

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

MEJORA DE LA CAPACIDAD DE DESAGÜE DE PRESAS EXISTENTES MEDIANTE ALIVIADEROS EN LABERINTO

M^a Dolores Cordero Page ¹, Carlos Granell Ninot ²

RESUMEN: El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses establece que el Titular del embalse debe proceder a una revisión de las condiciones generales de seguridad. Éstas se realizan bajo criterios hidráulicos más restrictivos que antaño puesto que el contexto técnico ha dado lugar a que los periodos de retorno de las avenidas de cálculo se hayan incrementado, además los nuevos estudios hidrológicos están aumentando los valores de los hidrogramas de cálculo. Así, será necesario acometer obras de adecuación en muchas de las presas existentes en España, en particular en lo relativo a sus órganos de desagüe.

En este contexto los aliviaderos no convencionales, tales como sifones y laberintos, ofrecen una solución constructiva adecuada en términos económicos y funcionales. La particularidad de los laberintos reside en la forma del vertedero, que es asimilable a un “zig - zag”. Esta especial morfología incrementa la longitud de vertedero “a encajar” en un determinado “espacio disponible” con el fin de aumentar la capacidad de evacuación. Esta ventaja resulta incierta cuando el espesor de lámina crece por encima de determinados valores puesto que se reduce apreciablemente su capacidad hidráulica. El estudio de estas estructuras exige la realización de un modelo físico a escala reducida. Dos ejemplos son el Proyecto del nuevo aliviadero del embalse de María Cristina, en Castellón, y el del embalse de Camarillas, en Albacete.

¹ Ing. de Caminos. Directora Programa. Laboratorio de Hidráulica. Centro Estudios Hidrográficos. CEDEX. Profesora Asociada E.U.I.T. de Obras Públicas, Universidad Politécnica de Madrid.

² Ingeniero de Caminos. JESÚS GRANELL, Ingeniero Consultor, S.A.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las presas de titularidad estatal se encuentran, a tenor de lo dispuesto por el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, sujetas a la realización de revisiones de seguridad periódicas bajo criterios más exigentes que antaño. Como resultado de estas revisiones frecuentemente es necesaria la adecuación de los embalses existentes. Esta situación exige la adopción de soluciones ingenieriles, imaginativas y ambiciosas y cuyo funcionamiento es necesario testar antes de proceder al comienzo de las obras. Tal es el caso de los proyectos que son objeto de la presente ponencia: Adecuación del aliviadero de superficie de la presa de María Cristina (Alcora, Castellón) y Adecuación de los aliviaderos, desagües de fondo y tomas de la presa de Camarillas (Hellín, Albacete).

Ambos proyectos han sido desarrollados por JESÚS GRANELL Ingeniero Consultor, S.A. y contemplan una serie de estructuras hidráulicas singulares que están siendo ensayadas por el Centro de Estudios Hidrográficos. Dentro de estas estructuras hidráulicas, ambos proyectos incluyen la construcción de un aliviadero en laberinto.

2. APUNTES SOBRE LOS ALIVIADEROS EN LABERINTO

Los aliviaderos en laberinto son una tipología no convencional de los aliviaderos de superficie. Su particularidad reside en su especial morfología en zig-zag, lo que les otorga una elevada longitud de vertido y, por tanto, una importante capacidad hidráulica.

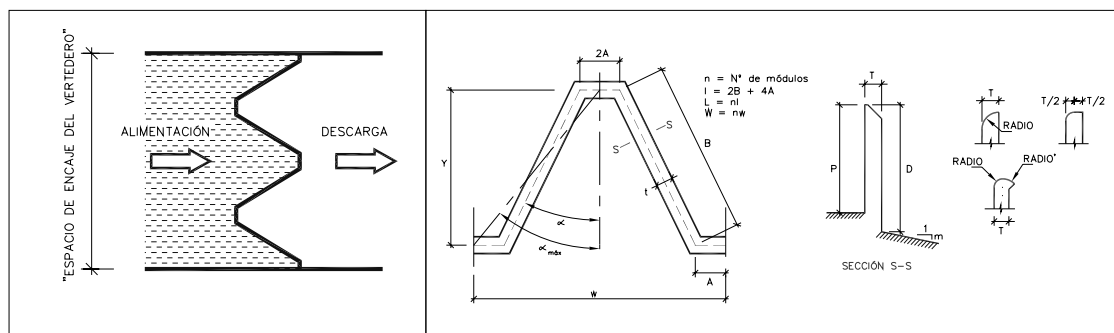


Fig.:1 Esquema de un aliviadero en laberinto

Esta supuesta elevada capacidad hidráulica es indudable para sobre-elevaciones reducidas del nivel de agua por encima del labio del vertedero, pero se hace incierta cuando estas crecen por encima de determinados valores. Con ello, es posible caracterizar de manera genérica estas particulares estructuras hidráulicas:

