

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE ESTADO DE AGUAS Y COSTAS

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS Y CALIDAD DE LAS AGUAS

SOCIEDAD ESPAÑOLA  
**SEPREM**  
DE PRESAS Y EMBALSES

**Congreso Internacional  
de Conservación  
y Rehabilitación  
de Presas**

**MADRID**

**11-13 NOVIEMBRE 2002**

**Patología de las Presas:  
Sintomatología, Diagnóstico y Terapia**

# Patología de las Presas: Sintomatología, Diagnóstico y Terapia

**Andriolo, Francisco Rodrigues**

*Andriolo Ito Engenharia SC Ltda*

Rua Cristalândia 181- 05465-000- São Paulo- Brasil-

Fone: ++55-11- 3022 5613 Fax: ++55-11- 3022 7069

*e-mail: [fandrio@attglobal.net](mailto:fandrio@attglobal.net) site: [www.andriolo.com.br](http://www.andriolo.com.br)*

**RESUMEN:** El Informe General del Tema III - “IMPROVED STABILITY AND IMPERMEABILITY”- del “International Congress on Conservation and Rehabilitation of Dams” me fue designado por el Comité Técnico, a través de la honrosa invitación formulada por el Prof. Dr. Joaquin Diez Cascon.

Este Informe contempla el análisis de los trabajos designados al Tema, y formula cuestiones de tal suerte que proporcionen debates y eventuales orientaciones de caminos alternativos para la ampliación de la vida de las Presas.

El Informe presenta, también, la estadística general de los trabajos técnicos designados al Tema.

## INTRODUCCIÓN

El siguiente conjunto de afirmaciones es normalmente observado en los Informes Técnicos y/o Documentos que tratan el Mantenimiento y Rejuvenecimiento de los Embalses:

- ... *El embalse no está al día con el actual nivel de tecnología...*
- ...*Los registros de instrumentación fueron interrumpidos...*
- ... *La instrumentación dejó de funcionar hace mucho tiempo...*
- ...*Las reparaciones fueron realizadas sin buscarse el origen de los problemas...*
- ...*Después de varias acciones reparadoras sin éxito, se hizo un análisis profundo de los problemas....*
- ...*Debido al envejecimiento y a la falta de mantenimiento periódico...*
- ...*Las averiguaciones no indicaron las causas de los problemas...*

Por otro lado se observa, en varios Países del Mundo, y en varias Entidades Públicas Propietarias de Embalses y Usinas Hidroeléctricas que los cuidados con el Bien Público y acciones de Inspección, Seguridad, Mantenimiento son las más variadas. Incluso en Países, considera-

dos como del Mundo Desarrollado, esos cuidados dejan mucho que desear.

No es sólo una cuestión de desarrollo técnico, pero mucho más que una postura para desencadenar acciones. Es evidente una deficiencia en las Administraciones Públicas y en la propia característica cultural.

De manera general los Profesionales Técnicos saben de las necesidades, o por lo menos de la conveniencia de llevar a cabo acciones periódicas, para evaluar la patología de las estructuras, sin embargo, en la mayor parte de las oportunidades, se percibe la poca disponibilidad para transformar Idea en Acción.

Esa afirmación es ampliamente confirmada a través de la lectura de varias de las publicaciones de este Congreso.

## PONENCIAS PRESENTADAS

Hay 33 Trabajos presentados para el Tema III - “IMPROVED STABILITY AND IMPERMEABILITY” relatando actividades en 42 Embalses en 16 Países. La edad media de los Embalses citados es de 52 años, siendo que el más antiguo citado fue construido hace cerca de 100 años y el más nuevo 10 años atrás.

Los trabajos presentados para el TEMA III, engloban embalses de Tierra y Escombreras,

Hormigón, en varias concepciones estructurales (Gravedad, Arco- Gravedad, Arco, Gravedad Aligerada). La mayoría de las publicaciones relatan aplicaciones de productos y metodologías de acciones reparadoras, siendo interesante lo que otras publicaciones relatan sobre acciones en sistemas de drenaje de tal forma que se puedan reducir las fuerzas inestabilizantes.

Algunas otras publicaciones mencionan los beneficios de la instrumentación en el auxilio de la Sintomatología y Diagnósticos. Hay relatos sobre la adecuación de modelos Matemáticos en busca de mejorar el entendimiento de los fenómenos. Hay también informaciones sobre la actualización de Criterios de Estabilidad, consecuentes de la contemplación de nuevas y actualizadas acciones Sísmicas o de Carácter Estructural.

Es evidente que la mejora de los Estanques fue buscada a través de inyecciones y/o membranas o carpetas. La mejora de la Estabilidad fue buscada mediante la implementación y/o la adopción de sistemas de drenaje y, en unos pocos casos, mediante el apósito de masa en la región aguas abajo.

## SINTOMATOLOGÍAS

### Consideraciones Usuales

Un embalse seguro es aquel cuyo desempeño satisface a un nivel aceptable de protección contra ruptura, o desgaste sin ruptura, conforme a los criterios de seguridad utilizados por el medio técnico.

La seguridad de los embalses existentes normalmente es evaluada regularmente por las reevaluaciones de seguridad de todas las estructuras e instalaciones. La seguridad de un embalse puede ser garantizada por:

- ❑ Corrección de cualquier deficiencia prevista o constatada;
- ❑ Operación segura, continuada, mantenimiento e inspección;
- ❑ Preparación adecuada para emergencias

Los programas de mantenimiento normalmente son organizados y evaluados como mínimo anualmente. Los requisitos de mantenimiento también son documentados para las diversas estructuras, inclusive estructuras en madera y conductos.

Normalmente son evaluados los cambios en las condiciones de las instalaciones y acciones apropiadas deberán ser tomadas, tanto en relación a la revisión de proyecto como a los cambios necesarios en la construcción y/o reparaciones.

