

Conclusiones del comportamiento de la presa “Constitución” a casi 30 años de operación.

“Constitución” dam behavior conclusions after 30 years of operation

Julio C. Patrone¹

Recibido: Mayo 2010

Aceptado: Septiembre 2010

Resumen.- La Presa y Central Hidroeléctrica “Constitución” (Palmar), constituye el tercer escalón en el aprovechamiento hidroeléctrico del río Negro. Fue construida entre 1978 y 1981, y tras el llenado de su embalse, pasó a ser operada y mantenida por UTE, quien también es su propietaria. La obra fue diseñada con los criterios típicos de la década de 1970, por la consultora brasileña Engevix. Consta de dos diques laterales de materiales sueltos y en la parte central, se cierra con una presa de gravedad de transición, el aliviadero y la casa de máquinas. La altura máxima es de 40,00 metros. El subsuelo corresponde a los niveles menos alterados en el sitio de la Formación Arapey (basaltos). Las obras están dotadas de un sistema de instrumentación incorporado desde el proyecto, siendo el primer caso de una solución de este tipo en Uruguay. Al disponer de una serie histórica de mediciones de casi 30 años, se procura resumir el comportamiento observado, en busca de establecer también algunas reflexiones sobre los parámetros críticos a controlar en este tipo de obras, y ejemplificar con el auxilio de algunos modelos de comportamiento, utilizados con éxito en este caso, por ejemplo en la predicción de asentamientos y niveles piezométricos.

Palabras clave: presa-comportamiento-proyecto-instrumentación-predicción.

Summary.- The Constitución Dam and Power Plant is the third stage in the global hydroelectric development of the Negro River. The dam was built between 1978 and 1981, and after the first impounding of the reservoir, started being operated and maintained by UTE, who is also his owner. The dam was designed according to the typical criteria of the '70s, by a Brazilian consulting firm. The main structures are two embankment dams, and in the central zone, a concrete gravity dam, the spillway and the power-house. The maximum height is 40 m. The dam was founded on the less altered levels of the basalts (geologically “Formación Arapey”). The structures, both, embankment and concrete dam, disposed of a complete instrumentation system, included in the original project. This was the first dam with this kind of solution in our country. This article is dedicated to describe the observed behavior after 30 years of instrumentation data. Also it presents some ideas about the critical parameters which summarize in a better way the control of the dam. Finally, the paper suggest the use of some models to predict settlements and piezometers levels, which have been applied successfully in this case.

Key words: dam- behavior-project-instrumentation-prediction.

1. Introducción.- La Presa y Central Hidroeléctrica “Constitución” (Palmar), constituye el tercer escalón en el aprovechamiento hidroeléctrico del río Negro (Uruguay). Fue construida entre 1978 y 1981, por la Comisión Mixta de Palmar, posteriormente al llenado de su embalse,

¹ Ing. Civil, Docente de Mecánica de Suelos (Universidad de Montevideo), (Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE).: jpatrone @ute.com.uy)

pasó a ser operada y mantenida por la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE), quien también es su propietaria.

La obra fue diseñada con los criterios típicos de la década de 1970, por la consultora brasileña Engevix [1]. Consta de dos diques laterales de materiales sueltos y en la parte central o lecho del río, se cierra con una presa de gravedad de transición, el aliviadero y la casa de máquinas. La altura máxima es de 40,00 metros.

El subsuelo de fundación corresponde a los niveles menos alterados en el sitio de los basaltos de la Formación Arapey

Las obras están dotadas de un sistema de instrumentación incorporado desde el proyecto, siendo el primer caso de una solución de este tipo en Uruguay.

Los diques de materiales sueltos están conformados por una sección zonificada con núcleo de arcilla compactada, drenes y filtro chimenea y espaldones de arenisca. Los taludes tienen una protección original de escollero basáltico, la que aguas arriba, a posteriori, fue complementada con material granítico. Las obras de hormigón están articuladas por módulos estructurales independientes, y disponen de galerías de inspección a diferentes niveles, tanto en la toma de agua como en el aliviadero.

Al disponer de una serie histórica de mediciones de casi 30 años, se procura resumir el comportamiento observado, en busca de establecer también algunas reflexiones sobre los parámetros críticos a controlar en este tipo de obras, y ejemplificar con el auxilio de algunos modelos de comportamiento, utilizados con éxito en este caso, por ejemplo en la predicción de asentamientos y niveles piezométricos.



