

V. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Futuro de las presas CFRD

Debido a un aumento constante en el consumo de energía eléctrica y de agua, ya sea para consumo humano o para riego, en el mundo y en particular en México, es innegable la necesidad de la construcción de infraestructura que alivie esta demanda. En países en desarrollo, como es el caso de México, las presas siguen siendo una opción para ello.

La tendencia actual en el diseño y construcción de presas en el mundo se ha inclinado por las presas de Enrocamiento con Cara de Concreto y de CCR. El motivo de esta tesis fue analizar la factibilidad técnica y económica de las primeras.

A lo largo de la presente tesis se ha demostrado que las presas de Enrocamiento con Cara de Concreto han tenido un lento, pero sostenido desarrollo, desde sus orígenes a finales del siglo XIX en las llanuras de California hasta las grandes presas de más de 200 metros de altura que se construyen hoy. Quedó claro que el desarrollo de las presas ECC ha sido paulatino y de cierto modo empírico, sin embargo se ha podido aprovechar la experiencia técnica en diseño y construcción de presas de otro tipo, en especial las de tierra y materiales graduados, las cuales se encuentran ampliamente documentadas en la literatura técnica.

Las primeras presas de ECC mayores a 100 m tuvieron grandes problemas de filtraciones, pero gracias al desarrollo del rodillo vibratorio se pudo mejorar el comportamiento evitando que a mayor altura de la presa hubiera mayor filtración en la cortina. Pero esto no significó que no siguiera habiendo fallas en presas subsecuentes. Ejemplos de ello son Aguamilpa, Xingó, Itá, Campos Novos y Barra Grande que a pesar de los grandes esfuerzos en el cuidado del diseño y construcción, presentaron grietas en la cara de concreto lo que derivó en la infiltración de agua al cuerpo de la cortina. Algunos de los motivos están asociados a la altura de la presa que repercute en la magnitud de la carga hidrostática, la magnitud de los desplazamientos y a las características de la cara de concreto.

Ha sido bajo el porcentaje de grietas significativas en las pantallas de concreto, sin embargo se han reportado numerosos casos de filtraciones debido fisuras y agrietamientos en las losas y por desperfectos en las juntas perimetrales. Estos han sido tratados de distintas formas en cada caso, lográndose la disminución de las filtraciones y, hasta ahora solo se tiene noticia de un solo caso de falla de presa CFRD, la presa Gouhou en agosto de 1993 en China con un saldo de 1.257 muertos y 336 desaparecidos.

A pesar de estos incidentes, las presas CFRD han demostrado ser estables, seguras, económica y técnicamente factibles y en general, una mejor opción que las presas de núcleo de arcilla o de concreto azfáltico, siempre y cuando se cumplan las condiciones geológicas y topográficas necesarias para su construcción, así como la disponibilidad de material de enrocamiento en el sitio del proyecto.

Las presas de enrocamiento con cara de concreto han demostrado ser una opción confiable, de bajo costo y de tiempo de construcción corto, por lo que no cabe duda que se seguirá implementando.

Durante el tercer Simposio de presas de ECC que tuvo lugar en Brasil, se realizaron las siguientes recomendaciones para la realización de futuras presas:

1. Un diseño ordenado, que incluya un análisis del comportamiento por modelos matemáticos desde las etapas de diseño. Las dimensiones de la losa de concreto, así como de las juntas, deben ser diseñadas para soportar los esfuerzos y desplazamientos que se prevé que tendrá la cortina.
2. La reducción de la compresibilidad del enrocamiento. Esto logrará la disminución de los desplazamientos de la cara de concreto. Así mismo, el espesor de las capas debe ser ajustada en función de la calidad, graduación, forma del material y del tipo de compactador a usar.
3. Mejoramiento del monitoreo y análisis de información mediante una mayor instrumentación del terraplén y la cara de concreto, realizando un análisis continuo de la información recibida.
4. Uso de juntas de compresión que permitan el movimiento de los tableros centrales para aliviar los esfuerzos existentes, así como de juntas de tensión que sean capaces de absorber los desplazamientos resultantes de los desplazamientos de las losas centrales.
5. Uso de doble refuerzo de losas en zonas potencialmente críticas como lo es cerca del plinto, en áreas donde hay momentos de flexión negativos y en las cercanías de las juntas.
6. La introducción de juntas en el concreto extruido con la finalidad de que exista la posibilidad de que actúe como un inhibidor de la apertura de las juntas de tensión y pueda contribuir a concentrar la apertura en un número menor de juntas.

