

Construcción de presas en el exterior. Período entre congresos Barcelona 2006 y Brasilia 2009

Dam building abroad: Period between the Barcelona 2006
and Brasilia 2009 congresses

Revista de Obras Públicas
nº 3.509. Año 157
Abril 2010
ISSN: 0034-8619

Antonio Capote del Villar. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe Departamento de Proyectos Presas y Obras Marítimas. Dirección Técnica.
Ferrovial-Agromán. a.capote@ferrovial.es

Fernando Abadía Anadón. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe Departamento de Obras Hidráulicas, Subterráneas y Medioambientales. Dirección Técnica.
Dragados S.A. fabadiaa@dragados.com

Víctor E. Flórez Casillas. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director Departamento de Obras Hidráulicas y Marítimas. Dirección de Innovación y Tecnología.
FCC Construcción S.A. vflorez@fcc.es

Resumen: En el artículo se describen las características principales de tres presas construidas por empresas constructoras españolas en el exterior durante el período comprendido entre los dos últimos Congresos Internacionales de Grandes Presas: Barcelona 2006 y Brasilia 2009. Dichas presas, construidas en tres países diferentes (Chile, Bulgaria y Puerto Rico) presentan tres tipologías distintas: gravas con pantalla de hormigón (CFRD) bóveda y arco gravedad de hormigón compactado HCR, correspondiendo a tres proyectos significativos por sus singulares características técnicas. Estas realizaciones forman parte de una larga serie de presas construidas en el exterior con tecnología propia por las empresas constructoras españolas, que cuentan ya con más de 60 realizaciones fuera de España desde los años 70 del pasado siglo.

Palabras Clave: Presa; Tipología; Hormigón Compactado; Bóveda; CFRD

Abstract: The article describes the main characteristics of three dams built abroad by Spanish construction companies over the period between the two last International Congresses on Large Dams held in Barcelona in 2006 and Brasilia in 2009. The three dams, built in three different countries (Chile, Bulgaria and Puerto Rico) are of different type: Concrete Faced Rockfill Dam (CFRD), Roller Compacted Concrete gravity arch and arch dam, and were three significant projects on account of their particular technical characteristics. These constructions form part of a long line of dams built abroad by Spanish construction companies, with over 60 dams being built outside Spain since the 1970's.

Keywords: Dam; Type; Compacted Concrete; Arch; CFRD

1. Introducción

La dilatada experiencia histórica de España en las técnicas relativas a aprovechamientos hidráulicos, ha dado lugar a una presencia muy significativa de la ingeniería española de presas en el exterior, que se prolonga desde el siglo XVI con el inicio de la colonización de América hasta nuestros días. Así, desde la década de los años 70 del pasado siglo hasta la fecha

las empresas constructoras españolas han participado en la construcción de 67 presas en el extranjero, con realizaciones de todas las tipologías y en todos los continentes excepto Oceanía, principalmente en Europa, Norte de África e Hispanoamérica. Por otra parte, las empresas españolas de ingeniería también han tenido y mantienen actualmente una significativa actividad en el exterior, habiendo participado desde los años 70 en más de 50 estudios y proyectos de presas.

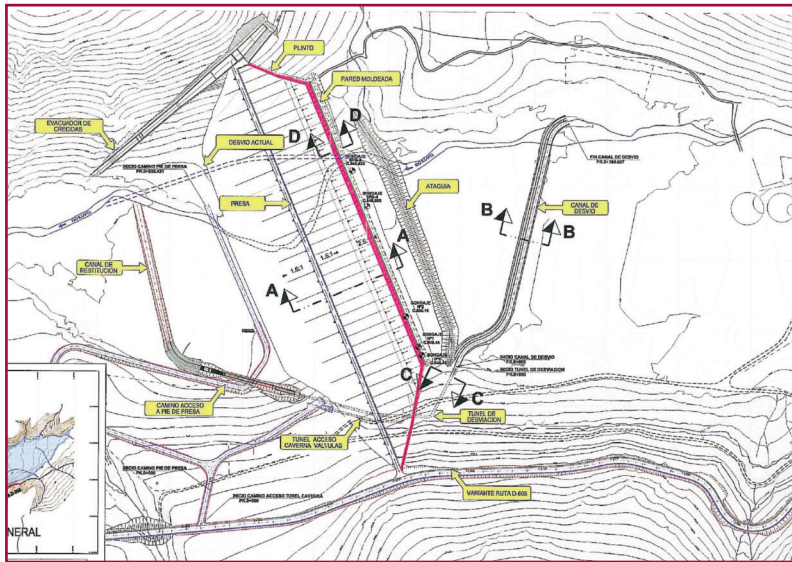


Fig. 1. Planta general de la presa.

En el período comprendido entre los dos últimos Congresos Internacionales de Grandes Presas, Barcelona 2006 y Brasilia 2009, las empresas constructoras españolas han participado en tres grandes presas, significativas por su complejidad y características técnicas: Presa de El Bato (Chile) de gravas con pantalla de hormigón aguas arriba, Presa de Tsankov Kamak (Bulgaria) de tipo arco de doble curvatura (bóveda) y Presa del Río Portugués (Puerto Rico) de tipo arco gravedad en hormigón compactado HCR. En los apartados siguientes se resumen las características principales de estas tres presas.

2. Presa de El Bato (Chile)

2.1. Introducción y objeto de la obra

En Junio de 2007, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas de Chile adjudicó a la U.T.E. formada por FERROVIAL-AGROMAN y BESALCO las obras de "Construcción del Embalse El Bato, IV Región de Coquimbo, Chile" situadas en el valle del río Illapel y 30 Km al Oeste de la ciudad del mismo nombre, cuyo objeto es crear un embalse de 25,5 Hm³ y 110 Ha de superficie inundada para laminación de avenidas y regulación de recursos del río para riego. El contrato incluye las siguientes obras principales (Figura 1):

- Presa de gravas compactadas con pantalla de hormigón aguas arriba (CFRD) de 56 m de altura

sobre cimientos y 591 m de longitud en coronación.

- Desagüe de fondo y toma de agua a través de un túnel situado en la margen izquierda, de 257 m de longitud y sección en herradura de 2,80 m de diámetro, utilizado para manejo del río durante la construcción de la presa.
- Aliviadero lateral en la margen derecha, con labio fijo de 50 m de longitud de vertido, canal de descarga y trampolín de lanzamiento.
- Variante del camino de Illapel a Carén en la zona inundada por el embalse.

Actualmente las obras están casi completamente finalizadas, con todos los rellenos de presa colocados, la pantalla de hormigón terminada y el túnel de desagüe de fondo y toma de agua terminado y operando (Figura 2).

2.2. Geología de la cerrada

En el sitio de la presa el valle del río Illapel tiene forma en U, con laderas de pendientes entre 20° y 25° y un amplio fondo de valle sensiblemente horizontal a la cota 850.

Las laderas, por encima de la cota 790 aproximadamente, están formadas por andesita ocoítica gris con fracturación media y dureza media-alta, con intercalaciones de paquetes de andesita afanítica poco alterada y dureza media alta. La cobertura de suelos en ambas laderas es en general inferior a 1,5 m. Por debajo de la cota 790 aproximadamente, el sustrato rocoso está formado por tobas y brechas con estrato intercalado de andesita ocoítica. En el fondo del valle la roca está cubierta por un potente depósito

Fig. 2. Vista general de la presa en septiembre de 2009.



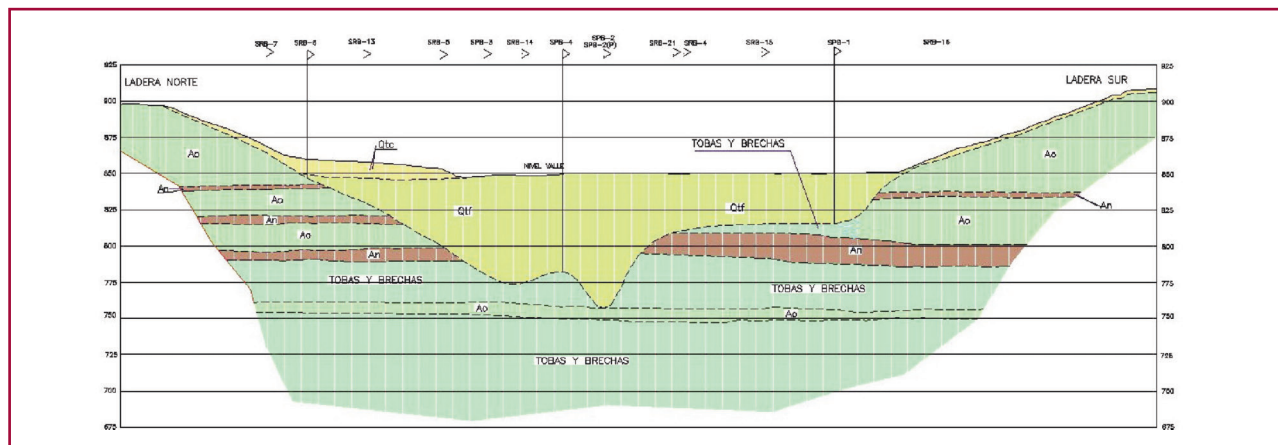


Fig. 3. Perfil geológico por el eje de presa.

aluvial, formado por bloques, bolones y gravas arenosas permeables, alcanzando un espesor máximo próximo a 100 m (Figura 3).

