

CORRECCIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS Y ATERRAMIENTO DE EMBALSES

UNA EXPERIENCIA DE CIMENTACIÓN DE UNA PEQUEÑA PRESA SOBRE LOS FANGOS DE ATERRAMIENTO DE UN EMBALSE

Antonio Maurandi Guirado

Jesús Granell Vicent

RESUMEN

En el texto se presenta la experiencia desarrollada en la construcción de una pequeña presa de regulación, cimentada sobre los fangos de aterramiento de la Presa del Estrecho de Puentes.

La denominada **Obra de Regulación Provisional** consta de dos partes:

Presa: que con una altura de 6 m. sobre el nivel de los fangos de aterramiento, y una longitud de 210 m., se ha construido con tipología de materiales sueltos, estando su sección tipo compuesta por cuatro elementos:

- **Dique o espaldón de aguas arriba**, constituido por escollera procedente de productos de la excavación del aliviadero, compactada con rodillo vibratorio liso.
- **Dique o espaldón de aguas abajo**, de análogas características al anterior.
- **Núcleo interno de material arcilloso**, constituido por arcillas procedentes de préstamo, compactadas con compactador pata de cabra vibratorio autopropulsado.
- **Láminas geotextiles**, colocadas entre los diques y el núcleo, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Aliviadero: que situado en un collado lateral, en margen derecha, consiste en una estructura de hormigón armado, con tipología de **aliviadero en laberinto**. Su planta es poligonal, constando de 9 módulos consecutivos de 10 metros de cuerda. La longitud total, en línea recta, entre los muros-cajeros laterales es de 91,50 metros, y la desarrollada, a lo largo del umbral del vertedero, de 288,00 m. Es capaz de evacuar la avenida de diseño de las obras de desvío provisional de la Nueva Presa de Puentes, equivalente a $900 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La finalidad de esta obra es el mantenimiento del suministro de agua a los regadíos de la vega de Lorca, durante la ejecución de las obras de la Nueva Presa de Puentes. La capacidad del embalse creado es de $2,5 \text{ Hm}^3$, y garantiza la regulación anual de $9,86 \text{ Hm}^3$.

La presa se ha cimentado directamente sobre los fangos del embalse, en estado fluido, para lo cual se programó su construcción de la siguiente manera:

- a) Ejecución de los dos diques o espaldones de escollera, avanzando desde la margen derecha hacia la izquierda.
- b) Excavación y preparación de la superficie de asiento del núcleo.
- c) Colocación de las dos láminas geotextiles.
- d) Extendido y compactación del núcleo, con el mismo sentido de progresión que los espaldones.

Las obras están en servicio desde el mes de Junio de 1.994, cumpliendo satisfactoriamente las funciones a ellas asignadas.

INTRODUCCIÓN

La ejecución de las obras incluídas en el "**PROYECTO DE RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE PUENTES. NUEVA PRESA**", dio comienzo en Noviembre de 1.993. Dichas obras consisten, en líneas generales, en la construcción de una nueva presa en el estrecho de Puentes, situada ligeramente aguas arriba de la existente, a una distancia de aproximadamente 60 m.

La presa, es de gravedad de fábrica de hormigón, con una altura sobre su zócalo de 62 m., y cierra el estrecho en su zona más angosta, presentando una longitud de coronación de 382 m. El aliviadero se establece en su parte central, y descarga a través de la presa antigua, en la que, a tal efecto, se ejecutan los túneles correspondientes.

La presa antigua regulaba las aguas que afluyen a la misma por los ríos Vélez y Luchena, drenando una cuenca de 1.500 Km².

El regadío de Lorca, constituido por 11.187 Has. cuenta para cubrir sus demandas con:

- Aguas de la cuenca del Segura, según R.D de 1.953
- Aguas del trasvase Tajo - Segura y de algunos pozos en el acuífero del alto Guadalentín, en la actualidad sobreexplotado.
- Aguas reguladas con el embalse de Puentes.

La cruda sequía que padece sistemáticamente esta cuenca en los últimos años, hace que no se pueda contar con las aguas del Segura en aplicación del R.D. de 1.953.

Por otro lado, la precariedad en el suministro de las aguas del trasvase Tajo-Segura asignadas a la zona, por falta de recursos trasvasables, hace que tampoco se pueda contar con ellas.

Así pues, los únicos recursos disponibles son los regulados con el embalse de Puentes, que por otra parte ha de ser vaciado para permitir la construcción de la Nueva Presa de Puentes.

Por otro lado, con cierta frecuencia, el río Vélez origina pequeñas avenidas, cuyo aprovechamiento resulta, habida cuenta del panorama hidrológico anteriormente expuesto, de vital interés para los intereses socioeconómicos de la vega lorquina.