La instrumentación necesaria para verificar la continuidad de las condiciones de seguridad de un embalse, juntamente con cualquier sistema de adquisición, procesamiento y transmisión de datos, deben ser mantenidos en buenas condiciones de funcionamiento.

De manera general, las citas precedentes son lo que se observa en la mayoría de los Manuales de Seguridad y Operaciones de Embalses.

Las consideraciones para el mantenimiento de diferentes tipos de estructuras y equipos están resumidamente descritas abajo.

### Embalses y Estructuras de Hormigón

La subpresión y la filtración de agua son las principales causas de inestabilidad potencial, bajo condiciones normales de carga, de parte o de la totalidad de las estructuras. Reacciones de agregados con los álcalis, reacciones debidas al uso de Pirita, reacciones debidas a la acción de Sulfatos pueden ocasionar serios impactos en la seguridad de las estructuras.

Programas anuales y de largo plazo de mantenimiento para las estructuras de hormigón se deben incluir, pero no limitarse a la limpieza regular de desagües o sistemas de drenaje, mantenimiento de los sistemas impermeabilizantes, equipos de bombeo y de los equipos e instrumentos de monitoreo, necesarios para garantizar la seguridad de las estructuras.

Los análisis estáticos para embalses de gravedad son normalmente basados en el método de equilibrio límite de "cuerpo rígido" y en el método de la linealidad elástica. Los embalses de contrafuertes deben reunir la totalidad de los requisitos de estabilidad para embalses de gravedad y todos los otros componentes en hormigón armado deben seguir las normas de cálculo de estructuras.

La evaluación de embalses en arco, requiere una experiencia especial y una comprensión general acerca de los detalles únicos de estas estructuras. Los análisis de tensiones y estabilidad de los embalses en arco, pueden ser basados en el método de cargas sucesivas o por el método de elementos finitos u otro aplicable. Las

propiedades de deformación de los cimientos deben ser incluídas y, específicamente, los efectos de la secuencia constructiva. Las temperaturas y los desplazamientos diferenciales deben ser evaluados. Los efectos de juntas (de dilatación vertical y de construcción) deben ser considerados.

Los análisis sísmicos o dinámicos son normalmente ejecutados en diferentes niveles de sofisticación, dependiendo de la consecuente evaluación del embalse y de la probabilidad de desempeño no aceptable. Las fisuras, así como la interacción de la represa y de los cimientos debe ser incluída en el análisis, cuando sea necesario.

La capacidad de carga de los cimientos está relacionada a la tensión normal máxima, definida mediante criterios que atiendan las condiciones de ruptura, y las limitaciones relativas a los recalques excesivos, perjudiciales para el funcionamiento y la perfecta utilización de la estructura.

## **Embalses de Tierra y Roca**

Las estructuras en terraplén necesitan de trabajos de mantenimiento esencialmente dirigidos al control de la filtración y erosión a fin de prevenirse el deterioro del macizo y/o de los cimientos, y el desarrollo de caminos preferenciales del trazado de la filtración.

Los programas de mantenimiento periódicos para estructuras en terraplén deben incluir el mantenimiento regular de la instrumentación, mantenimiento de la cresta y de los bloques, el control de la vegetación y cuevas de animales, estabilización de rampas, mantenimiento de los sistemas de drenaje y la remoción de escombros aguas arriba, a fin de garantizar la seguridad de la estructura.

Las cargas provenientes del embalse y la distribución de esos esfuerzos sobre los cimientos, no deberán causar deformaciones totales o diferenciales excesivas o causar ruptura del cimiento por fractura. Las rampas de aguas arriba y aguas abajo del embalse y las hombreras deberán ser estables bajo todos los niveles de la represa, así como bajo todas las condiciones de la operación.

Las rampas de la represa deben ser estables bajo condiciones de carga sísmica, precipitaciones pluviométricas severas, bajada rápida y cualquier otra condición, caso que la ruptura de la

rampa pueda inducir a la formación de olas que amenacen la seguridad pública, el embalse o sus estructuras asociadas. El borde libre debe considerar la expectativa del recalque de la cresta.

La carga de las partículas del suelo por las fuerzas de filtración debe ser evitada mediante filtros adecuados. Los filtros y cañerías internos son particularmente importantes porque es donde se considera posible la aparición de fisuras en el embalse, debido a recalques diferenciales, arqueamiento y/o fractura hidráulica.

Las pendientes hidráulicas en el embalse, en los cimientos, en las hombreras, y a lo largo de los conductos, deben ser bajos o suficientes para prevenir la erosión regresiva. La capacidad de vaciado de los filtros y de las cañerías no debe ser excedida.

Las presiones neutras altas pueden indicar que el drenaje es insuficiente o si la permeabilidad de las cañerías es excesivamente baja. La disminución de la filtración proveniente de las cañerías puede indicar la acumulación física, química o bacteriológica. El embalse debe mantener la represa en condiciones de seguridad, en relación a cualquier fisura que pueda ser provocada por recalque o fractura hidráulica.

Las rampas de aguas arriba del embalse y sus hombreras, deben ser provistas de protección adecuada para resguardarlas contra la erosión, inclusive la producida por las olas. Las rampas de aguas abajo deben ser protegidas contra la acción erosiva de escurrimientos superficiales, eventuales surgimientos de filtraciones, del tráfico de personas y de animales. Todos los materiales de relleno y de los cimientos susceptibles a la licuefacción deben ser identificados. Si la licuefacción es posible, entonces la estabilidad del embalse post-licuefacción deberá ser evaluada.

El embalse, sus estructuras asociadas, cimientos, hombreras y los márgenes de la represa deben ser capaces de resistir a las fuerzas asociadas a las condiciones de Sismos OBE y MCE.

