

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

VINGTIÈME CONGRÈS
DES GRANDS BARRAGES
Beijing, 2000

**DESAGÜES DE GRAN CAPACIDAD CONTROLADOS
APLICACIÓN A LA PRESA DE CONTRERAS**

José LÓPEZ GARAULET
*Director de las Obras, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Confederación Hidrográfica del Júcar*

Jesús GRANELL VICENT
*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director General de Jesús Granell Ingeniero Consultor, S.A.*

Salvador RUBIO CATALINA
*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Delegado en la Comunidad Valenciana, CORSAN, Empresa Constructora*

ESPAÑA

1. INTRODUCCION

Es bien conocida la importancia y responsabilidad que los desagües de fondo ostentan en el conjunto de las instalaciones de que debe estar dotada una presa de embalse.

Su situación estratégica en la presa les confiere una funcionalidad que no puede cumplir el aliviadero de superficie, al que erróneamente y por lo general se asigna una mayor importancia que a aquellos. En efecto, mientras que el aliviadero controla eficazmente los niveles superiores y sobreelevaciones en el embalse durante el paso por el mismo de una crecida del río, nada puede aportar al control del embalse cuando éste se encuentra bajo niveles de carga inferiores a su umbral de vertido. Es entonces cuando la importancia de la función de los desagües de fondo se pone de manifiesto.

Así, si la presa dispone de unos desagües de fondo bien dimensionados y concebidos, se beneficiará de las facilidades de control de la carga en el embalse que ellos le proporcionarán, ya sea en condiciones de normalidad hidrológica frente a una emergencia en la presa o durante las primeras puestas en carga, o bien en condiciones extraordinarias frente a la ocurrencia de una crecida, complementando eficazmente la acción laminadora del aliviadero de superficie.

Esta circunstancia se hace más ostensible en el caso de presas emplazadas en cuencas de hidraulicidad extrema, en las que el gran poder devastador de sus crecidas debe ser controlado y suavizado mediante el efecto de contención y laminación del embalse. En estos casos, los desagües profundos de gran capacidad contribuyen en gran manera a esta función, incrementando notablemente la capacidad laminadora del embalse. Tales circunstancias se han reflejado en las presas de la cuenca mediterránea española construídas en esta última década, —TOUS, ESCALONA, BELLÚS, PUENTES—, todas ellas con desagües de fondo y medio fondo potentísimos.

Pero estos desagües poderosos no solamente son de utilidad para el control de grandes avenidas. Imaginemos una presa con determinados problemas que requieran un control muy eficaz y rápido de niveles en el embalse, que a la vez permita dar respuesta casi inmediata a los sistemas de auscultación. En tal caso, si se dispone de desagües profundos de capacidad suficiente, se podrá afrontar el control y auscultación del embalse con plena garantía de seguridad. Tal es el caso de la presa de CONTRERAS, a la que se ha dotado de un desagüe de estas características mediante la transformación de un antiguo aliviadero complementario en pozo.

La experiencia ganada a través de la concepción, diseño y construcción del nuevo desagüe de medio fondo de la presa de Contreras, constituyen el objeto de esta contribución. La redactamos alentados por la esperanza de que sea de utilidad a quienes se enfrentan con problemas similares en el mundo de la Ingeniería Hidráulica.

2. LOS DESAGÜES DE GRAN CAPACIDAD

Las ventajas funcionales que aporta un desagüe profundo de gran capacidad sobre un aliviadero de superficie provienen de la propia naturaleza de ambas estructuras hidráulicas.

Así, mientras el funcionamiento del aliviadero de superficie 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 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 facilitar la doble función de:

- **Control de niveles.....** Con el desagüe profundo se puede controlar toda la carrera de embalse comprendida entre su embocadura y el máximo nivel de explotación del mismo.
- **Laminación de avenidas** El poder de laminación del embalse se incrementa notablemente, extendiéndose por debajo de los niveles controlados por el aliviadero hasta su embocadura.

3. MORFOLOGÍA

La morfología de estos desagües responderá a la de un elemento hidráulico lineal, integrado por las siguientes partes o componentes:

3.1. Embocadura

Se debe diseñar con las formas hidráulicas adecuadas, —en principio las formas elípticas son las que mejor comportamiento proporcionan—, y se debe equipar con una reja primaria cuyo vano libre sea inferior a la mínima dimensión de las compuertas a instalar en la cámara.

3.2. Conducto previo a la sección de control

Constituye el tramo en carga del desagüe. Su sección debe ser estudiada de manera que proporcione pérdidas de carga aceptables. Se debe prestar especial atención a la definición en alzado de este conducto, principalmente a su rasante o generatriz superior, con el fin de evitar la acumulación de aire en las

operaciones de llenado o con funcionamientos bajo cargas reducidas sobre la embocadura. En cualquier caso, su geometría impondrá los niveles mínimos de operatividad del desagüe que aseguren la ausencia de depresiones.

Dadas las dimensiones de estos desagües y sus presiones y velocidades de funcionamiento, estos conductos se deben blindar desde la embocadura hasta aguas abajo de la compuerta de control.

3.3. Sección de control. Cámara de válvulas

El conducto en carga, debe dividirse en dos o más subconductos a la entrada de la cámara de mecanismos, de manera que el desagüe cuente al menos con doble sistema de control. El número de estos subconductos dependerá de las dimensiones y capacidad del desagüe.

La transición de formas, desde la sección del conducto en carga, hasta la sección rectangular doble o múltiple necesaria para el alojamiento de las compuertas, exigirá una especial atención. Es de todo punto necesario evitar cambios bruscos de sección, —la sección debe cambiar siempre a menor hacia aguas abajo—, con el fin de garantizar la ausencia de fenómenos perniciosos de cavitación.

La cámara de compuertas deberá alojar por cada uno de los subconductos una compuerta de guarda, normalmente del tipo BUREAU, o WAGON en caso de dimensiones excesivas, y otra posterior de regulación o control del tipo TAIN-TOR.

