

MEMORIA

INDICE

1.	ANTECEDENTES	5
2.	OBJETO	5
3.	CARACTERÍSTICAS DEL RÍO	6
3.1.	HIDROLOGÍA.....	6
3.2.	CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA.....	8
4.	FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	10
5.	CARACTERÍSTICAS DEL AZUD	11
5.1.	LOCALIZACIÓN.....	11
5.2.	SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	11
5.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD.....	11
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
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.

El presente Anejo tiene por objeto el diseño de un paso de fauna, acorde con la ictiofauna del río Trema a su paso por el municipio de Villarcayo de Merindad de Castilla la Vieja, 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 Trema, con todas las ventajas que ello supone para asegurar la sostenibilidad de las poblaciones piscícolas.

3. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO .

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.

Dado que no existe ninguna estación de aforo en la masa en la cual se sitúa el obstáculo, los caudales del río Trema se han obtenido mediante la diferencia de caudales entre la estación de aforo A9092 (Río Nela en Trespaderne) y la estación A9254 (Río Trueba en Medina de Pomar) correspondiente al río Trueba, tributario por la margen izquierda del río Nela. Además, como se puede observar en la siguiente figura y en la tabla nº 1, la cuenca del trema presenta una superficie aproximadamente de 1/3 de la cuenca del Nela hasta la confluencia con el Trueba, por lo que el resultado de la diferencia entre dichas estaciones de aforo se ha dividido entre tres para obtener una aproximación de los caudales circulantes en el río Trema.