Figura 1.- Vista general de la presa

2. Características generales de las obras.- La Presa y Central Hidroeléctrica “Constitución” (Fig. 1) fue construida entre 1978 y 1981 en el paraje denominado “Paso de Palmar”, 157 km aguas arriba de la desembocadura del río Negro en el río Uruguay, a 295 km de la ciudad de Montevideo. El embalse así creado cierra una cuenca total de 62950 km², comprendidas las subcuencas de Gabriel Terra (Rincón del Bonete) y Rincón de Baygorria, las dos presas situadas aguas arriba sobre el propio río Negro. Dicha superficie es del orden de la tercera parte del territorio del país. El volumen embalsado a nivel normal de operación (40,00 m s.n.m) es de 2854 hm³.

La presa es del tipo tierra-enrocamiento. Está conformada [1] por dos diques laterales de materiales sueltos, uno sobre cada margen, de sección transversal zonificada, en base a un núcleo central de arcilla limo-arenosa compactada, de color pardo oscuro, con un alto grado de compactación. Los espaldones están conformados por arenisca de la denominada Formación "Guichón" y un sistema de filtros y dren chimenea para alivio de las presiones intersticiales, que protegen el núcleo en toda su altura. La formación Guichón esta compuesta por sedimentos de granulometría fina, con bajo grado de redondeamiento y gran cantidad de carbonato de calcio diseminado en toda la roca, por lo que su conductividad hidráulica es relativamente baja .

La protección mecánica contra el oleaje fue resuelta inicialmente con un enrocamiento tipo "rip-rap" basáltico tanto del lado aguas arriba como en el talud de aguas abajo (Fig. 2). Del lado aguas arriba, el enrocamiento protege al núcleo a través de una transición granulométrica, que oficia como filtro invertido. La fundación se realizó generalmente sobre roca basáltica, excepto en la zona próxima al estribo de margen derecha, donde debido a la menor altura de presa y embalse fue posible disminuir las excavaciones de fundación apoyando directamente sobre sedimentos aluvionales, más superficiales. En algunas secciones tuvo que disponerse una zanja interceptora o "cut-off" para el control de filtraciones por las discontinuidades entre coladas basálticas. La formación Arapey, presenta en el lugar, hasta la fundación de la presa, 4 coladas, diferenciándose en la coherencia y alterabilidad, así como de sus características hidráulicas y mecánicas.

Las características del basalto de fundación corresponden a la segunda colada y esta constituido por un basalto denso microamigdaloido. La altura máxima es de 40,00 m. sobre la fundación.

Hacia el lecho del río se ubican la casa de máquinas y el vertedero. La primera cuenta con tres turbinas Kaplan de eje vertical, equipadas para un caudal nominal de 458 m³/s por máquina y una potencia total instalada de 333 MW. El vertedero cuenta con 8 vanos, que se cierran mediante compuertas radiales, capaces de evacuar hasta la crecida de frecuencia decamilenaria (19000 m³/s). Todas estas estructuras así como los módulos de hormigón de transición con los diques de tierra están fundadas en el basalto de la Formación Arapey.

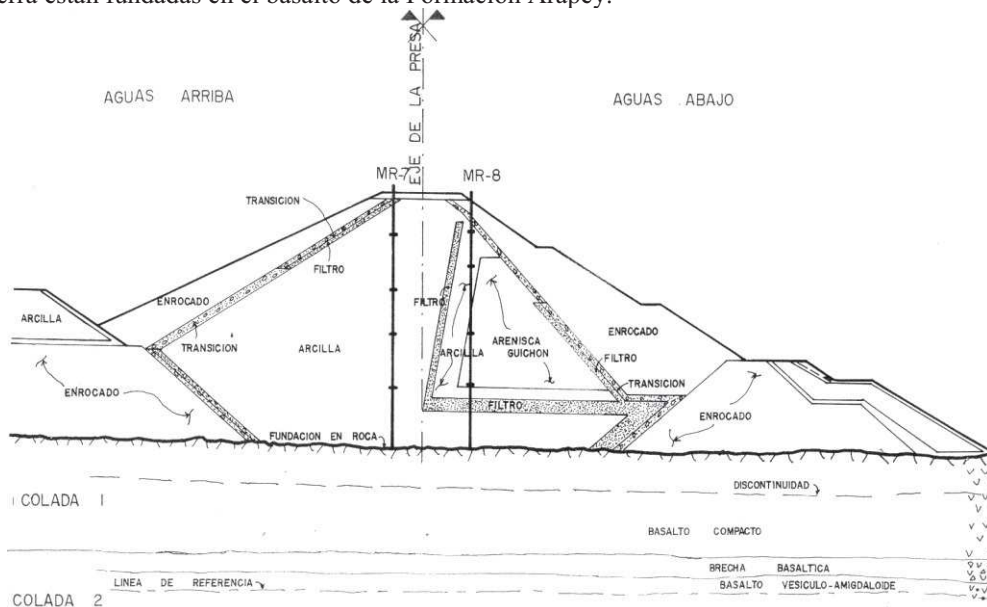


Figura.2 Instrumentación típica de las obras de tierra.

