE DE AGUA MAYOR A 0,1 METROS.

Nota

De forma general en pasos de bloques y de rugosidad uniforme, en ausencia de descalces, se observarán conexiones continuas. En el caso de pasos tipo rápido-remanso, lo recomendado es tener una mezcla de conexiones. Es decir, vertidos continuos, que faciliten la autolimpieza (al menos uno), y sumergidos, que aseguren siempre un calado mínimo en los remansos. Por lo tanto, con **valorar la conexión de mayor puntuación será suficiente**.

f) Valoración global de la entrada

El resultado final de la entrada se calculará mediante la media geométrica de las variables de acuerdo a los valores numéricos de cada variable. De tal forma que:

$$Puntuación\ Entrada = \left(V_E \cdot h_E \cdot b_E \cdot O_E \cdot T_E\right)^{1/5} \quad (6)$$

Es decir, la puntuación de la entrada será la raíz quinta del producto entre los valores numéricos de los cinco parámetros considerados en la entrada.

La conversión de la puntuación final a categorías se hará de acuerdo a la Tabla 3 (Pag. 14).

3.3. Pasaje

El pasaje comprende el tránsito del pez por el paso, desde la entrada hasta la salida. Para ello se tendrá que evaluar un tramo representativo del mismo, con objeto de caracterizar las zonas más desfavorables para el pez.

El sistema de evaluación del pasaje diferirá entre tipologías de paso (Tabla 1). Para ello, **se caracterizarán las secciones transversales o longitudinales con condiciones hidráulicas más limitantes**, es decir aquéllas con mayor velocidad, turbulencia o saltos entre láminas, ya que actuarán como cuello de botella en el ascenso. En ocasiones, puede resultar también de

interés caracterizar una **sección que muestre el funcionamiento representativo** del paso (sección media de funcionamiento), para describir el pasaje en su conjunto y facilitar futuras labores de mejora cuando sean necesarias.

En pasos de rugosidad uniforme (tipo 1), se medirán, cuando la anchura lo permita (mayor a 2 m), al menos dos **secciones longitudinales** de longitud completa para caracterizar el pasaje, una en el centro del paso y otra en la orilla (siempre que existan, secciones con **profundidad mayor a 20 cm**) (Figura 19). Cuando la anchura sea inferior a 2 m, una sección longitudinal central se considera suficiente (Figura 19b)

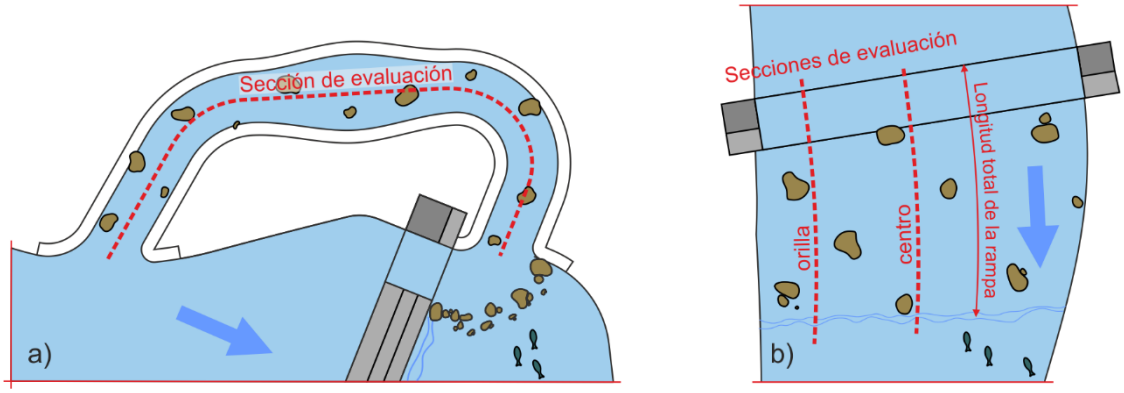


FIGURA 19. SECCIONES DE EVALUACIÓN EN PASOS DE RUGOSIDAD UNIFORME (CON GRANDES BLOQUES MUY DISPERSOS PARA DESCANSO). a) RÍO ARTIFICIAL CON ANCHURA INSUFICIENTE PARA DOS SECCIONES LONGITUDINALES. b) RAMPA CON ANCHURA SUFICIENTE PARA DOS SECCIONES LONGITUDINALES.

En pasos de bloques (tipo 2), se medirán **al menos dos agrupaciones transversales de bloques consecutivas** y las **condiciones hidráulicas aguas abajo** de los mismos (Figura 20). La posición concreta de las mediciones se define con detalle en los siguientes apartados del manual.

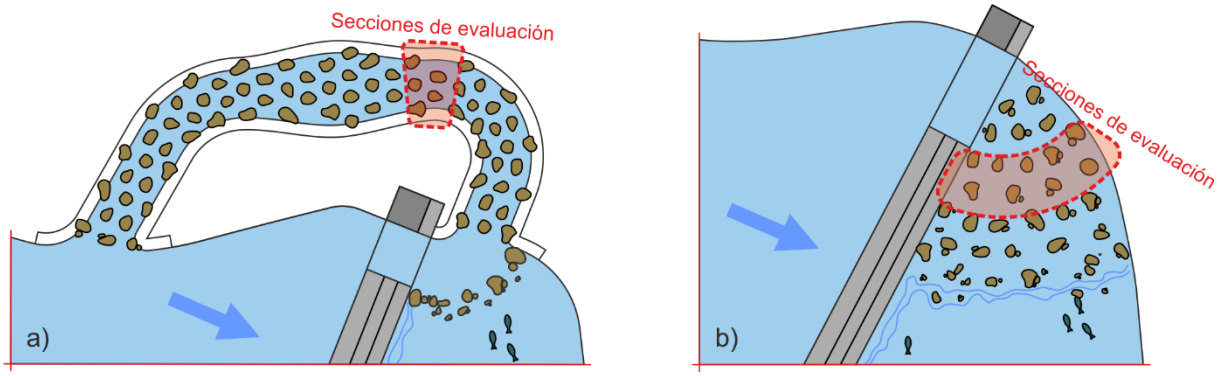


FIGURA 20. SECCIÓN DE EVALUACIÓN EN PASOS DE BLOQUES. a) RÍO ARTIFICIAL. b) RAMPA.

En pasos tipo rápido-remanso (tipo 3), para la valoración se medirá **una sección transversal más crítica**, en la que se ubica el **vertedero** más limitante y el **estanque** aguas abajo del mismo (Figura 21). Complementariamente, cuando la sección crítica o de evaluación difiera del funcionamiento medio del paso, se escogerá un tramo representativo del funcionamiento hidráulico medio para caracterizar el paso y afrontar posibles mejoras. Se realizarán las mismas mediciones en ambas secciones, si bien los parámetros de la sección con características medias de funcionamiento se reportarán como observaciones

complementarias no sujetas a valoración. La posición de las mediciones se define con detalle en los siguientes apartados del manual.

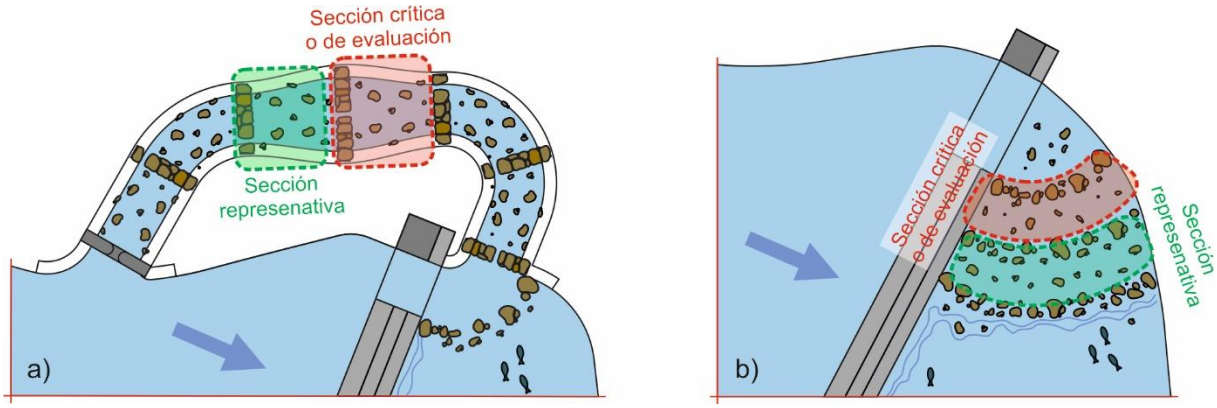


FIGURA 21. SECCIONES DE EVALUACIÓN EN PASOS TIPO RÁPIDO-REMANSO. a) RÍO ARTIFICIAL. b) RAMPA.

> **Nota**
>
> En algunos casos nos encontraremos con estructuras mixtas que presentarán varias tipologías de paso combinadas. En estos casos, se evaluará **el pasaje por cada una de las tipologías** detectadas de forma independiente.

3.3.1. Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme

La metodología de evaluación del pasaje en ríos artificiales o rampas de rugosidad uniforme, puede ser aplicada tanto para evaluar el pasaje por ambas estructuras como para cualquier barrera de velocidad (tramo con velocidad alta en el río, generalmente de origen artificial, p. ej. una canalización) que pueda ser un impedimento para el paso de fauna piscícola (Figura 22).



FIGURA 22. CONSTRUCCIONES DE RUGOSIDAD UNIFORME.

A la hora de evaluar esta tipología, habrá que considerar, además de la velocidad y la profundidad del paso, también la existencia de tramos o zonas de descanso que aumenten la probabilidad del pasaje, dividiendo el tramo a superar en subtramos (Figura 23). **La distancia entre zonas de descanso determinará la distancia de nado, es decir la distancia que el pez tendrá que recorrer sin posibilidad de descansar**.

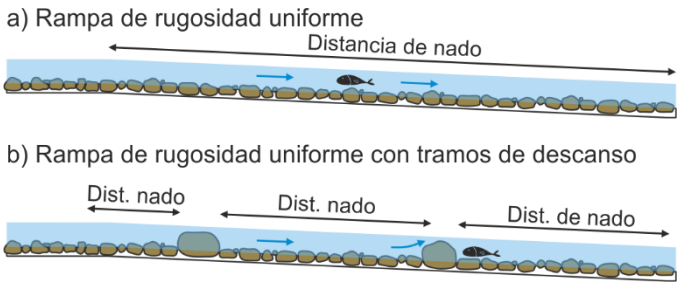


FIGURA 23. CONSTRUCCIONES DE RUGOSIDAD UNIFORME.

a) Profundidad media de pasaje (h_{Ps})

En las rampas de este tipo se ha de mantener una profundidad tal que asegure que el pez esté completamente sumergido en todo momento. Para ello, tendrá que ser coherente con su altura dorso-ventral. En este sentido, considerando las especies objetivo, es recomendable mantener al menos una profundidad media de 0,2 m [18].

TABLA 12. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE PASAJE.

Profundidad media de pasaje (h_{Ps} *en* m)	Valoración
$h_{Ps} \geq 0{,}3$	Correcto → 10
$0{,}2 \leq h_{Ps} < 0{,}3$	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq h_{Ps} < 0{,}2$	Incorrecto → 3,5
$h_{Ps} < 0{,}1$	Incompatible → 0

b) Proporción de paso (P_{Ps}): Velocidad flujo (V_{flujo}) y distancia de nado (D_{nado})

Un pez sólo puede mantener una determinada velocidad de nado durante una distancia concreta. Cuanto menor sea esta velocidad, mayor distancia podrá recorrer y más fácilmente podrán superar el paso, es decir, el paso será menos selectivo. Esta información se puede obtener de los modelos de natación de los peces (Figura 24), normalmente disponibles en referencias especializadas [31], [33].

