

Nota técnica

Elementos impermeables en presas y en vasos de almacenamiento diferentes a la arcilla

Carlos Oliva Anaya

Subdirección General de Infraestructura
Hidroagrícola, CNA.

Este trabajo resume los informes técnicos presentados en el XVI Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado en junio de 1988 en San Francisco, Calif., se dan a conocer las experiencias obtenidas en diversos países con el uso de materiales conocidos, diferentes a la arcilla para dotar a las presas de almacenamiento de un elemento impermeable y dar estanquidad a vasos de almacenamiento, consignando las recomendaciones pertinentes. Se hace mención del empleo de nuevos materiales impermeabilizantes.

Durante la construcción de presas y la impermeabilización de vasos suelen presentarse problemas como la escasez de arcilla de calidad adecuada, el dificultoso acceso a los bancos, climas adversos e impactos ambientales negativos. Esta problemática se trató en el XVI Congreso Internacional de Grandes Presas y se planteó estudiar soluciones alternas: abatir costos, emplear otros materiales, aplicar nuevos métodos de diseño, construcción y control de calidad, determinar los requisitos de los materiales y analizar el comportamiento de los elementos impermeables en el conjunto que forman con las estructuras.

Esto no es nuevo; el tema se ha tratado en congresos anteriores a partir de 1961 cuando los materiales se empezaron a usar, de manera limitada, en estructuras pequeñas. Actualmente, existe la tendencia a extender su uso a presas cada vez más altas en boquillas más difíciles. Así, durante la celebración del XVI Congreso Internacional de Grandes Presas, 28 Comités Nacionales presentaron más de 60 informes que abarcaron otras tantas presas y vasos en relación con el diseño de pantallas sobre el paramento aguas arriba, diafragmas interiores y revestimientos de vasos; influencia de deformaciones de la cimentación sobre esos elementos; ensayo

y control de materiales y procedimientos de construcción; comportamiento a largo plazo y reparaciones. Los materiales que se analizaron con más amplitud fueron el concreto asfáltico y el concreto hidráulico, aunque también se dio importancia a las geomembranas, de más reciente empleo, y se hicieron breves menciones sobre el acero, la gunita, la brea y algunos otros materiales.

Diafragmas de concreto asfáltico

Los núcleos o diafragmas interiores de concreto asfáltico están poco expuestos a daños y sujetos a pequeñas presiones hidrostáticas diferenciales; tienen bajo riesgo de deformación, pero su reparación es difícil y su colocación, lenta. Su éxito, en general, depende del apoyo que brinda la terracería de la presa, del diseño de las mezclas y del procedimiento empleado en su colocación. El exceso de deformación o la falta local de soporte puede provocar que el núcleo pierda la impermeabilidad, por lo que es importante saber previamente qué tipo de deformaciones se pueden presentar, tanto durante la construcción y el primer llenado, cuando son más significativas, como a largo plazo; para

ello, existen métodos empíricos simples, modelos matemáticos y ensayo de modelos en laboratorio. Debe diseñarse un sistema de instrumentación para observar el comportamiento del diafragma, cuyo examen servirá para diseños futuros.

Una mezcla asfáltica debe ser resistente, impermeable y manejable. La resistencia se logra con agregados duros, bien graduados y una buena compactación; la impermeabilidad, al llenar los huecos de los agregados con material fino y asfalto; y la manejabilidad, con una adecuada dosificación de asfalto. Una receta de tipo general para la dosificación es: $\pm 80\%$ de agregados, mitad arena y mitad grava con tamaño máximo alrededor de 20 mm; $\pm 10\%$ de finos menores de 0.075 mm; y entre 6% y 8.5% de asfalto. El contenido de este último debe ser sólo un poco mayor que el necesario para llenar los huecos, los que después de una buena compactación se estiman en 3%. Este pequeño exceso de asfalto logra la mezcla manejable con un adecuado aumento de deformabilidad. La dosificación definida previamente a la construcción debe ser susceptible de ajustes, a la vista de los agregados producidos y de la calidad del asfalto suministrado.