3. El sistema de instrumentación.- La Presa cuenta con un sistema de instrumentación incorporado desde la construcción, concebido junto con el proyecto [1]. Constituye así el primer ejemplo de este tipo en Uruguay. Su concepción resulta similar a las empleadas en la década de 1970 en varias presas de la región, particularmente en Brasil.

3.1 Diques de materiales sueltos.- En los diques laterales fueron instrumentadas 9 secciones: 6 en la margen derecha (que tiene 1400 m de longitud) y 3 en la margen izquierda (380 m de longitud). Los tipos de instrumentos allí instalados fueron los siguientes:

- Piezómetros: de tubo abierto, tipo Casagrande, en el cuerpo de la presa (núcleo, filtro, drenes y espaldones) y en la fundación; de circuito cerrado, tipo neumático, por inyección de nitrógeno y lectura en caseta de medición centralizada por sectores, en lugares donde la lectura con piezómetros abiertos no fuera accesible y también en ocasiones junto a aquellos para contraste de lecturas.
- Medidores de nivel de agua: también denominados piezómetros totales, ubicados al pie del espaldón de aguas abajo, para control del nivel freático.
- Células de presión total: dispositivos neumáticos, instalados en recesos en el hormigón del muro de separación con el vertedero, para medir las presiones ejercidas por el relleno sobre dicha estructura.
- Medidores de asentamiento: dispuestos durante la construcción de los terraplenes, en base a un tubo telescópico y placas solidarias a los tubos concéntricos, que miden los desplazamientos de las capas de terraplén con respecto al tubo central anclado en el basalto, según un modelo desarrollado por el Instituto de Pesquisas Tecnológicas de San Pablo.
- Marcos de dislocamiento superficial: referencias para nivelación de precisión instaladas en el coronamiento y bermas estabilizantes del talud de aguas abajo.
- Vertedero de medición de filtraciones : canaleta situada al pie del talud aguas abajo que recoge las filtraciones del cuerpo de presa y fundación y permite su aforo totalizador mediante un vertedero triangular.

3.2 Módulos de hormigón.-En tanto, en las obras de hormigón, fueron instrumentados 4 módulos del vertedero, así como los módulos de Toma de Agua y Casa de Máquinas, todos a partir de sus respectivas galerías de inspección, próximas al contacto hormigón-roca (Fig. 3).

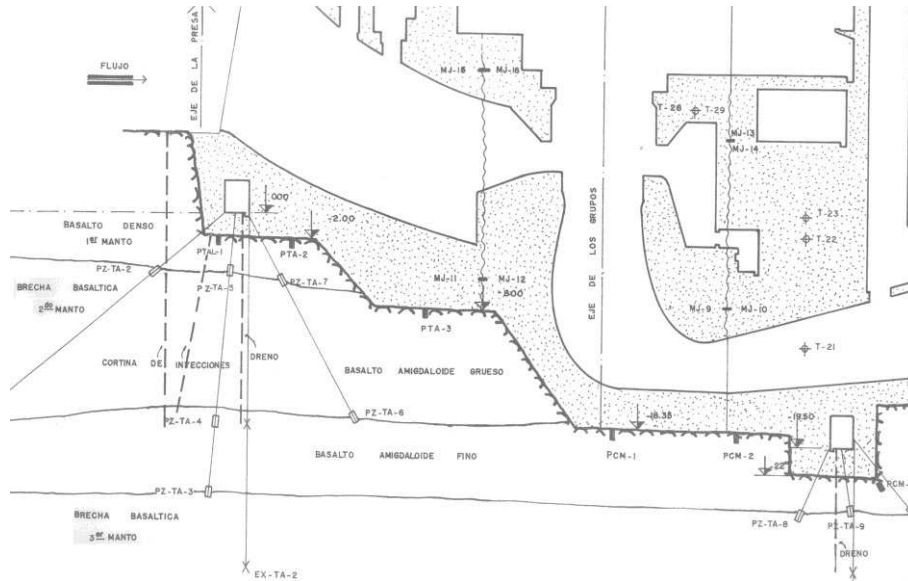


Figura. 3 Instrumentación típica de las obras de hormigón.