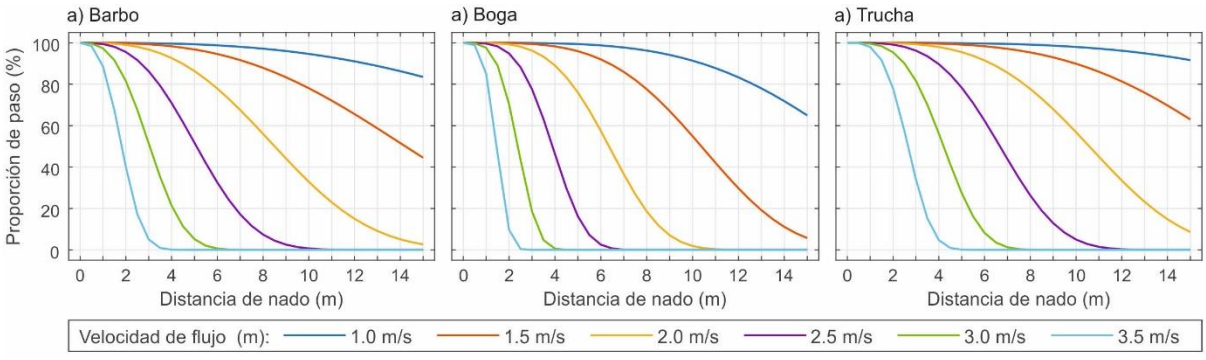


FIGURA 24. PROPORCIÓN DE PECES QUE SON CAPACES DE SUPERAR UNA DETERMINADA DISTANCIA FRENTE A DIFERENTES VELOCIDADES DE FLUJO. VALORES PARA BARBO, BOGA Y TRUCHA CON TAMAÑO MÍNIMO REPRODUCTIVO (18 CM).

De estas curvas se puede derivar la **proporción de paso** de una especie determinada **de acuerdo a la velocidad del flujo y a la distancia de nado**, de tal forma que se considerará un pasaje correcto cuando más del 65 % de los individuos de la población puedan superarlo, Aceptable cuando entre el 35% y el 65 % de la población pueda superarlo, Incorrecto cuando

entre el 5 % y el 35 % de la población pueda superarlo e Incompatible cuando menos del 5 % de la población pueda superarlo (Tabla 13 y Tabla 14).

TABLA 13. VALORACIÓN DEL PROPORCIÓN DE PASO.

Proporción de paso (P_{PS} *en %*)	Valoración
$P_{PS} > 65$	Correcto → 10
$35 < P_{PS} \leq 65$	Aceptable → 6,5
$5 < P_{PS} \leq 35$	Incorrecto → 3,5
$P_{PS} \leq 5$	Incompatible → 0

TABLA 14. PROPORCIÓN DE PASO Y VALORACIÓN PARA EL BARBO, BOGA Y TRUCHA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLUJO Y DISTANCIA DE NADO [33]. EQUIVALE A LA FIGURA 24.

		Barbo - Velocidad flujo (m/s)					
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Distancia de nado (m)	0,0	100	100	100	100	100	100
	1,0	100	100	100	99	97	89
	2,0	100	100	99	96	82	40
	3,0	100	99	97	86	51	5
	4,0	100	98	93	71	21	0
	5,0	99	97	86	52	5	0
	6,0	99	95	78	33	1	0
	7,0	98	92	68	17	0	0
	8,0	97	88	56	7	0	0
	9,0	96	83	44	3	0	0
	10,0	95	78	33	1	0	0
	11,0	93	72	23	0	0	0
	12,0	91	66	15	0	0	0
	13,0	89	59	9	0	0	0
	14,0	86	52	5	0	0	0
	15,0	84	44	3	0	0	0

Boga - Velocidad flujo (m/s)					
1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	98	85
100	100	99	95	70	10
100	99	96	78	19	0
100	98	89	46	1	0
99	96	76	16	0	0
99	92	57	3	0	0
98	86	37	0	0	0
96	78	19	0	0	0
94	67	7	0	0	0
91	55	2	0	0	0
88	42	0	0	0	0
83	30	0	0	0	0
78	19	0	0	0	0
72	11	0	0	0	0
65	6	0	0	0	0

Trucha - Velocidad flujo (m/s)					
1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	98
100	100	100	99	95	78
100	100	99	96	82	34
100	100	98	90	56	5
100	99	96	78	27	0
100	98	91	62	8	0
99	97	86	44	1	0
99	95	78	26	0	0
99	93	68	13	0	0
98	90	57	5	0	0
97	86	45	1	0	0
96	81	33	0	0	0
95	76	23	0	0	0
93	70	15	0	0	0
92	63	9	0	0	0

La distancia de nado, en ausencia de zonas de descanso, será la **longitud total de la rampa**. En aquellos casos en los que que existan grandes **bloques dispersos intercalados** (diámetro medio ≥ 0,6 m) **o pozas de baja velocidad**, que proporcionen descanso y refugio, se considerará como distancia de nado la **distancia entre zonas de descanso** (Figura 23)**. La velocidad a evaluar** se corresponde con la velocidad media de la rampa o de cada tramo entre zonas de descanso, dependiendo del caso.

3.3.2. Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño

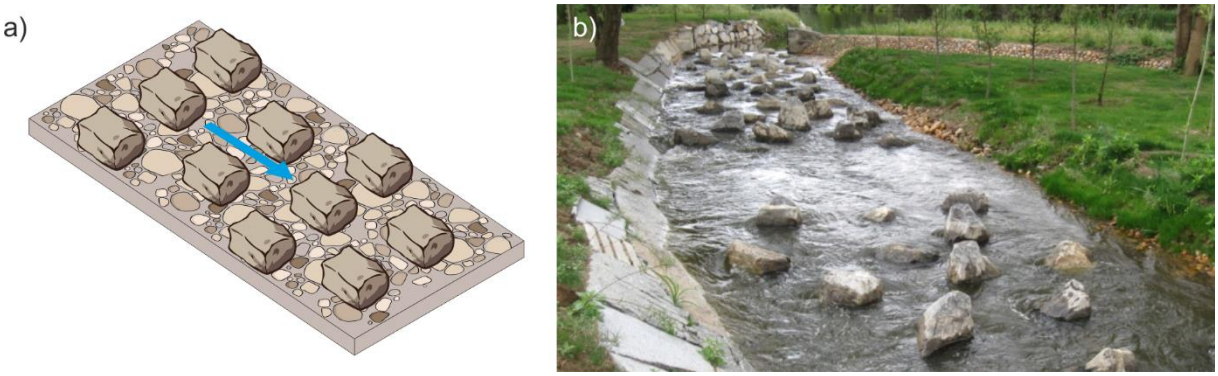


FIGURA 25. CONSTRUCCIONES DE BLOQUES DE GRAN TAMAÑO.

a) Diámetro medio del bloque ($Ø_{Ps}$)

En este tipo de paso, los bloques, además de disipar la potencia hidráulica del flujo, proporcionan un área de refugio y descanso tras ellos. Por ello, su tamaño ha de ser el adecuado con respecto a las especies objetivo, para que aseguren un refugio mínimo detrás de los mismos. Se recomienda, para un funcionamiento correcto, un diámetro de entre 0,6 y 1,2 m [18]. Considerando esto y la dimensión de los peces objetivo, en la Tabla 15 se desglosa la valoración para los diámetros medios de los bloques.

TABLA 15. VALORACIÓN DEL DIÁMETRO MEDIO DEL BLOQUE.

Diámetro medio del bloque ($Ø_{Ps}$ en m)	Valoración
$Ø_{Ps} > 0,6$	Correcto → 10
$0,3 \leq Ø_{Ps} < 0,6$	Aceptable → 6,5
$0,2 \leq Ø_{Ps} < 0,3$	Incorrecto → 3,5
$Ø_{Ps} < 0,2$	Incompatible → 0

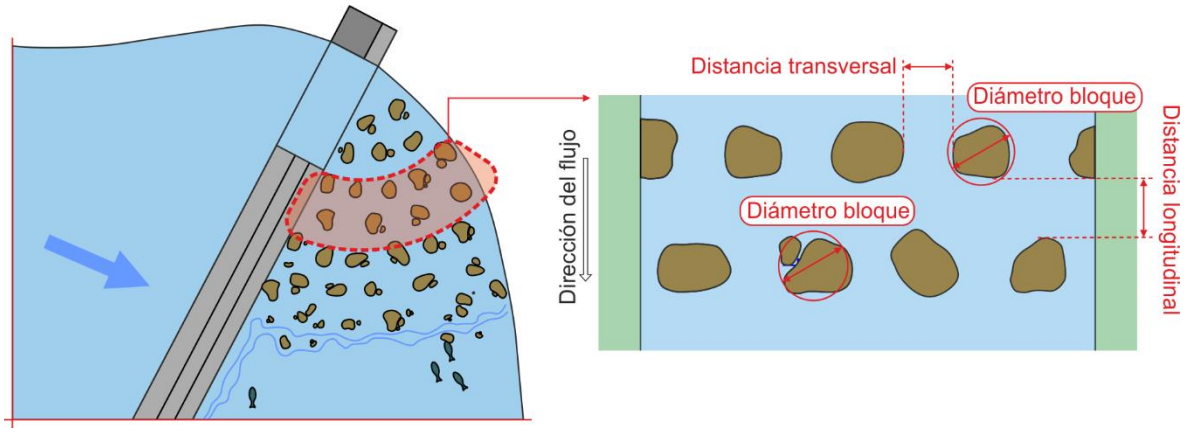


FIGURA 26. ESQUEMA DE UN TRAMO PLANTA REPRESENTANDO VARIABLES GEOMÉTRICAS DE LOS PASOS DE BLOQUES.

b) Distancia transversal media entre bloques (DT_{Ps})

Véase apartado *3.2. Entrada → c) Anchura media de paso o distancia entre bloques.*

TABLA 16. VALORACIÓN DE LA DISTANCIA TRANSVERSAL MEDIA ENTRE BLOQUES.

Distancia transversal media entre bloques (DT_{Ps} *en m*)	Valoración
$DT_{Ps} \geq 0{,}3$	Correcto → 10
$0{,}2 \leq DT_{Ps} < 0{,}3$	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq DT_{Ps} < 0{,}2$	Incorrecto → 3,5
$DT_{Ps} < 0{,}1$	Incompatible → 0

c) Distancia longitudinal media entre bloques (DL_{Ps})

La distancia longitudinal entre bloques determinará la extensión del área de descanso detrás del mismo. Generalmente, en este tipo de pasos, el espaciamiento entre bloques es constante en todas las direcciones y, por tanto, coincidirá a menudo con la distancia transversal entre bloques (Figura 26) (aunque no tiene por qué ser la misma). El criterio para valorarlo será el mismo que en el apartado anterior (Tabla 17).

TABLA 17. VALORACIÓN DE LA DISTANCIA LONGITUDINAL MEDIA ENTRE BLOQUES.

Distancia longitudinal media entre bloques (DL_{Ps} *en m*)	Valoración
$DL_{Ps} \geq 0{,}3$	Correcto → 10
$0{,}2 \leq DL_{Ps} < 0{,}3$	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq DL_{Ps} < 0{,}2$	Incorrecto → 3,5
$DL_{Ps} < 0{,}1$	Incompatible → 0

d) Velocidad media entre bloques ($V_{entre\ bloques,\ Ps}$)

La velocidad entre los bloques no deberá superar la capacidad natatoria del pez. Las múltiples guías de diseño recomiendan que, dentro del paso, estas velocidades no superen los 2 m/s [12], [18], [32]. Si bien, están registrados pasajes puntuales con valores de velocidad más elevados en la literatura especializada [31], [33]. Considerando esto, en la Tabla 18 se recoge la valoración recomendada para la velocidad media entre bloques.

TABLA 18. VALORACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA ENTRE BLOQUES.

Velocidad media entre bloques ($V_{entre\ bloques,\ Ps}$ *en m/s*)	Valoración
$V_{entre\ bloques,\ Ps} \leq 2$	Correcto → 10
$2 < V_{entre\ bloques,\ Ps} \leq 3$	Aceptable → 6,5
$3 < V_{entre\ bloques,\ Ps} \leq 4$	Incorrecto → 3,5
$V_{entre\ bloques,\ Ps} > 4$	Incompatible → 0

La velocidad media entre bloques se calculará como la media de las velocidades individuales entre bloques del tramo en estudio (Figura 27).

