

**MEMORIA**



## INDICE

<b>1.</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETO</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL RÍO ZADORRA</b> .....	<b>6</b>
3.1.	HIDROLOGÍA.....	6
3.2.	CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.....	7
<b>4.</b>	<b>FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL</b> .....	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA</b> .....	<b>9</b>
5.1.	LOCALIZACIÓN.....	9
5.2.	SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	9
5.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD.....	10
<b>6.</b>	<b>PERMEABILIZACIÓN</b> .....	<b>13</b>
6.1.	PARÁMETROS DE PARTIDA.....	13
6.1.1.	<i>Especies objetivo</i> .....	13
6.1.2.	<i>Caudales preferentes</i> .....	14
6.1.3.	<i>Zona de llamada y salida del paso</i> .....	14
6.2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	16
6.3.	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	16
6.4.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	17
	CAUDALES CIRCULANTES.....	18
6.5.	SALTO TOTAL Y NÚMERO DE ESTANQUES.....	19
6.6.	CAUDAL, DISEÑO Y DIMENSIONES DE ESTANQUES Y VERTEDEROS.....	20
6.7.	CAUDAL A SECCIÓN LLENA Y SECCIÓN MOJADA.....	24
6.8.	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN ESCOTADURAS.....	25
6.9.	DISIPACIÓN ENERGÉTICA EN LOS ESTANQUES.....	25
6.10.	EMPLAZAMIENTO Y ZONA DE LLAMADA.....	26
6.11.	SOBREDIMENSIONAMIENTO DE VERTEDEROS Y MUROS CAJEROS.....	26
<b>7.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO</b> .....	<b>27</b>
<b>8.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA</b> .....	<b>27</b>
8.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA RAMPA DE PIEDRAS.....	28
<b>9.</b>	<b>PLAZO DE LAS OBRAS</b> .....	<b>29</b>
<b>10.</b>	<b>PRESUPUESTO</b> .....	<b>29</b>



## **1. ANTECEDENTES.**

Con objeto de mejorar la continuidad fluvial de la cuenca del Ebro, uno de los objetivos de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE), en aquellas masas en riesgo de incumplimiento de los objetivos de calidad se ha realizado el siguiente trabajo “Análisis del funcionamiento de escalas de peces existentes en la cuenca del Ebro y para la propuesta de nuevas escalas en el estudio de presas y azudes en los que se necesita su instalación para alcanzar el buen estado de las aguas según la Directiva 2000/60/CE” contratado por la Confederación Hidrográfica del Ebro a Tecnomá.

Durante la fase inicial se realizó una priorización de masas con el objeto de escoger aquellas que presentaban mejores condiciones para instalar un paso para peces.

En la segunda fase o fase final el trabajo se ha centrado en el diseño de 10 escalas o pasos para peces en aquellos obstáculos impermeables que impiden sus migraciones.

## **2. OBJETO.**

El presente Anejo tiene por objeto el diseño de un paso de fauna, acorde con la ictiofauna del río Zadorra a su paso por el municipio de Arrazua-Ubarrundia, que permita a los peces **potamodromos** realizar sus migraciones tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura transversal; así como la descripción y justificación de esta obra para la correcta realización de la rampa de piedras en su aspecto técnico, con los cálculos necesarios para su dimensionamiento y los datos básicos de partida utilizados en éste.

De esta forma, se mejorará la continuidad fluvial para la ictiofauna del río Zadorra, con todas las ventajas que ello supone para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones piscícolas.

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO ZADORRA

#### 3.1. HIDROLOGÍA.

Para el diseño de la rampa de piedras de estanques sucesivos es de vital importancia conocer los caudales circulantes en el tramo de río donde se va a diseñar el paso de fauna.

Ya que se trata de un obstáculo situado aguas abajo de un embalse, el caudal de este se encuentra regulado; por ello se ha partido de los datos de los caudales ecológicos de dicho río, facilitados por la CHE.

En la siguiente gráfica se representa el régimen hidrológico. El río Zadorra presenta un régimen simple con un periodo de caudales altos, comprendido del 15 de junio al 15 de octubre (675 l/s), y otro de caudales bajos el resto del año (375 l/s).