Los instrumentos instalados fueron los siguientes:

- Piezómetros: en las fundaciones de las obras, y en discontinuidades entre coladas basálticas mediante dispositivos de circuito abierto : piezómetros múltiples, con medición mediante sonda a contacto eléctrico o manómetro; y de circuito cerrado de tipo hidráulico en el contacto hormigón-roca, con lectura centralizada en paneles de control dotados de manómetro o vacuómetro.
- Extensómetros de astas: cada uno consta de 2 o 3 barras ancladas en la roca a distintas profundidades para detectar eventuales desplazamientos de la estructura respecto al punto de anclaje. Algunos fueron instalados verticales y otros inclinados unos 50 grados hacia aguas arriba o aguas abajo. En el cabezal, a nivel de la galería, los movimientos relativos de las barras son controlados por micrómetros.
- Referencias de nivelación de precisión: instaladas en la Sala de Máquinas, así como en las galerías de control bajo la Toma de Agua, la Casa de Máquinas y el Vertedero.
- Medidores triortogonales: utilizados para medir desplazamientos relativos entre módulos estructurales en las tres direcciones, en las juntas de dilatación, sobre las paredes de las galerías. La lectura se realiza también mediante micrómetros.
- Péndulos: de tipo directo, según modelo Electricité de France, y lectura en dos direcciones, fueron colocados en el Módulo 9 del vertedero y el Módulo 3 de la presa de gravedad de transición.
- Termómetros: de resistencia, instalados en el hormigón del vertedero, casa de máquinas y presa de gravedad de transición.
- Clinómetros ópticos: bases para lectura con dispositivos “Huggenberger” en posición vertical, dispuestas en paredes de las galerías de control.

- Medidores eléctricos de juntas: instalados en la Casa de Máquinas, durante la construcción, para controlar la evolución de las juntas entre fases de hormigonado.

Asimismo en todas las galerías de control, fueron ejecutadas dos cortinas de perforaciones de drenaje para alivio de las subpresiones en la fundación. Se trata de drenes verticales, de 3 de longitud y 3" de diámetro en la roca desnuda y entubados en el piso de la galería. En la galería de aguas arriba se perforaron 121 drenes y en la de aguas abajo 90. Todos los drenes son aforados individualmente a su salida.

También se efectuaron inyecciones de cemento al pie aguas arriba de la presa.

Tras la etapa inicial de llenado del embalse y durante el período de operación normal de la obra, se adoptaron frecuencias básicas de medición de estos dispositivos. En general se midieron mensualmente todos los instrumentos, excepto los de control de filtraciones, que tuvieron frecuencia quincenal. Los relevamientos microgeodésicos tuvieron en tanto una frecuencia básica semestral.

4. El comportamiento observado.- Nos referiremos aquí al comportamiento registrado por los diferentes dispositivos de medición, desde su instalación y particularmente a partir del llenado del embalse, en noviembre de 1981.

Se debe agregar que conjuntamente con las rutinas de instrumentación se implementaron programas de inspecciones visuales en todas las obras, a partir de un relevamiento sistemático mediante checklist (fichas de inspección) realizado por el personal encargado de la instrumentación en paralelo con las tareas de medición.

Con el conjunto de los resultados de instrumentación, nivelaciones e inspección se elaboran los informes de situación que describen el comportamiento observado en las diferentes estructuras auscultadas.

Dichos informes fueron inicialmente más frecuentes y en la actualidad tienen, en condiciones normales de operación una frecuencia del orden de dos años.

4.1 Diques laterales de materiales sueltos.- A partir del llenado del embalse, se comenzó a observar el deterioro de los bloques de basalto utilizados en la protección de los taludes (Fig. 4). El fenómeno fue atribuible a dos causas básicas: la calidad del material basáltico, que no fue capaz de soportar las exigencias derivadas de la acción del agua del embalse y los agentes climáticos; y algunos defectos en la colocación de los bloques, donde en ocasiones se mezclaron fragmentos de diferentes tamaños: al no quedar en contacto los de mayor volumen, cuando la acción del agua removía las fracciones menores se producían deslizamientos.