2.3. Cuerpo de presa

La presa es de tipo CFRD, estando formada por bolos y gravas arenosas permeables compactadas, mayoritariamente sin procesar, con pantalla impermeable de hormigón aguas arriba, con una altura sobre cimientos de 56 m, 591 m de longitud de coronación y un volumen total de rellenos de 2.328.000 m³. La coronación tiene un ancho de 6 m a la cota 902,70, presentando la presa taludes 1,5(H):1(V) aguas arriba y 1,6(H):1(V) aguas abajo.

En las laderas la presa apoya sobre la roca andesita previa excavación de la cobertura de suelos, por lo que las secciones presentan el diseño clásico CFRD con plinto en losa hormigonada sobre roca. Sin embargo, en el amplio valle fluvial, donde los materiales aluviales permeables alcanzan espesores próximos a

100 m, se ha adoptado una solución similar a la de otras presas construidas en Chile sobre emplazamientos similares (Santa Juana, Puclaro) cimentando presa y plinto sobre la superficie del propio aluvial. La sección tipo en esta zona (415,90 m de longitud) es la más característica de la presa, mostrándose en la Figura 4.

Los rellenos del cuerpo de presa proceden del propio aluvial del río, extraídos en zonas próximas a la cerrada así como de excavaciones realizadas en roca sana para construir las obras de fábrica, túnel y caminos.

2.4. Pantalla impermeable de hormigón

La pantalla impermeable de hormigón tiene un espesor variable entre 34 y 45 cm, siguiendo la ley $t = 0,34 + 0,00207 H$. El hormigón es tipo H25, con árido de tamaño máximo 1 1/2" y 4 a 6% de aire ocluido. La armadura se dispone centrada en la sección, con una cuantía geométrica de 0,34% en dirección

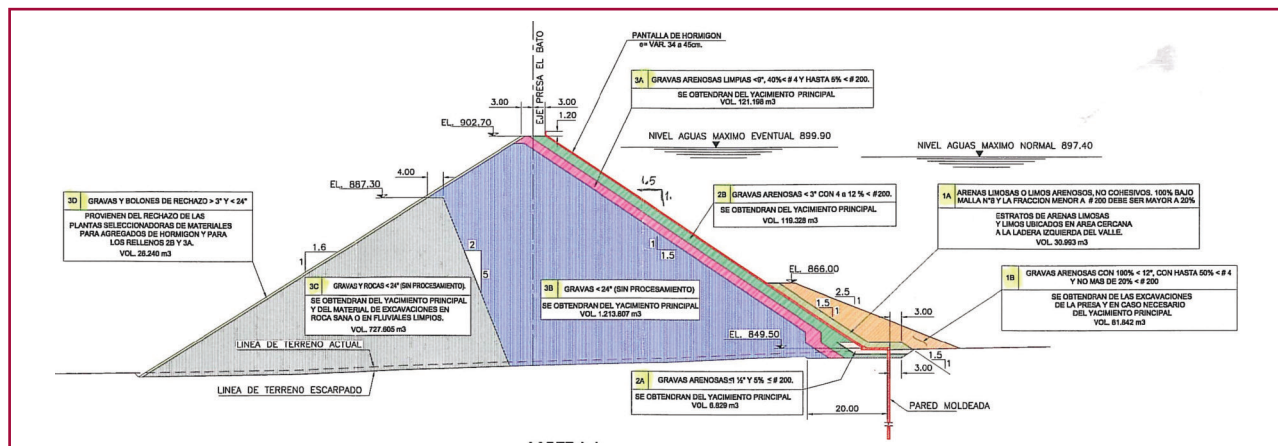


Fig. 4. Sección tipo de presa.



Fig. 5. Formación del talud aguas arriba con hormigón bordillado para apoyo de la pantalla.

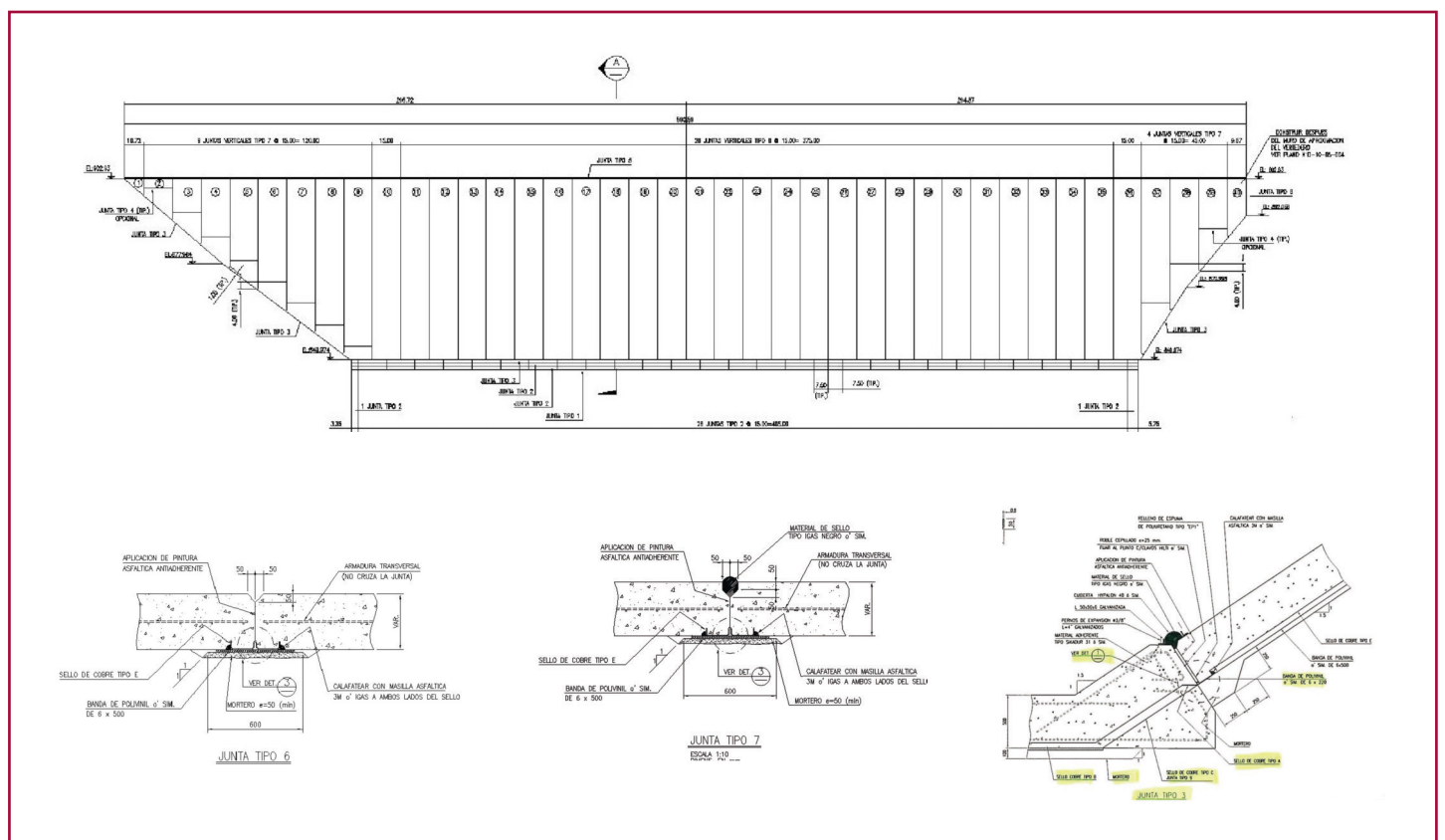


Fig. 6. Pantalla de hormigón. Vista normal y detalles de juntas.

horizontal y 0,44% en dirección vertical, reforzándose junto al plinto y en el arranque de la pantalla. El talud de aguas arriba de la presa, apoyo de la pantalla impermeable de hormigón, se ha terminado en hormigón vibrado colocado con bordilladora, compactando los rellenos contra el mismo (Figura 5).

La pantalla se divide en 40 módulos de 15 m de ancho, con 26 juntas verticales centrales y 13 juntas verticales de tracción, todas ellas impermeabilizadas con sello de cobre (Figura 6).



Fig. 7. Hormigonado de la pantalla de hormigón.



