

Manual para la evaluación del paso de peces en estaciones de aforo del tipo V-flat.

Aplicación en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero

Marzo 2022



Índice

1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Problemas ambientales de las estaciones de aforo	6
1.3. Objetivos	8
2. Metodología de evaluación	9
2.1. Caracterización hidráulica	9
2.1.1. Ecuación de gasto	9
2.1.2. Simulación hidráulica	10
2.1.3. Mediciones en campo	12
2.2. Caracterización biológica. Capacidad de natación de los peces	13
2.3. Modelo biocinético. Análisis de permeabilidad (A)	15
2.4. Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)	18
2.5. Descalce (G)	19
2.6. Agregación de resultados	20
3. Soluciones	21
4. Bibliografía	27
5. Ejemplo de aplicación en la estación de aforo de Palencia (río Carrión)	31
5.1. Caso de estudio y caracterización hidráulica	31
5.2. Caracterización biológica	35
5.3. Modelo biocinético (A)	36
5.4. Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)	38
5.5. Descalce (G)	39
5.6. Agregación de la valoración	40
5.7. Ficha	41
5.8. Resumen de datos hidrológicos	43
6. Fichas resumen de aplicación en estaciones de aforo en el ámbito de la CHD	44
6.1. Río Carrión en Guardo (Palencia)	45
6.2. Río Carrión en Villoldo (Palencia)	47
6.3. Río Carrión en Grijota (Palencia)	49
6.4. Río Pisuegra en Cordovilla la Real (Palencia)	51

6.5. Río Arlanzón en Pineda de la Sierra (Burgos).....	53
6.6. Río Arlanza en Salas de los Infantes (Burgos)	55
6.7. Río Arlanza en Covarrubias (Burgos).....	57
6.8. Río Duero en Molinos del Duero (Soria)	59
6.9. Río Cega en Aguilafuente (Segovia)	61
6.10. Río Cega en Megeces (Valladolid)	63
6.11. Río Adaja en Valdestillas (Valladolid)	65
6.12. Río Luna en Barrios de Luna (León).....	67
6.13. Río Duerna en Velilla de Valduerna (León)	69
6.14. Río Porma en Camposillo (Puebla de Lillo, León).....	71
6.15. Río Torío en Getino (León)	73
6.16. Río Orza en Vegacerneja (León)	75

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Las estaciones de aforo son estructuras hidráulicas que permiten conocer el caudal circulante por un río o canal, relacionando éste con un nivel de agua. Dicha relación puede conseguirse directamente, correlacionando aforos puntuales con cotas de agua; o indirectamente, a través de estructuras hidráulicas que provocan secciones de control (diferentes dispositivos construidos en el cauce que provocan un vertido crítico mediante vertederos o estrangulamiento del flujo –i.e. canal Parshall, compuertas de fondo, etc.–), con una relación caudal-nivel de agua estudiada teóricamente y calibrada en canales de experimentación. Dentro del grupo de vertederos, encontramos las estaciones de aforo del tipo V-flat, que consisten en una pequeña presa de sección triangular (pendiente aguas arriba de 1:2 -vertical:horizontal- y aguas abajo 1:5) con un vertedero en forma de “V” abierta o tendida, de ahí la nomenclatura inglesa de V-flat (pendientes laterales del vertedero 1:10 o 1:20) (Norma ISO 4377:2012). Su principal ventaja radica en que permite la medición precisa de una amplia gama de niveles y caudales de agua. Para caudales bajos, una forma de V mantiene una profundidad fácilmente detectable aguas arriba por el sistema de registro del nivel del agua. En el caso de caudales altos, la V proporciona una gran apertura, que junto con la aceleración del agua que se produce en su paramento de aguas abajo, limita el efecto de remanso agua aguas arriba (Bos, 1989). Esta capacidad para medir una amplia gama de caudales es la razón por la que se han utilizado en España desde la década de 1990 (Ferrer-Castillo, 1996), generalmente en el rango módulo medio anual de 1 a 25 m³/s. Por ejemplo, en la vertiente española de la cuenca del río Duero (78.952 km²) existen 167 estaciones de aforo, 40 de las cuales cuentan con vertederos de aforo y 28 de ellos son del tipo V-Flat (Sanz-Ronda et al., 2021).



Figura 1. Estación de aforo V-Flat con descalce en el río Carrión en Villoldo, Palencia.

Las principales variables geométricas e hidráulicas que las caracterizan se muestran en la Figura 2:

Variables geométricas:

- Anchura (B).
- Altura del vértice del vertedero (p).
- Altura alas del vertedero (h').
- Pendiente de la cresta o pendiente transversal (Pte. V).
- Longitud (L).
- Longitud inicio losa-vértice (L_1).
- Longitud vértice-fin losa (L_2).

Variables hidráulicas:

- Distancia de nado (D)
- Carga de vertido en el vértice (h_1).
- Profundidad paramento (t_{pm}).
- Profundidad aguas arriba (t_1).
- Profundidad aguas abajo (t_2).
- Profundidad en el cauce, aguas abajo losa (t_3).
- Diferencia entre láminas de agua (ΔH_{12} y ΔH_{23}).
- Diferencia carga-lámina resalto (ΔH_{12}^+).
- Diferencia vértice-lámina (ΔH_{2p}).
- Velocidad del flujo sobre el paramento (U_F).

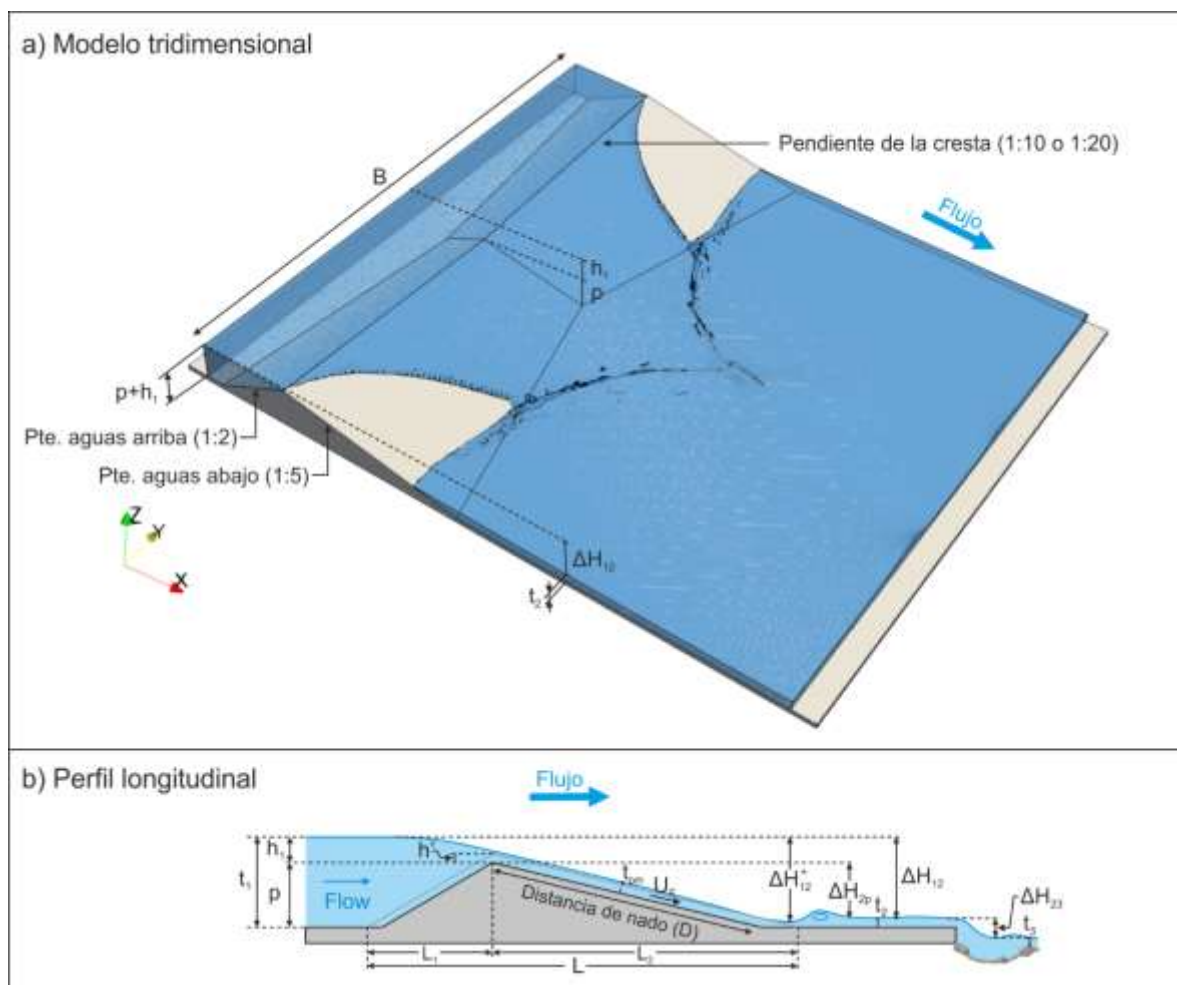


Figura 2. Esquemas generales con principales variables geométricas e hidráulicas que caracterizan a una estación de aforo V-Flat.

Sin embargo, estas estructuras presentan problemas ambientales serios, como la dificultad de su remonte por parte de la fauna piscícola autóctona. Muchos de los peces ibéricos realizan migraciones reproductoras o de otra índole (búsqueda de alimento, de refugio, de territorios propios, etc.) a lo largo de los ríos. Cuando se encuentran con un obstáculo en el cauce que no pueden superar, las poblaciones ven mermada su potencialidad biológica (al no poderse reproducir en las zonas adecuadas, no existir intercambio genético, no colonizar nuevos territorios, etc.).

La Directiva 2000/60/CE, más conocida por Directiva Marco del Agua -DMA-, se ha hecho eco de este grave problema, disponiendo la “continuidad del río” -definida en base a la “no perturbación de la migración de los organismos acuáticos”- como indicador de calidad de las aguas superficiales (Anexo V.1.1.1 de la DMA).

Los primeros análisis sobre el problema ambiental que ocasionaban este tipo de estaciones de aforo en la migración de los peces se remontan a White & Hartley (1970) y Hartley (1974). Ha de transcurrir una década para que las estaciones de aforo vuelvan a centrar el interés de los investigadores. Así, Beach (1984) recoge su importancia como obstáculo para el movimiento de los peces. Posteriormente, Lucas & Frear (1997) realizan el primer estudio poblacional de los efectos de las estaciones de aforo sobre la comunidad piscícola, centrándose en ciprínidos. Hoy en día, encontramos diferentes experiencias al respecto, la mayoría relativas a autores británicos: Lucas *et al.* (2000, 2005); Rhodes *et al.* (2001, 2004, 2006); Montali *et al.*, 2020; e Ibéricos (Sanz-Ronda *et al.*, 2021). Además, en los últimos años se ha estudiado y tomado medidas sobre el impacto de estos aforadores en la Península en cuencas tales como las internas del País Vasco (Azpiroz & Gaspar, 2009), la del Tajo (Hinojal *et al.*, 2011), cuencas internas de Cataluña (Juan José Villegas, *com pers.* 2019), y las cuencas internas de Navarra (Javier Álvarez, *com. pers.* 2007).



Figura 3. Estación de aforo V-Flat en el río Cardaño (Palencia), donde son patentes varios de los problemas de este sistema (descalce, profundidad insuficiente en el paramento, etc.) (actualmente modificada).

1.2. Problemas ambientales de las estaciones de aforo

Las estaciones de aforo son construidas con el propósito de medir de manera precisa los caudales circulantes por los ríos (Dibley *et al.*, 2012). Sin embargo, causan un impacto ambiental obstaculizando el movimiento de los peces, por lo que resulta necesario estudiar en detalle cuáles y en qué condiciones son un problema para los peces y sus desplazamientos (Piper & Wright, 2017). Los problemas habituales relacionados con estas obras son (Beach, 1984; White & Woods-Ballard, 2003; Zaidman *et al.*, 2005; Sanz-Ronda *et al.*, 2010):

- Velocidades del flujo en el paramento de aguas abajo demasiado elevadas ($>3,5$ m/s) que sólo pueden ser superadas por unos pocos individuos.
- Profundidades sobre el paramento de aguas abajo insuficientes con caudales medios y bajos que imposibilitan o, al menos, dificultan la natación de los peces ($< 0,1$ m).
- Turbulencia excesiva en la base de la estación, que puede desorientar al pez. En ocasiones, deriva en flujos de recirculación a ambos lados del resalto hidráulico que se forma en la base del vertedero.
- Descalce de la estructura hacia aguas abajo debido a fenómenos erosivos; lo que genera un desnivel que puede limitar el acceso de algunos ejemplares.

- Cuando existe descalce aguas abajo, se reduce la profundidad en la losa inferior y se incrementa la velocidad.

En la Figura 4 se muestran estaciones de aforo con algunos de los problemas citados.



Figura 4. Diferentes ejemplos de la problemática existente. Descalce de la estructura (a, b, d, e y f). Escasa profundidad en el paramento (c y f). Alta velocidad del flujo en el paramento (b y f). Turbulencia excesiva (e).

En determinadas circunstancias (caudales altos, nivel de aguas abajo elevado, aptitud natatoria del pez, etc.), algunas estaciones de aforo pueden ser permeables. No obstante, interesa que los peces que lo consigan no sufran retrasos en sus desplazamientos, heridas ni otro tipo de daños que deben ser evitados (estrés, agotamiento) (Zaidman *et al.*, 2005). Por ello, es aconsejable que, siempre que una estación de aforo presente algún problema que pueda perjudicar a los desplazamientos de algún pez, se realice un estudio para conocerlo detalladamente y desarrollar una solución con el fin de mitigarlo o solventarlo.

1.3. Objetivos

Los objetivos perseguidos con el presente trabajo son:

1. Analizar la problemática que plantean las estaciones de aforo del tipo V-Flat en relación con el movimiento de los peces.
2. Realizar una propuesta general de soluciones para los problemas detectados.
3. Desarrollar una metodología de evaluación sencilla para la evaluación de estaciones de aforo del tipo V-Flat.
4. Aplicar dicha metodología en la evaluación de una serie de estaciones de aforo V-Flat en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero.

2. Metodología de evaluación

Para poder evaluar la funcionalidad de una estación de aforos será preciso caracterizarla hidráulicamente, así como caracterizar las condiciones de nado de las especies presentes en el río. La caracterización hidráulica podrá realizarse mediante simulación (sección 2.1.2), partiendo de datos topográficos, o mediante medidas *in situ* de velocidad y profundidad durante caudales de migración de las especies objeto (sección 2.1.3). Con esta información podremos valorar la capacidad de ascenso de los peces mediante modelos biocinéticos (sección 2.3), comprobar el valor de parámetros hidráulicos limitantes (sección 2.4) y finalmente comprobar otros parámetros relevantes como la presencia de descalce (sección 2.5). Cualquier valor fuera de los límites de natación y ascenso del pez comprometerá la franqueabilidad de la estructura por una proporción adecuada de la población de peces presente. Está premisa se tendrá en cuenta a la hora de agregar los resultados (sección 2.6).

2.1. Caracterización hidráulica

2.1.1. Ecuación de gasto

En la Norma ISO 4377:2012 *Hydrometric determination-Flow measurement in open channels using structures-Flat-V weirs* se recoge toda la información relativa a la caracterización de las estaciones de aforo V-Flat y a la metodología para la medición del caudal a través de las mismas.

La relación entre la carga de vertido (h_1) y el caudal (Q) en las estaciones depende del nivel de agua de aguas abajo (t_2). De esta manera, se distinguen dos tipos de flujo: adherido o modular, y sumergido o no modular. En el primer caso, el caudal no está influenciado por la cota de la lámina de agua inferior, formándose un resalto hidráulico muy evidente (del tipo ondulatorio o débil, $1 < Fr < 2,5$); mientras que, en el segundo, sí existe dicha influencia, ahogándose normalmente el resalto, de manera que existe sumergencia cuando se cumple que $h_2/h_1 > 0,7$ ($h_2=t_2-p$ cuando $t_2 \geq p$; si $t_2 < p$, $h_2=0$). Por lo tanto, la curva de gasto de la estación se corresponde aproximadamente con la ecuación Ackers (1978):

$$Q = 0,8 \cdot C_{De} \cdot C_V \cdot C_{dr} \cdot \sqrt{g} \cdot m \cdot Z_H \cdot h_1^{5/2}$$

donde Q es el caudal circulante (m^3/s); C_{De} es el coeficiente de descarga efectivo ($C_{De} = 0,633$ en las estaciones V-Flat con un perfil aguas abajo de 1:2 a 1:5), C_v es el coeficiente de la velocidad de

aproximación ($C_v \sim 1$); C_{dr} es el factor de reducción por flujo sumergido [$C_{dr}=1$ para flujo modular $h_2/h_1 < 0,7$ y < 1 para flujo sumergido $h_2/h_1 > 0,7$ -véase la norma ISO 4377:2012]; g es la aceleración de la gravedad (m/s^2); m es la pendiente transversal de la cresta (V/H en m/m : $1/m$); Z_H es el factor de forma ($Z_H=1$ cuando $h_1 < h'$, y $Z_H=[1-(1-h'/h_1)^{5/2}]$ cuando $h_1 > h'$); y h_1 es el nivel de agua efectivo aguas arriba o carga de vertido (m). De manera práctica, la ecuación anterior puede simplificarse en la siguiente expresión, para $m=20$ y régimen modular:

$$Q = 31,7 \cdot Z_H \cdot h_1^{2,5}$$

2.1.2. Simulación hidráulica

El análisis hidráulico de este tipo de estaciones de aforo consiste en estudiar las condiciones de velocidad y profundidad ante diferentes escenarios de caudal (Q o h_1) y profundidad aguas abajo (t_2). Para ello, se puede implementar un modelo de simulación hidráulica 3D. Existen varias alternativas para lograrlo, desde herramientas comerciales como Ansys Fluent o Flow-3D a herramientas libres, de código abierto ampliamente testeadas. Con objeto de fomentar la aplicabilidad, a continuación, se define el proceso metodológico para llevar a cabo simulaciones con una herramienta libre y gratuita: OpenFOAM (versión 18.12).

OpenFOAM es una caja de herramientas de C++ que utiliza un enfoque tensorial y el método de volúmenes finitos para la resolución de problemas de mecánica de fluidos (Weller et al., 1998).

La resolución del flujo transitorio de dos fluidos separados por una interfaz afilada (agua y aire) se puede lograr con el solver interFoam (Ubbink, 1997), que es una implementación del método VOF (Volumen of Fluid) clásico (Hirt and Nichols, 1981) y utiliza el algoritmo PIMPLE (Higuera et al., 2013) para el acoplamiento presión-velocidad. La descripción del sistema 3D en estudio (fluido incompresible e isotérmico) usa las ecuaciones de Navier-Stokes en su forma incompresible: ecuación de continuidad y ecuación de variación de la cantidad de movimiento (*momentum*) (Bayon et al., 2016; Ubbink, 1997). Consúltense Fuentes-Pérez et al. (2018) para una completa descripción del sistema de ecuaciones. La turbulencia se puede modelizar a través de un modelo k-ε estándar. Este modelo proporciona un buen resultado en una amplia gama de flujos (Bombač et al., 2014) y se ha demostrado en múltiples ocasiones que sus predicciones concuerdan con datos

experimentales en escenarios de complejidad similar al de una V-flat (Fuentes-Pérez et al., 2018; Marriner et al., 2014).