- Presentan un funcionamiento hidráulico algo complejo. La optimización de sus formas, en cada caso, exige la realización de ensayos hidráulicos sobre modelos físicos a escala reducida. Su supuesta eficacia como estructura de elevada capacidad hidráulica debe ser estudiada cuidadosamente para los distintos rangos de funcionamiento.

Teniendo estos aspectos en cuenta es posible encuadrar a los aliviaderos en laberinto dentro de la ingeniería de presas de embalse:

- Dentro del amplio concepto seguridad hidráulica – hidrológica de un embalse, los aliviaderos en laberinto son adecuados cuando el objetivo de preservar la seguridad de la presa prima sobre el de laminar las avenidas entrantes. Como corolario de esto, en presas existentes puede ser adecuada su construcción cuando siendo necesario mantener los niveles máximos de explotación ordinaria, se pretenden reducir los máximos niveles de embalse extraordinarios durante el paso de las avenidas de cálculo. Tal es el caso de la presa de María Cristina y de la presa de Camarillas.

- En presas de nueva construcción su disposición puede ser acertada cuando debido a condiciones económicas, topográficas, ambientales o incluso geológicas no es posible o recomendable contar con un aliviadero convencional de suficiente longitud de vertido.

3. LA ADECUACIÓN DEL ALIVIADERO DE LA PRESA DE MARÍA CRISTINA

3.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES

La Presa de María Cristina, se encuentra en la Provincia de Castellón, sobre la Rambla de La Viuda y fue construida durante las primeras décadas del siglo XX. La presa responde a la tipología de ARCO-GRAVEDAD, si bien fue dimensionada y concebida como presa de GRAVEDAD, con perfil LEVY. Ambos paramentos son escalonados. La altura de la presa es de 56,50 m sobre cimientos, la cota de coronación es la 138,00 m.s.n.m., su longitud en coronación es de 322 m y su embalse es capaz de almacenar un volumen de 19,59 Hm³ con el nivel del agua a la cota de máximo embalse normal (N.M.N.).

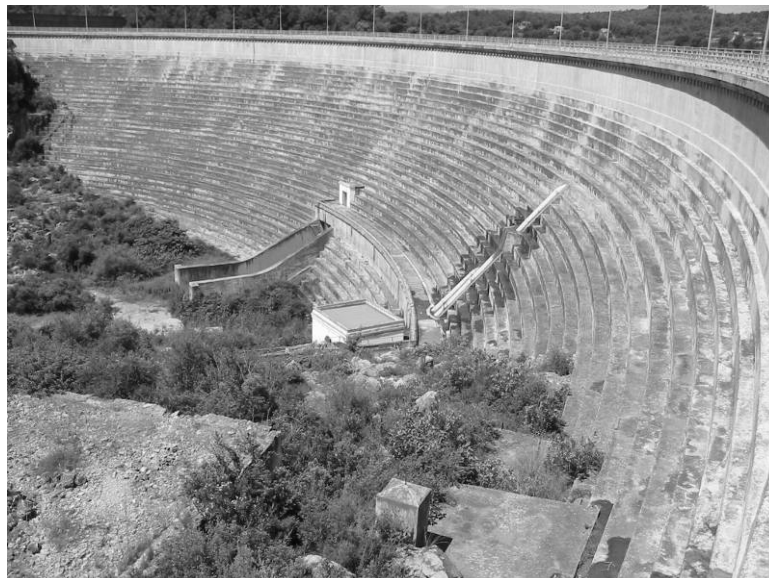


Fig N° 1: Presa de María Cristina

La capacidad del aliviadero, que se ubica en la margen derecha de la cerrada, apurando el resguardo es de $597 \text{ m}^3/\text{s}$. La embocadura es de labio fijo y el umbral se sitúa a la cota 133,85 m. El canal de descarga, discurre por la ladera derecha, tiene 29,00 m de anchura y una longitud cercana a los 130,00 m en planta. La presa se ha visto desbordada en diversas ocasiones a lo largo de la vida útil. La última en octubre del año 2000. En tal fecha afluyó al embalse una avenida de 78 Hm^3 y un caudal punta de $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ que dio lugar a un overtopping de 52 cm.

