

MEMORIA

INDICE

1.	ANTECEDENTES	5
2.	OBJETO	5
3.	CARACTERÍSTICAS DEL RÍO EBRO	6
3.1.	HIDROLOGÍA.....	6
3.2.	CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.....	7
4.	FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	8
5.	CARACTERÍSTICAS DEL AZUD	9
5.1.	LOCALIZACIÓN.....	9
5.2.	SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	9
5.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD.....	10
5.4.	CARÁCTERÍSTICAS DE PECES DE LA ESCALA EXISTENTE.....	12
6.	PERMEABILIZACIÓN	13
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
6.5.	CAUDALES CIRCULANTES.....	19
6.6.	SALTO TOTAL Y NÚMERO DE ESTANQUES.....	20
6.7.	CAUDAL Y DIMENSIONES DE LA ESCALA.....	21
6.8.	DIMENSIONES DE LA PRIMERA ARTESA.....	23
6.9.	PÉRDIDA DE CARGA TOTAL EN ESCOTADURAS.....	24
6.10.	DISIPACIÓN ENERGÉTICA EN LAS ARTESAS.....	24
6.11.	ZONA DE LLAMADA.....	25
6.12.	COTA CORONACIÓN MUROS ENTRADA.....	25
7.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	26
7.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA ESCALA DE PECES.....	26
7.2.	DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO.....	27
7.3.	COMPUERTA.....	27
8.	PLAZO DE LAS OBRAS	27
9.	PRESUPUESTO	27

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.

La presente memoria tiene por objeto el diseño de un paso de fauna, acorde con la ictiofauna del río Ebro a su paso por el municipio de Merindad de Valdivieso, 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 Ebro, con todas las ventajas que ello supone para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones piscícolas.

3. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO EBRO

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 de aforo 026, Ebro en Arroyo, situada inmediatamente aguas abajo del embalse del Ebro.

Para el estudio de los caudales en el río Ebro, se partió de una serie temporal de caudales diarios de 60 años; tomados en la estación de aforo 9026.

En la siguiente gráfica se representa el régimen hidrológico de la estación de aforo seleccionada. El río Ebro en Arroyo presenta un régimen simple con un periodo de caudales altos, comprendido de julio a septiembre, mientras que en el resto del año presenta un régimen de caudales más estable. El máximo de caudal se registra los meses de julio y agosto.

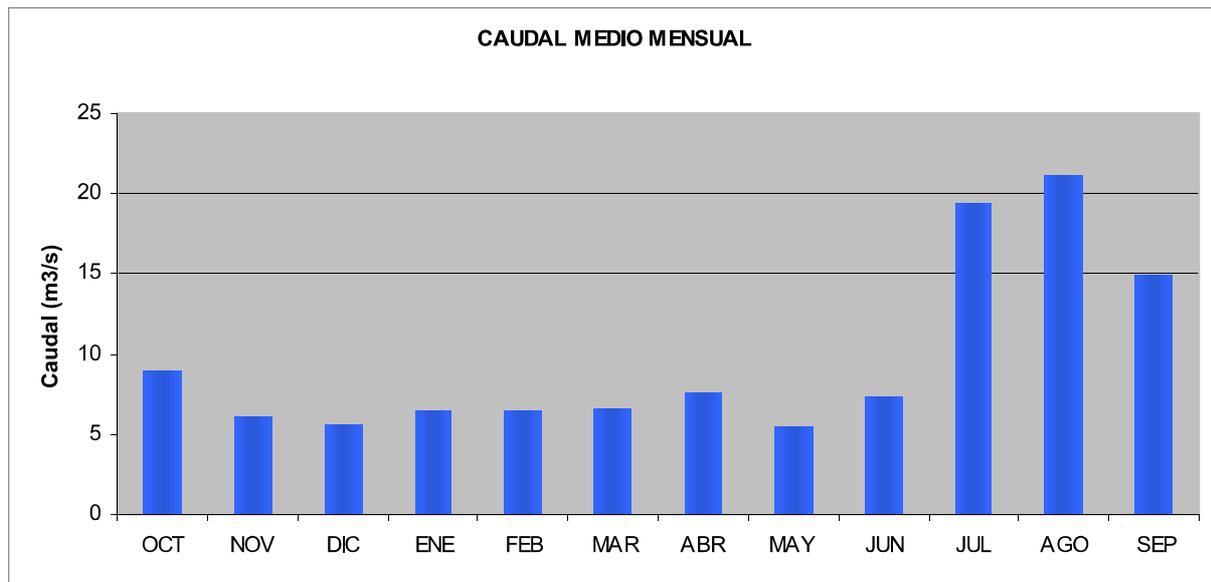


Fig. 1. Régimen anual del río Ebro en el Aforo 026 en Arroyo. (Fuente CHE)

