

MEMORIA

INDICE

1.	ANTECEDENTES	5
2.	OBJETO	5
3.	CARACTERÍSTICAS DEL RÍO MATARRAÑA	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.....	9
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
6.4.1.	<i>Escala de Peces</i>	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	23
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.	REBAJE AZUD Y CANAL DE DESCENSO	27
7.3.	DIMENSIONAMIENTO Y ARMADO.....	27
7.4.	RELLENO CON BOLOS	27
7.5.	APERTURA DE LA PRESA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS	27
8.	RESTITUCIÓN DE SERVICIOS AFECTADOS	27
8.1.	ARQUETA.....	28
8.2.	TUBERÍA	28
9.	PLAZO DE LAS OBRAS	28
10.	PRESUPUESTO	28

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 Matarraña a su paso por el municipio de Beceite, 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 Matarraña, con todas las ventajas que ello supone para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones piscícolas.

3. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO MATARRAÑA

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 en el municipio de Beceite (A9052, río Matarraña en Beceite).

En la siguiente gráfica se representa el régimen hidrológico de la estación de aforo seleccionada. El río Matarraña en Beceite presenta un régimen simple con un periodo de caudales altos, comprendido de octubre a mayo, y otro de caudales bajos de junio a octubre. El máximo de caudal se registra los meses de abril y mayo por las precipitaciones

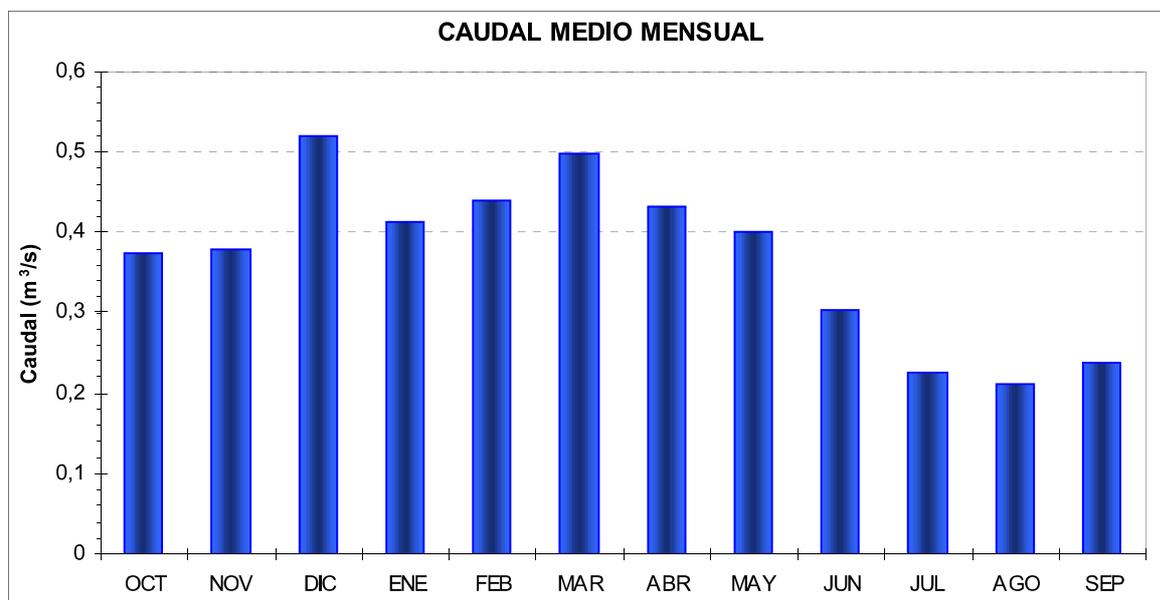


Fig. 1. Régimen anual del río Matarraña en el Aforo 048 en Anguiano. (Fuente CHE)

Para el estudio de los caudales en el río Matarraña, se partió de una serie temporal de caudales diarios de 71 años tomados en la estación de aforo 9048.

3.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

En el río Matarraña 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.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunas estadísticas del muestreo IBI 140 (Coordenadas UTM Huso 30 766.271, Y 4.528.414) utilizadas en el diseño de la escala de peces.