3.2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Resulta necesario el proyecto de un nuevo elemento hidráulico que eleve la capacidad de desagüe apreciablemente. El embalse carece de capacidad laminadora, habida cuenta de que el volumen es pequeño en comparación con el de las avenidas de cálculo. En efecto, una vez caracterizado el régimen de avenidas, los valores de proyecto empleados fueron de $3.154 \text{ m}^3/\text{s}$ y 116 Hm^3 correspondientes, respectivamente al volumen y al caudal punta de la avenida de 1.000 años de periodo de retorno y $5.620 \text{ m}^3/\text{s}$ y 207 Hm^3 , relativos, a su vez, a la avenida de 10.000 años. La capacidad del embalse es de 19 Hm^3 .

Por otra parte el elevado valor histórico de la presa desaconseja la conversión de la misma en una presa vertedero o una solución de recrecimiento empleando la fábrica existente. Además las condiciones geomorfológicas del emplazamiento impiden la actuación en cualquier punto que no sea el aliviadero de superficie existente y ubicado en la margen derecha.

3.3. SOLUCIÓN DE PROYECTO

La solución de proyecto ha consistido, por tanto, en la implantación de un vertedero en laberinto sobre la playa de alimentación del existente, previa demolición del mismo, y que evacue los caudales al canal de descarga actual.

Las condiciones topográficas del emplazamiento del aliviadero condicionaron el diseño. En efecto, dado que el elemento hidráulico se ubica lateralmente a la presa, en principio un aliviadero de alimentación lateral a la descarga hubiera facilitado una mayor longitud de vertido y unas mejores condiciones de alimentación, sin embargo, en la parte de aguas arriba no era posible cimentar el vertedero, por lo que hubo que adoptar un aliviadero de alimentación frontal y con el vertedero dispuesto sobre una directriz curva.

Esta solución maximiza la longitud de vertido del laberinto, alcanzándose los límites de una cimentación adecuada de la losa de apoyo y solventa, en la medida de lo posible, los problemas derivados de la inapropiada alimentación, dado que acerca el vertedero al embalse. El análisis hidráulico se ha realizado según diversas metodologías si bien ha sido preciso acudir al ensayo hidráulico sobre un modelo físico para terminar de ajustar las formas del vertedero.