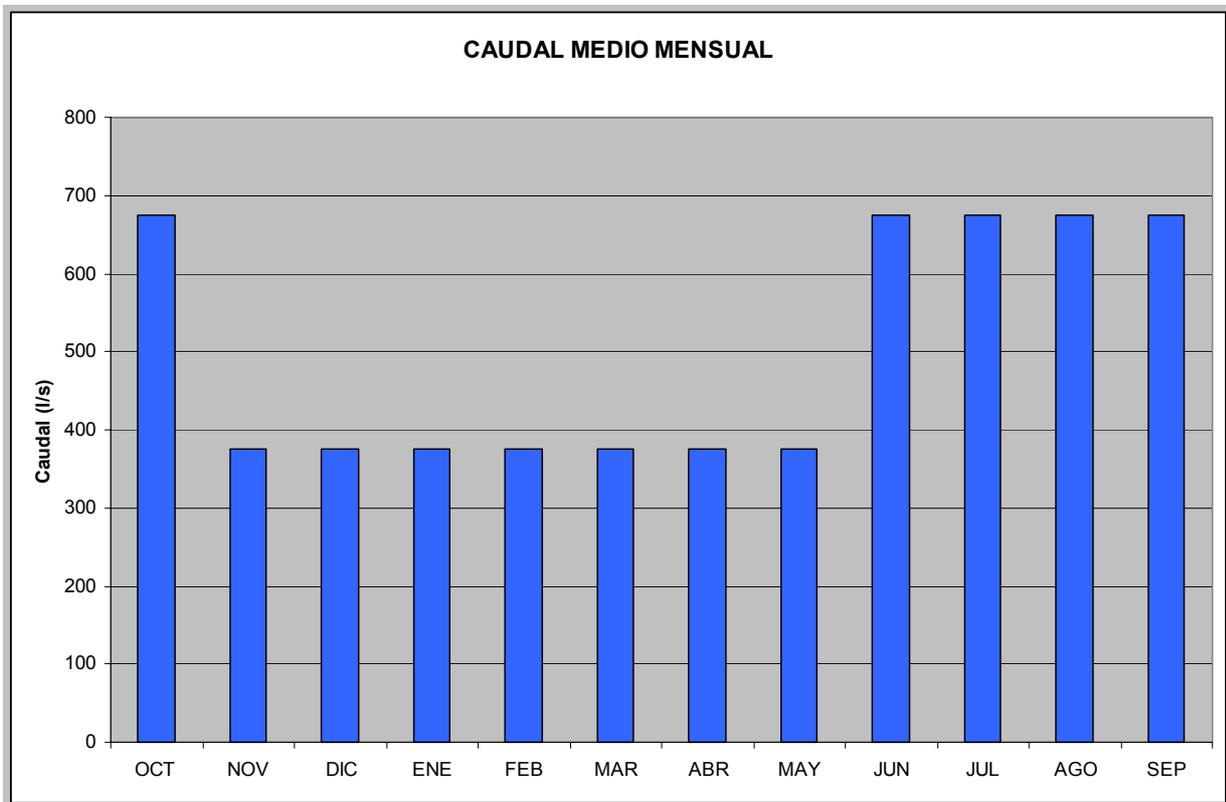


Fig. 1. Régimen anual del río Zadorra. (Fuente CHE)

### 3.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

En el río Zadorra de acuerdo según la información recogida en los muestreos de peces realizados por la Universidad de Barcelona (Muestreos IBI) para la Confederación Hidrográfica del Ebro nos encontramos en un tramo donde predominan las especies de ciprínidos, no obstante la *Salmo trutta* (trucha común) está presente en la mayor parte de los puntos inventariados en este río.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunas estadísticas del muestreo IBI 353 y 355 (Coordenadas UTM Huso 30 X 531.412 Y 4.752.657 y X 529.651 Y 4.750.221) utilizadas en el diseño de la rampa de piedras.

Masa 243. Río Zadorra IBI 353 y 355								
Especie	Ejemplares	Talla media	Desv Típica	Peso medio	Desv Típica	Máx Talla	Máx Peso	Biomasa
<i>Esox lucius</i>	1	130,00	0,00	18,50	0,00	130,0	18,50	2405,00
<i>Phoxinus phoxinus</i>	3	65,67	8,99	3,30	1,49	73,0	4,50	216,70
<i>Barbatula barbatula</i>	4	65,25	16,39	2,80	1,74	82,0	5,00	182,70
<i>Salmo trutta</i>	26	136,85	53,77	51,87	47,57	228,00	152,10	7097,58
TOTAL	34	99,44	0,00	19,12	0,00	128,25	45,03	2475,49

Tabla 1. Estadísticas del muestreo de peces IBI 353 y 355 en el río Zadorra

El grupo que mayor número de ejemplares presenta es el de la trucha común (*Salmo trutta*), seguido del pez lobo (*Barbatula barbatula*).

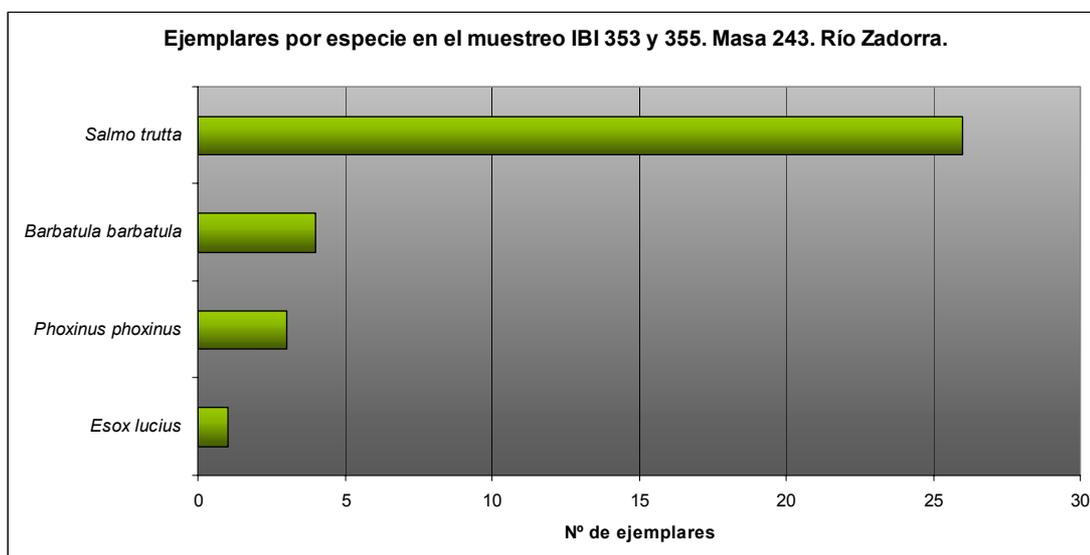


Fig. 2. Número de ejemplares por especies en el muestreo IBI 353 y 355 en el río Zadorra

La especie del muestreo que mayor biomasa presenta es la trucha común con un peso total de 7,1 Kg. repartidos para 26 individuos. La media para esta especie es de 51,87 gr.

#### 4. FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

La actuación se encuentra dentro del Lugar de Interés Comunitario Zadorra Ibaia/Río Zadorra (ES2110010).

El espacio presenta un alto grado de biodiversidad con hábitats representativos de la montaña media ibérica. El total alberga 11 hábitats naturales de los que 3 son prioritarios y algunos taxones de gran interés como el visón europeo y la nutria.

Las especies piscícolas incluidas en la ficha del anejo II son la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y el Rutilo (*Rutilus rutilus*).