Por estas razones, y dado que el período previsto para la realización de las obras de la Nueva Presa de Puentes, era de tres años, se hizo necesario idear un aprovechamiento provisional de los escasos recursos disponibles en el río Vélez, con el fin de paliar en lo posible la precariedad del suministro de agua durante el periodo de construcción de la Nueva Presa.

Observando el plano de conjunto del aprovechamiento del Estrecho de Puentes, se aprecia la existencia de un estrechamiento del vaso, a unos 1.000 m. aguas arriba del emplazamiento de la presa prevista, con una longitud de unos 200 m.

Si en este emplazamiento, se construyese un pequeño dique de unos 6 m. de altura sobre la cota actual de fangos, se podrían embalsar aproximadamente $2,5 \text{ Hm}^3$, aprovechando, tanto las aguas fluyentes por el río Luchena, como las procedentes del río Vélez en sus pequeñas avenidas.

Estas obras, lejos de entorpecer el desarrollo de la obra principal, lo facilitan, ya que en realidad constituyen un sistema de pre-desvío del cauce, que permite la ejecución de las obras de la ataguía y túnel de desvío en seco.

La realización de estas obras supone además una reducción considerable en los costes de las obras de acondicionamiento del Canal del Luchena - en particular se elimina la reconstrucción del sifón del Vélez -, y permite asimismo reducir los gastos de energía en el bombeo previsto, al ser fácil la conexión por gravedad entre la obra propuesta y la embocadura del túnel de desvío.

Sin embargo, esta idea implica una decisión importante, desde el punto de vista ingenieril, cual es la de afrontar la cimentación del citado dique sobre los fangos del embalse.

El emplazamiento, posee dos tramos o zonas diferenciadas:

- γ **El cierre principal**, donde se ubicará el dique, con una potencia máxima de 25 m. De fangos. De estos fangos, los 14 m. superiores están sin consolidar, por lo que se denominan Afangos o tarquines fluidos≡, y los 11 m. inferiores, están consolidados y se denominan Afangos o tarquines consolidados≡.

- γ **El collado lateral**, en la margen derecha, y conformado por molasas y calizas similares a las de la cerrada de la Presa. En él se ubica el aliviadero.

Como condición de ineludible cumplimiento, se fijó, al analizar la viabilidad de esta idea, la de **no afectar en modo alguno a la seguridad de las obras de la Nueva Presa de Puentes**, para lo cual, de un lado,

se analizó en profundidad, la estabilidad del conjunto dique-tarquines hasta las proximidades de la ataguía, y de otro, se adoptó como caudal de diseño del aliviadero, el mismo que se fija en el Proyecto de la Nueva Presa de Puentes para el dimensionamiento del sistema de desvío provisional del cauce.

FINALIDAD Y CONDICIONANTES DE LA OBRA DE REGULACIÓN PROVISIONAL

El objetivo a cubrir con la Obra de Regulación Provisional, es el mantenimiento del suministro de agua a los regadíos de la vega de Lorca durante el periodo de construcción de la Nueva Presa de Puentes, sobre todo en los primeros meses de la obra, a lo largo de los cuales, con el embalse vacío y sin poder contar con la ataguía, la interrupción del servicio hubiera sido ineludible.

Además, teniendo en cuenta que con poca altura en el cierre, se consigue una reserva de agua de más de 2 Hm^3 , se hace posible regular las aportaciones de los ríos Vélez y Luchena, que aunque de pequeña magnitud, permiten garantizar el suministro de agua durante este periodo.

El principal condicionante o límite impuesto a la Obra de Regulación Provisional, fue la altura del dique de cierre. Esta, atendiendo a la débil capacidad portante de los fangos o tarquines de su cimentación, se limitó en principio a 6 m., que por otra parte resultaba suficiente para, con una garantía de alrededor del 70%, atender la demanda de riegos. Complementariamente, con esta altura de 6 m., las obras a ejecutar se mantienen dentro de los límites del embalse, sin ser necesario, por tanto, realizar expropiaciones complementarias.

Es importante resaltar que se estableció como premisa básica para el diseño de la obra, la condición de no disminuir, con su ejecución, la seguridad de las obras de la Nueva Presa de Puentes; en este sentido, se llevaron a cabo los cálculos de estabilidad necesarios, incluyéndose no solamente el dique en sí, sino también el espesor real de fangos, y ello en un área suficiente como para representar en él las excavaciones en tarquines programadas para la obras de la Nueva Presa de Puentes.

Finalmente, el último condicionante impuesto a la obra a proyectar, fue de tipo hidrológico: se fijó, por un lado, como avenida de diseño del aliviadero la misma que la asumida para el dimensionamiento del sistema de desvío de la Nueva Presa de Puentes, y además, se analizó la hipotética rotura del dique, determinándose la magnitud del caudal de pico de la onda de rotura que se produciría.