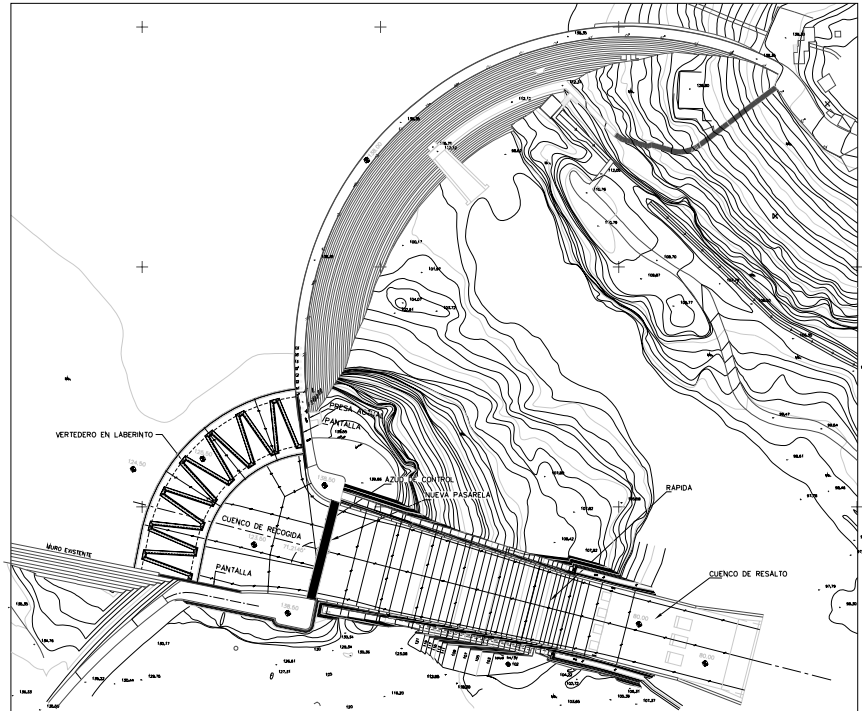


Fig. N° 2: Presa de María Cristina con el nuevo aliviadero

3.4. ENSAYO HIDRÁULICO SOBRE MODELO FÍSICO REDUCIDO

El objeto de la realización de un modelo físico reducido fue analizar el comportamiento del nuevo aliviadero tipo laberinto, para ello se proyectó un modelo reducido a escala geométrica 1/50 que fue construido en el C.E.H. En el modelo se reprodujo el aliviadero y la totalidad de la presa.



Fig N° 3: Modelo físico reducido del aliviadero de la presa de M^a Cristina

El aliviadero proyectado cuenta con los siguientes elementos: vertedero tipo laberinto, cuenco de recogida, azud de control, rápida, y estructura de restitución al cauce. El vertedero en laberinto, con una longitud desarrollada de 301,30 m constaba, en la Solución Proyecto, de 9 módulos formados por dos

muros diagonales de 14,10 m de longitud y dos muros longitudinales de 2,50 m. La longitud media proyectada de los módulos (w) era de 8,30 m, y el umbral se situaba a la cota 133,65, con una altura el vertedero (p) de 7,15 m. Los ensayos tenían como principal objetivo la obtención de la curva de capacidad en el modelo a la vez que analizar el funcionamiento de cada parte de la obra.



Fig. N° 4.- Aliviadero en laberinto de 9 módulos $Q = 3.073 \text{ m}^3/\text{s}$

En las curvas experimentalmente obtenidas se aprecian inflexiones que se relacionan con los cambios de funcionamiento del aliviadero. Para caudales pequeños, con la altura de lámina de agua $h < 0,7 \text{ m}$ el coeficiente de desagüe del laberinto aumenta hasta alcanzar su valor máximo $\mu_w = 1,53$. Según se va incrementando el caudal, el coeficiente de desagüe μ_w disminuye debido a la interferencia entre las láminas vertidas por los muros diagonales y transversales. En un valor próximo a los $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo $h = 2,6 \text{ m}$, se advierte un cambio de curvatura, aumentando la pendiente de la curva de capacidad. A partir de $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$, $h = 4,85 \text{ m}$, se produce el vertido por coronación (incluido pretil de $0,50 \text{ m}$) dando lugar a un nuevo punto de inflexión. Al aumentar la longitud de vertido la pendiente de la curva de capacidad disminuye.



Fig N° 5. Aliviadero en laberinto de 7 módulos $Q = 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$

La Avenida de Proyecto del aliviadero es la relativa a un periodo de retorno de 1.000 años con un caudal punta de salida de $3.073 \text{ m}^3/\text{s}$, y a la Avenida Extrema, con un periodo de retorno 10.000 años, le corresponde un caudal punta de salida de $5.515 \text{ m}^3/\text{s}$. De los ensayos realizados en el modelo se desprendía que el aliviadero en laberinto tenía una capacidad de desagüe menor que la teóricamente prevista, alcanzándose en el embalse la cota 139,05 para la Avenida de Proyecto, lo que suponía una lámina por el aliviadero de 5,40 m y produciéndose un vertido sobre el pretil de coronación de 0,55 m.

A la vista de los resultados en el modelo físico se proyectó un segundo aliviadero que se situó en el mismo emplazamiento que el aliviadero de la Solución Proyecto. El nuevo vertedero en laberinto constaba de 7 módulos formados por dos muros diagonales de 20,85 m de longitud y dos muros longitudinales de 3,00 y 2,00 m. En planta, 6 de estos módulos se encontraban sobre un arco de circunferencia y el séptimo situado sobre una recta.

La longitud de vertido desarrollada del laberinto era de 328,89 m, la longitud media proyectada de los módulos (w) 11,12 m, y la longitud de cada módulo 46,71 m. La sección transversal se mantenía igual a la Solución Proyecto, pero se aumentaba en un metro la altura del vertedero ($p = 8,15 \text{ m}$) conservando el umbral a la cota 133,65. Para encajar esta nueva definición en el espacio existente entre la ladera derecha y el cuerpo de presa fue necesario retranquear la planta del aliviadero hacia el embalse. Esta disposición de los módulos y su ubicación respecto al cuerpo de presa dio como resultado una llegada del flujo más favorable.