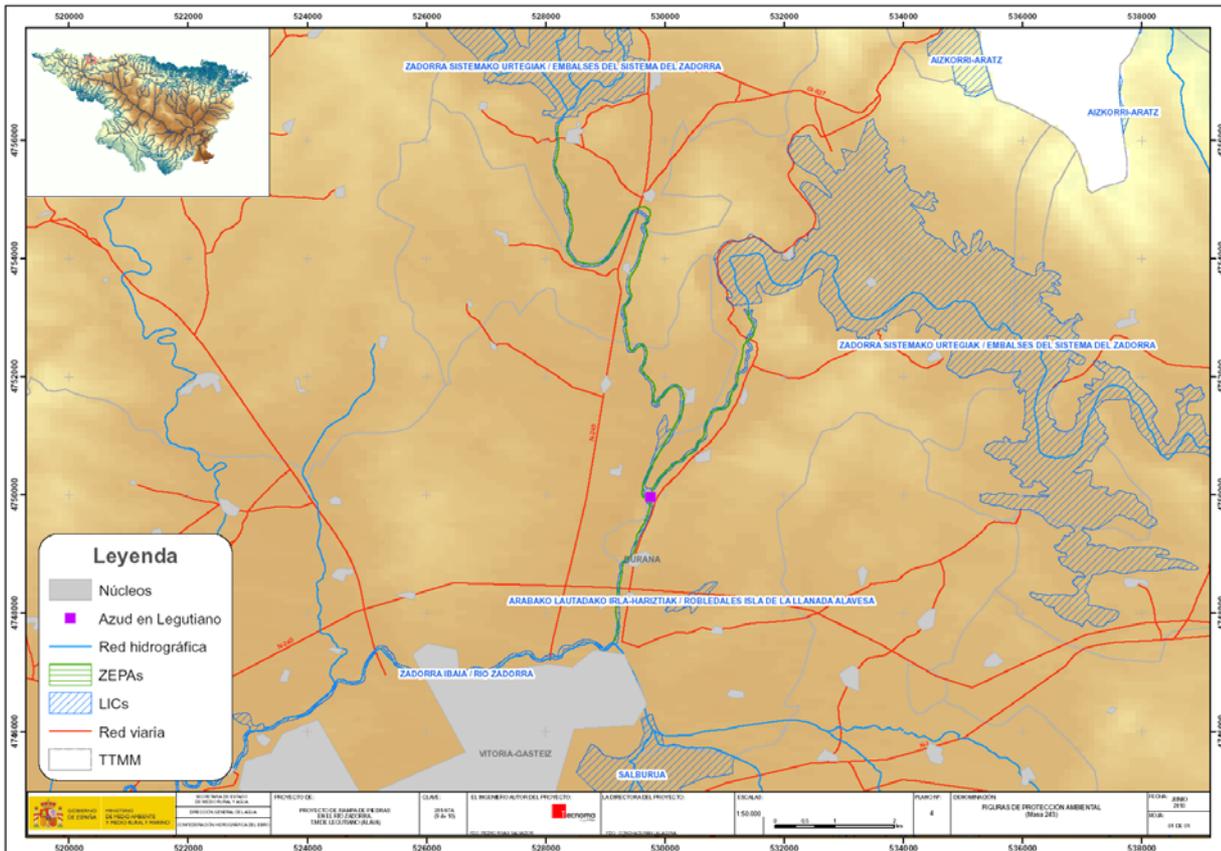


Fig. 3. Espacios de la Red Natura 2000 en el entorno de la actuación

## 5. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

### 5.1. LOCALIZACIÓN

El azud de toma se encuentra en el término municipal de Arrazua-Ubarrundia, en las coordenadas UTM del Huso 30 X 529.762,964. Y 4.749.937,765.

### 5.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Se trata de una estructura cuyo beneficiario es el Ayuntamiento de Vitoria.

El caudal ecológico fijado para la concesión de aguas es de 375 l/s a excepción del periodo comprendido entre el 15 de junio y el 15 de septiembre que será de 675 l/s.

La concesión otorgada al ayuntamiento de Vitoria en un principio fue de 50 l/s y posteriormente fue ampliada en 250 l/s más, por lo que actualmente el volumen máximo del aprovechamiento, siempre que se cumplan los caudales ecológicos establecidos, es de 300 l/s.



Fig. 4. vista del obstáculo desde la margen derecha

### 5.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD

---

Altura Total del Obstáculo	0,90 m
Cota Aguas arriba	509,61
Cota lámina de agua aguas abajo	508,71
Longitud	11,4 m
Anchura de coronación	0,25 m
Forma	Chaflan (H1,2-V1,6)
Material	Hormigón

---

Tabla 2. Principales características del azud



Fig. 5. Vista desde aguas abajo del obstáculo a permeabilizar



Fig. 6. Vista en planta de la estructura y del terreno del entorno de ésta.



Fig. 7. planta del azud y la rampa de piedras diseñada

## 6. PERMEABILIZACIÓN

El objeto del presente anejo es diseñar y definir las características de una estructura que permita las migraciones de peces a través de esta estructura transversal, tanto de aguas abajo hacia aguas arriba como al contrario.

Una rampa de piedras es la solución que permite un grado aceptable de transitabilidad para las poblaciones afectadas. Como cualquier paso de peces, las rampas de piedras requieren un estudio de las características de la población piscícola presente y de las propias condiciones fluviales.

### 6.1. PARÁMETROS DE PARTIDA

En este epígrafe se analizan cada uno de los condicionantes que las condiciones fluviales imponen para el diseño de un sistema de paso para peces.

#### 6.1.1. Especies objetivo

Se ha seleccionado como especie objetivo para tener en cuenta en el diseño de la rampa, aquellas que presentan mayores dificultades a la hora de su desplazamiento. En este caso serían la el lobo de río (*Barbatula barbatula*), el piscardo (*Phoxinus phoxinus*); siempre teniendo en consideración la Trucha común (*Salmo trutta*) por el interés social y deportivo que ofrece.

Esta relación de especies es adecuada por su representatividad y además por pertenecer a la familia de los ciprínidos, grupo con menor capacidad de salto, siendo accesible por tanto también al resto de las especies encontradas (trucha común).



Fig. 8. Lobo de río (*Barbatula barbatula*). Fuente: [www.loaches.com](http://www.loaches.com)

### 6.1.2. Caudales preferentes

En la siguiente tabla se representan los caudales para cada uno de los periodos reproductivos de las especies presentes en el río en la zona del azud (salmónidos de noviembre a marzo y ciprínidos de marzo a agosto).

<b>Río Zadorra en Arrozua-Ubarrundia</b>	
<b>Noviembre-Febrero. Periodo Salmónidos</b>	
375 l/s	
<b>Marzo-Julio. Periodo Ciprínidos</b>	
Marzo-15 de Junio	375 l/s
15 Junio – 30 Julio	675 l/s

Tabla 3. Estadísticas de los caudales del río Zadorra en Arrozua-Ubarrundia.

En el diseño de la rampa se pretende que ésta tenga un óptimo funcionamiento para los caudales próximos al periodo de reproducción de ciprínidos.

