

**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 GUADALOPE.....</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 DEL AZUD.....</b>	<b>8</b>
5.1.	LOCALIZACIÓN.....	8
5.2.	SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	8
5.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD.....	9
<b>6.</b>	<b>PERMEABILIZACIÓN.....</b>	<b>12</b>
6.1.	PARÁMETROS DE PARTIDA.....	12
6.1.1.	<i>Especies objetivo</i> .....	12
6.1.2.	<i>Caudales preferentes</i> .....	12
6.1.3.	<i>Zona de llamada y salida del paso</i> .....	13
6.2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	15
6.3.	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	15
6.4.	ACTUACIONES PREVIAS EN EL AZUD.....	15
6.5.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	16
6.6.	CAUDALES CIRCULANTES.....	18
6.7.	SALTO TOTAL Y NUMERO DE ESTANQUES.....	19
6.8.	CAUDAL Y DIMENSIONES DE LA ESCALA.....	20
6.9.	DIMENSIONES DE LA PRIMERA ARTESA.....	21
6.10.	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN ESCOTADURAS.....	22
6.11.	DISIPACIÓN ENERGÉTICA EN LAS ARTESAS.....	23
6.12.	ZONA DE LLAMADA.....	24
6.13.	COTA CORONACIÓN MUROS ENTRADA.....	24
<b>7.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....</b>	<b>25</b>
7.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ESCALA DE PECES.....	25
7.2.	DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO.....	26
<b>8.</b>	<b>PLAZO DE LAS OBRAS.....</b>	<b>26</b>
<b>9.</b>	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>26</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 una escala de 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 Guadalope a su paso por el municipio de Castellote, 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 escala de peces 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 Guadalope, con todas las ventajas que ello supone para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones piscícolas.

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO GUADALOPE

#### 3.1. HIDROLOGÍA.

Para el diseño de la escala de peces es de vital importancia conocer los caudales circulantes en el tramo de río donde se va a diseñar el paso de fauna. Para ello se ha recurrido a la página web del CEDEX (<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/>) donde se facilitan los caudales diarios de los aforos de la cuenca del Ebro.

Se han seleccionado los caudales diarios de la estación más próxima, situada aguas arriba del municipio de Castellote (A9106, río Guadalope Pie de Presa de Santolea –en adelante Santolea P-P-).

Para analizar los caudales se ha utilizado una serie de caudales de 57 años, comprendida entre 1948/49 a 2005/2006. En los años hidrológicos 1975-1976 y 1976-1977 faltaban datos de caudal medio en algunos de sus meses.

En la siguiente gráfica se representa el régimen hidrológico de la estación de aforo seleccionada. El río Guadalope en Castellote presenta un régimen simple con un periodo de caudales altos, comprendido de marzo y agosto por las lluvias primaverales y el desembalse de la presa de Santolea, y otro de caudales bajos de septiembre a febrero. El máximo de caudal se registra el mes de mayo.