Aguas arriba del núcleo es conveniente colocar una zona de transición con las terracerías de la cortina, de material fino, que obture los intersticios para evitar filtraciones. Es indispensable un equipo de construcción especializado y un procedimiento adecuado de colocación, ya que el núcleo asfáltico es relativamente delgado y durante la construcción permanece expuesto durante muy corto tiempo, por lo que el control de calidad a posteriori es casi imposible. Con equipo especializado se logra un apropiado manejo de materiales, una adecuada preparación de superficies y una compactación de acuerdo con las especificaciones y el mantenimiento de líneas y taludes.

La temperatura de la mezcla es fundamental en la calidad del núcleo y en el ritmo de construcción. Las temperaturas demasiado altas dañan al asfalto y dificultan la compactación, y las demasiado bajas lo impiden. La capacidad de carga del concreto asfáltico aumenta a medida que la mezcla se enfría. La colocación de una capa debe hacerse sobre la precedente todavía caliente, pero no en exceso, porque el paso del equipo produce segregación. Este requisito es el que permitirá definir el espesor total que debe colocarse durante un día. En las zonas en las que el diafragma se apoya en la cimentación, en particular donde es difícil el acceso a la maquinaria, así como en las uniones

con estructuras, deben especificarse superficies amplias de contacto y procedimientos especiales de compactación.

Pantallas frontales de concreto asfáltico

Las pantallas de concreto asfáltico en el talud aguas arriba de las presas son elementos delgados, sujetos a gradientes hidráulicos altos y a efectos de asentamientos diferenciales; están expuestas al efecto de impactos y rayos ultravioleta y son susceptibles de reparación, aunque el vaso debe vaciarse. Su uso es común en presas de enrocamiento compactado. Se pueden colocar en taludes tan esbeltos como los de pantallas de concreto hidráulico y tienen mejores propiedades que éstas para absorber deformaciones. En general, son de dos tipos: uno formado por tres capas, una porosa para drenaje, entre dos densas e impermeables; el otro de dos capas, una densa sobre otra porosa. Ambos se apoyan sobre un material semipermeable de la cortina bajo el cual, a su vez, se coloca una capa de material permeable, de transición con el enrocamiento. El diseño de las mezclas es el mismo que para los diafragmas internos.

De las experiencias reportadas, es útil tener presente que no es necesario iniciar la construcción de la pantalla hasta el término de la cortina. La remoción de acarreo permeable en la base de la presa puede hacerse sólo en una parte del ancho de la base de la cortina, la inmediata a la pantalla (1/3). La respuesta de una presa de enrocamiento ante el efecto de sismo es más baja que en las presas de tierra y roca.

Se ha encontrado coincidencia en los valores obtenidos de modelos físicos vibratorios y los calculados con el método de elemento finito, cuando se han estudiado los efectos sísmicos sobre pantallas y sobre presas, trabajando independientemente o en conjunto, con y sin el efecto del embalse.

Es usual reforzar la pantalla asfáltica en la conexión con estructuras de concreto de la presa, mediante diversos materiales como geotextiles y mallas de poliéster.

En general, se asocia una pantalla frontal asfáltica a una presa construida con enrocamiento sano, denso y durable; sin embargo, el conocimiento recientemente adquirido acerca del comportamiento de pantallas, ha conducido a construir presas con roca de no tan buena calidad. La roca de más baja calidad debe colocarse

alejada de la pantalla para reducir al mínimo su influencia en los asentamientos y, si el volumen es alto, no debe influir en la permeabilidad de la cortina; sin embargo, su baja resistencia puede afectar al talud aguas abajo.

Las cortinas construidas con roca obtenida de la propia boquilla a base de voladuras controladas, sufren asentamientos importantes y requieren de pantallas frontales muy flexibles como las de concreto asfáltico.

A veces se requiere desarrollar diseños muy especiales para sistemas de drenaje en enrocamientos erosionables, juntas en zonas de alta sismicidad y equipos de enfriamiento de pantallas donde se registran temperaturas demasiado altas.

La observación del comportamiento de una pantalla es importante para determinar las causas de una falla y lograr una reparación adecuada. Causa frecuente de falla son las temperaturas ambientales extremas y los cambios bruscos. Con el frío, los materiales se vuelven rígidos, con bajo límite elástico y susceptibles de fracturamiento; ante temperaturas altas puede presentarse un escurrimiento plástico; y con cambios bruscos, el diferencial de temperatura entre la superficie y la base de la capa, fatiga el material, lo que se manifiesta como una red de fracturas.