Como ejemplo de los resultados que se pueden obtener a través de la metodología de simulación propuesta, a continuación, se presenta la aplicación del modelo hidráulico para estaciones con $p=0,5$ m que corresponden con las estaciones de aforo del norte de la provincia de Palencia: Triollo y Cardaño (Sanz-Ronda et al., 2008 y 2010). Las condiciones de contorno se han definido con el caudal circulante (Q) y el nivel de agua inferior (t_2). El tamaño de malla escogido para las simulaciones fue de $X = 0,08$ m, $Y = 0,05$ m y $Z = 0,04$ m. Los resultados obtenidos con el modelo han sido muy similares a los datos tomados en campo para un amplio rango de caudales (Figura 4a).

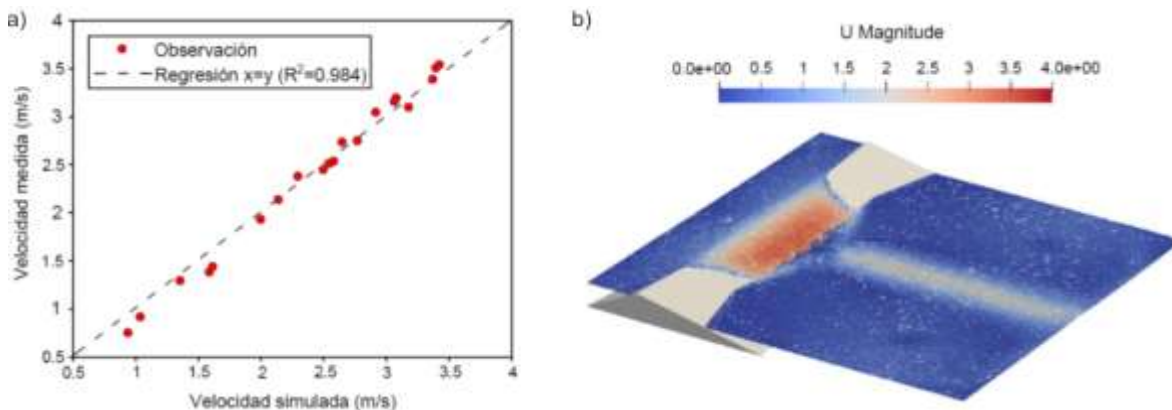


Figura 4. Relación entre velocidades medidas en campo y simuladas con OpenFoam en dos estaciones de aforo V-flat (a). Imagen 3D de la simulación de velocidades (m/s) en la superficie de la lámina de agua realizado con OpenFoam para un escenario de simulación de $p = 1$ m, $h_1 = 0,4$ m ($Q = 3.3$ m³/s) y $t_2 = 0,75$ m (b).

Una vez comprobada la veracidad del modelo propuesto, se hace posible la simulación con diferentes escenarios (siempre $h_1 < h'$), partiendo de un tamaño de aforador mayor a los que se van a evaluar ($p = 1$ m, $B = 25$ m y $h' = 0,625$ m). Con esta información base, se puede extrapolar la información hidráulica al caso específico de cualquier estación de aforo, para posteriormente aplicar los modelos biocinéticos (sección 2.3) o calcular parámetros hidráulicos limitantes (sección 2.4). La velocidad en la cresta del vertedero depende de la velocidad de aproximación del agua por el río y es variable entre estaciones de aforo. Resulta complicado medirla directamente, por lo que se toman como referencia los valores más desfavorables de estaciones de aforo medidas en la montaña palentina, con altas pendientes y velocidades de aproximación elevadas (Sanz-Ronda et al., 2008; 2010). De esta manera, obtendremos valores conservadores de la condiciones de flujo .

Por otro lado, se toma como profundidad en el paramento inferior (t_2) el valor registrado durante las visitas de campo en condiciones de caudal habituales para la migración. Todo ello nos permite desarrollar el modelo de simulación hidráulica 2D y 3D, y conocer velocidades y profundidades en cualquier lugar del paramento y en todas las estaciones (Figuras 4b y 5).

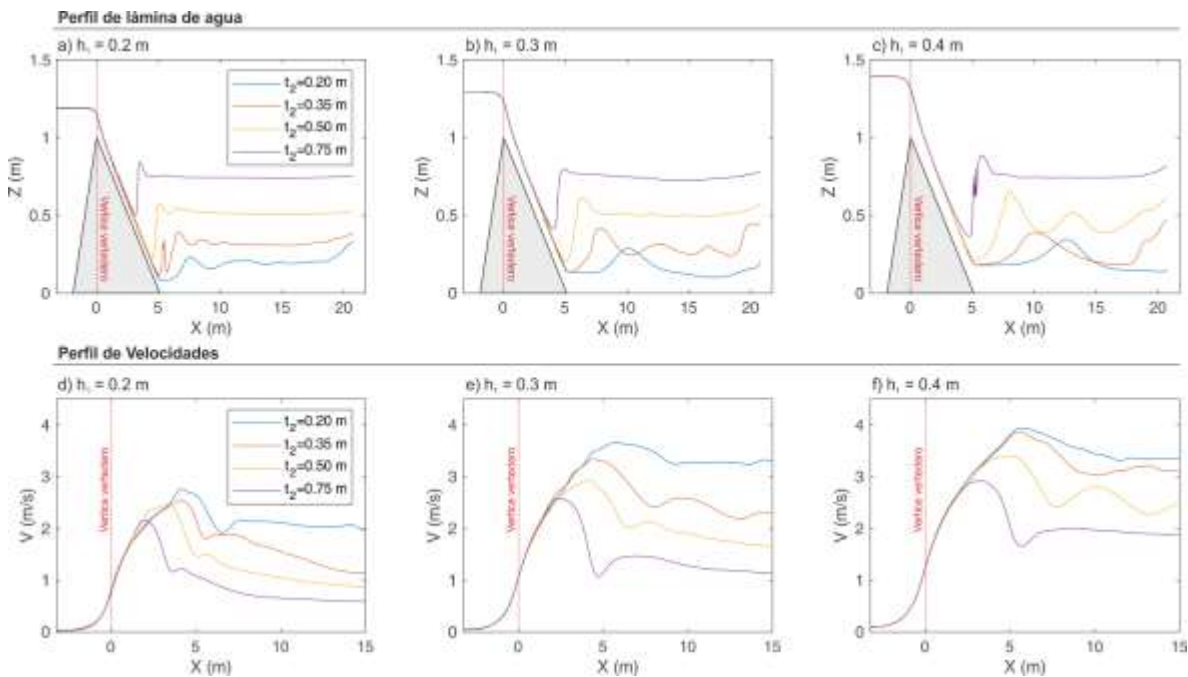


Figura 5. Perfil de lámina de aguas (Z(m)) y de velocidades medias (U (m/s)) en la zona central del aforador durante diferentes combinaciones de h_1 y t_2 . $Z=0$ m equivale a la cota de la losa. $X=-3,25$ m se corresponde con el inicio del escenario simulado; $X=0$ m con el vértice del vertedero; $X=5$ m con la unión entre el paramento y la losa.

2.1.3. Mediciones en campo

En algunas ocasiones la caracterización hidráulica puede realizarse mediante medios manuales durante la visita a campo durante la época de migración. Es importante resaltar que estas estructuras son peligrosas, y en algunas ocasiones es imposible la medición de parámetros de forma manual. En aquellos casos que sea seguro, y por lo tanto medibles, se requerirá un equipo mínimo que consiste en:

1. Flexómetro, para medidas puntuales.
2. Cinta métrica, para medir las secciones.
3. Velocímetro, para la toma de velocidades puntuales.
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 con el 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.

Con este equipo procederemos a medir las variables limitantes (sección 2.3), las profundidades y velocidades en la sección longitudinal media de la estación de aforo (desde el vértice del vertedero hasta el final de la losa cada 0,5 m, con objeto de aplicar el modelo biocinético) y procederemos a anotar otras incidencias relevantes como la presencia del descalce y la magnitud de su salto (ΔH_{23}).

2.2. Caracterización biológica. Capacidad de natación de los peces

La fauna piscícola potamódroma de mayor entidad en la cuenca del Duero está formada principalmente por ciprínidos endémicos, como el barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei*) y la boga del Duero (*Pseudochondrostoma duriense*), a las que acompaña un salmónido como la trucha (*Salmo trutta*) (Doadrio et al., 2001; Kottelat y Freyhof, 2007). Barbo y boga habitan en todos los tramos del río y realizan una migración primaveral hacia zonas someras con corriente moderada, para reproducirse; mientras que la trucha vive entramo medios y altos, desplazándose aguas arriba con fines reproductivos a finales de otoño (Collares-Pereira et al., 1996; Kottelat y Freyhof, 2007). No obstante, todos los peces realizan movimientos tróficos en busca de refugio o alimento a lo largo de todo el año (excepto con sequías severas o temperaturas bajas). Por todo ello, conocer la capacidad de nado de estas especies es un factor crucial para su conservación, de manera que su estudio es determinante para poder evaluar el nivel de impacto de las obras hidráulicas en la migración, así como para proponer soluciones que puedan paliar sus efectos.

Los factores principales que condicionan la capacidad de nado de los peces son la velocidad del flujo, la temperatura del agua y la longitud del pez (Lucas & Baras, 2001). Así, a mayor velocidad de flujo la distancia recorrida será menor, pues el pez se enfrenta a una mayor resistencia al avance (Castro-Santos et al., 2013). La temperatura del agua, dentro de un rango, mejora la capacidad de nado,

pues su aumento produce una mayor actividad metabólica en el pez y disminuye la viscosidad del agua (Plaut, 2001). Finalmente, a mayor longitud de pez, más musculatura presentará, con un sistema propulsor más potente, que supone un aumento en la capacidad de nado (Boily & Magnan 2002).

Para las tres especies anteriores existen estudios que han modelizado la capacidad de nado voluntaria de dichas especies (Castro-Santos et al., 2013; Sanz-Ronda et al., 2015 y Ruiz-Legazpi et al., 2018), mostrando la distancia máxima que son capaces de recorrer los individuos frente a diferentes velocidades del flujo en función de su longitud (Figura 6(a, c, e)) y la proporción de peces que es capaz de superar, frente a esas mismas condiciones, una determinada distancia (Figura 6(b, d, f)). Esta información va a ser empleada en el modelo biocinético para determinar cuándo una estación de aforo V-flat puede suponer una barrera al libre movimiento de los peces.

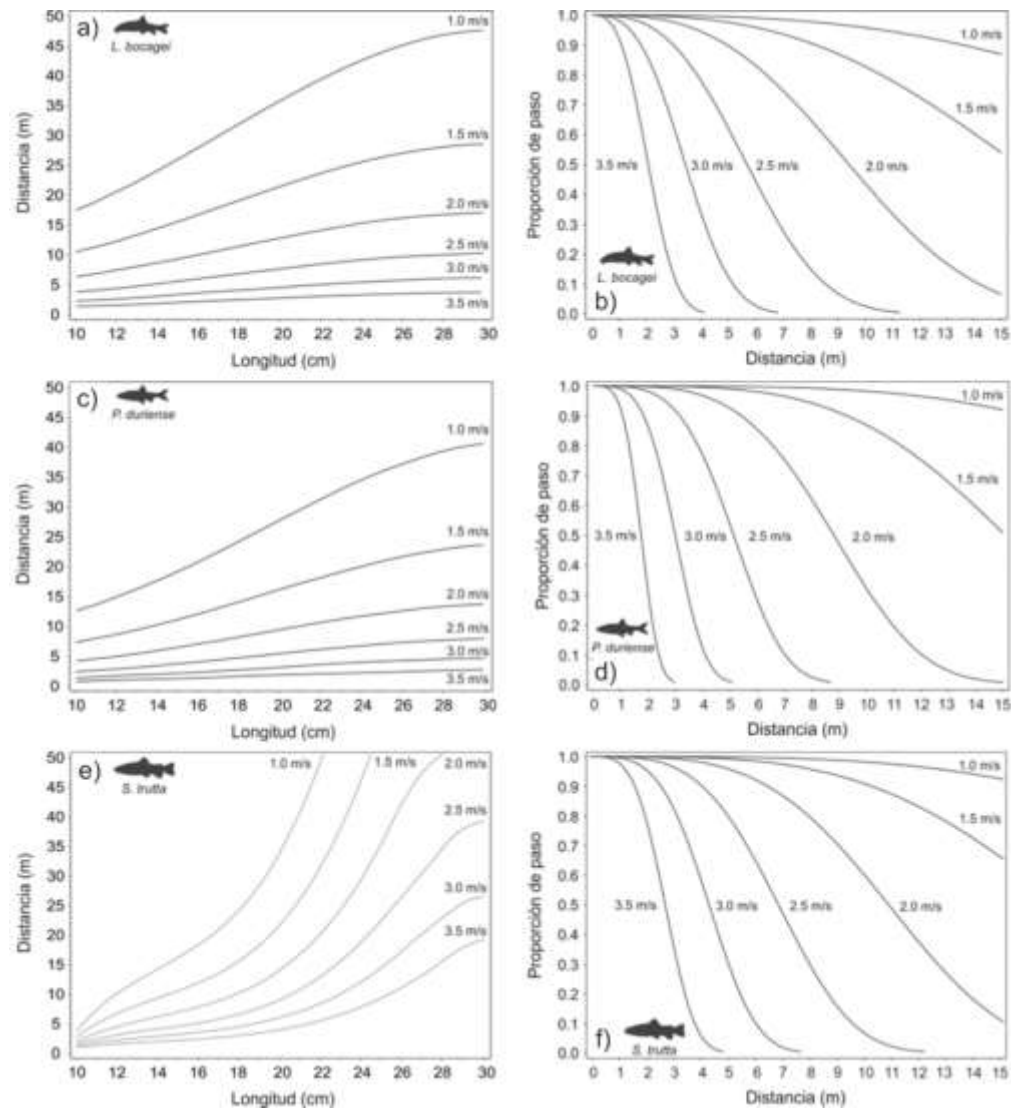


Figura 6. Distancia que pueden recorrer individuos de barbo (a), boga (c) y trucha (e) frente a diferentes velocidades en función de su longitud y proporción de individuos que es capaz de superar una distancia determinada (longitud media de 20 cm) (b, d y f) (Castro-Santos *et al.*, 2013, Sanz-Ronda *et al.*, 2015 y Ruiz-Legazpi *et al.*, 2018).

2.3. Modelo biocinético. Análisis de permeabilidad (A)

Las recomendaciones para garantizar la permeabilidad de una estación de aforo del tipo V-Flat se basan en asegurar que $\Delta H_{p2} \leq 0,30$ m y $\Delta H_{12} \leq 0,70$ m (Figura 7). No obstante, análisis previos de permeabilidad en estaciones de aforo de esta tipología (Ruiz-Legazpi *et al.*, 2018; Sanz-Ronda *et al.*, 2021) establecen que con ΔH_{p2} que rondan los 0,30 m no se garantiza que la barrera pueda ser

superada por más del 20 % de los ciprínidos ibéricos reófilos y adultos¹. Este porcentaje será mayor a medida que t_2 se incrementa, porque se disminuye la velocidad sobre la zona de aproximación en la losa horizontal.

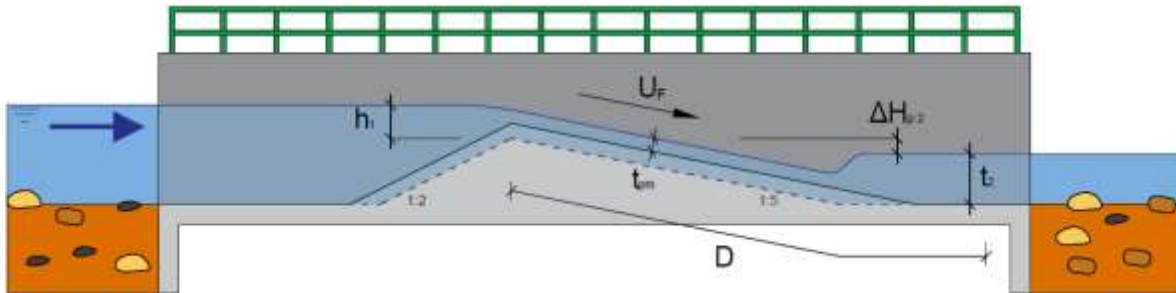


Figura 7. Variables consideradas a la hora de aplicar el modelo biocinético. Distancia a salvar para superar el obstáculo (D), carga de vertido (h_1), desnivel entre el vértice del vertedero y el nivel de la lámina de aguas abajo (ΔH_{p2}), profundidad aguas abajo (t_2) y la profundidad en el paramento (t_{pm}).

Por otro lado, que ΔH_{p2} sea menor a 0,30 m y que $\Delta H_{12} \leq 0,70$ m, depende del caudal circulante, de manera que habrá caudales con los que se cumpla (altos) y caudales con los que no (medios o bajos). En consecuencia, son los caudales bajos ($h < h'$) los potencialmente más restrictivos, de manera que el análisis de permeabilidad ha de centrarse en estos valores limitantes. Normalmente, $h < h'$ ocurre para caudales habituales en época de migración. El objetivo que se persigue es asegurar que los peces puedan completar todas sus funciones biológicas (no solo la reproducción en la época de freza, sino también la búsqueda de alimento o refugio en otras épocas). En función de estas circunstancias, se determina que el caudal mediano en la época de migración es el caudal de referencia para estudiar la permeabilidad de la estación de aforo, pues es suficientemente restrictivo y abarca un amplio espectro temporal, dejando fuera del mismo a caudales muy bajos que se producen en momentos puntuales, cuando no son frecuentes los movimientos de los peces.

En base a lo expuesto, se establece, como **criterio de permeabilidad** el siguiente:

¹ Se suponen individuos adultos los machos de edad 4* (> 12 cm) y las hembras de edad 8* (> 28 cm) de barbo ibérico (Lobón-Cerviá & Fernández-Delgado, 1984; Oliveira *et al.*, 2002) y los machos y hembras de edad 4* (> 19 cm y > 20 cm respectivamente) de boga del Duero (Lobón-Cerviá & Elvira, 1981; Doadrio *et al.*, 2011).

Se considerará que una estación de aforo es permeable, cuando el 80% de la población adulta de las especies piscícolas principales sean capaces de superarla para un caudal habitual en época de migración² por la zona más desfavorable³.

Para analizar la permeabilidad de un obstáculo es necesario conocer si los peces existentes en la zona podrán superar una distancia determinada (D), nadando contra un flujo que circula a una velocidad concreta (U_F) (Figura 7 y Figura 8). Este razonamiento se recoge en el modelo biocinético propuesto por Katopodis (1977) (en Katopodis, 1994) basado en la siguiente ecuación:

$$D_{pez} = (U_N - U_F) \cdot T_f$$

donde D_{pez} es la distancia máxima que puede recorrer el pez (m), U_N es la velocidad que es capaz de desarrollar el pez (m/s), U_F es la velocidad media del flujo al que se enfrenta el pez (m/s) y T_f es el tiempo de fatiga del pez, es decir, el tiempo que puede mantener una velocidad determinada (s). Esta información está sintetizada en el modelo global que analiza la relación entre D_{pez} y U_F (Figura 6), que va a ser el punto de partida en la aplicación del modelo biocinético.

