

LA TRANSFORMACIÓN DE ALIVIADEROS AUXILIARES EN POZO EN DESAGÜES DE MEDIO FONDO DE GRAN CAPACIDAD

Jesús Granell Vicent

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
JESÚS GRANELL, Ingeniero Consultor, S.A.

José López Garaulet

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Confederación Hidrográfica del Júcar

Diego Fernández Dorado

Ingeniero Técnico de Construcciones Civiles
JESÚS GRANELL, Ingeniero Consultor, S.A.

Antonio Maurandi Guirado

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Confederación Hidrográfica del Segura

RESUMEN

Se presenta la posibilidad y ventajas de la transformación de aliviaderos complementarios con tipología de aliviadero en pozo o "morning glory", en desagües de medio fondo de gran capacidad.

Tras una breve exposición de los fundamentos funcionales del aliviadero en pozo y sus diferencias con relación al desagüe de medio fondo, se describen las mejoras que el cambio de una tipología por otra aporta al conjunto de la presa desde el punto de vista hidráulico, con vistas a un mejor control de los niveles de carga en el embalse en circunstancias extraordinarias.

Se exponen dos de las situaciones en las que la transformación está netamente indicada, y se constatan mediante gráficos las mejoras obtenidas en cuanto al control de niveles en el embalse y laminación de avenidas se refiere.

Finalmente, se presentan dos casos concretos en los cuales se ha llevado a la práctica esta idea: **la Presa de Contreras y la Presa de Puentes**, ambos en fase de ejecución, con información gráfica resumida de los correspondientes proyectos constructivos.

ABSTRACT

The article examines the possibility of transforming certain secondaries morning glory spillways in intermediate outlet works of great capacity.

A brief review of hydraulic fundamentals of morning glory spilways is followed by the analysis of advantages of transforming these secondaries spilways, in order to accurate a greater degree of control of levels and floods at the reservoir.

Then, the situations and conditions where this kind of action may be advisable are analyzed.

Finally, two actual cases of such a transformation are related and described: **Contreras Dam and Puentes Dam**. Both of them are under construction and typical designs of these two projects are included in the article.

1. INTRODUCCIÓN

Los aliviaderos en pozo, también denominados “morning glory”, fueron utilizados con cierta profusión por los proyectistas de presas en el mundo, hace algunas décadas, sobre todo en presas de materiales sueltos, debido a la ventaja que supone la sustitución del canal de descarga en ladera por una galería trazada bajo el cuerpo de presa, que en muchas ocasiones se aprovechaba previamente como elemento del sistema de desvío provisional del cauce, para la construcción de la presa.

Este tipo de aliviadero de superficie se ha venido empleando asimismo como aliviadero secundario en ciertos casos en los que por diversas razones se quiso, en un momento dado de la explotación de la presa, aumentar la capacidad total de alivio; este es el caso, por ejemplo, de las presas de **Contreras** y **Benageber**, en la cuenca del Júcar, ambas del tipo gravedad de fábrica de hormigón, las cuales poseen un aliviadero principal en vertedero sobre coronación, complementado con otro en pozo.

En el caso de la presa de **Puentes**, el aliviadero en pozo fue construido posteriormente, en sustitución del primitivo aliviadero lateral de que estaba provista la presa.

El funcionamiento de un aliviadero en pozo o “morning glory”, corresponde al de un aliviadero de superficie, con sección de control en el vertedero. A lo largo del tramo en pozo vertical, el agua transferida por este vertedero circula en régimen de caída libre, hasta llegar a una determinada altura sobre el codo inferior. A la salida de éste, es decir al iniciarse el tramo inferior de descarga, el agua debe circular en régimen de lámina libre, para lo cual se aduce aire por la parte superior del conducto de descarga.

El funcionamiento de este tipo de aliviaderos, no es tan claro como el de uno de alimentación frontal; de hecho son numerosos los casos de averías ocurridas en el mundo en ellos, sobre todo en su punto más delicado: el codo. Ello motiva que con frecuencia sean necesarias obras de reparación en este tipo de estructuras hidráulicas.

En el presente artículo, se presenta una alternativa de modificación de un aliviadero en pozo de manera que pasa de funcionar como tal a hacerlo como desagüe en carga, con la sección de control en el tramo inferior de descarga. Ello, requiere que se den dos condiciones:

- El anegamiento del vertedero o cáliz, de manera que todo el tramo vertical, el codo y el inicio del tramo de descarga funcionen en régimen de presión.
- El establecimiento de una sección de control al inicio del tramo de descarga.

Para cumplir la primera condición es necesario bien elevar el nivel máximo de explotación del embalse (caso de un recrecimiento de presa), o bien establecer una nueva toma a un nivel inferior que entronque con el conducto vertical, dejando inutilizado el cáliz.

Para cumplir la segunda de las condiciones anteriores, se hace necesario construir una cámara de compuertas que aloje los elementos hidromecánicos de cierre y control del conducto.

El tramo final de descarga funcionará en lámina libre alimentado por el desagüe bajo compuerta establecido en la cámara de control.

2. VENTAJAS DE LA TRANSFORMACIÓN

Las ventajas que aporta la transformación de un aliviadero en pozo en un desagüe de medio fondo provienen de la propia naturaleza de ambas estructuras hidráulicas.

Así, mientras que el funcionamiento del “morning glory” se rige por la ecuación del vertedero en

pared delgada, en la que el caudal evacuado es proporcional a la potencia de grado 1,5 de la altura de lámina vertiente,

$$Q = C_d \cdot b \cdot h^{3/2}$$

el de un desagüe en carga, en este caso de medio fondo, se rige por la ecuación de Torricelli, en la que el caudal evacuado es proporcional a la raíz cuadrada de la altura o carga hidráulica sobre su sección de control,

$$Q = k \cdot \sqrt{H}$$

Se puede decir, por tanto, que la primera de las dos estructuras hidráulicas comparadas no aprovecha para su funcionamiento la carga del embalse, sino solamente su variación por encima de la cota del umbral de su vertedero, mientras que la segunda sí lo hace, y además puede entrar en funcionamiento a lo largo de toda la carrera de embalse comprendida entre la cota de toma y el máximo nivel que se alcance en el mismo.

Todo ello se traduce en una mucho mayor efectividad por parte del desagüe en carga a la hora de:

- Controlar los niveles en el embalse.
- Laminar avenidas en el embalse.

3. CONVENIENCIA DE LA TRANSFORMACIÓN

Cuándo estará indicada esta transformación?

Dos son los casos en los que claramente es recomendable:

- 1) Necesidad de mejorar la capacidad de control de niveles en el embalse, ya sea en situación normal o bien en avenidas.
- 2) En caso de recrecimiento de la presa.

El primero de los casos ya se ha comentado ampliamente al hablar de las ventajas de la transformación.

El segundo es también muy claro; en efecto, recrecer un aliviadero en pozo requiere la prolongación de su pozo en torre y la reconstrucción del

cáliz. Frente a ello, se puede optar por su transformación en desagüe de medio fondo y beneficiar a la presa con las ventajas enumeradas anteriormente en cuanto al control del embalse se refiere.

4. OBRAS QUE COMPRENDE LA TRANSFORMACIÓN

Las obras necesarias para la adaptación del aliviadero en pozo al desagüe de medio fondo serán básicamente:

- 1) *Nueva embocadura*, a establecer a la cota elegida.
- 2) *Conducto de conexión con el pozo*, desde la embocadura al pozo existente.
- 3) *Cámara de compuertas*, a establecer aguas abajo del codo.
- 4) *Sistema de aducción de aire*, al túnel de descarga, si se considera necesario.
- 5) *Acceso a la cámara de compuertas*, a ser posible, independiente del propio túnel de descarga.
- 6) *Acondicionamiento del túnel de descarga*, en función del estado real del existente y de las secciones que exija el nuevo desagüe.

La embocadura se debe equipar con una reja primaria cuyo vano libre sea inferior a la mínima dimensión de las compuertas a instalar en la cámara.

El nuevo conducto integrado por el tramo de conexión al pozo, el tramo de pozo que se aprovecha, el codo y el tramo de aproximación a la cámara, se deberán blindar siempre que el estado de los revestimientos existentes del antiguo "morning glory" así lo aconsejen.

La cámara de compuertas, se excavará a partir del túnel existente. A su entrada, el conducto se debe dividir en dos, mediante una pila intermedia, con objeto de permitir doble sistema de control. Deberá alojar por cada uno de los dos subconductos una compuerta de guarda, normalmente del ti-

po BUREAU, y otra posterior de regulación del tipo TAINTOR.

El sistema de aducción de aire al pie de las compuertas TAINTOR, se debe llevar a cabo aprovechando en lo posible los conductos de aireación del antiguo aliviadero en pozo.

El acceso a la nueva cámara de compuertas debe ser independiente del túnel de descarga, y con sección suficiente para permitir el acceso de vehículos en todo momento a dicha cámara.