Figura. 4 Deterioro de protección rocosa basáltica

La calidad del material basáltico para enrocamientos fue casi al mismo tiempo factor de preocupación en otras presas de la región, donde se dieron situaciones similares; sin embargo la inexistencia, en aquel momento, de una rutina de ensayos de laboratorio probados fue una limitante muy importante en la evaluación de materiales con este fin.

Esta situación provocó que el material basáltico fue aumentando su grado de alteración, siendo necesario realizar medidas compensatorias. No obstante, en ningún momento se observó riesgo alguno para la seguridad de la presa por esta causa. [2] En efecto, en paralelo con la inspección del enrocamiento y la programación de las tareas para su mantenimiento, se realizó un seguimiento detallado de la evolución de niveles piezométricos en el núcleo así como de los asentamientos de todos los terraplenes. (Fig. 5 y 6). En tal sentido, los niveles piezométricos en el cuerpo arcilloso del núcleo, se mostraron en general compatibles con los previsibles, luego de superar los ascensos iniciales correspondientes a la etapa de saturación gradual motivada por el primer llenado.

En cuanto a los asentamientos, se cotejaron los resultados obtenidos por las placas superiores de los medidores de asentamiento y las nivelaciones de precisión obteniéndose en general resultados coherentes. Sin embargo, cabe observar que por ambos métodos se observaron asentamientos diferenciales, mayores en las secciones ubicadas en las progresivas 770 a 1400 m del dique de la margen derecha, donde a su vez los terraplenes son más altos. Las diferencias eran a su vez visibles en el “guard-rail” de la carretera y mostraban descensos más notorios en las proximidades de los medidores. Se descartó la posibilidad de una transferencia de carga desde el núcleo hacia los espaldones (tanto de aguas arriba como de aguas abajo) en la parte superior de la presa. En efecto, en tal hipótesis, el efecto de arqueo hubiese creado condiciones favorables a la figuración del núcleo y la aparición de filtraciones, todo lo cual no era registrado ni por los piezómetros ni por el aforo a pie de presa.