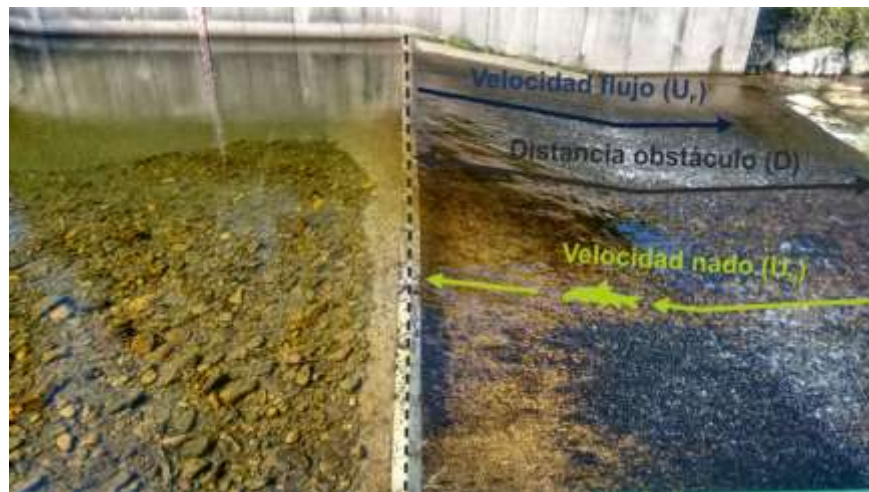


Figura 8. Representación del modelo biocinético para una estación de aforo. En ella se muestra la distancia a salvar para superar el obstáculo (D), la velocidad del flujo (U_F) y la velocidad de nado del pez (U_N).

² Se toma como tal el $Q_{50\%}$ en época de migración. No obstante, para el diseño hidráulico de la solución se toma un caudal más desfavorable, que se corresponde con el mayor de Q_{330} o $Q_{h1>0,20}$.

³ Zona central de la estación de aforo. El pez se aproxima por la orilla, pero los flujos lo van dirigiendo hacia la zona central, por donde normalmente acomete la rampa inclinada.

En base a las visitas de campo y a los resultados del modelo hidráulico, la distancia a recorrer D (m), se estima como el doble de la longitud de paramento inclinado, más 1 m de margen de seguridad. Es decir, según la ecuación:

$$D = 2 \cdot (p/0,2) + 1 = 10 \cdot p + 1$$

donde p es la altura del vértice del vertedero -aguas abajo- (m). En ocasiones, sobre todo cuando t_2 es reducido, este valor puede ser mayor. Si D_{pez} (para U_F media) $> D$, el aforador es permeable.

La velocidad media U_F puede ocultar velocidades elevadas que ocurren en zonas críticas, como la base del paramento y el comienzo del resalto hidráulico, por ello se realizará un análisis posterior que considera la distancia de nado donde la velocidad supere los 3 m/s (D_{3+}). En este caso, se considera que la trayectoria es permeable cuando $D_{pez} (U_F > 3\text{m/s}) > D_{3+}$.

2.4. Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)

El modelo biocinético nos ofrece una representación útil para cuantificar las capacidades de los peces ante barreras de velocidad. No obstante, de forma particular en las estaciones de aforo V-Flat existen indicadores hidráulicos que de forma sencilla ayudarán a determinar posibles problemáticas en el pasaje. A continuación, se recogen los parámetros mínimos que se deben establecer para conseguir la permeabilidad de los peces migradores de entidad durante los periodos/caudales de migración (Sanz-Ronda *et al.*, 2010, 2021; Mulligan *et al.*, 2021):

- B. $\Delta H_{p2} \leq 0,30$ m. La diferencia entre la cota del vértice del vertedero y la cota de la lámina de aguas abajo (ΔH_{p2} -Figura 2-) ha de ser menor o igual de 0,30 m.
- C. $\Delta H_{12} \leq 0,70$ m. La diferencia entre niveles de agua superior e inferior (ΔH_{12} -Figura 2-) ha de ser menor o igual de 0,70 m.
- D. $t_2 > 1,25 \cdot h_1$. La profundidad aguas abajo (t_2 -Figura 2-) ha de ser mayor de 1,25 veces la carga de vertido (h_1 -Figura 2-) y superior a 0,3 m.
- E. $U_F < 3,5$ m/s. La velocidad del flujo (U_F -Figura 2-) máxima por el paramento no debe superar los 3,5 m/s, valor potencialmente excluyente para muchos peces.
- F. $h_1 > 0,15$ y $t_{pm} > 0,10$ m. La carga de vertido y, por lo tanto, el calado asociado (h_1 y t_{pm} -Figura 2-) de la columna de agua en el paramento, han de ser mayores de 0,15 y 0,10 m, respectivamente, lo que permite una natación óptima del pez.

De todos estos criterios, habrá que poner especial atención a ΔH_{p2} puesto que incide en la distancia a recorrer por el pez. Al reducirse ΔH_{p2} , la distancia que han de recorrer los peces sobre el paramento del vertedero (D) es menor, enfrentándose a velocidades de flujo más bajas. En consecuencia, se disminuye el efecto barrera de la estación de aforo.

2.5. Descalce (G)

Otro factor determinante para la permeabilidad es cuando la estación de aforos presenta un **descalce en la conexión entre su base y el río** (ΔH_{23}). En este caso, se siguen los valores limitantes definidos para el diseño de pasos para peces, considerando especies del ámbito ibérico (Larinier et al., 2002; Bravo-Córdoba et al., 2021). Se considera un problema grave cuando exista un vertido libre que obligue a los peces a saltar, lo que anulará la teórica funcionalidad del aforador aplicando el procedimiento biocinético anteriormente descrito. Si el vertido estuviera inundado, cuando el salto hidráulico o el desnivel entre láminas (Figura 9) superara el umbral de 25 cm, también se consideraría una permeabilidad deficiente y muy selectiva. Es decir, saltos libres y saltos inundados mayores a 25 cm suponen que no se asegura la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

Tabla 1. Limitantes en la transición de la entrada del río a la estación.

Conexión estación-río	Valoración
a) Continua (no hay descalce)	Correcto
b) Sumergida < 25 cm	
c) Sumergida > 25 cm	Incompatible
d) Libre	

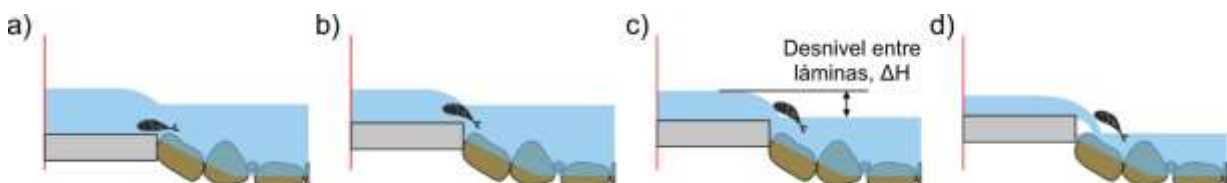


Figura 9. Posibles tipologías de conexión en la entrada. a) Continua, con contacto directo entre lámina de agua y lecho en el vertedero. b) Sumergida, existe vertido de forma clara, pero está sumergido y tiene un salto menor de 0,25 m (hay contacto entre láminas). c) Vertido sumergido con salto mayor a 0,25 m de salto menor d) Vertido libre.

2.6. Agregación de resultados

Por tanto, la evaluación final de la estación de aforos tendrá que tener en cuenta, el modelo biocinético (A), las variables hidráulicas limitantes (B, C, D, E, F) y la existencia de descalce (G). Cualquier incompatibilidad en estas variables no podrá asegurar que una proporción adecuada de la población pueda franquear la estructura. Considerando lo anterior la Figura 10 resumen el procedimiento de evaluación y detección de incompatibilidades.

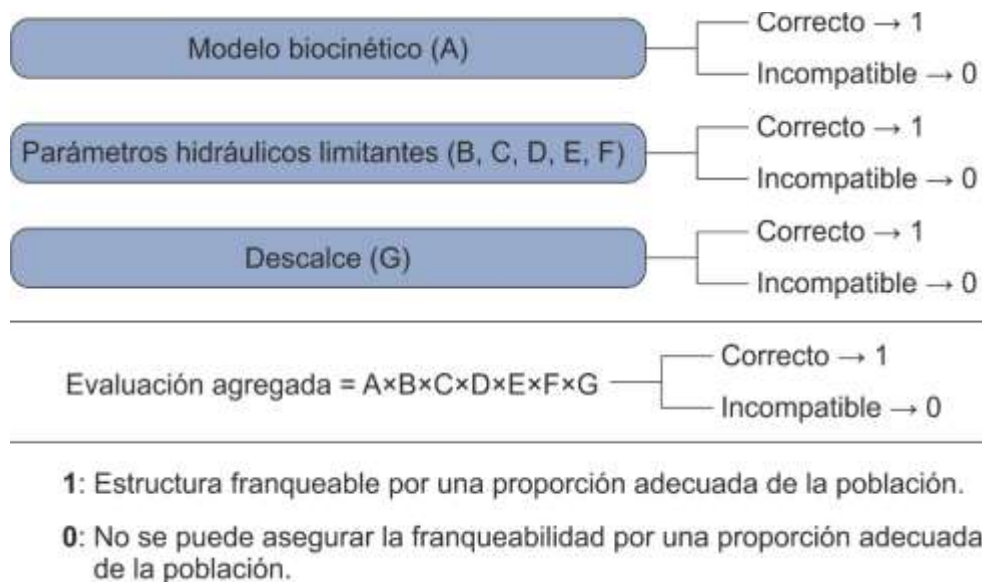


Figura 10. Agregación de los resultados parciales para la evaluación final de estaciones de aforo.

3. Soluciones

Existe una gran variedad de posibles soluciones según las características de la estación de aforo. La evaluación permitirá detectar cuales son los parámetros incompatibles, posibilitando actuaciones que modifiquen los mismos.

Las alternativas habituales para permeabilizar una estación de aforo, parten de una comprobación previa de su franqueabilidad y en base a ello, se puede optar por diferentes opciones, realizando adaptaciones pequeñas que incidan de forma quirúrgica en los parámetros de valoración descritos (1 y 2) modificando de manera más intensa la estación de aforo (3, 4 y 5).

1. Mantener la situación actual: es aceptable cuando, tras un estudio previo o evaluación, se determina que la mayoría de los individuos adultos de las especies piscícolas de la zona son capaces de superar el aforador.

2. Disminuir la velocidad y la distancia a recorrer: esta opción presenta dos alternativas.

2a) Aumentar la cota del nivel de aguas abajo de la estación de aforo hasta que diste 0,30 m como máximo del vértice de la "V" en condiciones habituales de caudal (Rickard *et al.*, 2003), asegurando que $\Delta H_{12} \leq 0,70$ m para caudales habituales en migración. Para ello, se puede construir un murete o prepresa al final de la losa inferior que incremente la cota de la lámina de aguas abajo (Figuras 11 y 12). Esta actuación provoca que en la estación se alcance la sumergencia con caudales menores, siendo necesario contemplar el correspondiente coeficiente en la curva de gasto.

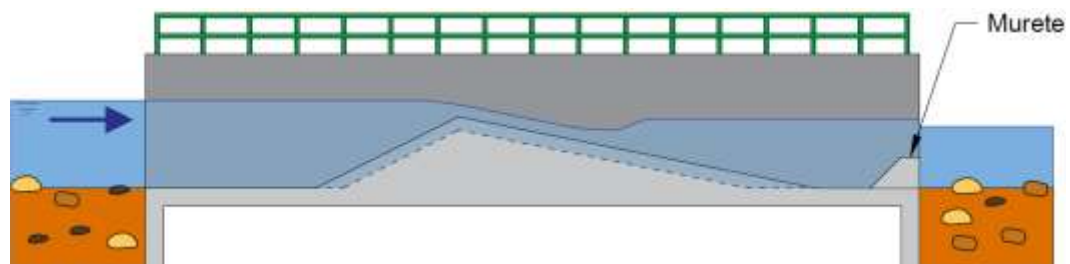


Figura 11. Murete realizado aguas abajo de una estación para elevar el nivel de aguas inferior.



Figura 12. Ejemplo de una estación de aforo V-Flat en San Salvador de Cantamuda (Palencia) y su estado actual con una prepresa previa. Este tipo de actuaciones puede aumentar el salto después de la losa.

Además, la construcción del murete puede ir acompañada de un truncado del paramento inferior y/o la realización de una poza en la base (Figuras 13 y 14). Ambas modificaciones no afectan a la medición del caudal y ayudan a garantizar una profundidad adecuada para que los peces puedan descansar cómodamente y a facilitar su ascenso por el paramento inferior.

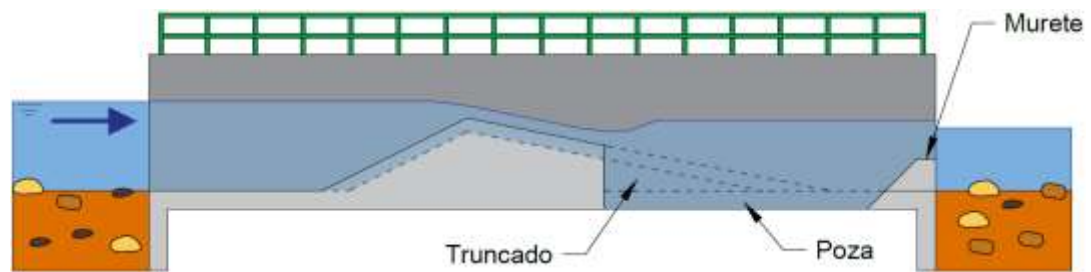


Figura 13. Truncado del paramento inferior y poza de remonte para facilitar el ascenso de los peces.



Figura 14. Ejemplo de una poza realizada en la losa horizontal de aguas abajo de una estación de aforo en Beguntillo (Lugo).

2b) Reducir la cota del vértice: consiste en eliminar la antigua estructura y construir una nueva con menor altura (p_1 menor) (Figura 15). De esta manera, también se puede posibilitar que la diferencia de cota entre el nuevo vértice y la lámina de agua inferior (ΔH_{p2}) sea como máximo de 0,30 m y $\Delta H_{12} \leq 0,70$ m. Esta solución ha de realizarse siempre y cuando la altura del vértice de la nueva presa no quede a una cota inferior a la del pozo de registro de la estación (o modificar también éste) (Figura 16). Las actuaciones complementarias de truncado y poza también son compatibles con esta actuación.



Figura 15. Rebaje de 0,30 m en la altura del vertedero V-Flat (marca del antiguo vertedero sobre la pared en rojo).

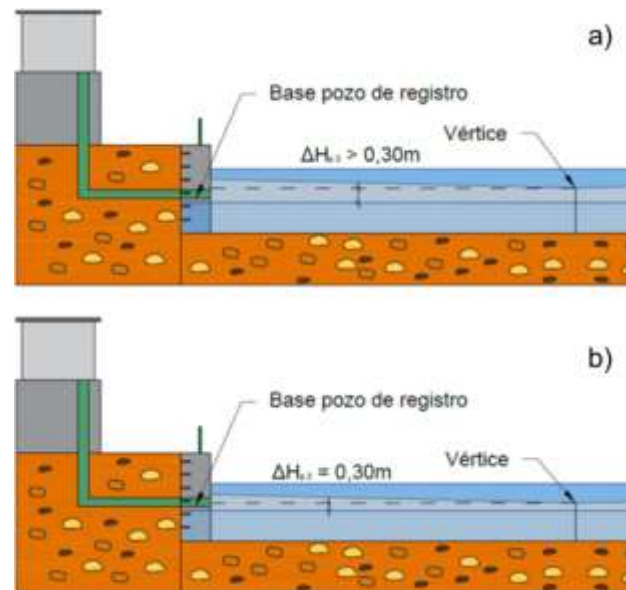


Figura 16. Rebaje en la cota del azud: situación previa (a) y posterior a la actuación (b).

3) Instalar deflectores u otros dispositivos en el paramento de aguas abajo: con estas estructuras se consigue ralentizar la corriente (Figura 17). En función de su tipología y caudales circulantes, su eficiencia es discutible. Necesitan mantenimiento/limpieza frecuente y afectan al funcionamiento hidráulico básico de la estación, haciendo necesaria su recalibración. Esta opción puede generar una fuerte turbulencia que desoriente a los peces y dificulte su ascenso. No hay resultados de evaluación publicados a este respecto.



Figura 17. Colocación de deflectores sobre el paramento de aguas abajo: río Cofio, Toledo (a) (<http://saihtajo.chtajo.es>), y río Carrión en Velilla del Río Carrión, Palencia (b).

4) Construcción de un paso para peces lateral: se trata de construir un paso para peces independiente del aforador que permita que la ictiofauna supere el obstáculo. Esta alternativa obliga a tener en consideración el caudal circulante por el paso de peces (Figura 18).

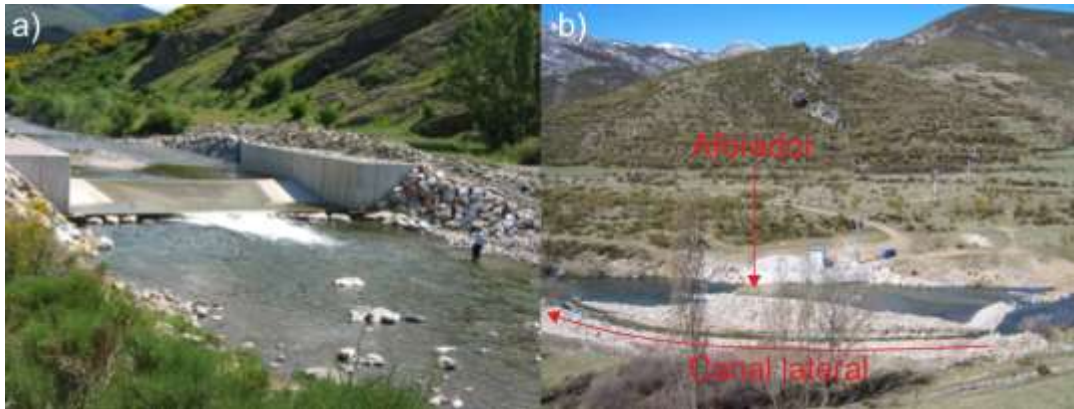


Figura 18. Antigua estación de aforo de Triollo en el río Carrión (a) con el canal lateral que permite la migración de los peces (en rojo) (b).

5) Cambio del tipo de estación: sustituir la estructura por otra tipología, ya sea “canal sensible” o “canal natural” (Figuras 19 y 20).



Figura 19. Cambio de estaciones tipo V-Flat por canal rectangular con vertido libre: Regata de Zebería, en la cuenca Bidasoa (a), y río Carrión en Triollo, Palencia (b).



Figura 20. Ejemplo de estación de aforo de “canal natural” en el norte de la provincia de Palencia.

6) Eliminar el salto generado por el descalce: en ocasiones, cuando la losa inferior se ha descalzado y existe un salto hidráulico entre ésta y el río (ΔH_{23}), es necesario anularlo a través de prepresas ejecutadas en el propio cauce (Figura 21) u otros dispositivos (i.e. rampas de piedras, escalas para peces, etc.). A veces, estas estructuras pueden ayudar a incrementar t_2 , evitando o complementando la actuación mencionada en 2).



Figura 21. Construcción de prepresas para reducir el salto provocado por el descalce en la estación de aforos de Cardaño (a) y Triollo (b) (Palencia).

4. Bibliografía

ACKERS, P. WHITE, W.R., PERKINS, J.A. & HARRISON, A.M.J. (1978). Weirs and Flumes for Flow Measurement. John Wiley & Sons, Chichester.

AZPIROZ, I. & GASPAR, S. (2009). Estudio de permeabilidad a la migración de la ictiofauna de estaciones de aforo tipo “V-Flat” en ríos del territorio histórico de Gipuzkoa. Departamento de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Guipúzcoa.

BEACH, M. H. (1984). Fish pass design criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. MAFF Fisheries Technical Report, 78.

BOILY, P. & MAGNAN, P. (2002). Relationship between individual variation in morphological characters and swimming costs in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) and yellow perch (*Perca flavescens*). *Journal of Experimental Biology*, 205(7): 1031-1036.

BOS, M.G. (1989) Discharge Measurement Structures, Publication 20; ILRI: Wageningen, The Netherlands.