El túnel de descarga, se acondicionará en función de su estado real, así como de las necesidades hidráulicas que plantee el nuevo desagüe.

5. OBRAS EN LA PRESA DE CONTRERAS

La Presa de Contreras se encuentra situada en el río Cabriel, en el límite de las provincias de Cuenca y Valencia, y entre los Términos Municipales de Minglanilla (Cuenca) y Villargordo del Cabriel (Valencia), siendo esta última población la más cercana.

La presa y su embalse se ubican sobre el río Cabriel, afluente del Júcar por su margen izquierda, al que se une a la altura de la población de Co-frentes. El Cabriel nace en los Montes Universales a una altitud de 1.566 m. Y recorre 181,5 Km. Desde su nacimiento hasta el emplazamiento de la presa de Contreras.

El único acceso existente a la presa es la carretera Nacional N-III, de Madrid a Valencia.

La presa de Contreras es del tipo gravedad y planta recta. Posee una altura total sobre cimientos de 129 m. En la margen derecha, y para cerrar un collado existente, se construyó la presa del Collado de La Venta, también de gravedad, con 43 m. de altura sobre cimientos. El aliviadero principal está situado sobre la coronación de la presa principal y posee además un segundo aliviadero en pozo, situado en la ladera derecha.

El aliviadero en pozo del embalse de Contreras, tiene su umbral a la cota 669,00 (M.E.N.), una capacidad máxima de evacuación de 860 m³/seg a la cota de máximo embalse extraordinario (673,00 m.), y complementa hasta 2.475 m³/seg la capacidad del aliviadero principal, el cual está constituido por tres vanos de 10,00 m. de longitud libre cerrados mediante compuertas de 5 m. de altura, que vierten sobre el paramento de aguas abajo de la presa; su umbral está situado a la cota 664,00 m.

El aliviadero complementario, del tipo "morning glory", consta de una rama vertical en pozo de más de 100 m. de caída y un túnel de 300 m. de longitud, aprovechando parte de lo que en su día fue el túnel de desvío. Su embocadura la constituye un vertedero con planta semicircular y perfil de vertedero circular policéntrico hasta su tangencia con las generatrices verticales del pozo.

Este último con un diámetro interior de 8 m. conecta con el túnel mediante un codo-transición con aireación aguas abajo. Esta se posibilita mediante un segundo pozo de aireación paralelo al primero y con un diámetro de 2,00 m.

El túnel de descarga, posterior al codo, posee una sección en herradura de 8,00 m. de diámetro.

Los problemas detectados en la cimentación de la Presa del Collado, que restringen la adecuada explotación del embalse de Contreras, unidos a la extremada sequía que está padeciendo la Cuenca del Júcar, y que obliga a la optimización de las infraestructuras de regulación existentes, demanda abordar, de forma inmediata, las acciones pertinentes para la resolución de estos problemas.

En Junio de 1.996, fue redactado el "Proyecto de las obras que se precisen para la optimización de la explotación de la Presa de Contreras". Los estudios preliminares, de tipo hidrológico, geológico y de regulación y gestión de recursos en la cuenca, desarrollados para la redacción del citado proyecto presentan las siguientes conclusiones:

- a) La capacidad del Embalse de Contreras, que resulta necesaria según los resultados del modelo de gestión conjunta de los recursos de la cuenca, está en torno a los 400 Hm³. Capacidades de embalse mayores no reportan un aumento apreciable de la garantía de suministro de los volúmenes demandados.
- b) Esta capacidad se consigue con un nivel de agua en el embalse que corresponde a la cota 651,00 m., el cual coincide con el máximo nivel conocido en el embalse desde su construcción.
- c) Desde el punto de vista de estabilidad, todas las estructuras de la Presa de Contreras se han comportado correctamente bajo este nivel de carga, coincidiendo esta afirmación con los estudios geotécnicos anteriormente realizados.
- d) El estudio de la laminación de las avenidas determinadas, indica que si se equipa la presa con un nuevo órgano de desagüe que teniendo su embocadura a la cota 630,00 m., posea un coeficiente de descarga neto de 20 m^{5/2}/seg, se pueden conseguir los siguientes objetivos:
- d.1) Partiendo del embalse lleno (669,00 m.), se laminan las avenidas con periodos de retorno de 500 años ($Q_{500} = 2.135 \text{ m}^3/\text{seg}$) y 1.000 años ($Q_{1000} = 2.563 \text{ m}^3/\text{seg}$), sin sobrepasar la cota 673,00 m. de máximo embalse extraordinario fijada en el proyecto inicial de la Presa de Contreras, sin necesidad de contar con el aliviadero en pozo y manteniéndose, por lo tanto, el resguardo mínimo exigible.
- d.2) Partiendo del embalse a su nivel máximo recomendado en las condiciones actuales de seguridad (651,00 m. y volumen embalsado de 463 Hm³), se lamina la avenida de 500 años de periodo de retorno ($Q = 2.135 \text{ m}^3/\text{seg}$), hasta un caudal de 363 m³/seg, alcanzándose un nivel máximo en el embalse de 654,50 m., y la avenida de 1.000 años ($Q_{1000} = 2.563 \text{ m}^3/\text{seg}$), hasta un caudal de 366 m³/seg. alcanzándose un nivel máximo en el embalse de 655,60 m.
- d.3) Se puede bajar el nivel en el embalse desde la cota 669,00 m. de M.E.N. hasta la cota 651,00 m. en tan solo 7 días, suponiendo que al embalse entra de manera constante, durante el proceso de vaciado, el caudal modular del río (13 m³/seg.)
- e) La capacidad máxima de este nuevo órgano de desagüe debe ser de unos 400 m³/seg, y con él se contará con un elemento de control suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de la Presa de Contreras. Por una parte se controlarán adecuadamente las avenidas entrantes en el embalse en caso de tener que mantenerlo en los niveles de seguridad actualmente recomendados (cota 651,00 m.), y por otra se posibilitará el llenado progresivo del embalse hasta su nivel nominal máximo (669,00 m.), en las debidas condiciones de seguridad frente a una eventual aparición de filtraciones o de comportamientos anómalos de alguna de las estructuras de cierre.

De acuerdo con estas conclusiones, las obras proyectadas consisten en un desagüe de medio fondo con una capacidad de 400 m³/seg, aprovechando parte del actual aliviadero secundario ("morning glory").

La obra consta de una embocadura, un tramo horizontal en túnel hasta el pozo del "morning glory", revestimiento de este pozo hasta el codo infe-

rior, demolición y revestimiento de la zona entre el codo inferior y la cámara de compuertas, cámara de compuertas, a ejecutar en caverna, revestimiento parcial o total del túnel actual y estructura de lanzamiento al río al final de este nuevo revestimiento del túnel. Además se complementa la obra con una galería de acceso desde aguas abajo hasta la cámara de compuertas.

Embocadura

Su plataforma de aproximación se excava a la cota 628,00 y los taludes van protegidos entre esta cota y la parte superior de la excavación por unos muros de hormigón de 2,50 m de altura y 0,50 m mínimo de espesor que alojan las cabezas de los anclajes activos previstos para estabilizar esta parte de las excavaciones.

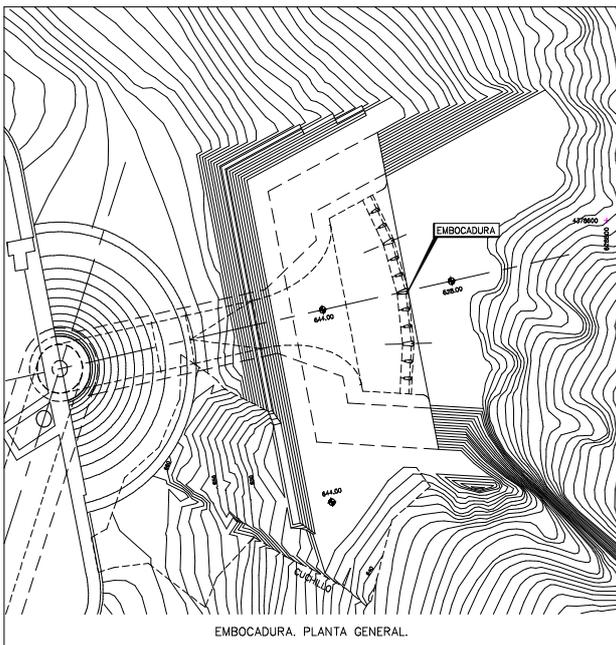


Figura 1: Embocadura – Planta general

La estructura de hormigón de la embocadura empieza en una reja de hormigón formada por elementos verticales y horizontales, de manera que se logra una estructura suficientemente cerrada para evitar el paso de objetos grandes que puedan obturar los conductos de las compuertas.

