

**ANEJO 5. ENSAYO DE LA
SOLUCIÓN DE PROYECTO SOBRE
MODELO FÍSICO REDUCIDO**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO OBSERVADO | 1 |
| 2.1. Flujo de aproximación. Reparto de caudal entre aliviaderos..... | 1 |
| 2.2. Embocaduras | 2 |
| 2.3. Rápidas | 5 |
| 2.4. Aliviadero 2 (A2). Trampolín semisumergido | 5 |
| 2.5. Aliviadero 1 (A1). Cuencos amortiguadores de resalto | 6 |
| 2.6. Zona de reintegro al cauce..... | 8 |
| 2.7. Conclusiones..... | 9 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|---|
| Tabla 1. Caudales a considerar en los ensayos en modelo físico reducido | 1 |
|--|---|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|---|
| Figura 1. Vista desde aguas arriba. Detalle de embocaduras. Instante previo al inicio del vertido por A2 | 2 |
| Figura 2. Flujo de aproximación al azud..... | 2 |
| Figura 3. Vista desde aguas abajo del A2. Contracción del flujo provocada por las condiciones de embocadura. Obsérvese el despegue de la lámina vertiente de ambos cajeros..... | 3 |
| Figura 4. Detalle contracciones de flujo en embocaduras. A2 y A1 | 4 |
| Figura 5. Vista desde aguas abajo del A2. Funcionamiento hidráulico del trampolín semisumergido para caudales bajos..... | 5 |
| Figura 6. Situación límite del A2 antes de la entrada en funcionamiento del A1. Se observa lanzamiento e impacto del flujo en la zona protegida con escollera vertida..... | 6 |
| Figura 7. Funcionamiento conjunto aliviaderos A1 y A2 para el caudal de la Avenida de Proyecto, con c.c de nivel en el cauce de reintegro a cota 166 m.s.n.m. –hipótesis de proyecto- | 7 |
| Figura 8. Funcionamiento conjunto aliviaderos A1 y A2 para el caudal de la Avenida de Proyecto, con c.c de nivel en el cauce de reintegro a cota 163 m.s.n.m. | 8 |
| Figura 9. Vista aérea. Ídem Figura 8 | 8 |
| Figura 10. Vista general del cauce de aguas abajo. Condiciones Figura 8 | 9 |

1. INTRODUCCIÓN

El primer objetivo, tras la finalización de los trabajos de construcción del modelo físico, es analizar –sobre el modelo físico reducido– el comportamiento hidráulico del azud de Terrateig con el diseño adoptado como solución de proyecto.

El resultado de este primer ensayo, al que denominamos “**ensayo previo**”, es el que indica las directrices a seguir en las modificaciones necesarias para la consecución de un funcionamiento óptimo de los órganos de desagüe (en todas sus partes constituyentes) y reintegro de caudales al río.

El análisis se efectúa tanto para la condición de contorno (c.c.) de nivel en el cauce de reintegro de aguas abajo supuesta en proyecto, como para otros valores de dicha c.c.

En la **Tabla 1** se muestran las relaciones entre periodos de retorno, c.c. y caudales laminados a considerar en los ensayos en modelo físico reducido.

| Tabla 1. Caudales a considerar en los ensayos en modelo físico reducido | | | | | |
|--|--|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| T (años) | Q laminados | | Cota LL cauce (msnm) | Cota LL embalse (msnm) | Observaciones |
| | Fte: Anejo 10 (m³/s) | Modelo (l/s) | | | |
| 100 | 248.61 | 14.06 | 162.10 | 177.56 | |
| 500 | 672.76 | 38.06 | 163.60 | 179.17 | |
| 1000 | 905.94 | 51.25 | 164.20 | 179.83 | Avenida de Proyecto |
| 5000 | 1447.18 | 81.86 | 165.30 | 181.22 | Avenida Extrema |

2. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO OBSERVADO

2.1. Flujo de aproximación. Reparto de caudal entre aliviaderos

El flujo de aproximación al cuerpo de presa desde el vaso de embalse es prácticamente normal (**Figura 1**), de manera que, el reparto de caudal que se produce entre los distintos aliviaderos y en particular entre las dos partes del aliviadero 1 (A1) está, en principio y a falta de mediciones más precisas, suficientemente equilibrado (**Figura 2**).