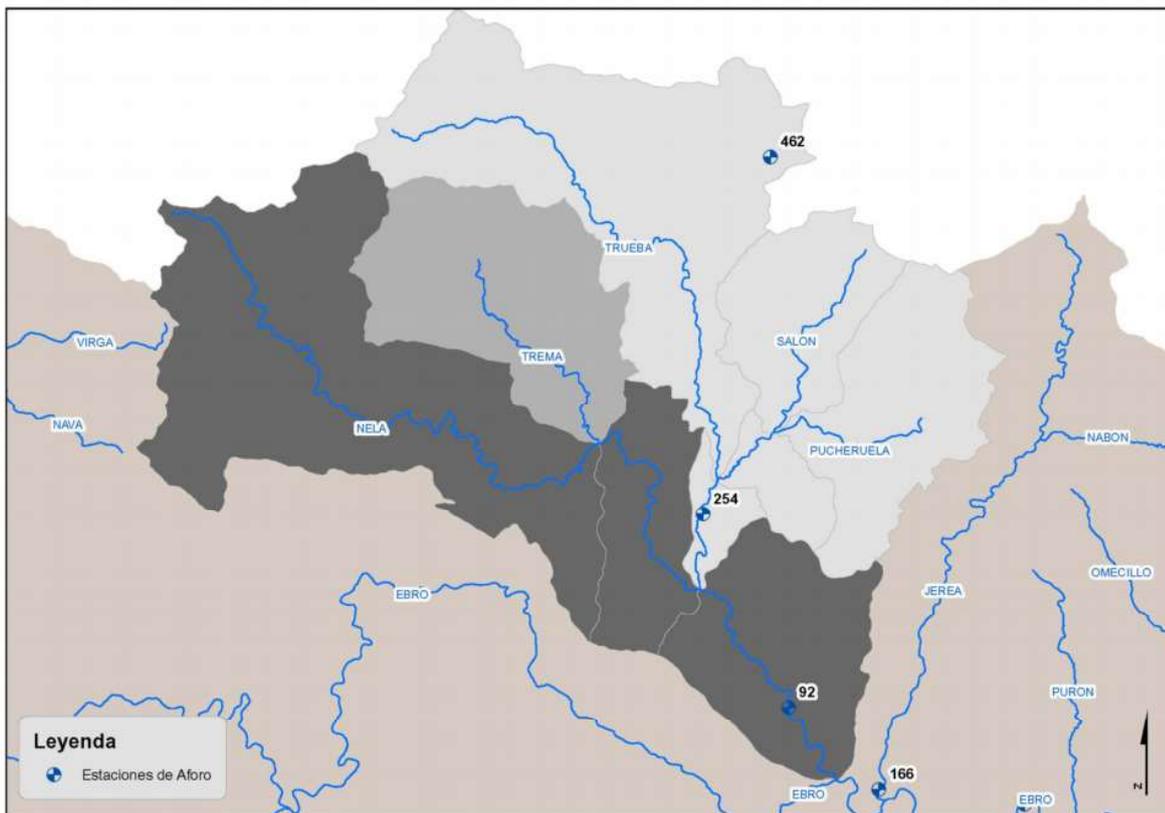


Fig. 1. Cuenca del río Nela y principales afluentes y estaciones de aforo

Cuenca	Superficie (Km ²)
Nela hasta Trespaderne	1.093
Nela hasta Trueba	501
Nela hasta Trema	291
Trueba	478
Trema	141

Tabla 1. Superficies de la cuenca del río Nela y sus afluentes Trema y Trueba

El río Trema presenta un régimen simple con un periodo de caudales altos, comprendido de octubre a mayo, y otro de caudales bajos de junio a septiembre.

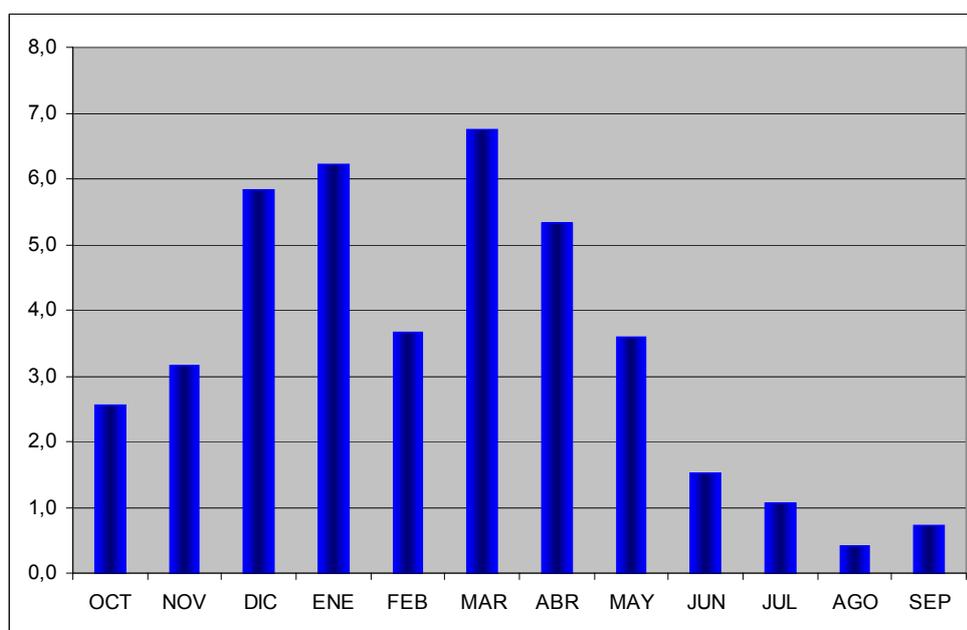


Fig. 2. Régimen anual del río Trema. Fuente datos: CEDEX

Como se puede observar en la siguiente tabla el caudal más alto de las medias mensuales se registra el mes de marzo y el mínimo el mes de agosto.

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
2,55	3,17	5,84	6,23	3,67	6,76	5,33	3,60	1,52	1,06	0,41	0,73

Tabla 2. Caudales medios mensuales (m³/s) río Trema

3.2. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

A la hora de definir las especies piscícolas presentes en el río, se ha consultado la información recogida en los muestreos de peces realizados por la Universidad de Barcelona (Muestreos IBI) dado que no existe constancia de dicho muestreo en la masa en cuestión, se tomo como referencia el muestreo IBI 396 (río Nela en Cigüenza), ya que este se encuentra en una zona próxima a la confluencia con el río y no existe ningún obstáculo que dificulte la libre circulación entre el río Nela y el Trema.

Así pues las especies predominantes son los ciprínidos y la *Salmo trutta* (trucha común).

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunas estadísticas del muestreo IBI 396 (Coordenadas UTM Huso 30 X 451.125 Y 4.754.800) utilizadas en el diseño de la escala de peces.