La durabilidad de una pantalla depende mucho del espesor de las capas que la forman, y hay la tendencia a colocar una sola. Las capas gruesas se enfrían poco a poco, propiciando una compactación adecuada y una mejor adherencia en las juntas; su colocación es posible aun en clima frío. Cuando ésta se hace en dos capas, aproximadamente a los dos años aparecen defectos, tales como burbujas, fracturamiento, segregación e intemperización. El agua retenida entre dos capas, o detrás de una densa, puede producir vapor con desprendimiento de burbujas.

Los equipos de construcción modernos son capaces de colocar capas gruesas, y el uso de rastra vibratoria permite colocar una sola capa densa, lo que evita defectos detectados en obras antiguas; si los rodillos para compactación van inmediatamente después de la pavimentadora, se requerirá de menor número de pasadas para la corrección y el acabado, se eliminarán los agrietamientos, cuyas dimensiones aumentan con el tiempo y se logrará dar a la capa la densidad e impermeabilidad adecuadas, desde la base hasta la superficie. Para lograr una buena adherencia

entre las franjas de pavimentación, conviene achaflanar y precalentar la cara de la junta.

La superficie de pantalla que no está de manera permanente bajo el agua, debe protegerse contra los efectos de los rayos ultravioleta con una membrana de sello que debe ser sustituida periódicamente, ya que el efecto de aquéllos la resquebraja.

El envejecimiento del concreto asfáltico se limita a una profundidad pequeña en la capa, que con el tiempo se vuelve uniforme; sin embargo, si durante el proceso de mezclado de los materiales se produce un sobrecalentamiento, se provoca un envejecimiento artificial con mayores consecuencias que el natural, producido en muchos años.

Las zonas dañadas en una pantalla de una sola capa, se reparan mediante una remoción local de todo el espesor y la colocación de material nuevo adherido al viejo; cuando se trata de varias capas, la remoción de material debe hacerse en una zona más amplia y se repone con una sola capa de por lo menos 6 cm de espesor. Los asentamientos diferenciales que se producen en el contacto de la pantalla con dentellones, trincheras, galerías y estructuras, son la causa principal de filtraciones. Para evitarlos, el espesor del relleno bajo los contactos debe ser pequeño, empleando un material fácil de compactar; los traslapes de contacto deben ser amplios y a base de asfalto denso muy impermeable, con refuerzos y mastique, y suavizando las aristas y quiebres en las estructuras para facilitar la compactación.

Es conveniente captar y concentrar las filtraciones para medirlas y relacionarlas con las deformaciones, que también deben registrarse mediante una instrumentación adecuada. En presas altas, las pantallas de concreto asfáltico pueden competir con las de concreto hidráulico. Las estructuras actuales alcanzan los 90 m de altura, si se cuenta con maquinaria especializada y elementos nuevos para el refuerzo. Es posible abordar un nuevo intervalo de 30 m de altura, mediante estudios de laboratorio de los materiales y la estimación previa, tanto analítica como experimental, sobre el futuro comportamiento de presas por construir, para compararlo con el observado en presas en operación.

Pantallas frontales de concreto hidráulico

Es indudable la relación que existe entre el diseño y la construcción de pantallas frontales impermeables de concreto hidráulico y el diseño

y construcción de las presas de enrocamiento y de tierra y roca en que se apoyan. Por lo tanto, conviene tener en cuenta la información sobre ambos temas, contenida en los *Proceedings* del Simposio de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, celebrado en octubre de 1985 en Detroit, Ill., EUA, así como la del libro *Presas de enrocamiento con pantalla frontal de concreto I y II*, de James L. Sherard y J. Barry Cooke.

Los reportes del Tema 61 tienen puntos de contacto con dichas publicaciones y, a la vez, aportan experiencias nuevas sobre pantallas frontales de concreto hidráulico; a continuación se citan las más significativas.

Las deformaciones reales que sufre la pantalla durante el llenado del vaso no han seguido el patrón previsto. De acuerdo con las observadas durante la construcción, se estima que el valor de la deformación final será menor que el calculado. En presas altas se presenta un incremento en la deformación cuando el llenado del vaso se aproxima a su valor máximo. Las deformaciones que sufre una cortina de enrocamiento bien compactado no alcanzan una magnitud capaz de dañar la pantalla.