Los resultados de este análisis indicaron que frente a una rotura del dique, considerando el embalse a su nivel máximo normal, el caudal de pico de la onda generada alcanzaría el valor de $300 \text{ m}^3/\text{seg}$, es decir, la tercera parte del caudal de diseño ($900 \text{ m}^3/\text{seg}$) del sistema de desvío. En una supuesta rotura del dique durante el paso de la avenida de diseño, el caudal punta de la avenida que llegaría a la ataguía, se vería

incrementado, como máximo, en el 33%, pasando de 900 m³/seg a 1.200 m³/seg. Este caudal es soportable por el sistema de desvío, si bien agotándose el resguardo en el túnel.

MATERIALES DISPONIBLES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Partiendo de la base de que el dique se debía construir con tipología de materiales sueltos, se procedió a analizar los materiales disponibles en el entorno de su emplazamiento. Las excavaciones en el collado lateral donde se emplazó el aliviadero, proporcionaron una escollera de calidad media, aceptable para una obra de carácter provisional; en ella se limitó exclusivamente el tamaño máximo a 100 cm. , y el contenido de partículas de tamaño inferior a una pulgada, que debería estar comprendido entre el 15% y el 35%.

Para el núcleo impermeable, se pensó en la utilización de los propios fangos o tarquines; éstos, proporcionan un material con impermeabilidad y plasticidad suficiente, sin embargo, y dado el gran contenido de humedad que poseían, su necesaria desecación hasta el entorno de su humedad óptima, hubiera exigido un tiempo del que no se disponía. Por esta razón, y pensando además, en utilizar un material de naturaleza más contrastada, se optó por la utilización del préstamo de arcillas previsto para la ejecución del núcleo de la ataguía, ubicado en una terraza del Guadalentín.

El geotextil a interponer entre los espaldones y el núcleo, se eligió del mayor gramaje disponible en el mercado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y TERRENOS DE CIMENTACIÓN

Para la prospección de los terrenos y materiales de la cimentación, se perforaron cuatro sondeos mecánicos: el S-1 en el collado del aliviadero, y los S-2, S-3 y S-4 a lo largo del eje del dique de cierre, en los fangos o tarquines. El análisis del sondeo S-1, reveló que la competencia del terreno de cimentación del aliviadero (molasas de grano grueso) es suficiente para soportar las cargas transmitidas por la estructura proyectada. En el corte del sondeo se puede observar que el valor de la R.Q.D a la profundidad de la cimentación (7 - 8 metros) oscila sobre el 75 - 80 %.

Los cortes de los sondeos S-2 y S-3 revelan una potencia de "TARQUINES FLUIDOS" de unos 14 m. por debajo de la cota 452,00. Dichos tarquines, están constituídos por limos arcillosos de clasificación CL. Su contenido en finos es superior, en general, al 90 %. Su índice de plasticidad se sitúa entre el 20 y el 30%.

Presentan, en su estado natural, una capacidad portante muy reducida, en función de su escaso grado de consolidación, ya que poseen una densidad seca de alrededor de 1,30 t/m³, mientras que su densidad óptima PROCTOR modificado es de cerca de 1,70 t/m³. Esto último queda corroborado por el valor de la

humedad natural que presentan, en torno al 40 %, próxima a su límite líquido. Por otra parte, los ensayos edométricos revelan índices de poros iniciales algo superiores a la unidad, es decir valores de la porosidad algo por encima del 50%.

La carga media que transmite el macizo del dique es de $w = 6,00 \times 2,00 = 12 \text{ t/m}^2$. Con esta carga, los ensayos edométricos realizados pronosticaron una deformación por asiento del orden del 15%, que aplicada sobre los 14 m. de espesor máximo de tarquines fluidos, hacían prever un asiento máximo entorno a los 2 m., en la zona central del dique, durante su construcción. Ello indicaba que el dique a construir sería muy deformable, siendo de prever sucesivas renivelaciones durante su vida útil.

Para su construcción se consideró necesario extender, previamente a la escollera de sus espaldones y bajo ella, una capa de zahorra que, haciendo de filtro, permitiese la consolidación inicial de los tarquines y la estabilidad de la maquinaria de compactación. Los ensayos de permeabilidad llevados a cabo en el interior del sondeo S-4, permitieron aceptar la impermeabilidad general de los tarquines, si bien eran de prever actuaciones puntuales en alguna zona, con el fin de corregir filtraciones localizadas a través de capas o lentejones arenosos.

ESTRUCTURAS PROYECTADAS

Dique de cierre

El dique de cierre consiste en una estructura de materiales sueltos constituida mediante dos materiales principales : ESCOLLERAS EN ESPALDONES y MATERIAL IMPERMEABLE EN NÚCLEO o zona central.

La sección tipo del dique está formada por dos macizos de escollera paralelos, situados aguas arriba y aguas abajo, cuyos taludes externos son de 1,3 H: 1,0 V y cuyos taludes internos son de 1,0 H: 1,0 V. Su anchura en coronación es de 3,50 m.