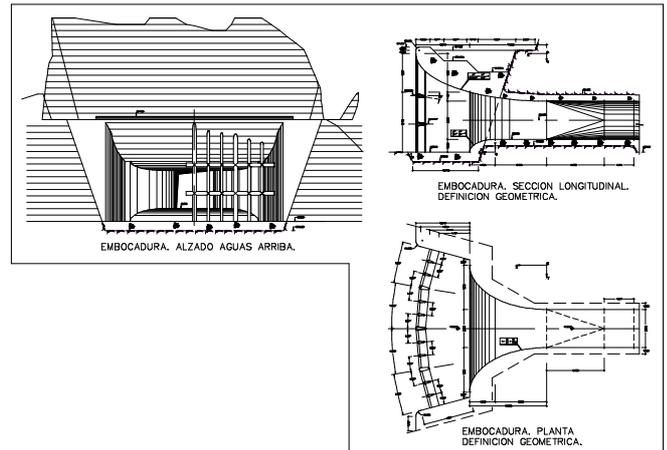


Figura 2: Embocadura – Alzado y secciones

La estructura continúa en un abocinamiento elíptico, tanto en planta como en alzado, hasta llegar al tramo horizontal en túnel a la cota 630,00.

Tramo horizontal en túnel

Es un marco de 6,00 x 6,00 m. y de un metro de espesor de hormigón, que se transforma en una sección circular de 6,00 m de diámetro, la cual, a su vez, entronca con la zona vertical del pozo del “morning glory” mediante un codo de 90°.

En todo este tramo horizontal se prevé un blindaje así como un tratamiento de consolidación del terreno, detrás del hormigón de revestimiento.

Revestimiento del tramo vertical del pozo

Este tramo vertical de pozo del “morning glory” hasta el codo, queda sustituido por un conducto blindado de 6,00 m. de diámetro, con un revestimiento exterior de hormigón armado de un metro de espesor. En todo el tramo se le aplica un tratamiento de consolidación del terreno, así como la correspondiente inyección del blindaje.

Codo y conducto hasta cámara de compuertas

Igual que los anteriores, este tramo es blindado y con revestimiento de hormigón armado. Tiene una sección variable que varía desde circular de 6,00 m. de diámetro, al inicio del codo, a rectangu-

lar de 6,00 m. de anchura por 3,00 m. de altura, al llegar a la cámara de compuertas.

A todo este tramo se le aplica también un tratamiento de inyección del blindaje y de consolidación del terreno.

Cámara de compuertas

Tiene unas dimensiones de 9,50 m. en el sentido del flujo del agua por 15,50 m. en sentido perpendicular y 11,54 m. de altura, y se construye excavada en la roca. Su sección transversal es abovedada superiormente, con directriz elíptica, y su revestimiento, de hormigón armado, posee un espesor mínimo de 1,00 m. Su soleira está situada a la cota 579,26. Se accede a ella a través de una galería de acceso independiente.

El conducto blindado del nuevo desagüe, al llegar a las proximidades de la cámara, se divide en dos conductos de 3,00 m. de altura por 2,00 m. de anchura separados por una pila de 2,00 m. de espesor.

Cada uno de estos conductos se cierra y controla mediante dos compuertas, una BUREAU primero, la cual sirve de guarda, y a continuación una TAINTOR de 5,00 m. de radio de giro. La aducción de aire a las compuertas se posibilita mediante dos conductos laterales de 1,25 m. de diámetro que conectan con el actual conducto de aducción de aire del antiguo "morning glory".

En toda la zona de la cámara de compuertas se ha previsto un tratamiento de consolidación y de

impermeabilización del terreno circundante para evitar las filtraciones provenientes del embalse.

Revestimiento del túnel actual y estructura de lanzamiento

Este túnel se aprovecha, desde aguas abajo de la cámara de compuertas, como canal de descarga del nuevo desagüe. Para ello se le da un nuevo revestimiento, en toda su longitud, con sección rectangular de 5,00 m. de anchura por 4,00 m. de altura.

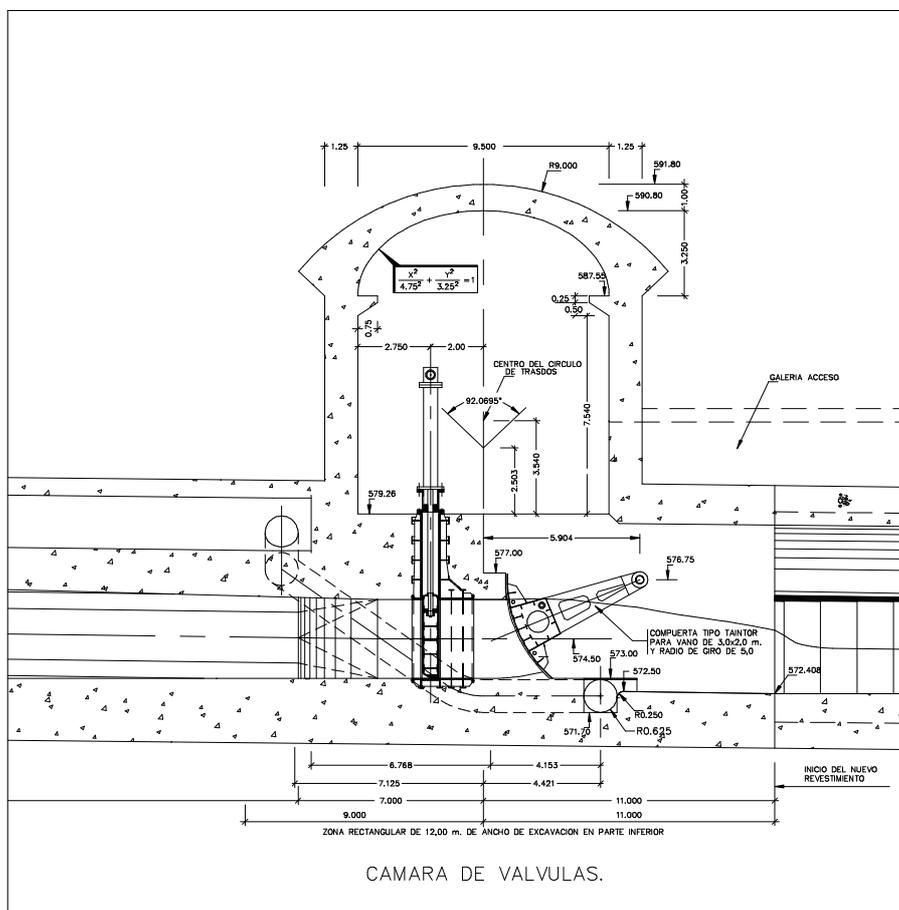


Figura 3: Cámara de compuertas – Sección longitudinal

La estructura de lanzamiento es un deflector situado al final del nuevo revestimiento para voltear y airear la lámina de agua, previamente a la restitución de caudales al cauce.

6. EMBALSE DE CONTRERAS. LAMINACIÓN DE AVENIDAS Y CONTROL DE NIVELES

Con el fin de constatar las ventajas de la transformación del antiguo "morning glory" en desagüe de medio fondo, se presenta seguidamente un estudio de la laminación de las avenidas de diseño (1.000 años de periodo de retorno) y máxima probable, en los dos casos, es decir, antes y después de la transformación.

En el gráfico N°1 se muestra la laminación de la avenida de 1.000 años en el embalse de Contreras, contando la presa con el aliviadero en pozo de 860 m³/seg de capacidad. En él, se aprecia que la punta de la avenida se reduce en el embalse desde 2.530 m³/seg a 800 m³/seg, lo cual representa un efecto laminador considerable, pero ello es debido no a la función del aliviadero en pozo, sino al gran resguardo que posee este embalse: desde la cota 669,00 hasta la 679,00, es decir 10 m.

Si se observa ahora el gráfico N°2, en el cual se muestra la laminación de la misma avenida, pero después de la transformación, se verá que la punta del hidrograma se reduce en este caso a 720 m³/seg, es decir que se dispone de mayor poder de laminación, a pesar de que la capacidad del nuevo desagüe es menos de la mitad que la del antiguo aliviadero en pozo, lo

que viene a demostrar que este tipo de desagües proporciona indudables ventajas a la explotación del embalse en avenidas.