La resistencia y la rigidez de la roca deberán ser suficientes para proveer la estabilidad adecuada bajo cargas de proyecto para el embalse, estructuras asociadas, hombreras y cimientos, y las deformaciones limitadas a valores aceptables.

Directamente abajo del embalse, la principal consideración debe ser la naturaleza del contacto roca-embalse, su forma y las características

de los cimientos. Donde los cimientos estuvieran expuestos, o en contacto con el macizo de tierra, el énfasis deberá estar en la impermeabilidad y en el sellado, en función del tiempo. Se deberá determinar si detalles geológicos podrían conducir al deterioro del macizo rocoso. También se deberá determinar la necesidad de ejecutar investigaciones y ensayos de campo.

Todos los tratamientos correctivos sub-superficiales ejecutados durante el período de construcción del embalse deben ser identificados y evaluados para determinarse si ellos permanecen eficientes y en condiciones estables.

La compatibilidad entre la deformación del embalse y sus cimientos precisa ser considerada sobre la determinación de los parámetros de resistencia al deslocamiento de los cimientos. Generalmente no se considera en los análisis, la resistencia a la tracción en la interfase embalse-cimiento, y abajo de estas. Sin embargo, para los embalses de hormigón, donde la existencia de fisuras en esta interfase es dependiente de alguna resistencia a la tracción, ésta debe ser basada en una cantidad representativa de ensayos ejecutados en muestras retiradas de la zona de interfase. Si los cimientos están compuestos de varios tipos y calidades de roca, los valores deben ser evaluados para cada área correspondiente al tipo de roca dentro de la zona de influencia del embalse.

Si las fundaciones están irregularmente fracturadas, métodos y programas deben ser establecidos para determinarse los datos de resistencia para las partes más críticas de los cimientos en roca.

Un sistema de drenaje de los cimientos es normalmente utilizado para reducir la subpresión que actúa en la base del embalse y en el cuerpo del macizo rocoso. El sistema más común, consiste en cañerías aguas abajo de la cortina de inyección principal.

Cimientos y hombreras, así como macizos de tierra, a través de los cuales, o sobre los cuales una estructura asociada haya sido construida, deben ser libres de movimientos que podrían perjudicar la capacidad operacional de la estructura o conducir a un daño estructural, tal como una fisura excesiva, deformación, desviación, daño a las juntas, separación de juntas o de algún otro modo amenazar la integridad estructural y/o su desempeño hidráulico. Los cimientos de una estructura asociada deberán poseer resistencia suficiente para resistir deslizamientos, y

una capacidad de soporte adecuada para prevenir recalques excesivos.

La zona impermeable, inmediatamente subyacente o incluida en la parte de aguas abajo de una estructura asociada, incluyendo ahí componentes tales como trinchera de sellado (cut-off), sección del núcleo o carpeta impermeable, deben ser libres de concentraciones localizadas de filtración, que podrían resultar en erosión interna (piping).

### **Equipos y Estructuras Metálicas**

Requisitos de mantenimiento deben ser aplicados a todos los componentes eléctricos y mecánicos, esenciales a la seguridad del embalse, a saber:

- ❑ vertedero,
- ❑ conductos,
- ❑ compuertas,
- ❑ accionadores,
- ❑ dispositivos de accionar de compuertas,
- ❑ instrumentación,
- ❑ iluminación normal y de emergencia y
- ❑ bombas.

Un programa de mantenimiento preventivo debe ser planeado de acuerdo con la clasificación por consecuencia de ruptura del embalse, patrón de la industria, recomendaciones del fabricante y el historial operacional de cada pieza, en particular, del equipo.

Referencias deben ser hechas (con informaciones suplementarias donde sea necesario), a los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes y proyectistas, con relación al mantenimiento necesario, piezas de reposición y pruebas regulares apropiadas para confirmar la funcionalidad de trabajo.

Los requisitos de mantenimiento para los componentes de estructuras metálicas tales como compuertas, stop-logs, guías, estructuras de izado, monocarriles y conductos, deben aplicarse a lo siguiente:

- ❑ Alineamientos, tornillos de anclaje, conexiones atornilladas, reviradas y soldadas, revestimientos de protección, detalles de soporte y lechadas.

### **Familiaridad con los Modos y Causas de Fallos**

### Categorías y Causas de Fallas

Falla	Consecuencia o Asociadas a	Causa
Deterioro de los Cimientos	Calidad y/o tratamiento de los cimientos. Presentan rajaduras visibles; Hundimiento localizado; Remoción de materiales	Remoción de materias sólidas y solubles; Remoción de Rocas; Erosión
Inestabilidad de los Cimientos	Materiales solubles; Esquistos arcillosos o arcillas dispersivas que reaccionan con agua	Licuefacción; Deslizamientos; Hundimientos, y; Deslocamiento de Fallas
Vertederos Defectuosos	Llenado de Proyecto; adecuación del Vertedero; historial de Operación del Vertedero y del Descargador; Obstrucciones; Condición aguas abajo; Crecimiento de la Vegetación; Fisuras y/o rajaduras en las estructuras de hormigón; Equipos en malas condiciones de uso	Obstrucciones; Revestimientos Fracturados; Evidencia de sobrecarga de la capacidad disponible, y; Compuertas y gruas disponibles
Deterioro del Hormigón	Materiales defectuosos; Agregados reactivos; Agregados de baja resistencia;	Reacción de agregados con los álcalis; Reacciones con Pirita; Acciones con Sulfato; Congelamiento- Deshielo, y; Disolución
Defectos de Embalses de Hormigón		Alta Sub-presión; Distribución imprevista de Sub-presión; Dislocamientos y Desvíos diferenciales, y; Sobrecargas
Defectos de Embalses de Tierra y/o de Escombros	Estabilidad y Sanidad de las rocas de escombros; Fractura Hidráulica; Rajaduras en el Suelo; Suelos de baja densidad	Potencial de Licuefacción; Inestabilidad de las rampas; Filtración excesiva; Remoción de los materiales sólidos y solubles, y; Erosión de la Rampa.