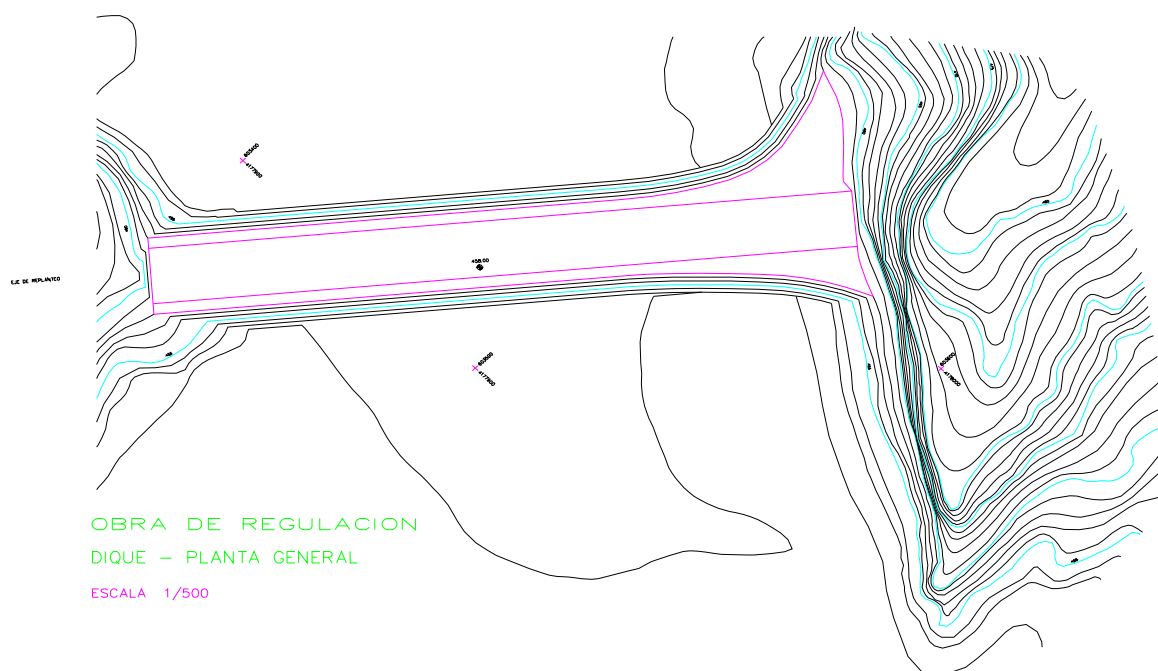
Estos dos espaldones se cimentan sobre los tarquines del vaso "clavándose" en ellos la profundidad necesaria que permita su estabilización y compactación. Para ello puede fue necesario el extendido previo de una capa de zahorras que hizo de sello o filtro de los tarquines.

Entre estos dos espaldones de escollera se compactó el material impermeable, que enlazando con los tarquines del cimiento proporciona la debida estanqueidad al dique.

La anchura total del dique en coronación es de 26,00 m. y su coronación se sitúa a la cota 458,00 m., estando el cimiento en el emplazamiento a la cota 452,00. La altura del dique, sobre el cauce o tarquines es, por lo tanto de 6,00 m.

Posteriormente, se prevé la recarga del espaldón de aguas abajo, sobre su talud de aguas abajo, con las escolleras procedentes de las excavaciones del dique lateral de collado de la Nueva Presa de Puentes.

Para el control de asientos y deformaciones del dique, se previó la colocación de un itinerario de nivelación y colimación, de manera que periódicamente se han podido auscultar y medir los movimientos o desplazamientos verticales y horizontales de la coronación del dique, procediéndose a su renivelación en caso necesario.