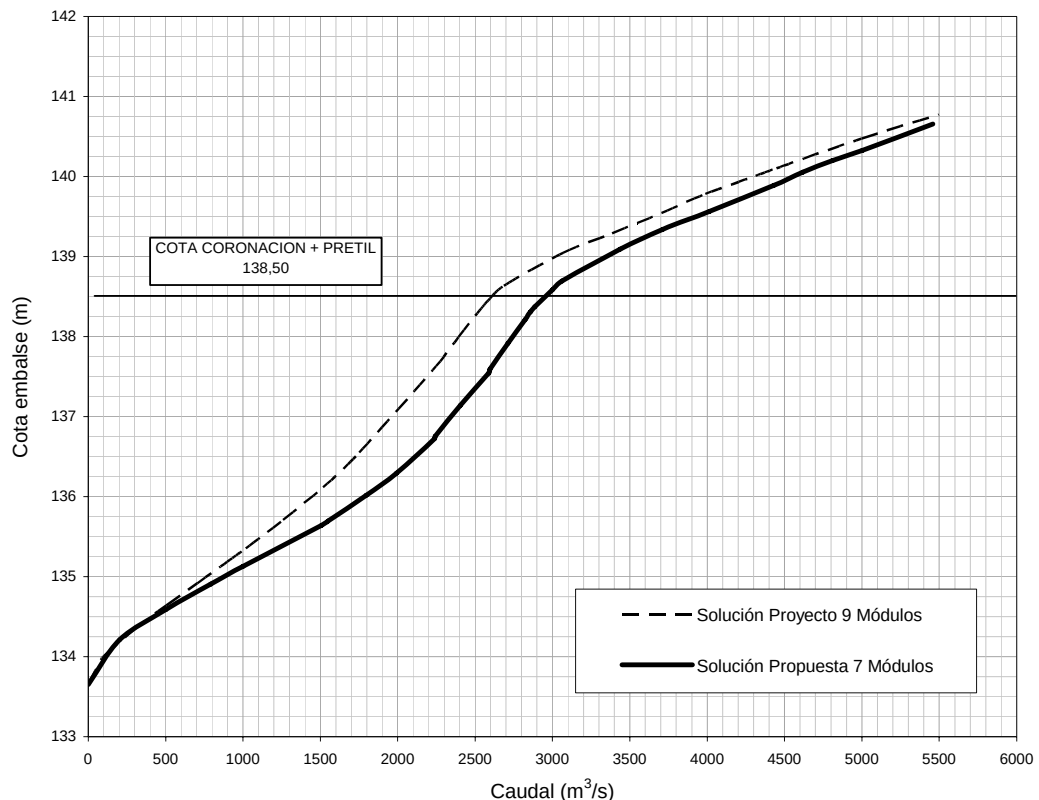


Fig. N° 6. Curvas de capacidad obtenidas experimentalmente

Según se observa en el gráfico de la curva de capacidad, el laberinto de 7 módulos mejoró respecto a la curva experimental del aliviadero de 9 módulos de la Solución Proyecto. Los niveles fueron menores para los mismos caudales. En el laberinto de 7 módulos el ángulo que forman los distintos módulos es mayor, esto facilita el desagüe al existir una menor interferencia entre las láminas vertientes por los muros diagonales y longitudinales, obteniéndose un valor máximo del coeficiente de desagüe $\mu_w = 1,59$ para altura de lámina de agua ente 1 y 2 metros.

Para el nuevo aliviadero de 7 módulos se mantiene la forma general de la curva de capacidad, alcanzándose la cota de coronación en el embalse para un caudal de $2.950 \text{ m}^3/\text{s}$, mayor que la nueva Avenida de Proyecto correspondiente a $2.855 \text{ m}^3/\text{s}$ (obtenida de la laminación del nuevo laberinto). Para éste caudal el laberinto trabajaba totalmente anegado como un vertedero en pared gruesa, la rápida y el cuenco tienen un funcionamiento correcto y la reincorporación del agua al cauce se efectúa de forma adecuada.