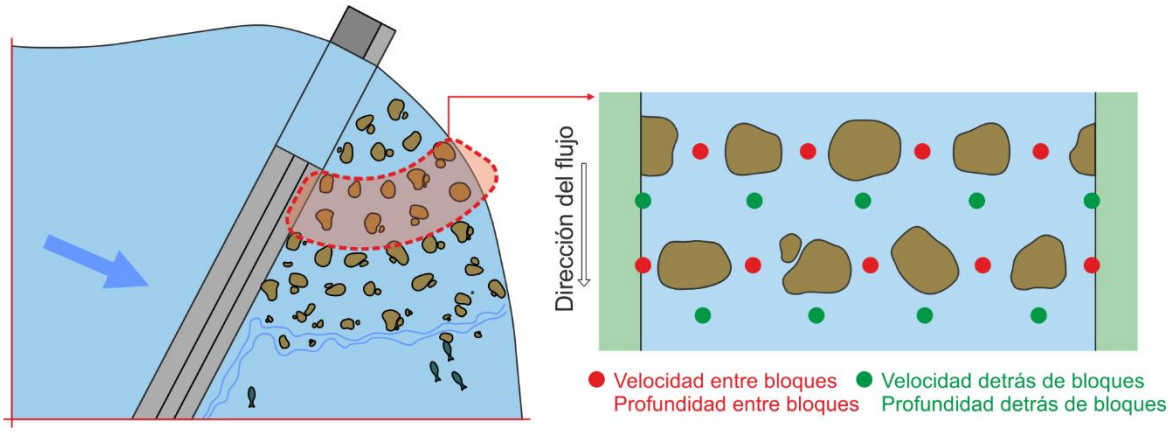


FIGURA 27. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDIDA DE LA VELOCIDAD Y PROFUNDIDAD ENTRE BLOQUES Y DETRÁS DE BLOQUES.

e) Profundidad media entre bloques ($h_{entre\ bloques,\ Ps}$)

La profundidad de paso a través de los bloques ha de permitir la natación de los peces y debe ser coherente con su anchura dorso-ventral. La profundidad correcta ha de ser mayor a 2 veces la longitud dorso-ventral del pez [32]. Otros autores recomiendan que esta profundidad siempre sea mayor a 0,20 m [34]. Considerando esto, la Tabla 19 recoge la valoración recomendada para la profundidad entre bloques.

TABLA 19. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA ENTRE BLOQUES.

Profundidad media entre bloques ($h_{entre\ bloques,\ Ps}$ en m)	Valoración
$h_{entre\ bloques,\ Ps} \geq 0,3$	Correcto → 10
$0,2 \leq h_{entre\ bloques,\ Ps} < 0,3$	Aceptable → 6,5
$0,1 \leq h_{entre\ bloques,\ Ps} < 0,2$	Incorrecto → 3,5
$h_{entre\ bloques,\ Ps} < 0,1$	Incompatible → 0

f) Velocidad media detrás de bloques ($V_{detrás\ bloques,\ Ps}$)

La velocidad detrás de los bloques, o zona de descanso del pez, ha de permitir que el pez pueda descansar cuando así lo precise. Por ello, deberá ser menor que la velocidad entre bloques (Figura 27). Algunas guías de diseño recomiendan que la velocidad media del dispositivo de paso esté en torno a 0,4 - 0,6 m/s, permitiendo valores ligeramente mayores si el paso supera pendientes del 5 % y se incorporan bloques de mayor tamaño (> 0,6 m) [18]. La Tabla 20 recoge la valoración recomendada para la velocidad media detrás de bloques.

TABLA 20. VALORACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA DETRÁS DE BLOQUES.

Velocidad media detrás de bloques ($V_{detrás\ bloques,\ Ps}$ en m/s)	Valoración
$V_{detrás\ bloques,\ Ps} \leq 1,0$	Correcto → 10
$1,0 < V_{detrás\ bloques,\ Ps} \leq 1,5$	Aceptable → 6,5
$1,5 < V_{detrás\ bloques,\ Ps} \leq 2,0$	Incorrecto → 3,5
$V_{detrás\ bloques,\ Ps} > 2,0$	Incompatible → 0

La velocidad se medirá en el centro de la zona de aguas tranquilas detrás del bloque (Figura 27), a una distancia mínima de 20 cm.

g) Profundidad media detrás de bloques ($h_{detrás\ bloques,\ Ps}$)

Por lo general, asociado a una menor velocidad, detrás de los bloques se obtendrán profundidades más elevadas. Por tanto, es recomendable que al menos estos valores sean iguales a la profundidad media entre bloques, para permitir descansar al pez (Tabla 21).

TABLA 21. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DETRÁS DE BLOQUES.

Profundidad media detrás de bloques ($h_{detrás\ bloques,\ Ps}$ en m)	Valoración
$h_{detrás\ bloques,\ Ps} \geq 0,3$	Correcto → 10
$0,2 \leq h_{detrás\ bloques,\ Ps} < 0,3$	Aceptable → 6,5
$0,1 \leq h_{detrás\ bloques,\ Ps} < 0,2$	Incorrecto → 3,5
$h_{detrás\ bloques,\ Ps} < 0,1$	Incompatible → 0

3.3.3. Tipo 3: Construcciones de tipo rápido-remanso

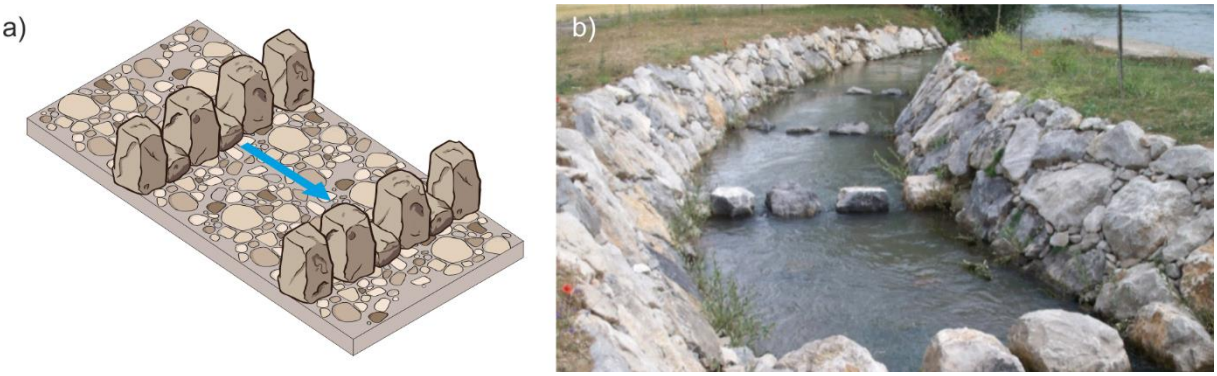


FIGURA 28. CONSTRUCCIONES DE TIPO RÁPIDO-REMANSO.

> **Nota**
>
> Este tipo de construcciones también puede asemejarse a las construcciones denominadas "Rampas de flujo ascendente" [34]. Por tanto, se podrá aplicar el mismo principio de evaluación.
>
> [34] J. A. Fernández Yuste and C. Martínez Santa-María, Manual de diseño y cálculo de rampas de flujo ascendente. 2019. Confederación Hidrográfica del Duero.

a) Velocidad media de paso (V_{Ps})

Véase apartado *3.3. Pasaje → Tipo 2 → d) Velocidad media entre bloques.*

TABLA 22. VALORACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA DE PASO.

Velocidad media de paso (V_{Ps} en m/s)	Valoración
$V_{Ps} \leq 2$	Correcto → 10
$2 < V_{Ps} \leq 3$	Aceptable → 6,5
$3 < V_{Ps} \leq 4$	Incorrecto → 3,5
$V_{Ps} > 4$	Incompatible → 0

Recordemos que en los casos donde exista salto, éste se podrá transformar en velocidad mediante la Ec.(5).

b) Potencia disipada (N_{PS})

La potencia disipada es la energía que disipa el flujo en el interior de los estanques del paso (N_{PS}) (W/m^3). Potencias excesivas suelen indicar grados de turbulencia elevados dentro del estanque/remanso, que pueden repercutir negativamente en el ascenso de los peces [35], [36]. Su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación [37]:

$$N_{Ps} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{paso} \cdot \Delta H}{Volumen} \quad (7)$$

Siendo:

N_{PS}: potencia disipada en el estanque o remanso (W/m^3)

ρ: densidad del agua (generalmente 1000 kg/m^3)

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2)

Q_{paso}: caudal que circula a través del paso piscícola (m^3/s)

ΔH: desnivel de agua entre estanques consecutivos (sección crítica) (m)

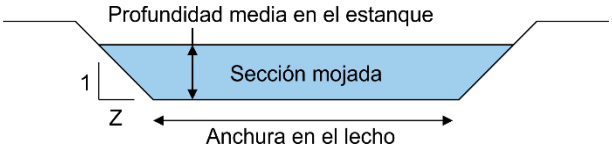
Volumen: volumen de agua en el estanque de estudio (m^3), que se puede calcular como el producto entre la sección media mojada del estanque por su longitud.

TABLA 23. VALORACIÓN DE LA POTENCIA DISIPADA DEL PASO

Potencia disipada (N_{PS} en W/m^3)	Valoración
$N_{PS} \leq 150$	Correcto → 10
$150 < N_{PS} \leq 200$	Aceptable → 6,5
$200 < N_{PS} \leq 300$	Incorrecto → 3,5
$N_{PS} > 300$	Incompatible → 0

Nota

Para el cálculo de la potencia disipada requeriremos calcular el **volumen del estanque** en evaluación. Una forma directa de calcularlo es determinando la **sección mojada** media del estanque y multiplicándola por su longitud.



Sección mojada = (Anchura en el lecho + Z · Profundidad media) · Profundidad media

Conviene recordar que para el cálculo de la potencia disipada también es necesario el **caudal por el paso**. Indicaciones de cómo obtener esta variable se pueden encontrar en el apartado 3.1.a.

c) Tirante medio o profundidad media del estanque (t_{Ps})

La profundidad en el estanque ha de permitir que se disipe la energía hidráulica procedente de los vertidos de aguas arriba, así como proporcionar refugio al pez. El mínimo recomendado para asegurar un funcionamiento adecuado en este tipo de pasos es de 0,3 m [18].

TABLA 24. VALORACIÓN DEL TIRANTE MEDIO EN EL ESTANQUE.

Tirante medio o profundidad media (t_{Ps} en m)	Valoración
$t_{Ps} > 0,4$	Correcto → 10
$0,3 \leq t_{Ps} < 0,4$	Aceptable → 6,5
$0,2 \leq t_{Ps} < 0,3$	Incorrecto → 3,5
$t_{Ps} < 0,2$	Incompatible → 0

d) Profundidad de paso (h_{Ps})

Véase apartado *3.3 Pasaje → Tipo 2 → e) Profundidad media entre bloques.*

De todas las aberturas (vertederos), **se valorará aquella que presente un mayor valor** de la profundidad de paso. En general, este tipo de paso suele presentar un menor número de rutas de ascenso comparado con los pasos de rugosidad uniforme o los de bloques, y por tanto, al pez le será más fácil encontrar las rutas con mayor profundidad.

TABLA 25. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PASO.

Profundidad de paso (h_{Ps} en m)	Valoración
$h_{Ps} > 0,3$	Correcto → 10
$0,2 \leq h_{Ps} < 0,3$	Aceptable → 6,5
$0,1 \leq h_{Ps} < 0,2$	Incorrecto → 3,5
$h_{Ps} < 0,1$	Incompatible → 0

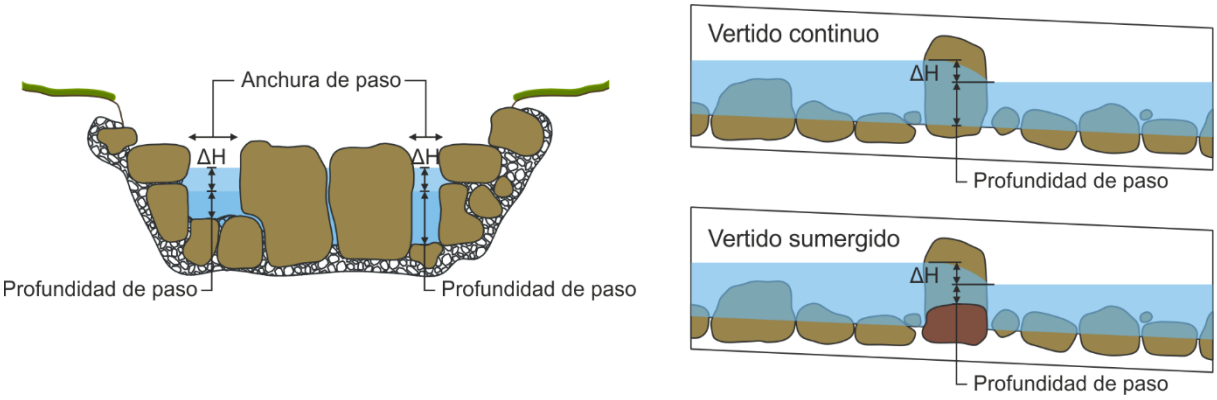


FIGURA 29. REPRESENTACIÓN DE LAS PROFUNDIDADES DE PASO VISTA DESDE AGUAS ABAJO. LA PROFUNDIDAD DE PASO SERÁ LA CARGA DE VERTIDO (CONSIDERADA DESDE EL UMBRAL DE VERTIDO) MENOS EL SALTO ENTRE LÁMINAS.

e) Anchura media de paso (b_{Ps})

Véase apartado *3.2. Entrada → c) Anchura media de paso o distancia entre bloques.*

TABLA 26. VALORACIÓN DE LA ANCHURA MEDIA DE PASO.