Masa 504. Río Matarraña IBI 140									
Especie	Ejemplares	Talla media	Desv Típica	Peso medio	Desv Típica	Máx Talla	Máx Peso	Biomasa	
<i>Salmo trutta</i>	1	409		820				820	
<i>Barbus haasi</i>	51	113,08	22,60	16,29	10,14	113,08	21,2	830,9	
<i>Parachondrostoma miegii</i>	50	78,80	21,49	6,09	5,47	78,80	580	304,5	
<i>Barbus graellsii</i>	65	94,42	51,45	23,43	75,12	94,42	3,4	1523,1	
<i>Barbatula quignardi</i>	55	111,58	9,40	1,92	9,67	111,58	3,6	105,4	
<i>Achondrostoma arcasii</i>	12	57,75	16,76	2,19	18,13	57,75	89,4	26,3	
<i>Squalius laietanus</i>	5	142,20	66,91	37,84	29,07	142,20	45,6	189,2	

Tabla 1. Estadísticas del muestreo de peces IBI 140 en el río Matarraña

El grupo que mayor número de ejemplares presenta es el barbo común (*Barbus graellsii*) seguido del Lobo de río (*Barbatula quignardi*), el barbo colirrojo (*Barbus haasi*) y la madrilla (*Parachondrostoma miegii*).

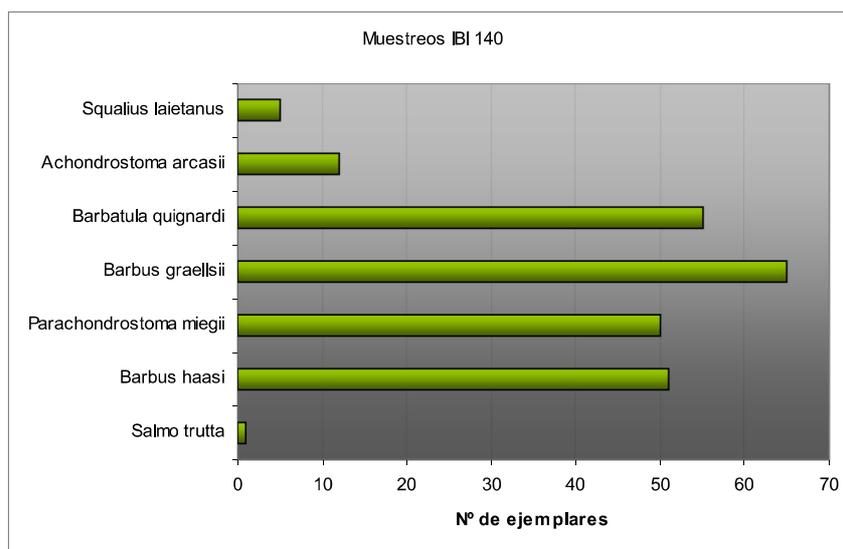


Fig. 2. Número de ejemplares por especies en el muestreo IBI 140 en el río Matarraña

4. FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

La actuación como se puede ver en la siguiente figura se encuentra dentro del espacio ES2430097 Río Matarraña, incluido en la Red Natura 2000.