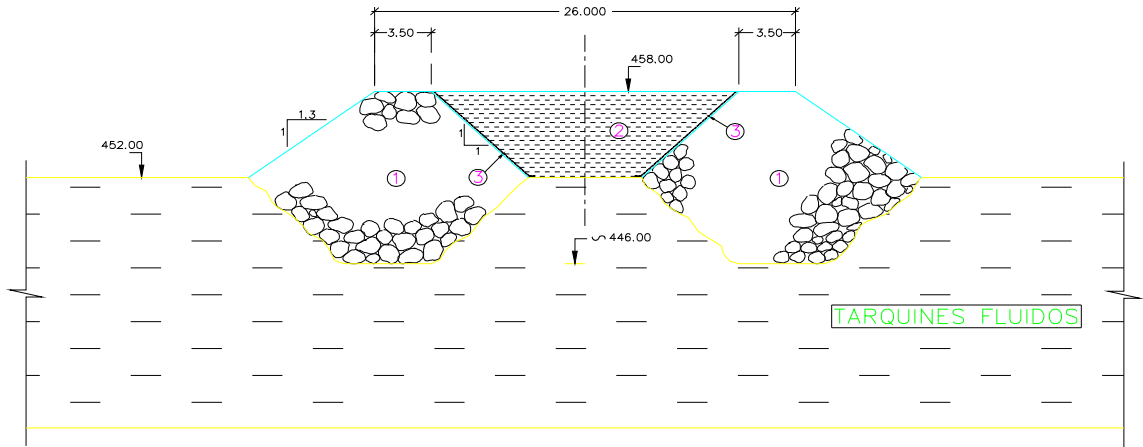
Aliviadero

Consiste en un muro-vertedero ejecutado en hormigón armado, cimentado en las molasas que afloran en el collado existente en la margen derecha del emplazamiento de la Obra de Regulación

Posee planta poligonal formada por una sucesión de nueve módulos trapeciales, de manera que se obtiene un aliviadero del tipo "en laberinto".

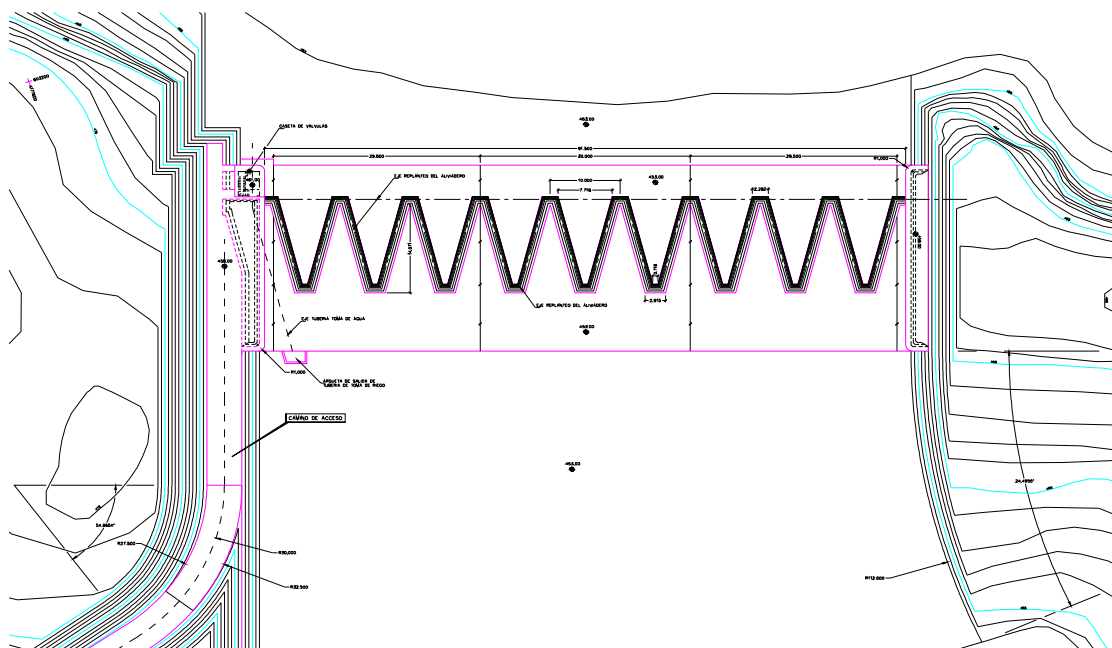
La altura del muro - vertedero es de 3,00 m., con un espesor de 0,75 m. y se cimenta sobre una losa de hormigón armado de 1,00 m. de espesor, la cual apoya directamente sobre las areniscas subyacentes. La cota del umbral es de 456,00 m., que naturalmente coincide con la de máximo nivel normal de embalse (M.N.E.) de la Obra de Regulación.

La anchura del aliviadero, medida entre sus dos muros - cajeros laterales es de 91,50 m., mientras que su desarrollo a lo largo del umbral es de 288,00 m.

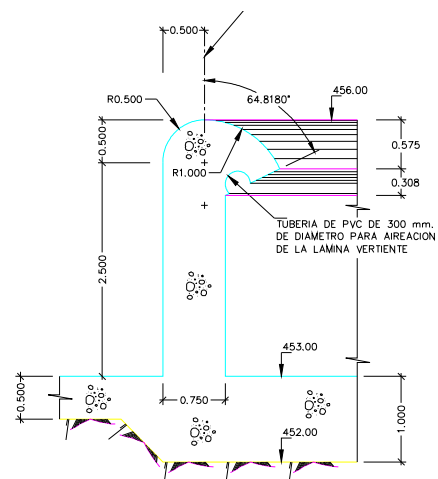


DIQUE. SECCION TIPO
ESCALA 1/250

- LEYENDA
- MATERIAL 1: ESCOLLERA
 - MATERIAL 2: RELLENO IMPERMEABLE
 - MATERIAL 3: LAMINA GEOTEXTIL DE ALTO GRAMAJE



El vertedero en sí, está formado por un perfil circular de dos centros en forma de "pico de pato", y está provisto, aguas abajo, de un goterón o conducto de aducción de aire que facilita la aireación de la lámina vertiente, y evita su adherencia al paramento de aguas abajo del vertedero.