3.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

En el río Ebro 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). Destacar la identificación en el muestreo de un ejemplar de *Salaria fluviatilis*, especie catalogada en peligro de extinción.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunas estadísticas del muestreo IBI 389 (Coordenadas UTM Huso 30 X 415.724Y 4.750.597), localizado en Aldea de Ebro y utilizadas en el diseño de la escala de peces.

Masa 468. Río Ebro IBI 389									
Especie	Ejemplares	Talla media	Desv Típica	Peso medio	Desv Típica	Máx Talla	Máx Peso	Biomasa	
<i>Parachondrostoma miegii</i>	56	12,95	1,10	26,83	8,20	15,7	50,40	347,36	
<i>Salmo trutta</i>	50	12,28	5,47	36,50	56,71	28,9	236,40	448,10	
<i>Phoxinus phoxinus</i>	43	5,83	1,02	2,64	0,80	7,2	4,50	15,38	
<i>Gobio gobio</i>	61	8,39	1,25	7,83	3,23	10,90	14,60	65,70	
<i>Luciobarbus graellsii</i>	4	8,15	0,79	7,875	2,54	9,5	12,2	64,18	

Tabla 1. Estadísticas del muestreo de peces IBI 389 en el río Ebro

El grupo que mayor número de ejemplares presenta es el del gobio (*Gobio gobio*), seguido de la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y de la trucha común (*Salmo trutta*). Cabe destacar también el número de ejemplares muestreados de piscarda (*Phoxinus phoxinus*).

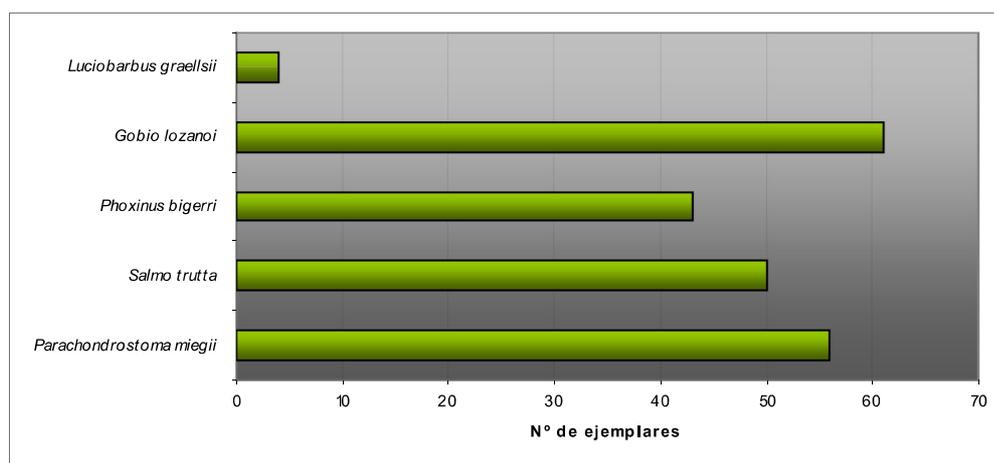


Fig. 2. Número de ejemplares por especies en el muestreo IBI 389 en el río Ebro

La especie del muestreo que mayor biomasa presenta es la trucha común con un peso total de 448 gr. repartidos para 50 individuos. La media para esta especie es de 36 gr.

4. FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

La actuación se encuentra dentro de la Zona de Especial Protección para las Aves Hoces del Alto Ebro y Rudrón (ES4120036).

Este espacio se localiza desde el punto de vista biogeográfico a caballo entre la Región Atlántica (12%) y la Región Mediterránea (88%).

Este espacio incluye un amplio territorio caracterizado por los roquedos calizos en las zonas altas y los profundos y extensos cortados fluviales originados por los ríos Ebro y Rudrón. En las partes más elevadas aparecen una serie de páramos arbustivos, las laderas y zonas más altas (pinares, robledales, hayedos) y cultivos en los valles (Sedano, Zamanzas, Manzanedo ...). A lo largo del curso de los ríos aparecen bosques de ribera bastante bien conservados.