### Situaciones y Características de Anormalidades y Síntomas

Alineamiento de los caminos del embalse de tierra y/o de escombros, parapetos, líneas de transmisión o distribución, cercas de protección, canalizaciones longitudinales u otros alineamientos paralelos o concéntricos al embalse pueden revelar la existencia de desplazamiento superficial. Depresiones que puedan disminuir el borde libre. Protuberancia u otro desvío de planos lisos y uniformes.

Las rajaduras en la superficie de un embalse de tierra y/o de escombros pueden ser indicadores de muchas condiciones potencialmente inseguras. Pueden ser causadas por disecación y retracción de los materiales próximos a la superficie del embalse; entretanto, la profundidad y la orientación de las rajaduras deben ser definidas para entender mejor sus causas. Aberturas o escarpas en la cresta del embalse de tierra y/o de escombros o en las rampas pueden identificar deslizamientos. Rajaduras superficiales, próximas a las zonas de contacto de los encuentros del embalse, pueden ser una indicación de recalque de la misma y, si fueran bastante

severas, pueden convertirse en un camino de filtración a lo largo de estas zonas de contacto.

Puntos húmedos, burbujas, depresiones, sumideros o nacientes pueden indicar filtración excesiva a través del embalse. Puntos blandos, crecimientos anormales de vegetación y, en los climas fríos, acumulación de hielo en áreas donde ocurre una rápida licuación de la nieve, también indican anomalías.

Deposiciones químicas, desarrollo de bacterias, deterioro, corrosión u otras anomalías pueden obstruir o tapar los drenes.

Causas de erosión, tales como: protección de rampas inadecuada, exceso de lluvias, deslizamiento superficial concentrado, o la presencia de sedimentos o de arcillas dispersivas altamente corrosivas pueden identificar anomalías.

La vegetación nueva y tipos de vegetación que requieran gran cantidad de humedad son motivo de sospecha, porque pueden indicar puntos húmedos en el embalse. Una diferencia de color notada dentro de un área de un mismo tipo de vegetación es una buena indicación de puntos húmedos en el embalse.

El alineamiento de las estructuras de las paredes de los canales, de paredes y pisos, adyacentes a juntas de contracción transversales y aguas abajo de ellas, pueden indicar anomalías.

## DIAGNÓSTICOS

Se ha venido lidiando con el envejecimiento de los embalses de hormigón y albañilería de varias formas, los embalses de hormigón provocan aparentemente más preocupación a sus dueños que los embalses en terraplenes. Podría haber dos razones para esto: los materiales manufacturados por el hombre no son tan buenos como aquellos provistos por la naturaleza, la cual tuvo más tiempo para elaborarlos, por supuesto; y los embalses de hormigón y albañilería son más livianos y en consecuencia están más expuestos a las severas condiciones en términos de carga, pendiente hidráulica y a los efectos de las temperaturas.

Ciertas cuestiones en varios informes prestan atención preferencial a los escenarios de envejecimiento, por ejemplo aquellos que ocurren más comúnmente o en forma aguda como ser la reacción de los agregados alcalinos, el ataque de aguas violentas sobre el cuerpo del embalse, el cual puede ser acoplado con el peligro de daño por deshielos en el centro del embalse.

Las consecuencias de la dilatación del hormigón varían mucho con el tipo de embalse, funcionalidades específicas como los cimientos y la geometría del embalse, y el estándar de dilatación dentro del mismo, pero el signo observable más común es el de rajaduras.

La lógica presión causada por la dilatación de estructuras encerradas es frecuentemente mencionada y hay también inquietud acerca de los niveles de presión y de la fortaleza del hormigón.

Toda agua pasando a través del hormigón ataca el mineral calcáreo y el carbonato de calcio contenido en el cemento y especialmente si el agua es pura porque contiene dióxido de carbono disuelto o tiene un coeficiente de pH ácido. Finalmente el proceso tiende a empeorar en forma progresiva ya que los pasajes de agua se ensanchan con la pérdida de cemento y el agua dañina circula más libremente.

Los embalses fueron contruidos en un tiempo en que no se hacían esfuerzos para obte-

ner un hormigón altamente compacto o albañilería bien compacta, el material era poroso y las juntas frías entre elevadores de hormigón no eran adecuadamente tratadas. Los embalses eran contruidos en altitudes sobre pequeñas cuencas en geologías cristalinas donde el agua es pura o tiene un bajo pH. Embalses de poco espesor con alto grado de filtración por la pendiente.

Es importante resaltar la naturaleza crónica de la erosión del agua. Si esto no es controlado a tiempo puede provocar un gran daño, el cual, seguramente, sería muy caro de reparar. Delgados revestimientos y el hormigón que se encuentra cerca de las juntas de los muros de contención son particularmente vulnerables a este tipo de desgaste por el efecto del alto declive hidráulico. En climas fríos, la erosión del hormigón es agravada por el congelamiento-deshielo, por lo tanto, hormigones de baja calidad pueden ser rápidamente destruidos.

El daño de la erosión producto del congelamiento-deshielo, muy común en los países fríos, afecta principalmente a los embalses más antiguos por las razones mencionadas más arriba. La principal causa no es el frío mismo sino que lo más frecuente son los ciclos de congelamiento y deshielo sobre el hormigón húmedo. El hormigón en las construcciones más recientes en más denso, duro, ventilado y generalmente de mejor calidad y más resistente a cualquier tipo de agresión.