CEDEX (2018) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Disponible en: ceh-flumen64.cedex.es (consultada en abril de 2018).

DIBLEY, M., CHILD, S., IREDALE, R. & WIGGINS, A. (2012). Fish and flow: maintaining the balance between hydrometric uncertainty and aids to fish passage at flow gauging structures. *Hydrology for a changing world*:01–05.

DOADRIO, I., PEREA, S., GARZÓN-HEYDT, P. & GONZÁLEZ, J.L. (2011). Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento. DG Medio Natural y Política Forestal. MARM. Madrid. España.

FERRER CASTILLO, C. (1996). El SAIH y la modernización de la hidrometría. *Rev. Obras Públicas*, 143, 63–74.

FUENTES-PÉREZ, J.F., GARCÍA-VEGA, A., SANZ-RONDA, F.J. & MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. (2017). Villemonte’s approach: validation of a general method for modelling uniform and non-uniform performance in stepped fishways. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 418 (23).

HARO, A., CASTRO-SANTOS, T., NOREIKA, J. & ODEH, M. 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 1590-1601.

HARTLEY, W. (1974). Electronic methods (Automatic counters). Symposium on Methodology for the Survey, Monitoring and Appraisal of Fishery Resources in Lakes and Large Rivers. Aviemore Scotland, 2-4 May 1974. EIFAC Technical Paper No. 23.

HINOJAL, J.A., NAVAS, R. & LORENZO, J.L. (2011). Optimización ambiental y funcional de estaciones de aforo V-Flat a través de técnicas de modelación hidráulica unidimensional y bidimensional. SAIH del Tajo. III Jornadas de Ingeniería del Agua, Barcelona 5 y 6 de octubre de 2011.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION -ISO-. (2012). International Standard ISO 4377:2012 Hydrometric determination-Flow measurement in open channels using structures-Flat-V weirs, ISO Central Secretariat, Geneva.

KATOPODIS, C. (1977). Design of culverts for fish passage. In Proceedings fo the 3rd National Hydrotechnical Conference (p. 949).

LOBÓN-CERVIÁ, J., & ELVIRA, B. (1981). Edad, crecimiento y reproducción de la boga de río (*Chondrostoma polylepis polylepis* Stein., 1865) en el embalse de Pinilla (río Lozoya). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 6 (3), 200-213.

LOBÓN-CERVIÁ, J. & FERNÁNDEZ-DELGADO, C. (1984). On the biology of the barbel (*Barbus barbus bocagei*) in the Jarama River. *Folia Zoologica*, 33 (4), 371-384.

LUCAS, M.C. & BARAS, E. (2000). Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries*, 1 : 283-316.

LUCAS, M. & BARAS, E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes* Blackwell Science Ltd. London 420.

LUCAS, M.C. & BUBB, D.H. (2005). Seasonal movements and habitat use of grayling in the UK. Environment agency, Science Report : SC030210/SR.

LUCAS, M.C. & FREAR, P.A. (1997). Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *Journal of Fish Biology*, 50: 382-396.

MÍRAME-IDEDuero (2018). Sistema de información MÍRAME-IDEDuero. Disponible en www.mirame.chduero.es (consultada en mayo de 2018).

OLIVEIRA, J. M., FERREIRA, A. P., FERREIRA, M. T. (2002). Intrabasin variations in age and growth of *Barbus bocagei* populations. *Journal of Applied Ichthyology*, 18 (3): 134-139.

PAVLOV, D., LUPANDIN, A. & KOSTIN, V. (2002). *Downstream Migration of Fish through Dams of Hydroelectric Power Plants*. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. USA.

PIPER, A. & WRIGHT, R. (2017). Understanding fish and eel behaviour to improve protection and passage at river structures. Environment Agency, Bristol. Extended summary: SC120061.

PLAUT, I. (2001). Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 131: 41-50.

RHODES, D. (2001). Low cost modifications to the Crump weir in order to facilitate fish passage. Case for Support to EPSRC.

RHODES, D. & SERVAIS, S. (2004). Hydrometric effect of fish pass modifications to the Crump weir. In Garcia J.L and Martinez P.V., editors, Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis and Restoration, II : 969-972, Madrid, Spain. IAHR. Fish passes and migration facilities.

RHODES, D. & SERVAIS, S. (2006). Guidelines: Low cost modifications to the Crump weir to improve fish passage. Technical report, Draft Document to be presented to the Environment Agency.

RICKARD, C., DAY, R. & PURSEGLOVE, J. (2003). River Weirs – Good Practice Guide. Environment Agency, Bristol. R&D Publication W5B-023/HQP.

RUIZ-LEGAZPI, J., SANZ-RONDA, F.J., BRAVO-CÓRDOBA, F.J., FUENTES-PÉREZ, J.F., CASTRO-SANTOS, T. (2018). Influencia de los factores ambientales y biométricos en la capacidad de nado del Barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei* Steindachner, 1864), un ciprínido potamódromo endémico de la Península Ibérica. *Limnetica*, In Pub.

S.A.I.H. del Duero (2018). Sistema automático de información hidrológica (SAIH) de la cuenca hidrográfica del Duero. Disponible en www.saihduero.es (consultada en mayo de 2018).

- SANZ RONDA, F.J., BRAVO CÓRDOBA, F.J., MARTÍNEZ DE AZAGRA, A., NAVARRO HEVIA, J. & SAIZ ROJO, A. (2008). Estudio para la adaptación a la migración de la ictiofauna de las estaciones de aforo V-Flat: Fase I. Informe técnico. Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia.
- SANZ RONDA, F.J., BRAVO CÓRDOBA, F.J. & MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. (2010). Estaciones de aforo V-Flat y peces migradores de la Península Ibérica: problemas y soluciones. Ingeniería Civil. CEDEX. 158, 11-21.
- SANZ-RONDA, F.J., RUIZ-LEGAZPI, J., BRAVO-CÓRDOBA, F.J., MAKRAKIS, S. & CASTRO-SANTOS, T. (2015). Sprinting performance of two Iberian fish: *Luciobarbus bocagei* and *Pseudochondrostoma duriense* in an open channel flume. *Ecological Engineering*, 83: 61-70.
- SANZ-RONDA, F. J., BRAVO-CÓRDOBA, F. J., GARCÍA-VEGA, A., VALBUENA-CASTRO, J., MARTÍNEZ-DE-AZAGRA, A., & FUENTES-PÉREZ, J. F. (2021). Fish Upstream Passage through Gauging Stations: Experiences with Iberian Barbel in Flat-V Weirs. *Fishes*, 6(4), 81.
- VIDELER, J.J. (1993). *Fish Swimming*. Chapman & Hall. London. UK.
- VIDELER, J. & WARDLE, C. (1991). Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1: 23-40.
- WARDLE, C. (1975). Limit of fish swimming speed. *Nature*, 255: 725-727.
- WESSELS, P., & ROOSEBOOM, A. (2009). Flow-gauging structures in South African rivers part 2: calibration. *Water SA*, 35(1), 11-19.
- WHITE, W. & HARTLEY, W. (1970). Experiments to compare the passage of fish over two triangular profile flat-vee weirs. Environment Agency, technical Report INT 67.
- WHITE, W.R. & WOODS-BALLARD, B.A. (2003). The investigation and specification of flow measurement structure design features that aid the migration of fish without significantly compromising flow measurement accuracy, with the potential to influence the production of suitable British Standards. Environment Agency, Bristol. Technical Report: W6-084/TR1.
- ZAIMAN, M.D., LAMB, R., MAWDSLEY, J., LAWLESS, M.R., ARCHER, D.R. & MELCHING, C.S. (2005). Non invasive techniques for river flow measurement. Environment Agency, Bristol. Science Report: SC030230/SR.

5. Ejemplo de aplicación en la estación de aforo de Palencia (río Carrión)

5.1. Caso de estudio y caracterización hidráulica

La estación de aforo de Palencia (ID: 7500072, código: 2042) es del tipo V-Flat, equipada con sonda y limnógrafo (SAIH del Duero, 2018). Se localiza en el río Carrión a su paso por el término municipal de Grijota, provincia de Palencia (X: 371018 m; Y: 4654976 m; HUSO 30) (Figura 22).



Figura 22. Situación de la estación de aforo en la cuenca del río Duero (a) (Fuente: SAIH del Duero) y vista aérea de la zona (b) (Fuente: Google Maps).

Se ha realizado un levantamiento topográfico de la misma (Figura 23) para obtener las variables geométricas e hidráulicas de la estación de aforo de manera precisa. En la Tabla 1 se recogen los valores de las mismas en base a las variables que caracterizan una estación de aforo V-Flat (Figura 2). En ficha de evaluación (Sección 5.1.3) de la estación se muestran todas las variables de interés.



Figura 23. Levantamiento topográfico de la estación de aforo.

Tabla 2. Variables geométricas e hidráulicas más relevantes de la estación de aforo medidas en campo.

Variables geométricas:		Variables hidráulicas (Q=8,6 m ³ /s):	
Anchura (B)	25,00 m	Distancia de nado (D)	8,00 m
Altura vértice vertedero (p)	0,70 m	Carga de vertido superior (h ₁)	0,62 m
Altura alas vertedero (h')	0,60 m	Profundidad aguas arriba (t ₁)	1,32 m
Pendiente transversal (Pte. V)	1:20	Profundidad aguas abajo (t ₂)	0,59 m
Longitud (L)	15,30 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)	0,85 m
Longitud (L ₁ /L ₂)	7,00 / 8,30 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})	0,11 m
		Diferencia entre láminas de agua (ΔH_{12})	0,73 m
		Velocidad del flujo máxima (U _{F,max})	< 3,50 m/s
		Profundidad paramento (t _{pm})	> 0,10 m

La estación de aforo permite medir el caudal circulante tanto en condiciones de flujo adherido como de flujo sumergido. En el primer caso, el caudal no está influenciado por la cota de la lámina de agua de aguas abajo -t₂-, formándose un resalto hidráulico, mientras que en el segundo no existe dicha influencia, desapareciendo el resalto, de manera que existe sumergencia al cumplirse que $h_2/h_1 > 0,7$ (Figura 24).

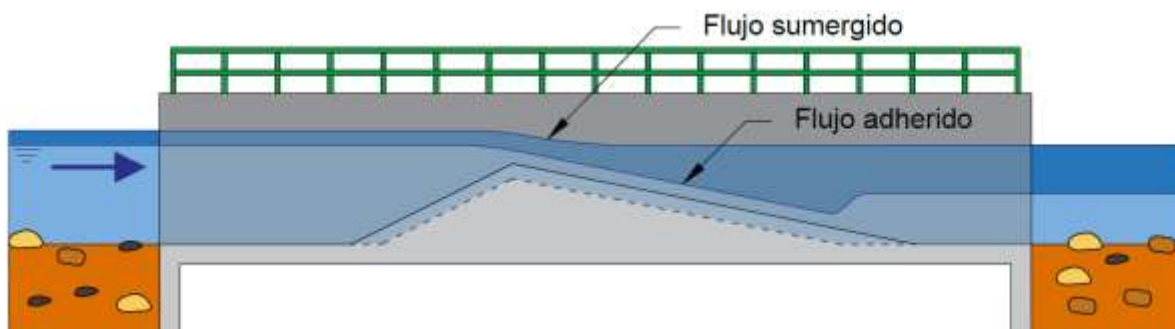


Figura 24. Esquema de flujo adherido y flujo sumergido.

Para entender el funcionamiento de la estación de aforo y su influencia en los movimientos de los peces, es necesario caracterizarla hidráulicamente. Así, se estudian varios caudales -para los años hidrológicos de 2005/2006 a 2014/2015- considerados fundamentales (R.O.E.A. Duero) (Tabla 3):

- Anuales (caudales medios diarios):
 - Caudal mediano (Q_{50%}): caudal que se supera el 50% de los días del año.
 - Caudal primer cuartil (Q_{25%}): caudal que se supera el 25% de los días del año.
 - Caudal tercer cuartil (Q_{75%}): caudal que se supera el 75% de los días del año.

- Migración (caudales medios diarios de la época de migración -mayo y junio-):
 - Caudal mediano ($Q_{50\%}$): caudal que se supera el 50% de los días de la época de migración.
 - Caudal primer cuartil ($Q_{25\%}$): caudal que se supera el 75% de los días de la época de migración.
 - Caudal tercer cuartil ($Q_{75\%}$): caudal que se supera el 25% de los días de la época de migración.
- Otros (caudales medios diarios):
 - Caudal 330 (Q_{330}): caudal que se supera 330 días al año o el 90% de los días del año.
 - Caudal de profundidad de ascenso mínima ($Q_{h_1=0,20}$): se considera que con un valor de $h_1 > 0,20$ m encontramos en el paramento profundidades mayores a 0,1 m y es posible el ascenso de los peces.

Tabla 3. Caudal mediano ($Q_{50\%}$) con su rango intercuartílico ($Q_{25\%}$ - $Q_{75\%}$) y la carga de vertido asociada para los caudales medios diarios anuales y en la época de migración de las especies principales (mayo-junio). También se muestra el Q_{330} y el $Q_{h_1=0,20}$.

	Anual		Época migración	
	Q (m^3/s)	Carga de vertido - h_1 - (m)	Q (m^3/s)	Carga de vertido - h_1 - (m)
$Q_{25\%}$	3,8	0,42	4,9	0,46
$Q_{50\%}$	5,5	0,49	7,5	0,55
$Q_{75\%}$	10,9	0,64	12,1	0,65
Q_{330}				
	Q (m^3/s)		Carga de vertido - h_1 - (m)	
	2,9		0,41	
$Q_{h_1>0,20}$				
	Q (m^3/s)		Carga de vertido - h_1 - (m)	
	0,6		0,20	

Se realizaron una serie de visitas de campo a la estación de aforo de Palencia, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio, con el objetivo de poder caracterizar hidráulicamente la estación con un el mayor rango de caudales posible. En base a la medición de las cotas de la lámina de aguas arriba y aguas abajo, se pueden hacer una caracterización sencilla de la estación, que queda recogida en la Tabla 4:

Tabla 4. Caracterización hidráulica de la estación de aforo de Palencia en base a las mediciones tomadas en campo. En rojo caudales con sumergencia. Si $h_2/h_1 > 0,7$ existe sumergencia. $h_2 = t_2 - p$. Consúltense el significado de las variables en las Secciones 1.1 y 2.1.2.

FECHA	Q(m ³ /s)	t ₁ (m)	h ₁ (m)	t ₂ (m)	h ₂ (m)	ΔH _{p2} (m)	h ₂ / h ₁
15/03/2018	32,1	1,72	1,02	1,36	0,66	-	0,65 (NO)
16/03/2018	55,9	1,98	1,28	1,75	1,05	-	0,82 (SI)
21/03/2018	15,1	1,44	0,74	0,88	0,18	-	0,24 (NO)
02/04/2018	10,0	1,34	0,64	0,68	-	0,02	- (NO)
10/04/2018	29,9	1,68	0,98	1,27	0,57	-	0,58 (NO)
13/04/2018	27,3	1,65	0,95	1,23	0,53	-	0,56 (NO)
14/04/2018	26,1	1,62	0,92	1,14	0,44	-	0,48 (NO)
10/05/2018	8,6	1,32	0,62	0,58	-	0,12	- (NO)
11/05/2018	7,3	1,24	0,54	0,53	-	0,17	- (NO)
18/05/2018	6,2	1,21	0,51	0,48	-	0,22	- (NO)
23/05/2018	5,9	1,20	0,50	0,42	-	0,28	- (NO)
5/09/2018	3,6	1,11	0,41	0,38	-	-	- (NO)
7/11/2019	4,5	1,15	0,45	0,41	-	-	- (NO)
27/11/2019	18,1	1,44	0,78	0,98	-	0,28	0,36 (NO)
3/12/2019	41,7	1,83	1,13	1,64		0,94	0,83 (SÍ)
17/12/2019	22,5	1,56	0,86	1,12	-	0,42	0,49 (NO)
20/12/2019	68,6	2,08	1,38	1,92	1,22		0,88 (SÍ)
29/04/2020	12,7	1,43	0,68	0,73	0,03	-	0,04 (NO)

Se estima que aproximadamente sobre los 12 m³/s -carga de vertido de 0,66 m- el nivel de aguas abajo ya contacta con el vértice de la estación; mientras que para caudales ≤ 6 m³/s -carga de vertido de ≤ 0,50 m- existe una diferencia de cota inferior a 0,30 m entre el vértice y el nivel de aguas abajo. El nivel de sumergencia se alcanza con un caudal que ronda los 40 m³/s ($h_1=1,11$ m).



Figura 25. Vista de la estación de aforo en la que se observa el resalto hidráulico que se produce en el paramento y la distancia de nado con caudales altos (a y b) y con caudales bajos (c y d). Transición entre el lecho de la estructura y del río aguas abajo de la misma sin que se observe descalce (e y f).

5.2. Caracterización biológica

En el tramo de río donde se ubica la estación de aforo habitan varias especies piscícolas. En concreto, entre las especies autóctonas están presentes el barbo común (*Luciobarbus bocagei*), la bermejuela (*Achondrostoma arcasii*), la boga del Duero (*Pseudochondrostoma duriense*), el bordallo (*Squalius carolitertii*). También está el gobio (*Gobio lozanoi*) como especie trasladada y entre las exóticas encontramos la perca sol (*Lepomis gibbosus*) (MÍRAME-IDEDuero, 2016). Por lo tanto, son los meses de mayo y junio los más importantes para la migración reproductiva de las especies presentes.

Para el estudio se consideran como especies principales el barbo ibérico y la boga del Duero (Figura 26), que son las especies nativas que realizan movimientos migratorios de mayor entidad.

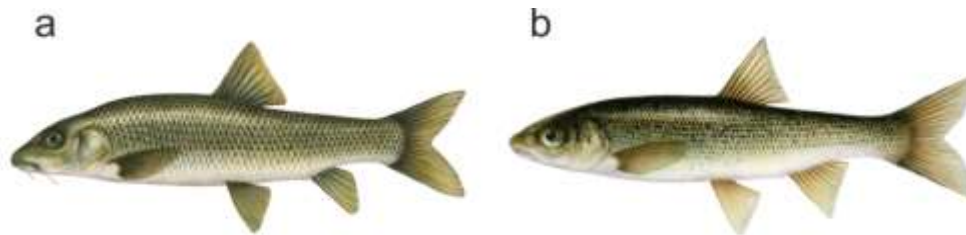


Figura 26. Ejemplares de barbo ibérico (a) y de boga del Duero (b) en estadio de vida adulta. © Claudia Baeta.

5.3. Modelo biocinético (A)

En base a la información hidráulica y biológica anterior, se aplica el modelo biocinético con los datos de simulación extraídos del modelo hidráulico global aplicado con OpenFoam. La Tabla 4 muestra la situación de velocidad y profundidad que se produce en la estación de aforo y los resultados de permeabilidad para las especies principales (barbo ibérico y boga del Duero) con los dos caudales característicos: $Q_{50\%}$ -mediano en época de migración- y Q_{330} -superado más de 330 días al año-.

Tabla 4. Análisis global de permeabilidad de la estación de aforo de Palencia, para el barbo ibérico y la boga del Duero, con dos caudales: $Q_{50\%}$.que se supera el 50% de la época de migración- y Q_{330} -que se supera 330 días al año.