Existe una notable representación de sistemas forestales bien conservados.

En total alberga 22 hábitats naturales de los que 5 son prioritarios y algunos taxones de gran interés como el alimoche y el búho real.

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

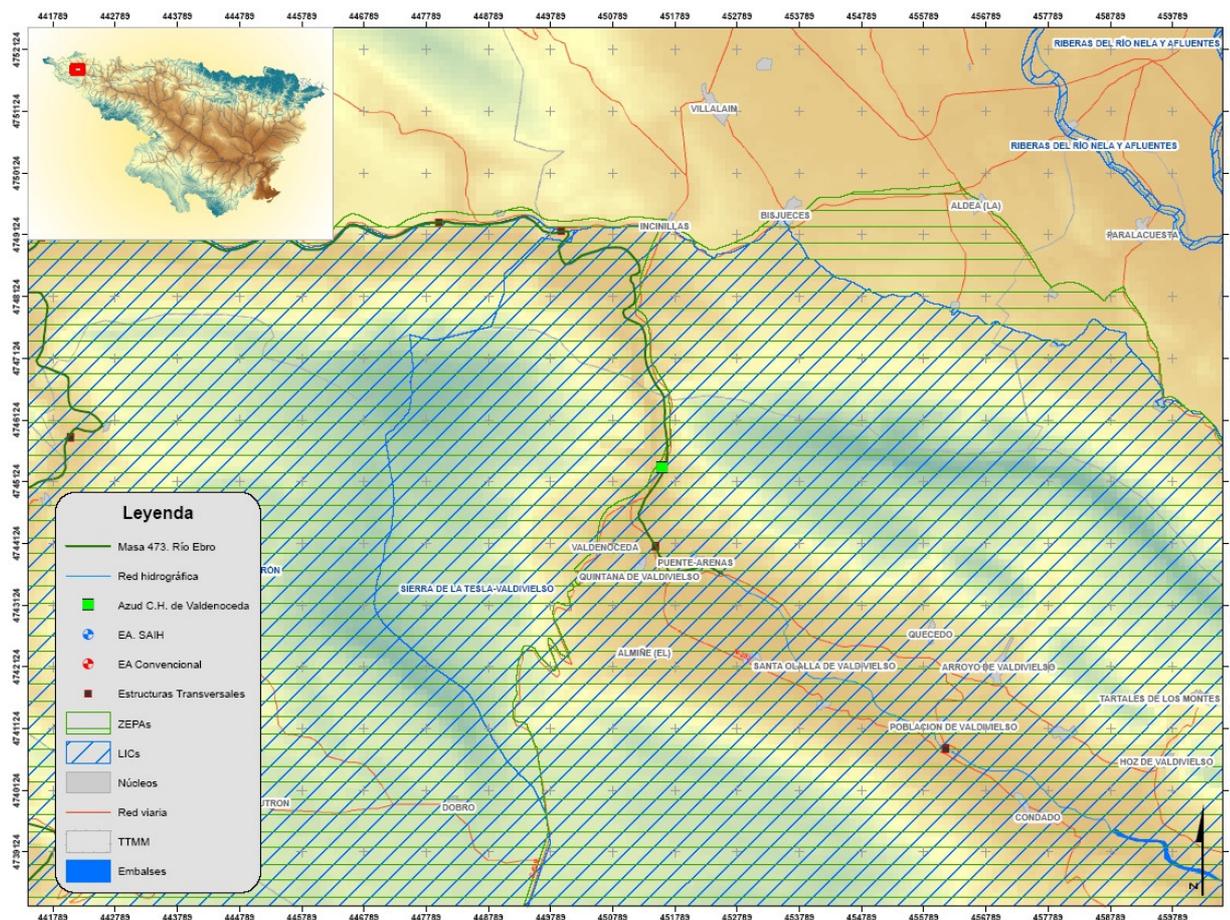


Fig. 3. Figuras de protección ambiental en el entorno de la actuación

5. CARACTERÍSTICAS DEL AZUD.

5.1. LOCALIZACIÓN

El azud de derivación se encuentra en el término municipal de Merindad de Valdivieso (Burgos), en las coordenadas UTM del Huso 30 X451.797,804 Y4.745.207,917

5.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Se trata de una estructura cuyo propietario es Saltos de Valdenoceda y está destinada a la captación de agua para un aprovechamiento hidroeléctrico, cuya concesión es de 18 m³/s para un salto de 4,7 m.