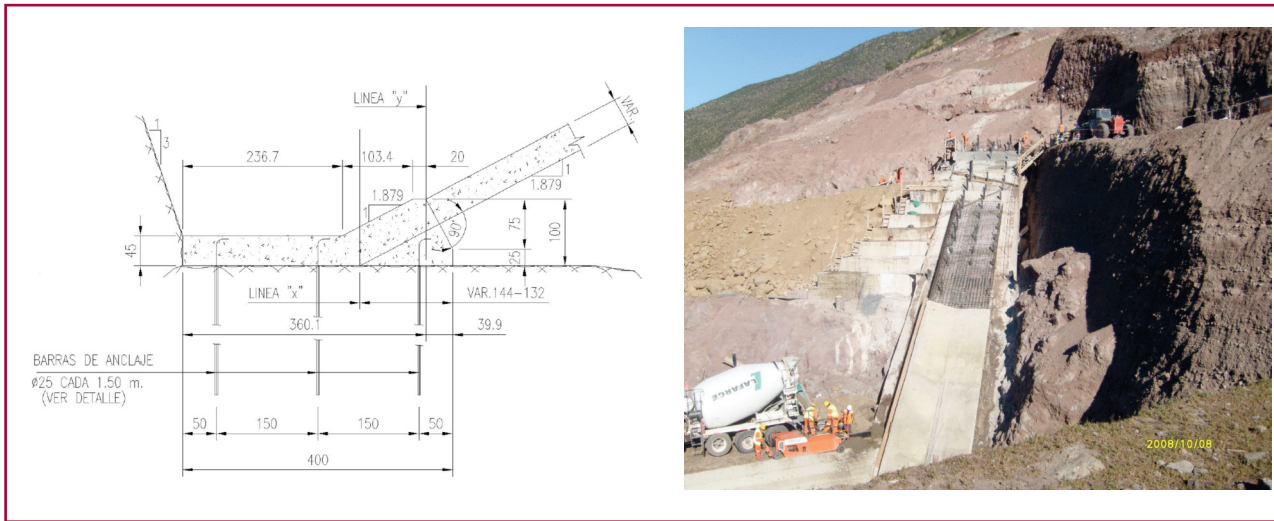


Fig. 8. Plinto sobre roca en laderas.

2.5. Plinto

En las laderas se cimenta el plinto sobre la andesita, con la disposición clásica en presas CFRD (Figura 8) mientras que en el fondo del valle, en 415,90 m de longitud, presa y plinto se cimentan horizontalmente a la cota 849 sobre el aluvial permeable del río. En este tramo, el plinto se ha proyectado como en otras presas construidas en Chile en emplazamientos similares que han mostrado un buen comportamiento (Santa Juana y Puclaro) formado por varias losas articuladas entre sí de manera que las diferencias de movimientos entre el pie de pantalla y el plinto se reparten entre las diversas juntas, de forma que el movimiento en la junta perimetral con la pantalla impermeable pueda ser absorbido por el elemento impermeabilizador en ella dispuesto.

Con este criterio, el plinto está formado por una losa de hormigón armado dividida en tres tramos articulados, el de aguas abajo recibe el pie de la pantalla impermeable y el de aguas arriba enlaza con el dispositivo de impermeabilización del cimiento, materializado mediante una pared moldeada excavada en el aluvial (Figura 9).

Un esquema de funcionamiento de este tipo de plinto articulado se puede ver en la Figura 10 (tomada de "CFRD constructed on deep alluvium" G. Noguera, L. Pinilla y L. San Martín) que muestra el estado de deformaciones en el plinto durante el llenado del embalse de la presa de Santa Juana (114 m de altura) construida también por FERROVIAL-AGROMAN en los años 1992-95.

2.6. Tratamiento del aluvial

El aluvial se impermeabiliza mediante una pantalla continua de hormigón (o pared moldeada) de 0,80 m de espesor, desde la cota 849,50 de coronación de plinto articulado hasta la roca en las zonas

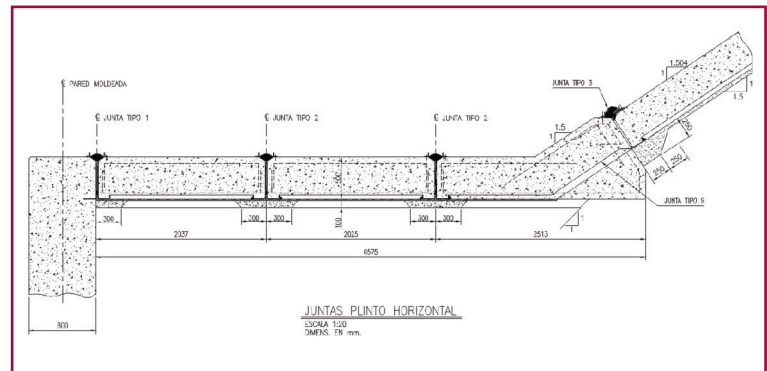


Fig. 9. Plinto articulado sobre aluvial del valle.

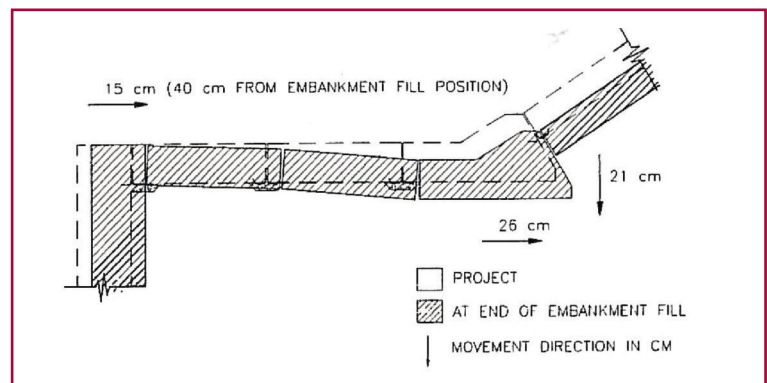


Fig. 10. Deformaciones en el plinto de la presa de Santa Juana en llenado del embalse.



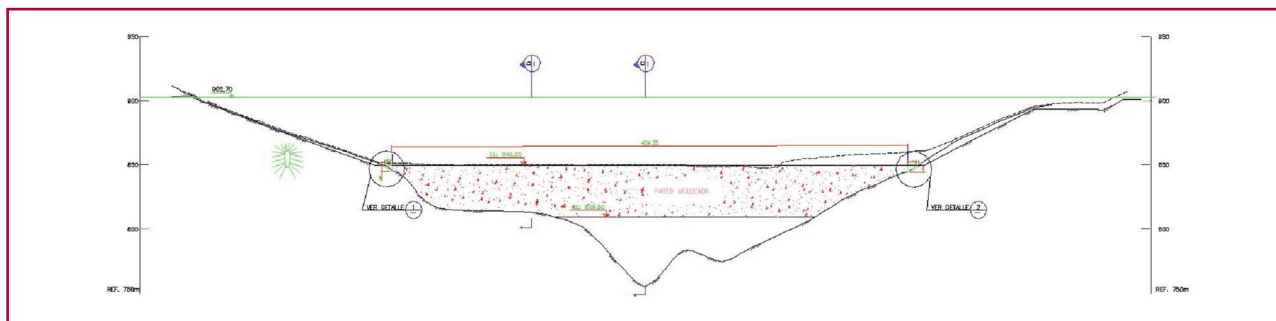


Fig. 11. Perfil por el eje de la pantalla de



Fig. 12. Ejecución de la pared moldeada en el aluvial y elementos junta entre batches.

más próximas a las laderas, y hasta 40 m de profundidad en el centro del valle (Figura 11).

En los 10 m superiores la pantalla continua se forma con hormigón armado H20, mientras que bajo dicha cota el hormigón es tipo H10 en masa, dejando incorporado en el hormigón una serie de tubos que permiten perforar posteriormente e inyectar la roca en el pie de la pared moldeada. Las juntas entre batches de pantalla se impermeabilizan mediante la colocación de elementos prefabricados de hormigón con sección transversal en H (Figura 12).

2.7. Órganos de desagüe

En la ladera derecha se sitúa el aliviadero lateral de labio fijo, con 50 m de longitud de vertido y formado por: cubeta de 10 m de ancho en solera y pendiente 0,04, sección de control, canal de descarga de 210 m de longitud con ancho variable entre 13 m y 7,5 m y pendientes entre 4% y 25,5% y trampolín de lanzamiento (Figuras 13 y 14).

El desagüe de fondo y toma de agua para riego se sitúan en un túnel excavado en la ladera izquierda,

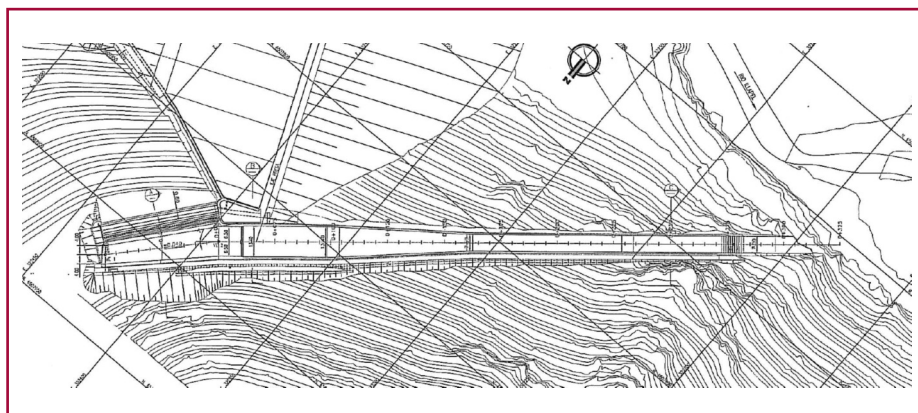


Fig. 13. Planta general del aliviadero.