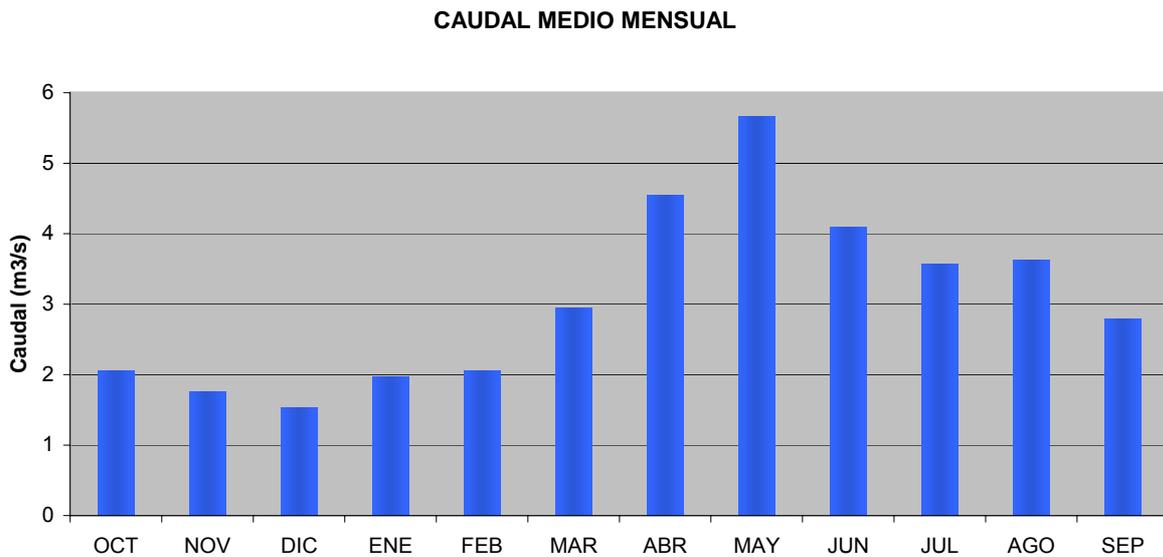


Fig. 1. Régimen anual del río Guadalope en el Aforo 106 en Satolea P.P (Fuente CHE)

### 3.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

En el río Guadalope de acuerdo con la información recogida en los muestreos de peces realizados por la Universidad de Barcelona (Muestreos IBI) nos encontramos en un tramo donde predominan las especies de ciprínidos y la *Salmo trutta* (trucha común).

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunas estadísticas del muestreo IBI 166 (Coordenadas UTM Huso 30 X 730.196 Y 4.521.454) utilizadas en el diseño de la escala de peces.

Masa 951. Río Guadalope IBI 166								
Especie	Nº Ejemplares	Talla media	Desv Tipica	Peso medio	Desv Tipica	Máx Talla	Máx Peso	Biomasa
<i>Salmo trutta</i>	43	6371,0	44,7	44,4	32,9	233	130	1908
<i>Parachondrostoma miegii</i>	61	6041,0	24,8	13,8	9,5	154	42	844,2
<i>Gobio gobio</i>	56	5284,0	14,8	12,0	5,1	122	23,3	669,8
<i>Luciobarbus graellsii</i>	31	2965,0	45,3	20,6	20,8	161	61,3	637,3
<i>Cyprinus carpio</i>	1	60,0	0,0	3,0	0,0	60,0	3	3

Tabla 1. Estadísticas del muestreo de peces IBI 166 en el río Guadalope

El grupo que mayor número de ejemplares presenta es el de la madrilla, seguido del gobio. De ahí que estas especies de ciprínidos sean las escogidas como objetivo para el diseño de la escala. Cabe destacar el número de individuos de trucha común y la biomasa que éstos representan en el total del muestreo.

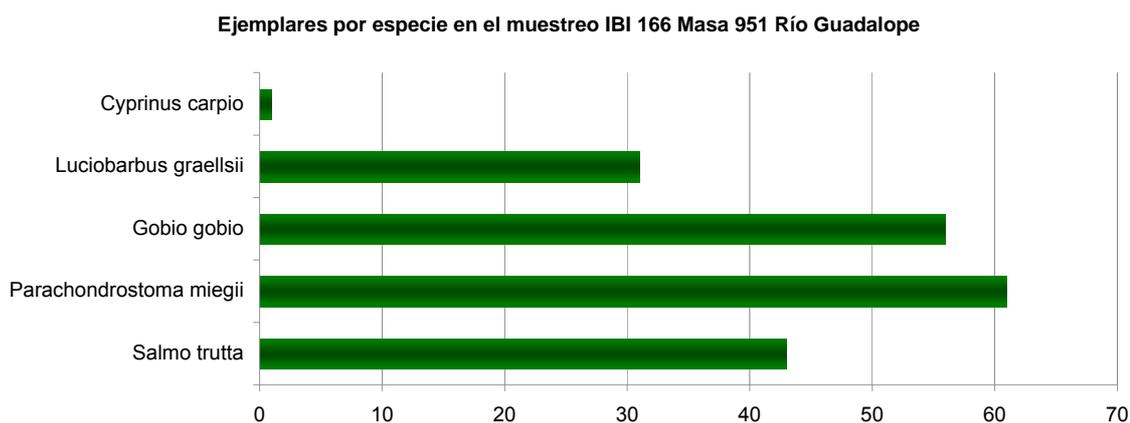


Fig. 2. Número de ejemplares por especies en el muestreo IBI 166 en el río Guadalope

#### **4. FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

La actuación no se encuentra dentro de ningún espacio de la Red Natura 2000.