Q (m ³ /s)	h_1 (m)	t_2 (m)	ΔH_{p2} (m)	D (m)	U_F Media (m/s)	D_{pez} Distancia de nado (m)					
						Longitud barbo (cm)			Longitud boga (cm)		
						10	20	30	10	20	30
7,5	0,55	0,59	0,16	8	2,64	3,3	6,7	8,9	2,1	4,5	6,6
2,9	0,41	0,31	0,39	8	2,48	3,8	7,9	10,5	2,5	5,6	8,2

- Las variables carga de vertido (h_1), distancia a recorrer sobre el obstáculo (D) y desnivel desde el vértice con el nivel de lámina de aguas abajo (ΔH_{p2}) se esquematizan en la Figura 22.
- $D=8$ m; se estima como el doble de la distancia de ascenso por el paramento ($p/0,2=3,5$ m), para considerar también parte de la losa horizontal y se mayor a con +1 m adicionales para sobrepasar la zona de aceleración aguas arriba del vértice y la zona de aproximación en la losa.
- La variable velocidad del flujo (U_F) se refiere a la velocidad a X m desde el vértice tal como se presenta en la Figura 26 y a la media que se produce en el paramento: media de los dos valores superiores, escenario más restrictivo.
- La variable distancia de nado (D_{pez}) se calcula para ejemplares de barbo y boga de tres tallas distintas (10 cm, 20 cm y 30 cm) enfrentándose a la velocidad media.
- D_{pez} se marca en **color rojo** cuando es inferior a la distancia que supone el obstáculo, impidiendo que sea superado.

La situación global descrita, implica una distancia total que han de recorrer los individuos de 8 m. En esa distancia, se produce una situación particular, pues en 3 m de los 8 m, los peces han de

enfrentarse a velocidades del flujo que rondan los 3 m/s. En la Tabla 5, se analiza con detalle esta situación particular.

Tabla 5. Análisis particular de permeabilidad de la estación de aforo de Palencia, para el barbo ibérico y la boga del Duero, con dos caudales: $Q_{50\%}$ -que se supera el 50% de la época de migración- y Q_{330} -que se supera 330 días al año.

Q (m ³ /s)	D (m)	U _F Media (m/s)	D _{pez} Distancia de nado (m)					
			Longitud barbo (cm)			Longitud boga (cm)		
			10	20	10	20	10	20
7,5	3	3	2,3	4,6	6,2	1,5	3,2	4,7
2,9								

Para el caudal de 7,5 m³/s, la velocidad media del flujo es de 2,64 m/s y la distancia a recorrer es de 8 m (Figura 6). Por tanto, sólo se garantiza el ascenso del 10 % de la población de barbo ibérico -y exclusivamente de los ejemplares más grandes-, mientras que prácticamente la totalidad de la población de boga del Duero no podría superar la estación.

Analizando el caudal de 2,9 m³/s, se puede estimar que un 15 % de la población de barbos ibéricos superaría la estación de aforo, mientras que de la población de boga del Duero solamente el 5 %. Para ambas especies, los ejemplares más afectados al enfrentarse al obstáculo con caudales similares al considerado son los de menor talla (10 cm – 15 cm).

En ambos casos, deben superar 3 m con velocidades que rondan los 3 m/s (Figura 6). Este tramo particular con velocidades de flujo elevadas no parece suponer un elemento limitante por sí solo, pues puede ser superado sin problemas por el 70% de los ejemplares de barbo ibérico y por el 60 % de boga del Duero -los individuos de menor talla serán los más afectados-.

En general, a medida que aumenta el caudal, disminuye la distancia real a recorrer por el pez en el paramento y se incrementa la velocidad, siempre que la losa no se encuentre descalzada y la sección de control en el propio río haga que t_2 se incremente de manera significativa. La situación más desfavorable suele suceder con los caudales menores y escaso t_2 .

No obstante, los análisis anteriores se concentran en zona central de la estación de aforo. A medida que nos alejamos del vértice, la velocidad de flujo disminuye (también el calado sobre el

paramento), y algunos peces, sobre todos los más pequeños, aprovechan estas zonas para el ascenso.

En definitiva, la estación de aforo en su actual estado incumple el criterio de permeabilidad establecido, suponiendo un obstáculo potencial importante, pues para el $Q_{50\%}$ no es capaz de superarla más del 80 % de la población adulta de barbo ibérico y boga del Duero.



Figura 26. Evaluación del modelo biocinético.

5.4. Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)

Considerando la caracterización hidráulica podemos comprobar el cumplimiento de los diferentes parámetros hidráulicos limitantes para los caudales considerados (centrándonos para la valoración en $Q_{50\%}$ en periodo de migración):

B) Para el caudal de $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ΔH_{p2} es de alrededor de $0,18 \text{ m}$ menor al valor límite de $0,3 \text{ m}$. Cabe resaltar que para Q_{330} (caudal de $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$) ΔH_{p2} supera los $0,30 \text{ m}$ establecidos como criterio de inicio para facilitar el ascenso de la fauna piscícola. Debido a esto, la distancia central que han de nadar los peces para superar el obstáculo aumenta considerablemente, aunque la zona de aproximación lateral se vería beneficiada con menores velocidades

C) En cuanto al ΔH_{12} no supera los $0,70 \text{ m}$, lo que ayudará a no generar grandes turbulencias ni velocidades aguas abajo.

D) Para todos los caudales $\geq 25 \text{ m}^3/\text{s}$ la profundidad aguas abajo (t_2) es $> 1 \text{ m}$ (profundidad aguas abajo $> 1,25 \cdot h_1$), lo que supone que el flujo que circula por el paramento no suele provocar un resalto hidráulico de entidad y la distancia que han de nadar los peces se reduce (Figura 25a y Figura 25b), circunstancia que facilita su ascenso. Mientras que en caudales $\leq 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$, la profundidad es $< 0,50 \text{ m}$ (profundidad aguas abajo $< 1,25 \cdot h_1$), pudiendo el resalto hidráulico generar algún problema y aumentándose considerablemente la distancia que han de nadar los peces para superar la estación (Figura 25c y Figura 25d).

E) En ningún caso parecen existir velocidades puntuales superiores a 3,5 m/s, si bien cabría refinar el modelo hidráulico para estudiar este hecho con mayor precisión dado que durante en caudal objeto existe una longitud grande donde se superan los 3,0 m/s

F) Durante el caudal de 7,5 m³/s la carga de vertido (h_1) es superior a 0,15 m (alrededor de 0,56 m) lo que directamente incide en que en el paramento (t_{pm}) existan en todo momento profundidades superiores a 0,10 m. Si bien para el caudal Q_{330} la profundidad en el paramento se aproxima al mínimo considerado como aceptable, lo cual supone un inconveniente más para el ascenso.

Considerando lo anterior la Figura 27, recoge la valoración final de los parámetros hidráulicos limitantes durante el $Q_{50\%}$ en el periodo de migración.

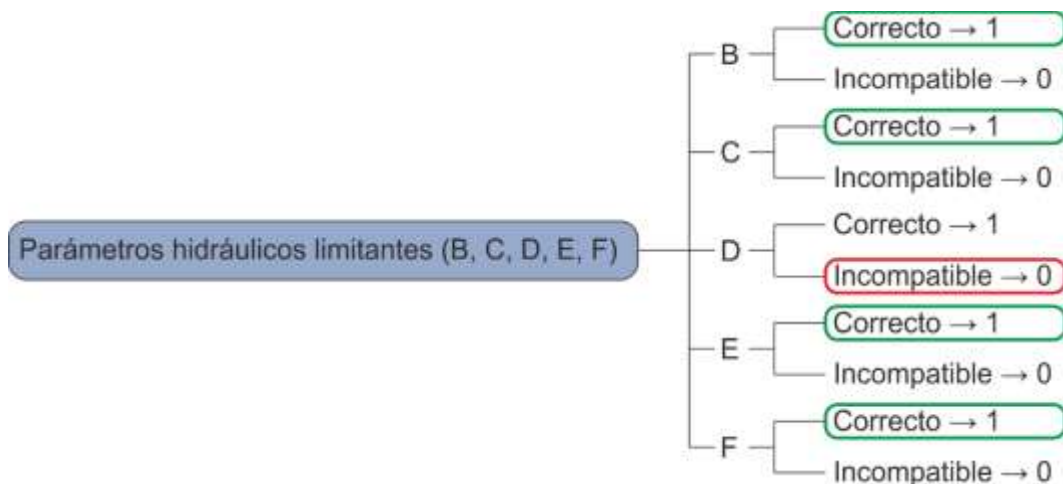


Figura 27. Evaluación de los parámetros hidráulicos limitantes $Q_{50\%}$.

5.5. Descalce (G)

No se observa ningún descalce entre el final de la losa de hormigón de la estación y el lecho del río, por lo que no se produce un salto de agua (Figura 25e y Figura 25f), aspecto positivo para el movimiento de los peces a través de la estructura.



Figura 28. Evaluación del descalce.

5.6. Agregación de la valoración

Considerando lo anterior, la Figura 29 recoge la evaluación global de la estructura, que en este caso dadas las deficiencias detectadas resulta incompatible y, por tanto, **no se puede asegurar la franqueabilidad de la estación de aforos por una proporción adecuada de la población.**

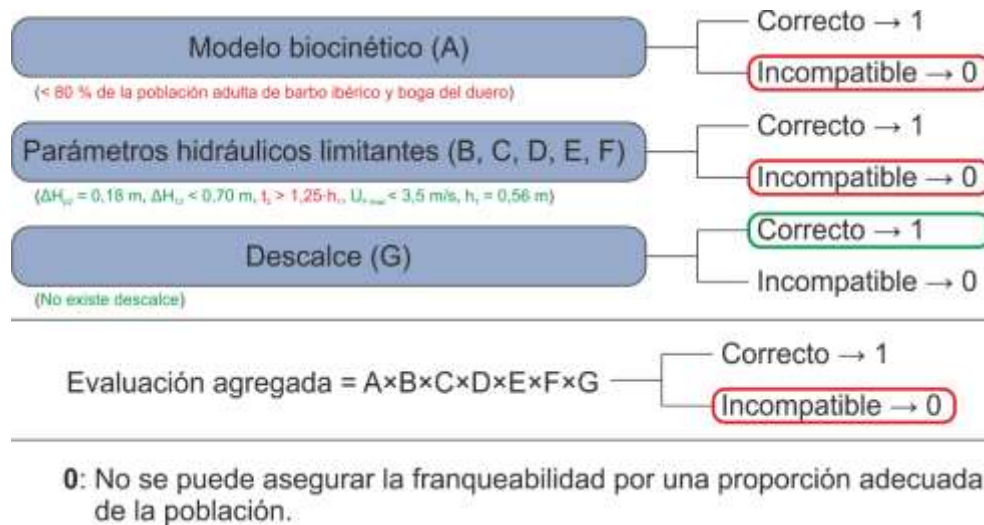




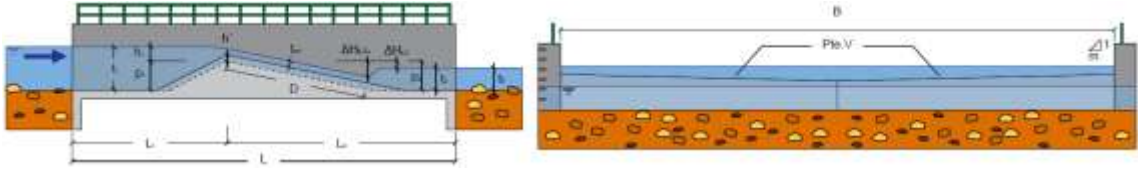




Figura 29. Evaluación global.

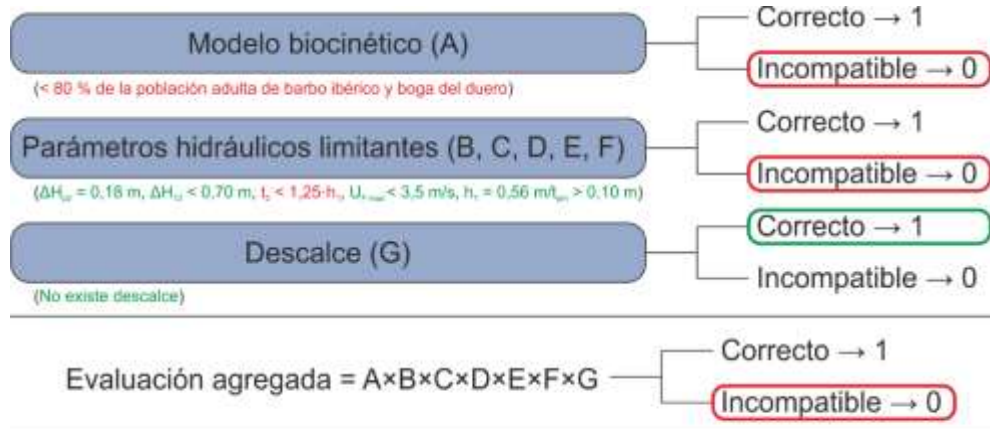
5.7. Ficha

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE PALENCIA			
 Datos Geográficos			
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500072	2042	PALENCIA	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
CARRIÓN	CARRIÓN	GRIJOTA	PALENCIA
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		371018	4654976
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	
			
 Datos Estación			
TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTINENTE	Q₃₃₀
V-FLAT	SONDA Y LIMNÍGRAFO	2255 km ²	2,9 m ³ /s
CROQUIS			
			
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (8,6 m³/s)			
Anchura (B) = 25,00 m		Distancia de nado (D)= 8,00 m	
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,70 m		Carga de vertido superior (h ₁)= 0,62 m	
Altura alas vertedero (h')= 0,60 m		Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 1,32 m	
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20		Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,59 m	
Longitud (L)= 15,30 m		Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,85 m	
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 7,00 m		Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= 0,11 m	
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 8,30 m		Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂)= 0,73 m	

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 10/05/2018	CAUDAL: 8,6 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio	Q _{50%} migración: 7,5 m ³ /s
	

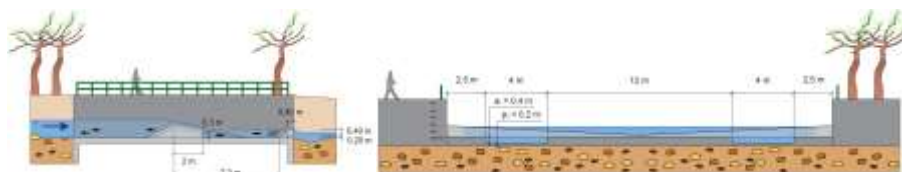
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

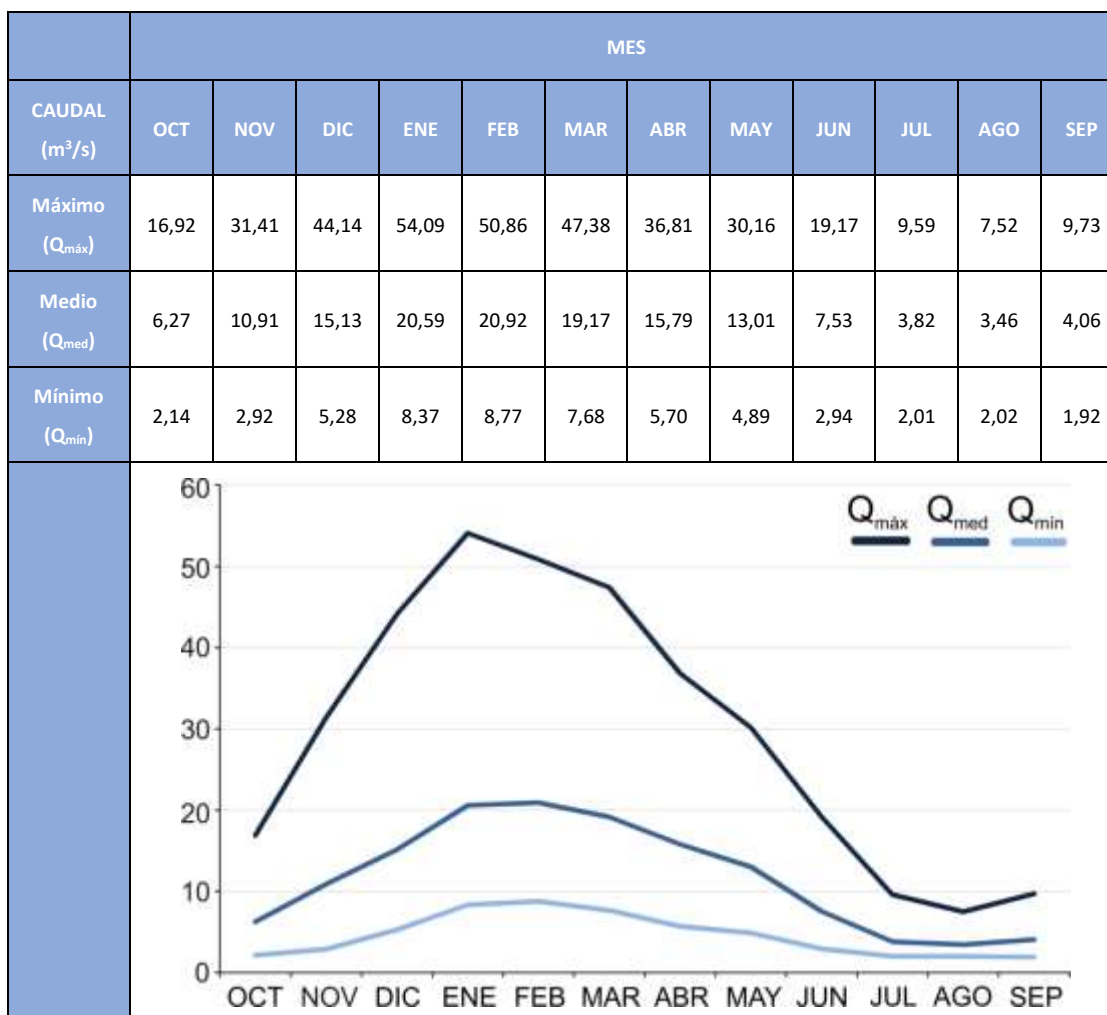
Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es cambiar la tipología de la estación o mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar en el obstáculo (D), aumentando la cota de la lámina de agua bajo la estación de aforos hasta 10 cm menos que el vértice de la "V". Asimismo, se recomienda que la alternativa que se seleccione incluya, además de la construcción de un murete, el truncado del paramento.



5.8. Resumen de datos hidrológicos

Se recogen los datos de caudales máximos, medios y mínimos registrados por la estación de aforos objeto de estudio en cada uno de los meses del año:

Tabla A.1. Caudales máximos, medios y mínimos mensuales en la estación de aforo de Palencia (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos.asp>).



6. Fichas resumen de aplicación en estaciones de aforo en el ámbito de la CHD

A continuación, se muestran las estaciones de aforo en las cuales se ha realizado una evaluación de su funcionalidad.