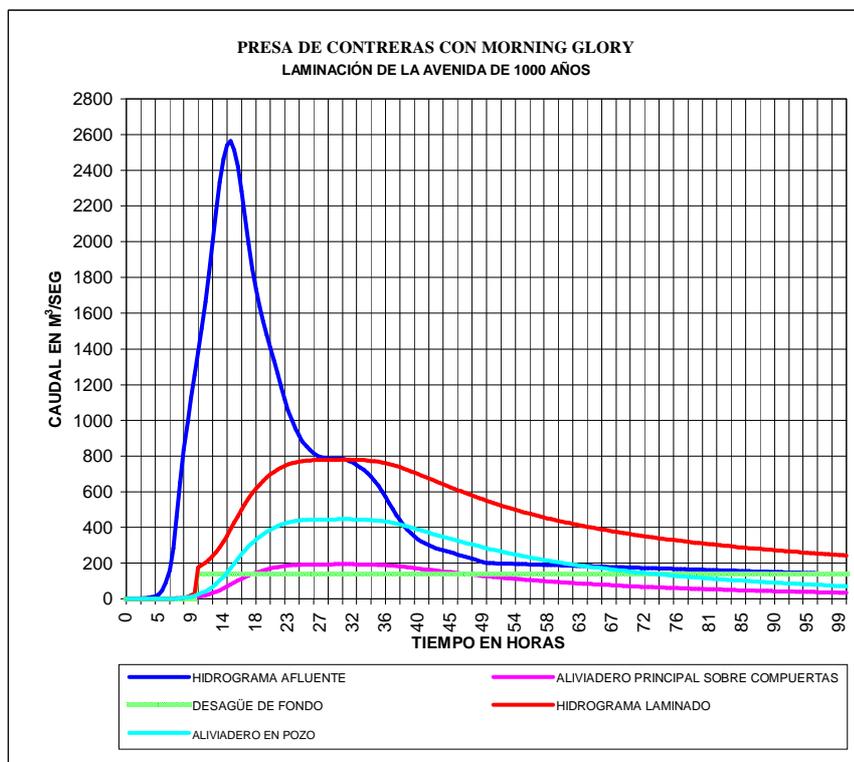


Gráfico 1: Contreras – Avenida de 1.000 años - Morning Glory

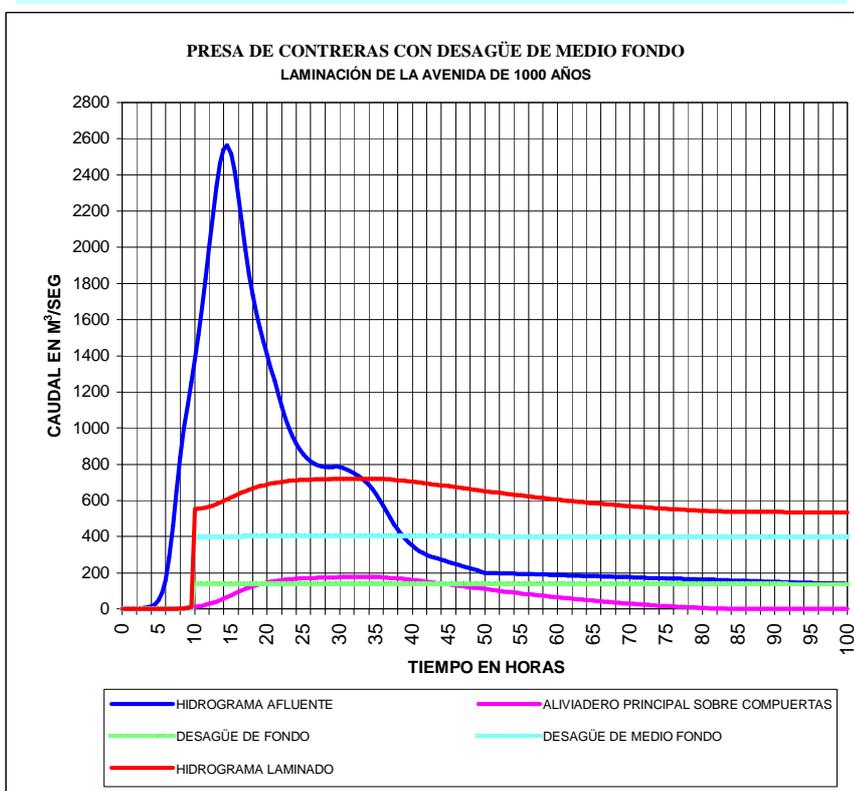


Gráfico 2: Contreras – Avenida 1.000 años - Desagüe medio fondo

Los gráficos N°3 y N°4 muestran, de manera similar a los anteriores, el proceso de laminación de la avenida máxima probable en este caso, en el embalse de Contreras.

También aquí con el nuevo desagüe de medio fondo se consigue una mayor laminación del caudal de punta del hidrograma. En este caso esta punta es de 10.700 m³/seg y queda laminada a 4.200 m³/seg contando con el aliviadero principal, el antiguo aliviadero en pozo y el desagüe de fondo, y a 3.600 m³/seg contando con el aliviadero principal, el nuevo desagüe de medio fondo y el desagüe de fondo.

Es de destacar, como en el caso anterior, que la capacidad del nuevo desagüe de medio fondo es menos de la mitad de la correspondiente al antiguo "morning glory" (400 m³/seg frente a 860 m³/seg).

Finalmente, y para constatar las ventajas que desde el punto de vista de control de niveles en el embalse ofrece el nuevo desagüe de medio fondo, se presentan en los gráficos N°5 y N°6 la evolución del nivel de embalse durante un hipotético vaciado del mismo, asimismo en ambas situaciones de disponer del "morning glory" o del desagüe de medio fondo.

Para este vaciado se ha supuesto que se cuenta con todos los órganos de desagüe disponibles en