Los efectos de congelamiento-deshielo son rápidos y más devastadores en estructuras más livianas. La cresta del embalse trabaja expuesta a diarios deshielos de nevadas que a menudo no son masivos pero que hacen particularmente vulnerables esas partes sin afectar la integridad de la construcción. La situación es diferente con las múltiples y delgadas bóvedas y pivotes y con el frente de hormigón de los embalses de terraplén donde el deterioro toma rápidamente grandes proporciones.

En estructuras más masivas, los efectos del congelamiento-deshielo sobre las superficies expuestas son un problema sólo con el paso de los años. Los daños aguas arriba son casi siempre debidos a un lento proceso que no llega a penetrar profundamente dentro del hormigón. Esto podría deberse a las siguientes razones:

- el hormigón que se encuentra debajo de la superficie del agua no está expuesto a las heladas,

- Los embalses construídos en países con inviernos severos tienen depósitos estacionales con niveles regulares de espejo de aguas que bajan en invierno para entonces tener menores niveles de congelamiento-deshielo cíclico.

Las precipitaciones con heladas caídas aguas abajo del embalse, causan frecuentemente escamaciones en el hormigón. Esto tiende a largo plazo a afectar la seguridad de significativa magnitud pero vigoriza la vegetación y en las temporadas de lluvias pueden hacer peligrar la seguridad de las personas. Los efectos del congelamiento-deshielo son mucho más serios y preocupantes si hay reparaciones o parches efectuados sobre el frente aguas abajo debido a algún ineficiente drenaje interno. El grosor externo del hormigón del embalse o su albañilería puede ser dañado más profunda y rápidamente.

La rajadura del hormigón es un síntoma, no un proceso de envejecimiento. Esto puede ser causado por la edad tanto como por RAA, pero la mayoría de las rajaduras son producidas por causas accidentales, como por ejemplo un diseño incorrecto, contracción inicial del hormigón, problemas con los propios cimientos, etc. Esas rajaduras pueden entonces agrandarse a través de cargas cíclicas hidrostáticas o termales. El resquebrajamiento no es por sí mismo un proceso de envejecimiento pero sí una manifestación de algunas debilidades en la construcción con respecto al ciclo o persistencia de la carga. La interpretación inicial de la situación debe, en consecuencia, mencionar la actuación y el comportamiento del conjunto de la construcción a través de datos de deformaciones en los canales de descarga y datos de los registros del piezómetro, aun cuando las grietas fueran primeramente detectadas por inspección ocular, como ocurre frecuentemente.

Otro tipo de agrietamiento se debe a procesos naturales, tales como las variaciones diarias y estacionales de la temperatura cuando los picos o coeficientes de variación exceden ciertos valores. En términos prácticos, el envejecimiento reflejado por agrietamientos es signo de algunas debilidades que pueden provenir de persistentes o repetidas cargas, al margen de escenarios de envejecimiento que pueden provenir según lo expresado. El resquebrajamiento es siempre concerniente a los operadores del embalse pero realmente, sólo afecta en forma

directa a la seguridad si se desactiva la transmisión de las tensiones de corte. El caso clásico de la sala de clase es el dirigido al conjunto de grietas en la bóveda del embalse que ellos aíslan en un bloque de hormigón que es expulsado por la presión que viene de la represa.

Algunos problemas serios han sido informados sobre viejos anclajes ya que los tensores son especialmente vulnerables a la corrosión y a las condiciones de los lugares del anclaje que son frecuentemente húmedos y estrechos. La pérdida del pre tensado por aflojamiento de los tensores o deslizamiento es otro riesgo de envejecimiento con o sin corrosión. El problema empeora por el hecho de que pueden haber señales no visibles hasta que finalmente la falla se produce como un resquebrajamiento colapsante.

Pocos informes describen casos de embalses de terraplenes con envejecimiento totalmente similar. La impermeabilidad de la tierra y embalses de tierra homogénea son los componentes más importantes en la seguridad del embalse de terraplén ya que el envejecimiento puede causar canaletas.

Las causas de las filtraciones son el resquebrajamiento y finas filtraciones que se producen, o porque hay un inadecuado filtro aguas abajo, atrás del cuerpo principal o porque la tierra en un embalse homogéneo no posee propiedades para reconstituirse. Los defectos más importantes, aparte de las pequeñas filtraciones son heterogeneidades de origen incierto, fracturas hidráulicas por sequedad y quebraduras por contracción.

El envejecimiento de las hombreras aguas arriba del embalse en terraplén y su cobertura de protección no tiene un efecto ni directo ni inmediato sobre la seguridad del embalse, lo que es diferente al caso de la parte central de la misma.

Las hombreras son mencionadas en los informes como en conexión con fragmentación de escombros y la erosión de la superficie donde no existe ninguna protección. El primer proceso causa continuas fijaciones de magnitud variable y raramente lleva a situaciones peligrosas. A lo sumo, ello podría producir alguna reducción en la permeabilidad del material y en el largo plazo posiblemente causaría algún peligro durante un rápido "draw-down". La erosión superficial no es peligrosa en el corto y mediano plazo y puede ser fácilmente reparada.

Otra protección en aguas arriba que no sea la impermeabilización frontal mencionada en



los informes, consiste en el “rip-rap” o el emplazamiento manual; otras técnicas tales como la del cemento, no han sido mencionadas. El rip-rap puede ser afectado por la olas y el clima cambiante, por las condiciones físicas o químicas o la forma y contorno de las rocas. Sin embargo, ningún proceso es descrito con precisión. El declive es afectado por el mismo tipo de ataques así como el hormigón y las estructuras de albañilería, adicionalmente agravados por el ángulo del declive que permite la acumulación del agua y raíces de plantas. La presión del hielo también puede tener efectos desastrosos.

El envejecimiento de los estanques aguas arriba tiene muchos más inmediatos y urgentes efectos sobre la seguridad del embalse. El frente de hormigón sufre mucho el mismo tipo de ataque que el angosto hormigón de la construcción arriba mencionado; y es más, ellos son también afectados por deformaciones no significativas del subyacente relleno del embalse y tiene un punto débil en las juntas entre las tablas o las tiras.