4. LA ADECUACIÓN DE LOS ALIVIADEROS, DESAGÜES Y TOMAS DEL EMBALSE DE CAMARILLAS

4.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES

La presa de Camarillas cierra el llamado congosto de los Almadenes, ubicado en el tramo bajo del río Mundo, que es tributario del río Segura por margen izquierda. Se comenzó a construir en el año 1932 y se finalizó en 1961. Es de tipo gravedad, de planta recta y fábrica de hormigón. Su altura es de 36,90 m sobre el cauce y de 41,50 m sobre cimientos.

Los distintos desagües y tomas exigen una profunda modernización y adecuación a los criterios hidráulicos actualmente vigentes. Con relación a los aliviaderos, la presa cuenta con dos elementos, uno ubicado en la margen derecha y otro ubicado en la izquierda. El aliviadero derecho del embalse de Camarillas consta de dos vanos regulados por compuertas de sector circular que evacuan los caudales directamente en una rápida que enlaza con la descarga, en túnel, que a su vez atraviesa la ladera hasta restituir los caudales al cauce fluvial. El umbral del labio fijo de ambos vanos se ubica a la cota 352,00 m. El aliviadero izquierdo del embalse de Camarillas está conformado por dos vanos. Uno de 5,75 m de longitud y regulado por una compuerta STONEY y otro de labio fijo con disposición circular en planta. La cota del umbral se encuentra a la 354,63 m. Los dos vanos conectan con el túnel de descarga del aliviadero de una longitud de 310 m, distribuidos en una serie de alineaciones rectas acordadas mediante arcos de círculo.

4.2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El objetivo es la adaptación de las instalaciones que permita la evacuación de las avenidas de cálculo verificando los mínimos resguardos. Para ello, una solución de recrecimiento de la presa resultaría inviable, por cuanto se verían afectados los terraplenes de la línea ferroviaria Madrid – Cartagena. A su vez lo escarpado del relieve así como la estrechez del congosto hacen desaconsejable

la construcción de nuevos elementos hidráulicos al margen de los ya existentes. Finalmente es necesario señalar que el túnel de descarga del aliviadero izquierdo, con funcionamiento en régimen rápido, con curvas y sin sección peraltada, es hidráulicamente poco adecuado.

4.3. SOLUCIÓN DE PROYECTO

La solución de proyecto ha consistido en variar ligeramente el esquema hidráulico formado por los dos aliviaderos en su estado actual. Así, se ha reconvertido el aliviadero de derecho en aliviadero principal. A su vez, el izquierdo se ha reconvertido en aliviadero de seguridad, de tal manera que sólo entre en funcionamiento cuando los niveles de embalse se encuentran cerca de agotar los resguardos. El nuevo N.M.N. del embalse queda fijado por la cota de coronación de las compuertas del aliviadero derecho a la 354,00 m.s.n.m. A su vez el umbral del aliviadero izquierdo se ubica 60 cm por encima del mencionado N.M.N.

El aumento de la capacidad del aliviadero derecho se ha realizado hasta el límite impuesto por el túnel de descarga existente (unos 518 m³/s). Éste, al contrario que el del aliviadero izquierdo, presenta una disposición hidráulicamente acertada. Las obras proyectadas han consistido en el rebaje de la cota del umbral en dos metros, además del reperfilado del conjunto de formas que componen la embocadura del elemento hidráulico. En esta situación, el aliviadero derecho desagua, en condiciones extremas, los 518 m³/s establecidos como límite de capacidad del túnel de descarga.