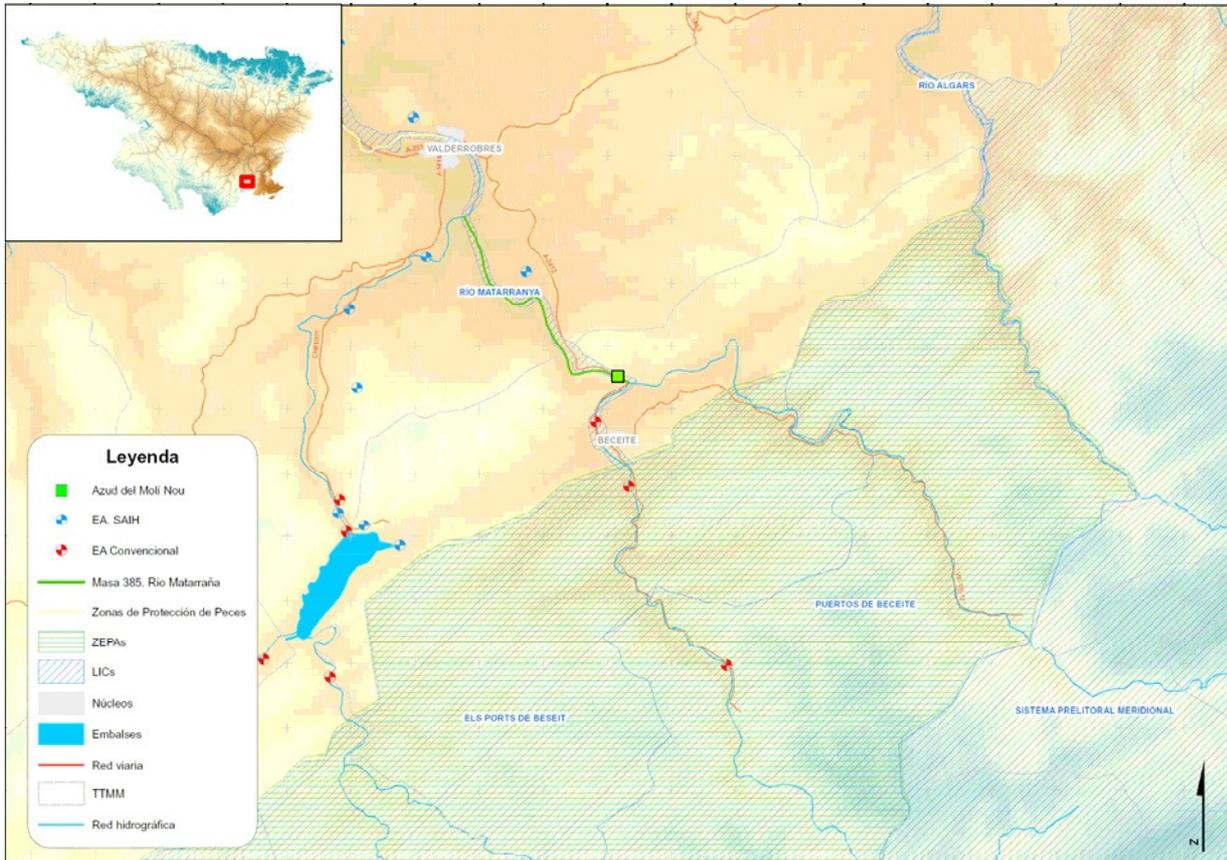


Fig. 3. Mapa Red Natura 2000

Este LIC es un espacio de gran interés en cuanto a tipología paisajística fluvial en medios mediterráneos.

La fuerte irregularidad hídrica que presenta el régimen fluvial del Matarraña permite catalogarlo como un río de régimen pluvial, con un acusado periodo seco estival, desde el mes de junio y unos máximos de caudal coincidiendo con las precipitaciones equinocciales. Este enclave presenta una vegetación riparia con un bosque bien estructurado, especialmente en su tramo bajo, con posiciones secuenciales respecto al cauce del río de acuerdo a sus necesidades hídricas, sucediéndose saucedas, alamedas, fresnedas y olmedas.

La calidad del LIC se debe al especial interés de los valores naturales que alberga, al tratarse de un corredor fluvial compuesto por pequeños sistemas de bosques galería que se comunican con los pequeños espacios seminaturales de las serrezuelas, resultando un interesante refugio para la fauna y la flora.

Según la ficha del LIC en él se incluyen las siguientes especies de peces: *Chondrostoma toxostoma* y *Rutilus arcasii*. Ambas incluidas en el Anexo II de la Directiva 92/43/CEE. Según las indicaciones de la ficha la población de estas especies no es significativa.

5. CARACTERÍSTICAS DEL AZUD.

5.1. LOCALIZACIÓN

El azud de derivación se encuentra en el término municipal de Beceite (Teruel), en las coordenadas UTM del Huso 30 X 768.577 Y 4.526.072.

5.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

La concesión ligada a esta estructura, cuyos propietarios son M^a del Carmen y M^a Victoria Gil Crespo, está destinada para la producción de energía eléctrica para el alumbrado de una vivienda.

El volumen de la concesión es de 192 l/s y el salto bruto es de 5,35 m.

El número de inscripción de la concesión es el 48.578

5.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD

Se trata de un azud para la derivación de caudales a una acequia de la margen derecha. Esta estructura presenta una altura de 4,28 m y una longitud de 28,35 m.

Se trata de una estructura de hormigón que dispone de una compuerta para la limpieza de gravas en el costado de la margen izquierda, junto a esta compuerta se ha observado una importante grieta de unos 2 cm.