Anchura media de paso (b_{Ps} en m)	Valoración
$b_{Ps} \geq 0,3$	Correcto → 10
$0,2 \leq b_{Ps} < 0,3$	Aceptable → 6,5
$0,1 \leq b_{Ps} < 0,2$	Incorrecto → 3,5
$b_{Ps} < 0,1$	Incompatible → 0

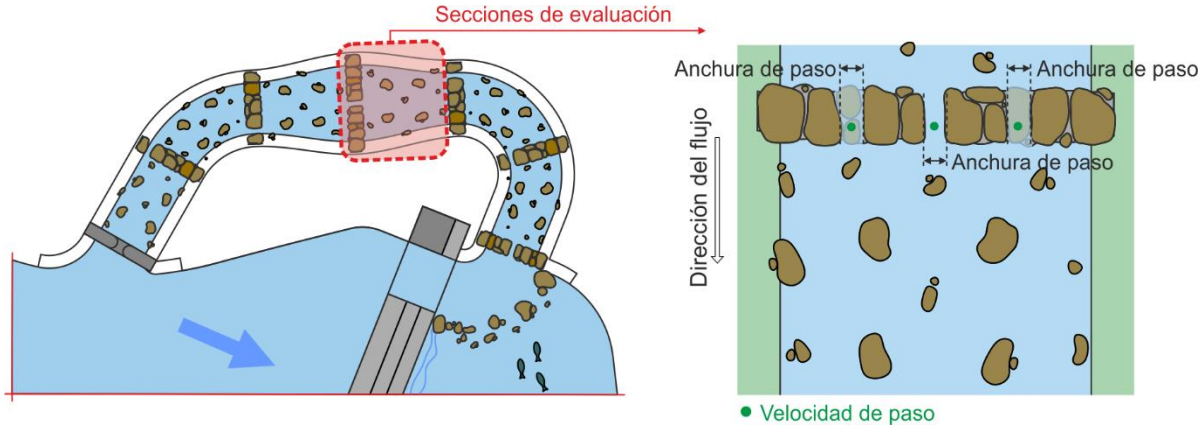


FIGURA 30. MEDICIÓN DE ANCHURA DE PASO Y VELOCIDAD DE PASO.

f) Tipo de conexión dentro del paso (T_{Ps})

Véase apartado *3.2. Entrada → e) Tipo de conexión río-paso.*

TABLA 27. VALORACIÓN DE LAS CONEXIONES DENTRO DEL PASO.

Conexión dentro del paso (T_{Ps})	Valoración
Continua o hendidura	Correcto → 10
Sumergida	Aceptable → 6,5
Libre - Salto menor ($\Delta H \leq 0,1$ m)	Incorrecto → 3,5
Libre - Salto mayor ($\Delta H > 0,1$ m)	Incompatible → 0

3.3.4. Valoración global del pasaje

El resultado final del pasaje se calculará mediante la media geométrica de las variables de acuerdo a los valores numéricos de cada variable. De tal forma que para **construcciones de rugosidad uniforme (tipo 1):**

$$Puntuación\ Pasaje = \left(h_{Ps} \cdot P_{Ps}\right)^{1/2} \quad (8)$$

Es decir, la puntuación del pasaje para los pasos naturalizados tipo 1 será la raíz cuadrada del producto entre los valores numéricos de los dos parámetros considerados en el pasaje.

Para **construcciones de bloques de gran tamaño (tipo 2):**

$$Puntuación\ Pasaje = \left(\emptyset_{Ps} \cdot DT_{Ps} \cdot DL_{Ps} \cdot V_{entre\ bloques} \cdot h_{entre\ bloques} \cdot V_{detrás\ de\ bloques} \cdot h_{detrás\ de\ bloques}\right)^{1/7} \quad (9)$$

Es decir, la puntuación del pasaje para los pasos naturalizados tipo 2 será la raíz séptima del producto entre los valores numéricos de los siete parámetros considerados en el pasaje.

Para **construcciones tipo rápido remanso (tipo 3):**

$$Puntuación\ Pasaje = \left(V_{Ps} \cdot N_{Ps} \cdot t_{Ps} \cdot h_{Ps} \cdot b_{Ps} \cdot T_{Ps}\right)^{1/6} \quad (10)$$

Es decir, la puntuación del pasaje para los pasos naturalizados tipo 3 será la raíz sexta del producto entre los valores numéricos de los seis parámetros considerados en el pasaje.

La conversión de la puntuación final a categorías se hará de acuerdo a la Tabla 3 (Pag. 14).

3.4. Salida

Es habitual encontrar salidas en los pasos naturalizados que difieren del diseño tipo, dado que, a menudo, se sitúan compuertas o tajaderas que ayudan a controlar el caudal circulante por el dispositivo, o bien, la conexión al río se realiza mediante rebajes en el azud. Por ello, resulta esencial evaluar la salida del paso de manera independiente.

En el caso de rebajes en el azud, éstos serán las rutas preferentes de salida, no la coronación en sí, por lo que **la evaluación se concentrará en dichas zonas de rebaje** (Figura 31a).

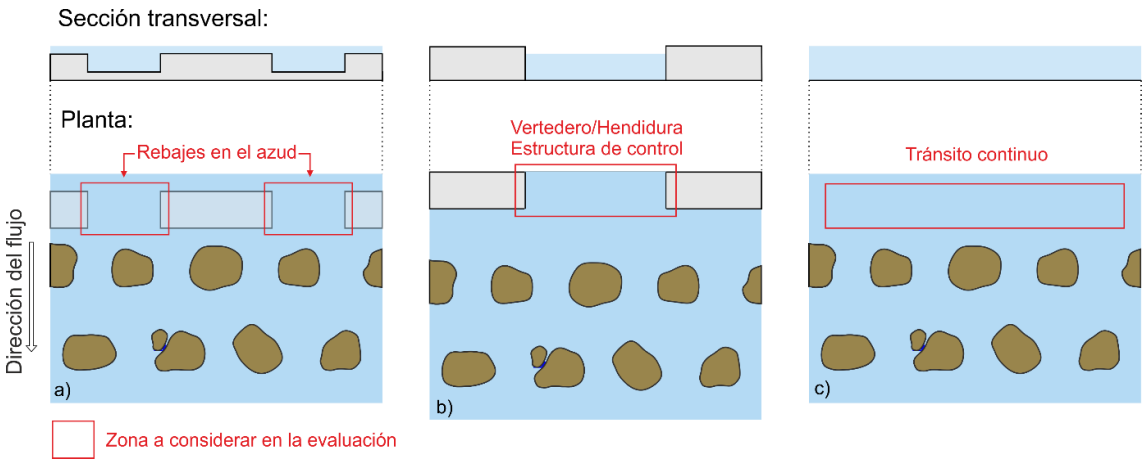


FIGURA 31. ZONA A EVALUAR EN LA SALIDA DE ACUERDO A LOS DIFERENTES TIPOS DE SALIDAS POSIBLES. a) AZUD CON REBAJES. b) ESTRUCTURA DE CONTROL. c) TRÁNSITO CONTINUO AL RÍO.



FIGURA 32. EJEMPLOS DE REBAJES EN EL AZUD. a) PASO PARA PECES EN EL AZUD DE LOS TRAMPONES, RÍO ARLANZÓN, BURGOS. b) PASO PARA PECES EN EL "AZUD DEL COLEGIO DE SAN GREGORIO", RÍO PISUERGA, AGUILAR DE CAMPOO.

a) Velocidad media en la salida (V_S)

Véase apartado *3.3. Pasaje → Tipo 2 → d) Velocidad media entre bloques.*

TABLA 28. VALORACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SALIDA DEL PASO.

Velocidad media en la salida (V_S en m/s)	Valoración
$V_S \leq 2$ m/s	Correcto → 10
$2 < V_S \leq 3$ m/s	Aceptable → 6,5
$3 < V_S \leq 4$ m/s	Incorrecto → 3,5
$V_S > 4$	Incompatible → 0

b) Profundidad en la salida (h_S)

Véase apartado *3.3. Pasaje → Tipo 2 → e) Profundidad media entre bloques.*

TABLA 29. VALORACIÓN DE LA PROFUNDIDAD EN LA SALIDA.

Profundidad media en la salida (h_S en m)	Valoración
$h_S \geq 0{,}3$	Correcto → 10
$0{,}2 \leq h_S < 0{,}3$	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq h_S < 0{,}2$	Incorrecto → 3,5
$h_S < 0{,}1$	Incompatible → 0

c) Tipo de conexión en la salida (T_S)

Véase apartado *3.2. Entrada → e)Tipo de conexión río-paso.*

TABLA 30. VALORACIÓN DE LA CONEXIÓN DEL PASO AL RÍO.

Tipo de conexión en la salida (T_S)	Valoración
Continua o hendidura	Correcto → 10
Sumergida	Aceptable → 6,5
Libre - Salto menor ($\Delta H \leq 0{,}1$ m)	Incorrecto → 3,5
Libre - Salto mayor ($\Delta H > 0{,}1$ m)	Incompatible → 0

d) Anchura de la salida (b_S)

Véase apartado *3.2. Entrada → c) Anchura media de paso o distancia entre bloques.*

TABLA 31. VALORACIÓN DE LA ANCHURA EN LA SALIDA.

Anchura de la salida (b_S en m)	Valoración
$b_S \geq 0{,}3$	Correcto → 10
$0{,}2 \leq b_S < 0{,}3$	Aceptable → 6,5
$0{,}1 \leq b_S < 0{,}2$	Incorrecto → 3,5
$b_S < 0{,}1$	Incompatible → 0

e) Valoración global de la salida

El resultado final de la salida se calculará mediante la media geométrica de las variables de acuerdo a los valores numéricos de cada variable. De tal forma que:

$$Puntuación\ Salida = \left(V_S \cdot h_S \cdot b_S \cdot T_S\right)^{1/4} \quad (11)$$

Es decir, la puntuación de la salida será la raíz cuarta del producto entre los valores numéricos de los cuatro parámetros considerados en la salida.

La conversión de la puntuación final a categorías se hará de acuerdo a la Tabla 3 (Pag. 14).

3.5. Parámetros auxiliares

Si bien los parámetros esenciales para asegurar que los pasos naturalizados funcionen de forma adecuada se han tratado uno por uno en las secciones anteriores, existen otros parámetros que contribuirán de forma positiva a la integración del paso en el medio y a su uso por la fauna piscícola. A pesar de que su evaluación no es necesaria para determinar la franqueabilidad del paso se recomienda su valoración. Una valoración positiva en estos parámetros podrá repercutir en el incremento de una evaluación aceptable a correcta.

Los pasos naturalizados se definieron como "aquellos sistemas de franqueo que pretenden imitar las condiciones de un río natural", por lo tanto, todas las medidas que contribuyan a la naturalización de los mismos serán medidas que favorecerán su uso e integración.

a) Zonas de descanso y refugio

Es recomendable intercalar zonas de descanso y/o refugio en el paso. Estas zonas se pueden corresponder con tramos de mayor profundidad y longitud (Figura 33), menor turbulencia y bajas velocidades que permitan al pez descansar de las condiciones medias de funcionamiento del paso, así como refugiarse de posibles depredadores. Es decir, fomentarán el uso del paso como ruta de ascenso segura y como zona de residencia de algunas especies.