### 6.1.3. Zona de llamada y salida del paso

Para que un paso resulte eficaz es necesario que el pez pueda encontrar la entrada y franquear el obstáculo sin retraso, estrés o daños perjudiciales en su migración río arriba. La entrada es la parte más importante del diseño de estos dispositivos, ya que de ella depende el franqueo del obstáculo (Clay 1995).

La atracción hacia un dispositivo de franqueo va a estar ligada a su localización en el obstáculo, en particular a la situación de la entrada, así como a las condiciones hidrodinámicas (caudales, velocidades y líneas de corriente) en sus proximidades. El pez debe poder detectar el flujo de agua proveniente del paso a la mayor distancia posible de la entrada. La entrada o entradas no deben estar enmascaradas ni por las salidas de las turbinas o de los aliviaderos, ni por zonas de recirculación o de aguas muertas. La entrada del paso no representa más que una parte reducida comparada con el tamaño del obstáculo y está alimentada por un caudal constituido por una fracción limitada del caudal total del curso de agua.

Sea cual sea el tipo de paso adoptado tiene que disponer en la entrada de una poza artificial de una profundidad suficiente, para que el pez pueda permanecer al pie del paso sin dificultad y, además, pueda impulsarse para entrar en el.

La situación de la entrada en el obstáculo no es el único factor a tener en cuenta. La salida del paso se localizara en una zona de baja velocidad, alejada del aliviadero y de posibles canales de derivación, así como en zonas de aguas muertas o de recirculación, la finalidad de dicho emplazamiento es evitar que pueda desorientarse o ser arrastrado aguas abajo del obstáculo por la corriente.

A continuación se presentan unos emplazamientos (correctos e incorrectos) de pasos de fauna según la disposición en planta del azud.

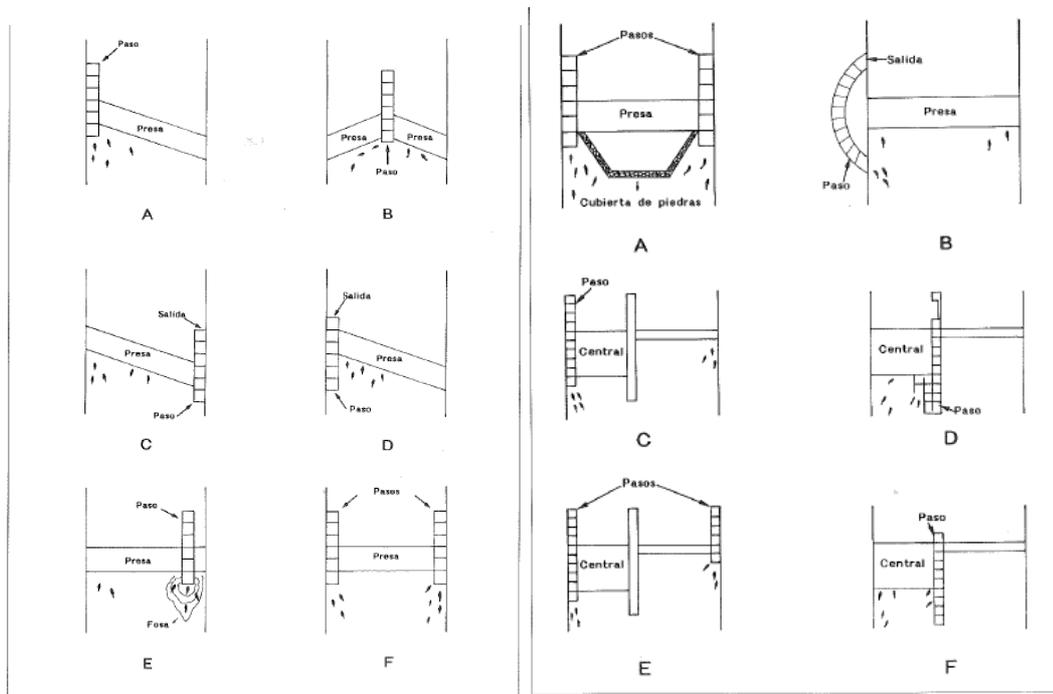


Figura 15. Disposición del paso en el obstáculo. A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo transversal.

Figura 16. Disposición del paso en el obstáculo. A. Cubierta de piedras bajo el obstáculo para facilitar el acceso de los peces a los pasos. B. Situación del paso cuando existan problemas de espacio junto al obstáculo. C, D y E. Situación correcta del paso en un aprovechamiento hidroeléctrico. F. Situación incorrecta del paso en un aprovechamiento hidroeléctrico.

Fig. 9. Tipos de emplazamientos de pasos de fauna. (CEDEX, 1998)

## 6.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El paso de peces se precisa para dar continuidad a las migraciones de especies en el río y así mitigar el efecto que la construcción del azud producirá en la continuidad fluvial para las especies piscícolas. La solución de ríos artificiales o de escala de artesas no parecen las más adecuadas, dada la escasa altura del azud, que llevaría a la construcción de una obra muy costosa, por lo que se opta por la rampa de piedras como la alternativa más viable, tanto económica como ambiental.

La tipología de la rampa se fundamenta, principalmente, según las especies de peces inventariadas en los muestreos más próximos al sector del río donde se enmarca la actuación.

En este caso al existir ciprínidos, especies con una capacidad de salto muy reducida, se ha optado por diseñar una rampa de piedras de tipo rápido-remanso con una pendiente del 5% y diferencia de salto entre estanques de 0,15 m..



Fig. 10. rampa de piedras del tipo rápido remanso (Fuente: F.J. Sanz Ronda)

De esta forma, se han descartado para el diseño los otros tipos de pasos para peces por su elevado coste o por su ineficacia para las especies de ciprínidos presentes en el río. Ascensor de peces, esclusa de peces (o esclusa Borland), río artificial y escala de ralentizadores (escala Denil).

## 6.3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Se plantea el diseño de una rampa de piedras de tipo rápido remanso para salvar el azud de derivación.