Fig. 4. Vista panorámica del obstáculo, desde aguas abajo



Fig. 5. vista del obstáculo desde la escala existente

5.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD

La obra de toma presenta una altura de 4,29 m desde la lámina de aguas abajo del obstáculo hasta la rasante de la misma. Se trata de una estructura de hormigón, cuya finalidad es la de derivar agua para un aprovechamiento hidroeléctrico. En planta la estructura se dispone diagonal al eje del cauce haciendo embudo en el costado de la margen derecha de aguas abajo.

Altura Total del Obstáculo	4,29 m
Cota Aguas arriba	578,85
Cota lámina de agua aguas abajo	574,56
Longitud	82 m
Anchura de coronación	0,55 m
Forma	Chaflán (H2-V4,4)
Material	Hormigón

Tabla 2. Principales características del azud



Fig. 6. Vista en planta del azud de derivación



Fig. 7. Modelo digital del terreno en el entorno del azud

5.4. CARÁCTERÍSTICAS DE PECES DE LA ESCALA EXISTENTE

El paso de peces existente se corresponde con una escala de peces de artesas sucesivas en vertido libre.

Según lo observado durante la visita la escala de peces se encontraba en desuso. Como se puede ver en las siguientes imágenes la entrada de caudal al paso se encontraba obstruida de vegetación y las artesas se encontraban parcialmente colmatadas.

En cuanto al diseño, destacar que se trata de una escala de artesas sucesivas en vertido libre. Resaltar la disposición del vertedero en las artesas, el cual en todas se localiza en el centro de las mismas. Además no se identificó ningún orificio de limpieza en las artesas para evacuar las gravas que entran en ellas.

En cuanto a la disposición y llamada del paso, mencionar que el emplazamiento es correcto ya que el azud es prácticamente transversal al eje del río, por tanto en cualquiera de las márgenes es válido su emplazamiento.

En cuanto a los detalles del diseño de la escala destacar que los cantos no son redondeados sino que son aristas y no se construyeron deflectores con el objeto de generar una zona de menor energía en las inmediaciones del vertedero.



Fig. 8. Vista de la escala de peces de artesas sucesivas



Fig. 9. Detalle de la entrada de caudal (izq) y de la entrada a la escala para los peces (derecha)

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 ha 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 el gobio (Gobio gobio) y 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).



Fig. 10. Foto de un ejemplar de lobo de río. Fuente: www.loaches.com

6.1.2. Caudales preferentes

En la siguiente tabla se representan la media, 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).

A9026 Río Ebro en Arroyo (m³/s)	
Noviembre-Febrero. Periodo Salmónidos	
Media	6,1 m ³ /s
Percentil 25	1,25 m ³ /s
Percentil 75	24,10 m ³ /s
Marzo-Julio. Periodo Ciprínidos	
Media	12,29 m ³ /s
Percentil 25	0,9 m ³ /s
Percentil 75	7,23 m ³ /s

Tabla 3. Estadísticas de los caudales del río Ebro en Arroyo

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.