En planta la estructura se dispone perpendicular al eje del cauce.

Altura Total del Obstáculo	4,28 m
Cota Aguas arriba	529,62 m
Cota lámina de agua aguas abajo	525,30 m
Longitud	28,35 m
Anchura de coronación	0,96 m
Forma	Chaflan (H 3,2-V 4,28)
Material	Hormigón

Tabla 2. Principales características del azud

Aguas arriba del azud a unos 75 m hay una contra presa cuya función es la retención de sólidos. Esta presenta una altura aproximada de 0,55 m.

Por último, desde aguas arriba de la presa de retención de sólidos a aguas abajo del azud de derivación del Moli Nou se contruyó una escala de peces.

De acuerdo con lo observado en las visitas de campo este paso para peces se encuentra totalmente inutilizado, ya que está atarrado desde la crecida de octubre del 2000 y el diseño no es adecuado para

permitir la migración ascendente de los peces (artesas con poco calado, orificios de limpieza pequeños, entrada a la escala descolgada de la lámina de agua, etc).



Fig. 4. Vista de la estructura desde la margen derecha



Fig. 5. Vista en planta de la estructura.



Fig. 6. vista en planta del azud de derivación y la presa de retención de sólidos



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. Esta conecta el río desde aguas arriba de la presa de retención de sólidos hasta aguas abajo del azud de derivación.

Esta escala como se indicó en el punto anterior se encuentra inutilizada desde la crecida registrada en el río Matarraña en octubre del año 2000. Actualmente el paso se encuentra colmatado de finos, gravas y bolos de grandes dimensiones. Además la entrada a la escala para los peces se encuentra totalmente descolgada de la lámina del río (más de 60 cm) y cubierta de vegetación.

En cuanto al diseño del paso indicar que este con cumple con los requisitos para que sea funcional, ya que dispone de artesas con un calado muy bajo donde el pez no puede coger impulso para saltar. Asimismo, los orificios de limpieza, por donde se evacuan parte de los sólidos que entran en la escala son de tamaño muy reducido por lo que no cumplen con su función.

Por todo ello se concluye que este paso no es funcional para el grupo de peces identificado en este tramo del río Matarraña.



Fig. 8. Vista frontal y lateral de la escala de peces

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 requiere 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 son el barbo común (*Salmo trutta*) el Lobo de río (*Barbatula quignardi*) y la madrilla (*Parachondrostoma miegii*).

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).

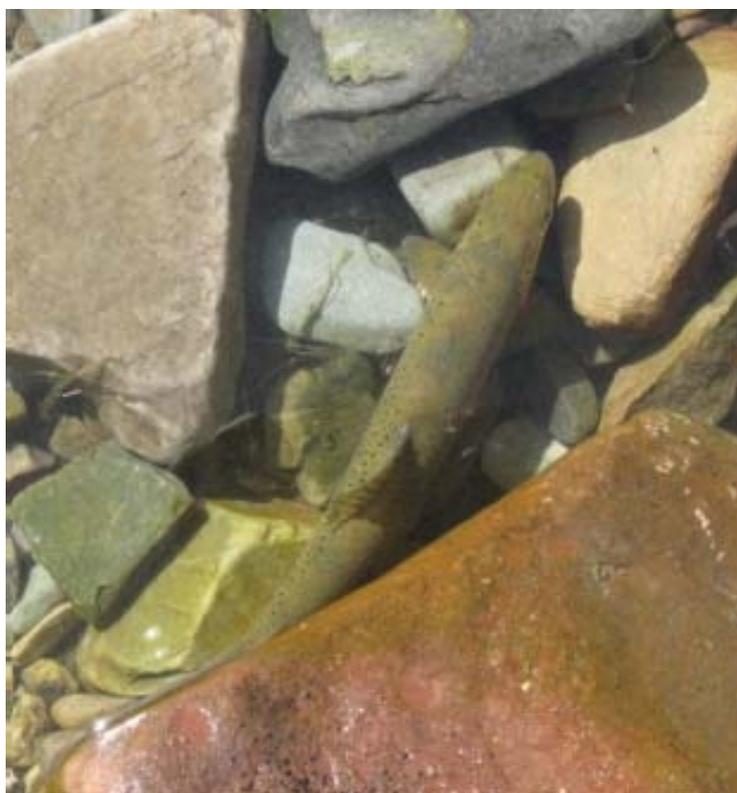


Fig. 9. Foto de un ejemplar de trucha común (*salmo trutta*)

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).