Las mejoras en los procesos y la tecnología de la compactación del enrocamiento han permitido construir proyectos de gran altura, superando los 200 m, como es el caso del P.H. La Yesca, y citando a Barry Cooke:

“La presa de ECC resulta apropiada en el futuro de las presas de gran altura. Se puede predecir un comportamiento adecuado para una presa de ECC de 300 m de altura de casi todos los tipos de roca basados en la extrapolación razonable de mediciones de las presas existentes”.

Desempeño de CFRD en México

Aún cuando en México no tenemos la cantidad de presas de ECC que tienen países como Brasil, China o Colombia, al construir la tercera presa de este tipo en el país: el P.H. La Yesca, México se ha posicionado como uno de los mejores constructores de presas en el mundo.

Las tres presas mexicanas de ECC: Aguamilpa, El Cajón y la Yesca han aportado a la ingeniería avances importantes y mejoras en diseño y procesos constructivos. La C.H. El Cajón, en operación, se ha convertido en referente en el mundo en cuanto al buen desempeño de presas de este tipo en el mundo y no se espera menos de La Yesca, actualmente en construcción. La C.H. El Cajón ejemplifica el aprendizaje que se ha obtenido a través de diferentes proyectos.

En el capítulo IV, se obtuvieron los asentamientos máximos esperados en la cortina del P.H. La Yesca. La tabla 4.7 muestra los resultados comparándolos con proyectos similares en el mundo. En la tabla destaca el magnífico comportamiento que ha tenido El Cajón, obteniendo un valor de asentamiento máximo entre la altura (L/H) de apenas 0.46%, en la construcción del P.H. La Yesca se ha retomado los conocimientos adquiridos en la construcción de El Cajón y se han aplicado nuevas mejoras, para disminuir los tiempos de ejecución y tener mayores progresos en cuestión del comportamiento de la cortina. Para la cortina de La Yesca se espera un valor aún más bajo, 0.39%. Contrastando con esto, si realizamos un promedio de los mismos valores de (L/H) para las presas de la tabla 4.7, sin tomar en cuenta a las dos presas mexicanas, obtenemos un valor promedio de 1.57%, que es mucho mayor a los valores que reportan El Cajón y La Yesca. En la tabla 4.8 se muestra la comparativa de los esfuerzos cortantes, en donde se mostró a las presas de Itapebi y Campos Novos contra el desempeño que tendrá La Yesca. Se puede apreciar desde un inicio que el peso volumétrico del material que compone a la presa de Campos Novos es mayor al de la Yesca, por lo que se entiende que los esfuerzos cortantes resistentes que actuarán en la presa serán mayores, pese a que la Yesca es un poco más alta. Para el caso del factor de seguridad estático obtenido en la tabla 4.9 se puede observar que a medida que el talud es más tendido, el factor de seguridad aumenta, siendo el caso de la presa Itapebi el más desfavorable a pesar de que es la de menor altura. El número de estabilidad está directamente relacionado con el talud, por lo que en el caso de la comparativa de la presa de Campos Novos y de la Yesca, el factor de seguridad en Campos Novos es mayor debido a que poseen la misma pendiente, pero la diferencia de altura fue la que elevó el factor de esta.

Importancia de la publicación de las mejoras en CFRD

Sin menospreciar aplicaciones científicas como el análisis de la estabilidad del enrocamiento por elementos finitos, el desarrollo de las presas de ECC ha sido primordialmente empírico y cada nuevo diseño debe estar sustentado en la revisión del comportamiento de proyectos similares ya construidos. Debido a esto resulta indispensable publicar y compartir cada experiencia en el diseño y construcción de este tipo de presas.