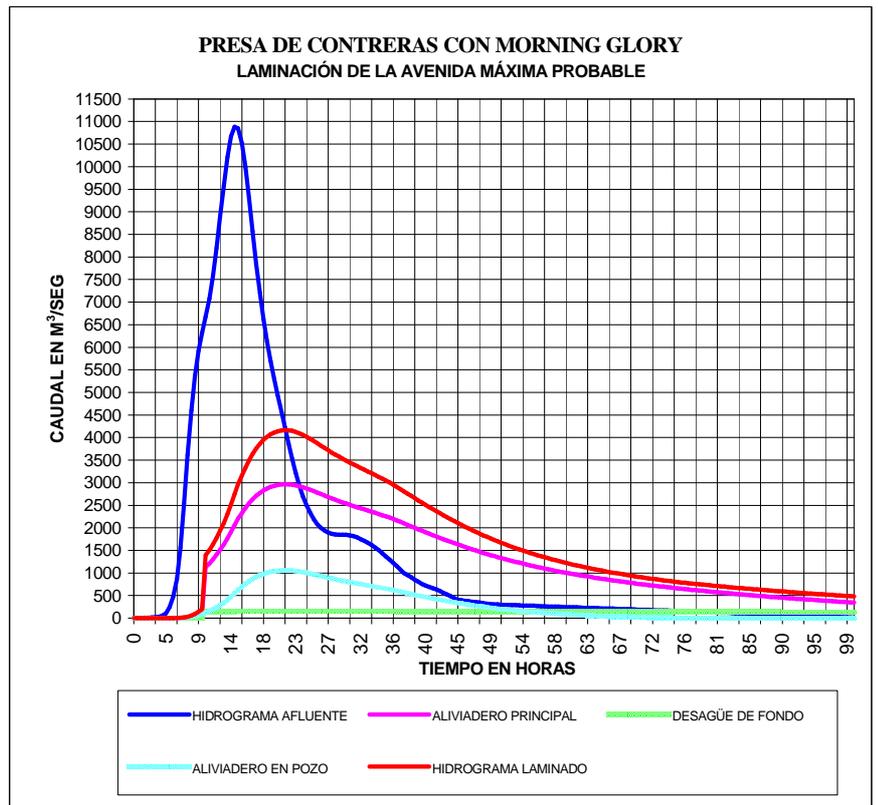


Gráfico 3: Contreras – Avenida P.M.F. – Morning Glory

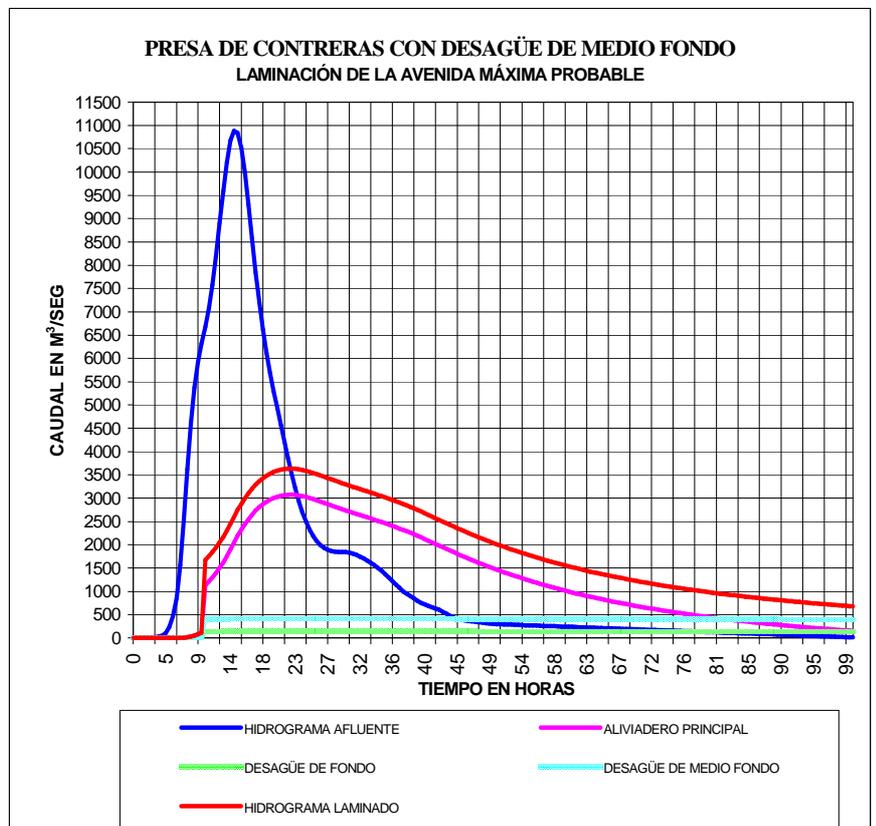


Gráfico 4: Contreras – Avenida P.M.F. – Desagüe de medio fondo

cada caso, operando control desde el primer

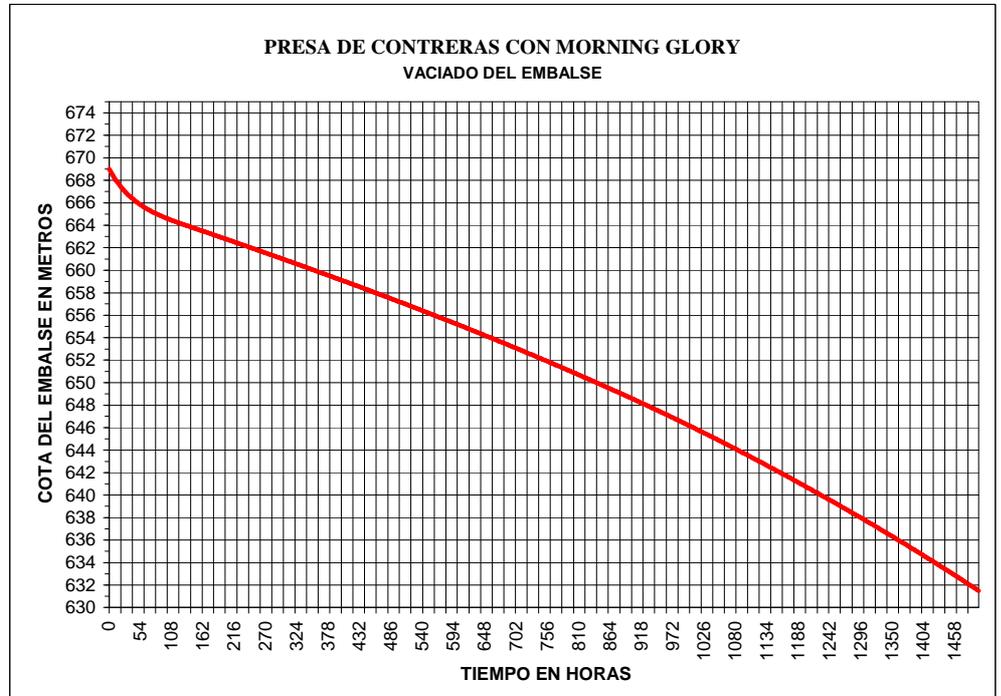
Así, se puede ver gráfico N°5 ("morning glory") el tiempo de vaciado del embalse (669,00) hasta la cota 630,00 es de 1.500 horas (63 días), en el gráfico N°6, se ve que este tiempo es tan sólo de 470 horas (20 días), lo que demuestra la mayor rapidez de respuesta de la presa al dotarla con el nuevo desagüe de medio fondo ante una emergencia.

Esta circunstancia es especialmente interesante en el embalse de Contreras, en el meter en el futuro el ceso definitivo de ta en carga, durante el cual, por razones de seguridad, será de todo punto necesario contar con un control de niveles realmente efectivo entre los niveles de embalse 645,00 y 669,00. Se puede decir, por lo tanto, que la presa de Contreras se beneficiará de las claras ventajas de la transformación de su antiguo aliviadero en pozo en su nuevo desa-

sus elementos de comomiento.

que mientras en el "glory") el tiempo de vaciado desde su M.E.N.

güe de medio fondo, el cual permitirá afrontar la futura puesta en carga y explotación definitiva del embalse en las adecuadas condiciones de seguridad.



que se tiene que aco-

pro-
pues-

Gráfico 5: Contreras – Vaciado del embalse – Morning Glory

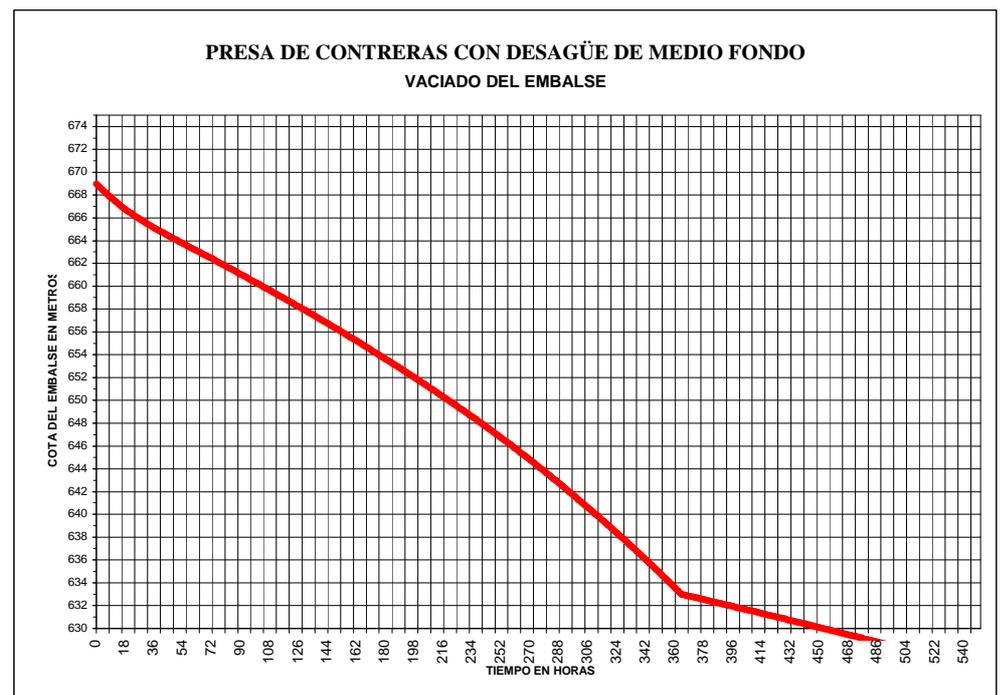


Gráfico 6: Contreras – Vaciado del embalse – Desagüe de medio fondo

7. OBRAS EN LA NUEVA PRESA DE PUENTES

La Presa de Puentes actual es la tercera que se ha implantado en el denominado "estrecho de Puentes" del río Guadalentín; las dos anteriores fueron destruidas por las avenidas del Guadalentín; la primera de ellas en 1648 sin haber finalizado las obras, y la segunda, construida durante el reinado de Carlos III, fue destruida por sifonamiento de la cimentación en 1802. La tercera presa, es decir la actualmente existente, se inició en 1881 aguas abajo de las anteriores, finalizándose sus obras cinco años después.

Esos intentos de controlar el río mediante una presa en Puentes han tenido que afrontar un doble problema, la extrema torrencialidad del Guadalentín por un lado, y por otro, la dificultad que suponía, en épocas pasadas, cimentar adecuadamente la presa en el fondo del estrecho.

En época reciente, década de los 60, la presa actual se recreció con hormigón en una altura de 80 cm, al mismo tiempo que se disponía una pantalla, también de hormigón, de 0,5 m, sobre el paramento de aguas arriba. Coincidiendo con ello, se construyó un amplio aliviadero en pozo y sin compuertas en la margen izquierda, que mejoró significativamente las condiciones de evacuación de las riadas del Guadalentín, confiadas anteriormente a la derivación por el llamado *barranco del aliviadero*, en la margen derecha.

La máxima altura total sobre cimientos de la presa actual es de 69 m, reduciéndose a 47 m si se considera la altura sobre el cauce en el pie de aguas abajo; la amplia diferencia entre ambas se justifica fundamentalmente por el potente relleno aluvial del cauce. Aguas arriba, la altura sobre el cauce se reduce a 23 m, porque en los 100 años de existencia de la presa, la extrema erosionabilidad de la cuenca ha colmatado sustancialmente

el embalse, aportando un relleno de tarquines cuya potencia ronda los 24 m.

En cuanto a capacidad, el máximo almacenamiento útil del embalse está reducido por este fenómeno de aterramiento a 13 Hm³; desde la cresta del aliviadero hasta la coronación de la presa, el agotamiento exhaustivo de las posibilidades de laminación del embalse - no en vano la presa actual ha vertido tres veces por encima de coronación - proporciona otros 13,1 Hm³ de capacidad no controlable.