A9048 (x2) Río Matarraña en Beceite (m ³ /s)	
Noviembre-Febrero. Periodo Salmónidos	
Mediana	0,48 m ³ /s
Percentil 25	0,34 m ³ /s
Percentil 75	0,78 m ³ /s
Marzo-Julio. Periodo Ciprínidos	
Mediana	0,39 m ³ /s
Percentil 25	0,22 m ³ /s
Percentil 75	0,72 m ³ /s

Tabla 3. Estadísticas de los caudales del río Matarraña en Beceite (A048 x2) según los periodos reproductivos

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.

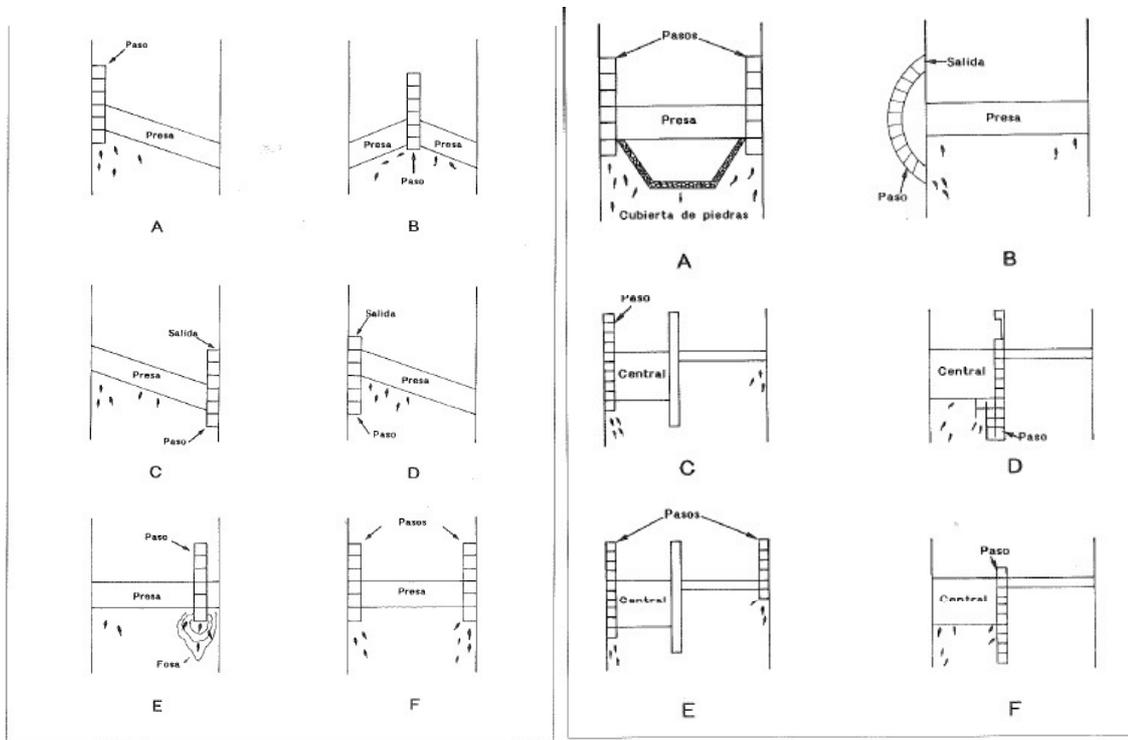


Figura 15. Disposición del paso en el obstáculo. A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo transversal.

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. 10. 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.

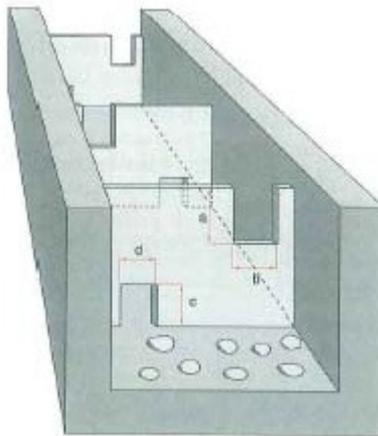


Fig. 11. Vista de una escala de estanques sucesivos. (Larrier 1992)

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 y una apertura parcial del azud de retención de sólidos ubicado aguas arriba del 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.