Será aconsejable aducir aire al pie de las compuertas TAIN-TOR siempre que el conducto de descarga posterior presente una longitud importante. Aunque una adecuada morfología de la sección de cierre de la compuerta TAIN-TOR asegurará la alimentación lateral de aire procedente de la cámara, en ocasiones, puede resultar recomendable forzar la aireación de la sección inferior de cierre de dicha compuerta, mediante el establecimiento de un escalón con respecto a la solera del conducto de descarga y la correspondiente alimentación independiente de aire. Ello facilitará la emulsión del aire con los caudales líquidos evacuados, lo que garantizará la durabilidad del revestimiento del conducto de descarga.

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

3.4. Conducto de descarga

Este conducto, posterior a la rotura de carga, deberá conducir los caudales evacuados a velocidades elevadas, por lo que su diseño y ejecución deben ser

muy cuidadosos. Así, su trazado debe ser lo más rectilíneo posible, en evitación de formación de estelas y ondas de choque transversales. En su dimensionamiento hidráulico debe ser tenida en cuenta la emulsión con el aire aducido en la cámara, lo que exigirá un sobredimensionamiento del resguardo teórico calculado para sus cajeros o hastiales.

3.5. Estructura de restitución al cauce

La tipología de este último elemento se elegirá atendiendo a las condiciones geomorfológicas y geotécnicas que presente el tramo inferior del cauce sobre el que haya que restituir los caudales. Se deberá elegir, como en el caso de un aliviadero de superficie, entre elementos hidráulicos de amortiguación de energía, —cuencos amortiguadores de resalto—, o bien trampolines de lanzamiento.

3.6. Ensayo hidráulico en modelo reducido

Dada la importancia y responsabilidad que este tipo de órganos de desagüe representa en el conjunto de las instalaciones de una presa, se debe programar siempre su ensayo en modelo reducido, con el objeto de afinar y corroborar o corregir todo lo previamente diseñado.

4. CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

4.1. Embocadura

Tratándose de desagües profundos de elevada capacidad, sin carácter de toma o suministro de agua, incluso a veces con funciones de limpieza de los fondos del embalse, este tipo de órganos de desagüe debe proveerse, como máximo, de una reja primaria que los proteja contra la entrada de elementos extraños procedentes del embalse de dimensiones superiores a la mínima dimensión de las compuertas con que estén equipados.

Solamente en el caso de que su nivel de alimentación sea o pueda coincidir con la superficie libre del embalse, deberán equiparse con rejas secundarias que coarten el paso de elementos flotantes, tales como vegetación o ramajes abundantes en las crecidas, que pueden tupir y obturar los elementos de cierre y estanqueidad de las compuertas.

Las rejas primarias, deberán dimensionarse para poder soportar un cierto grado de obturación, que normalmente se puede cifrar en un 20 o 25% de la carga máxima teórica del embalse. No obstante, una segunda hipótesis de carga consistente en el impacto de un tronco sobre su estructura, debe ser asimismo contemplada.

4.2. Blindajes

Ya se ha comentado que el tramo de conducto comprendido entre la embocadura y aguas abajo de la sección de control debe blindarse. Las dimensiones de este conducto, generalmente grandes, así como las formas especialmente difíciles de reproducir con encofrados, así lo aconsejan.

En cualquier caso, estos blindajes suponen un coste bastante elevado en el conjunto del desagüe, ya que sus grandes dimensiones unidas a las generalmente elevadas cargas de cálculo obligan a adoptar chapas de espesores importantes combinadas con una densa rigidización.

Su dimensionamiento debe hacerse siempre para las dos hipótesis de carga:

- a) Conducto lleno.....Máxima presión de trabajo actuando internamente en el conducto.
- b) Conducto vacío.....Máxima presión de trabajo actuando externamente al blindaje.

Para poder contar con la colaboración del hormigón del revestimiento exterior del blindaje, sobre todo en la hipótesis de carga **b)**, puede resultar interesante la disposición de conectores entre éste y el hormigón exterior; ello redundará en un aligeramiento general del blindaje.

4.3. Cámara de válvulas

La cámara de válvulas, normalmente subterránea en este tipo de órganos de desagüe, se dimensionará teniendo en cuenta las acciones tanto geotécnicas, —empuje del terreno—, como hidráulicas, —empuje hidrostático provocado por el embalse—, y resulta recomendable dotar a la bóveda de empotramientos laterales de manera que los empujes verticales se transmitan directamente al terreno y no a los hastiales de la cámara. De esta manera se puede, además, independizar la construcción de ambos elementos.

También es importante dotar a la estructura de revestimiento de la cámara de válvulas de un sistema de drenaje que lo alivie de presiones hidrostáticas permanentes.

4.4. Implantación de los elementos de control

La sujeción de las compuertas de guarda, —del tipo BUREAU o WAGON—, se resolverá normalmente a través del blindaje del conducto en carga. Estas compuertas se unirán a él mediante las correspondientes bridas, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Sin embargo, la sujeción de las compuertas de control, —generalmente del tipo TAINTOR—, presenta una problemática bien diferente. Los ejes sobre los que apoyarán los cojinetes de giro de sus brazos se anclarán a la obra civil, para lo cual será necesario la ejecución de hormigones secundarios.

El amarre de estos ejes se debe calcular y dimensionar cuidadosamente, ya que un fallo o corrimiento indebido en ellos provocará, como mínimo, la pérdida de estanqueidad de la compuerta. Resulta, por lo tanto, de suma importancia el diseño de los puntos de amarre de los ejes de giro de este tipo de compuertas.

En general, se dispondrá un sistema de armaduras de refuerzo que, en forma de abanico, interesen a la mayor parte posible del hormigón primario de los cajeros o hastiales, y además se analizará detenidamente la distribución de tensiones en el hormigón secundario a disponer en el entorno del eje de giro, armándolo y reforzándolo cuidadosamente frente a todos los esfuerzos en él generados por el empuje de la compuerta.