Masa 474. Río Nela IBI 396

Especie	Ejemplares	Talla media	Desv Típica	Peso medio	Desv Típica	Máx Talla	Máx Peso	Biomasa
<i>Parachondrostoma miegii</i>	6	12,97	11,77	25,68	11,77	15,3	50,00	154,10
<i>Salmo trutta</i>	5	15,52	11,76	55,50	47,36	22,3	139,00	277,50
<i>Gobio gobio</i>	49	7,45	12,72	6,07	2,35	10,1	15,80	297,50
<i>Phoxinus phoxinus</i>	51	4,90	15,90	1,57	0,91	7,50	5,10	80,30
<i>Barbatula barbatula</i>	14	7,27	21,01	4,01	1,82	8,7	5,8	56,10
<i>Luciobarbus graellsii</i>	1	4,90	40,66	1,60	0,00	4,9	1,6	1,60

Tabla 3. Estadísticas del muestreo de peces IBI 396 en el río Nela.

El grupo que mayor número de ejemplares presenta es el de la el piscardo (*Phoxinus phoxinus*), seguido del gobio (*Gobio gobio*) y el lobo de río (*Barbatula barbatula*) a todos ellos hay que añadir la presencia de la trucha común (*Salmo trutta*) que aunque en dicho muestreo no adquiere un valor relevante en cuanto a número de ejemplares; se tiene constancia de su importancia tanto por la cantidad como por el interés deportivo que suscita.

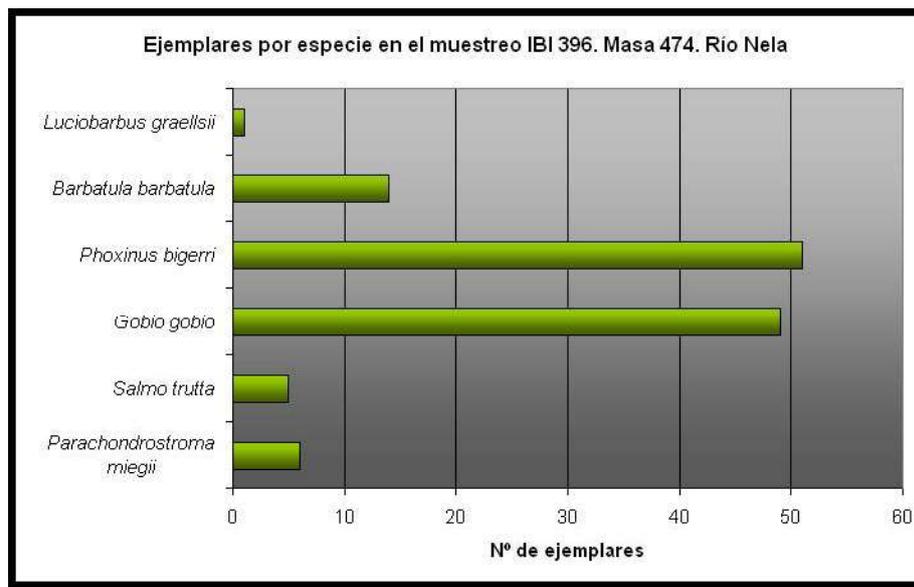


Fig. 3. Número de ejemplares por especies en el muestreo IBI 396 en el río Nela

La especie del muestreo que mayor biomasa presenta es el gobio con un peso total de 297,50g. repartidos para 49 individuos, seguido de la trucha, con un peso de 277,50 g repartido para 5 individuos.

4. FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

La actuación se encuentra dentro del LIC Riberas del río Nela y afluentes (ES4120066), espacio incluido dentro de la Red Natura 2000.

El Lugar incluye un bosque de galería, formado principalmente por alisedas y saucedas, con un muy buen estado de conservación.

La zona de las Pisas muestra un interesante hayedo sobre calizas mezclado con robles avellanos y acebos.

Destacan las poblaciones de mamíferos acuáticos nutria (*Lutra lutra*) y desmán (*Galemys pyrenaicus*).