FIGURA 33. RAMPA DE BLOQUES CON ZONAS DE DESCANSO DE MAYOR PROFUNDIDAD Y MENOR PENDIENTE, RÍO NEGRO (PEQUE, ZAMORA).

b) Poza de ascenso

De forma general, el paso supone una discontinuidad en el río, es decir un tramo artificial cuya pendiente suele ser mayor que la pendiente media del río aguas arriba y aguas abajo del mismo, produciéndose una discontinuidad física, mayor o menor en función de sus características geométricas. Está discontinuidad incidirá de forma abrupta en el tramo del río

aguas abajo, pudiendo provocar descalces y/o una barrera hidráulica (Figura 34), si no se realiza una estructura de protección o transición.



FIGURA 34. RAMPA DE BLOQUES CON DESCALCE DEBIDO A LA AUSENCIA DE UNA POZA DE DISIPACIÓN ADECUADA AGUAS ABAJO, RÍO PISUERGA (AGUILAR DE CAMPOO, PALENCIA).

Por tanto, es recomendable asegurar una disipación de energía adecuada aguas abajo del mismo y por ello se suele recomendar una poza de disipación profunda en el contacto con el río. Esta poza disipará la posible potencia excesiva del paso, en condiciones de funcionamiento límite (p. ej. avenidas) y, a su vez, proporcionará una zona de transición que facilitará la entrada del pez al mismo.

c) Sustrato

Se recomienda que dentro del paso exista un sustrato de similar granulometría y composición que en los tramos del río inmediatos aguas arriba y aguas abajo del mismo [18] (Figura 35). Esto repercute en una mayor naturalización del sistema de paso y proporciona una disipación de energía en los primeros centímetros de lecho, repercutiendo en una velocidad menor que facilita el ascenso de peces bentónicos. Así mismo, esta discontinuidad en el lecho, así como el espacio intersticial del sustrato, permitirán el asentamiento de bentos, repercutiendo en un mayor grado de naturalización del paso.



FIGURA 35. FASE DE CONSTRUCCIÓN DE UN RÍO ARTIFICIAL DE BLOQUES, RÍO TORMES (AZUD EL MARÍN, SALAMANCA).

d) Grado de naturalización

El paso naturalizado ideal debería ser imperceptible a la vista humana (Figura 36). Por lo tanto, todas las medidas que contribuyan a aumentar su integración natural repercutirán de forma positiva. Entre otros se valorará:

- La existencia de vegetación o estaquillado en las orillas.
- El uso de piedras de la misma composición del río.
- La existencia de refugios.



FIGURA 36. RÍO ARTIFICIAL DE BLOQUES, RÍO TORMES (AZUD EL MARÍN, SALAMANCA).

e) Medidas auxiliares para caudales bajos

Los ríos de la Península Ibérica, en ausencia de regulación, se caracterizan por grandes oscilaciones de caudal. Por tanto, si bien el caudal de migración resulta el más interesante para evaluar el paso, éste debería ser funcional durante el máximo número de días al año. De tal forma que favorezca, no sólo los movimientos con fines reproductivos, sino también aquellos para búsqueda de refugio y/o alimento en otras épocas del año.

Existen múltiples medidas que pueden extender en el tiempo el funcionamiento adecuado del paso: rebajes de concentración de caudal y aumento de llamada en el azud, secciones transversales cóncavas o triangulares en el lecho, caudales auxiliares para aumento de caudal de forma puntual, estructuras pareadas (es decir, estructuras de paso asociadas a la principal diseñadas para que funcionen durante caudales bajos o altos), compuertas y tajaderas para regulación de caudal, etc.

f) Caudal de atracción auxiliar

En muchos casos, los pasos naturalizados no ocuparán la anchura total del cauce. En función del caudal en el paso, puede ser recomendable la existencia de vertidos por el azud cercanos a su entrada (sin incidir en la misma), que ayuden a concentrar un mayor caudal y por tanto a aumentar su atracción.

En las rampas que ocupen el ancho completo del cauce, la atracción auxiliar será imposible dado que ya presentarán una atracción máxima.

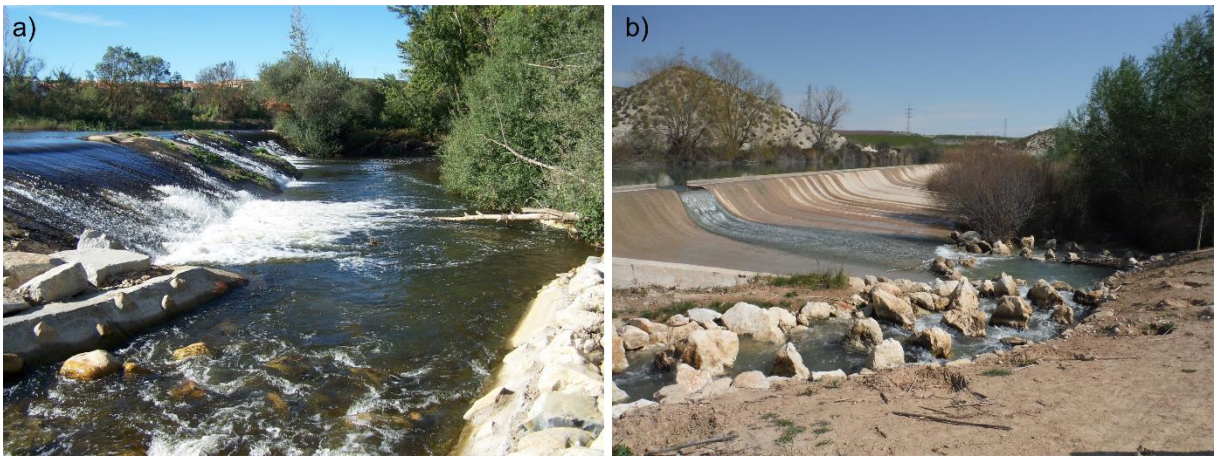


FIGURA 37. RÍO ARTIFICIAL CON BLOQUES DE GRAN TAMAÑO Y VERTIDO DE ATRACCIÓN POR EL AZUD. a) RÍO TORMES (AZUD DE LEDESMA, SALAMANCA). b) RÍO SEGURA. (AZUD HOYA GARCÍA, MURCIA).

g) Mantenimiento

No debemos olvidar que el río es un sistema dinámico, con gran capacidad de modificar el medio, y actuará en contra de cualquier estructura foránea al mismo. Por tanto, será necesaria la inspección de los pasos después de cualquier crecida para asegurar que las condiciones de funcionamiento iniciales no se han visto alteradas (Figura 38). En este sentido, se valorará el estado de mantenimiento general del paso mediante la observación directa de obstrucciones, roturas o cualquier alteración que repercuta en su funcionamiento inicial.



FIGURA 38. ENTRADA DE RAMPA PARCIAL DE BLOQUES OBSTRUIDA QUE IMPOSIBILITA EL FUNCIONAMIENTO DEL PASO, RÍO NEGRO (DONEY DE LA REQUEJADA, ZAMORA).

h) Valoración global de parámetros auxiliares

Las medidas auxiliares se valorarán con dos categorías: ausente o presente (Tabla 32). De tal forma que cuando se cumplan al menos 4 de los 7 parámetros el valor numérico final del paso podrá incrementarse en una unidad.

TABLA 32. EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS AUXILIARES.

Parámetros auxiliares	Valoración	
1. Zonas de descanso y refugio		✓
2. Poza de ascenso	✗	
3. Sustrato		✓
4. Naturalización		✓
5. Medidas para caudales bajos	✗	
6. Caudal de atracción	✗	
7. Mantenimiento		✓
Total:		4/7

4. Integración de resultados

El resultado final de la valoración del paso naturalizado se calculará mediante la media geométrica de los valores numéricos obtenidos en cada una de las etapas de funcionamiento (Atracción, Entrada, Pasaje y Salida). De tal forma que:

$$Puntuación\ Global = \left(Atracción \cdot Entrada \cdot Pasaje \cdot Salida \right)^{1/4} \quad (12)$$

La conversión de la puntuación final a categorías se hará de acuerdo a la Tabla 3 (Pag. 14).

De forma adicional, un paso valorado como aceptable, **cuando se hayan evaluado parámetros auxiliares podrá incrementar su valor numérico en una unidad cuando al menos 4 de los 7 parámetros auxiliares estén presentes**.

5. Referencias

[1] European Environment Agency, "www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/reservoirs-and-dams," 2018. .

[2] AMBER, "http://amber.international/," 2018. .

[3] F. J. Sanz-Ronda, F. J. Bravo-Córdoba, J. F. Fuentes-Pérez, J. Ruiz-Legazpi, A. García-Vega, and N. Ramos-González, "Pasos para peces en España: presente, pasado y perspectivas de futuro," in *II Symposium on Fish Migration-Sympass*, 2012.

[4] G. Rincón Sanz and J. Gortázar Rubial, "An Analysis of River Fragmentation in Spanish Basins - Wetlands International Europe," 2016. [Online]. Available: https://europe.wetlands.org/publications/river-fragmentation-analysis-spain/. [Accessed: 08-May-2020].

[5] CHD, "Inventory of river obstacles in the Spanish part of the Duero River basin. Information system 'Mírame IDEDuero,'" 2021. [Online]. Available: http://www.mirame.chduero.es/DMADuero_09/webPresas/presaGlobal.faces.

[6] C. Nilsson, C. A. Reidy, M. Dynesius, and C. Revenga, "Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems," *Science (80-.).*, vol. 308, no. 5720, pp. 405–408, 2005.

[7] J. P. Porcher and F. Travade, "Fishways: biological basis, limits and legal considerations," *Bull. Français la Pêche la Piscic.*, vol. 364, no. supplement, pp. 9–20, 2002.

[8] M. C. Lucas, E. Baras, T. J. Thom, A. Duncan, and O. Slavík, *Migration of freshwater fishes*. Oxford, UK: Wiley Online Library, 2001.

[9] IUCN, "The IUCN Red List of Threatened Species (www.iucnredlist.org).," 2018. .

[10] J. F. Fuentes-Pérez, A. García-Vega, F. J. Sanz-Ronda, and A. Martínez de Azagra-Paredes, "Villemonte's approach: validation of a general method for modeling uniform and non-uniform performance in stepped fishways," *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, vol. 418, p. 23, 2017.

[11] F. J. Sanz-Ronda *et al.*, "PASOS PARA PECES : escalas y otros dispositivos de paso," *Notas técnicas del CIREF*, vol. 7, no. September 2015, p. 17, 2013.

[12] M. Larinier, "Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels," *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, vol. 364, no. supplement, pp. 54–82, 2002.

[13] European Commission, "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy." 2000.

[14] C. M. Bunt, T. Castro-Santos, and A. Haro, "Reinforcement and Validation of the Analyses and Conclusions Related to Fishway Evaluation Data from Bunt et al.: 'Performance of Fish Passage Structures at Upstream Barriers to Migration,'" *River Res. Appl.*, vol. 32, no. 10, pp. 2125–2137, 2016.

[15] J. Valbuena-Castro *et al.*, "Coarse fishway assessment to prioritize retrofitting efforts: a case study in the Duero River basin," *Ecol. Eng.*, vol. 155, p. 105946, 2020.

[16] CHD, *Manual para la evaluación de la funcionalidad de pasos para peces de estanques sucesivos. Metodología AEPS (1.0).* Valladolid (Spain) (available at: www.gea-ecohidraulica.org/AEPSv1.pdf): Confederación Hidrográfica del Duero, 2016.

[17] J. F. Fuentes-Pérez, F. J. Sanz-Ronda, A. Martínez de Azagra-Paredes, and A. García-Vega, "Non-uniform hydraulic behavior of pool-weir fishways: A tool to optimize its design and performance," *Ecol. Eng.*, vol. 86, pp. 5–12, Jan. 2016.

[18] FAO/DVWK, *Fish Passes: Design, Dimensions, and Monitoring*. Rome, Italy: FAO, 2002.

[19] J. Ruiz-Legazpi, "Estudio de la capacidad de natación en peces ibéricos," 2018.

[20] I. Doadrio, *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Madrid, Spain: Ministerio de Medio Ambiente, 2002.