También hay que resaltar la importancia de la sujeción o anclaje de los elementos de accionamiento de las compuertas, generalmente servomotores.

4.5. Estructura de restitución al cauce

Esta parte del desagüe no presenta características morfológicas ni estructurales diferentes a las que posee en los aliviaderos u otras estructuras hidráulicas más comunes. Se deben diseñar y dimensionar, por lo tanto, como en aquellos otros casos, con las debidas garantías de calidad y seguridad.

5. ELEMENTOS DE CONTROL

5.1. Compuertas de guarda

En la mayoría de los casos se podrán instalar compuertas del tipo BUREAU. Solamente en aquellos casos, en que por la excesiva magnitud del vano a cerrar, no sea posible, se optará por las compuertas del tipo WAGON sobre ruedas u orugas.

Las compuertas de guarda, en cualquier caso, deberán ir provistas de sistema de BY-PASS, para el llenado del tramo de conducto entre la compuerta de guarda y la de control.

También deberán ir equipadas con el correspondiente sistema de aducción y purga de aire. En el caso de tratarse de compuertas WAGON, será necesario

establecer los conductos de purga de aire para facilitar la operación de llenado del espacio entre ellas y las de control de aguas abajo.

Las compuertas BUREAU deberán someterse a las correspondientes pruebas, —de estanqueidad y tensodeformacionales—, en taller y en obra.

5.2. Compuertas de regulación o control

Las compuertas de control del desagüe profundo constituyen su elemento más importante, ya que a ellas se confía la estanqueidad del sistema y el control de los caudales a regular o desaguar.

En el tipo de desagüe profundo que es objeto de este trabajo, se deben instalar siempre compuertas del tipo TAINTOR, debido a las siguientes razones:

- La compuerta del tipo BUREAU, de tablero plano, no es aconsejable trabajando como compuerta reguladora, sobre todo en grandes dimensiones. Las vibraciones transmitidas por el agua sobre el apoyo continuo y plano de su tablero acaban dañándolo generalmente.
- La válvula reguladora de chorro hueco HOWELL-BUNGER, podría ser la alternativa a la compuerta TAINTOR, en desagües de dimensiones limitadas, y donde no sean de temer aportaciones sólidas de importancia que puedan poner en peligro la integridad de su obturador.
- La compuerta TAINTOR ejerce, por su morfología, mejor que ninguna otra las funciones de regulación o suministro de caudales bajo aperturas parciales, y si se equipa, como a continuación se expone, de los elementos de estanqueidad idóneos y de los elementos de aireación apropiados, constituye el tipo de mecanismo hidráulico más apropiado para realizar esta función.

Aducción de aire

La aducción de aire justamente aguas abajo de la sección de cierre de la compuerta se puede garantizar sin más que disponer dicha sección de cierre de manera frontal. Ello supone el establecimiento de un brusco sobreebanco en el conducto que cierra la compuerta; el agua, saliendo a gran velocidad bajo el tablero de la compuerta arrastrará gran cantidad de aire procedente de la cámara de válvulas directamente.

Normalmente suele ser suficiente este tipo de aducción lateral de aire. Sin embargo, en algunos casos puede resultar recomendable forzar aún más la aireación del chorro, provocando la separación del mismo de la solera del conducto de descarga, de manera que entonces la aireación es completa, interesando a

sus cuatro superficies, —dos laterales, superior e inferior—, y consiguiéndose así un alto grado de emulsión del aire con el agua.

La separación del chorro de la solera del conducto de descarga, se puede lograr disponiendo un escalón cuya cara frontal es la que alimenta de aire al sistema, complementado, incluso, con un trampolín creado mediante el establecimiento de un pequeño tramo en contrapendiente en la solera. El escalón se conecta a través de conductos o galerías a la atmósfera exterior.

Estanqueidad

La morfología de los elementos de estanqueidad de este tipo de compuertas debe ser diferente de la frecuentemente utilizada en las compuertas TAIN-TOR para aliviaderos de superficie. Normalmente, en estos últimos, los sellos o cierres hidráulicos consisten en unos elementos de material elastomérico con forma de “nota musical” que, unidos al tablero de la compuerta, cierran rozando lateralmente contra los correspondientes patines embutidos en las pilas o cajeros que delimitan el vano. El cierre se completa en la sección de apoyo inferior de la compuerta, mediante un apoyo elástico o bien metal contra metal. En cualquier caso, la carga hidráulica que soportan estas compuertas de aliviaderos de superficie es muy limitada.

Sin embargo en el caso de una compuerta TAIN-TOR en carga, como es el caso de un desagüe profundo, la carga a soportar es o puede ser bastante elevada. Se da la circunstancia complementaria de que el cierre, en este caso, se debe extender también al dintel superior de la sección de cierre, con lo que el sistema se complica con relación al de los aliviaderos de superficie.

Para resolver esta problemática, se han venido empleando con éxito en las últimas realizaciones de este tipo, —ESCALONA, CONTRERAS, PUENTES—, un tipo de sello continuo y frontal, que además se adapta a la geometría impuesta por los sobreanchos necesarios para aducción lateral de aire.

El sello, con forma de marco rectangular continuo, consta de un dintel, dos hastiales y un zócalo y se implanta unido a la parte fija del blindaje, aguas arriba de la sección de cierre del conducto, de manera que la compuerta se mueve con su tablero rozando permanentemente contra los laterales y el dintel del sello. Los hastiales del sello se unen al blindaje aprovechando los sobreanchos de la sección de cierre y su zócalo se sitúa sobre el escalón de aireación inferior o bien sobre el resalte que genera el trampolín de la solera.