Dicha rampa consta de una sucesión de rápidos-remansos, donde los tabiques de separación de dichos estanques están formados por rocas de dimensiones preestablecidas en los que se intercalan vertederos verticales y horizontales. El paso de agua de un estanque a otro se realiza a través de estos vertederos. Los peces pasan por los vertederos tanto en sentido ascendente (que necesita un importante esfuerzo para el pez) como descendente, dejándose en este caso llevar por la corriente descendente del agua. Además, este tipo de estructuras facilitan los desplazamientos de macroinvertebrados, así como de especies piscícolas de comportamiento bentónico además de ofrecer un aspecto más naturalizado que el que presentan otras alternativas (escala de artesas y ralentizadores).

## 6.4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Para el dimensionamiento de los parámetros hidráulicos y geométricos de las rampas de piedras se ha seguido la metodología descrita en la publicación "Escalas para peces" de Andrés Martínez de Azagra Paredes, publicado por el Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal de la E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid -1ª edición 1999-). Igualmente se ha tomado como referencia la publicación "*Passes à poissons. Expertise, conception des ouvrages de franchissement*" del *Conseil Supérieur de la Pêche* ", Larinier et al.

Dado que nos encontramos en una masa regulada por un embalse, el caudal de diseño se ha fijado de acuerdo con el caudal ecológico mínimo para este tramo de río (0,375 m<sup>3</sup>/s).

En función de dichos caudales, de la anchura de los vertederos, del desnivel entre estanques y de la carga de vertido se ha determinado el caudal y la altura de la lámina de agua en los distintos puntos de los estanques.

Tras saber los caudales mínimos que circulan por la rampa (375 l/s), y las dimensiones de esta, se comprueba que la disipación de energía en el interior de las mismas está en el rango de valores que permite la ascensión de la fauna piscícola.

El diseño de la rampa y sus dimensiones han sido establecidos teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- Anchura mínima de escotadura en los vertederos será de 0,20 m tanto para la trucha como para los ciprínidos.
- La profundidad media mínima del agua en los estanques es de:
  - Periodo reproducción de Ciprínidos: 0,50 m
  - Periodo reproducción de Salmónidos: 0,40 m.
- El ancho mínimo de la rampa, tiene que ser, al menos, 2,5 veces el ancho total de las aberturas.
- El resguardo recomendado en los tabiques es de 0,1 m.
- El diámetro de los escollos que conforman dichos tabiques estarán comprendidos entre 0,6 y 1 m.
- La longitud entre estanques estará comprendida entre 2 y 4 m.
- La pendiente media de la rampa variara según las especies presentes:
  - Ciprínidos: ≤ 5%.
  - Salmónidos: ≤10%.
- La velocidad en los vertederos deberá ser inferior a 1,7 m/s para la mayoría de los ciprínidos e inferior a 2 m/s para salmónidos y ciprínidos grandes.

- El desnivel máximo entre estanques sucesivos vendrá condicionado por las especies presentes en la masa:
  - Ciprínidos: 0,20 – 0,25 m (especies de mayores dimensiones).
  - Salmónidos: 0,30 m.
- Al igual que en el caso anterior, la potencia disipada en los estanques, dependerá de las especies presentes; así:
  - Ciprínidos: 100 – 125 W/m<sup>3</sup> \*
  - Salmónidos: 175 W/m<sup>3</sup> .\*

\* Pudiéndose superar en 25 – 50 W/m<sup>3</sup> en pasos cortos.

## CAUDALES CIRCULANTES

Los caudales circulantes por el tramo de estudio son los caudales ecológicos fijados para este tramo del río Zadorra

El periodo reproductor de las especies objetivo comienza en marzo y termina a finales de julio, por lo que partiendo de la serie de temporal de caudales diarios, el caudal medio para dicha época es de 0,375 m<sup>3</sup>/s hasta el 15 de junio y de 675 l/s hasta el 31 de julio. Ese flujo va a permitir la definición del desnivel entre aguas arriba y abajo del obstáculo en la época de migración.

Con todo lo expuesto anteriormente, los caudales empleados para el diseño de la rampa fueron los siguientes:

	Caudal circulante (m <sup>3</sup> /s)	Concesión (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /s)
Q <sub>med</sub> (Periodo de migración)	0,375	--	0,375
Q <sub>medio mensual máximo</sub>	0,675	--	0,675

Tabla 4. Caudales de diseño de la rampa de peces.

## 6.5. SALTO TOTAL Y NÚMERO DE ESTANQUES

Para poder obtener el desnivel (H) que debe salvar el paso para peces se definió la cota de lámina de agua de aguas arriba ( $Z_{ag-arr}$ ), aguas abajo ( $Z_{ag-abj}$ ) y la carga de vertido del azud (h).

$$H = (Z_{azud} + h) - Z_{ag-abj}$$

La  $h_{azud}$  (incremento de la lámina de agua en la rasante del azud) se obtiene utilizando la fórmula de gasto para un vertedero de pared delgada, como el que presenta la estructura a franquear. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Q = C_d * L * (2 * g)^{1/2} * h^{3/2}$$

Donde: Q: caudal en la época de migración ( $m^3/s$ ).

**C<sub>d</sub>**: coeficiente de gasto (0,4).

**L**: anchura del vertedero del azud (m).

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

**h<sub>azud</sub>**: altura de la lámina de agua sobre el vertedero (m)

Partiendo del desnivel entre cotas de lámina de agua (H) y del salto propuesto entre estanques ( $\Delta h$ ) de 0,15 m, se determinó el número de estanques y de vertederos.

$$N_{estanques} = \left( \frac{H}{\Delta H} \right) - 1$$

$$N_{vertederos} = N_{estanques} + 1$$

Los resultados obtenidos del desarrollo de las ecuaciones anteriores, se muestran en la siguiente tabla:

Cota azud	509,614 m
Cota lámina aguas abajo	508,714 m
Incremento lámina de agua en la rasante del azud	0,07 m
Desnivel total	0,97 m
Desnivel entre estanques	0,15 m
Número de estanques	6
Número de vertederos	7

Tabla 5. Desniveles de la estructura y número de estanques

## 6.6. CAUDAL, DISEÑO Y DIMENSIONES DE ESTANQUES Y VERTEDEROS

La distancia entre estanques ( $l$ ) y la longitud de estos ( $l_w$ ) se relacionan a través del tamaño de los escollos; cuyas dimensiones se fijan en función de la potencia disipada ( $P_{uv}$ ).