Una zapata de cimentación de poca altura reduce en forma importante los esfuerzos en la estructura y facilita la compactación del material adyacente, aunque conviene afinar su localización final en el campo. La conexión de la pantalla con su zapata requiere de un diseño cuidadoso, ya que una falla puede ser causa de filtraciones importantes. Los detalles se complican por la presencia de los sellos impermeables. En presas altas, al pie de la pantalla, aguas arriba, suele colocarse un terraplén para sellar las posibles fracturas y separaciones en las juntas.

El informe cita el caso de una presa de enrocamiento de 28 m de altura, desplantada sobre 40 m de aluvión interceptado por un muro impermeable, en ella se apoyó la pantalla frontal de la cortina, colocando entre ambos un sello impermeable. La pantalla de la presa se coló sobre una losa de concreto poroso, y con una capa subyacente de material de filtro conectada a un tapete de drenaje construido bajo el pedraplén, que se extiende hasta el talud aguas abajo.

La mayor parte de los daños en pantallas ocurre por discrepancias entre el diseño y la construcción, aunque también sucede que el diseño no se adapta adecuadamente a la topografía y a la geología del lugar, lo que se traduce en una zapata

de cimentación alta y en cambios bruscos en el trazo y geometría de la pantalla, con los efectos negativos correspondientes.

Otros elementos impermeables en núcleos y pantallas

Existen, y se han usado, otros materiales como elementos impermeabilizantes en presas y en vasos, tales como las geomembranas. Su aplicación se ha limitado a casos especiales como: escasez, lejanía y dificultad de acceso a bancos de arcilla, temperatura ambiente muy baja, vientos fuertes y taludes de colocación poco esbeltos. Para su empleo, se necesita estar familiarizado con sus propiedades físicas y mecánicas y los efectos que sufren durante los procedimientos de construcción; también es necesario conocer su comportamiento en un medio ambiente específico. En general, requieren de una cubierta protectora que aumenta considerablemente su costo; sin embargo, su colocación es sencilla y se han logrado diseños competitivos.

Los cálculos y detalles de diseño se han centrado más en su durabilidad que en su resistencia a la presión hidrostática. Como diafragmas, se han empleado en presas hasta de 40 m de altura y como pantallas frontales en presas hasta de 30 m. En este último caso, se apoyan sobre arena, membrana o colchón geotextil y aun sobre mortero frío de asfalto-cemento. Para protegerlas contra el viento, los productos químicos, aceite y rayos ultravioleta, se han cubierto con polietileno, espuma de poliestireno, suelo, geotextiles y gunita. La protección contra oleaje siempre se hace con enrocamiento.

Las geomembranas se han empleado en gran escala con fines de impermeabilización en vasos de almacenamiento, canales, cauces naturales y depósitos de aguas residuales, así como en reparaciones de presas de concreto o mampostería y en estructuras. El uso de geomembranas impermeables implica los mismos o mayores cuidados en el diseño y construcción de su unión con la cimentación de la presa y los contactos con estructuras, así como la previsión de drenaje detrás de la pantalla.

En el mismo informe se reportó, casi como curiosidad, el uso de otros materiales como acero, gunita, vinil con brea, nylon, gaviones asfálticos y un compuesto bentonita-geotextil.

Muros impermeables

Se emplean como elementos impermeables en trincheras de cimentación, presas y ataguías de materiales permeables; se construyen aun en presencia de agua y son muy útiles para evitar filtraciones en presas con fallas de estabilidad o tubificaciones. En algunos casos, especialmente para profundidades de 100 m o más, son el único medio para lograr impermeabilidad. Se construyen de suelo-bentonita, cemento-bentonita, concreto

rígido con o sin refuerzos o concreto plástico, y con equipo especializado que excava y rellena simultáneamente, preparando la mezcla en el sitio.

En los informes se relatan casos de muros contruidos cerca del mar, detalles de un muro de cemento-bentonita en una presa en Túnez; muros flexibles de mezcla asfáltica en presas japonesas, muros de concreto en rehabilitaciones de presas y una combinación de muro con pantalla inyectada para alcanzar la profundidad deseada.