El sistema requiere, sin embargo, el mecanizado completo de todo el tablero de la compuerta, ya que la estanqueidad se mantiene a todo lo largo del movimiento de la compuerta. Por otra parte, el constante rozamiento del sello contra el tablero, evita la caída incontrolada de la compuerta en caso de fallo energético, si bien ello exige que sea necesario empujar para llevar a cabo la operación de cierre.

6. EL DESAGÜE DE MEDIO FONDO DE LA PRESA DE CONTRERAS

6.1. 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 Cofrentes. 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 poseía además un segundo aliviadero en pozo, situado en la ladera derecha.

El aliviadero en pozo del embalse de Contreras, tenía 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 complementaba 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”, constaba 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 constituía 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., conectaba con el túnel mediante un codo - transición con aireación aguas abajo. Esta se posibilitaba mediante un segundo pozo de aireación paralelo al anterior, de 2,00 m. de diámetro.

El túnel de descarga, posterior al codo, poseía 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 extre-

mada sequía que viene padeciendo la Cuenca del Júcar, que obliga a la optimización de las infraestructuras de regulación existentes, demandaron 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 presentaron las siguientes conclusiones:

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) El estudio de la laminación de las avenidas determinadas, indicó que si se equipase la presa con un nuevo órgano de desagüe que teniendo su embocadura a la cota 630,00 m., poseyera un coeficiente de descarga neto de 20 m^{5/2}/seg, se podrían conseguir los siguientes objetivos:
- 5) Partiendo del embalse lleno (669,00 m.), se laminarían 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.
- 6) Partiendo del embalse a su nivel máximo recomendado en las condiciones actuales de seguridad (651,00 m. y volumen embalsado de 463 Hm³), se laminaría 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.
- 7) Se podría 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 ($13 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

- 8) La capacidad máxima de este nuevo órgano de desagüe debe ser de unos $400 \text{ m}^3/\text{seg.}$, 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.

6.2. El proyecto

De acuerdo con estas conclusiones, las obras proyectadas han consistido en un desagüe de medio fondo con una capacidad de $400 \text{ m}^3/\text{seg.}$, 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 inferior, demolición y revestimiento de la zona entre el codo inferior y la cámara de compuertas, cámara de compuertas a excavar 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.

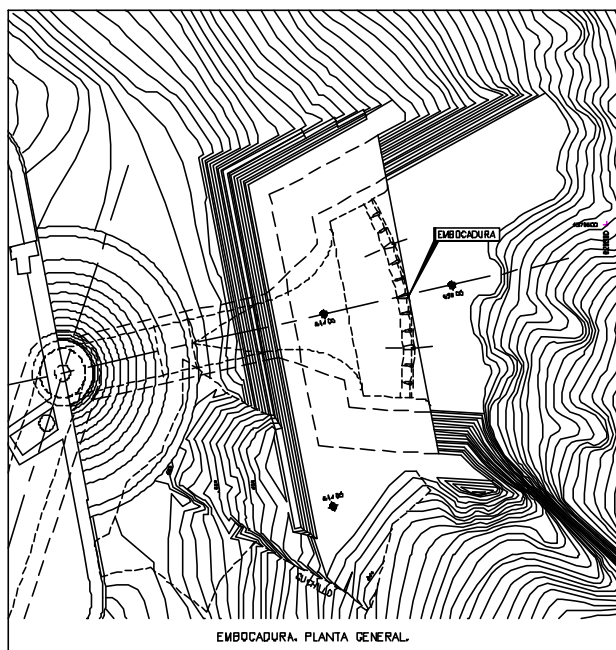


Figura 1: Embocadura – Planta general

La estructura de hormigón de la embocadura se inicia en una reja de hormigón formada por elementos verticales y horizontales, de manera que se logra una estructura suficientemente ce-

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. de espesor mínimo que alojan las cabezas de los anclajes activos previstos para estabilizar esta parte de las excavaciones.

La estructura de hormigón

rada para evitar el paso de objetos grandes que puedan obturar los conductos de las compuertas.

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

Su sección es un marco de 6,00 x 6,00 m. y de un metro de espesor de hormigón armado, que se transforma posteriormente 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°.

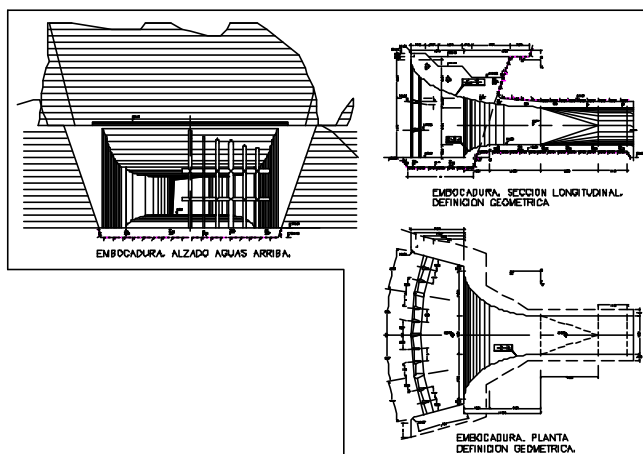


Figura 2: Embocadura – Alzado y secciones

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 la 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 rectangular 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 solera 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 TAIN-TOR 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 aliviadero en pozo.

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.