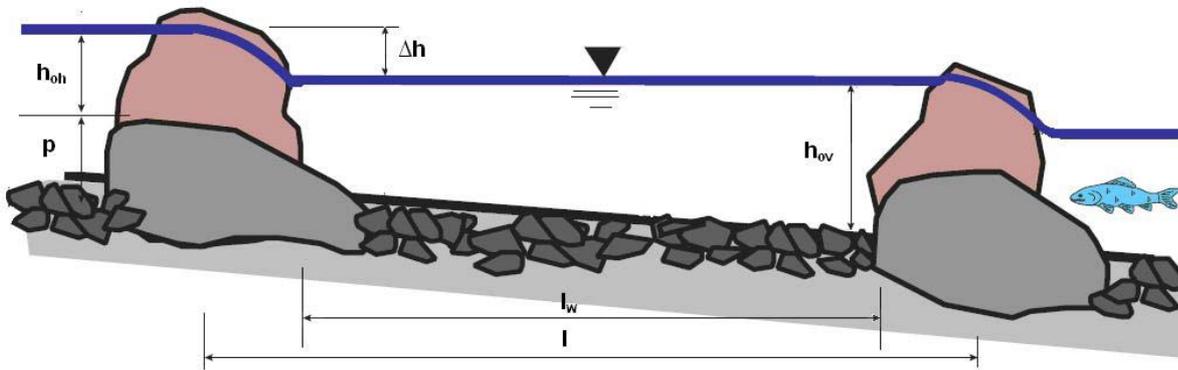


Fig. 11. Esquema longitudinal de un salto-poza de una rampa del tipo rápido-remanso

El tamaño de los escollos será de 1 x 0,60 m aproximadamente.

La acumulación de los escollos forman una presa que se asemeja a un vertedero, los orificios que quedan entre ellos deben de ser tapados para que el funcionamiento sea asemeje a los cálculos realizados, por tanto y en base a lo expuesto con anterioridad para estimar el caudal que fluye por el paso se emplea la fórmula de Poleni (1717):

$$Q = (2/3) * \mu * \sigma * \sum b_s * (2 * g)^{1/2} * h_o^{3/2}$$

Donde:

$Q$  = caudal que circula por el paso, en  $m^3/s$ .

$\mu$  = coeficiente de descarga, adimensional.

$\sigma$  = coeficiente de reducción por flujo sumergido, adimensional.

$\sum b_s$  = sumatorio de la anchura de las aberturas por donde circula el agua, en metros.

$h_o$  = carga de vertido sobre los bloques de piedra, en metros.

El coeficiente de descarga ( $\mu$ ) depende de las características de los escollos (redondeados, con aristas vivas) y de sus dimensiones (delgados o gruesos). Los valores recomendados son:

0,5 – 0,6      piedras gruesas, aristas marcadas

0,6 – 0,8      piedras delgadas, aristas romas

Generalmente, se toma como valor medio 0,6.

El factor de reducción por flujo sumergido ( $\sigma$ ) considera la influencia del nivel de agua de aguas abajo respecto del bloque sumergido ( $h$ ) y la carga de vertido sobre dicho bloque ( $h_0$ ).

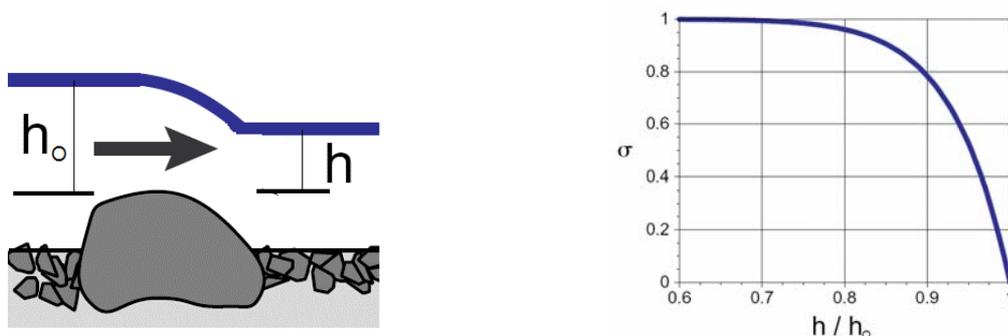


Fig. 12. Tabla para el cálculo del factor de reducción por flujo sumergido.

En nuestro caso será  $\sigma = 1$  porque trabajaremos con valores de  $h_0$  entre 0,3 m y 0,5 m, y al ser  $\Delta h = 0,15$  m, los valores de  $h$  estarán entre 0,15 m y 0,35 m respectivamente, por lo que los cocientes serán en ambos casos menores a 0,77. Si entramos en el gráfico anterior con este dato, observamos que el valor de  $\sigma \approx 1$ .

Conocido el caudal circulante en el periodo de migración de las especies objetivo ( $0,375 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la única incógnita el sumatorio de todas las aperturas, cuyo valor es de 1,06 m.

El ancho mínimo de la rampa será de 2,6 m, el cual se extrae de la siguiente ecuación:

$$B_{\min} = 2,5 * \sum b_s$$

En cuanto al tipo de vertedero se a optado por uno de tipo mixto que combina tanto vertederos verticales como horizontales; a la hora de estimar el número y dimensiones de estos, así como los caudales y velocidades que se dan a través de ellos, hay que tener en cuenta el sumatorio de todas la aperturas (1,06 m) y el carácter cambiante del río (periodos de aguas altas y bajas).

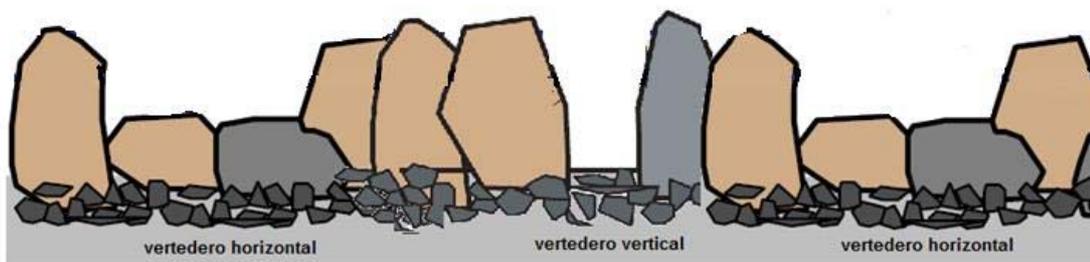


Fig. 13. Esquema de un vertedero mixto.