El principio básico establecido por Cooke es que el diseño de las presas de ECC es totalmente empírico, basado en experiencias obtenidas de proyectos anteriores, donde se analizan los resultados de la implantación de nuevos procesos o diseños, dejando a un lado las teorías del diseño. Es por ello la relevancia que tiene la comunicación de dichas experiencias con el objeto de implementar aquellos procesos que tuvieron éxito, analizar los factores que intervienen y las diferentes problemáticas presentes en cada proyecto, de la misma manera, de las malas experiencias conocer los motivos que propiciaron que no se lograra la meta establecida y poder determinar si existen los medios para poder implantarlo de forma adecuada o si se trata de una opción no viable.

Los simposios y los congresos de presas de ECC son una manera de poder transmitir todas las experiencias obtenidas en viva voz de aquellas personas que se encargaron de diseñarla, construirla y monitorearla. Para el caso de la C.H. El Cajón estos simposios han representado un escenario en donde se ha podido exponer al mundo el éxito obtenido en este proyecto, no solo las mejoras en el diseño y en la construcción, sino también los medios que se han utilizado para

poder llevar un buen registro de su comportamiento y poder efectuar un correcto análisis del comportamiento que se ha presentado en él.

Estos mismos escenarios servirán de escaparate para poder mostrar las mejoras implementadas en el P.H. La Yesca, así como los grandes retos que se presentaron durante su construcción, los cuales fueron superados satisfactoriamente a pesar de su magnitud.

Importancia del correcto control de calidad en los procesos constructivos

Toda obra de ingeniería está sujeta a factores externos que pueden afectarla, es trabajo del ingeniero civil identificar estos factores y calcular los posibles efectos que pueden tener sobre la estructura. Sin embargo siempre existe incertidumbre, por ejemplo es imposible predecir con exactitud las fuerzas que actuarán durante un sismo, incluso en el caso de los materiales, existe incertidumbre sobre su resistencia. Una presa es una obra de ingeniería que en la mayoría de los casos pone en riesgo la vida de un considerable número de personas en caso de falla, por lo que resulta inadmisibles que esto ocurra.

En toda obra de ingeniería es importante cumplir con un adecuado control de calidad, tanto en los materiales, como en los procesos constructivos con el fin de asegurar que los cálculos de estabilidad y los factores de seguridad se mantendrán en caso de cualquier eventualidad.

En el caso de estudio, los resultados de las calas volumétricas resultaron ser de gran utilidad, debido a que gracias a ellas es posible obtener valores realistas de los pesos volumétricos y relación de vacíos del enrocamiento.

El éxito de una presa no se basa únicamente en un buen diseño, sino que también depende de un correcto control en el proceso de su construcción. Debido a que la mano del hombre se encuentra presente en el proceso constructivo, existe un sin número de factores que pueden afectar el buen comportamiento de la presa.

En cada proceso de la construcción de la cortina se debe de constatar que los parámetros establecidos en el diseño sean implementados de manera adecuada. En este caso, se debe de verificar que los agregados no excedan el tamaño máximo, los espesores de las capas, el número de pasadas con el rodillo vibratorio, el grado de compactación, la relación de vacíos, el índice de humedad sean los adecuados, etc. En materia de las mezclas de inyecciones es muy importante llevar a cabo el control de calidad en la lechada debido a que estas permitirán formar el plano estanco de la presa, evitando las filtraciones a través del macizo rocoso. Su elaboración se realiza en sitio, por lo que existen muchos factores que pueden influir en su correcta elaboración e inyección. En caso de que la mezcla no cumpla con los estándares establecidos en el diseño, puede haber consecuencias como la obstrucción de los conductos, no contar con la fluidez necesaria para que la lechada pueda llegar a las microfisuras, no contar con la resistencia necesaria o presentarse un exceso de sedimentación de la mezcla.

Debido a la magnitud e importancia de la obra, llevar un estricto control de calidad es indispensable para cerciorarse que se cumplan con los parámetros establecidos y que la seguridad de la presa sea la prevista.