Se ha escogido este tipo de paso para permeabilizar el azud de derivación principalmente por la altura que presenta. Por otro lado, la presa de retención de sólidos debido a su baja altura es suficiente con un rebaje en la estructura

6.4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

6.4.1. Escala de Peces

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 ($0,39 \text{ m}^3/\text{s}$) y el caudal detraído ($0,192 \text{ m}^3/\text{s}$).

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 ($250\text{-}265 \text{ l/s}$), 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 $0,20 \text{ m}$ tanto para la trucha como para los ciprínidos.
- El tamaño mínimo de los orificios de limpieza será de $0,04 \text{ m}^2$ 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 $0,6 \text{ m}$.
- 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: $0,6 \leq p \leq 1 \text{ m}$.
- 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 $1,7 \text{ m/s}$ 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.

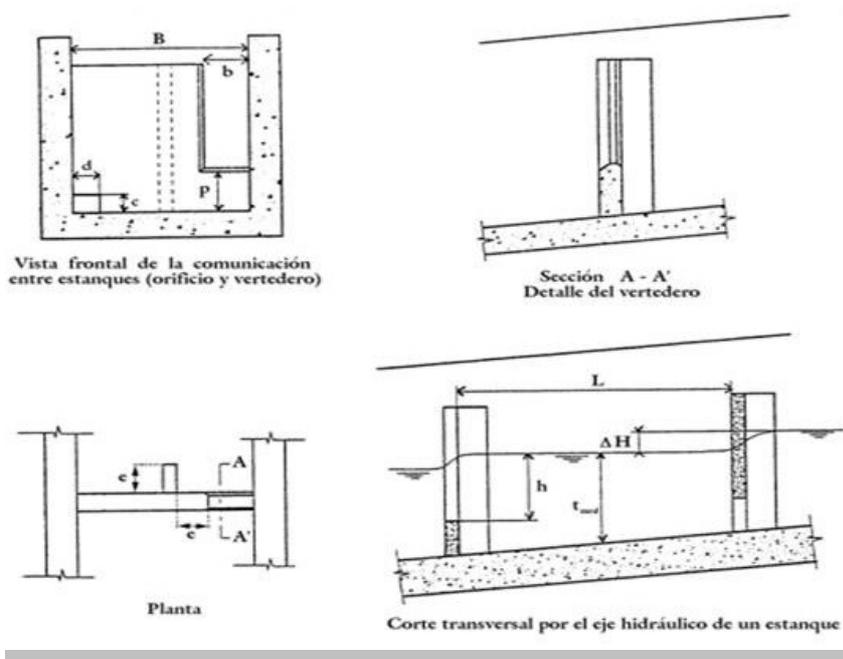


Fig. 12. Esquema de la artesa tipo.

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 A048 río Matarraña en Beceite multiplicada por dos ya que en ella no se registran las aportaciones del río Ulldemó que presenta una cuenca muy similar a la del río Matarraña.

El periodo reproductor de las especies objetivo comienza en marzo y termina a finales de julio. Se ha escogido la mediana ($0,39 \text{ m}^3/\text{s}$) del periodo reproductor de los salmónidos (noviembre-febrero) ya que era menor que la del periodo reproductor de los salmónidos ($0,48 \text{ m}^3/\text{s}$). A estos valores ha de restarse el caudal de la concesión del aprovechamiento del Molí Nou.

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 la mediana de los caudales en los periodos de migración, se comprobó el funcionamiento del paso para el mínimo caudal de la serie anual ($0,46 \text{ m}^3/\text{s}$) y para el máximo ($1,08 \text{ m}^3/\text{s}$).