#### **5. CARACTERÍSTICAS DEL AZUD.**

##### **5.1. LOCALIZACIÓN**

El azud de toma se encuentra en el término municipal de Castellote en las coordenadas UTM del Huso 30 X 730.350. Y 4521610.

##### **5.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA**

La estructura pertenece a las comunidades de regantes del Mas de las Matas y de Aguaviva. La primera de ellas deriva los caudales por una acequia que discurre por la margen derecha mientras que la segunda lo hace por una acequia de la margen izquierda.

Los volúmenes de aprovechamiento son de 680 l/s para la Comunidad de regantes del Mas de las Matas y 700 l/s para la de Aguaviva. De lo que resulta un aprovechamiento total de 1,380 m<sup>3</sup>/s.



Fig. 3. Vista hacia la margen derecha del obstáculo a permeabilizar

### 5.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD

Altura	4,15 m
Longitud	39,12 m
Anchura de coronación	1,25 m
Forma	Chaflan
Material	Hormigón

Tabla 2. Principales características del azud



Fig. 4. Vista frontal de la estructura a permeabilizar para el paso de los peces





Fig. 6. Modelo digital del terreno en el entorno del azud

## **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 este azud, tanto de aguas abajo hacia aguas arriba como al contrario.

Una escala de peces es la solución que permite un grado aceptable de transitabilidad para las poblaciones afectadas. Como cualquier estructura de paso de peces, las escalas 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 han seleccionado como especie objetivo para tener en cuenta en el diseño de la escala, aquellas que presentan mayores dificultades a la hora de su desplazamiento. En este caso serían la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y el gobio (*Gobio gobio*), la madrilla (*Parachondrostoma miegii*); 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).

#### **6.1.2. Caudales preferentes**

En la siguiente tabla se representan la mediana, el percentil 25 y el percentil 75 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).

---

## Río Guadalope en Castellote

---

### A9106 Río Guadalope en Santolea P.P (m<sup>3</sup>/s)

#### Noviembre-Febrero. Periodo Salmónidos

Mediana	0,58 m <sup>3</sup> /s
Percentil 25	0,32 m <sup>3</sup> /s
Percentil 75	1,56 m <sup>3</sup> /s

#### Marzo-Julio. Periodo Ciprínidos

Mediana	3,44 m <sup>3</sup> /s
Percentil 25	0,76 m <sup>3</sup> /s
Percentil 75	5,00 m <sup>3</sup> /s

---

Tabla 3. Estadísticas de los caudales del río Guadalope en Santolea P-P

En el diseño de la escala se pretende que ésta tenga un óptimo funcionamiento para los caudales próximos a la mediana. Además, el diseño de la escala se ha sobredimensionado para que funcione en una horquilla de caudales más amplia, aproximadamente entre el mínimo y máximo de la serie anual de caudales medios mensuales.

### **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 paso.

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.