6.1. Río Carrión en Guardo (Palencia)	45
6.2. Río Carrión en Villoldo (Palencia)	47
6.3. Río Carrión en Grijota (Palencia)	49
6.4. Río Pisuega en Cordovilla la Real (Palencia)	51
6.5. Río Arlanzón en Pineda de la Sierra (Burgos)	53
6.6. Río Arlanza en Salas de los Infantes (Burgos)	55
6.7. Río Arlanza en Covarrubias (Burgos)	57
6.8. Río Duero en Molinos del Duero (Soria)	59
6.9. Río Cega en Aguilafuente (Segovia)	61
6.10. Río Cega en Megeces (Valladolid)	63
6.11. Río Adaja en Valdestillas (Valladolid)	65
6.12. Río Luna en Barrios de Luna (León)	67
6.13. Río Duerna en Velilla de Valduerna (León)	69
6.14. Río Porma en Camposillo (Puebla de Lillo, León)	71
6.15. Río Torío en Getino (León)	73
6.16. Río Orza en Vegacerneja (León)	75

6.1. Río Carrión en Guardo (Palencia)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE GUARDO



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
7500133	2134	GUARDO	4207		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
CARRIÓN	CARRIÓN	GUARDO	PALENCIA		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	348745	Y	4741095

PLANO DE SITUACIÓN



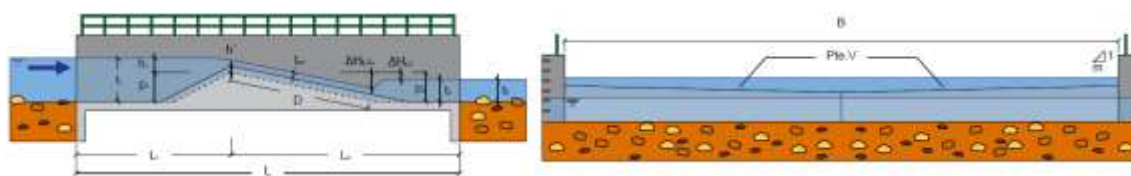
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q_{330}
V-FLAT	FLOTADOR	404 km ²	3,1 m ³ /s

CROQUIS



PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (3,3 m³/s)

Anchura (B) = 16,00 m	Distancia de nado (D)= 6,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$)= 0,50 m	Carga de vertido superior (h_1)= 0,41 m
Altura alas vertedero (h')= 0,42 m	Profundidad de aguas arriba (t_1)= 0,88 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2)= 0,23 m
Longitud (L)= 13,30 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3)= 1,21 m
Longitud losa aguas arriba (L_1)= 5,90 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,27
Longitud losa aguas abajo (L_2)= 7,40 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,68 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 21/06/2018

CAUDAL INSTANTÁNEO DE MEDICIÓN: 3,3 m³/s

ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio -
Noviembre y diciembre

Q_{50%} migración: 4,2 m³/s – 4,5 m³/s



Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)

Modelo biocinético (A)

(< 80 % de la población adulta de trucha, barbo ibérico y boga del duero)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)

($\Delta H_{up} = 0.18$ m, $\Delta H_{down} < 0.70$ m, $t_s < 1.25 \cdot h_s$, $U_{max} < 3.5$ m/s, $h_s = 0.56$ m, $t_{up} > 0.10$ m)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Descalce (G)

(No existe descalce)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G

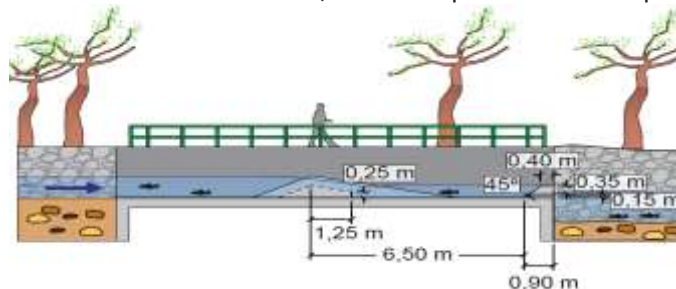
Correcto → 1

Incompatible → 0

0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es o bien cambiar la tipología de la estación o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta la cota de la lámina de aguas abajo hasta que contacta con el vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.

SOLUCIÓN



6.2. Río Carrión en Villoldo (Palencia)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE PINEDA DE LA SIERRA



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500070	2040	VILLOLDO	4203
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
CARRIÓN	CARRIÓN	VILLOLDO	PALENCIA
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		367996	4678710

PLANO DE SITUACIÓN



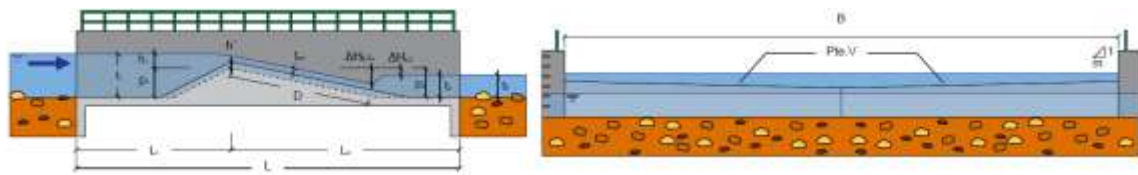
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q_{330}
V-FLAT	FLOTADOR + LIMNÍGRAFO	976 km ²	6,9 m ³ /s



CROQUIS



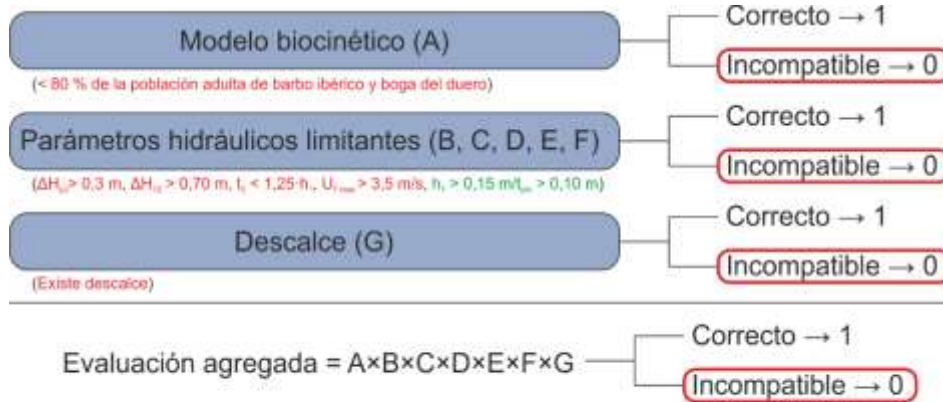
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (7,0 m³/s)

Anchura (B) = 25,00 m	Distancia de nado (D) = 9,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$) = 0,6 m	Carga de vertido superior (h_1) = 0,57 m
Altura alas vertedero (h') = 0,63 m	Profundidad de aguas arriba (t_1) = 1,16 m
Pendiente transversal (Pte. V) = 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2) = 0,06 m
Longitud (L) = 17,40 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3) = 0,93 m
Longitud losa aguas arriba (L_1) = 8,80 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2}) = 0,57
Longitud losa aguas abajo (L_2) = 8,60 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 1,14 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 05/06/2018	CAUDAL: 7,0 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio	Q _{50%} migración: 12,8 m ³ /s
	

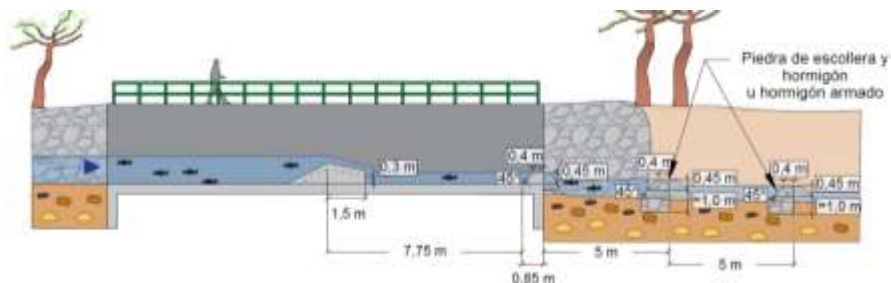
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es o bien cambiar la tipología de la estación o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar en el obstáculo (D). Esto se consigue mediante el aumento de la cota de la lámina de agua bajo la estación de aforos hasta una cota 15 cm inferior al vértice de la "V". Asimismo, se precisa de la construcción de tres muretes (dos en el río) para corregir el descalce existente aguas abajo de la estación y conseguir los niveles de agua deseados.



6.3. Río Carrión en Grijota (Palencia)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE PALENCIA



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
7500072	2042	PALENCIA	-		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
CARRIÓN	CARRIÓN	GRIJOTA	PALENCIA		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	371018	Y	4654976

PLANO DE SITUACIÓN



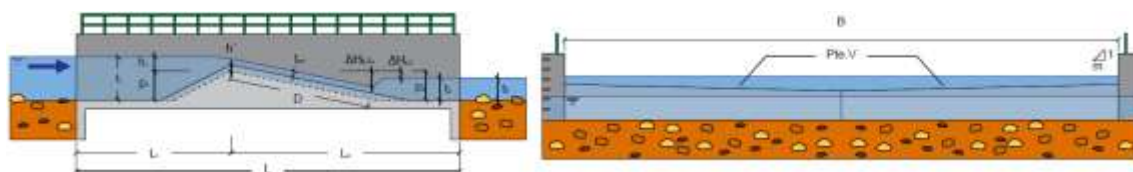
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTINENTE	Q ₃₃₀
V-FLAT	SONDA Y LIMNÍGRAFO	2255 km ²	2,9 m ³ /s


CROQUIS



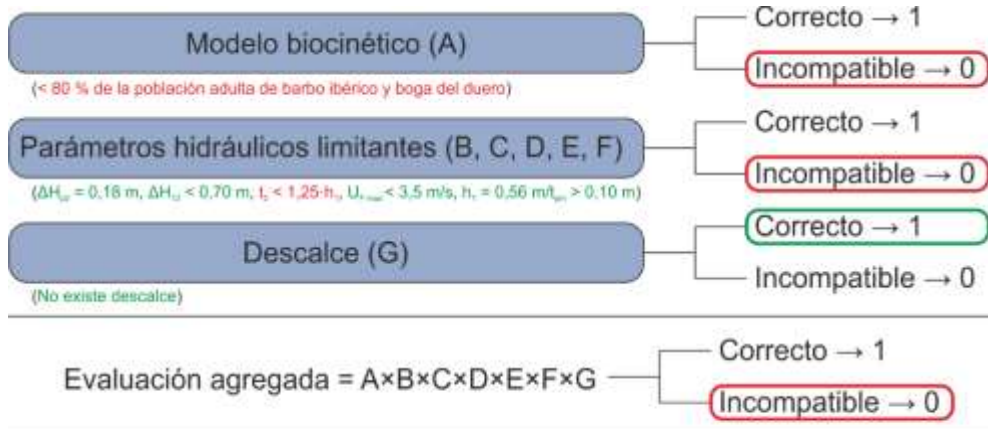
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (8,6 m³/s)

Anchura (B) = 25,00 m	Distancia de nado (D)= 8,00 m
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,70 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,62 m
Altura alas vertedero (h')= 0,60 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 1,32 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,59 m
Longitud (L)= 15,30 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,85 m
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 7,00 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= 0,11 m
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 8,30 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂)= 0,73 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 10/05/2018	CAUDAL: 8,6 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio	Q _{50%} migración: 7,5 m ³ /s
	

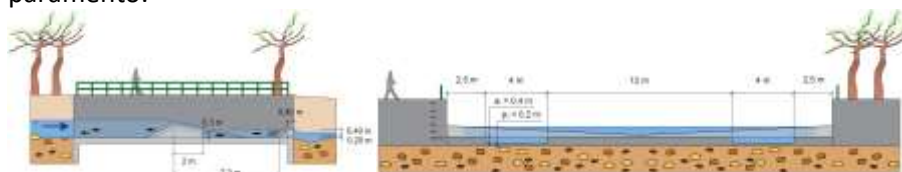
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)







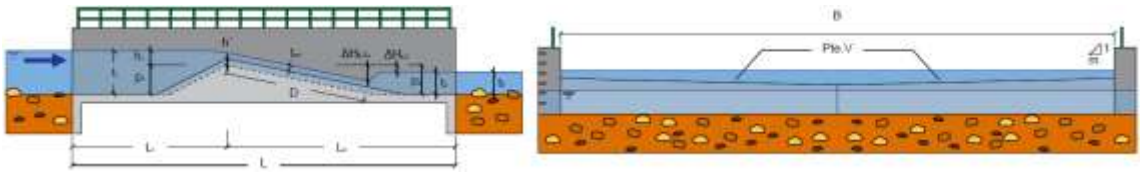
0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.





SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es cambiar la tipología de la estación o mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar en el obstáculo (D). Esto se consigue mediante el aumento de la cota de la lámina de agua bajo la estación de aforos hasta una cota 10 cm inferior al vértice de la "V". Asimismo, se recomienda que la alternativa que se seleccione incluya, además de la construcción de un murete, el truncado del paramento.



6.4. Río Pisuerga en Cordovilla la Real (Palencia)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE CORDOVILLA			
 Datos Geográficos			
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500062	2029	CORDOVILLA	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
PISUERGA	PISUERGA	CORDOVILLA LA REAL	PALENCIA
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
	HUSO 30	X	396725 Y 4665025
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	
			
 Datos Estación			
TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q₃₃₀
V-FLAT	-	4218 km ²	5,4 m ³ /s
CROQUIS			
			
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (8,2 m³/s)			
Anchura (B) = 20,00 m	Distancia de nado (D)= 10,00 m		
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,90 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,50 m		
Altura alas vertedero (h')= 0,50 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 1,4 m		
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,98 m		
Longitud (L)= 18,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 1,2 m		
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 8,60 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= -		
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 9,40 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂) = 0,42 m		

 Situación Actual	
FECHA DE MEDICIÓN: 05/06/2018	CAUDAL: 8,2 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50% migración} : 9,6 m ³ /s – 13,1 m ³ /s
	
 Análisis Permeabilidad (Q_{50% migración})	
<p>Modelo biocinético (A) (> 80 % de la población adulta de trucha, barbo ibérico y boga del duero)</p>	<p>Correcto → 1 Incompatible → 0</p>
<p>Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F) ($\Delta H_{\text{ca}} < 0,3 \text{ m}$, $\Delta H_{\text{ca}} < 0,70 \text{ m}$, $t_j > 1,25 \text{ h}$, $U_{\text{ca}} < 3,5 \text{ m/s}$, $h_j > 0,15 \text{ m}$, $t_{\text{ca}} > 0,10 \text{ m}$)</p>	<p>Correcto → 1 Incompatible → 0</p>
<p>Descalce (G) (No existe descalce)</p>	<p>Correcto → 1 Incompatible → 0</p>
<p>Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G</p>	<p>Correcto → 1 Incompatible → 0</p>
<p>1: Estructura franqueable por una proporción adecuada de la población.</p>	
SOLUCIÓN	No se precisa de ninguna actuación.

6.5. Río Arlanzón en Pineda de la Sierra (Burgos)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE PINEDA DE LA SIERRA



Datos Geográficos

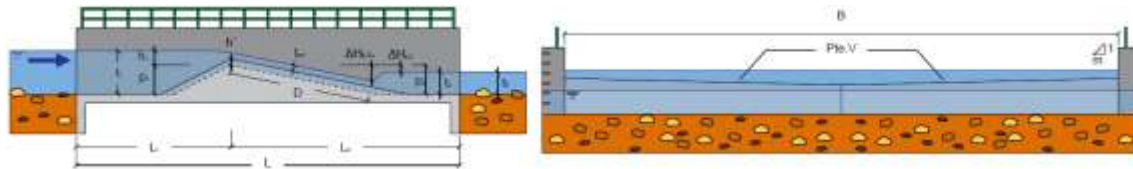
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
7500162	2508	PINEDA DE LA SIERRA	-		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
ARLANZA	ARLANZÓN	PINEDA DE LA SIERRA	BURGOS		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	474856	Y	4674854
PLANO DE SITUACIÓN			ORTOFOTO		



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q ₃₃₀
V-FLAT	BOYA CONTRAPESO	59 km ²	0,11 m ³ /s

CROQUIS



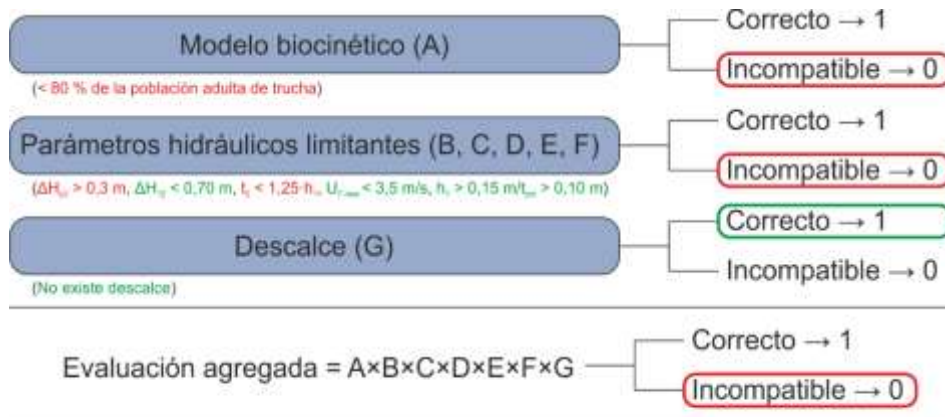
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,2 m³/s)

Anchura (B) = 14,00 m	Distancia de nado (D)= 8,00 m
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,52 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,22 m
Altura alas vertedero (h')= 0,35 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 0,75 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,09 m
Longitud (L)= 19,50 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,52 m
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 13,00 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= 0,43
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 6,50 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂)= 0,65 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 17/05/2018	CAUDAL: 1,2 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 1,3 m ³ /s
	

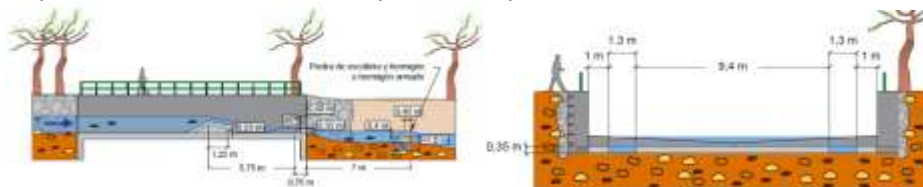
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es o bien cambiar la tipología de la estación o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar en el obstáculo (*D*). Esto se consigue mediante el aumento de la cota de la lámina de agua bajo la estación de aforos hasta una cota 10 cm inferior al vértice de la "V". Asimismo, se precisa de la construcción de un murete en el río para corregir el descalce existente aguas abajo de la estación y la realización del truncado parcial del paramento inferior de la estación.



6.6. Río Arlanza en Salas de los Infantes (Burgos)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE SALAS DE LOS INFANTES



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
7500061	2028	SALAS DE LOS INFANTES	4405		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
ARLANZA	ARLANZA	SALAS DE LOS INFANTES	BURGOS		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	477011	Y	4653623

PLANO DE SITUACIÓN



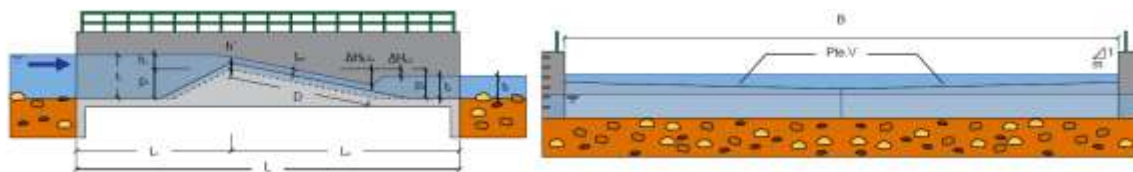
ORTOFOTO



Datos Estación





TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1>0,20}$
V-FLAT	BOYA CONTRAPESO	356 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (2,62 m³/s)

Anchura (B) = 14,00 m	Distancia de nado (D) = 6,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$) = 0,56 m	Carga de vertido superior (h_1) = 0,32 m
Altura alas vertedero (h') = 0,28 m	Profundidad de aguas arriba (t_1) = 0,88 m
Pendiente transversal (Pte. V) = 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2) = 0,59 m
Longitud (L) = 13,10 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3) = 0,69 m
Longitud losa aguas arriba (L_1) = 5,30 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2}) = -
Longitud losa aguas abajo (L_2) = 7,80 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,29 m

 Situación Actual											
FECHA DE MEDICIÓN: 17/05/2018	CAUDAL: 2,62 m ³ /s										
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 2,2 m ³ /s – 3,0 m ³ /s										
											
 Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)											
<table border="0"> <tr> <td style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Modelo biocinético (A) <small>(> 80 % de la población adulta de trucha, barbo ibérico y boga del duero)</small> </td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0 </td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F) <small>($\Delta H_{\text{ca}} < 0,3 \text{ m}$, $\Delta H_{\text{ca}} < 0,70 \text{ m}$, $t_j > 1,25 \text{ h}$, $U_{\text{ca}} < 3,5 \text{ m/s}$, $h_j > 0,15 \text{ m}$, $t_{\text{ca}} > 0,10 \text{ m}$)</small> </td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0 </td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Descalce (G) <small>(No existe descalce)</small> </td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0 </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0 </td> </tr> </table> <p>1: Estructura franqueable por una proporción adecuada de la población.</p>		Modelo biocinético (A) <small>(> 80 % de la población adulta de trucha, barbo ibérico y boga del duero)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0	Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F) <small>($\Delta H_{\text{ca}} < 0,3 \text{ m}$, $\Delta H_{\text{ca}} < 0,70 \text{ m}$, $t_j > 1,25 \text{ h}$, $U_{\text{ca}} < 3,5 \text{ m/s}$, $h_j > 0,15 \text{ m}$, $t_{\text{ca}} > 0,10 \text{ m}$)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0	Descalce (G) <small>(No existe descalce)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0	Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G		<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0	
Modelo biocinético (A) <small>(> 80 % de la población adulta de trucha, barbo ibérico y boga del duero)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0										
Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F) <small>($\Delta H_{\text{ca}} < 0,3 \text{ m}$, $\Delta H_{\text{ca}} < 0,70 \text{ m}$, $t_j > 1,25 \text{ h}$, $U_{\text{ca}} < 3,5 \text{ m/s}$, $h_j > 0,15 \text{ m}$, $t_{\text{ca}} > 0,10 \text{ m}$)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0										
Descalce (G) <small>(No existe descalce)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0										
Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G											
<input checked="" type="checkbox"/> Correcto → 1 <input type="checkbox"/> Incompatible → 0											
SOLUCIÓN	No se precisa de ninguna actuación.										

