

10. CONCLUSIONES

A) En la fase de procesamiento de información del registro instrumental de la presa Pantágoras, se encontró dentro de los registros valores atípicos que sobrepasan las capacidades nominales de los dispositivos de medición. La primera conjetura fue la de contar con ecuaciones de transformación erróneas pero dadas las repetidas revisiones del personal de ISAGEN, sumado al comportamiento de los registros que exhiben lapsos de normalidad; el problema puede residir en la “apertura” del circuito eléctrico durante la medición, ya sea en los dispositivos propiamente dichos o en los termisores para corrección por temperatura, siendo estas las únicas fuentes de este tipo de error citadas por *GEOKON* fabricante de los dispositivos piezométricos instalados en el proyecto.

De acuerdo con esto, para la etapa de depuración por anomalías atribuibles a dicha causa deberá de involucrarse la empresa proveedora de los equipos o personal con experiencia particular en este tipo de dispositivos, antes de incorporar la parte ingenieril de interpretación de registros.

B) Aunque parezca obvio, se recomienda para la presentación gráfica de los registros instrumentales la depuración previa de los datos. Las series utilizadas en este documento parecían inservibles sin la depuración por efecto de enmascaramiento de las anomalías. Así mismo se sugiere que la depuración se realice en períodos menores a las anualidades, pues se ha visto al menos en el tema de presiones piezométricas que año a año el comportamiento difiere, siendo prudente subsanar las lecturas que corresponden a un mismo patrón antes de ver el panorama completo del registro.

C) El tratamiento estadístico que se le dé a los registros instrumentales para su depuración debe ser sencillo, para facilitar su utilización, más aun

considerando el volumen de información disponible. Para ello se recomienda subdividir las series de cada variable por clústeres correspondientes a determinados rangos de variación de los niveles de embalse y separar los valores que se alejan significativamente del valor medio de cada clúster.

Este tratamiento se justifica porque en general los valores atípicos de las series que no obedecían a problemas de dispositivos, se encontraban dispersos a lo sumo dos desviaciones estándar (dentro del 95% de los datos centrados de una distribución normal) considerando la totalidad de la serie, pero los análisis por clúster demostraron que aunque eran valores numéricamente correctos para toda la serie, estadísticamente no correspondían a la zona muestral donde se presentaban.

D) Si bien el proyecto se encuentra en correcta operación, es importante rescatar los registros instrumentales de años pasados. Las series actuales en su mayoría son alentadoras, pero es necesario tener disposición de la historia pasada de cada variable para evaluar la actualidad considerando el comportamiento a través de toda la vida del proyecto, de esta forma se puede asegurar que registros tienden a estabilizarse con el paso del tiempo y cuales experimentan cambios adversos en su comportamiento.

E) Se encontró que el modelo de series temporales $ARIMA(0,1,0) \times (0,1,1)_{12}$ es un buen estimador para la serie de niveles de embalse del proyecto. El significado de la estructura escogida es: cada valor de la serie puede explicarse como dependiente de su valor anterior y de los valores análogos a esta pareja presentados en la anualidad anterior.

Esta estructura puede utilizarse para realizar predicciones, con las cuales de forma determinista se estimen los valores esperados para otras variables dentro del proyecto (historia hipotética de los registros que se espera tener en "x" dispositivo). De esta forma sería posible establecer

periódicamente un criterio adicional para depuración de datos, al presentar los valores previstos para un dispositivo al personal encargado de la recolección de los datos.

- F) Es posible para la edad del proyecto espaciar más la toma de registros de las variables instrumentadas, tal y como se expone dentro de este trabajo no es necesario continuar con lecturas diarias en presas con más de cinco años de vida, salvo en el tema de niveles de embalse. Es preferible para los dispositivos dentro del cuerpo de la presa y el basamento llevar la frecuencia a períodos quincenales o mensuales. Con este planteamiento se reduciría la cantidad de datos y resultará más factible asegurar la calidad de los registros, más que la cantidad y realizar las correcciones o depuraciones tempranas de manera de no acumular el volumen de información y registro de datos que se maneja actualmente.

- G) Dentro del programa de implementación de la instrumentación no se ha efectuado un procedimiento que señale la necesidad de volver prontamente a la fase de adquisición cuando se presentan un volumen importante de valores atípicos. Seguramente esto no era posible por el volumen de información, pero si se reduce este, es posible subsanar los registros en períodos más cortos de tiempo.

- H) En algunas de las zonas representadas por las series piezométricas analizadas en este documento, se advirtieron presiones de alta magnitud; sin embargo, se demostró que aun y cuando en estas series no se reportan reducciones en las presiones hidrostáticas netas cercanas al umbral de 66% (criterio de diseño), no se afectan las envolventes de subpresiones de forma significativa y la seguridad de la presa es similar a una situación de subpresiones teóricas (se cumplen las condiciones de diseño). Esto se explica precisamente porque la estabilidad de toda la estructura está ligada a la fuerza resultante de las subpresiones y no a valores puntuales.

Pero se sugiere un seguimiento especial de las zonas donde se ubican los instrumentos con registros altos (PCH-5 y PCH-6), las cuales coincidentemente están en el estribo derecho de la presa, en áreas que se definieron como de mayor “permeabilidad residual” luego de culminadas las actividades de inyección para consolidación del basamento.

Debe vigilarse que las presiones altas no se generalicen y afecten la lectura de otros dispositivos, en este caso la subpresión total alcanzaría una mayor magnitud y posiblemente la seguridad por estabilidad volcante de la presa se reduciría.

Adicionalmente se deben de utilizar los registros de los demás dispositivos instalados en estas zonas para correlación y evaluar los efectos de estas altas presiones en el cuerpo de la presa, obviamente esto será posible cuando sean rescatadas las series de los demás instrumentos.

- I) Los comentarios referentes a la estabilidad de la presa abordados en este documento, se refieren únicamente a una revisión por volteo estático y son válidos para los monolitos de la presa próximos a las secciones transversales analizadas (Est. -57.00 y Est. +65.00).
- J) Al considerar las distribuciones de densidad de las series piezométricas, se interpreta que la condición crítica para la estabilidad por volteo (caso estático) no es un estado de alta ocurrencia y la mayoría del tiempo la estructura de la presa se encuentra sujeta a magnitudes de subpresión modales que resultan en factores de seguridad mayores que sus correspondientes valores de diseño.
- K) El análisis realizado con los registros piezométricos se centró en comprender cualitativamente el comportamiento del basamento donde se

emplaza la presa en estudio y como afecta la evolución de las subpresiones.

L) Se recomienda como complemento para este trabajo las siguientes actividades académicas:

- Interpretar el comportamiento del resto de variables instrumentadas una vez que se tenga disposición de los registros depurados por anomalías atribuibles a los dispositivos.
- Realizar un modelo en detalle para justificar el comportamiento de las subpresiones, considerando el comportamiento deformacional de las familias de diaclasas presentes en el sitio de presa.
- Justificar el comportamiento de presión acumulada en algunos registros en las series más recientes, el cual se ha atribuido como consecuencia de la histéresis del comportamiento esfuerzo-deformacional de las diaclasas, pero es un detalle que deberá demostrarse y cuantificarse.