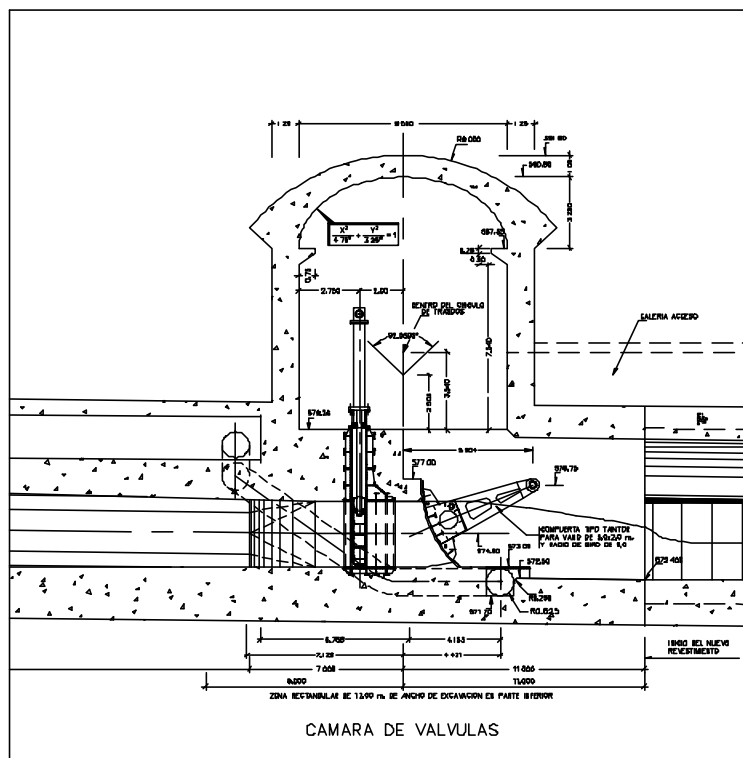


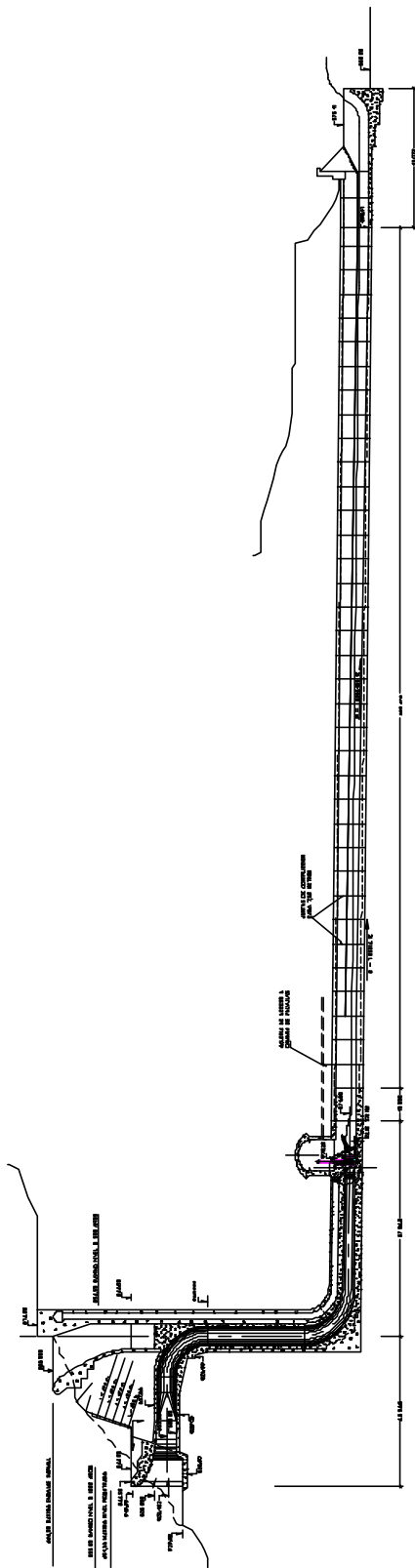
Figura 3: Cámara de compuertas – Sección longitudinal

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.

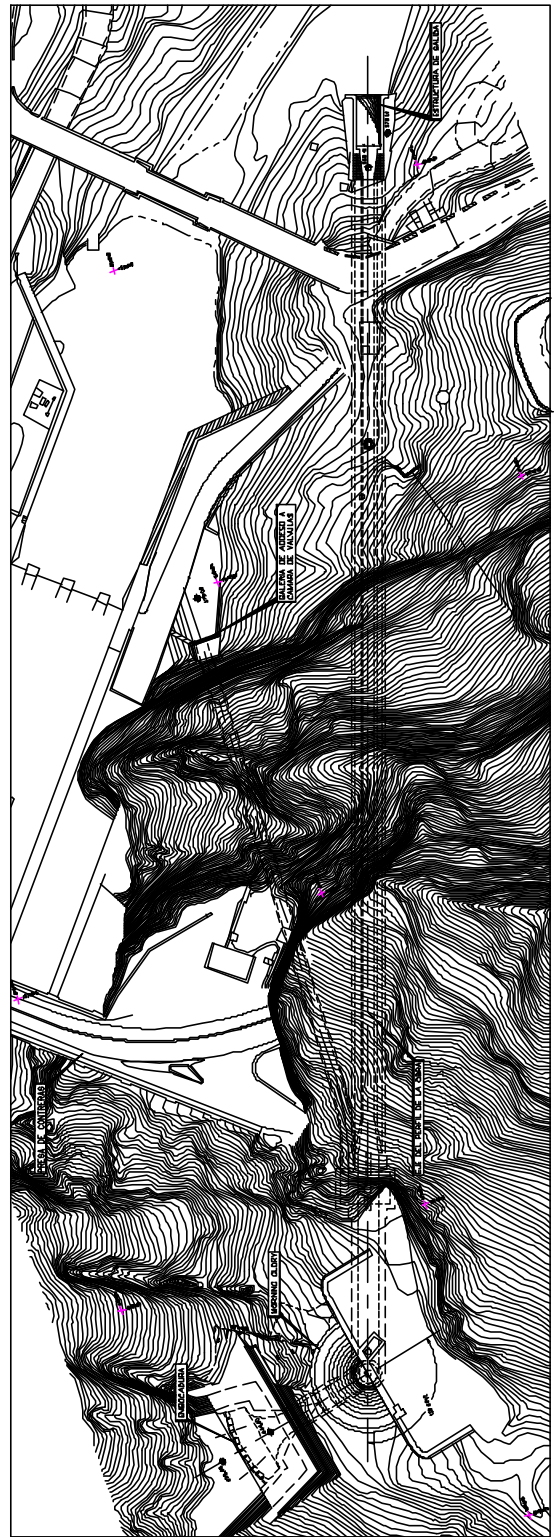
Revestimiento del túnel actual de descarga y estructura de lanzamiento

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 hormigón armado, en toda su longitud, con sección rectangular de 5,00 m. de anchura por 4,00 m. de altura.