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_{\min} (Media mensual)	0,46 (Septiembre)	0,192	0,268
Q_{med} (Mediana Periodo de migración)	0,39	0,192	0,198
Q_{\max} (Media mensual)	1,08 (Abril)	0,192	0,888

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	529,58 m
Cota lámina aguas abajo	525,30 m
Incremento lámina de agua en la rasante del azud	0,04 m
Desnivel total	4,32 m
Desnivel entre artesas	0,20 m
Número de estanques	21
,39 m3/s)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 250 – 300 l/s, las dimensiones propuestas, se muestran a continuación:

Ancho del vertedero (b)	0,25 m
Ancho del estanque (B)	1,50 m
Longitud del estanque (L)	2,00 m
Altura del umbral de fondo (p)	0,80 m
Orificio de fondo (cxd)	0,04 m ²
Anchura del tabique (s)	0,25 m
Carga de vertido (h)	0,80 m
Dimensiones del deflector (e)	0,25 m
Desnivel entre estanques (Δh)	0,20 m
Pendiente (l)	8,90 %

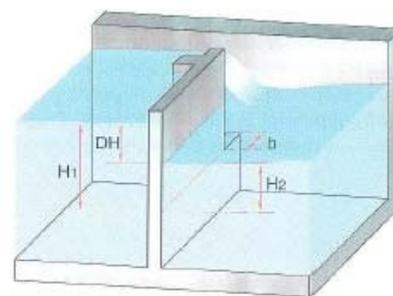
Tabla 6. Características geométricas de la escala

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:

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



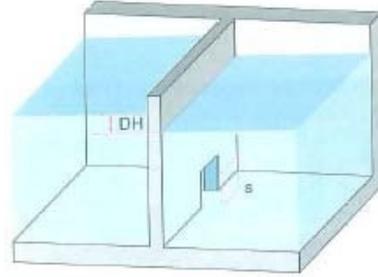
- Coeficiente de descarga, c_v . Se toma el valor de 0,40.
- Anchura de paso de la escotadura, b (m).
- Diferencia de altura entre artesas ΔH (m).
- Calado medio en la artesa h_1 (m).

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)
0,198	0,80	1,5	0,67	0,250	0,055	0,195
0,268	0,81	1,51	0,67	0,252	0,055	0,196
1,608	0,88	1,58	0,65	0,268	0,055	0,212

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 (250 – 300 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 Segre, se ha propuesto una hendidura vertical en vez de un vertedero semisumergido. Dicha hendidura tendrá una anchura de 0,20 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 (0,12 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)	0,12 m
Ancho orificio (b)	0,25 m
Altura del umbral de fondo (p_1)	0,80 m
Carga de vertido (h_1)	0,80 m
Carga de vertido (h_2)	0,70 m
Salto (p_2)	0,90 m
L2	0,75 m
L1	1,25 m
Ancho del estanque (B)	1,50 m

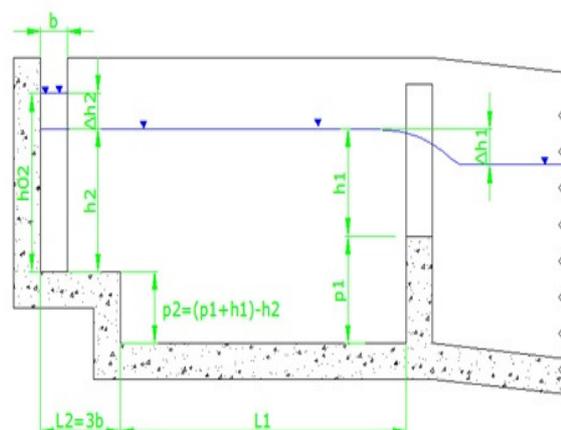


Tabla 8. Dimensiones de la primera artesa.

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. El último salto (artesa-río) será de 0,12 m, salvándose de esta forma el desnivel total (4,32 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)	Desnivel entre artesas (Δh)	Profundidad media	Caudal de la escala (m ³ /s)	Potencia disipada (W/m ³)
0,268	0,82	0,12	0,71	0,252	77
0,198	0,82	0,12	0,70	0,250	77
1,608	0,89	0,12	0,78	0,268	78

Tabla 9. Disipación de energía en la primera artesa.