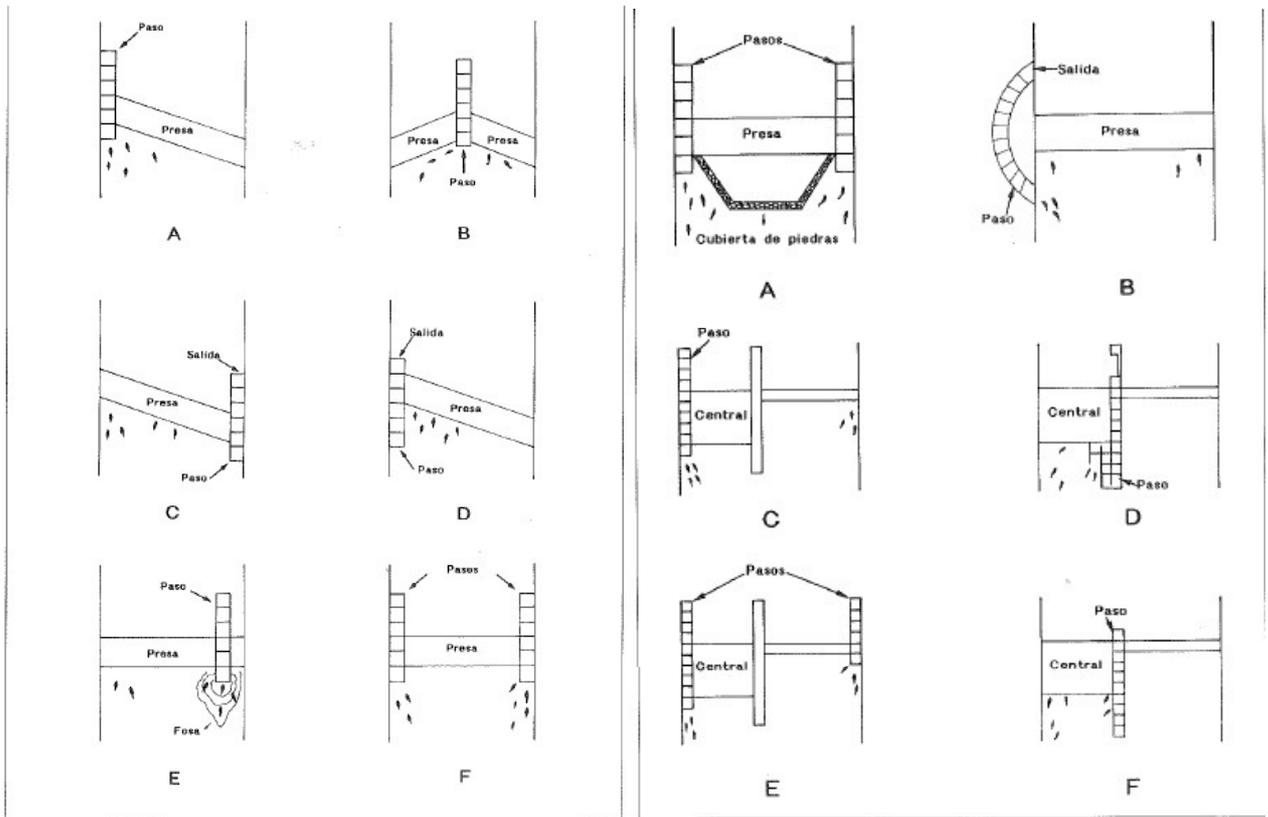


Figura 15. Disposición del paso en el obstáculo. A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo transversal.

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. 11. 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.

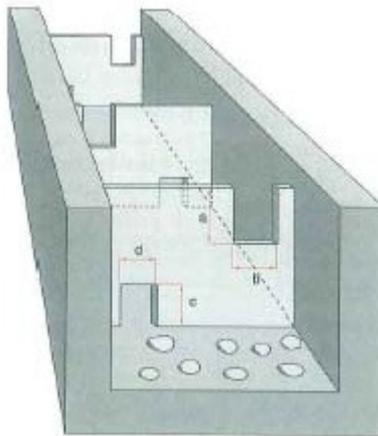


Fig. 12. Vista de una escala de estanques sucesivos. (Larinier 1992)

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. 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 corresponden con el caudal medio en el periodo de migración de ciprínidos (1,48 m³/s).

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 (398-458 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 m² 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) $8 - L/b - 10$ (11máximo).
- 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/m³ *
 - Salmónidos: 175 W/m³ .*

* Pudiéndose superar en 25 – 50 W/m³ en pasos cortos.