6.7. Río Arlanza en Covarrubias (Burgos)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE COVARRUBIAS



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500063	2030	COVARRUBIAS	4406
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ARLANZA	ARLANZA	COVARRUBIAS	BURGOS
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
	HUSO 30	X	457907
			Y
			4655889

PLANO DE SITUACIÓN



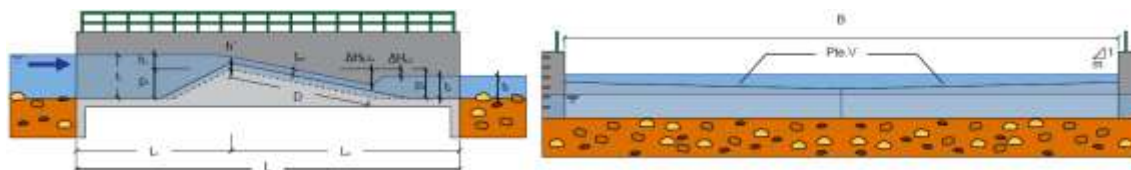
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q_{330}
V-FLAT	SONDA Y LIMNÍGRAFO	1208 km ²	0,60 m ³ /s

CROQUIS



PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (9,0 m³/s)

Anchura (B) = 24,00 m	Distancia de nado (D)= 10
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$)= 0,92 m	Carga de vertido superior (h_1)= 0,59 m
Altura alas vertedero (h')= 0,60 m	Profundidad de aguas arriba (t_1)= 1,50 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2)= 0,52 m
Longitud (L)= 19,50 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3)= 0,95 m
Longitud losa aguas arriba (L_1)= 10,50 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,40 m
Longitud losa aguas abajo (L_2)= 9,00 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12})= 0,99 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 17/05/2018

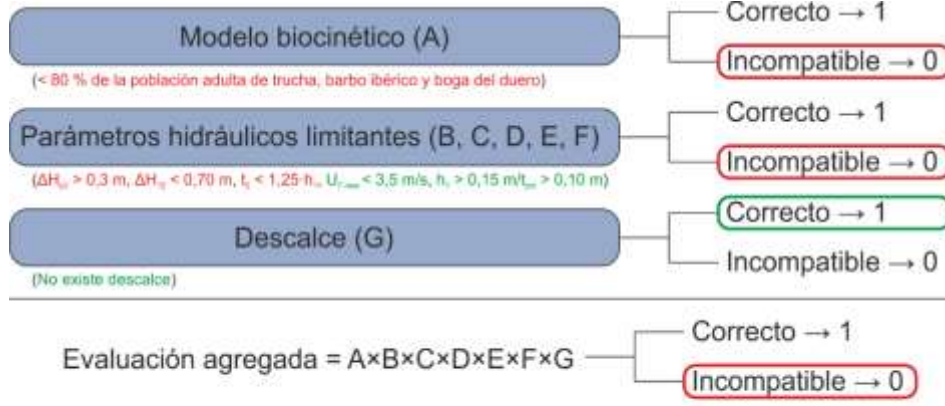
CAUDAL: 9,0 m³/s

ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio -
 Noviembre y diciembre

Q_{50%} migración: 11,0 m³/s – 9,8 m³/s



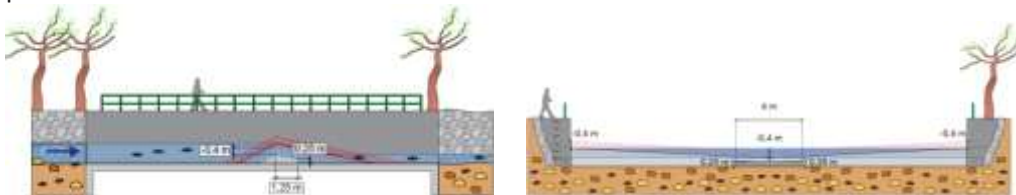
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar en el obstáculo (D). Esto se consigue rebajando la cota del vértice 0,40 m. Asimismo, se recomienda que la alternativa que se seleccione incluya, además, el truncado parcial del paramento.



6.8. Río Duero en Molinos del Duero (Soria)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE MOLINOS DE DUERO



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500108	2101	MOLINOS DE DUERO	4462
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ALTO DUERO	DUERO	MOLINOS DE DUERO	MOLINOS DE DUERO
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		517760	4637449

PLANO DE SITUACIÓN



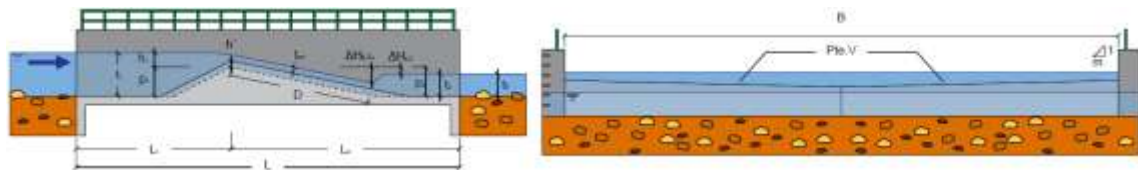
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0,2}$
V-FLAT	FLOTADOR + LIMNÍGRAFO	131 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



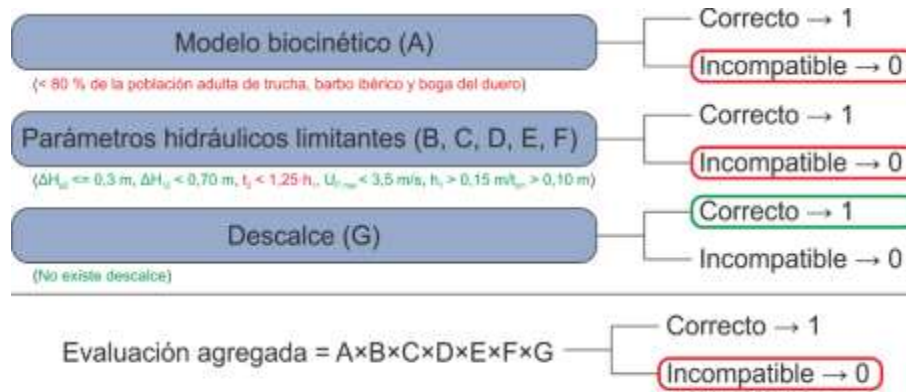
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,70 m³/s)

Anchura (B) = 10,00 m	Distancia de nado (D)= 9,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$)= 0,40 m	Carga de vertido superior (h_1)= 0,25 m
Altura alas vertedero (h')= 0,27 m	Profundidad de aguas arriba (t_1)= 0,63 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2)= 0,07 m
Longitud (L)= 15,50 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3)= 0,85 m
Longitud losa aguas arriba (L_1)= 7,20 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,32 m
Longitud losa aguas abajo (L_2)= 8,30 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,57 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 19/06/2018	CAUDAL: 1,7 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 2,2 m ³ /s – 1,7 m ³ /s
	

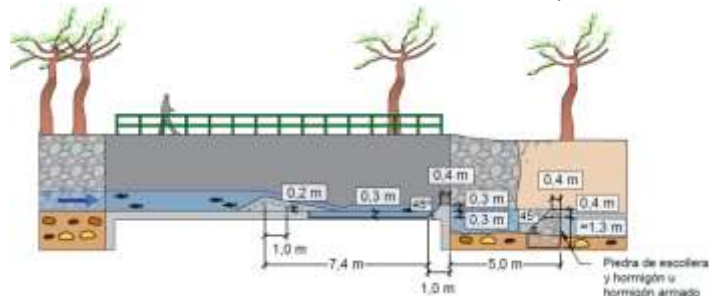
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta la cota de la lámina de aguas abajo hasta que se encuentre a 0,10 m del vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.



6.9. Río Cega en Aguilafuente (Segovia)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE AGUILAFUENTE



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
7500168	2517	AGUILAFUENTE	1538		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
ADAJA-CEGA	CEGA	AGUILAFUENTE	SEGOVIA		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	408427	Y	4569724

PLANO DE SITUACIÓN



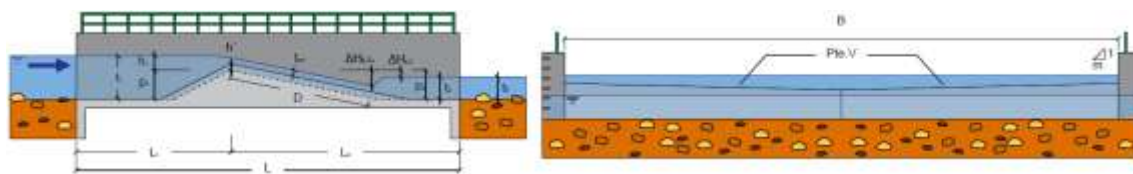
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0,2}$
V-FLAT	BOYA CONTRAPESO	576 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



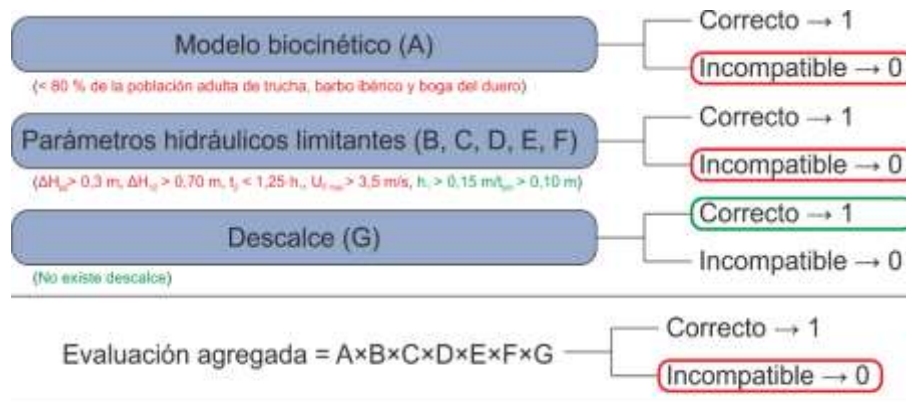
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,10 m³/s)

Anchura (B) = 24,00 m	Distancia de nado (D)= 10,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$)= 0,90 m	Carga de vertido superior (h_1)= 0,21 m
Altura alas vertedero (h')= 0,62 m	Profundidad de aguas arriba (t_1)= 1,18 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2)= 0,47 m
Longitud (L)= 20,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3)= 0,67 m
Longitud losa aguas arriba (L_1)= 9,10 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,43 m
Longitud losa aguas abajo (L_2)= 10,90 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,64 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 25/06/2018	CAUDAL: 1,1 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 1,2 m ³ /s – 0,6 m ³ /s
	

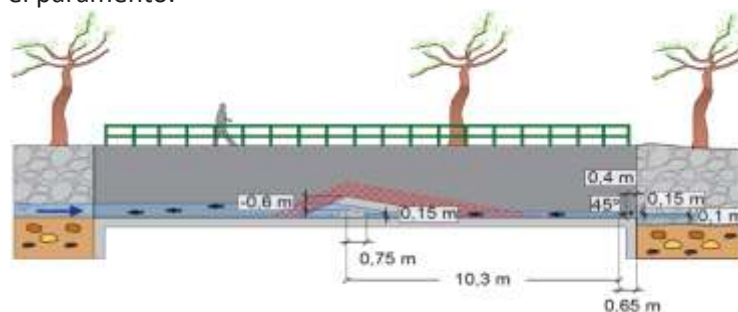
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se rebaja el vértice 0,6 m y se aumenta el nivel de la lámina de aguas abajo hasta una cota 0,05 m menor al nuevo vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.

SOLUCIÓN



6.10. Río Cega en Megeces (Valladolid)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE MEGECES



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
75000169	2518	MEGECES	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ADAJA-CEGA	CEGA	MEGECES	VALLADOLID
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		368662	4586138

PLANO DE SITUACIÓN



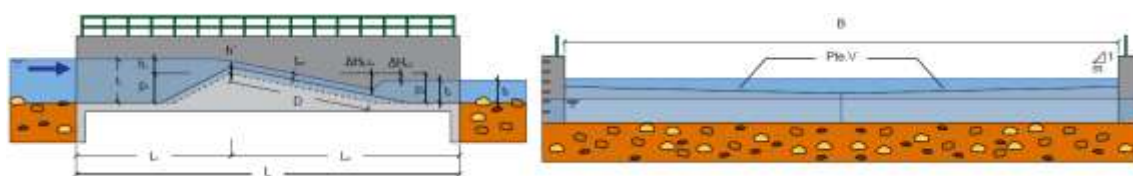
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0.2}$
V-FLAT	RADAR	2249 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,7 m³/s)

Anchura (B) = 12,00 m	Distancia de nado (D) = 9,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$) = 0,40 m	Carga de vertido superior (h_1) = 0,26 m
Altura alas vertedero (h') = 0,42 m	Profundidad de aguas arriba (t_1) = 0,68 m
Pendiente transversal (Pte. V) = 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2) = 0,33 m
Longitud (L) = 19,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3) = 0,84 m
Longitud losa aguas arriba (L_1) = 9,70 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2}) = 0,07 m
Longitud losa aguas abajo (L_2) = 8,30 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,33 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 10/07/2018

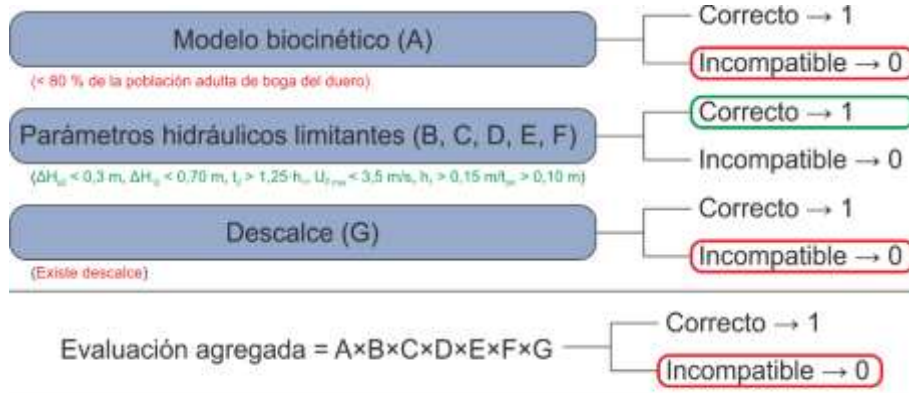
CAUDAL: 1,7 m³/s

ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio

Q_{50%} migración: 2,2 m³/s



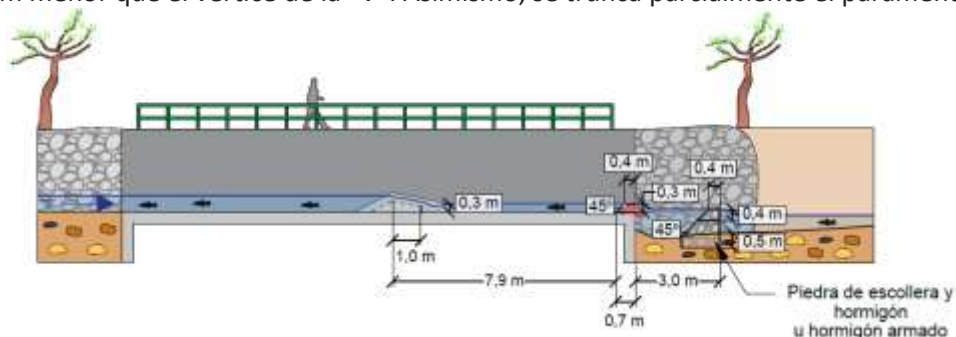
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)







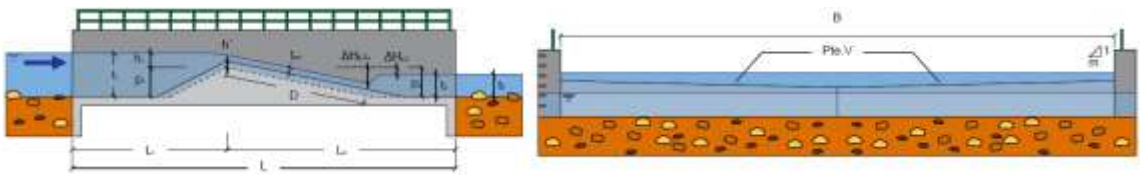
0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta el nivel de la lámina de aguas abajo hasta una cota 0,10 m menor que el vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.

SOLUCIÓN



6.11. Río Adaja en Valdestillas (Valladolid)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE VALDESTILLAS			
 Datos Geográficos			
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
7500084	2056	VALDESTILLAS	1624
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ADAJA-CEGA	ADAJA	VALDESTILLAS	VALLADOLID
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		352248	4594711
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	
			
 Datos Estación			
TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q₃₃₀
V-FLAT	RADAR	5178 km ²	1,5 m ³ /s
CROQUIS			
			
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,5 m³/s)			
Anchura (B) = 28,00 m	Distancia de nado (D)= 8,00 m		
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,70 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,41 m		
Altura alas vertedero (h')= 0,68 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 1,10 m		
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,82 m		
Longitud (L)= 19,50 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,74 m		
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 9,50 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= 0,11 m		
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 10,00 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂) = 0,52 m		

 **Situación Actual**

FECHA DE MEDICIÓN: 10/07/2018

CAUDAL: 1,5 m³/s

ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio

Q_{50% migración}: 6,3 m³/s



 **Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)**

Modelo biocinético (A)

(> 80 % de la población adulta de barbo ibérico y boga del duero)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Parámetros hidráulicos limitantes (B, C, D, E, F)

($\Delta H_{10} < 0,3$ m, $\Delta H_{50} < 0,70$ m, $t_f > 1,25$ h, $U_{f, max} < 3,5$ m/s, $h_f > 0,15$ m, $t_w > 0,10$ m)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Descalce (G)

(No existe descalce)

Correcto → 1

Incompatible → 0

Evaluación agregada = A×B×C×D×E×F×G

Correcto → 1





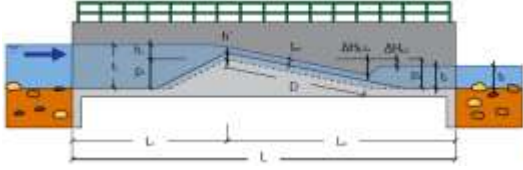
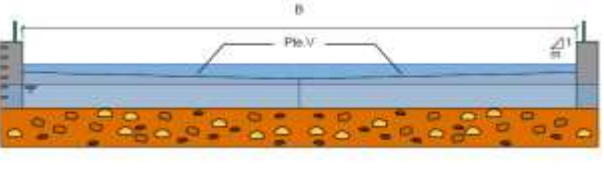
Incompatible → 0

1: Estructura franqueable por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

No se precisa de ninguna actuación.