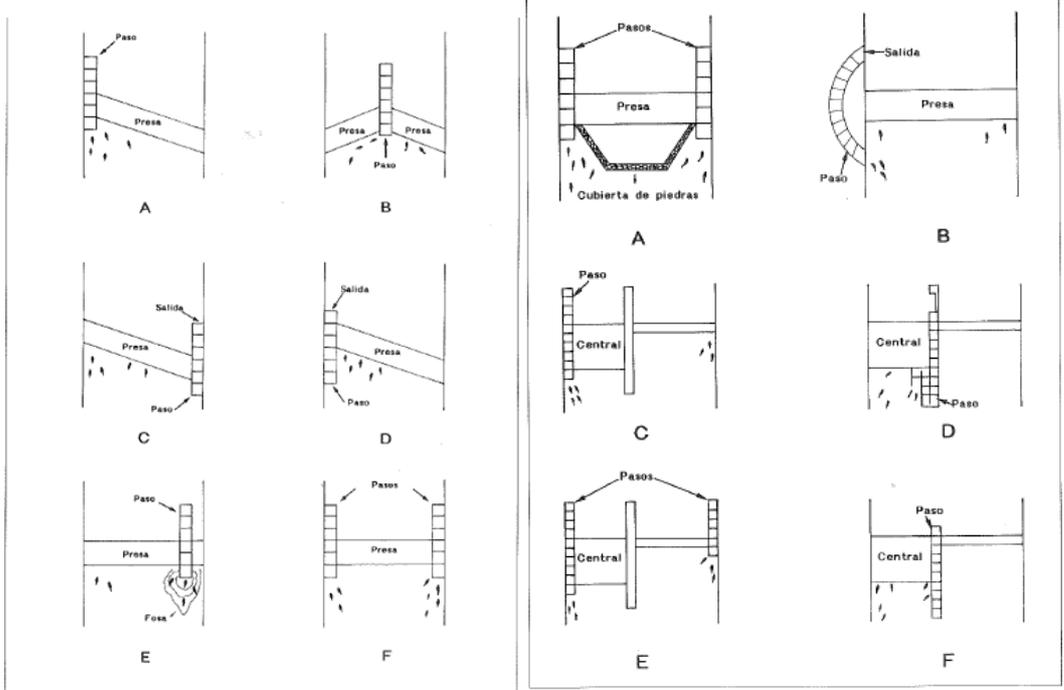


Figura 15. Disposición del paso en el obstáculo. A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo transversal.

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 existen 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. 7. 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 diques o de rampa no parecen las más adecuadas, dada la altura del azud y las características de la zona, que llevaría a la construcción de una obra muy costosa, por lo que se opta por la escala de peces como la alternativa más viable.

La tipología de escala elegida 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 escala de artesas sucesivas con orificios de limpieza y vertederos semisumergidos.

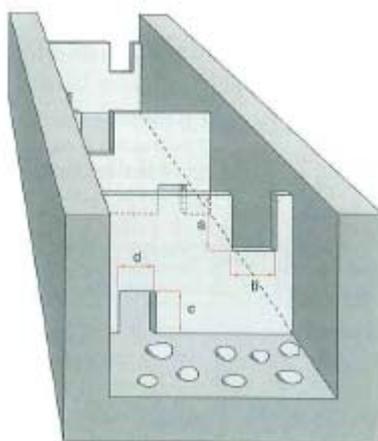


Fig. 8. Vista de una escala de estanques sucesivos. (Larinier 1992)

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 escala de peces de artesas sucesivas para salvar el azud de derivación.

Se ha adoptado una escala de artesas rectangulares sucesivas intercomunicadas por orificios inferiores y vertederos semisumergidos alternativos situados en los tabiques de separación. El paso de agua de un estanque a otro se realiza a través de estos orificios y vertederos. Los peces pasan fundamentalmente 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, algunos ciprínidos pueden remontar la escala a través de los orificios de limpieza.

## 6.4. ACTUACIONES PREVIAS EN EL AZUD

Dado que el emplazamiento de la escala se propone en la margen izquierda del obstáculo, margen en la que existe un aliviadero. Se propone la clausura de este aliviadero (cota 499,6 m) para evitar que la estructura de la escala sufra daños provocados por la erosión de los caudales derivados por él. El

caudal evacuado por dicho aliviadero discurrirá ahora por la escala y por el rebaje practicado en la rasante del azud, que a su vez favorecerá la llamada de los peces en la entrada de la escala.

## 6.5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Para el dimensionamiento de los parámetros hidráulicos y geométricos de las escalas de peces 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.

Los caudales utilizados para el dimensionamiento de las artesas, son el resultado de la diferencia entre el caudal medio en el periodo de migración de ciprínidos (0,58 m<sup>3</sup>/s) y el caudal detraído, dado que se desconoce la concesión para este obstáculo, el caudal a considerar para el diseño corresponderá con el del caudal medio en el periodo de migración.