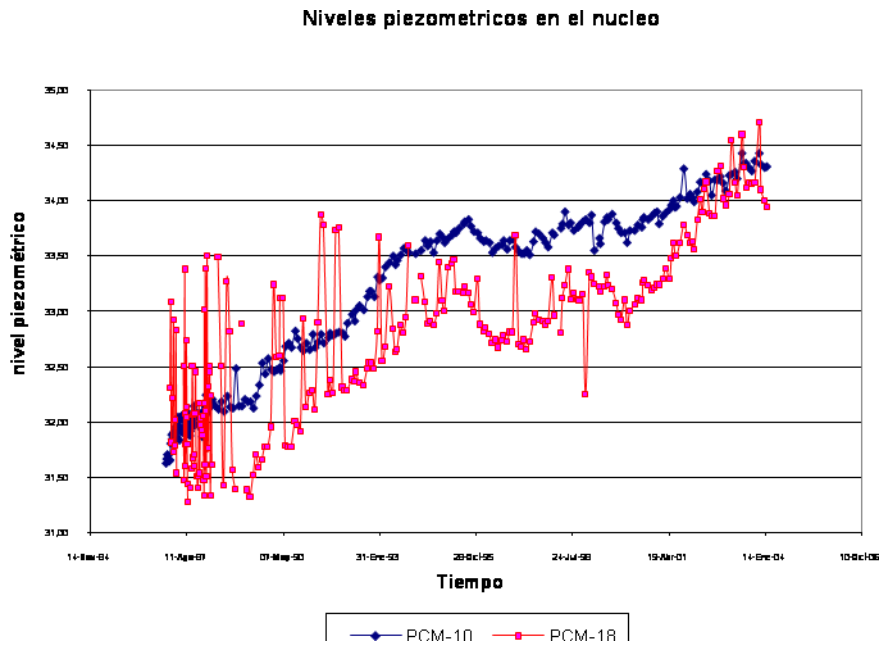


Figura 5

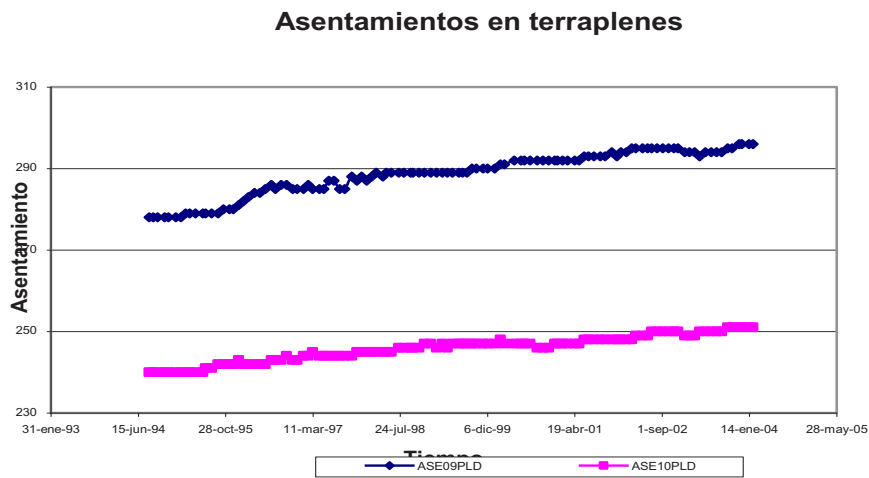


Figura 6

Con el paso del tiempo estos descensos fueron disminuyendo y las mediciones posteriores mostraron una clara tendencia a la estabilización.

El comportamiento observado se atribuyó [2] en parte a la metodología constructiva de la presa, efectuada en diferentes etapas y a la construcción de ataguías en el sentido del flujo; asimismo a la dificultad de compactación en el lugar de las placas de asentamiento, en secciones además muy instrumentadas, donde se emplearon equipos manuales.

Las mediciones realizadas muestran asentamientos específicos totales en promedio del orden de 2,1%, el que es superado en la zona de mayor altura. Los asentamientos post-construcción son del orden del 50% de los medidos durante la construcción. Los mayores ocurrieron en las secciones situadas en las progresivas 770 y 1050 del dique de margen derecha, lado de aguas arriba.

En la actualidad, los asentamientos se han reducido a valores mínimos compatibles con el proceso de consolidación secundaria del núcleo arcilloso.

Como consecuencia, el deterioro de la protección rocosa de aguas arriba, fue resuelto con el reemplazo de fragmentos (inicialmente con el basalto menos alterado, remanente de la obra) y un adecuado procedimiento de colocación, tratando de evitar que fracciones de roca muy pequeñas, quedaran en los huecos entre los fragmentos de mayor volumen. A su vez se procuró que no quedasen espacios descubiertos entre bloques, que facilitarían el progreso de la erosión.

Tras esa etapa, se decidió la explotación de un yacimiento de material granítico, de relativa proximidad al sitio de la presa, que permitió el suministro de fragmentos de mucha mejor calidad, los que fueron colocados como capa final de protección del talud de aguas arriba en ambos diques laterales (Fig. 7).



Figura 7 Vista general del yacimiento de material granítico

Este granito a biotita, es de grano medio a grueso, con fenocristales de feldespato potásico, sin alteraciones visibles. El afloramiento se expresaba en forma de “caos de bloques”, en formas redondeadas, de aprox. 2 m de diámetro. El método de extracción consistió en el descalce manual de los bloques y en caso de tamaño muy grande en el corte de los mismos una vez extraídos a efectos de no propagar los planos de debilidad del material.

4.2. Obras de hormigón.- Tras el llenado del embalse, el conjunto de los instrumentos instalados comenzó a mostrar el comportamiento previsible. En particular, los piezómetros instalados en las galerías de aguas arriba, y más próximos al embalse, registraron el efecto de las variaciones de nivel de éste, francamente amortiguadas para aquellos situados aguas debajo de la cortina de inyecciones de cemento y de la cortina de drenaje, índice de sus respectivas eficiencias.

Este comportamiento fue observado tanto a nivel del contacto hormigón-roca como en las discontinuidades entre coladas basálticas instrumentadas con piezómetros. En forma similar respondieron las perforaciones de drenaje, observándose una estrecha relación entre los caudales drenados en la cortina de aguas abajo y los niveles de restitución.

El efecto más notorio que resultó del seguimiento de la operación de la presa en estos sectores, durante el período de observaciones, fue la lenta pero persistente tendencia de reducción de los caudales drenados en ambas cortinas. (Fig. 8).

La preocupación inicial se asoció con una eventual pérdida de la capacidad de alivio de los drenes por carbonatación en las proximidades de las bocas de salida o directamente en las paredes de las perforaciones. No obstante ser éste un proceso esperable, no existían signos de carbonatación visibles, a nivel de las bocas de salida.