A pesar de la importancia de las hombreras de aguas abajo para el soporte estructural y para los desagües y filtros de control de filtraciones en el cuerpo central del embalse, pocos casos de envejecimiento son informados. Se hacen necesarios cambios en los conocimientos y prácticas de la ingeniería, sin embargo, éstos sólo suceden en poco frecuentes intervalos, por ejemplo entre 30-50 años, o cuando acontecimientos excepcionales han ocurrido.

Embalses de hormigón y de hormigón armado han provocado la mayoría de las discusiones, clasificando dentro de ella la dimensión de la inestabilidad del hormigón, el envejecimiento del hormigón a través de la erosión o el agrietamiento por el congelamiento-deshielo, y el pre tensado. La contracción del hormigón en bóvedas y contrafuertes del embalse y el agregado de reacciones alcalinas, varias veces mencionada en los informes, será discutida más abajo. Comentarios sobre RAA son ampliamente aplicables a cualquier tipo de reacción causante de dilatación.

## TERAPIAS

Las historias de casos cubren una amplia variedad de situaciones diferentes. A veces, después de que las investigaciones son completadas, el embalse continúa operando sin

soluciones de reparación, o puede ser totalmente reconstruido, o también reparado y mantenido en cualquier rango.

Los informes dan la impresión de que algunas reparaciones son sumamente costosas y que por lo tanto los dueños de los embalses estarían más propensos a aceptar más modestas y temporanas formas de mantenimiento. No obstante, los operadores son reacios a hacer eso, ellos prefieren esperar hasta que algún acontecimiento se produzca afectando la seguridad, especialmente cuando hay escasez de fondos para ese fin y en el entendimiento de que el financiamiento para esto es oneroso. Un entendimiento más claro sobre el financiamiento envuelto sería saludable. Los tiempos de los trabajos de reparación son también altos. No hay informes de estados de problemas en términos económicos, ni siquiera, mencionando el valor del agua perdida por el derrame.

A diferencia de la industria de transporte aéreo, no se hacen mantenimientos preventivos en los embalses. Los trabajos son llevados a cabo cuando la represa está en su menor nivel de agua. Vale la pena mencionar que es buena práctica encargarse del mantenimiento en este momento con el objeto de evitar tener poco tiempo en el futuro.

Si un estudio sobre potenciales consecuencias de envejecimiento revelan inadecuada seguridad, especialmente en el caso de las construcciones más antiguas en vías de obsolescencia, ello traerá algunos problemas de difícil solución, como así lo podemos ver en varios informes.

Los trabajos informados sobre reparación en los cimientos de los embalses apuntan a la restauración de estanques; los casos más frecuentemente encontrados son: control de edificaciones, reparación de sistemas de drenaje y mejoras en la estabilidad de los cimientos.

La lechada es usada en la mayoría de los casos para acoplar con un excavador de drenaje extra, si es que el material permite conectar drenajes existentes. Recientemente se han hecho mayores avances en las lechadas a base de cemento y otros materiales. Ahora más que antes, es posible penetrar finas rajaduras o materiales porosos; así como rellenar activas rajaduras con lechadas que se pueden adaptar a los cambios de volumen.

La mayoría de estos nuevos materiales son compuestos sintéticos orgánicos pero materia-

les de base mineral. Los silicatos y los bituminosos son también usados en combinación con varios otros tipos como por ejemplo el epoxi-poliuretano, polyester, etc.

El trabajo operacional en los embalses comprende restricciones especiales. El uso de la lechada debe ser diseñado con esas y otras funcionalidades especiales en el lugar en cuestión. Estudios previos son recomendados. El trabajo es más complicado que el necesario para un proyecto de un nuevo embalse y es limitado por restricciones de costos.

Las otras aproximaciones informadas son compuertas de emergencia y distribución de plataformas o carpetas sobre las rocas aguas arriba del embalse. En este último caso, la represa debe ser vaciada y el problema de las juntas entre las plataformas y el embalse, a pesar de ser superable, demanda cuidados profundos.

El caso del tratamiento de los cimientos en aguas arriba más allá del arco del embalse, será discutido en la sección sobre la estabilidad dimensional del hormigón.

El tratamiento más común es proveer más drenaje y mejorar los estancamientos si es que la pendiente hidráulica es el asunto que nos ocupa. Hay dos caminos de rehabilitación del sistema de drenaje: limpieza de los desagües existentes y la perforación de unos nuevos.

Varias soluciones han sido aplicadas a los efectos de la contracción del hormigón en los arcos de embalses cuando ha alcanzado proporciones intolerables. Una segunda lechada en las juntas de saliente vertical tiene la ventaja de restaurar la geometría del embalse original con pocas consecuencias secundarias.

En la escena de trabajo hubo dificultades prácticas para llevarlo a cabo, por lo tanto no fue un éxito completo, aun usando finas resinas en la penetración. Estas dificultades son problemas de control del nivel de la represa, la posibilidad práctica de la penetración de las lechadas en las juntas, asegurando que las mismas se hayan llenado completamente y chequear que el trabajo proceda satisfactoriamente.

En presas de tamaño moderado donde las cargas de los cimientos no son demasiado altas, abrir la roca de hormigón aguas arriba es considerado aceptable, sujeto a chequeo con un apropiado modelo matemático que nos diga que el embalse en su totalidad trabaja satisfactoriamente. El sistema de desagüe puede ser llevado aguas abajo si es necesario.

Donde esto no es aceptable se debe inyectar resina en la junta abierta del cimiento, con la represa casi llena. Esto demanda estudios previos, procedimientos diseñados cuidadosamente y un fuerte control para prevenir efectos secundarios no deseados.