VERTEDERO – DEFINICION GEOMETRICA

La capacidad del aliviadero así definido es de 905,00 m³/seg, valor de la punta del hidrograma pésimo de 10 años de período de retorno, una vez laminado en el embalse de la Obra de Regulación. Este caudal es evacuado con una lámina vertiente, sobre el umbral, de 1,54 m.

Apurando el resguardo del dique, es decir con una lámina de 2,00 m., el caudal evacuado llega a ser de 1.182 m³/seg.

Lateralmente, el aliviadero se cierra mediante dos muros-cajeros que se apoyan sobre los taludes de excavación en la roca. Estos muros se coronan a la misma cota que el dique de cierre, es decir a la 458,00 m.

Toma de agua para riego

La toma de agua para riego consiste en un conducto, en carga, de 0,75 m. de diámetro, alojado bajo la losa de cimentación del aliviadero.

El conducto, construído en palastro de acero de 8 mm. de espesor, consta a su vez de los siguientes elementos desde aguas arriba hacia aguas abajo :

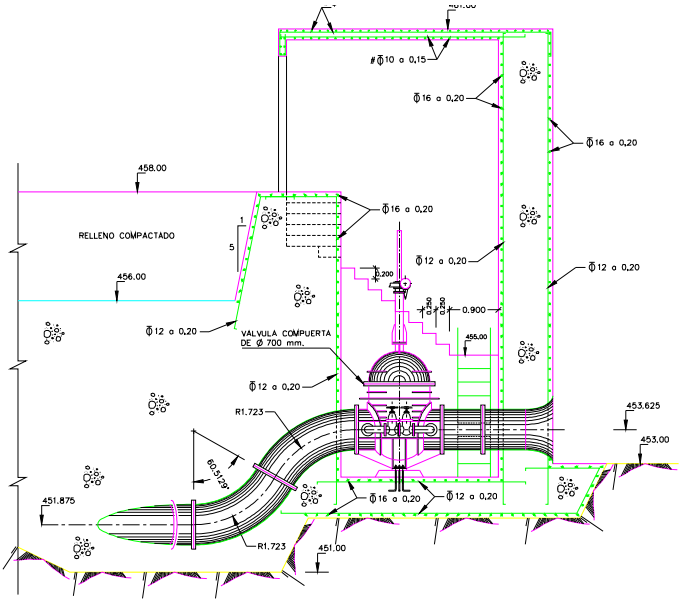
- γ Embocadura : Formada por un abocinamiento elíptico, manteniendo la sección circular en todo momento.

- γ Válvula de compuerta : De sección circular, de 700 mm. de diámetro, para una presión de trabajo de 1 atm., alojada en una caseta cubierta y con acceso directo desde el exterior.

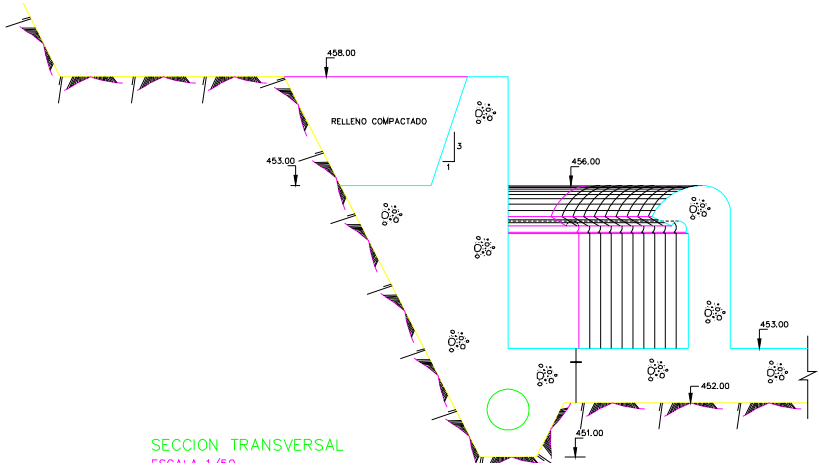
- γ Conducto de descarga : De sección circular de 0,75 m. de diámetro, en palastro de 8 mm.

- γ Arqueta de salida : Emplazada en el extremo de aguas abajo de la losa de cimentación del aliviadero.

La toma así proyectada es capaz de suministrar un caudal comprendido entre 1,2 y 1,8 m³/seg., según el nivel de agua en el embalse de la Obra de Regulación.