La estructura de lanzamiento es un deflector peraltado, situado al final del nuevo revestimiento, que cumple la función de voltear y airear la lámina de agua, previamente a la restitución de los caudales evacuados por el desagüe al cauce.



DESAGÜE DE MEDIO FONDO, SECCION LONGITUDINAL POR EL E.E.J.



DESAGÜE DE MEDIO FONDO PLANTA

Figura 4: Desagüe de medio fondo – Perfil longitudinal y Planta General

6.3. La construcción

La construcción de las obras del nuevo desagüe de medio fondo de la Presa de Contreras dio comienzo en Junio del año 1996 finalizando completamente en Junio de 1998.

La ejecución de las obras se organizó en cinco grandes capítulos:

- Demoliciones y excavaciones subterráneas
- Excavaciones a cielo abierto
- Fabricación y montaje de blindajes
- Fabricación y montaje de compuertas
- Hormigones

Los aspectos constructivos más significativos de las diferentes partes de las obras se describen en los párrafos siguientes.

Embocadura

Los elementos más importantes de esta parte de la obra los constituyen la reja y la bóveda de cierre.



La reja fue construida en hormigón armado y esta compuesta por 9 pilas de 14 metros de altura y 2 vigas transversales horizontales con perfiles en “ala de avión”, constituyendo un enrejado de 2 x 4 m. de dimensiones de cuadrícula.

Para la construcción se utilizó un encofrado metálico formado por 25 piezas especiales para resolver la construcción de los nudos.

Para la construcción de la bóveda se montó una cimbra metálica de 30.000 Kg de peso, compuesta por una estructura de 21 x 6 m. en planta y una altura de 14 m. El volumen de hormigón empleado fue de 400 m³.



La duración de esta actividad fue de 5 semanas.

Blindajes

El blindaje del conducto esta constituido por virolas de 6 m. de diámetro con longitudes variables de 0.6 a 2 m. con un espesor de 30 mm.

Para la construcción se procedió, en primer lugar, a la definición geométrica detallada de cada una de las virolas aplicando tecnologías de diseño gráfico, con el fin de fijar las dimensiones, de fijar las espesores de cada una de las piezas de

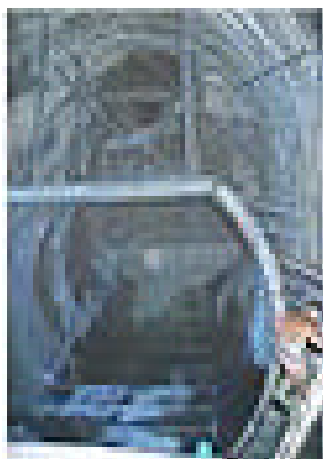


cada una de ellas en las dos zonas de transición: la correspondiente al codo superior desde sección rectangular a circular, y la correspondiente al codo inferior, desde sección circular en el pozo a la sección rectangular a la entrada de las compuertas.

Para su montaje se instaló un taller en obra al que llegaban las virolas en cuatro piezas previamente conformadas con sus radios de curvatura precisos.



En este taller de obra se montaban las virolas soldando las cuatro partes que las constituían y montando después cada una de ellas sobre su adyacente. Con ello se garantizaba un acoplamiento perfecto durante su colocación definitiva de obra.



Debido al gran espesor de la chapa y la preparación de bordes, se tenían gargantas de soldadura importantes que demandaban gran cantidad de material de aportación, con el consiguiente aumento de temperatura que podía producir tensiones de deformación en la chapa.

Para garantizar la perfecta ejecución de las soldaduras se establecieron procedimientos especiales para la realización y control de las soldaduras que se comprobaron mediante el empleo de las técnicas de los líquidos penetrantes, radiografías y ultrasonidos.

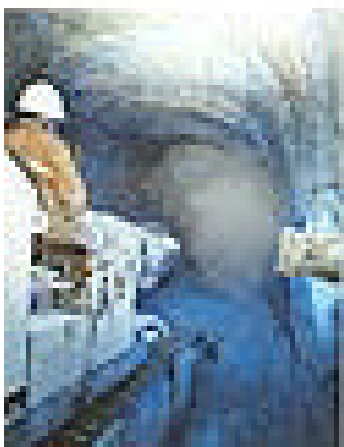


Excavaciones subterráneas

Las excavaciones subterráneas se desarrollaron en:

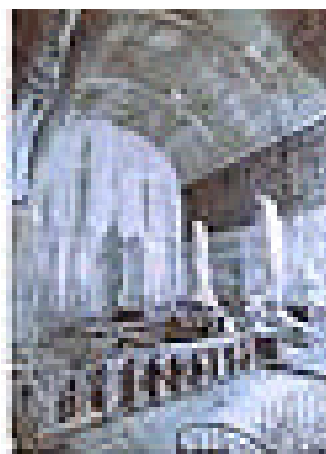
- El túnel de acceso a la cámara de válvulas.
- La cámara de válvulas
- Demoliciones
- La embocadura

Debido a la proximidad de estas excavaciones con relación a la presa, no se han utilizado explosivos para su ejecución, llevándose a cabo mediante una rozadora mecánica capaz de arrancar una roca de 500 kg/cm² de resistencia.



Se procedió en primer lugar a la excavación del nuevo túnel de acceso. Al llegar a las inmediaciones de la situación de la cámara de válvulas, se excavó una rampa complementaria para llegar a la clave de la nueva cámara y para proceder a la excavación de la misma por rebanadas descendentes hasta llegar a la bóveda del túnel existente.