[21] A. García-Vega, F. J. Sanz-Ronda, and J. F. Fuentes-Pérez, "Seasonal and daily upstream movements of brown trout *Salmo trutta* in an Iberian regulated river," *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, vol. 418, no. 9, p. 9, 2017.

[22] M. Kottelat and J. Freyhof, *Handbook of European freshwater fishes*, vol. 2008, no. 3. Cornol (Switzerland) and Berlin (Germany): Publications Kottelat, 2007.

[23] M. Odeh, *Fish passage innovation for ecosystem and fishery restoration*. Bethesda, 1999.

[24] T. Castro-Santos, A. Cotel, and P. Webb, "Fishway Evaluations for Better Bioengineering : An Integrative Approach A Framework for Fishway," *Am. Fish. Soc. Symp.*, vol. 69, pp. 557–575, 2009.

[25] M. Larinier, "Location of fishways," *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, vol. 364, pp. 39–53, 2002.

[26] C. M. Bunt, C. Katopodis, and R. S. McKinley, "Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two Denil fishways," *North Am. J. …*, vol. 19, no. Hoff 1991, pp. 793–803, 1999.

[27] C. M. Bunt, T. Castro-Santos, and A. Haro, "Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration," *River Res. Appl.*, vol. 28, no. 4, pp. 457–478, 2012.

[28] K. Aarestrup, M. C. Lucas, and J. A. Hansen, “Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (Salmo trutta) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry,” *Ecol. Feshwater Fish*, vol. 12, no. SEPTEMBER, pp. 160–168, 2003.

[29] S. J. Cooke and S. G. Hinch, “Improving the reliability of fishway attraction and passage efficiency estimates to inform fishway engineering, science, and practice,” *Ecol. Eng.*, vol. 58, pp. 123–132, 2013.

[30] G. Armstrong, M. Apahamian, G. Fewings, P. Gough, N. Reader, and P. Varallo, *Environment Agency Fish Pass Manual*. Bristol: Environment Agency, 2004.

[31] T. Castro-Santos, F. J. Sanz-Ronda, and J. Ruiz-Legazpi, “Breaking the speed limit-comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*),” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 70, no. 1, pp. 280–293, 2013.

[32] BAW/BfG, *Guideline Upstream Fishways on General Federal Waterways*. 2015.

[33] F. J. Sanz-Ronda, J. Ruiz-legazpi, F. J. Bravo-córdoba, S. Makrakis, and T. Castro-Santos, “Sprinting performance of two Iberian fish: *Luciobarbus bocagei* and *Pseudochondrostoma duriense* in an open channel flume,” *Ecol. Eng.*, vol. 83, pp. 61–70, 2015.

[34] J. A. Fernández Yuste and C. Martínez Santa-María, *Manual de diseño y cálculo de rampas de flujo ascendente*. 2019.

[35] M. Odeh, J. Noreika, A. Haro, A. Maynard, T. Castro-Santos, and G. F. Cada, “Evaluation of the effects of turbulence on the behavior of migratory fish. Final Report 2002, Report to Bonneville Power Administration, Contract No. 00000022, Project No. 200005700,” Portland, Oregon, USA, 2002.

[36] A. T. Silva, C. Katopodis, J. M. Santos, M. T. Ferreira, and A. N. Pinheiro, “Cyprinid swimming behaviour in response to turbulent flow,” *Ecol. Eng.*, vol. 44, pp. 314–328, 2012.

[37] B. Towler, K. Mulligan, and A. Haro, “Derivation and application of the energy dissipation factor in the design of fishways,” *Ecol. Eng.*, vol. 83, pp. 208–217, 2015.

6. Notación y simbología

Abreviaturas:

AEPS	Siglas de Atracción, Entrada, Pasaje y Salida
CHD	Acrónimo de Confederación Hidrográfica del Duero

Variables Atracción:

$Q_{atracción}$	Caudal relativo de atracción (%)
D_A	Distancia relativa de la entrada al paramento del azud (%)
E_A	Emplazamiento de la entrada

Variables Entrada:

V_E	Velocidad en la entrada (m/s)
h_E	Profundidad en la entrada (m)
b_E	Distancia media entre bloques a la entrada (m)
O_E	Orientación de la entrada (grados sexagesimales)
T_E	Tipo de conexión río-paso

Variables Pasaje:

Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme

h_{Ps}	Profundidad de pasaje (m)
P_{Ps}	Proporción de paso - f(V_{flujo} y D_{nado}) (%)

Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño

$Ø_{Ps}$	Diámetro medio del bloque (m)
DT_{Ps}	Distancia transversal media entre bloques (m)
DL_{Ps}	Distancia longitudinal media entre bloques (m)
$V_{entre\ bloques,\ Ps}$	Velocidad media entre bloques (m/s)
$h_{entre\ bloques,\ Ps}$	Profundidad media entre bloques (m)
$V_{detrás\ bloques,\ Ps}$	Velocidad media detrás de bloques (m/s)
$h_{detrás\ bloques,\ Ps}$	Profundidad media detrás de bloques (m)

Tipo 3: Construcciones de rápido-remanso

V_{Ps}	Velocidad media de paso (m/s)
N_{Ps}	Potencia disipada por unidad de volumen (W/m^3)
t_{Ps}	Tirante medio o profundidad media en los estanques (m)
h_{Ps}	Profundidad de paso (m)
b_{Ps}	Anchura media de paso (m)
T_{Ps}	Tipo de conexión en el pasaje

Variables Salida:

V_S	Velocidad media en la salida (m/s)
h_s	Profundidad media en la salida (m)
b_S	Anchura de la salida (m)
T_s	Tipo de conexión en la salida

Otras variables:

D_{nado}	Distancia de nado (m)
g	Aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2)
Q_{paso}	Caudal que circula a través del paso piscícola (m^3/s)
$Q_{río}$	Caudal total circulante por el río (m^3/s)
$Q_{auxiliar}$	Caudal auxiliar de llamada peces (m^3/s)
V_{flujo}	Velocidad media del flujo (m/s)
ΔH	Desnivel de agua entre el río y el paso (o salto de agua) (m)
ρ	Densidad del agua (1000 kg/m^3)

Anexo 1: Estadillos de Campo

Estadillo de recogida de variables para la evaluación de pasos naturalizados

Tipo 1: Construcciones de rugosidad uniforme

Datos generales del aprovechamiento			
Provincia		Municipio	
Nombre del aprovechamiento		Tipo de aprovechamiento	
Código del aprovechamiento		Código del azud[1]	
Long. coronación del azud		Salto total de agua en la visita	
Coordenadas del paso			

Datos hidrológicos y biológicos			
Cuenca hidrográfica		Cauce	
Principales peces migradores			
Época de migración			
Caudal medio en migración		Caudal ecológ. en migración	
Caudal durante la visita		Hora y fecha de la visita	

Características generales del paso paso para peces					
Tipo					
Longitud		Anchura		Pendiente	

1) Atracción	
Caudal de atracción ($Q_{atracción}$)	
Distancia relativa al azud (D_A)	
- Distancia al azud:	
- Anchura del paso:	
Emplazamiento de la entrada (E_A)	

Anotaciones aforo

2) Entrada

Velocidad (V_E)	
Profundidad (h_E)	
Anchura de paso (b_E)	
Orientación (O_E)	
Tipo de vertido-conexión (T_E)	

Anotaciones

3) Pasaje

Profundidad media de pasaje (h_{Ps})	
Velocidad flujo (V_{flujo})	
Distancia de nado (D_{nado})	
Proporción de paso (P_{Ps})	

Anotaciones

4) Salida

Velocidad (V_s)	
Profundidad (h_s)	
Tipo de vertido-conexión (T_S)	
Anchura (b_S)	

Anotaciones

Parámetros auxiliares de la evaluación

Zonas de descanso y refugio		Medidas caudales bajos	
Poza de ascenso		Caudal de atracción auxiliar	
Sustrato		Mantenimiento	
Naturalización			

Valoración global

Estadillo de recogida de variables para la evaluación de pasos naturalizados

Tipo 2: Construcciones de bloques de gran tamaño

Datos generales del aprovechamiento			
Provincia		Municipio	
Nombre del aprovechamiento		Tipo de aprovechamiento	
Código del aprovechamiento		Código del azud[1]	
Long. coronación del azud		Salto total de agua en la visita	
Coordenadas del paso			

Datos hidrológicos y biológicos			
Cuenca hidrográfica		Cauce	
Principales peces migradores			
Época de migración			
Caudal medio en migración		Caudal ecológ. en migración	
Caudal durante la visita		Hora y fecha de la visita	

Características generales del paso paso para peces					
Tipo					
Longitud		Anchura		Pendiente	

1) Atracción	
Caudal de atracción ($Q_{atracción}$)	
Distancia relativa al azud (D_A)	
- Distancia al azud:	
- Anchura del paso:	
Emplazamiento de la entrada (E_A)	

Anotaciones aforo

2) Entrada

Velocidad (V_E)	
Profundidad (h_E)	
Anchura de paso (b_E)	
Orientación (O_E)	
Tipo de vertido-conexión (T_E)	

Anotaciones

3) Pasaje

Diámetro medio de bloques ($Ø_{Ps}$)	
Distancia trans. entre bloques (DT_{Ps})	
Distancia long. entre bloques (DL_{Ps})	
Velocidad media entre bloques ($V_{e.b.,Ps}$)	
Prof. media entre bloques ($h_{e.b.,Ps}$)	
Velocidad med. detrás bloques ($V_{d.b.,Ps}$)	
Prof. media detrás bloques ($h_{d.b.,Ps}$)	

Anotaciones

4) Salida

Velocidad (V_s)	
Profundidad (h_s)	
Tipo de vertido-conexión (T_S)	
Anchura (b_S)	

Anotaciones

Parámetros auxiliares de la evaluación

Zonas de descanso y refugio		Medidas caudales bajos	
Poza de ascenso		Caudal de atracción auxiliar	
Sustrato		Mantenimiento	
Naturalización			

Valoración global

Estadillo de recogida de variables para la evaluación de pasos naturalizados

Tipo 3: Construcciones de tipo rápido-remanso

Datos generales del aprovechamiento			
Provincia		Municipio	
Nombre del aprovechamiento		Tipo de aprovechamiento	
Código del aprovechamiento		Código del azud[1]	
Long. coronación del azud		Salto total de agua en la visita	
Coordenadas del paso			

Datos hidrológicos y biológicos			
Cuenca hidrográfica		Cauce	
Principales peces migradores			
Época de migración			
Caudal medio en migración		Caudal ecológ. en migración	
Caudal durante la visita		Hora y fecha de la visita	

Características generales del paso paso para peces					
Tipo					
Longitud		Anchura		Pendiente	

1) Atracción	
Caudal de atracción ($Q_{atracción}$)	
Distancia relativa al azud (D_A)	
- Distancia al azud:	
- Anchura del paso:	
Emplazamiento de la entrada (E_A)	

Anotaciones aforo

2) Entrada

Velocidad (V_E)	
Profundidad (h_E)	
Anchura de paso (b_E)	
Orientación (O_E)	
Tipo de vertido-conexión (T_E)	

Anotaciones

3) Pasaje

Velocidad media de paso (V_{Ps})	
Potencia disipada (N_{Ps})	
Tirante medio del estanque (t_{Ps})	
Profundidad de paso (h_{Ps})	
Anchura media de paso (b_{Ps})	
Tipo de conexión (T_{Ps})	

Anotaciones

4) Salida

Velocidad (V_s)	
Profundidad (h_s)	
Tipo de vertido-conexión (T_S)	
Anchura (b_S)	

Anotaciones

Parámetros auxiliares de la evaluación

Zonas de descanso y refugio		Medidas caudales bajos	
Poza de ascenso		Caudal de atracción auxiliar	
Sustrato		Mantenimiento	
Naturalización			

Valoración global

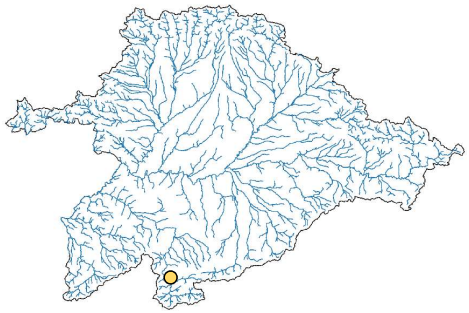
Anexo 2: Ejemplos de Evaluación

Evaluación AEPS del paso para peces naturalizado asociado al azud “Presa del Ruso” 1005233