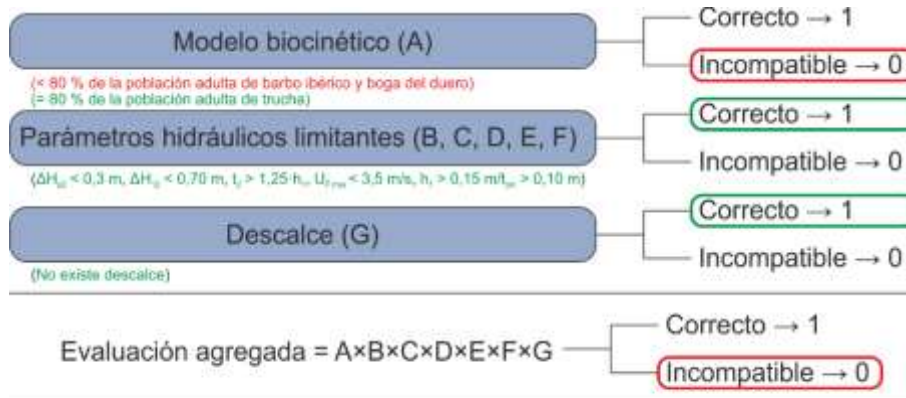
6.12. Río Luna en Barrios de Luna (León)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE BARRIOS DE LUNA			
 Datos Geográficos			
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
1006374	2122	BARRIOS DE LUNA	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ÓRBIGO	LUNA	BARRIOS DE LUNA	LEÓN
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		265387	4746632
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	
			
 Datos Estación			
TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q ₃₃₀
V-FLAT	BOYA-CONTRAPESO	492 km ²	1,2 m ³ /s
CROQUIS			
			
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (1,50 m ³ /s)			
Anchura (B) = 14,00 m	Distancia de nado (D)= 7,00 m		
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,60 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,26 m		
Altura alas vertedero (h')= 0,37 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 0,82 m		
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,40 m		
Longitud (L)= 14,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,44 m		
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 6,00 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2})= 0,15 m		
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 8,00 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂) = 0,55 m		

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 04/07/2018	CAUDAL: 1,5 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 1,6 m ³ /s – 1,9 m ³ /s
	

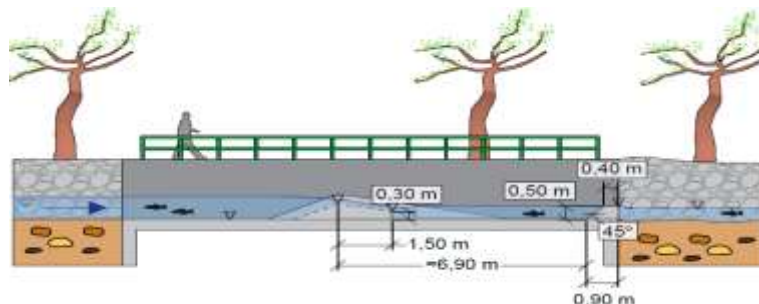
Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta el nivel de la lámina de aguas abajo hasta una cota 0,10 m menor que el vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.



6.13. Río Duerna en Velilla de Valduerna (León)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE VELILLA VALDUERNA



Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
1008514	2520	VELILLA VALDUERNA	-		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
ÓRBIGO	DUERNA	CASTRILLO VALDUERNA	LEÓN		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	240710	Y	4690609

PLANO DE SITUACIÓN



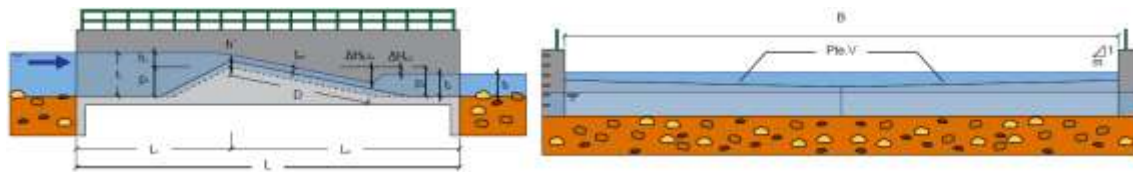
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0,2}$
V-FLAT	BOYA CONTRAPESO	247 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



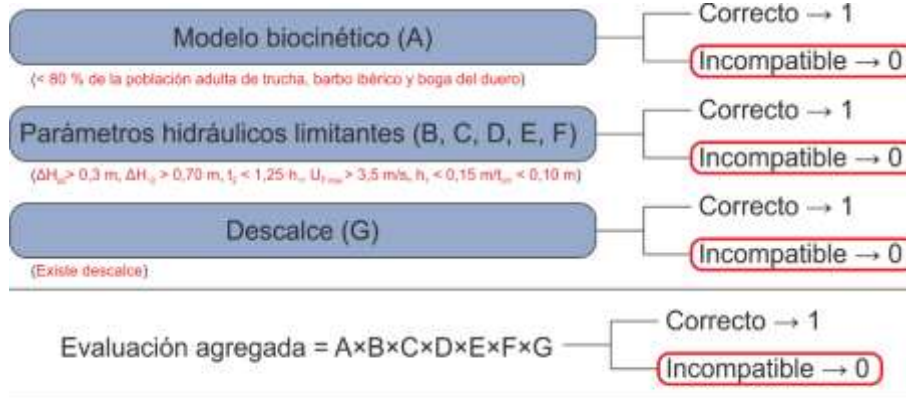
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (2,70 m³/s)

Anchura (B) = 20,00 m	Distancia de nado (D)= 9,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$)= 0,50 m	Carga de vertido superior (h_1)= 0,33 m
Altura alas vertedero (h')= 0,49 m	Profundidad de aguas arriba (t_1)= 0,83 m
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2)= 0,06 m
Longitud (L)= 15,60 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3)= 0,68 m
Longitud losa aguas arriba (L_1)= 7,60 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,44 m
Longitud losa aguas abajo (L_2)= 8,00 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,77 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 04/07/2018	CAUDAL: 2,7 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50%} migración: 1,5 m ³ /s – 2,4 m ³ /s
	

Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta el nivel de la lámina de aguas abajo hasta una cota 0,10 m menor que el vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.



6.14. Río Porma en Camposillo (Puebla de Lillo, León)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE VELILLA VALDUERNA



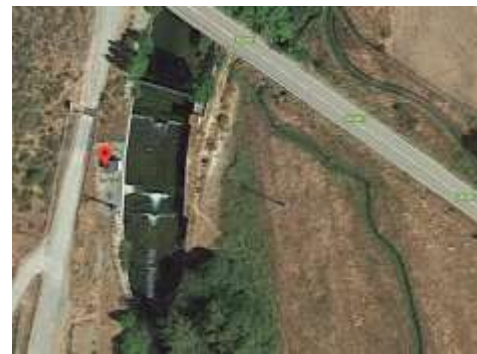
Datos Geográficos

IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD		
1007399	2520	CAMPOSOLILLO	-		
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA		
ESLA-VALDERADUEY	PORMA	PUEBLA DE LILLO	LEÓN		
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	315756	Y	4762041

PLANO DE SITUACIÓN



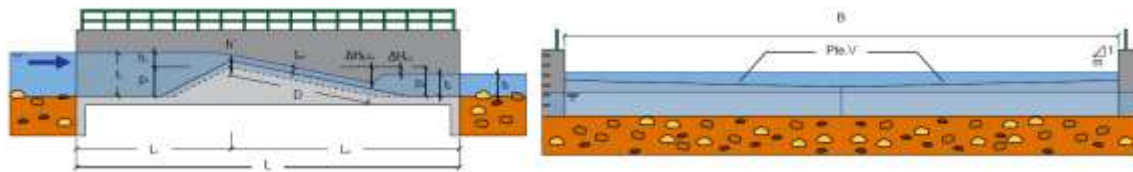
ORTOFOTO



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	Q ₃₃₀
V-FLAT	SONDA Y LIMNÍGRAFO	145 km ²	1,8 m ³ /s

CROQUIS



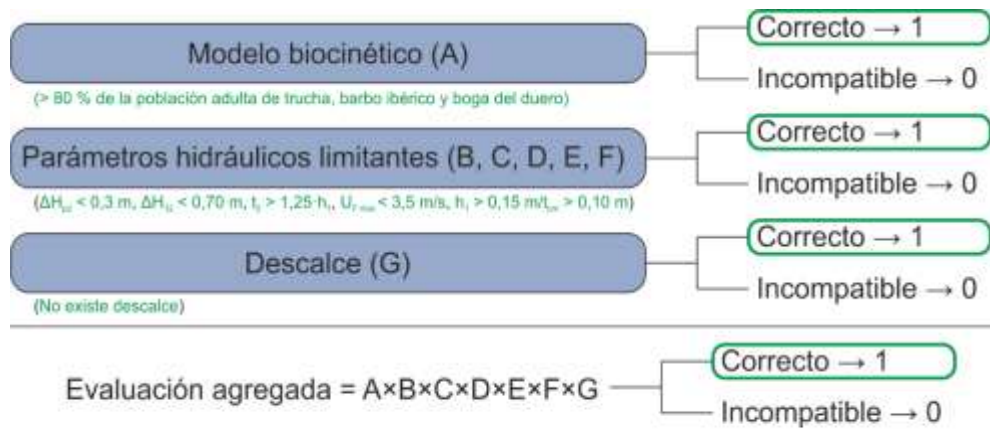
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (3,4 m³/s)

Anchura (B) = 18,00 m	Distancia de nado (D) = 6,00 m
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂) = 0,50 m	Carga de vertido superior (h ₁) = 0,36 m
Altura alas vertedero (h') = 0,48 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁) = 0,87 m
Pendiente transversal (Pte. V) = 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂) = 0,44 m
Longitud (L) = 16,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃) = 0,46 m
Longitud losa aguas arriba (L ₁) = 8,10 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH _{p2}) = 0,05 m
Longitud losa aguas abajo (L ₂) = 7,90 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH ₁₂) = 0,41 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 04/07/2018	CAUDAL: 3,4 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50% migración} : 3,0 m ³ /s – 3,1 m ³ /s
	

Análisis Permeabilidad



1: Estructura franqueable por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Es necesario reemplazar las estructuras metálicas existentes por otra con mayor resistencia.

6.15. Río Torío en Getino (León)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE GETINO



Datos Geográficos

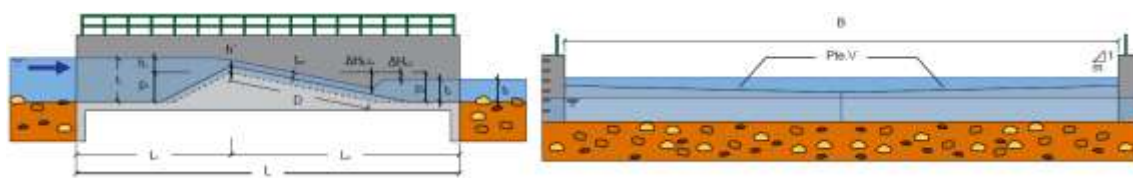
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
1008061	2542	GETINO	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ESLA-VALDERADUEY	TORÍO	CÁRMENES	LEÓN
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		291728	4757547
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	



Datos Estación

TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0,2}$
V-FLAT	BOYA CONTRAPESO	117 km ²	0,6 m ³ /s

CROQUIS



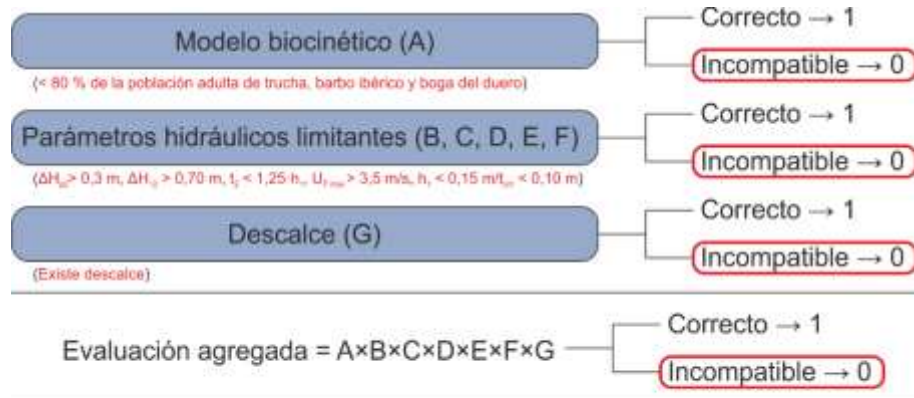
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (2,0 m³/s)

Anchura (B) = 15,00 m	Distancia de nado (D) = 9,00 m
Altura vértice vertedero ($p_1=p_2$) = 0,60 m	Carga de vertido superior (h_1) = 0,31 m
Altura alas vertedero (h') = 0,35 m	Profundidad de aguas arriba (t_1) = 0,97 m
Pendiente transversal (Pte. V) = 1:20	Profundidad de aguas abajo (t_2) = 0,07 m
Longitud (L) = 15,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t_3) = 0,42 m
Longitud losa aguas arriba (L_1) = 7,10 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2}) = 0,59 m
Longitud losa aguas abajo (L_2) = 7,90 m	Dif. Entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,90 m

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 04/07/2018	CAUDAL: 2,0 m ³ /s
ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio - Noviembre y diciembre	Q _{50% migración} : 3,2 m ³ /s – 4,0 m ³ /s
	

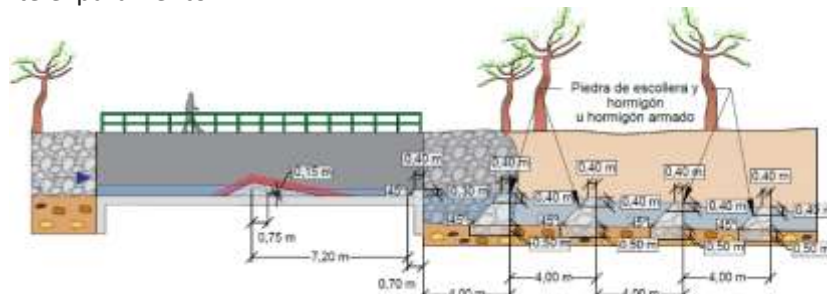
Análisis Permeabilidad







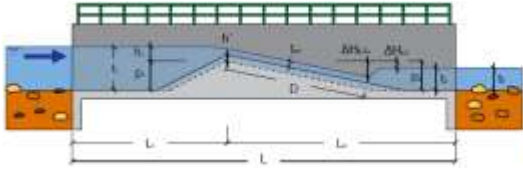
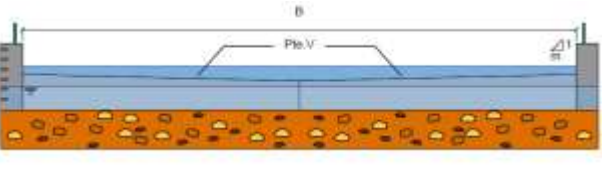
0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se rebaja el vértice 0,3 m y se aumenta la cota de la lámina de aguas abajo hasta que contacte con el nuevo vértice de la “V”. Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.



6.16. Río Orza en Vegacerneja (León)

FICHA TÉCNICA ESTACIÓN DE AFOROS DE BARRIOS DE LUNA			
 Datos Geográficos			
IDENTIFICADOR	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO AZUD
1008122	2535	VEGACERNEJA	-
SUBCUENCA	CAUCE	MUNICIPIO	PROVINCIA
ESLA-VALDERADUEY	ORZA	BURÓN	LEÓN
COORDENADAS UTM	HUSO 30	X	Y
		336404	4767455
PLANO DE SITUACIÓN		ORTOFOTO	
			
 Datos Estación			
TIPO AFORO	INSTRUMENTACIÓN	CUENCA VERTIENTE	$Q_{h1=0,20}$
V-FLAT	BOYA-CONTRAPESO	79 km ²	0,6 m ³ /s
CROQUIS			
			
PRINCIPALES VARIABLES PARA EL CAUDAL DURANTE LA VISITA (2,90 m ³ /s)			
Anchura (B) = 8,00 m	Distancia de nado (D)= 6,00 m		
Altura vértice vertedero (p ₁ =p ₂)= 0,50 m	Carga de vertido superior (h ₁)= 0,66 m		
Altura alas vertedero (h')= 0,21 m	Profundidad de aguas arriba (t ₁)= 0,86 m		
Pendiente transversal (Pte. V)= 1:20	Profundidad de aguas abajo (t ₂)= 0,38 m		
Longitud (L)= 15,00 m	Profundidad aguas abajo losa (t ₃)= 0,85 m		
Longitud losa aguas arriba (L ₁)= 7,50 m	Dif. vértice-lámina aguas abajo (ΔH_{p2})= 0,12 m		
Longitud losa aguas abajo (L ₂)= 7,50 m	Dif. entre láminas de aguas (ΔH_{12}) = 0,78 m		

Situación Actual

FECHA DE MEDICIÓN: 04/07/2018

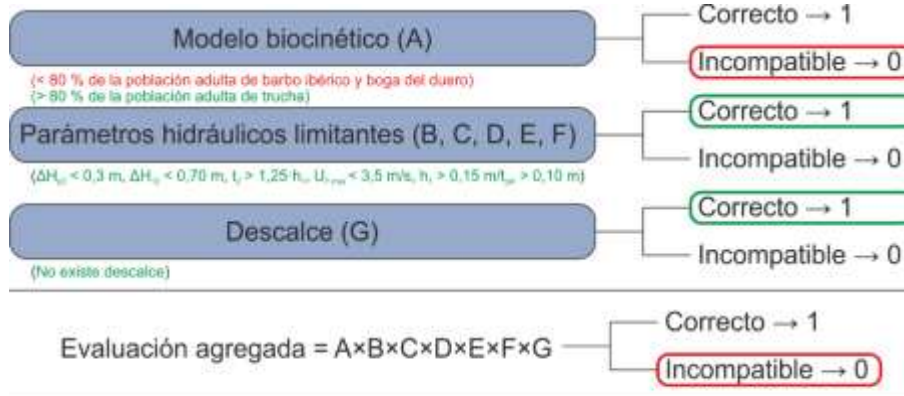
CAUDAL: 2,9 m³/s

ÉPOCA DE MIGRACIÓN: Mayo y junio -
 Noviembre y diciembre

Q_{50%} migración: 1,7 m³/s – 2,7 m³/s



Análisis Permeabilidad (Q_{50%} migración)



0: No se puede asegurar la franqueabilidad por una proporción adecuada de la población.

SOLUCIÓN

Para afrontar la problemática existente, se considera que la mejor solución es, o bien cambiar la tipología de la estación, o bien mantenerla, disminuyendo la distancia a nadar (D) y la velocidad del flujo. Para ello se aumenta el nivel de la lámina de aguas abajo hasta una cota 0,10 m menor que el vértice de la "V". Asimismo, se trunca parcialmente el paramento.