Fig. 14. Construcción del aliviadero (Abril de 2009).

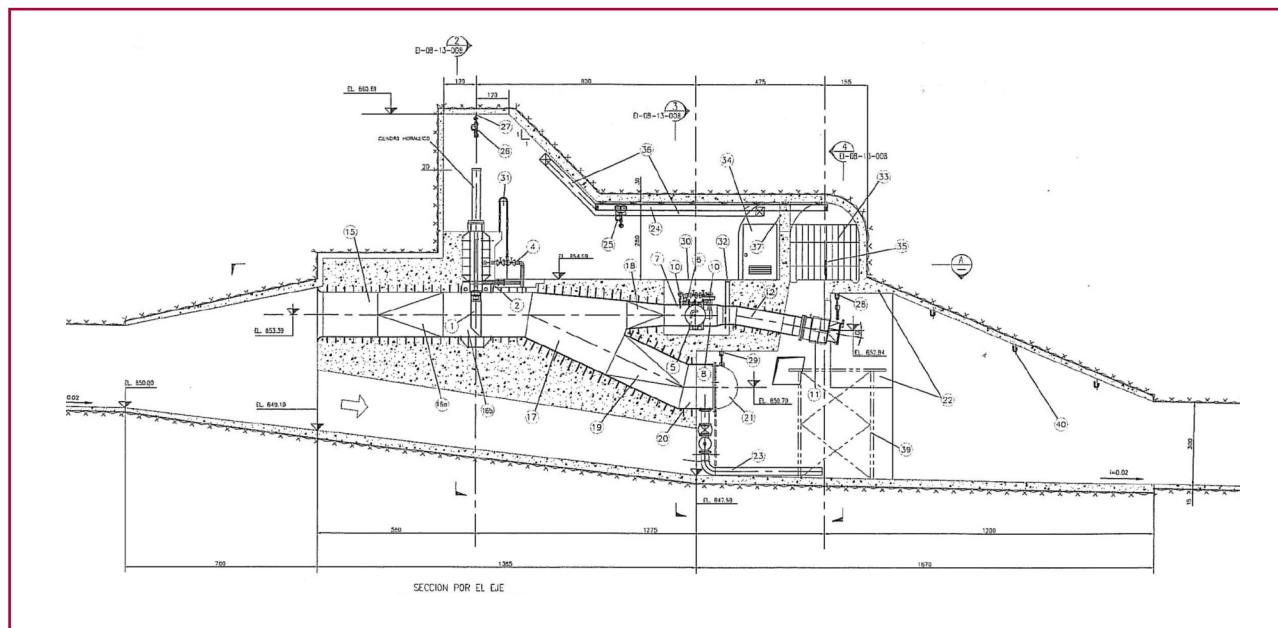


Fig. 15. Disposición general de la caverna de válvulas.

de 257 m de longitud y sección en herradura de 2,8 m de diámetro, utilizado para manejo del río durante la construcción de la presa. En dicho túnel se dispone el tapón de cierre del desvío, donde tiene su embocadura un conducto rectangular de 1,6x1,8 m² que se bifurca en dos conductos: uno de desagüe de fondo ϕ 0,762 m y otro de toma para riego ϕ 1,60 m. Sobre el tapón de cierre se dispone la caverna de válvulas, donde se alojan tres válvulas: una Bureau 1,60x1,80 m de cierre, situada aguas arriba de la bifurcación, y dos en el desagüe de fondo: una mariposa ϕ 0,762 m de seguridad y una Howell Burger ϕ 0,662 de regulación (Figura 15).

3. Presa del Río Portugués (Puerto Rico)

3.1. Introducción y objeto de la obra

La presa del Portugués (Portugues Dam) se encuentra situada sobre el río Portugués, en la isla de Puerto Rico, 3 millas al noroeste del municipio de Ponce, actualmente la segunda ciudad en importancia por detrás de la capital San Juan.

Su propietario y diseñador es el US Army Corps of Engineers (USACE) y la finalidad de esta presa es el control de avenidas, fundamentalmente las causadas por los huracanes y tormentas tropicales que periódicamente azotan esta zona del mar Caribe.

El contrato de construcción fue adjudicado en Marzo del año 2008 a DRAGADOS USA Inc. y los trabajos comenzaron en Abril de 2008

La forma de contratación impone cinco fases diferentes las cuales se consideran anualidades dentro de las cuales se deben ejecutar los trabajos programados. Estas fases vienen impuestas por las denominadas "ventanas de hormigonado" fuera de las cuales el riesgo de huracanes con fuertes avenidas es máximo.

Como se ha comentado anteriormente la obra comenzó en Abril del año 2008 y está previsto concluir en el año 2012 según las siguientes fases de ejecución:

- FASE I: Movilización, creación de accesos y desmonte de la cantera.

Fig. 16. Situación del proyecto e infografía del vaso con la presa llena.





Fig. 17. Zona montañosa donde se ubica la cerrada y el vaso (infografía).

- FASE II: Excavación y tratamiento del cimient, montaje de las instalaciones y producción de áridos.
- FASE III: Hormigonado de la presa (50% volumen)
- FASE IV: Hormigonado de la presa (50% volumen)
- FASE V: Desagües de fondo y casa de válvulas, construcción de las carreteras y limpieza final hasta cota de inundación.

El cliente estima un plazo de construcción entre 48 y 60 meses dependiendo de la excavación y tratamientos del cimient y de la frecuencia e intensidad de las lluvias (producidas por los períodos de huracanes) durante el período de construcción

En el momento de redacción de este artículo (Dic 2009) las obras se encuentran finalizando la fase II a punto de comenzar la fase III en breves meses.

3.2. Geología del vaso y la cerrada

La presa se encuentra en las faldas de la cordillera central que se eleva hasta una altitud de 4.398 ft (1.300 m) y se extiende a través de la isla de Puerto Rico. Esta región montañosa se formó debido a una serie de acontecimientos volcánicos que tuvieron lugar desde el final período Cretácico hasta el final de la primera fase del Eoceno. La elevación e inclinación de Puerto Rico tuvo lugar durante el Mioceno, el Plioceno temprano y el final de dicha era, lo cual desembocó en las formaciones que hoy en día se evidencian.

La zona montañosa de la isla se encuentra extensamente plegada. Las indicaciones superficiales de

existencia de fallas son a menudo confusas y vagas pero su existencia se indica por repentinos cambios de pendiente, desplazamientos estatigráficos o compensaciones de las características topográficas. El emplazamiento de la presa se encuentra cerca de la zona de fracturas al sudoeste de Puerto Rico la cual se supone inactiva, pero que tiene un desplazamiento lateral de al menos 37 millas. Dentro del área inmediata de ubicación de la presa se encuentra un macizo intrusivo de dioritas del período Eoceno que ocupa una extensa zona (de 2,2 kilómetros cuadrados) del área del embalse. La intrusión de este macizo con sus diques y fallas asociados ha creado la compleja geología del emplazamiento.

La topografía de la zona inmediata a la presa es montañosa con laderas empinadas que alcanzan los 500 a 600 ft (150 a 180 m) de altura por encima del lecho del río. El valle es relativamente estrecho oscilando su gradiente entre 132 y 264 pies por milla en el área del embalse. La geología del emplazamiento es compleja y las unidades rocosas presentes en el mismo son a menudo difíciles de identificar mediante observación visual. Generalmente los contactos entre unidades rocosas son difíciles de definir puesto que la roca sedimentaria original ha sido intruída por numerosos diques volcánicos profundos y abruptos, y alterada a un grado bajo meta-sedimentario. El espesor de los diques puede variar entre una pequeña fracción de pulgada hasta treinta pies, pero generalmente el espesor oscilará entre unas pocas pulgadas a 3 ó 4 pies. Muchos de los diques están sanos y no se encuentran erosionados pero, en general los diques se erosionan mucho más rápida y profundamente que la roca base circundante.

El grado y profundidad de la roca erosionada son altamente variables y cambian en pocos metros. La intensidad del manto de erosión varía desde un promedio de 23 pies de espesor en las laderas a pocos pies en el valle del río. Sin embargo se han detectado zonas de intensa erosión que alcanzan los 55 pies de espesor.

Los suelos de la zona están constituidos por la intensa erosión de la roca base y han sido clasificados como arena limosa, limos, y arcilla.

La roca base donde se apoya la presa está formada por conglomerados volcánicos metamórficos, arenisca y limolita.

La roca predominante es el conglomerado volcánico de color púrpura a gris verdoso; los clastos que la forman son redondeados de tamaño entre arena y

gravas predominando los tamaños de 1 a 3 pulgadas. La matriz se compone principalmente de arena y arcilla formada por material andesítico y ceniza. El resto, 30% aproximadamente de la matriz, está formado por cuarzo criptocristalino y calcita secundaria.