El papel estratégico del embalse de Puentes se puso de manifiesto en el plan de defensa contra avenidas de la cuenca del Segura, redactado por la Confederación Hidrográfica del Segura en 1977, que por un lado destacó la grave incidencia de las riadas del Guadalentín en las inundaciones de la cuenca, y por otro subrayó la importancia de Puentes como pieza de control de las primeras; en este sentido, el plan incluyó el recrecimiento de la presa actual, con objeto de maximizar el aprovechamiento del estrecho y mejorar significativamente el efecto laminador del embalse, lo que junto con otras actuaciones a lo largo del Guadalentín - derivación de caudales por el barranco del Paretón, construcción de la presa del Romeral, etc., permitiría alcanzar un adecuado grado de protección en todas las poblaciones ribereñas del mismo y las situadas aguas abajo de la confluencia con el Segura.

A parte de las características de extrema torrencialidad del río Guadalentín, propias de los ríos de la vertiente mediterránea, presenta éste otra faceta que viene a complicar aún más el problema de su represamiento y regulación: se trata de la gran cantidad de aportación sólida que arrastra, sobre todo en épocas de avenida. Ello hace que la vida útil de los embalses que se puedan establecer sobre su cauce esté muy limitada en el tiempo.

Para resolver el problema de la recuperación del embalse, y debido a las escasas garantías de seguridad que ofrecía el recrecimiento directo de la actual presa, se ha diseñado una Nueva Presa, que situada aguas arriba de la actual, ocupando prácticamente la cerrada correspondiente a la presa que se derrumbó en 1802, tendrá su coronación a la cota 474,00 (13 m. más alta), y será capaz de embalsar hasta 52 Hm³, con el fin de satisfacer la doble función de suministrar las demandas de agua regulada requeridas y de contener y laminar las hasta ahora catastróficas riadas del río Guadalentín.

La Nueva Presa de Puentes, en la actualidad en fase de construcción, es de hormigón, de tipo gravedad, y está definida en planta por tres alineaciones rectas. La central, normal al cauce del río Guadalentín tiene una longitud de 144 m. Las laterales corresponden a sendas aletas hacia aguas arriba que cierran el embalse a cota de coronación. La aleta de la margen derecha forma un ángulo de 141,5° con la alineación central de la presa y tiene una longitud de 140,91 m. La aleta de la margen izquierda forma un ángulo de 125,5° con la alineación central de la presa y tiene una longitud de 82,00 m. Los acuerdos entre las tres alineaciones se realizan mediante dos curvas circulares de 5,00 m. de radio. El desarrollo total a lo largo de la coronación es de 382,00 m.

La sección transversal tipo está formada por un perfil triangular con vértice a la cota 474,00 m., completado en la parte superior por un macizo prismático de 5,50 m. de anchura que se remata en coronación mediante dos ménsulas de 1,20 m.

La superficie de cimentación se establece con una contrapendiente del 2%.

El talud de aguas arriba es de 0,05/1 por encima de la cota 433,00 y de 0,3/1 por debajo de dicha cota, hasta el contacto con el terreno. El talud del paramento de aguas abajo es de 0,8/1 y la altura máxima sobre cimientos es de 76,00 m.

Para cerrar el collado lateral existente en la margen izquierda del embalse, se construye un dique de cierre, con tipología de materiales sueltos, con núcleo interno arcilloso y espaldones de escollera. Ambos elementos, presa y dique lateral, se enlazan a través del correspondiente camino de acceso.

El aliviadero consiste en un vertedero sobre coronación formado por cuatro vanos de 7,50 m. de longitud, de labio fijo, y con el umbral a la cota 465,00. El escarpe responde a un perfil tipo BRADLEY con exponente 1,85 y carga de diseño de 20,00 m.

Estos cuatro vanos se agrupan en dos módulos gemelos, simétricamente dispuestos con relación a la estructura del desagüe de fondo. Cada módulo posee, por consiguiente dos vanos de 7,50 m. de anchura, separados por una pila intermedia - tajamar.

Los correspondientes canales de descarga, atraviesan la parte inferior de la Presa Actual, sobre su zócalo, para lo cual se perforan dos túneles de 6,00 m. de luz (más otros tantos para el desagüe de fondo), en su fábrica, que posteriormente se revisten de hormigón armado.

Finalmente, los dos canales de descarga terminan en sendas estructuras de lanzamiento, situadas al pie de la presa actual, y constituidas por deflectores de lanzamiento peraltados.

El aliviadero así definido es capaz de evacuar un caudal máximo de 2.020 m³/seg, caudal que corresponde al paso de la avenida de verificación (P.M.F.), tras su laminación en el embalse.

El desagüe de fondo de la presa, posee dos vanos y consiste en una estructura adosada al paramento de aguas arriba de la presa, que aloja en su interior sucesivamente los siguientes elementos:

- La embocadura, sin rejas de ningún tipo, y con la solera a la cota 420,00.
- Transiciones, con solera horizontal y techo inclinado 15° sobre la horizontal.
- Compuertas wagon, de 4,50 m. de altura por 5,00 m. de anchura, alojadas en torre hasta coronación, con cámara de revisión y cámara de maniobras superior.
- Compuertas Taintor, de 2,75 m. de altura por 5,00 m. de anchura, alojadas en una cámara de maniobras en el cuerpo de presa.
- Conductos de descarga, con anchura de 6,00 m., que se prolongan primero en túnel o galería por el interior de la presa, posteriormente en canal entre las dos presas, después en túnel a través de la Presa Actual y finalmente de nuevo en canal hasta los deflectores de lanzamiento.

La Nueva Presa de Puentes posee, además, un tercer y singular órgano hidráulico: EL DESAGÜE DE MEDIO FONDO.

Consiste en la adaptación del antiguo aliviadero en pozo a un desagüe en carga tal y como se preconiza en el presente artículo.

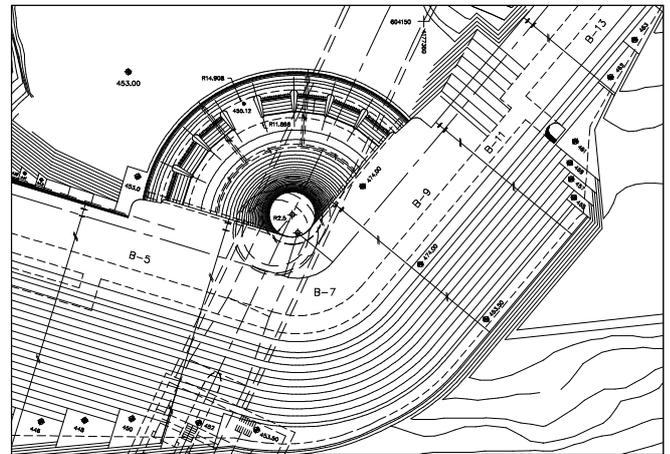
La obra consta de los siguientes elementos:

Embocadura

La sección de toma se sitúa en un plano horizontal, coincidente con la embocadura del antiguo aliviadero en pozo. La cota del umbral es de 455,12 m y, en planta, posee forma sectorial adaptándose al cambio de alineaciones que presenta la presa en el estribo izquierdo. En alzado, presenta forma de cáliz desde la forma sectorial a la circular completa de 5 m. de diámetro.

Sobre el umbral de la embocadura se establece la estructura de la reja. Esta consta de una reja primaria de hormigón armado, sobre cuyos elementos estructurales se apoya la rejilla metálica

formada por paneles independientes modulados y extraíbles.

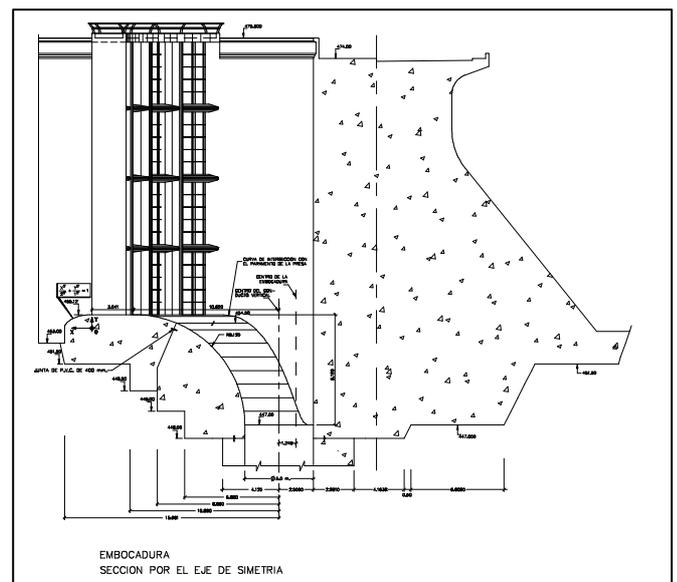


EMBOCADURA
PLANTA GENERAL

Figura 5: Embocadura – Planta general

Revestimiento del tramo vertical del pozo

Este tramo vertical o pozo del “morning glory” hasta el codo, queda sustituido por un conducto blindado de 5,00 m. de diámetro, con un revestimiento exterior de hormigón armado.