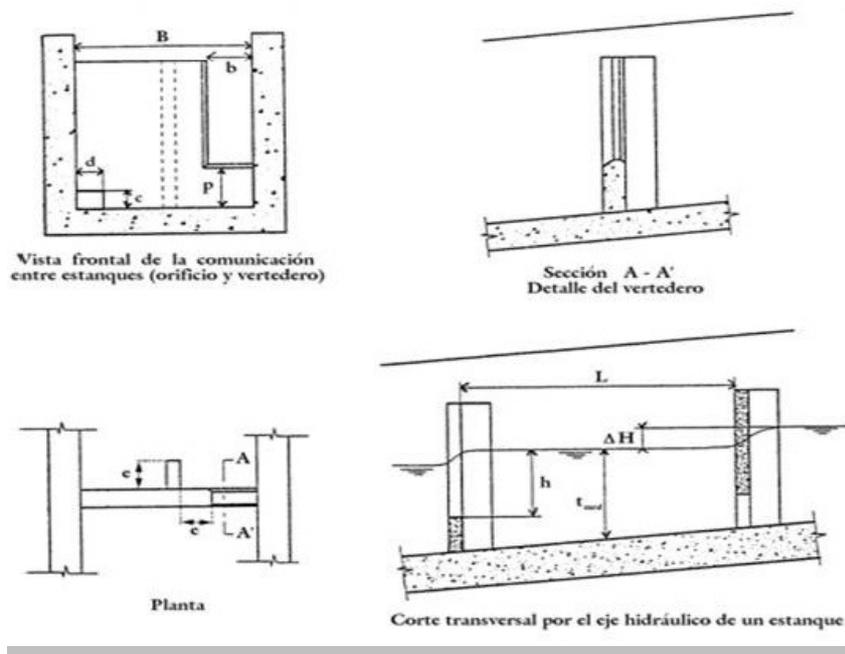


Fig. 13. Esquema de la artesa tipo.

6.5. 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 A9026 Río Ebro en Arroyo. Se consideran representativos del régimen circulante por el azud ya que se encuentra próxima de la futura estructura.

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, la mediana de los caudales para dicha época es de 1,48 m³/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 (5,53 m³/s) y para el máximo (21,15 m³/s).

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

	Caudal circulante (m ³ /s)	Concesión (m ³ /s)	Caudal de diseño (m ³ /s)
Q _{mín} (Media mensual)	5,53	18	-
Q _{med} (Media Periodo de migración)	6,1	18	-
Q _{máx} (Media mensual)	21,15	18	3,15

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

6.6. 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_d : coeficiente de gasto (0,4).

L: anchura del vertedero del azud (m).

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

h_{azud} : 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 artesas (Δh) de 0,20 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	578,85 m
Cota lámina aguas abajo	574,56 m
Incremento lámina de agua en la rasante del azud	0,12 m
Desnivel total	4,40m
Desnivel entre artesas	0,20 m
Número de estanques	21
Número de vertederos	22

Tabla 5. Desniveles de la estructura y número de estanques

6.7. CAUDAL Y DIMENSIONES DE LA ESCALA

La escala se dimensionó para que cumpliera con un caudal de diseño comprendido entre 400 – 500 l/s, las dimensiones propuestas, se muestran a continuación:

Ancho del vertedero (b)	0,4 m
Ancho del estanque (B)	1,6 m
Longitud del estanque (L)	2,8 m
Altura del umbral de fondo (p)	0,9 m
Orificio de fondo (cxd)	0,04 m
Anchura del tabique (s)	0,25 m
Carga de vertido (h)	0,8 m
Dimensiones del deflector (e)	0,40 m
Desnivel entre estanques (Δh)	0,2 m
Pendiente (l)	6,6 %

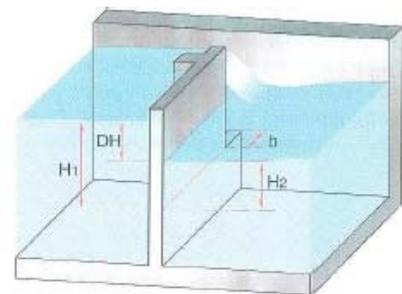
Tabla 6. Características geométricas de la escala

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:

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



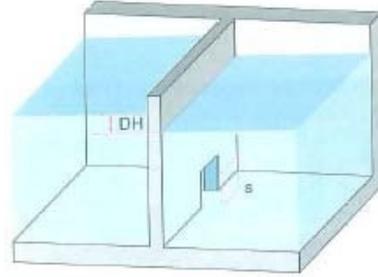
- Coeficiente de descarga, c_v . Se toma el valor de 0,40.
- Anchura de paso de la escotadura, b (m).
- Diferencia de altura entre artesas ΔH (m).
- Calado medio en la artesa h_1 (m).

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 (m²).
- Diferencia de altura entre arquetas ΔH (m).



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

Caudal circulante (m ³ /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	k	Caudal de diseño (Qd) (m ³ /s)	Caudal orificios (Qos)	Caudal vertedero (Qv)
5,53	0,79	1,59	0,67	0,400	0,055	0,342
6,1	0,8	1,60	0,67	0,400	0,055	0,345
21,15	0,96	1,76	0,63	0,458	0,055	0,402

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 (400 – 500 m³/s).