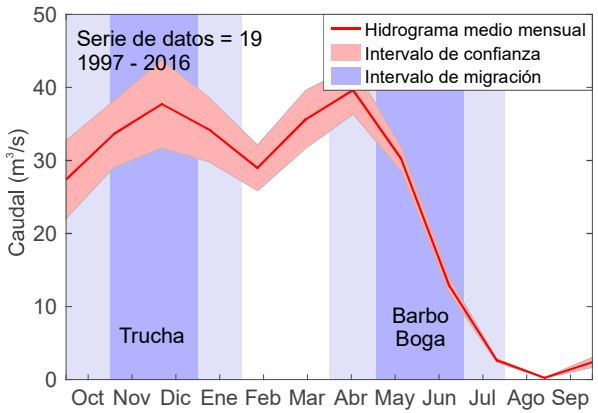
Aceptable

a) Situación

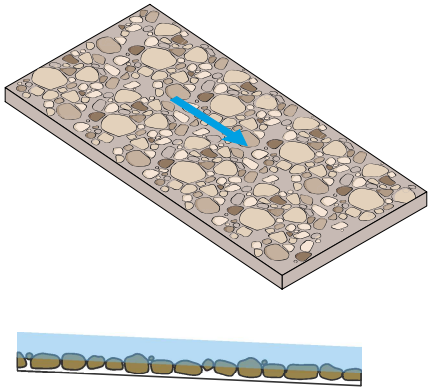
X: 286 km; Y: 4484 km (ETRS89)



b) Hidrograma medio mensual[2]



c) Tipo: Río artificial de rugosidad uniforme



Datos generales del aprovechamiento

Provincia	Salamanca	**Municipio**	Puente del Congosto
Nombre del aprovechamiento	Presa del Ruso	**Tipo de aprovechamiento**	Industrial/Abastecimiento
Código del aprovechamiento[1]	-	**Código del azud[1]**	1005233
Long. coronación del azud[1]	207 m	**Salto total de agua en la visita**	1,28 m
Coordenadas del paso	X: 286.835 m; Y: 4.484.550 m (ETRS 89; HUSO 30)		

Datos hidrológicos y biológicos

Cuenca hidrográfica	Duero	**Cauce**	Río Tormes
Principales peces migradores[1]	*Luciobarbus bocagei** , *Pseudochondrostoma duriense** y *Salmo trutta***		
Época de migración	de abril a julio* y de octubre a enero**		
Caudal medio en migración[2]	27,62* y 32,91** m^3/s	**Caudal ecológ. en migración**	-
Caudal durante la visita[3]	15,36 m^3/s	**Hora y fecha de la visita**	12:10h, 13/03/2020

[1] http://www.mirame.chduero.es [2] https://sig.mapama.gob.es [3] www.saih.chduero.es

Características generales del paso paso para peces

Tipo	Río artificial de rugosidad uniforme.						
Longitud	43,00 m	**Anchura**	7,00 m	**Pendiente**	2,71 %	**Caudal**	1,23 m^3/s

1) Atracción — 5,9

Caudal relativo atracción ($Q_{atracción}$)	8,00 %
Distancia relativa al azud (D_A)	6,14
Emplazamiento de la entrada (E_A)	Incorrecto

2) Entrada — 10,0

Velocidad (V_E)	1,92 m/s
Profundidad (h_E)	0,30 m
Anchura de paso (b_E)	3,60 m
Orientación (O_E)	Correcta
Tipo de vertido-conexión (T_E)	Continua

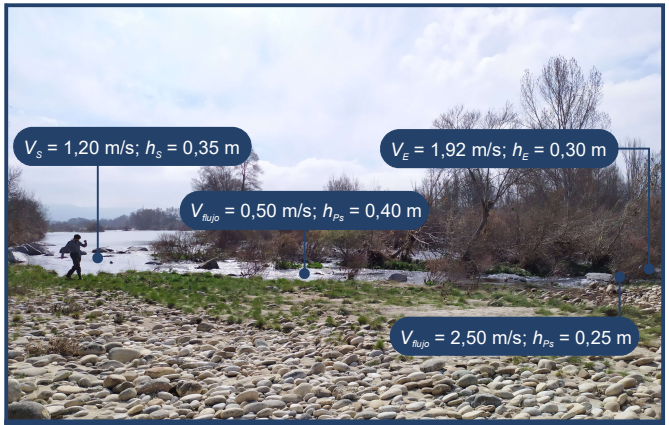
3) Pasaje — 4,8

Profundidad media de pasaje (h_{Ps})	0,25 m
Velocidad flujo (V_{flujo})	2,50 m/s
Distancia de nado (D_{nado})	4,50 m
Proporción de paso (P_{Ps})	16 %

4) Salida — 10,0

Velocidad (V_s)	1,20 m/s
Profundidad (h_s)	0,35 m
Tipo de vertido-conexión (T_s)	Continua
Anchura (b_s)	1,20 m

Valoración global — Aceptable - 7,3

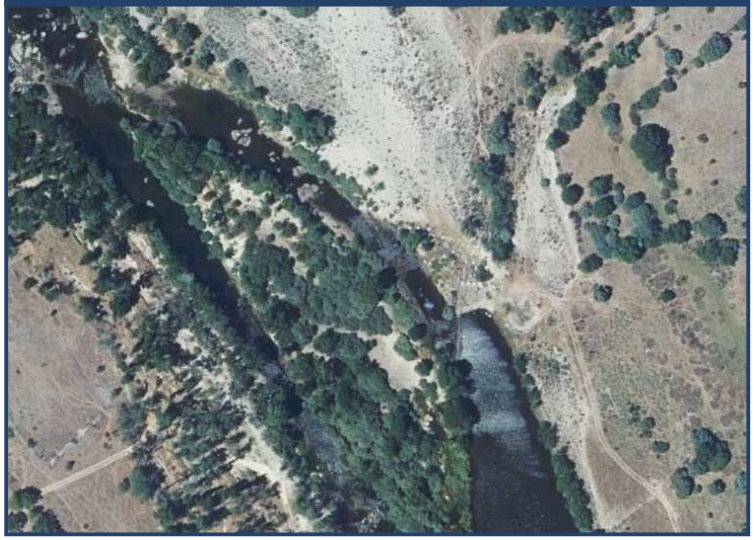


d) Imagen del paso para peces

Evaluación AEPS del paso para peces naturalizado asociado al azud “Presa del Ruso” 1005233

Aceptable

e) Ortofoto



Parámetros auxiliares de la evaluación 3/7

Zonas de descanso y refugio	Sí	**Medidas caudales bajos**	No
Poza de ascenso	No	**Caudal de atracción auxiliar**	No
Sustrato	Sí	**Mantenimiento**	No
Naturalización	Sí		

f) Imágenes adicionales del paso



Salida



Entrada y zona crítica de pasaje



Pasaje

Evaluación global y otras observaciones

Atracción (A) → $(Q_{atracción}{}^{2} \cdot D_A \cdot E_A)^{1/4} = (10 \cdot 3{,}5^2)^{1/4}$ → **5,9 - Aceptable** [Tabla 3 del manual]

Entrada (E) → $(V_E \cdot h_E \cdot b_E \cdot O_E \cdot T_E)^{1/5} = (10^5)^{1/5}$ → **10,0 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Pasaje (P) → $((h_{Ps} \cdot P_{Ps})^{1/2} = (6{,}5 \cdot 3{,}5)^{1/2}$ → **4,8 - Incorrecto** [Tabla 3 del manual]

Salida (S) → $(V_S \cdot h_S \cdot b_S \cdot T_S)^{1/4} = (10^4)^{1/4}$ → **10,0 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Valoración global → $(A \cdot E \cdot P \cdot S)^{1/4}$ → **7,3 - Aceptable** [Tabla 3 del manual]

Parámetros auxiliares → 3/7 → No afecta a la valoración global

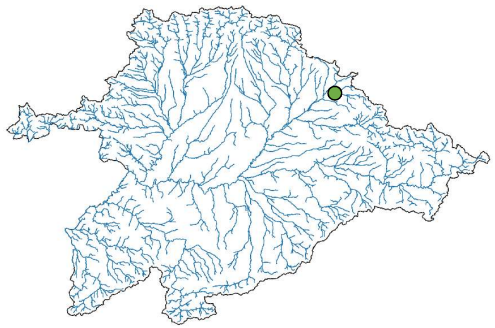
No existen otras observaciones.

Evaluación AEPS del paso para peces naturalizado asociado al azud de “Los Trampones” 1005945

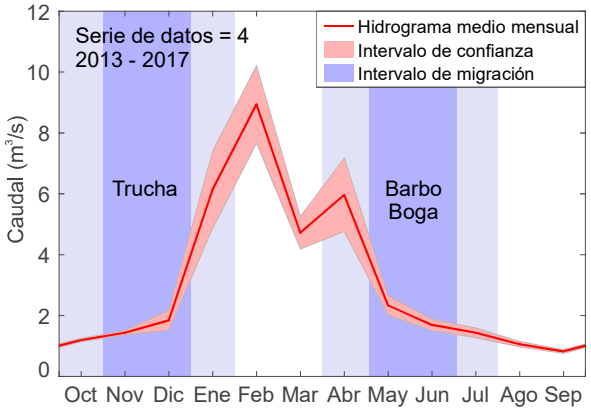
Correcta

a) Situación

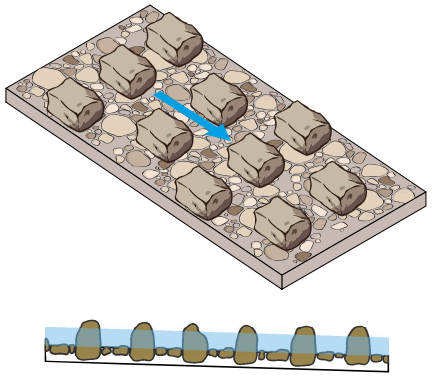
X: 443 km; Y: 4.688 km (ETRS89)



b) Hidrograma medio mensual[2]



c) Tipo: Rampa parcial de bloques



Datos generales del aprovechamiento

Provincia	Burgos	**Municipio**	Burgos
Nombre del aprovechamiento	Los Trampones	**Tipo de aprovechamiento**	Sin uso
Código del aprovechamiento[1]	-	**Código del azud[1]**	1005945
Long. coronación del azud[1]	48 m	**Salto total de agua en la visita**	1,16 m
Coordenadas del paso	X: 443.564 m; Y: 4.688.075 m (ETRS 89; HUSO 30)		

Datos hidrológicos y biológicos

Cuenca hidrográfica	Duero	**Cauce**	Río Arlanzón
Principales peces migradores[1]	*Luciobarbus bocagei** , *Pseudochondrostoma duriense** y *Salmo trutta***		
Época de migración	de abril a julio* y de octubre a enero**		
Caudal medio en migración[2]	3,33* y 1,49** m^3/s	**Caudal ecológ. en migración**	-
Caudal durante la visita[3]	5,50 m^3/s	**Hora y fecha de la visita**	10:30h, 29/11/2019

[1] http://www.mirame.chduero.es [2] https://sig.mapama.gob.es [3] www.saih.chduero.es

Características generales del paso paso para peces

Tipo	Rampa parcial de bloques.						
Longitud	19,00 m	**Anchura**	5,30 m	**Pendiente**	6,40 %	**Caudal**	2,09 m^3/s

1) Atracción — 9,0

Caudal relativo atracción ($Q_{atracción}$)	37,92%
Distancia relativa al azud (D_A)	0,00
Emplazamiento de la entrada (E_A)	Aceptable

2) Entrada — 10,0

Velocidad (V_E)	1,03 m/s
Profundidad (h_E)	0,55 m
Anchura de paso (b_E)	0,53 m
Orientación (O_E)	Correcta
Tipo de vertido-conexión (T_E)	Continua