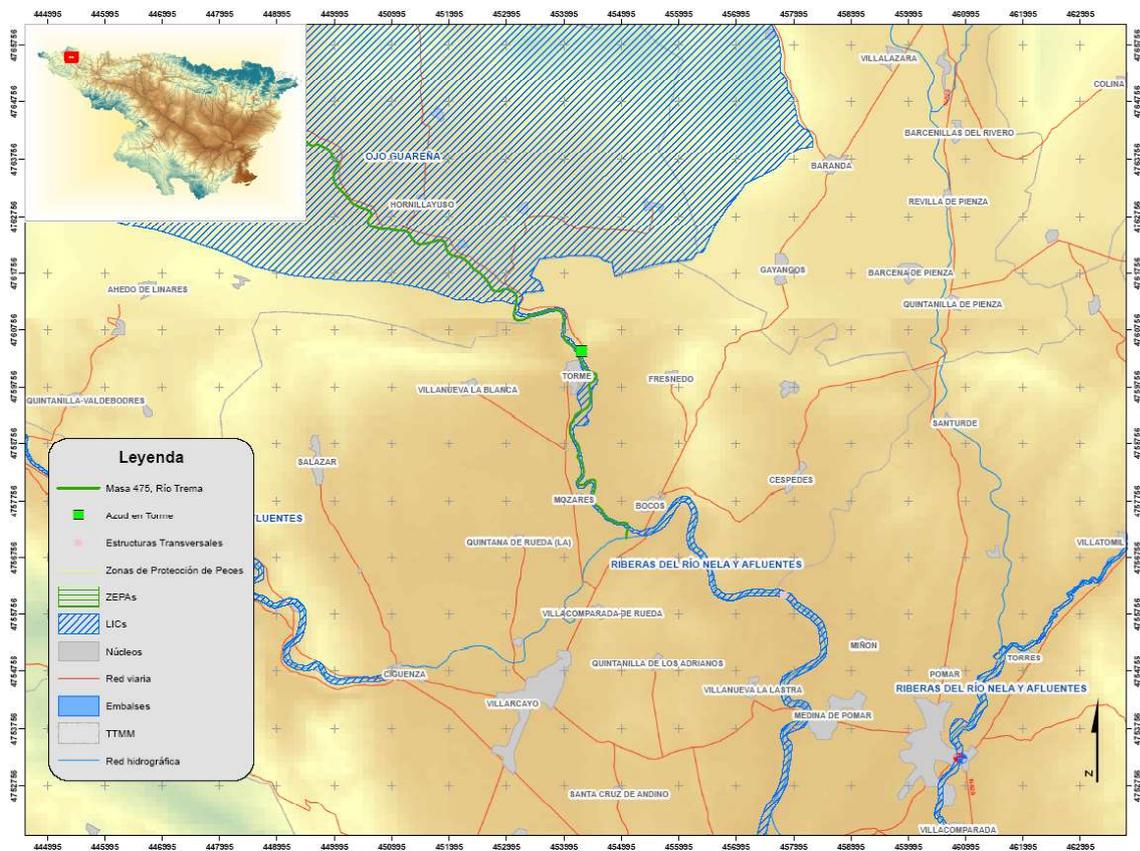


Fig. 4. Figuras de Protección ambiental en el entorno de la actuación

5. CARACTERÍSTICAS DEL AZUD.

5.1. LOCALIZACIÓN

El azud de toma se encuentra en el término municipal de Villarcayo de Merindad de Castilla la Vieja, provincia de Burgos, en las coordenadas UTM del Huso 30 X 454.291. Y 4.760.378.

5.2. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Se trata de una estructura cuyo propietario es el Villarcayo de Merindad de Castilla la Vieja.

5.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AZUD

Altura Total del Obstáculo	2,11 m
Cota Rasante Azud -aguas arriba-	598,65
Cota lámina de agua -aguas abajo--	596,54
Longitud	25,11 m
Anchura de coronación	2,69 m
Forma	Escalonada
Material	Hormigón y Bloques de Escollera

Tabla 4. Principales características del azud



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



Fig. 8. Vista desde aguas arriba del obstáculo a permeabilizar



Fig. 10. Vista en planta de la estructura.



Fig. 11. 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 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*), el lobo de río (*Barbatula barbatula*) y el piscardo (*Phoxinus phoxinus*); siempre teniendo en consideración la Trucha común (*Salmo trutta*) por el interés social y deportivo que ofrece.