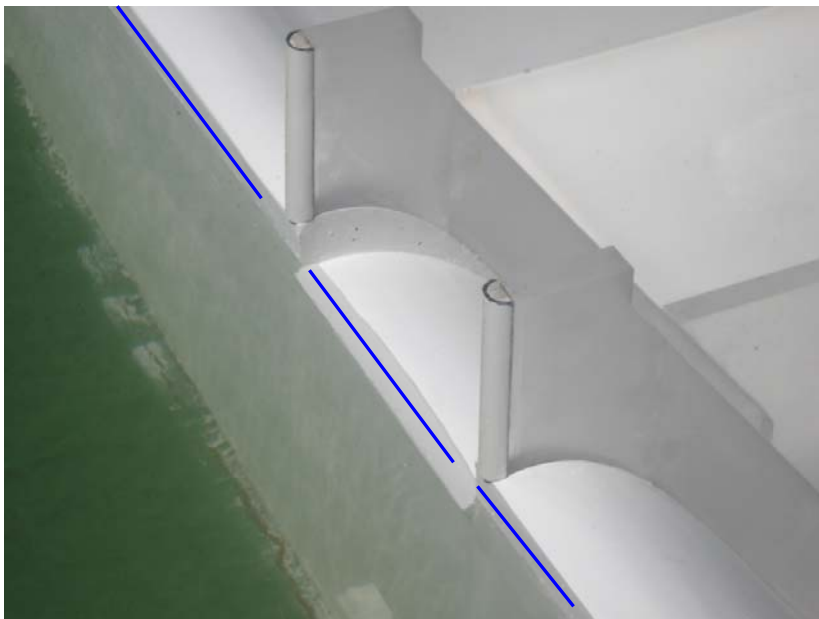


Figura 1. Vista desde aguas arriba. Detalle de embocaduras. Instante previo al inicio del vertido por A2



Figura 2. Flujo de aproximación al azud

2.2. Embocaduras

Para el aliviadero 2 (A2), el primero de los superficiales que entra en funcionamiento, las condiciones de embocadura no son las óptimas por cuanto se produce una excesiva contracción del flujo de entrada por efecto, tanto del rebaje de labio respecto a los laterales (las dos partes del A1), como de las pilas intermedias (**Figura 3**).



Figura 3. Vista desde aguas abajo del A2. Contracción del flujo provocada por las condiciones de embocadura. Obsérvese el despegue de la lámina vertiente de ambos cajeros

Esta contracción es tan importante que, al ser además la longitud de vertido pequeña (10 m), se llega a formar una cresta en la lámina vertiente, en el centro del vano, con incrementos locales de calado que llegan a duplicar el calado medio de la sección del flujo. Sería en este caso, y más que probablemente, necesaria la prolongación hidrodinámica de las pilas intermedias hacia aguas arriba, con un mejor remate en el cuerpo de presa, de manera que además, se evitara el efecto negativo citado del rebaje del labio de vertido respecto de los contiguos.

En cuanto a las embocaduras del A1, el funcionamiento observado es totalmente equivalente entre ellos, y entre estos y el A2 (**Figura 4**). Es decir, se observa una excesiva contracción de la lámina vertiente debido en este caso, en exclusiva, al efecto de las pilas: la central correspondiente más la de estribo de su margen, para cada mitad del A1 (margen izquierda –MI– y margen derecha –MD–).