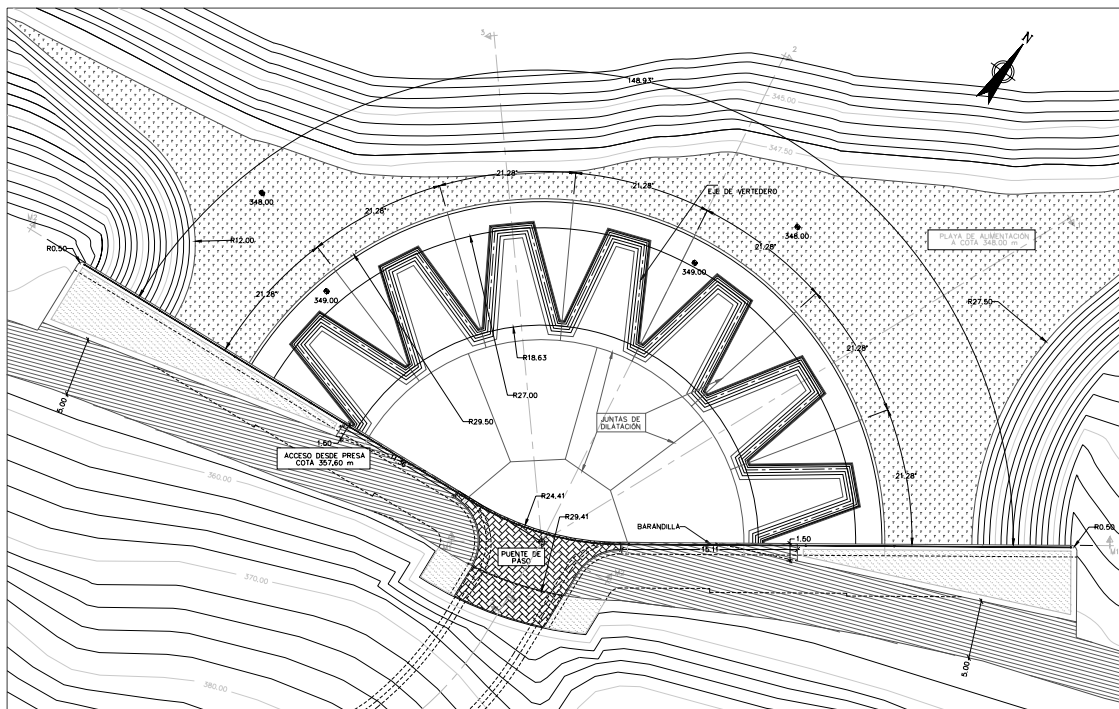


Fig. N° 7: Vertedero en laberinto en aliviadero izquierdo

Con relación al aliviadero izquierdo se ha proyectado la modernización de la embocadura. Esto es, la reforma ha consistido en proyectar un vertedero en

laberinto sobre la playa de alimentación del existente, de tal manera que el umbral del vertedero se ubique por encima del nuevo N.M.N. del embalse reconfigurándolo como un aliviadero de seguridad. Así, se reduce notablemente la frecuencia de uso del vertedero, de tal manera que éste sólo entra en funcionamiento durante el paso de las avenidas de elevado periodo de retorno (500 años y mayores), y la capacidad hidráulica del vertedero es, durante el paso de la avenida extrema, tal que no alcanza el límite de la capacidad del túnel de descarga ($240 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.4. ENSAYOS HIDRÁULICOS SOBRE MODELO FÍSICOS REDUCIDOS

En un principio se pensó la posibilidad de un ensayo conjunto en modelo reducido de los dos aliviaderos y de los dos desagües de fondo, pero esta idea se descartó debido a la diferencia de caudales circulantes que obligan a la elección de escalas. El modelo correspondiente a los dos aliviaderos se ha pensado construir a escala 1:50. En este modelo se incluirá, además de una zona del embalse que permita una correcta incorporación del agua a los aliviaderos, un tramo de río lo suficientemente largo para estudiar los niveles en la salida de los desagües de fondo. Niveles importantes de cara a los ensayos de los desagües ya que el nivel de agua en su salida puede condicionar su diseño.

Dada la imposibilidad de la construcción conjunta de un único modelo que incluyese aliviaderos y desagües de fondo se optó por construir y ensayar en primer lugar el correspondiente a los aliviaderos para poder obtener los niveles a la salida de los desagües e incorporar este dato a los ensayos del segundo modelo. En la actualidad se está realizando el proyecto de construcción e implantación en la nave de ensayos del Laboratorio de Hidráulica del primero de los modelos, así como el despiece y ejecución del aliviadero en laberinto.

REFERENCIAS

A.P. Magalhães. “Descarregadores em laberinto”, publicado en 1983 por. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (Portugal).

P.Tullis, N.Amanian, D. Waldron. “Design of labyrinth spillways”. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 121, No 3. Marzo de 1995.

Cordero, D., Elviro, V., “Nuevo aliviadero en laberinto. Presa de María Cristina (Castellón-España)”. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica (IAHR). Ciudad Guayana. Venezuela. Octubre 2006

Cordero, D., Elviro, V., Granell, C., “Aliviaderos en laberinto. Presa de María Cristina”. Revista de Ingeniería Civil nº 146/2007