La arenisca metamórfica es gris a gris verdosa, su granulación varía de fina a gruesa con algunos clastos andesíticos embebidos. La matriz, de granulometría arenosa, está compuesta de material volcánico con cuarzo secundario y calcita que actúan como cemento. El origen del material arenoso es andesítico.

La limolita también varía del gris al gris verdoso, es calcárea, silíceo o tobáceo formando un cuerpo masivo. Hay áreas locales con esqueletos de foraminíferos y ceniza volcánica dentro de dicha limolita.

La cantera de la que se extraen los áridos para la presa se ubica al lado del río aproximadamente 6.000 pies (1.800 m) al norte de la presa y su naturaleza es diorítica cristalina de grano grueso. Su composición es 55 % plagioclasa levemente alterada a sericita y el 41% hornblenda. Este material se erosiona en una gruesa saprolita arenosa. La cobertura de la cantera promedia 30pies (9 m) pero puede alcanzar los 90 pies (27 m) en algunas zonas. La diorita se encuentra fuertemente diaclasada y cortada por numerosos diques y juntas.



Fig. 18. Cantera.

Esta cantera está dividida en dos zonas para su explotación cuyas capacidades son de 400.000 y 200.000 cy respectivamente (300.000 y 150.000 m³).

3.3. Tipología y características principales

La presa del río Portugués es una presa de HCR de planta curva y tipología arco-gravedad. Esta tipología no es frecuente en presas de HCR y hasta ahora muy rara fuera de China, que es el país en el que en ma-

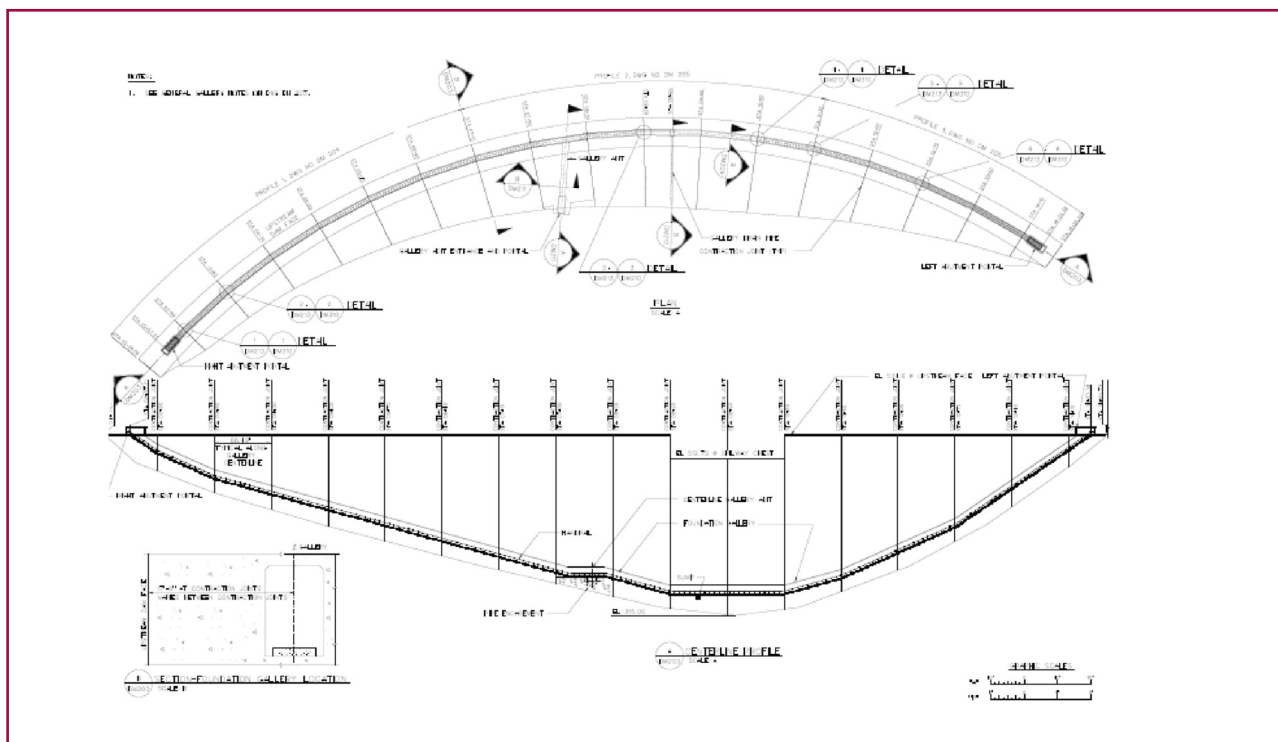


Fig. 19. Planta y alzado general.



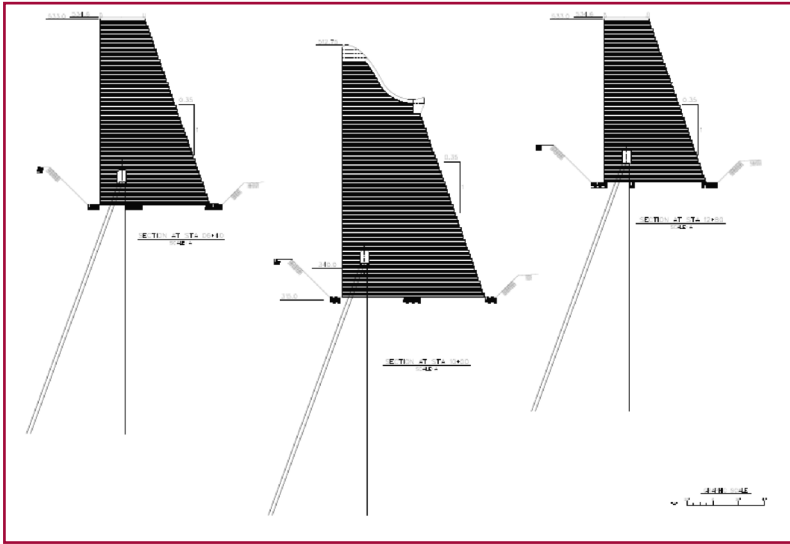


Fig. 20. Secciones transversales típicas y cortina de inyección y drenaje.

por número se han construido y desarrollado este tipo de presas de HCR arco-gravedad.

La presa tiene una altura sobre cimientos de 67 m, y una longitud de coronación de 375 m configurando un volumen de presa de 375.000 cy (282.000 m³). Sus paramentos tienen unos taludes de 0,35H/1V aguas abajo y vertical aguas arriba, los cuales están en completa concordancia con su tipología arco-gravedad.

Sus órganos de desagüe constan de un aliviadero de superficie de labio fijo de 42,67 m (140 ft) de longitud y un desagüe de fondo con dos conductos de 1.500 mm de diámetro, para desaguar un caudal de 70 m³/s, gobernados por válvulas tipo Howell Bungler de 1.200 mm de diámetro.

Fig. 21. Aliviadero (infografía).



La cortina de inyecciones prevista es bilineal con una profundidad de 60 m. El espaciamiento inicial será de tres metros. La cortina de drenaje se compone de drenes de 60 m y 3" de diámetro.

La mezcla propuesta por el USACE contiene 183kg de conglomerante por m³ de hormigón, con un porcentaje (en peso) de cemento y cenizas volantes de 66% y 34% respectivamente. La mezcla se compone de una arena graduada con un mínimo del 5% de filler exento de partículas perjudiciales y tres áridos gruesos, siendo el tamaño máximo de árido 2" (50mm). Esta mezcla base proviene de ensayos realizados previamente y la composición definitiva vendrá determinada por las pruebas en losa de ensayo que se están realizando.

No existe un requerimiento especial de resistencia en el pliego de condiciones pero, como objetivo, se espera alcanzar una resistencia característica a 365 días de 4.600 psi (31 Mpa) a compresión simple y 300 psi (2,1 Mpa) a tracción directa en juntas de tongadas.

Las juntas de bloques se van a ejecutar mediante vibrohincado. Los tapajuntas no están aún definidos, se barajan dos alternativas: tapajuntas internos dobles embebidos en el cuerpo de presa o bien tapajuntas externos tipo "Carpi". La decisión la tomará el cliente después de efectuar pruebas en la losa de ensayo.

3.4. Excavación y desvío del río

La excavación ha sido realizada con medios mecánicos hasta donde ha sido posible y después con el uso de explosivos mediante voladuras controladas. El saneo y tratamiento de las fallas y juntas locales se efectúa con medios mecánicos y, en ocasiones, manualmente. El volumen de excavación alcanza los 175.000 m³.

El desvío del río se efectuará por los dos conductos de 1.500 mm, a través del cuerpo de presa, que conformarán los desagües de fondo. Este desvío es capaz de evacuar un caudal de 32 m³/s.

La ataguía es de tierras, con un volumen de 30.000 cy (27.000 m³), una altura de 50 ft (15 m) y una longitud de coronación de 320 ft (100 m). Su característica principal es que es rebasable ya que no es económico diseñar un desvío que, durante la construcción, permita desviar el caudal de avenida de un período de recurrencia suficiente para estar





Fig. 22. Excavación ladera derecha .