Se les ha ocurrido a muchos autores que un frente impermeable le negaría acceso al embalse debido al agua necesaria para que la dilatación ocurra, pero esta idea ha sido a menudo rechazada debido al problema de la prevención de entrada de agua a través de los cimientos y del largo tiempo requerido para que el hormigón se seque. En los lugares donde han sido aplicadas cubiertas y no han fallado, no ha pasado tiempo suficiente como para juzgar su eficacia.

En los lugares donde deformaciones de dilatación inducida tienen efectos fatales, a veces se han abierto ranuras en el hormigón para permitirle su expansión. A pesar de no ser ésta considerada una solución permanente, ha producido el resultado deseado y puede aparentemente ser repetida sin dificultad. Las ranuras fueron primeramente hechas perforando agujeros en forma continuada pero éste no es un trabajo correctamente ejecutado ya que en los últimos intentos se han usado abrasivos y sierras metálicas.

La filtración en las presas de hormigón puede producirse a través del cuerpo del mismo, o de las rajaduras o juntas verticales u horizontales. La mayor parte de esta sección se aplica igualmente a los frentes de hormigón de los embalses de terraplén. Los métodos de reparación son muy variados y grandes avances se han hecho recientemente. Dos son las tendencias que emergen de estos informes, el incremento del uso de frentes de hormigón "grueso" y sustancias orgánicas sintéticas.

Las valuaciones del hormigón. Un mínimo grosor se necesita para superar los efectos de la temperatura en las zonas de arriba de la línea del agua y prevenir pendientes hidráulicas excesivas sin material. El frente puede ser mucho más grueso si el objetivo es mejorar la estabilidad, como ser en los muy antiguos embalses. Pendientes hidráulicas altas atravesando el hormigón, pueden ser también un problema en cualquier lugar, por ejemplo cuando se sella una junta de construcción horizontal o alrededor del dique contenedor durante la construcción o la reparación. En el primer caso, una solución localizada como lo es simplemente la que proviene de la junta está limitada a no tener éxito si

una franja de junta ancha no se coloca sobre ella. En el segundo caso, un simple dique de contención es muy probable que traiga problemas a largo plazo si es que está sujeto a alturas sin arreglos especiales. El grosor en el frente del hormigón no es el único factor. Ellos son cuidadosamente diseñados con refuerzos y barras de anclaje, tamaños apropiados y tipo de cemento correspondiente, mezclas, humo de sílice, etc., para asegurar una apropiada performance. Se usa frecuentemente hormigón lanzado para los frentes.

Desde su primera aparición cerca de treinta años atrás, los sintéticos nunca han cesado de mejorar en resultados y costos, y ahora ellos tienen muchas más aplicaciones. Muchos reportes reflejan la gama de usos que ofrecen. Ellos proveen diques de contención preformados y compuestos de sellado, sin embargo, la posibilidad de que sean flanqueados por la filtración bajo pendientes hidráulicas debe ser considerada. Ellos pueden ser formulados como epoxies de lechadas, poliuretanos para rajaduras abiertas y grandes cavidades, polyesters, acrylamides con o sin silicatos, o poliuretanos reactivos en agua para finas rajaduras y materiales porosos. Por último, ellos pueden ser usados para cubiertas a prueba de agua, principalmente el epoxies y el poliuretano formulados para conferir flexibilidad. Un éxito remarcable se viene obteniendo desde hace diez años con membranas a base de un compuesto de pvc sobre un material de drenado.

Se necesitan estudios apropiados y una aplicación cuidadosa para que el uso de sintéticos sea exitoso en la prevención del congelamiento o evaporación, el control de las pendientes hidráulicas cerca de los bordes del frente del embalse, así como proveer un legítimo apoyo a la superficie, protegerla contra la humedad y el polvo y se debe planificar el trabajo adecuadamente. Esto significa que el uso de sintéticos necesita especialistas.

Aún se usa hormigón lanzado reforzado en los frentes de aguas arriba fuertemente unido al hormigón del embalse. Esos frentes son más durables cuando son más gruesos, el embalse tiene una altura moderada y las temperaturas son limitadas.

Los estanques de varios embalses se han reparado colocando la lechada desde el frente de aguas arriba o desde la cresta. Se han usado lechadas sintéticas y cementos. Defloculantes me-

jurados, cementos ultra finos, procedimientos controlados y los equipos introducidos en la última década han extendido la aplicación de lechadas a mezclas a base de cementos, aun combinándolas con silicatos y resinas. Siempre deben hacerse pruebas previas para chequear que la mezcla pueda penetrar en las rajaduras y poros.

Para trabajar con revestimientos a prueba de agua es importante preparar la base adecuadamente; siempre es necesario fregarla con chorros de agua a alta presión. Cementos de alúmina con alta resistencia a la erosión del agua pueden ayudar a superar algunos problemas ya que son compatibles con el agregado pero su costo es muy elevado.

Se han usado recientemente frentes delgados herméticos pero se les han colocado revestimientos sintéticos protectores en las caras de aguas arriba.

El daño causado por el congelamiento-deshielo que actúa juntamente con el ataque de aguas agresivas es generalmente reparado restaurando la parte hermética del embalse. Este aspecto ha sido discutido más arriba. Estas reparaciones son siempre necesarias cuando las filtraciones van penetrando el embalse, se congelan y dañan el frente aguas abajo.

Las reparaciones en la cresta, los contrafuertes y trabajos accesorios consisten en cortar una parte del hormigón y emparcharlo. La resistencia al congelamiento de la nueva mezcla del hormigón es maximizada por los métodos usuales, alta densidad, ventilación, amplia cobertura a los refuerzos, etc. Las formas serán también simplificadas o el perfil del hormigón se engrosará.