6.8. 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 Ebro, se ha propuesto una hendidura vertical en vez de un vertedero semisumergido. Dicha hendidura tendrá una anchura de 0,30 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 menor que el resto (0,14 m), para que le resulte a los peces superar el ultimo 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 (Δh_2)	0,20 m
Ancho orificio (b)	0,30 m
Altura del umbral de fondo (p_1)	0,90 m
Carga de vertido (h_1)	0,80 m
Carga de vertido (h_2)	0,65 m
Salto (p_2)	1,05 m
L2	0,90 m
L1	1,90 m
Ancho del estanque (B)	1,60 m

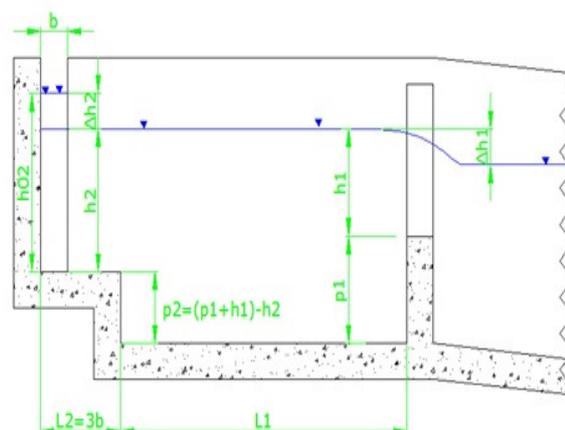


Tabla 8. Dimensiones de la primera artesa.

6.9. 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 0,20 m. De igual forma el último salto (artesa-río) es de 0,14 m, para salvándose de esta forma el desnivel total de la estructura (4,34 m).

6.10. 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/m³. En pasos cortos se puede incrementar este valor en 25 - 50 W/m³.

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:

ρ = Densidad del agua (1000 g/cm³)

g = Gravedad

Q = Caudal del paso (m³/s)

ΔH = 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 _{río} (m ³ /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	Desnivel entre artesas (Δh)	Caudal de la escala (m ³ /s)	Potencia disipada (W/m ³)
5,53	0,84	0,64	0,20	0,398	127
6,10	0,85	0,65	0,20	0,400	127
21,15	1,08	1,22	0,20	0,458	130

Tabla 9. Disipación de energía en la primera artesa.

Q _{río} (m ³ /s)	Carga de vertido (h)	Profundidad media	Desnivel entre artesas (Δh)	Caudal de la escala (m ³ /s)	Potencia disipada (W/m ³)
5,53	0,79	1,59	0,20	0,398	109
6,10	0,8	1,6	0,20	0,400	110
21,15	0,96	1,83	0,20	0,458	114

Tabla 10. Disipación de energía en las artesas tipo.

6.11. 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 5,5 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.

6.12. 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 para los muros exteriores de 0,15 m sobre los tabiques interiores, presentando éstos una altura de 2 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 1,85 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:	Ebro
	Función presa:	Hidroeléctrica
	Nº estanques:	21
	Nº de tabiques:	22
	Ancho del vertedero	0,40 m
	Ancho del estanque	1,60 m
	Longitud del estanque	2,80 m
	Altura del umbral de fondo	0,90 m
ARTESAS TIPO	Orificio de fondo (cxd)	0,04 m ²
	Anchura del tabique	0,25 m
	Carga de vertido	0,80 m
	Dimensiones del deflector	0,40 m
	Desnivel entre estanques	0,2 m
	Pendiente	6,6 %
	Desnivel artesa-río	0,20 m
	Ancho orificio	0,30 m
	Altura del umbral de fondo	0,90 m
1ª ARTESA	Carga de vertido	0,80 m
	Carga de vertido	0,65 m
	Salto	1,05 m
	L2	0,90 m
	L1	1,90 m
	Ancho del estanque	1,60 m

Tabla 11. 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.

7.3. COMPUERTA

En la hendidura de la primera artesa (aguas arriba), por donde entra el caudal a la escala de peces, se instalará una compuerta. Ésta tendrá unas dimensiones de 0,3 x 1,15 m y permitirá impermeabilizar el paso de peces en el caso que sea necesario.

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 dos (2) meses. 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 LA ESCALA DE PECES EN EL RÍO EBRO, T.M. DE MERINDAD DE VALDIVIESO (BURGOS)**, siendo su Presupuesto de Ejecución Material de CIENTO VEINTIDOS MIL QUIENIENTOS NOVENTA Y SIETE MIL con UN CENTIMO DE EURO (**122.597,01 €**).

Zaragoza, Enero de 2011

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