Fig. 23. Excavación ladera izquierda.



Fig. 24. Ataguía. Lámina y manto de gravas para colocación de bloques.



Fig. 25. Ataguía. Manto de bloques y ductos de desvío.

en un umbral de riesgo aceptable. Por ello esta ataguía ha sido diseñada con ambos taludes protegidos mediante bloques de hormigón unidos por cables.

Estos bloques descansan sobre una capa de gravas. Una lámina impermeable se interpone entre el talud de la ataguía y la capa de gravas.

3.5. Fabricación de áridos

La materia prima para la fabricación de los áridos es la diorita, como se ha dicho anteriormente. De la misma se obtienen cinco productos:

- 3 gruesos 3/16''-3/8'' (5-10mm) // 3/8''-3/4'' (10-19mm) // 3/4''-2'' (19-50mm)
- 1 arena 0-3/16'' (0-5mm) para RCC con 4 a 14% de finos

- 1 arena 0-3/16'' (0-5mm) para hormigón convencional con 0 a 5% de finos

La instalación elegida es capaz para una alimentación de 300 t/h y está compuesta de:

- 1 Machacadora de mandíbulas (estimado que trabaje a 210 t/h, el resto hasta 300 t/h por el precribador)
- 1 Molino de Cono (estimado que trabaje a 210 t/h)
- 1 Molino de Impacto de Eje Vertical (VSI) (estimado que trabaje a 250 t/h)
- 1 Criba con 3 mallas: 75 mm, 50 mm y 19 mm
- 1 Criba con 3 mallas. 19 mm, 12,5 mm y 6 mm (realmente se combinan paños de distintas luces en las tres mallas)
- 1 Planta independiente para lavado de arena de 50 t/h



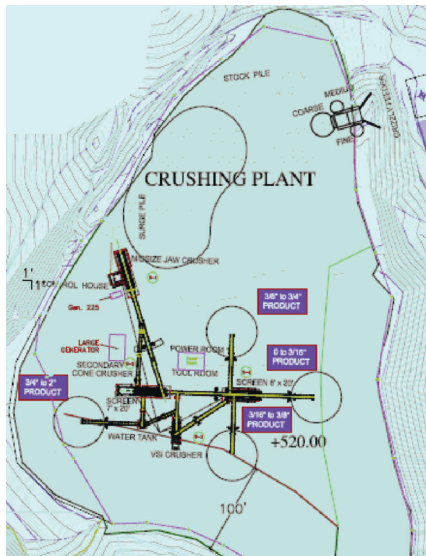


Fig. 26. Esquema de la instalación.



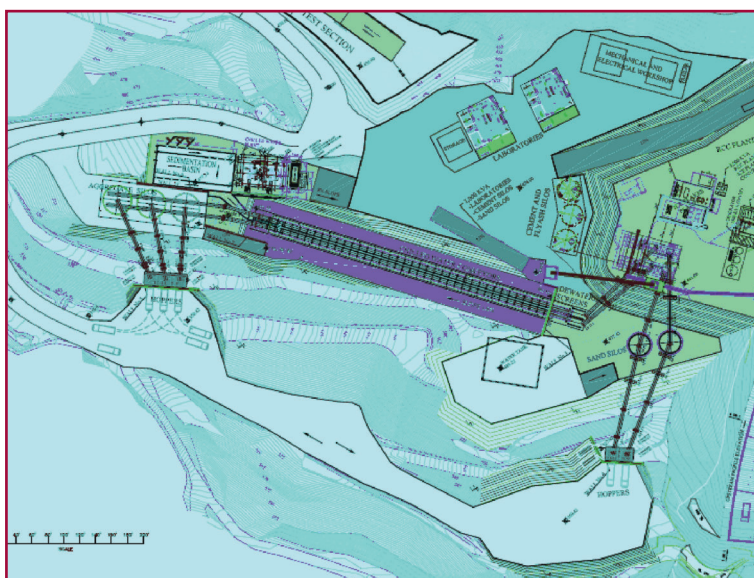
Fig. 27. Vista aérea de la instalación de machaqueo

3.6. Fabricación y puesta en obra del hormigón.

Los dos requerimientos esenciales que dimensionan la planta, aparte del volumen y plazo de fabricación, son el tiempo límite de recubrimiento para junta caliente, que es de 24 horas, y la temperatura media diaria de la mezcla en la colocación, que es 60 ° F (15,6 ° C).

Para alcanzar estos requerimientos se ha diseñado una planta de 250 m³/h provista de enfriamiento de áridos gruesos y amasado con escamas de hielo. Las características principales de sus elementos son:

Fig. 28. Esquema de disposición de la planta y el sistema de enfriamiento.



PLANTA DE HORMIGÓN

- Capacidad 250 m³/h
- 2 amasadoras forzadas de doble eje horizontal de 4 m³
- 2 silos de conglomerante de 70 m³ (divididos por la mitad, pues cada uno tiene que alimentar con cemento y ceniza a una amasadora)

INTALACIONES DE ENFRIAMIENTO

- 2 Wet-Belts: Velocidad 0,4 m/s. Ancho de banda 1.200 mm. Longitud 120 m
- 2 Equipos enfriamiento de agua: 2 x 1.500.000 kcal/h
- 1 Planta de escamas de hielo de 200 t/día

SILOS

- Áridos gruesos: 3 x 1.100 m³
- Arena: 2 x 600 m³
- Conglomerantes: 3 x 1.000 m³

El transporte de la mezcla hasta la presa se va a efectuar mediante cintas ROTEC de alta velocidad y la distribución interna mediante camiones.

Las características de estas cintas son:

CINTAS ROTEC 24''

- Equipo compuesto por 1 cinta de 90' + 5 cintas de 130' = 740' = 225 m





Fig. 29. Disposición de la planta en la margen derecha y la ataguía.

- Para el castillete del estribo izquierdo.: 1 de 90' + 6 de 130' = 870' = 265 m

4. Presa de Tsankov Kamak (Bulgaria)

4.1. Introducción y objeto de la obra

El Grupo FCC a través de su filial ALPINE está finalizando la ejecución de la presa de Tsankov-Kamak para la empresa nacional de electricidad NEK, Natsionalna Elektricheska Kompania, de Bulgaria, Sofía. La obra está situada al sudoeste de Sofía (250 km), cerca de Smolyan, en el macizo montañoso de las Rodhopes fronterizo con Grecia, en el río Vacha y forma parte del complejo hidroeléctrico denominado Dospat-Vacha Cascade.



Fig. 30. Vista general de la presa de Tsankov Kamak en septiembre de 2009.

Con la construcción de la presa se consigue aumentar la capacidad energética del sistema actual un 48%, 188 GWh/año, hasta conseguir 570 GWh/año. La potencia de la planta hidroeléctrica de Tsakov-Kamak es de 85 MW con un salto útil de alrededor de 137 m. Los equipos electromecánicos de la central están suministrados por VA TECH HYDRO GmbH, Viena y el diseño del complejo es de PÖYRY Energy GmbH (Verbundplan GmbH), Viena, con el asesoramiento de G. Lombardi.

La planta de energía hidroeléctrica está designada como un proyecto de reducción de CO₂ dentro del ámbito de aplicación de los mecanismos del Protocolo de Kyoto, lo que permite que parte de la financiación de la obra se realice mediante emisión y transferencia de créditos ambientales a la República