SECCION LONGITUDINAL
ESCALA 1/50



SECCION TRANSVERSAL
ESCALA 1/50

LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Previamente a la ejecución del dique, se construyó una plataforma experimental, que proporcionó la información necesaria sobre el adecuado procedimiento a seguir para el extendido y compactación de los materiales sobre los fangos o tarquines. Se constató la necesidad de extender una primera capa de zahorras sobre los fangos, que constituía un auténtico filtro de dichos fangos sobre la escollera a compactar.

Una vez salvada la primera dificultad, que suponía la compactación de la primera tongada, se progresó en el extendido y compactación de los dos espaldones, en paralelo, partiendo de la margen derecha hacia la izquierda. La compactación se llevó a cabo con rodillo vibratorio liso de 20 Tn. El número de pasadas fue como mínimo de cuatro, y se mantuvo especial cuidado en la retirada de los elementos más gruesos de la escollera hacia los paramentos exteriores.

El cierre en la margen izquierda, hubo de realizarse con el paso del agua en el cauce, por lo cual se decidió ensanchar la sección de los dos espaldones, progresivamente, hasta alcanzar la ladera.

Una vez concluída la ejecución de los dos espaldones, se procedió a la excavación, limpieza y localmente al agotamiento de la superficie de asiento del núcleo. A continuación se extendieron las dos láminas geotextiles, y finalmente se dio comienzo al extendido y compactación del núcleo.

La altura de tongada empleada fue de 20 cm. , si bien la primera de ellas hubo de ser aumentada hasta 40 o 50 cm. para con el fin de evitar el colapso de la maquinaria de compactación.

La excavación y saneo de la cimentación del núcleo se ejecutaron con retroexcavadora sobre orugas, circulando sobre la coronación del espaldón de aguas abajo. El extendido del material arcilloso se realizó con motoniveladora, y su compactación con rodillo pata de cabra vibratorio, autopulsado.

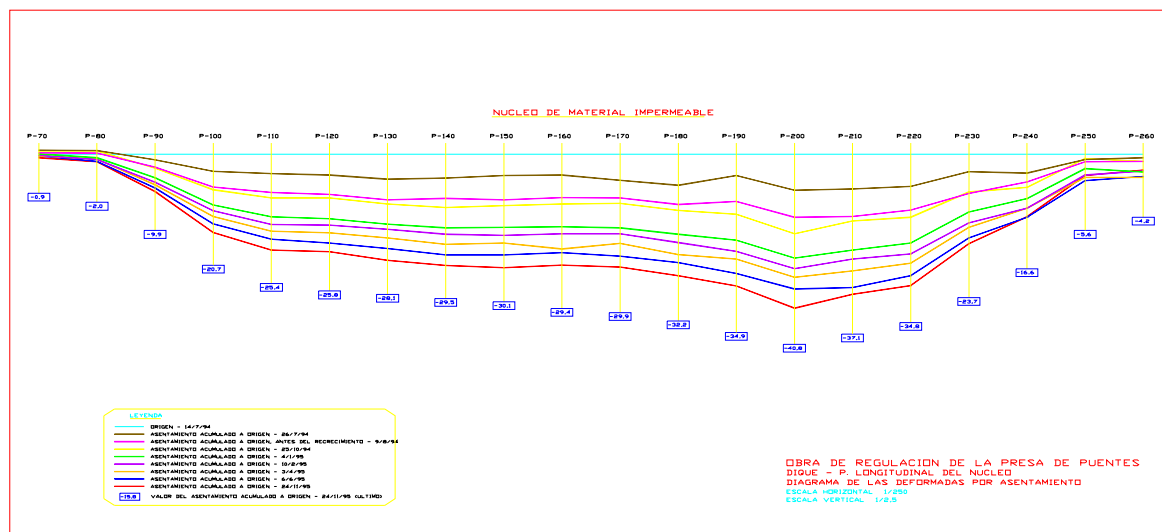
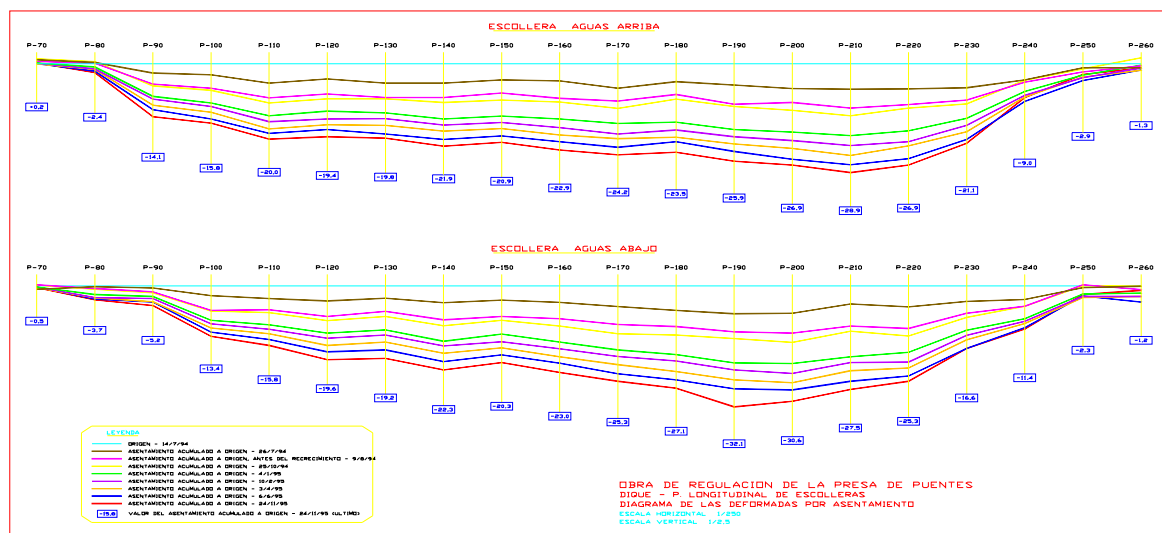
La construcción del aliviadero no presentó ninguna singularidad; su ejecución se llevó a cabo con los procedimientos normalmente empleados en este tipo de estructuras.

COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS EN SERVICIO

A los dos meses de terminada la construcción del dique, se midieron unos asientos máximos de 11,8 cm. en espaldón de aguas arriba, de 12,5 cm. en el espaldón de aguas abajo, y de 16,7 cm. en el eje del núcleo. En ese momento se procedió a la renivelación de la coronación, dotándola de un bombeo con contraflecha de 90 cm. en la sección correspondiente al mayor espesor de tarquines.

Posteriormente, se ha continuado observando el comportamiento del dique, habiéndose realizado medidas de nivelación periódicas, cuyos resultados se muestran a continuación. Es de resaltar que el asiento máximo observado a finales del pasado mes de Noviembre, es decir a los 16 meses aproximadamente de la terminación de la obra, es de 28,9 cm. en el espaldón de aguas arriba, de 32,1 cm. en el espaldón de aguas abajo, y de 40,8 cm. en el eje del núcleo.

Si a estos asientos se les suma la profundidad de penetración de la escollera en los tarquines, durante la construcción, de aproximadamente 1,50 m., se obtiene un asiento máximo global de alrededor de 2 m., concordantes con la estimación inicial durante la redacción del proyecto.



APLICACIÓN DE LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ATAGUÍA

La experiencia adquirida en la construcción de la Obra de Regulación Provisional, se ha venido aplicando en el manejo de los tarquines del embalse, así como en la construcción de la ataguía.

En efecto, la necesidad de extraer un volumen de tarquines próximo al millón de m³, un 50% de ellos fluidos y el otro 50% consolidados, obligaba a analizar cuidadosamente el procedimiento a emplear; el

conocimiento sobre la respuesta de dichos tarquines frente a las cargas de compresión y la confianza adquirida en la posibilidad de circular sobre ellos con material pesado, mediante el empleo de materiales de aportación (zahorras), como capa de rodadura, han facilitado sobremanera esta operación, que se ha llevado a cabo íntegramente a cielo abierto, con el empleo de palas cargadoras y camiones circulando sobre pistas y rampas establecidas sobre los propios tarquines.

Se puede decir, por lo tanto, que de esta experiencia se han beneficiado de manera directa e inmediata las obras previas de la Nueva Presa de Puentes.

CONCLUSIÓN

El aterramiento de embalses es un problema que afecta seriamente a la vida de los mismos, obligando en algunos casos, como el de la Nueva Presa de Puentes, a la construcción de una nueva estructura de cierre aguas arriba.

Ello supone ineludiblemente, la extracción de volúmenes de fangos, en algunos casos importantes, como en la Nueva Presa de Puentes.

Por ello, creemos que cualquier nueva experiencia que se pueda aportar en esta materia puede resultar interesante.

Pensamos que se puede y se debe investigar y documentar más este tipo de obras especiales, en las que en función de su pequeña entidad y de su provisionalidad, se pueden adoptar unos criterios menos conservadores que los necesariamente impuestos en una obra hidráulica permanente y de dimensiones mayores, ya que es en estas experiencias donde se puede aprender a manejar determinados materiales o Aterrenos, que normalmente serían desechados por la mayoría de los proyectistas como cimentación de una presa de cierre; sin embargo, se pueden aprovechar para cimentar sobre ellos ataguías, quizá en el futuro, no tan pequeñas como el dique de la Obra de Regulación Provisional de la Nueva Presa de Puentes.

En cualquier caso, y a lo largo de los meses que restan de obra, se va a continuar con la toma de datos sobre el comportamiento del dique, pensando que quizá en un futuro no muy lejano, podamos extraer conclusiones más concretas y documentadas sobre esta experiencia.