Partiendo de la idea anterior lo primero es fijar un número de vertederos verticales y su anchura, se recomienda siempre que el número de estos no sea muy elevado para favorecer en periodos de aguas bajas un calado suficiente en la rampa, el cual vendrá definido por la profundidad generada por los vertederos horizontales. En este caso se propone la construcción de un vertedero vertical con una carga de vertido de 0,50 m y un ancho de 0,20 m.

Según las dimensiones de dicho vertedero y conocido el caudal de diseño ( $0,375 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a través de la ecuación de Poleni sabemos que el caudal que circula por los vertederos verticales es de  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que el resto del caudal ( $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) deberá circular por los vertederos horizontales.

Una vez conocido el caudal que debe de discurrir por los vertederos horizontales, y fijada una carga de vertido de 0,30 m, se estima una anchura total de los vertederos de 0,80 m; finalmente se plantea la construcción de 2 vertederos horizontales con una carga de vertido de 0,30 m y una anchura de 0,40 m.

En resumen el vertedero quedara configurado del siguiente modo:

- 1 vertedero vertical que presenta una carga de vertido ( $h_{ov}$ ) de 0,50 m y una anchura de 0,20 m, el cual desaloja un caudal de  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- 2 vertederos horizontales que presentan una carga de vertido de ( $h_{oh}$ ) de 0,30 m y una anchura de 0,40, los cuales desalojan un caudal de  $0,125 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  los dos).

Las dimensiones, caudales y velocidades que discurren por los vertederos, se muestran a continuación:

DIMENSIONES DE LA RAMPA	
Nº Estanques	6
Nº vertederos	7
Distancia entre estanques (l)	4 m
Longitud entre estanques ( $l_w$ )	3,4 m
Longitud total ( $L_{total}$ )	24,6 m
Pendiente (l)	4,4 %
Anchura mínima ( $B_{min}$ )	2,6 m
VERTEDEROS VERTICALES	
Nº de vertederos	1
Cargad de vertido ( $h_{ov}$ )	0,50 m
Anchura ( $b_{ov}$ )	0,20 m
Caudal por vertedero ( $Q_v$ )	0,130 m <sup>3</sup> /s
Caudal por vertedero vertical	0,130 m <sup>3</sup> /s
VERTEDEROS HORIZONTALES	
Nº de vertederos	2
Cargad de vertido ( $h_{oh}$ )	0,30 m
Anchura ( $b_{oh}$ )	0,40 m
Caudal por vertedero ( $Q_h$ )	0,125 m <sup>3</sup> /s
Caudal por vertederos horizontales	0,250 m <sup>3</sup> /s

Tabla 6. Características geométricas del paso.

## 6.7. CAUDAL A SECCIÓN LLENA Y SECCIÓN MOJADA

Es importante conocer el caudal máximo que puede pasar por estos vertederos, es decir, el caudal que llena la sección por completo sin desbordamiento.

El resguardo recomendado es de 0,10 m (FAO/DVWK, 2002); por lo tanto la carga de vertido es de 0,60 para los verticales y de 0,40 para los horizontales.

Partiendo de la ecuación de Poleni para las nuevas cargas de vertido se estima el caudal de sección llena como la suma del caudal que discurre por ambos tipos de vertederos, siendo este de  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Es importante conocer las velocidades que se dan en los vertederos, ya que estas no deben de superar lo 2 m/s para que puedan ser franqueables por las diferentes especies. Partiendo de de la sección y caudal conocidos se obtienen los siguientes resultados:

		Caudal época de migración ( $0,375 \text{ m}^3/\text{s}$ )	Caudal en sección llena ( $0,550 \text{ m}^3/\text{s}$ )	Caudal máximo ( $0,675 \text{ m}^3/\text{s}$ )
Caudales	Vertederos verticales	$0,13 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,16 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,19 \text{ m}^3/\text{s}$
	Vertederos horizontales	$0,125 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,19 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,22 \text{ m}^3/\text{s}$
Velocidades	Vertederos verticales	$1,25 \text{ m/s}$	$1,37 \text{ m/s}$	$1,44 \text{ m/s}$
	Vertederos horizontales	$0,97 \text{ m/s}$	$1,12 \text{ m/s}$	$1,20 \text{ m/s}$

Tabla 7. Caudales y velocidades en vertederos.

Es importante el conocer la superficie mojada de la rampa, la cual influirá en la potencia disipada en cada uno de los estanques.

Para calcular la superficie mojada (A) consideraremos secciones trapezoidales con taludes 2H :1V.

$$A = [B + B'] * h_m / 2$$

Donde:

B = Ancho superior de la rampa (m).

B' = Ancho en la base (m).

h<sub>m</sub> = Altura media en la poza (m).

Según lo expuesto con anterioridad la superficie de sección mojada para el caudal en la época de migración y para el caudal medio mensual máximo es de 1,53 y 2,28 m<sup>2</sup> respectivamente.

## 6.8. PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN ESCOTADURAS

La pérdida de carga entre dos estanques consecutivos, para la rampa diseñada, será la diferencia de alturas entre ambas, es decir 0,15 m. Dado que el último salto (estanque-río) es de 0,07 m, la altura total que se salvará con la construcción de la estructura es de (0,97 m)

## 6.9. DISIPACIÓN ENERGÉTICA EN LOS ESTANQUES

Para el cálculo utilizaremos la fórmula del *Office National de L'Eau et des Milieux Aquatiques - ONEMA* (antiguo *Conseille Supérieur de la Pêche - CSP*).

Dado que la rampa se diseña para ciprínidos, los umbrales recomendados para la potencia disipada por unidad de volumen de agua en los estanques es de 100-125 W/m<sup>3</sup>. En pasos cortos se puede incrementar este valor en 25 - 50 W/m<sup>3</sup>.