A ello se ha sumado la evidencia que los niveles piezométricos en la fundación no registraron tendencias ascendentes y que por otro lado son en general muy bajos. Tampoco se han observado otras consecuencias vinculadas a un eventual aumento de las subpresiones, como por ejemplo en los desplazamientos medidos con extensómetros o nivelaciones de precisión.

En consecuencia se ha concluido [2] que el descenso de los caudales de drenaje a lo largo del tiempo responde a un beneficioso efecto de colmatación por arrastre de finos que lentamente sellan las microfisuras la roca y del contacto, disminuyendo así la permeabilidad de la fundación.

Caudales drenados

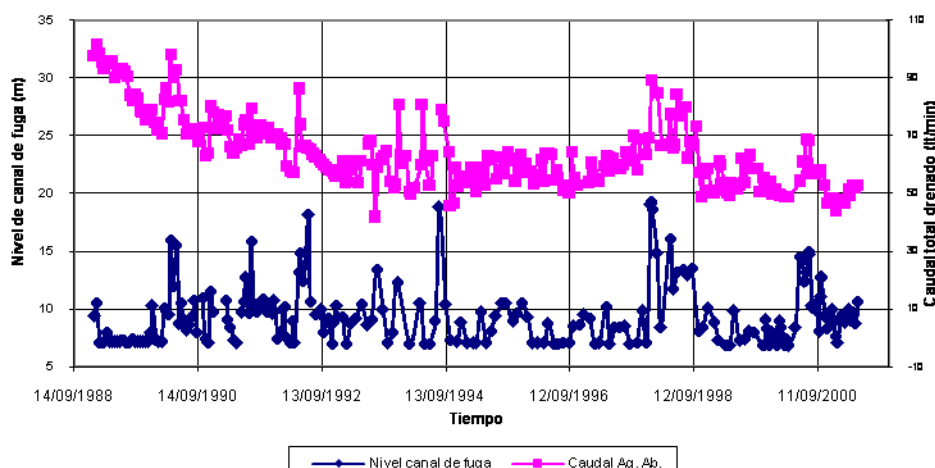


Figura. 8

5. El desempeño de la instrumentación instalada.- Luego de este período de observaciones, y durante su transcurso, fue posible extraer algunas conclusiones interesantes respecto de los instrumentos dispuestos en la obra. En general se ha confirmado la opinión generalizada en cuanto a la validez y utilidad de los instrumentos de lectura más sencilla y directa y cuyos resultados son más fácilmente trasladables a valores de ingeniería. Se trata, como es usual decir, de establecer un conjunto de instrumentos indicativos del comportamiento.

En ese sentido se destaca una experiencia muy favorable con los piezómetros de tubo abierto, freáticos y perforaciones de drenaje; asimismo en la medición de desplazamientos, se registra un exitoso desempeño de los medidores de asentamiento y los extensómetros de astas, junto a los péndulos y a los medidores triortogonales de juntas.

Con respecto a los piezómetros de circuito cerrado, la mayoría de los neumáticos han funcionado razonablemente bien, aún cuando por la naturaleza del sensor y las tuberías de alimentación y retorno no parecen ser el dispositivo más adecuado para medición de presiones de poro en núcleos arcillosos compactados. Incluso, en aquellos dispositivos que han registrado un buen

desempeño, el tiempo de retardo de la instalación es importante y puede provocar interpretaciones iniciales erróneas.

En cambio, las células neumáticas de presión total debieron ser abandonadas. Su mal funcionamiento, atribuible a un fenómeno de arco, no es novedoso, dado que se registran experiencias negativas similares.

Los piezómetros hidráulicos, se han mantenido dentro del programa, pero relativizando sus resultados, muy afectados por las laboriosas tareas de desaereación del circuito.

En relación a los relevamientos microgeodésicos, se han mantenido las nivelaciones de precisión del coronamiento de los diques de tierra, aunque más espaciadamente. La frecuencia básica actual es anual en todos los casos.

Se ha tenido en cuenta para ello la favorable evolución durante estos años de todos los parámetros de desplazamiento vigilados.

En resumen los instrumentos que se han considerado indicativos, tras 20 años de servicio y cuya lectura forma parte del programa básico de instrumentación son los siguientes [3] :

- Para los diques de materiales naturales: piezómetros de tubo abierto y neumáticos en el cuerpo de la presa (núcleo, espaldón, filtro y dren) y en la fundación (contacto y discontinuidades); medidores de asentamiento, nivelación del coronamiento y aforos y freáticos a pie de presa.
- Para las obras de hormigón: piezómetros de tubo abierto e hidráulicos, extensómetros verticales (de anclaje profundo), medidores triortogonales de juntas, péndulos, nivelaciones de precisión de galerías, y aforo individual del sistema de drenes de ambas cortinas.
- Por otro lado se han priorizado secciones más indicativas donde en condiciones particulares de embalse-río puede incrementarse la frecuencia de medición, tanto en los diques de tierra como en las obras de hormigón.