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

A partir de dicho caudal de diseño, se han adaptado las dimensiones de la primera artesa, para que esta se adapte a las características hidráulicas del resto de las artesas que configuran la estructura.

Tras saber los caudales que circulan por la escala (256-296 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 tipo de artesa diseñada y sus dimensiones han sido establecidos teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- Anchura mínima de escotadura para vertederos semisumergidos será de 0,20 m tanto para la trucha como para los ciprínidos.
- El tamaño mínimo de los orificios de limpieza será de 0,04 m<sup>2</sup> para la trucha y ciprínidos.
- La profundidad media mínima de los estanques (desde la rasante de los vertederos semisumergidos) para la trucha y ciprínidos será de 0,6 m.
- El cociente entre el ancho de la artesa (B) y el ancho del vertedero (b), cumple la siguiente relación:  $4 - B/b - 6$  (8 máximo).
- La longitud y situación recomendada para el deflector (e) será igual al ancho vertedero.
- La altura umbral del vertedero (p) debe de cumplir la siguiente condición:  $0,6 \leq p \leq 1$  m.
- La relación entre la longitud de las artesas (L) y el ancho del vertedero (b) es la siguiente: (7 mínimo )  $8 - L/b - 10$  (11 máximo).
- La pendiente media de la escala estará comprendida entre el 7 – 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 artesas 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 las artesas, 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.

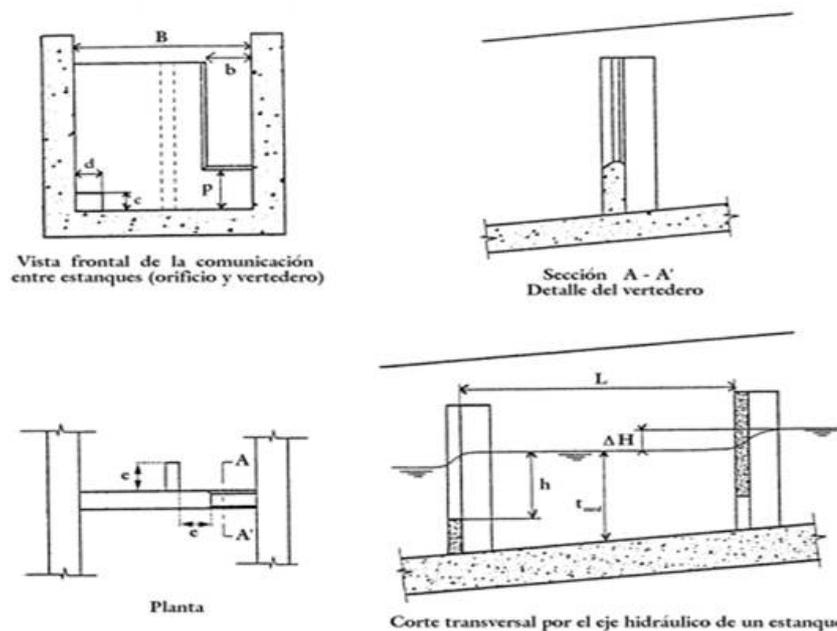


Fig. 9. Esquema de la artesa tipo.

## 6.6. CAUDALES CIRCULANTES

Los caudales circulantes por el tramo de estudio que nos van a condicionar el diseño del paso piscícola se han obtenido de la estación de aforos A0157 Río Guadalope en Santolea P-P. Se consideran representativos del régimen circulante por el azud ya que se encuentra próxima al obstáculo a permeabilizar.

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  $3,44 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sin embargo como se observa en la tabla 3 los caudales circulantes durante el periodo reproductor de los salmónidos son menores que el de los ciprínidos de ahí que se haya seleccionado el caudal del periodo más restrictivo. Esta variación en el régimen es consecuencia de la regulación derivada del pantano de Santolea. De forma que la mediana del caudal del periodo reproductivo con menores caudales es igual a  $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ese flujo va a permitir la definición del desnivel entre aguas arriba y abajo del obstáculo en la época de migración.