Con las dimensiones establecidas para las artesas diseñadas, la energía disipada es:

$$P_{uv} = \frac{\rho * g * Q * \Delta H}{A * l_w}$$

Siendo:

$\rho$  = Densidad del agua (1000 g/cm<sup>3</sup>)

$\Delta H$  = Desnivel entre estanques (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad, en (m/s<sup>2</sup>)

$A$  = Sección mojada, en (m<sup>2</sup>)

$Q$  = Caudal del paso (m<sup>3</sup>/s)

$l_w$  = Espaciamiento entre represas, en (m)

Con las dimensiones establecidas para los estanques y vertederos, la energía disipada en dichos estanques, será:

	Sección mojada (m <sup>2</sup> )	Potencia disipada (W/m <sup>3</sup> )
Caudal medio en el periodo de migración (0,375 l/s)	1,53	106,08
Caudal medio mensual máximo (0,675 l/s)	2,28	128,40-

Tabla 8. Potencias disipadas para los caudales de diseño.

## 6.10. EMPLAZAMIENTO Y ZONA DE LLAMADA

Para que la rampa quede bien calada, será necesario hacer un rebaje en el azud que permita instalar el primer vertedero; este rebaje se extrae de la siguiente ecuación:

$$R = h_o - (Z_{ag-arr} - Z_{azud})$$

Este rebaje deberá ser de 0,43 m.

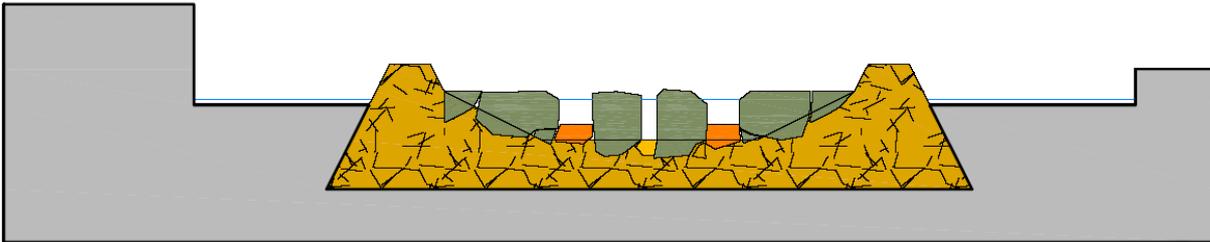


Fig. 14. Emplazamiento primer vertedero.

Dada la escasa anchura de la rampa con respecto a la anchura total del obstáculo, se han diseñado unas rampas laterales con la misma pendiente (4,4%) en la que se han dispuesto determinados bloques al azar.

La finalidad de dichas rampas es una mayor integración paisajística de la rampa y evitar la posible distorsión del efecto llamada que se generaría en los laterales al pie del azud.

## 6.11. SOBREDIMENSIONAMIENTO DE VERTEDEROS Y MUROS CAJEROS.

Para evitar que fluctuaciones de caudal resten eficacia al funcionamiento de la rampa, se han considerado unos resguardos de 0,10 cm en los vertederos que permiten discurrir un caudal de 0,55 m<sup>3</sup>/s sin desbordamiento.

Por otro lado, para evitar que el agua del río penetre al interior de la estructura se construirán muros cajeros con una elevación de 0,93 m sobre la base de la rampa.

## **7. DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO.**

La rampa se construirá con bolos de 0,60 x 1 m de longitud unidos mediante hormigón HA-25.

Cuando hablamos de muros cajeros en una rampa de tipo rápido remanso, nos referimos a escollera. Los muros cajeros tendrán 50 cm en la coronación y la pendiente de estos será de 2H :1V ,el ancho en su base será variable.

Las zonas que se encuentren apoyadas en el margen del río, estas escolleras deberán ir revegetadas en todos los casos con plantas de ribera propias de la zona objeto, siendo los géneros más utilizados *Salix spp.* y *Populus spp.*

La solera de la rampa estará formada por una mezcla de bolo y hormigón HA-20 en proporción 70-30%

La base de los estanques estará recubierta de cantos con un diámetro medio de 0,25 m, sobresaliendo estos de la rasante de la solera, hasta 2/3 de los mismos. Colocándose de forma irregular. Esta acción ayudará a disipar la energía en el interior de los estanques y a naturalizar el paso para peces.

## **8. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA**

Una vez justificado el diseño de la rampa de piedras para permeabilizar el obstáculo se resumen las principales características geométricas de la rampa de piedras.

## 8.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RAMPA DE PIEDRAS.

Cauce:	Zadorra.	
Función presa:	Azud	
Nº Estanques	6	
Nº vertederos	7	
Distancia entre estanques (l)	4 m	
Longitud entre estanques (lw)	3,4 m	
Longitud total (L <sub>total</sub> )	24,6 m	
Anchura mínima (B <sub>min</sub> )	2,6 m	
Pendiente (l)	4,4 %	
Resguardo de la sección llena	0,10 m	
Resguardo muro exterior	0,93 m	
Dimensiones de los escollos	0,60 x 1 m	
Sección mojada	1,53 m <sup>2</sup>	
	Nº de vertederos	1
<b>VERTEDEROS</b>	Cargad de vertido (hov)	0,50 m
	Anchura (bov)	0,20 m
<b>VERTICALES</b>	Caudal (Qv)	0,13 m <sup>3</sup> /s
	Velocidad	1,25 m/s
	Nº de vertederos	2
<b>VERTEDEROS</b>	Cargad de vertido (hoh)	0,30 m
<b>HORIZONTALES</b>	Anchura (boh)	0,40 m
	Caudal (Qh)	0,125m <sup>3</sup> /s
	Velocidad	0,97 m/s

Tabla 9. Características de la rampa de piedras

## **9. PLAZO DE LAS OBRAS**

De acuerdo con el plan de obra previsto en el anejo nº 6, el plazo de ejecución de las obras es de 28 días. Con el fin de minimizar las afecciones sobre el curso de agua este periodo debe corresponderse con el de menor caudal.

## **10. PRESUPUESTO**

Con todo cuanto antecede se estima suficientemente justificado este **PROYECTO DE RAMPA DE PECES EN EL RÍO ZADORRA, T.M ARRAZUA-UBARRUNDIA (ALAVA)**, siendo su Presupuesto de Ejecución Material de CINCUENTA Y UN MIL SETECIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS DE EURO **(51.783,76 €)**.

Zaragoza, Septiembre de 2010

EL AUTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Pedro Rivas Salvador  
Ingeniero de Caminos, C. y P.  
Colegiado Número: 16.602

VºBº. LA DIRECTORA DEL PROYECTO

Fdo.: Concha Durán Lalaguna