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



Fig. 12. Imagen e un espécimen de gobio (*Gobio gobio*). Fuente: <http://www.mediterranea.org>

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 Trema en Villarcayo de Merindad de Castilla la Vieja	
Caudales (m³/s)	
Noviembre-Febrero. Periodo Salmónidos	
Mediana	8,50 m ³ /s
Percentil 25	2,65 m ³ /s
Percentil 75	24,20 m ³ /s
Marzo-Julio. Periodo Ciprínidos	
Mediana	4,35 m ³ /s
Percentil 25	1,41 m ³ /s
Percentil 75	18,40 m ³ /s

Tabla 5. Estadísticas de los caudales del río en Villarcayo de merindad de Castilla la Vieja

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.

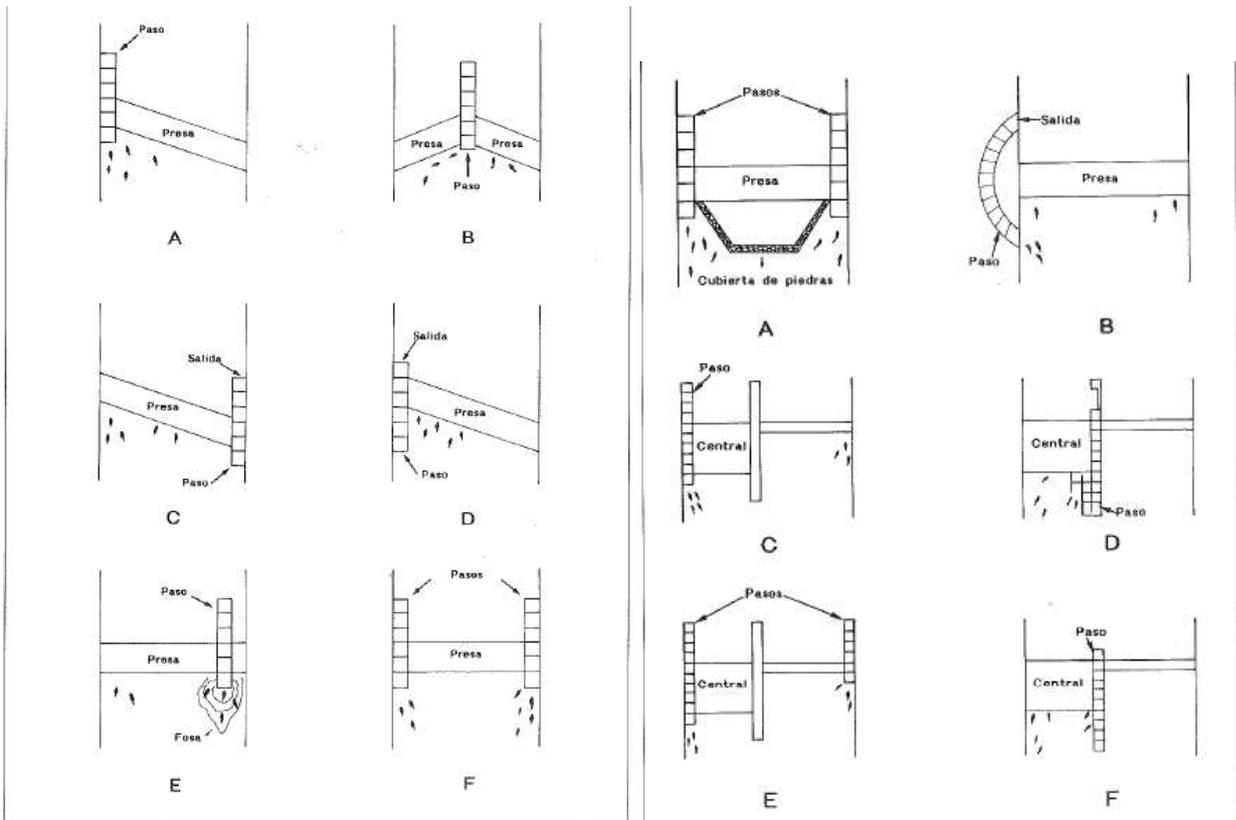


Figura 15. Disposición del paso en el obstáculo. A. Situación correcta en un obstáculo oblicuo. B. Situación correcta en un obstáculo en ángulo. C y D. Situación incorrecta en un obstáculo oblicuo. E y F. Situación correcta en un obstáculo transversal.