Dado que los periodos de migración no son fijos en el tiempo, se estudió a su vez el funcionamiento de la escala para un rango de caudales más amplio, por lo que una vez fijado el caudal medio en el periodo de migración, se comprobó el funcionamiento del paso para el mínimo caudal de la serie anual ( $1,52 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y para el máximo ( $5,67 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

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

	Caudal circulante ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Concesión ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$Q_{\min}$ (Anual)	1,5	---	1,5
$Q_{\text{med}}$ (Periodo de migración)	0,58	---	0,58
$Q_{\text{máx}}$ (Anual)	5,6	---	5,6

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

## 6.7. SALTO TOTAL Y NUMERO 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 arquetas ( $\Delta h$ ) de 0,21 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	499,60 m
Cota lámina aguas abajo	495,45 m
Incremento lámina de agua en la rasante del azud	0,04 m
Desnivel total	4,19 m
Desnivel entre arquetas	0,25 m
Número de estanques	16
Número de vertederos	17

Tabla 5. Desniveles de la estructura y número de estanques

## 6.8. CAUDAL Y DIMENSIONES DE LA ESCALA

La escala se dimensionó para que cumpliera con un caudal de diseño comprendido entre 200 – 300 l/s, las dimensiones propuestas, se muestran a continuación:

Ancho del vertedero (b)	0,25 m
Ancho del estanque (B)	1,80 m
Longitud del estanque (L)	2,50 m
Altura del umbral de fondo (p)	0,70 m
Orificio de fondo (cxd)	0,04 m
Anchura del tabique (s)	0,25 m
Carga de vertido (h)	0,70 m
Dimensiones del deflector (e)	0,25 m
Desnivel entre estanques ( $\Delta h$ )	0,25 m
Pendiente (I)	9,1 %

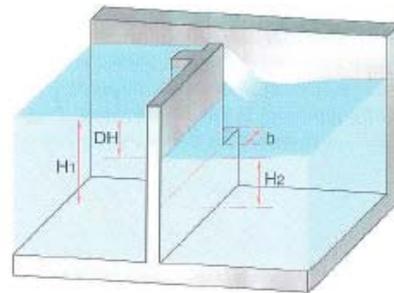
Tabla 6. Características geométricas de la escala

Para determinar el caudal que pasa por el vertedero rectangular sumergido se ha realizado mediante la ecuación:

$$Q_d = k \cdot c_v \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_1^{1,5}$$

Donde:

$$k = \left[ 1 - \left( \frac{h_1 - \Delta H}{h_1} \right)^{1,5} \right]^{0,385}$$



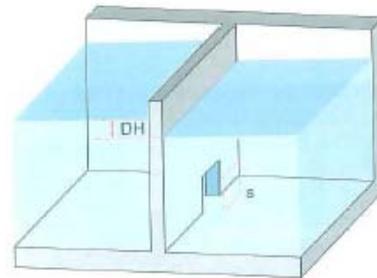
- Coeficiente de descarga,  $c_v$ . Se toma el valor de 0,40.
- Anchura de paso de la escotadura, b (m).
- Diferencia de altura entre artesas  $\Delta H$  (m).
- Calado medio en la artesa  $h_1$  (m).

Para el cálculo del caudal que pasa por el orificio de limpieza se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$Q_{os} = c_i \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

Donde:

- Coeficiente de descarga,  $c_i$ . Se toma el valor de 0,80.
- Superficie del orificio,  $S$  (m<sup>2</sup>).
- Diferencia de altura entre artesas  $\Delta H$  (m).



Tomando las dimensiones establecidas en la tabla 8, los caudales de diseño de las artesas para los caudales definidos anteriormente (caudales circulantes), son los siguientes:

Caudal circulante (m <sup>3</sup> /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	k	Caudal de diseño (Qd) (m <sup>3</sup> /s)	Caudal orificios (Qos)	Caudal vertedero (Qv)
0,58	0,70	1,30	0,76	0,256	0,062	0,194
1,52	0,74	1,31	0,74	0,267	0,062	0,205
5,67	0,85	1,42	0,71	0,296	0,062	0,234

Tabla 7. Caudales de diseño de la escala.