Se aplicarán los mismos principios de reparación para los daños causados por los efectos de congelamiento-deshielo en el frente aguas arriba y en la faja horizontal a lo largo de la línea de agua.

Se debe remarcar que la estabilidad no es afectada a menos que el daño sea muy importante, con una pérdida significativa en la cantidad del material del embalse. Si éste es el caso, el frente aguas abajo puede no ser el lugar más adecuado para agregar hormigón para mejorar la seguridad del embalse.

Rehacer el frente no es totalmente esencial para prevenir la caída del material de la cara dañada. Sería suficiente por ejemplo graduar el frente con mangueras de alta presión. Varios

informes citan aplicaciones exitosas con este método lo cual puede ser altamente automatizado.

Rehacer el frente es sólo necesario por razones de apariencia, ya que es un área donde los operadores están expuestos a alta presión e inspecciones continuas de diversos grados de autoridades. Pero rehacer los frentes no está libre de inconvenientes:

- Una fina camada o revestimiento es inútil a menos que se rehaga nuevamente a los pocos años.
- Una gruesa (varios decímetros) capa de hormigón es necesaria si el hormigón original tiene que ser protegido contra la acción del congelamiento y para mejorar su durabilidad.

El hecho de que las rajaduras expuestas raramente sean reparables es una dura realidad. Aparte de unos pocos casos muy especiales, en los cuales un tratamiento específico fue aplicado, las únicas reparaciones informadas fueron sobre contrafuertes y hondonadas de los embalses.

En ambos ejemplos, el trabajo fue muy extenso, casi el equivalente a construir un nuevo embalse. Por otra parte, la protección termal o una lechada de resina parcial se consideraron suficientes. Esto confirma que las rajaduras no son necesariamente un tema de gran preocupación. Sin embargo, se debe recordar que se está hablando sólo de rajaduras producidas por la fragilidad del embalse respecto a su resistencia o a las repetidas cargas.

Algunos autores cuestionan la rehabilitación de los embalses sobrecargados. Se ha considerado la instalación de nuevos tensores y revestir los ya existentes para que puedan estar más protegidos.

La reparación de los frentes de hormigón en los embalses de terraplén envuelve un trabajo similar al ya descrito para embalses de hormigón resquebrajados: recortar el hormigón dañado y emparcharlo o revestirlo con polímeros sintéticos. Se debe tener cuidado especial con las juntas, las cuales son puntos débiles en los frentes herméticos. En las rampas planas el hormigón bituminoso es una alternativa factible. El área del frente tiene que ser reparada siempre que haya muchos defectos localizados.

Casi el único tipo de reparaciones para las hombreras de aguas abajo, sin importar cual sea

el daño, es colocar un relleno extra ,con o sin filtro sobre el viejo frente.

## COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

La experiencia muestra que la mayoría de las medidas destinadas a prevenir el envejecimiento o limite estos efectos deben ser tenidas en cuenta en el proceso de diseño o de construcción. Esas medidas preventivas son discutidas primero, seguidas luego por las acciones en la provincia donde está el operador del embalse.

Los propietarios del embalse no ven el más alto costo del capital como favorable, prefieren negociar con los efectos del envejecimiento. La decisión debería ser basada en análisis económicos para minimizar costos inmediatos con, además una rebaja de gastos futuros. Sin embargo, un buen diseño y prácticas de construcción eliminarán ampliamente las causas de envejecimiento. La roca o los cimientos en el suelo deben ser capaces de resistir las cargas aplicadas en el embalse para tener una performance exitosa y de largo plazo.

Entre las medidas de control de envejecimiento más eficientes es usual hacer inspección de galerías para realizar lechadas y canales de drenaje. Esto es también beneficioso si el drenaje puede ser convenientemente limpiado y sustituido y ellos deberían ser organizados en grupos por zonas de cimientos homogéneos para poder realizar una fácil interpretación de su descarga estándar.

En algunos países, se ha monitoreado un gran número de tipos de roca que pueden ser responsables de causar RAA. Esto reduce los riesgos de patologías en un embalse y la aproximación debe ser aplicada en cualquier lugar.

Controlar el contenido de humedad del hormigón a través de precisos métodos preferentemente drenado como ser haciendo cubiertas a prueba de agua , fue tema de varios estudios y juicios, algunos de los cuales son mencionados en la sección anterior.

Ciertas medidas ofrecen una efectiva prevención para estos tipos de envejecimiento. Cementos con alta proporción de escoria del alto horno o material puzolánico son ideales; la baja formación de piedra caliza hace que el hormigón sea resistente a ataques químicos y el bajo calor por hidratación mantiene una moderada contracción con bajo riesgo de rajaduras.

A los contratistas se les debe hacer saber sobre la necesidad de tener una buena unión en las juntas. La erosión por el paso de agua puede ser prevenida mediante la aplicación de cubiertas impermeables, capas o membranas sobre los frentes aguas arriba. Esto también se hace como medida de reparación tal como fue discutido en la sección precedente. Tanto el diseñador como el operador pueden hacer uso de esta aproximación. Los controles de seguridad contra los efectos de los ciclos de congelamiento-deshielo están manejándose con varios informes: simples formas, arreglos para contener derrames y liberar descargas de líquidos pluviales, ingreso de aire en el hormigón, amplia cobertura de hormigón para reforzar el embalse. Si el vaciado del hormigón es factible en términos de costos, esto aportaría una gran resistencia contra el congelamiento.

Muchos propietarios de embalses se preocupan acerca de la integridad a largo plazo del hormigón instalado unas pocas décadas atrás porque ahora los requerimientos sobre la prevención de envejecimiento son más rigurosos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis profundos agradecimientos al Prof. Dr. Joaquin Diez-Cascon, por la invitación para actuar como Relator del Tema III, agradecimientos estos que deben ser extensivos a la Comisión Técnica.