$Q_{\text{río}}$ (m^3/s)	Carga de vertido (h)	Desnivel entre artesas (Δh)	Profundidad media	Caudal de la escala (m^3/s)	Potencia disipada (W/m^3)
0,268	0,81	0,20	1,51	0,252	109
0,198	0,80	0,20	1,50	0,250	109
1,608	0,88	0,20	1,58	0,268	111

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 han diseñado un rebaje en el azud y un canal en los estratos de roca que afloran aguas abajo del azud. Con estas acciones se conseguirá concentrar mayor caudal en las inmediaciones de la entrada de la escala de peces, de esta forma se consigue que los peces sean atraídos a la entrada de las 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 1,90 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 1,75 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:		Matarraña.
	Función presa:	Azud derivación producción de energía
	Nº estanques:	21
	Nº de tabiques:	20
	Ancho del vertedero	0,25 m
	Ancho del estanque	1,50 m
	Longitud del estanque	2,00 m
	Altura del umbral de fondo	0,80 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	0,25 m
	Desnivel entre estanques	0,20 m
	Pendiente	8,90 %
	Desnivel artesa-río	0,12 m
	Ancho orificio	0,25 m
	Altura del umbral de fondo	0,80 m
1ª ARTESA	Carga de vertido	0,80 m
	Carga de vertido	0,70 m
	Salto	0,90 m
	L2	0,75 m
	L1	1,25 m
	Ancho del estanque	1,50 m

Tabla 11. Características de la escala de peces

7.2. REBAJE AZUD Y CANAL DE DESCENSO

Con el objeto de concentrar caudal en la entrada a la escala y de permitir la migración descendente de los peces se proponen estas actuaciones.

El rebaje de la rasante del azud se realizará de 0,05 m en una longitud de 1,4 m tal y como se indica en los planos. De esta forma se consigue concentrar un importante caudal (entorno al 5 % del caudal del río durante el periodo de migración).

Para concentrar dicho caudal de llamada y permitir la migración descendente se construirá un tobogán con una pendiente uniforme que termine junto a la entrada de la escala.

7.3. 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.

7.4. RELLENO CON BOLOS

Con el objeto de crear un salto que impida a los peces poder superarlo se plantea un relleno de bolos en la última poza. De esta forma, se dificulta el acceso de los peces hasta la base del azud, obligándolos a detenerse en la poza donde se encuentra la entrada de la escala y se concentra el caudal de llama.

7.5. APERTURA DE LA PRESA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS

Con objeto de permeabilizar la presa de retención de sólidos emplazada 75 m aguas arriba del azud, se propone un rebaje de la rasante de coronación. Para ello se abrirá una sección en dicha presa de 36 cm de alto y 1 m de largo, por donde discurrirán 0,43 m³/s cuando por el río discurra la mediana del periodo de migración de ciprínidos (0,39 m³/s).

Esta sección se abrirá en el costado de la margen derecha, para más detalle ver los planos.

8. RESTITUCIÓN DE SERVICIOS AFECTADOS

La derivación de caudal al canal de riego se realiza por medio de un sifón el cual se verá afectado por la construcción de la nueva escala.

Con el objeto de restituir el servicio se propone construir una arqueta desde la cual se deriven los caudales por una tubería hasta la acequia por la que se abastece al aprovechamiento del el Molí Nou.

8.1. ARQUETA

Para captar el caudal del río y derivarlo al tubo que a su vez lo deriva a la acequia se ha planteado una arqueta de nueva construcción.

Las dimensiones de esta serán son de 2 m de ancho por 3,60 m de largo y 3,60 m de alto, el abastecimiento, dicha arqueta cuenta con una entrada de 0,50 x 0,50 m; la cual se encuentra protegida por una reja cuya luz de paso es de 0,02 m.

Para regular la entrada de agua y labores de mantenimiento, se han instalado dos compuertas con estanqueidad a los 3 lados, el cometido de dichas compuertas es regular tanto la entrada de agua a la arqueta como el paso a la tubería de derivación.

Como medida de protección se ha instalado un trames en la parte superior, cuyas dimensiones son 2 x 3,60 m.

8.2. TUBERÍA

Se instalará una tubería de PVC alveolar de DN 400 mm y SN4, recubierta con un dado de hormigón HM-20/P/20/IIa de 70 x 70 cm. Previamente será necesario excavar una zanja donde se instalará dicha conducción que presentará una longitud total de 33,42. La pendiente media de dicha tubería será del 2 %.

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 2 meses. 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 LA ESCALA DE PECES EN EL RÍO MATARRAÑA, T.M. DE BECEITE (TERUEL)**, siendo su Presupuesto de Ejecución Material de NOVENTA Y CINCO MIL SEISCIENTOS TREINTA Y UN EUROS con TRECE CENTIMOS (95.631,13 €).

Zaragoza, Diciembre 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