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. 13. 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.

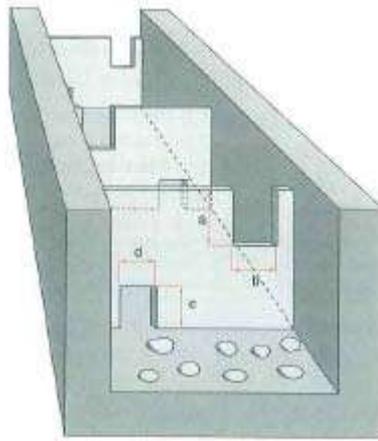


Fig. 14. Vista de una escala de estanques sucesivos. (Larinier 1992)

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.

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 para el dimensionamiento de las artesas, son el resultado de la diferencia entre el caudal medio en el periodo de migración de ciprínidos ($4,35 \text{ m}^3/\text{s}$) 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, es decir $4,35 \text{ m}^3/\text{s}$.

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 ($200\text{-}270 \text{ l/s}$), 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.

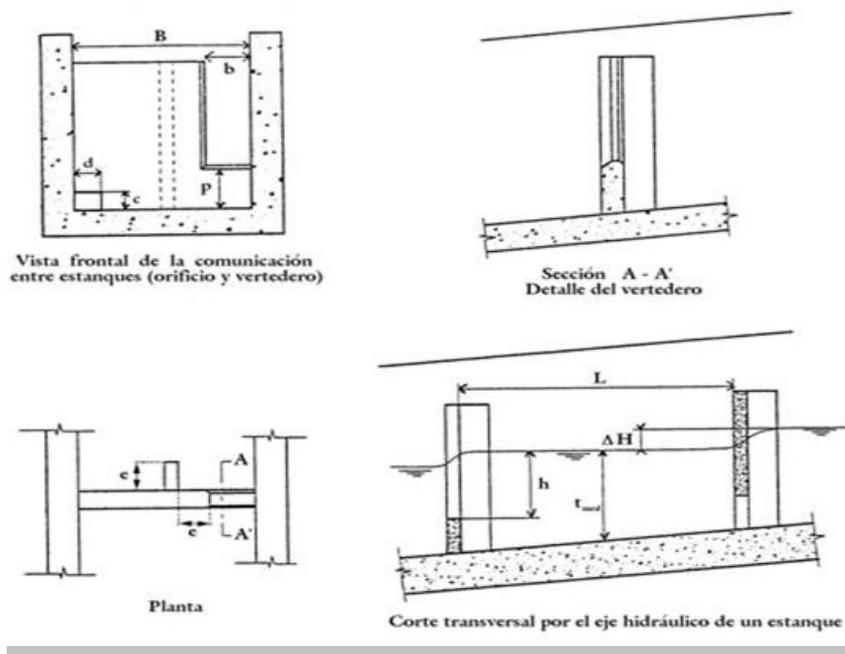


Fig. 15. Esquema de la artesa tipo.

6.5. CAUDALES CIRCULANTES

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 $4,35 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 ($0,41 \text{ m}^3/\text{s}$) y para el máximo ($6,76 \text{ m}^3/\text{s}$).

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)
$Q_{\text{mín}}$ (Anual)	0,41	-	0,41
Q_{med} (Periodo de migración)	4,35	-	0,32
$Q_{\text{máx}}$ (Anual)	6,76	-	6,76

Tabla 6. 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	598,65 m
Cota lámina aguas abajo	596,54 m
Incremento lámina de agua en la rasante del azud	0,21 m
Desnivel total	2,32 m
Desnivel entre artesas	0,20 m
Número de estanques	11
Número de vertederos	12

Tabla 7. 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 – 320 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)	2,20 m
Altura del umbral de fondo (p)	0,60 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)	8,2 %

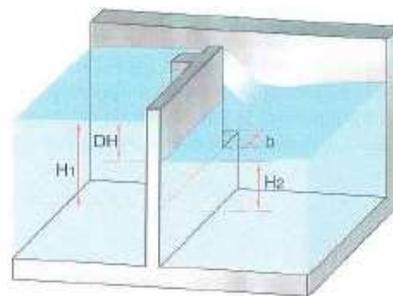
Tabla 8. Características geométricas de la escala

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:

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



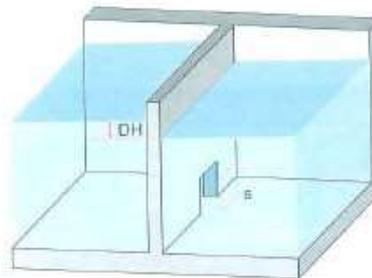
- Coeficiente de descarga, c_v . Se toma el valor de 0,40.
- Anchura de paso de la escotadura, b (m).
- Diferencia de altura entre artesas ΔH (m).
- Calado medio en la artesa h_1 (m).