EMBOCADURA
SECCION POR EL EJE DE SIMETRIA

Figura 6: Embocadura - Sección

Codo y conducto hasta cámara de compuertas

Igual que el anterior, este tramo es blindado y con revestimiento de hormigón armado. Tiene una sección variable que varía desde circular de 5,00 m. de diámetro, al inicio del codo, a rectangular de 5,00 m. de anchura por 2,75 m. de altura, al llegar a la cámara de compuertas.

Cámara de compuertas

Tiene unas dimensiones de 10,00 m. en el sentido del flujo del agua por 14,05 m. en sentido perpendicular y 8,539 m. de altura, y se construye excavada en la roca. Su sección transversal es abovedada superiormente, con directriz elíptica, y su revestimiento, de hormigón armado, posee un espesor de 0,75 m. Su solera está situada a la cota 421,647, y se accede a ella a través de una galería independiente. El conducto blindado del nuevo desagüe, se divide, al llegar a la cámara, en dos conductos de 2,75 m. de altura por 2,50

m. de anchura separados por una pila de 1,75 m. de espesor. Cada uno de estos conductos se cierra y controla mediante dos compuertas, una BUREAU primero, la cual sirve de guarda, y a continuación una TAINTOR de 5,00 m. de radio de giro.

Revestimiento del túnel actual y estructura de lanzamiento

Este túnel se aprovecha, desde aguas abajo de la cámara de compuertas, como canal de descarga del nuevo desagüe. Para ello se construyen dos nuevos muros hastiales adosados a la sección actual en herradura, de manera que la sección final resultante es rectangular de 6,00 m. de anchura y calado variable. La estructura de lanzamiento consiste en un deflector situado al final del nuevo revestimiento para voltear y airear la lámina de agua, previamente a la restitución de caudales al cauce.