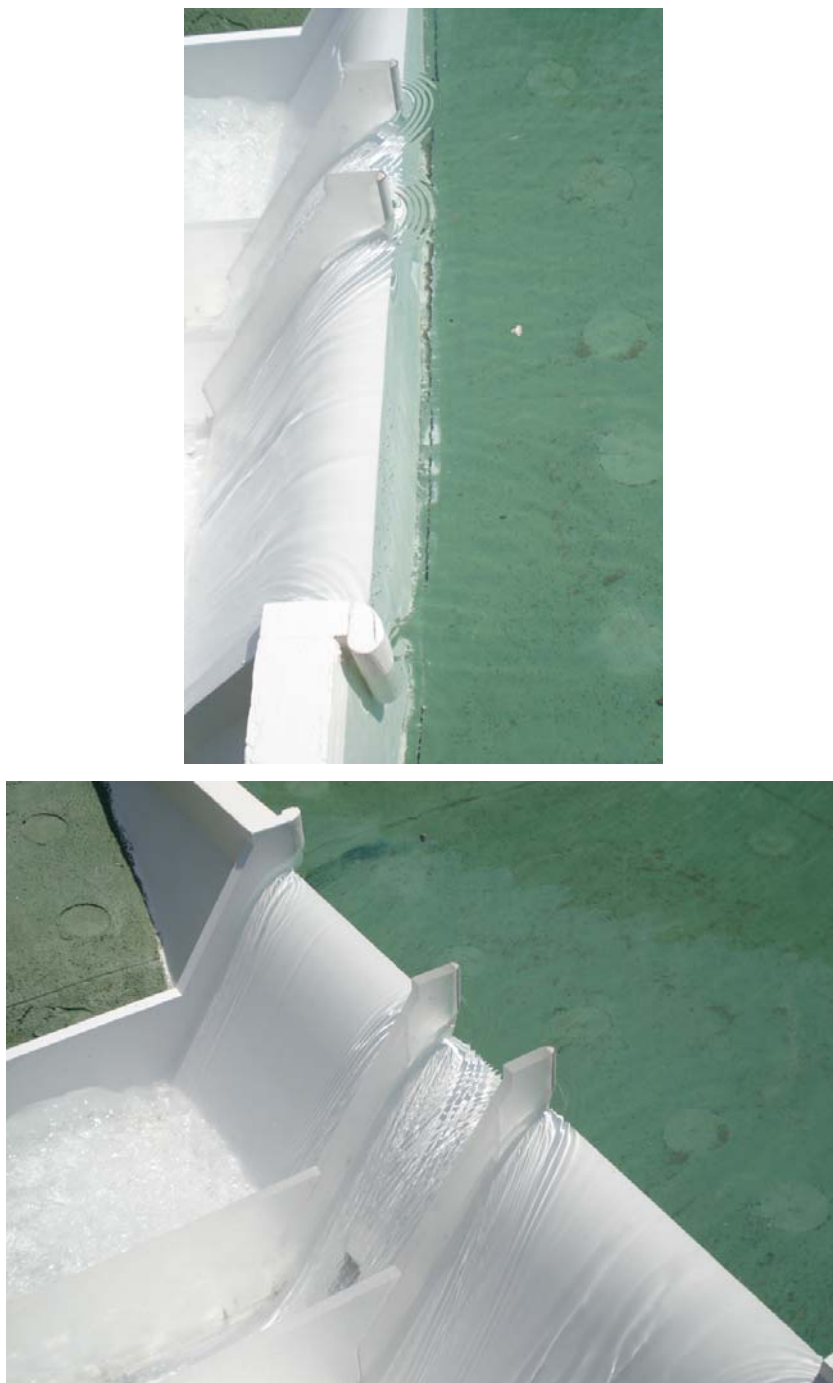


Figura 4. Detalle contracciones de flujo en embocaduras. A2 y A1

En ambos casos se observa la aparición de despegues de la lámina vertiente de los muros cajeros de sus rápidas, debido al efecto tan acusado de contracción de la misma, dejando incluso para caudales bajos y medios, zonas de solera literalmente ‘secas’.

2.3. Rápidas

Una vez transcurridos los primeros metros de longitud de rápida y ‘diluido’ el efecto de la contracción sufrida en las embocaduras, debido a la expansión total del flujo, se observa que las rápidas funcionan de la manera prevista, con suficiente altura de cajeros.

Para realizar con absoluta certeza esta afirmación, sería además necesario tener en cuenta el efecto de esponjamiento que la aireación tiene sobre el flujo supercrítico de la rápida. No obstante, dada la altura total del azud vertedero y las velocidades que por tanto va a alcanzar el flujo, este efecto se prevé pequeño, incluso prácticamente despreciable.