6. Los modelos de comportamiento.- En el transcurso de esta etapa de la vida útil de la obra fue preciso encontrar, probar y definir, las referencias que sirvieran al operador para conocer los márgenes de seguridad de las estructuras en todo tiempo.

Estas condiciones muchas veces vienen dadas por los denominados “valores de proyecto”, que en definitiva constituyen la base primaria de toda evaluación de seguridad.

No obstante, en general esos valores constituyen umbrales de alarma dado que provienen del criterio a menudo conservador implícito en el proyecto de obras de esta magnitud.

Por ello, resultó de particular relevancia estudiar límites de comportamiento que pudieran informar sobre umbrales de alerta previos.

En los diques de materiales sueltos de Constitución se plantearon así dos modelos de comportamiento.

Para el control y la previsión de asentamientos futuros se desarrolló un modelo estadístico-regresivo (asentamientos vs. logaritmo decimal del tiempo), sobre la base de que superado los dos primeros años posteriores al llenado, el cuerpo de la presa entraba en fase secundaria o viscosa, tras agotarse el fenómeno hidrodinámico de la fase primaria de consolidación de la

arcilla. Las ecuaciones planteadas, extrapoladas, permitieron prever con mucha precisión los asentamientos a alcanzar en los años sucesivos.

En cuanto a los niveles piezométricos, también se desarrolló un modelo estadístico de correlación, que par el estado de régimen establecido, permitió vincular el nivel piezométrico en un punto, con los niveles aguas arriba y aguas abajo, en función de un coeficiente característico de la ubicación geométrica del instrumento. Esto permitió definir valores medios esperables, máximos y mínimos en cada caso.

Para las obras de hormigón, se trabajó en base al criterio de valores límites operativos. Es usual considerar una serie de al menos 5 años, durante los cuales la presa ha operado en condiciones normales. De la serie histórica respectiva, fue posible definir para cada instrumento, valores máximos y mínimos, periódicamente reevaluados, que ofician como primera referencia para el observador.

7 Conclusiones.- La Presa “Constitución” ha presentado durante sus casi primeros 30 años de operación un comportamiento satisfactorio, deducido del conjunto de datos aportado por la instrumentación instalada, incorporada a la obra desde su concepción. Las inspecciones visuales, como parte integrante del programa de auscultación, han colaborado eficazmente en el control de la seguridad.

El deterioro acentuado de la protección rocosa de los taludes de los diques laterales, no comprometió en momento alguno la seguridad de la obra. La auscultación de la misma permitió descartar el desarrollo de todo fenómeno ulterior.

La solución adoptada, destaca la necesidad de utilizar no solamente materiales de calidad adecuada sino también de verificar el proceso de colocación de los fragmentos de roca.

Los instrumentos instalados han sido en su gran mayoría de utilidad y pueden considerarse como muy confiables y representativos de los parámetros medidos [3] .

El comportamiento observado en los diques de tierra, se corresponde hidráulicamente, con el proceso de saturación del núcleo y en materia de asentamientos, con el pasaje del período primario al secundario de consolidación de la arcilla. Ello permitió definir modelos de previsión de niveles piezométricos, asentamientos y valores límites operativos de referencia.

En el subsuelo de las obras de hormigón, a partir del estado de colmatación de las vías de infiltración, también fue posible determinar valores límites de la piezometría y los desplazamientos.

Estos criterios permitieron formular un seguimiento exhaustivo de los valores instrumentales considerados críticos en las diferentes etapas de vida de la obra y a la vez asesorar sobre los márgenes de seguridad en todo tiempo.

8. Referencias

1. Engevix S.A., Aprovechamiento hidroeléctrico del río Negro en la zona de Palmar. Criterios generales de Proyecto. Revisión 3, 1979.
2. Ismes S.p.A, Aprovechamiento hidroeléctrico del río Negro. Asesoramiento en Auscultación e Instrumentación de Grandes Presas. Informe Final, 1995.
3. Ismes S.p.A, Aprovechamiento hidroeléctrico del río Negro. Procedimientos de control e interpretación de resultados. Informe Final, 2007