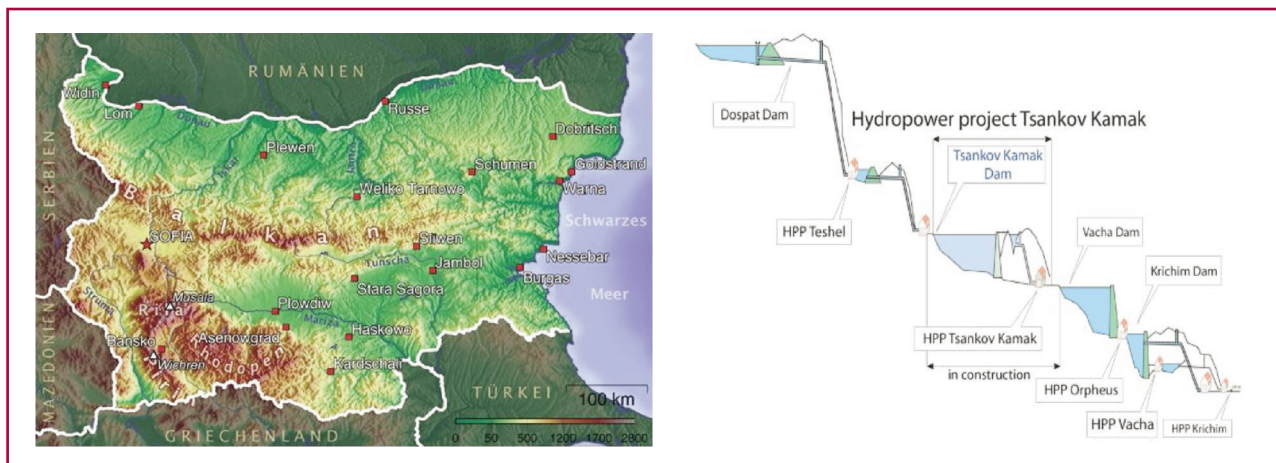
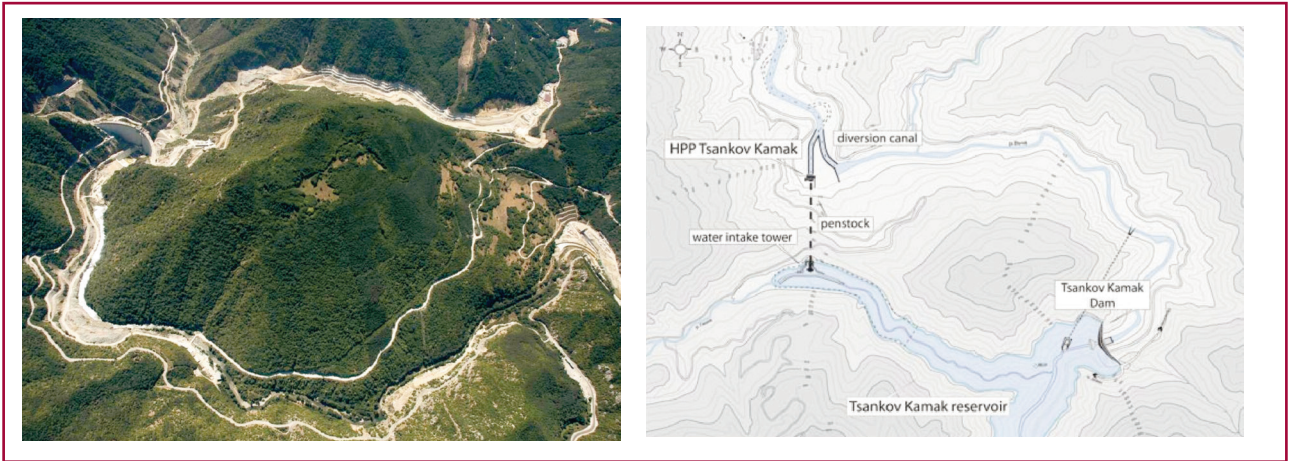


Fig. 31. Esquema del complejo hidroeléctrico Dospat-Vacha de presas en cascada.

Fig. 32. Planta de las obras.



de Austria por reducción de emisiones contaminantes en el extranjero, en virtud de los acuerdos conjuntos establecidos entre ambos países. Se estima que la reducción de CO₂ obtenida es del orden de 200000 T/año.

La principal obra civil de este proyecto es la presa de Tsankov-Kamak con 130,50 m de altura que almacena un volumen de 111 Hm³. Se encuentra ubicada en el propio río Vacha, 400 m aguas abajo de la incorporación del río Gashnya (tributario por la margen izquierda) y cubre una extensión de 3,27 Km², recogiendo una cuenca de 1200 km².

El proyecto incluye la ejecución de la nueva toma, la estación generadora así como el traslado y desvío de la carretera de Devin-Mihalkovo en 19,5 Km.

Otra de las actuaciones llevadas a cabo ha sido el sellado de la zona de conexión con el río Gashnya que se encontraba muy fracturada y karsificada.

También ha sido necesaria la construcción de cuatro túneles de distinta envergadura:

- Túnel de desvío del río Vacha, con 493 m de longitud, para un caudal de 450 m³/s, correspondiente a un período de retorno de 20 años
- Túnel del By-pass provisional de la carretera, con 250 m de longitud
- Túnel de la toma en carga de la central, con 537 m de longitud y de 4400, blindado en acero, para una capacidad de 69,50 m³/s
- Túnel de Lyaskovo en el nuevo trazado de la carretera, con 862 m de longitud y una sección de 62 m²

4.2. Geología

El encaje de la presa se realiza en roca formada por gneiss y esquistos conectados, excepto en las zonas de falla. Existe un banco de calizas karstificadas

Fig. 33. Toma y Central Hidroeléctrica de Tsankov Kamak.





Fig. 34. Sellado en el cauce y taludes del río Gashnya en la conexión con el río Vacha.

en la parte superior del estribo derecho de la presa. El estribo izquierdo es de roca maciza sin alteraciones significativas mientras que en el estribo derecho, la presencia de fallas de cierta anchura y muy meteorizadas hacen necesario un tratamiento especial del apoyo. Todo el material superficial existente, tanto de rellenos en zonas de pendiente como el coluvial o incluso el aluvial del río está formado por meteorización de la roca del entorno, sin apenas transporte, encontrándose bloques de cierto tamaño.

4.3. Descripción de la presa

La estructura de cierre es una bóveda de doble curvatura con 130,50 m de altura desde cimientos, una longitud de coronación de 459 m y una cuerda de 341 m. Los estribos de la presa son de gravedad mientras que el resto del cuerpo de presa tiene una sección optimizada con una anchura máxima en la base de 27,60 m que se reduce hasta 8,80 m en coronación. La sección hori-

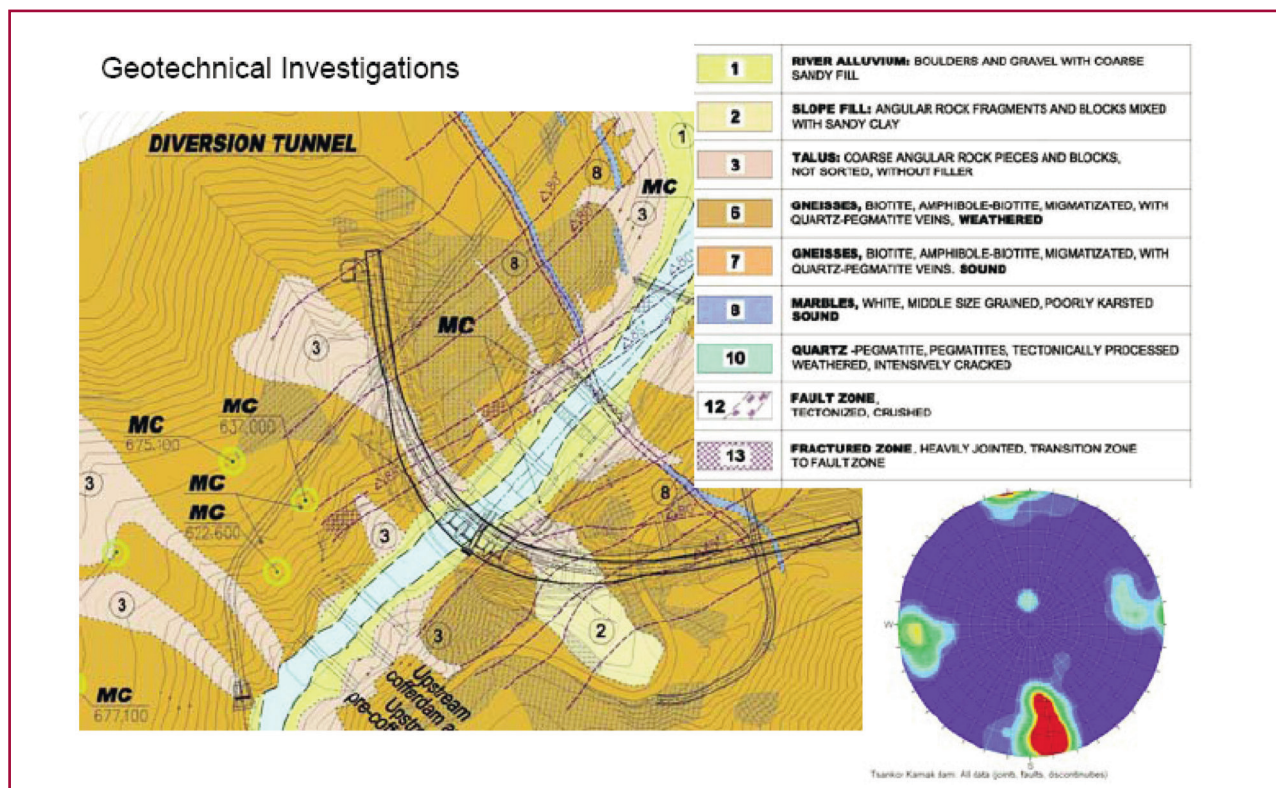


Fig. 35. Planta geológica de la cerrada.

Fig. 36. Planta general de la presa.

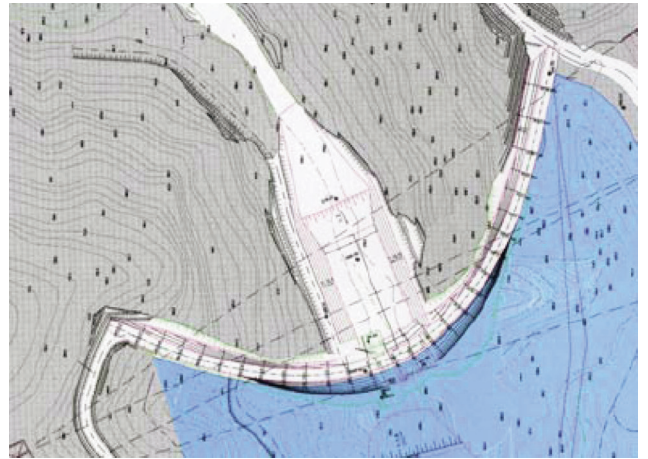


Fig. 37. Bloques y detalle de huecos encofrados para mejora de resistencia a esfuerzo cortante.