2.4. Aliviadero 2 (A2). Trampolín semisumergido

El funcionamiento hidráulico observado es totalmente inadecuado para prácticamente todo el rango de caudales analizado; desde pequeños caudales (**Figura 5**) hasta el caudal de la Avenida de Proyecto. Asimismo, este comportamiento incorrecto se observa también para cualquier condición de contorno (c.c.) esperable en el cauce de aguas abajo.



Figura 5. Vista desde aguas abajo del A2. Funcionamiento hidráulico del trampolín semisumergido para caudales bajos

No se produce un resalto anegado como correspondería a este tipo de diseño de obra de disipación, sino que se genera una lámina vertiente, un verdadero lanzamiento, que a modo de chorro plano despegado de la obra e incide impactando ya en el propio cauce, en zona muy próxima al final de la obra (**Figura 6**). El efecto inmediato es la generación de una fuerte socavación a pie de trampolín.

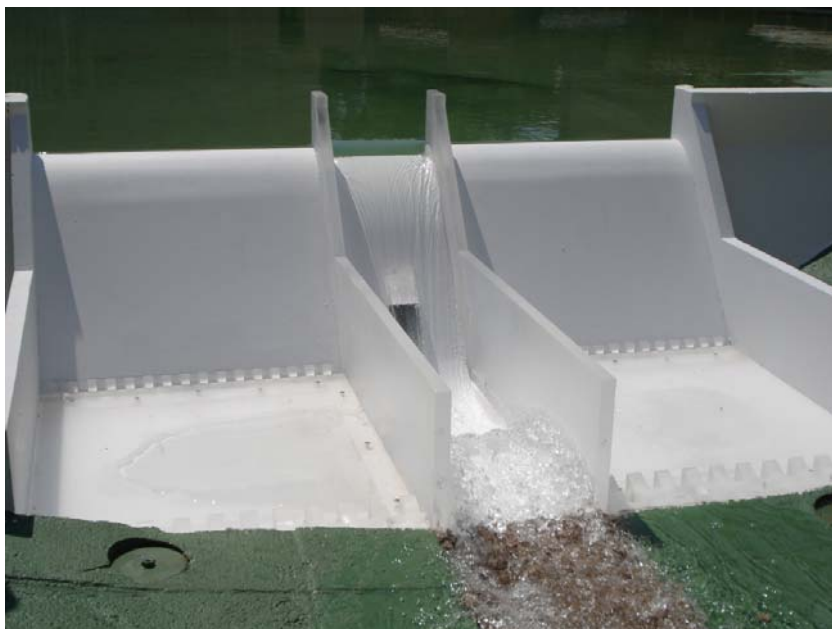


Figura 6. Situación límite del A2 antes de la entrada en funcionamiento del A1. Se observa lanzamiento e impacto del flujo en la zona protegida con escollera vertida

Como se ha comentado anteriormente, este funcionamiento tiene lugar tanto para cuando este aliviadero funciona sin que lo haga el A1 (pequeños caudales) como para el caso en el que ambos –y por supuesto el aliviadero 3– funcionan conjuntamente (caudales extraordinarios y hasta Avenida de Proyecto). Esto es así porque al ser “independiente” su funcionamiento de las condiciones en el río, los muros cajeros intermedios proyectados a lo largo de todo el aliviadero hacen que su funcionamiento sea también independiente de la situación antes indicada; funcionamiento conjunto o no de A2 con A1.

2.5. Aliviadero 1 (A1). Cuencos amortiguadores de resalto

Tanto para el cuenco de margen izquierda (MI) como para el de margen derecha (MD), su funcionamiento en el caso de c.c. de nivel en el cauce a cota 166 m.s.n.m. –hipótesis de proyecto– está en el límite de lo admisible, pues su longitud es más bien estricta para la cota de solera establecida, prácticamente la máxima compatible con esa hipótesis (**Figura 7**).



Figura 7. Funcionamiento conjunto aliviaderos A1 y A2 para el caudal de la Avenida de Proyecto, con c.c de nivel en el cauce de reintegro a cota 166 m.s.n.m. –hipótesis de proyecto–

No obstante, esta situación correspondiente al funcionamiento de la solución de proyecto (cuencos USBR Tipo II) bajo la hipótesis de c.c. de aguas abajo de proyecto (lámina libre a cota 166 m.s.n.m.) es de ocurrencia prácticamente imposible tal y como se justifica en el estudio previo del río realizado (véase **Anejo 2. Análisis hidráulico de la solución de proyecto**).