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)
4,35	0,80	1,30	0,67	0,250	0,055	0,195
0,41	0,63	1,13	0,73	0,210	0,055	0,154
6,76	0,87	1,37	0,65	0,267	0,055	0,212

Tabla 9. 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 Trema, 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 (0,12 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)	0,60 m
Carga de vertido (h_1)	0,80 m
Carga de vertido (h_2)	0,70 m
Salto (p_2)	0,70 m
L2	0,75 m
L1	1,45 m
Ancho del estanque (B)	1,50 m

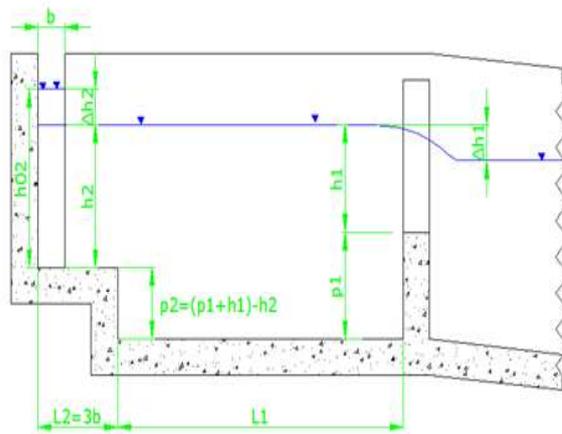


Tabla 10. Dimensiones de la primera artesa.

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. Dado que el último salto (artesa-río) es de 0,12 m, para salvar el desnivel total (2,32 m) y evitar que la escala quede descolgada en su entrada, los 0,12 m restantes en este último salto se repartirán en el resto de los 11 tabiques restantes, quedando los saltos distribuidos de la siguiente forma:

Desnivel artesa-río	Desnivel 11 tabiques restantes
0,12 m	$\frac{0,12}{11} = 0,0109 + 0,20 = 0,201m \cong 0,20m$

Tabla 11. Pérdida de carga en escotaduras.

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:

$Q_{\text{río}}$ (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)
0,41	0,65	0,53	0,12	0,210	75
4,35	0,82	0,70	0,12	0,250	76
6,76	0,89	0,77	0,12	0,267	77

Tabla 12. Disipación de energía en la primera artesa.

$Q_{\text{río}}$ (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)
0,41	1,13	1,13	0,20	0,210	110
4,35	1,30	1,30	0,20	0,250	114
6,76	1,37	1,37	0,20	0,267	116

Tabla 13. 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 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.

6.12. 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 0,35 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:	Trema
	Función presa:	Azud
	Nº estanques:	11
	Nº de tabiques:	12
	Ancho del vertedero	0,25 m
	Ancho del estanque	1,50 m
	Longitud del estanque	2,20 m
	Altura del umbral de fondo	0,60 m
ARTESAS TIPO	Orificio de fondo (cx d)	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	8,2 %
	Desnivel artesa-río	0,12 m
	Ancho orificio	0,25 m
	Altura del umbral de fondo	0,60 m
1ª ARTESA	Carga de vertido	0,80 m
	Carga de vertido	0,70 m
	Salto	0,70 m
	L2	0,75 m
	L1	1,45 m
	Ancho del estanque	1,50 m

Tabla 14. 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 (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 ESCALA DE PECES EN EL RÍO TREMA, T.M. DE VILLARCAYO DE MERINDAD DE CASTILLA LA VIEJA (CASTILLA Y LEÓN)**, siendo su Presupuesto de Ejecución Material de SETENTA Y DOS MIL CIENTO CINCUENTA Y NUEVE EUROS con CINCUENTA Y UN CENTIMOS (**72.159,51 €**).

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