August - 2008

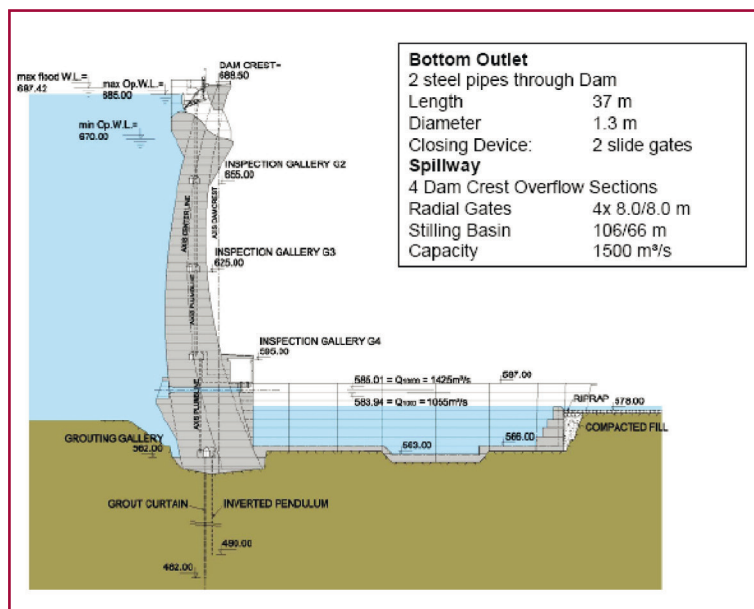


Fig.38. Sección por el aliviadero.

zonal es un arco parabólico de anchura constante.

Para la ejecución de la presa se han dispuesto 22 bloques de desarrollo vertical con huecos de conexión a cortante que eviten desplazamientos relativos entre ellos y con recintos que facilitan la inyección de las juntas, permitiendo el trabajo de la estructura en arco. Como elementos de control se han dispuesto 4 niveles de galerías de inspección a distancias aproximadas de 30 m.

Las cotas máxima y mínima de operación son +685,00 y +670,00 lo que supone un volumen de operatividad de 41 Hm³. El aliviadero dispone de 4 compuertas tipo Taintor radiales, de 8,00 x 8,00. El vertido es directo sobre la cresta hacia un recinto de disipación de energía, diseñado como pozo de erosión.

El dimensionamiento hidráulico de la presa se ha realizado para un caudal de máximo de 1425 m³/s correspondiente a un período de retorno de 10000





Fig.39. Creación de cuenco de disipación de energía para el vertido directo desde el aliviadero.

años, de forma que con las compuertas totalmente abiertas, se alcanza una cota de +687,42 m, dejando un resguardo de 1,08 m hasta la coronación de la presa (+688,50). Los desagües de fondo están formados por doble conducto de f 1300.

En el dimensionamiento estructural se ha tenido en cuenta la alta sismicidad de la zona con una aceleración de cálculo de 0,41x g, correspondiente a un período de retorno de 10000 años. Para el dimensionamiento de la sección se ha empleado una simulación mediante elementos finitos con análisis estático, análisis dinámico y estudio de deformaciones por variación de temperatura. En el proceso constructivo se ha estudiado el calor de hidratación de la mezcla y se ha procedido al enfriamiento del hormigón en las épocas estivales mediante serpentines.

El volumen de hormigón de la presa es de 600000 m³ de los cuales 420000 forman el cuerpo de la presa y el resto se emplea en la construcción del cuenco de disipación de energía. Se han empleado métodos de enfriado en casi la mitad de la producción de hormigón.

4.4. Excavaciones y tratamiento del terreno

En términos generales, los problemas considerados en la cimentación de una presa bóveda son los siguientes: la resistencia de la roca a compresión y esfuerzo cortante, la deformabilidad del macizo, la estabilidad global de los estribos y el drenaje e impermeabilización del terreno.

Para distribuir el esfuerzo y obtener una resistencia adecuada se ha incrementado la superficie de



Fig. 40. Excavación en roca de los estribos de la presa.

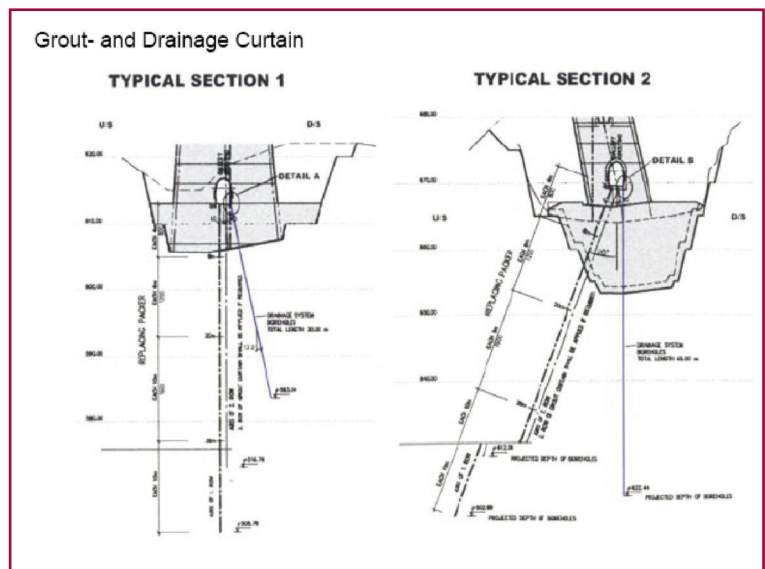


Fig.41. Pantalla de impermeabilización. Inclínada 20° hacia aguas arriba en estribo derecho.



Fig. 42. Presa de Tsankov Kamak a coña de coronación.



apoyo en los estribos y se ha ampliado la profundidad de excavación hasta obtener parámetros de suficiente calidad. En cuanto a la deformabilidad del macizo rocoso, aunque una estructura en arco es hiperestática y admite cierta deformación del cimiento, se requiere un tratamiento de consolidación del mismo para aumentar su módulo de deformación.

Para la consolidación se han empleado mezclas densas con presiones iniciales del orden del doble de la carga hidráulica y se han ejecutado siguiendo

el método GIN con parámetro 2000 (pxV) para evitar la apertura de fisuras del macizo. Esta consolidación permite el sellado de las juntas y fisuras del macizo y contribuye a la estabilidad global de los estribos.

Se establece una pantalla de drenaje y una de impermeabilización. Para ésta última también fue empleado el método GIN con mezcla densa. En la zona del estribo derecho la pantalla se inclina de forma significativa hacia aguas arriba para recoger las discontinuidades transversales del macizo. ♦

Referencias:

1. Presa de Santa Juana (Río Huasco. Chile). Revista de Obras Públicas 1997
2. M. Zapata, J. Márquez, J.L. El embalse de Santa Juana en Chile. Cauce 2000. 1997.
3. G. Noguera, L. Pinilla, L. San Martín, L. CFRD constructed on deep alluvium. J. Barry Cooke Volume Concrete Face Rockfill Dams. Beijing. 2000.
4. F. Rodríguez-Roa, L. Alvarez, L.Vidal. Presas de materiales sueltos con pantalla de hormigón cimentadas sobre suelos de origen fluvial. Simposio sobre Geotecnia de presas de materiales sueltos. Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. 1993.
5. J. Polimón, F. Abadía, E. Bofill y A. Capote. Spanish dam engineering worldwide. Hydropower & Dams 2006.
6. J. Polimón, A. Capote, F. Abadía. Ingeniería de Presas en el Extranjero. Revista de Obras Públicas 2007.
7. J. Polimón, A. Capote, F. Abadía. Las Presas en España, Capítulo 24: Ingeniería Española de Presas en el Extranjero. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos 2008.
8. M. N. Ingenieros Ltda. Proyecto Embalse El Bato. 2003.
9. A. R. Martino, M. Meza, A. Capote, F. Lorenzo. Tratamientos del terreno en la Presa de El Bato (Chile) cimentada sobre aluvial permeable. VII Jornadas Españolas de Presas 2008.
10. R Kohler & G Zenz. Análisis and Monitoring of Tsankov Kamak Arch Dam.
11. Gerald Zenz. Graz University of Technology. Ljubjana Nov 2008. Large Dams, Design, Construction & Performance.
12. PÖYRY GmbH. Tsankov Kamak Hydro Power Plant. Guideline Design.
13. Alpine GmbH. HPP Tsankov Kamak. Technical Report.
14. Dr G Lombardi. Tsankov Kamak Dam.
15. Tunnelling at Tsankov Kamak. Water Power July 2006