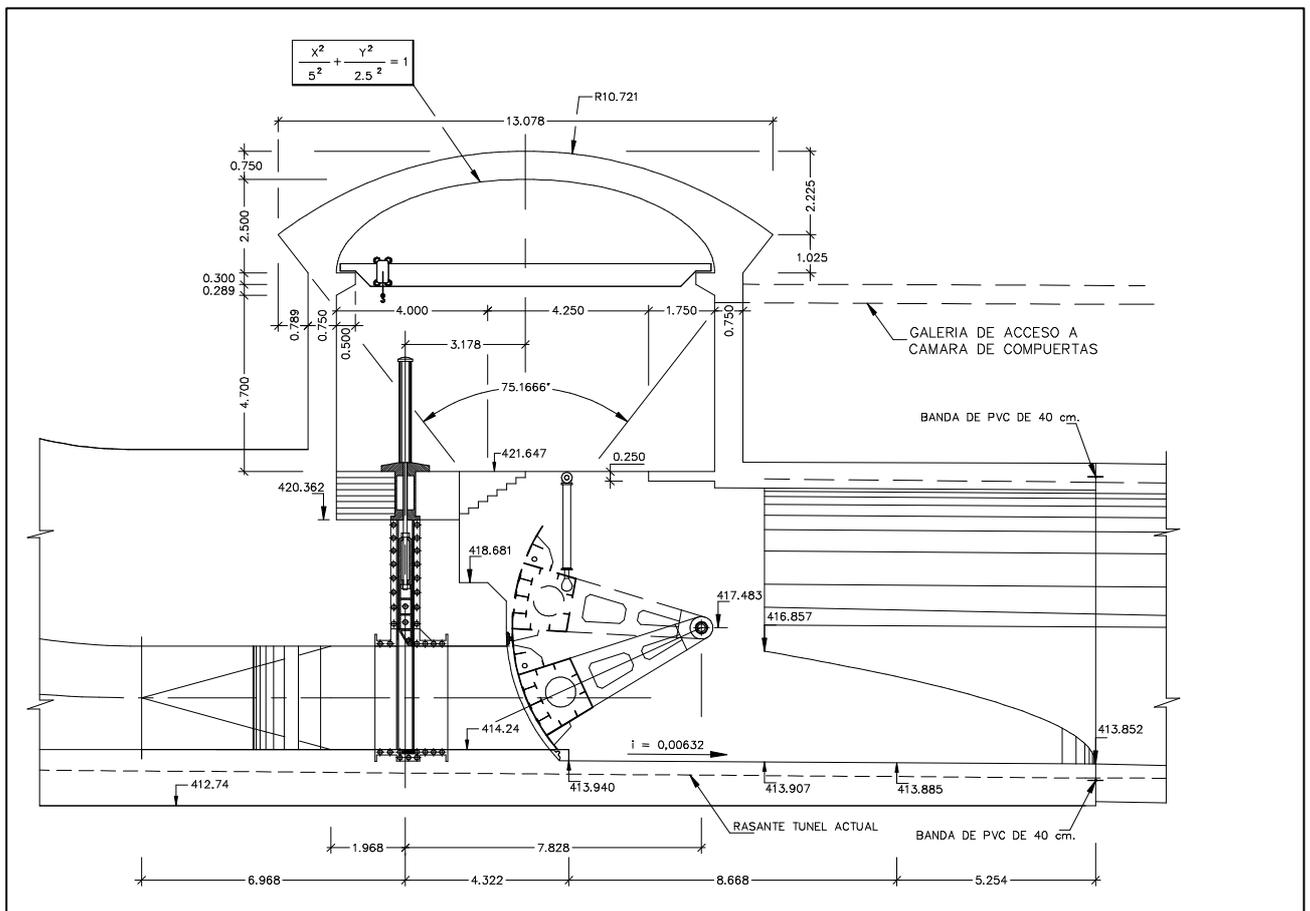


Figura 7: Cámara de compuertas – Sección longitudinal

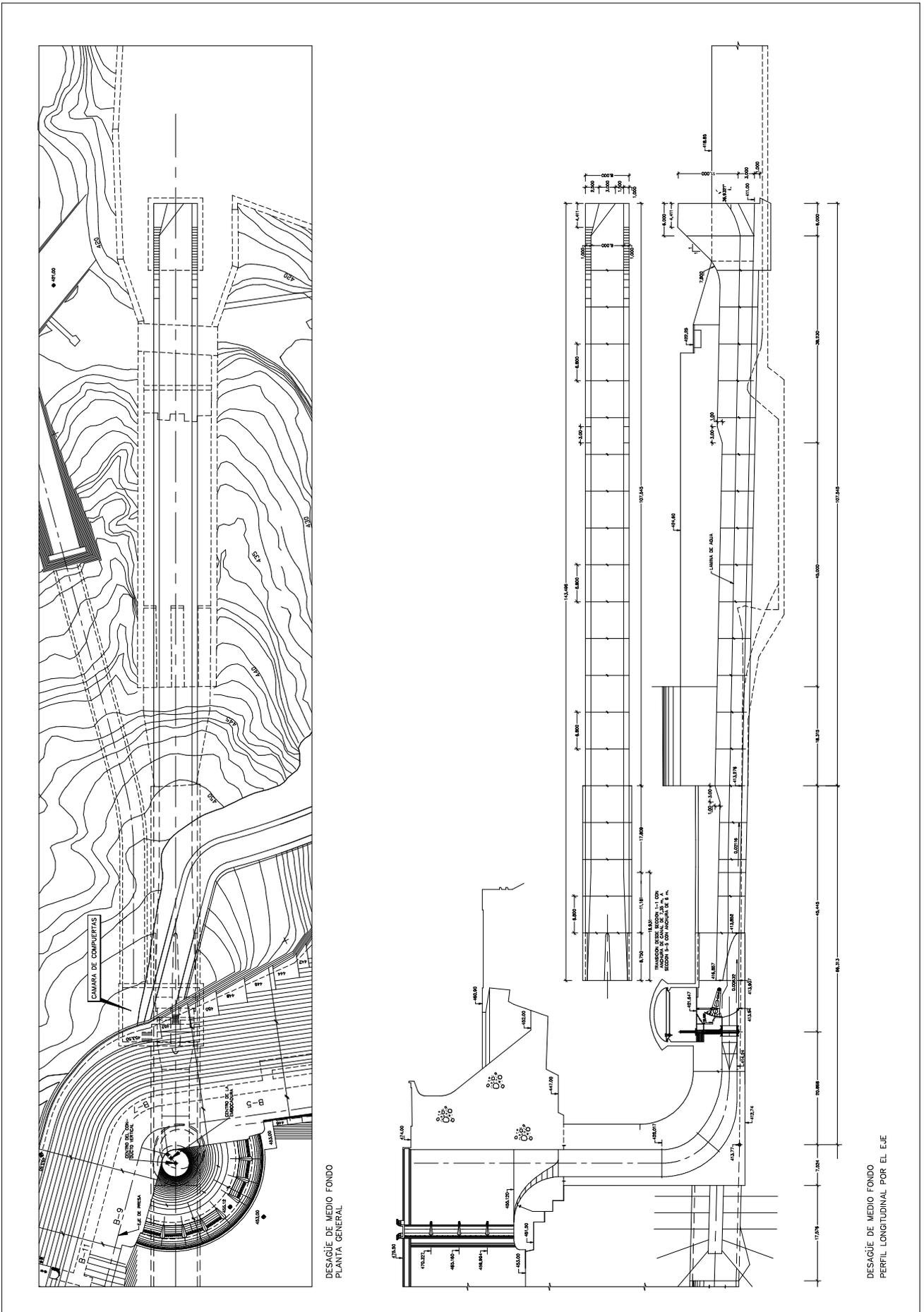


Figura 8: Desagüe de medio fondo – Planta General y Perfil Longitudinal

8. EMBALSE DE PUENTES. LAMINACIÓN DE AVENIDAS

El embalse de Puentes es un caso bien diferente del de Contreras. En efecto, mientras que Contreras posee una capacidad de más de 800 Hm³, Puentes solamente es capaz de almacenar 52 Hm³. Y sin embargo, las avenidas que deben soportar ambos embalses no están en la misma relación; así, mientras Contreras tiene puntas de 2.500 m³/seg y 10.700 m³/seg en sus avenidas de 1.000 años y P.M.F., en el embalse de Puentes estos valores son de 3.600 m³/seg y de 5.600 m³/seg para dichas avenidas.

Para poder soportar estos caudales tan altos con un embalse reducido se puede optar por incrementar la capacidad del aliviadero de superficie, o bien dotar a la presa de desagües en carga de gran capacidad. Esta segunda posibilidad es la que se ha adoptado al diseñar la Nueva Presa de Puentes.

En el gráfico N°7 se muestra el proceso de la laminación de la avenida milenaria en el embalse de Puentes. En él se puede ver que el reparto de funciones entre el aliviadero, desagües de fondo y desagüe de medio fondo está muy compensado: 1.000 m³/seg para el aliviadero, 800 m³/seg para el desagüe de fondo

y 400 m³/seg para el desagüe de medio fondo, que suman los 2.200 m³/seg totales desaguados a que se reducen los 3.600 m³/seg de punta de la avenida.

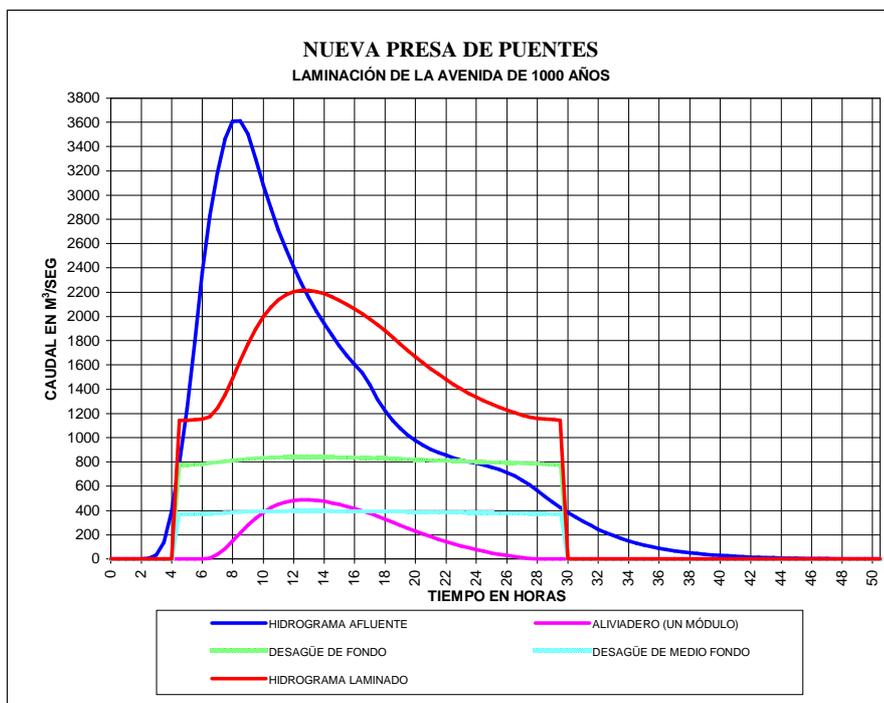


Gráfico 7: Nueva Presa de Puentes – Avenida de 1.000 años

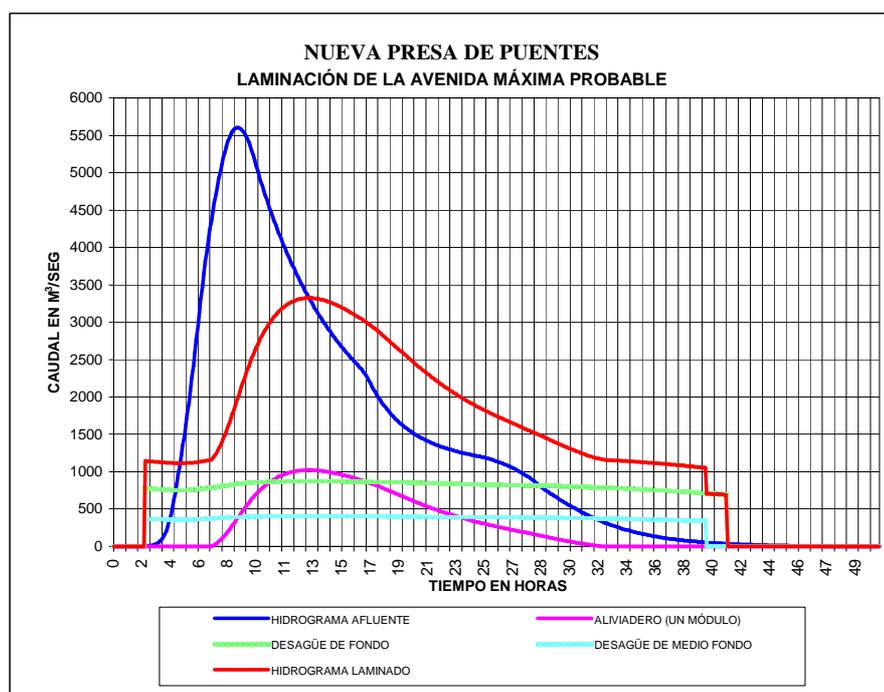


Gráfico 8: Nueva Presa de Puentes – Avenida máxima probable

En el caso de la avenida máxima probable, que se presenta en el gráfico N°8, los resultados del proceso de laminación son aún más espectaculares: el valor de pico del hidrograma se lamina desde 5.600 m³/seg hasta 3.300 m³/seg, con un reparto entre los tres órganos de desagüe como sigue: 2.000 m³/seg para el aliviadero, 850 m³/seg para el desagüe de fondo y 450 m³/seg para el desagüe de medio fondo.

Todo ello viene a demostrar el gran poder de laminación que posee la Nueva Presa de Puentes, con tan sólo 52 Hm³ de capacidad, gracias a los dos desagües en carga de gran capacidad de que está dotada, uno de fondo de nuevo diseño y otro de medio fondo procedente de la transformación del antiguo aliviadero en pozo.

9. CONCLUSIÓN

A lo largo del presente artículo se han expuesto las características y ventajas que presenta la transformación de antiguos aliviaderos auxiliares del tipo "morning glory" o en pozo en desagües de medio fondo de gran capacidad.

Las ventajas se circunscriben a dos aspectos fundamentales en la explotación de un embalse, como son el control de niveles y el control de avenidas.

A través de los dos casos concretos presentados, **la Presa de Contreras y la Nueva Presa de Puentes**, ambas en construcción, queda patente que este tipo de obras, gracias a las ventajas antes mencionadas, pueden contribuir a la adaptación de antiguas presas a la nueva normativa vigente así como a las nuevas necesidades hidráulicas impuestas por una revisión o mejor conocimiento de los parámetros hidrológicos de sus cuencas y embalses.

Evidentemente, tales obras de transformación conllevan ciertas singularidades y dificultades en

determinadas partes de las mismas dignas de comentar y desarrollar quizá en futuros trabajos a publicar.

En particular son dignos de mención el diseño y dimensionamiento de los blindajes y las transiciones desde el codo inferior hasta la cámara de compuertas, el dimensionamiento del sistema de aducción de aire a las compuertas y la elección y diseño de los elementos de estanqueidad de las compuertas TAINTOR.

En cualquier caso y dentro de los límites marcados para el presente artículo, se puede concluir que este tipo de obras de adaptación, en antiguas presas o en presas a recrecer, ofrece indudables ventajas desde el punto de vista funcional, y pueden contribuir a mejorar notablemente la explotación de embalses.