Posteriormente se procedió a la demolición del codo inferior existente y a la apertura de la embocadura, dejando para el final el calado de la pared del pozo existente, por razones de seguridad frente a una eventual crecida que provocase la elevación de la lámina de agua por encima del umbral de la embocadura.



Conducción de descarga y trampolín

La conducción de descarga se construyó utilizando un carro de encofrado con forro de material metálico para garantizar el acabado de las superficies.

Las formas del trampolín de descarga obligaron a la colocación de pernos de anclaje sobre los que apoyar una estructura metálica que soportaba el encofrado de tablero fenólico.

6.4. Funcionalidad

6.4.1. Control del embalse durante la puesta en carga

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, en las dos 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 cada caso, operando sus elementos de control desde el primer momento.

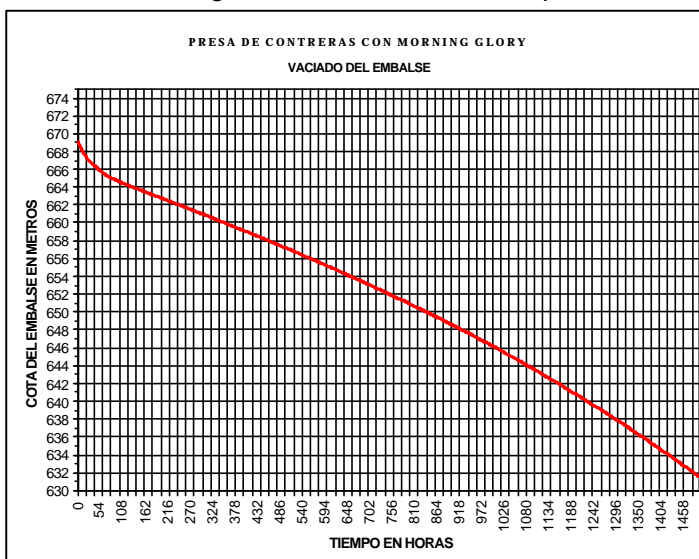


Gráfico 5
Contreras – Vaciado del embalse – Morning Glory

Así, se puede ver que mientras en el gráfico N° 5 (“morning glory”) el tiempo de vaciado del embalse desde su M.E.N. (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 cual se tiene que acometer en el futuro el definitivo proceso de puesta en carga, durante el cual, por razones de seguridad,

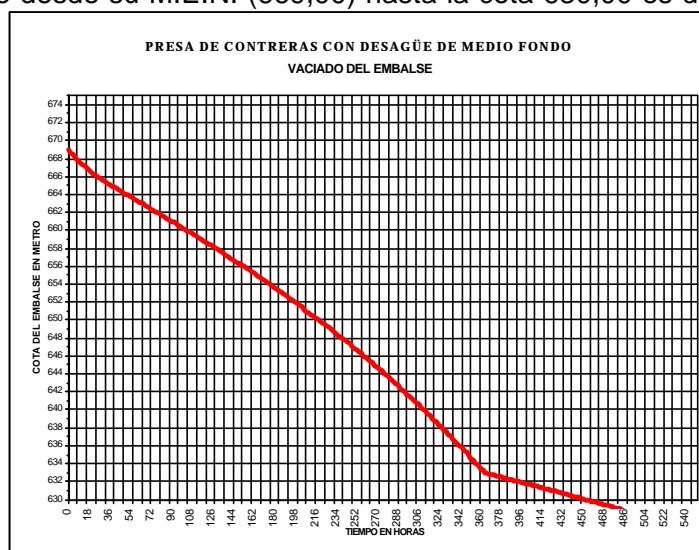


Gráfico 6
Contreras – Vaciado del embalse – Desagüe de medio fondo

será de todo punto necesario contar con un control de carga 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 desagüe de medio fondo, el cual permitirá afrontar la futura puesta en carga y explotación definitiva del embalse en las adecuadas condiciones de seguridad.

6.4.2. Control del embalse en avenidas

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.

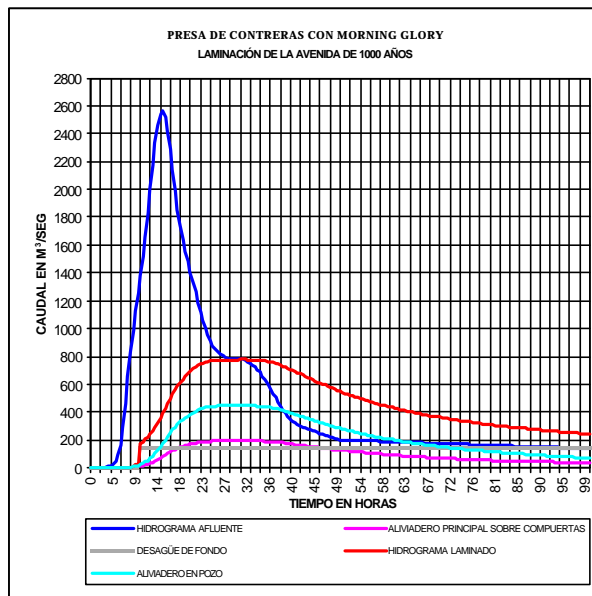


Gráfico 1
Contreras – Avenida de 1.000 años - Morning Glory

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

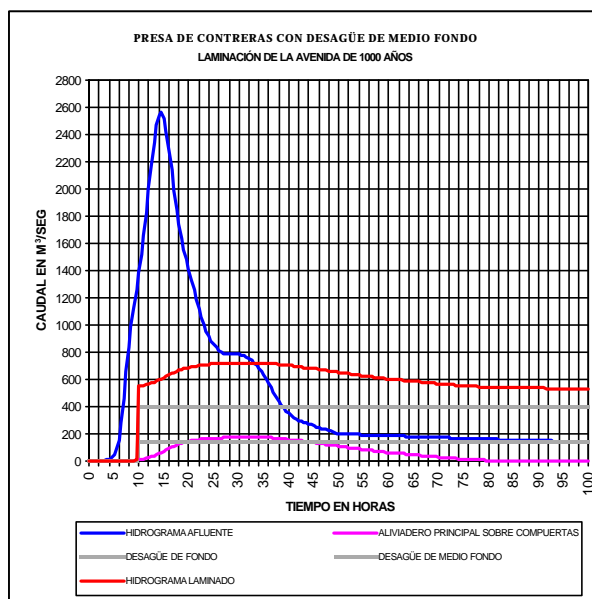


Gráfico 2
Contreras – Avenida 1.000 años - Desagüe medio fondo

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.