Como se puede observar en la tabla anterior los caudales de diseño de la escala para las dimensiones y caudales circulantes definidos con anterioridad, se encuentran dentro del rango de caudales objetivo definidos al comienzo del apartado (200 – 300 m<sup>3</sup>/s).

## 6.9. DIMENSIONES DE LA PRIMERA ARTESA

En la primera artesa –la de entrada de caudal– la artesa y el vertedero difieren para adaptarse a las variaciones de nivel de agua del río Guadalope, se ha propuesto una hendidura vertical en vez de un vertedero semisumergido. Dicha hendidura tendrá una anchura de 0,25 m que permitirá el paso de los peces sin problema.

Cuando los peces acceden a dicha artesa, sus facultades natatorias han disminuido como consecuencia del desgaste producido en el ascenso, es por ello que para esta primera artesa se propone un salto de agua cauce-artesa algo menor que en el resto (0,10 m), para que le resulte a los peces superar el último obstáculo con mayor facilidad.

Por todo lo expuesto anteriormente, y atendiendo a las condiciones técnicas e hidráulicas que deben de cumplir las artesas tipo, se proponen las siguientes dimensiones para la artesa:

VARIABLES	VALOR
Desnivel artesa-río ( $\Delta h_2$ )	0,10 m
Ancho orificio (b)	0,25 m
Altura del umbral de fondo ( $p_1$ )	0,70 m
Carga de vertido ( $h_1$ )	0,70 m
Carga de vertido ( $h_2$ )	0,80 m
Salto ( $p_2$ )	0,60 m
L2	0,80 m
L1	1,80 m
Ancho del estanque (B)	1,80 m

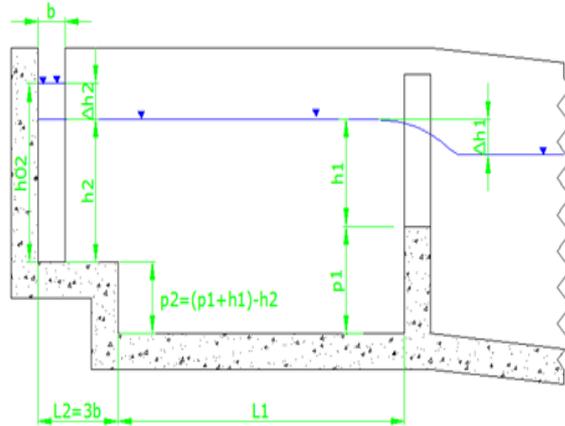


Tabla 8. Dimensiones de la primera artesa.

## 6.10. PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN ESCOTADURAS

La pérdida de carga entre dos artesas consecutivas, para la escala diseñada, será la diferencia de alturas entre ambas, es decir 0,25 m. Dado que el último salto (artesa-río) es de 0,10 m, para salvar el desnivel total (4,19 m) y evitar que la escala quede descolgada en su entrada, los 0,09 m restantes en este último salto se repartirán en el resto de los 16 tabiques restantes, quedando los saltos distribuidos de la siguiente forma:

Desnivel artesa-río	Desnivel 16 tabiques restantes
0,10m	$\frac{0,09}{16} = 0,006 + 0,25 = 0,256m \cong 0,256m$

Tabla 9. Pérdida de carga en escotaduras.

## 6.11. DISIPACIÓN ENERGÉTICA EN LAS ARTESAS

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 escala se diseña para ciprínidos, los umbrales recomendados para la potencia disipada por unidad de volumen de agua en las artesas es 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:

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

Siendo:

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

$g$  = Gravedad

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

$\Delta H$  = Desnivel entre artesas

$B$  = Ancho de la artesa inferior

$L$  = Largo de la artesa inferior

$t_{med}$  = Profundidad de la artesa inferior

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

Q <sub>rio</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	Desnivel entre artesas ( $\Delta h$ )	Caudal de la escala (m <sup>3</sup> /s)	Potencia disipada (W/m <sup>3</sup> )
<b>0,58</b>	0,90	0,80	0,10	0,256	47
<b>1,52</b>	0,94	0,84	0,10	0,267	48
<b>5,67</b>	1,05	0,95	0,10	0,296	49

Tabla 10. Disipación de energía en la primera artesa.