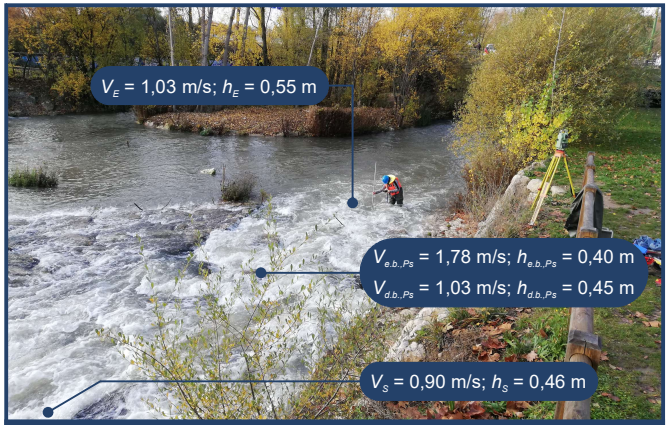
3) Pasaje — 9,4

Diámetro medio de bloques ($Ø_{Ps}$)	1,00 m
Distancia trans. entre bloques (DT_{Ps})	0,53 m
Distancia long. entre bloques (DL_{Ps})	0,35 m
Velocidad media entre bloques ($V_{e.b.,Ps}$)	1,78 m/s
Prof. media entre bloques ($h_{e.b.,Ps}$)	0,40 m
Velocidad med. detrás bloques ($V_{d.b.,Ps}$)	1,03 m/s
Prof. media detrás bloques ($h_{d.b.,Ps}$)	0,45 m

4) Salida — 10,0

Velocidad (V_s)	0,90 m/s
Profundidad (h_s)	0,46 m
Tipo de vertido-conexión (T_s)	Continua
Anchura (b_s)	0,45 m

Valoración global — Correcta - 9,6



d) Imagen del paso para peces

Paso para peces tipo naturalizado asociado al azud de “Los Trampones” 1005945

Correcta

e) Ortofoto



Parámetros auxiliares de la evaluación 3/7

Zonas de descanso y refugio	No	Medidas caudales bajos	Sí
Poza de ascenso	Sí	Caudal de atracción auxiliar	No
Sustrato	No	Mantenimiento	Sí
Naturalización	No		

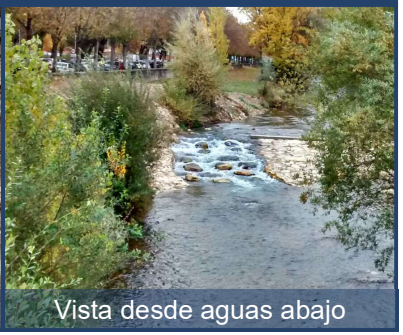
f) Imágenes adicionales del paso



Aguas arriba durante evaluación



Situación durante caudales menores



Vista desde aguas abajo

Evaluación global y otras observaciones

Atracción (A) → $(Q_{atracción}{}^{2} \cdot D_A \cdot E_A)^{1/4} = (10^3 \cdot 6{,}5)^{1/4}$ → **8,98 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Entrada (E) → $(V_E \cdot h_E \cdot b_E \cdot O_E \cdot T_E)^{1/5} = (10^5)^{1/5}$ → **10 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Pasaje (P) → $(Ø_{Ps} \cdot DT_{Ps} \cdot DL_{Ps} \cdot V_{e.b.,\,Ps} \cdot h_{e.b.,\,Ps} \cdot V_{d.b.,\,Ps} \cdot h_{d.b.,\,Ps})^{1/7} = (10^6 \cdot 6{,}5)^{1/7}$ → **9,4 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Salida (S) → $(V_S \cdot h_S \cdot b_S \cdot T_S)^{1/4} = (10^4)^{1/4}$ → **10 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Valoración global → $(A \cdot E \cdot P \cdot S)^{1/4}$ → **9,6 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Parámetros auxiliares → 3/7 → No afecta a la valoración global

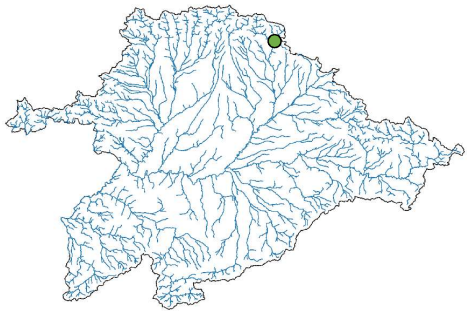
No existen otras observaciones.

Evaluación AEPS del paso para peces naturalizado asociado al azud "Piscifactoria de Campoo" 1006045

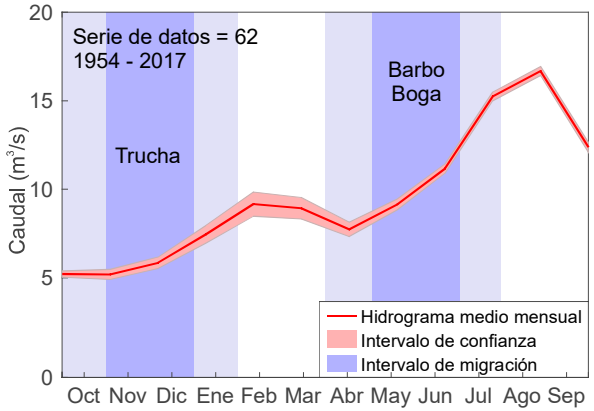
Correcta

a) Situación

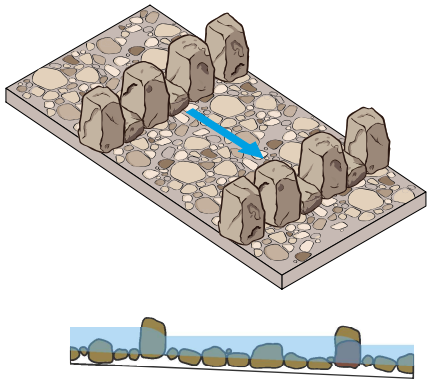
X: 397 km; Y: 4736 km (ETRS89)



b) Hidrograma medio mensual[2]



c) Tipo: Río artificial tipo rápido-remanso



Datos generales del aprovechamiento

Provincia	Palencia	**Municipio**	Aguilar de Campoo
Nombre del aprovechamiento	Pisc. de Campoo	**Tipo de aprovechamiento**	Agricultura
Código del aprovechamiento[1]	-	**Código del azud[1]**	1006045
Long. coronación del azud[1]	38 m	**Salto total de agua en la visita**	0,66 m
Coordenadas del paso	X: 397.410 m; Y: 4.736.230 m (ETRS 89; HUSO 30)		

Datos hidrológicos y biológicos

Cuenca hidrográfica	Duero	**Cauce**	Río Pisuerga
Principales peces migradores[1]	*Luciobarbus bocagei** , *Pseudochondrostoma duriense** y *Salmo trutta***		
Época de migración	de abril a julio* y de octubre a enero**		
Caudal medio en migración[2]	9,67* y 5,86** m^3/s	**Caudal ecológ. en migración**	-
Caudal durante la visita[3]	3,06 m^3/s	**Hora y fecha de la visita**	11:00h, 16/12/2019

[1] http://www.mirame.chduero.es [2] https://sig.mapama.gob.es [3] www.saih.chduero.es

Características generales del paso paso para peces

Tipo	Río artificial tipo rápido-remanso.						
Longitud	31,50 m	**Anchura**	3,00 m	**Pendiente**	2,10 %	**Caudal**	0,27 m^3/s

1) Atracción — 10,0

Caudal relativo atracción ($Q_{atracción}$)	8,82%
Distancia relativa al azud (D_A)	0,50
Emplazamiento de la entrada (E_A)	Correcta

2) Entrada — 8,4

Velocidad (V_E)	0,52 m/s
Profundidad (h_E)	0,50 m
Anchura de paso (b_E)	0,20 m
Orientación (O_E)	Correcta
Tipo de vertido-conexión (T_E)	Continua

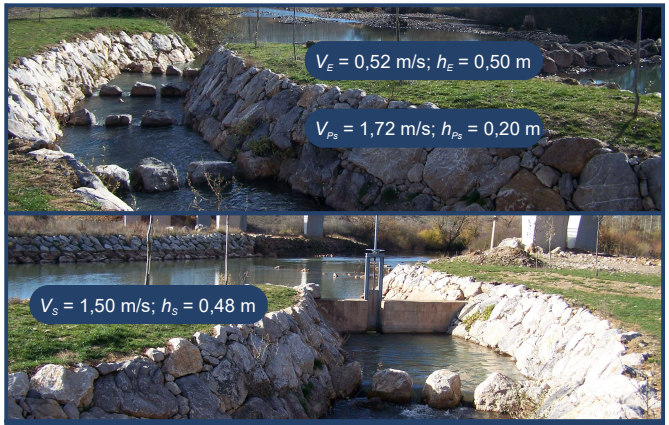
3) Pasaje — 7,5

Velocidad media de paso (V_{Ps})	1,72 m
Potencia disipada (N_{Ps})	153 W/m^3
Tirante medio del estanque (t_{Ps})	0,30 m
Profundidad de paso (h_{Ps})	0,20 m
Anchura media de paso (b_{Ps})	0,20 m
Tipo de conexión (T_{Ps})	Continua

4) Salida — 10,0

Velocidad (V_s)	1,50 m/s
Profundidad (h_s)	0,48 m
Tipo de vertido-conexión (T_s)	Continua
Anchura (b_s)	0,30 m

Valoración global — Correcta - 8,9

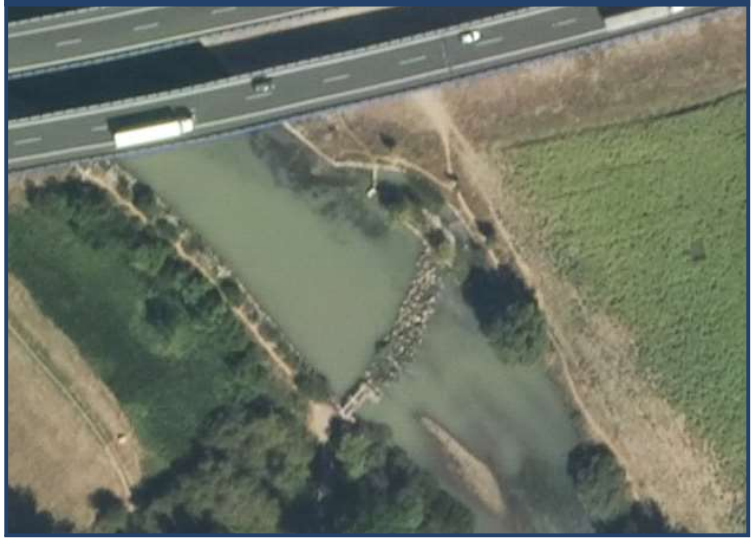


d) Imagen del paso para peces

Evaluación AEPS del paso para peces naturalizado asociado al azud "Piscifactoria de Campoo" 1006045

Correcta

e) Ortofoto



Parámetros auxiliares de la evaluación 4/7

Zonas de descanso y refugio	Sí	Medidas caudales bajos	No
Poza de ascenso	No	Caudal de atracción auxiliar	No
Sustrato	Sí	Mantenimiento	Sí
Naturalización	Sí		

f) Imágenes adicionales del paso



Salida del paso



Pasaje



Entrada del paso

Evaluación global y otras observaciones

Atracción (A) → $(Q_{atracción}{}^{2} \cdot D_A \cdot E_A)^{1/4} = (10^4)^{1/4}$ → **10 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Entrada (E) → $(V_E \cdot h_E \cdot b_E \cdot O_E \cdot T_E)^{1/5} = (10^3 \cdot 6{,}5^2)^{1/5}$ → **8,4 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Pasaje (P) → $(V_{Ps} \cdot N_{Ps} \cdot t_{Ps} \cdot h_{Ps} \cdot b_{Ps} \cdot T_{Ps})^{1/6} = (10^2 \cdot 6{,}5^4)^{1/6}$ → **7,5 - Aceptable** [Tabla 3 del manual]

Salida (S) → $(V_S \cdot h_S \cdot b_S \cdot T_S)^{1/4} = (10^4)^{1/4}$ → **10 - Correcta** [Tabla 3 del manual]

Valoración global → $(A \cdot E \cdot P \cdot S)^{1/4}$ → **8,9 -** Correcta [Tabla 3 del manual]

Parámetros auxiliares → 4/7 → Afecta a la valoración global (+ 1) → **9,9 - Correcta**

En un futuro la vegetación del paso tendrá que ser controlada para que no afecte significativamente al pasaje.