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.

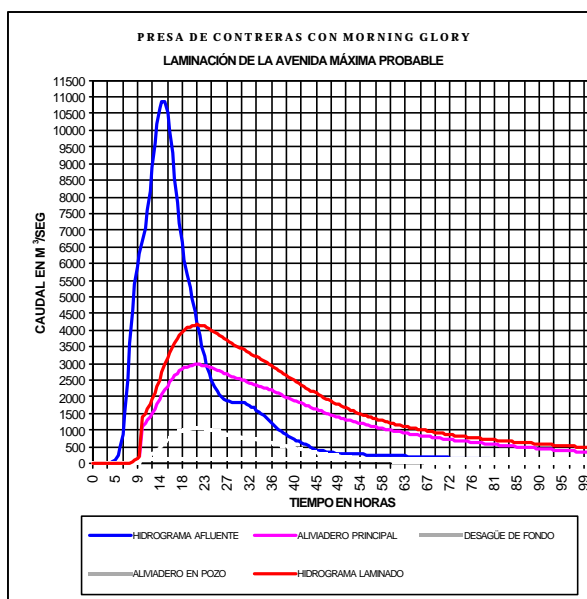


Gráfico 3
Contreras – Avenida P.M.F. – Morning Glory

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).

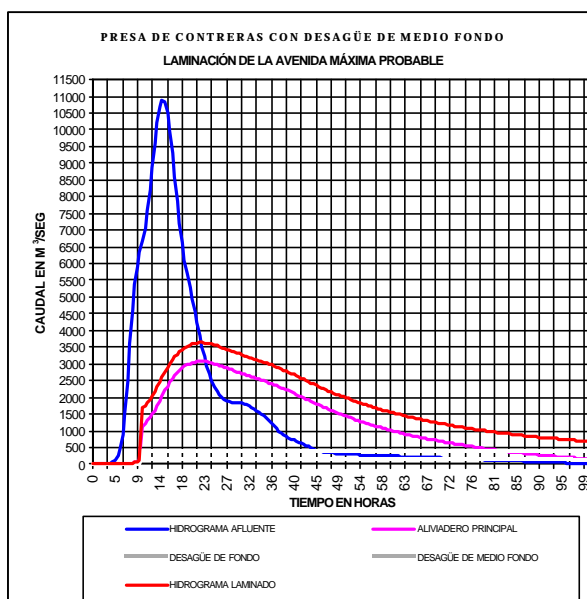


Gráfico 4
Contreras – Avenida P.M.F. – Desagüe de medio fondo

7. CONCLUSIÓN

A lo largo del presente trabajo se han expuesto las características y ventajas que presentan los desagües profundos de gran capacidad en las presas de embalse.

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.

Evidentemente, tales órganos de desagüe imponen ciertas singularidades y dificultades en determinadas partes de las mismas. La enumeración, análisis y descripción de estas peculiaridades han sido el objetivo del presente trabajo, basado en la experiencia ganada a través del diseño y la construcción del nuevo desagüe de medio fondo de la Presa de Contreras.

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 TAIN-TOR.

En cualquier caso y dentro de los límites marcados para el presente documento, se puede concluir que este tipo de estructuras hidráulicas, ofrece indudables ventajas desde el punto de vista funcional, y pueden contribuir a mejorar notablemente la explotación de embalses.

8. REFERENCIAS

- MODELO DE GESTIÓN CONJUNTA DE LOS EMBALSE DE TOUS, ALARCÓN Y CONTRERAS. Luis López García, 1996.
- ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN EL EMBALSE DE CONTRERAS. Jesús López García, 1996.
- ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL PROYECTO DEL NUEVO DESAGÜE DE MEDIO FONDO DE LA PRESA DE CONTRERAS. Antonio Soriano Peña. 1996
- ESTUDIO Y REDACCIÓN DEL PROYECTO DE LAS OBRAS QUE SE PRECISEN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE LA PRESA DE CONTRERAS. Jesús Granell Vicent. 1996.
- ENSAYOS EN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO DEL DESAGÜE INTERMEDIO DE LA PRESA DE CONTRERAS. Laboratorio de Hidráulica del Cedex. 1997.

RESUMEN

El presente artículo trata de mostrar, de manera sintetizada, las ventajas que ofrecen los desagües de fondo y de medio fondo de gran capacidad, para el control de embalses.

Tras una exposición de los principios hidráulicos que gobiernan su funcionamiento, se describen las características morfológicas que este tipo de órganos de desagüe deben poseer y se ofrecen una serie de recomendaciones con vistas al diseño hidráulico y estructural de sus diferentes elementos..

A continuación, se narra la experiencia adquirida en el diseño y construcción del nuevo desagüe de medio fondo de la Presa de Contreras, como un claro ejemplo de cómo este tipo de órganos de desagüe pueden facilitar las operaciones de control de un embalse, con vistas a su llenado progresivo y controlado.

Finalmente, se presentan, gráficamente, los cálculos de laminación de las avenidas de proyecto y extrema, en las dos situaciones: sin el nuevo desagüe de medio fondo, y con él. En ellos se aprecia el gran beneficio que esta estructura reporta al conjunto de instalaciones de la Presa de Contreras.