$Q_{\text{río}}$ (m <sup>3</sup> /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	Desnivel entre artesas ( $\Delta h$ )	Caudal de la escala (m <sup>3</sup> /s)	Potencia disipada (W/m <sup>3</sup> )
<b>0,58</b>	0,70	1,3	0,256	0,256	110
<b>1,52</b>	0,74	1,31	0,256	0,267	111
<b>5,67</b>	0,85	1,42	0,256	0,296	113

Tabla 11. Disipación de energía en las artesas tipo.

## 6.12. ZONA DE LLAMADA

Con el objeto de facilitar lo máximo posible la entrada de los peces a la escala se ha diseñado una poza artificial en la entrada de la escala para los peces desde la cual puedan coger impulso y entrar fácilmente en el paso. Esta poza tendrá un calado de 0,5 m por 4,5 m de ancho y por 4,5 m de largo. Las profundidades de esta son variables en su superficie, presentando el mayor calado junto al vertedero de entrada de los peces a la escala.

## 6.13. COTA CORONACIÓN MUROS ENTRADA.

Con el objeto de que cuando se incrementen los niveles del río no entre el caudal en la escala se ha considerado un incremento de 0,15 m sobre los tabiques interiores y de 0,15 m más para el caso del los muros exteriores, presentando éstos una altura de 1,70 m. Dicha altura no se mantendrá constante a lo largo de toda la estructura, sino que se adaptara a las condiciones y morfología del azud.

En los tabiques interiores se ha considerado un incremento de 0,15 m, con lo que la altura total de éstos será de 1,55 m.

## 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Una vez justificadas se resumen las principales características geométricas de la escala de peces diseñada.

### 7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESCALA DE PECES.

	Cauce:	Guadalope
	Función presa:	Azud
	Nº estanques:	16
	Nº de tabiques:	17
	Ancho del vertedero	0,25 m
	Ancho del estanque	1,80 m
	Longitud del estanque	2,50 m
	Altura del umbral de fondo	0,70 m
<b>ARTESAS TIPO</b>	Orificio de fondo (cxd)	0,04 m <sup>2</sup>
	Anchura del tabique	0,25 m
	Carga de vertido	0,70 m
	Dimensiones del deflector	0,25 m
	Desnivel entre estanques	0,25 m
	Pendiente	9,1 %
	Desnivel artesa-río	0,10 m
	Ancho orificio	0,25 m
	Altura del umbral de fondo	0,70 m
<b>1ª ARTESA</b>	Carga de vertido	0,70 m
	Carga de vertido	0,80 m
	Salto	0,60 m
	L2	0,80 m
	L1	1,80 m
	Ancho del estanque	1,80 m

Tabla 12. Características de la escala de peces

## **7.2. DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO.**

La escala será de hormigón y tendrá unas artesas con una sección en U, con muros de altura variable. El hormigón empleado será HA-25.

Los muros tendrán 30 cm de espesor en alzado y 40 cm de canto en zapata. Los tabiques intermedios serán asimismo de hormigón, de 25 cm de espesor y dimensiones indicadas en el plano correspondiente.

La base de las artesas estará recubierta de cantos con un diámetro medio de 0,15 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 las artesas y a naturalizar el paso para peces.

## **8. 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 un (1) mes y 27 días. Con el fin de minimizar las afecciones sobre el curso de agua este periodo debe corresponderse con el de menor caudal.

## **9. PRESUPUESTO**

Con todo cuanto antecede se estima suficientemente justificado este **PROYECTO DE ESCALA DE PECES EN EL RÍO GUADALOPE, T.M DE CASTELLOTE (TERUEL)**, siendo su Presupuesto de Ejecución Material de CIENTO SEIS MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y SIETE CON OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS DE EURO (**106.647,87 €**).

Zaragoza, Junio 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