Para otras c.c. ensayadas en el cauce de aguas abajo, correspondientes a cotas de lámina libre menores (163 m.s.n.m. y 164 m.s.n.m.) el comportamiento empeora notablemente con la disminución de la cota impuesta como c.c. Este empeoramiento supone el barrido completo del resalto hidráulico fuera de los cuencos (**Figura 8 y Figura 9**). Cada uno de ellos funciona en régimen supercrítico produciéndose un impacto a gran velocidad de este flujo contra los umbrales terminales dentados. Los dientes de pie de rápida funcionan como verdaderos deflectores de flujo, generando el lanzamiento de múltiples chorros que impactan directamente contra los citados umbrales terminales.



Figura 8. Funcionamiento conjunto aliviaderos A1 y A2 para el caudal de la Avenida de Proyecto, con c.c de nivel en el cauce de reintegro a cota 163 m.s.n.m.



Figura 9. Vista aérea. Ídem **Figura 8**

2.6. Zona de reintegro al cauce

Esta zona del cauce, ya insuficientemente protegida en la solución de proyecto (sólo contempla 17 m de longitud de protección, inmediatamente aguas abajo del trampolín semisumergido y con una anchura de tan solo 10 m; con escollera vertida de diámetro medio 1 m), con el tipo de funcionamiento comentado para los órganos de disipación de energía, todavía está más solicitada de lo que en un principio se pudiera pensar.

Su estabilidad se ve muy pronto comprometida, desapareciendo por completo la protección en el modelo físico para el caudal de proyecto (**Figura 10**).



Figura 10. Vista general del cauce de aguas abajo. Condiciones **Figura 8**

El tramo de cauce siguiente, modelado también como de lecho móvil en la misma anchura que la protección, se ve también sometido a un fuerte proceso erosivo, con lo que todo el material granular dispuesto también es completamente movilizado.

Esta situación es del todo inasumible, pues puede incluso comprometer seriamente la estabilidad de la obra.

2.7. Conclusiones

Con la condición de contorno del cauce de aguas abajo supuesta en proyecto –lámina libre a cota 166 m.s.n.m.–, el funcionamiento hidráulico del trampolín semisumergido del aliviadero 2 es indeseable, pues no se forma el resalto anegado que se persigue obtener, sino una lámina vertiente que impacta en el cauce justo aguas abajo de la presa, generando unas erosiones locales o socavaciones que pueden poner en peligro incluso la estabilidad de la propia obra.

Para esa misma condición de contorno, el funcionamiento de los cuencos USBR Tipo II del aliviadero 1 es admisible, si bien existe cierta macroturbulencia residual que escapa a

la longitud de los mismos, afectando al cauce de reintegro de aguas abajo. Su diseño es en este caso, bastante estricto.

A pesar de lo dicho en relación al funcionamiento hidráulico de los órganos de desagüe del Azud de Terrateig para la Avenida de Proyecto, bajo la condición de lámina libre en cauce a cota 166 m.s.n.m., esa situación no es la que debiera contemplarse por no ser la que de manera natural se tendría para el cauce del río Vernissa aguas abajo de la presa.

En cualquier caso, y el modelo físico así lo demuestra, en el funcionamiento hidráulico de los órganos de disipación de energía de los aliviaderos del Azud de Terrateig y reintegro de caudales al río Vernissa, resulta clave y fundamental la condición de contorno de nivel en el cauce de aguas abajo –en la sección inmediatamente aguas abajo de la presa–, siendo este funcionamiento altamente sensible a la misma.

Por tanto, queda justificada con el modelo físico reducido la necesidad de tener caracterizado mediante modelo matemático el comportamiento hidráulico esperado en el cauce aguas abajo de la presa, tal y como se efectúa en el **apartado 3: Estudio del río** del **Anejo 2. Análisis hidráulico de la solución de proyecto**.

Dicho estudio del río resulta ahora preceptivo y previo a la realización de cualquier cambio sobre el modelo físico.