

Anejo B

FICHAS DE PRESAS AFECTADAS POR REACCIONES EXPANSIVAS

B.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado en el Anejo A, para la persona responsable de la explotación de una presa afectada por reacciones expansivas es muy útil tener datos acerca de otras presas que hayan podido sufrir los mismos procesos que se presentan en la suya.

El anterior Anejo cuenta con muchos datos acerca de numerosas presas, sin embargo, sólo trata sobre aquellas afectadas por AAR, no incluyendo, por tanto, presas afectadas por ataque sulfático. Por otro lado, un inconveniente que presenta es que puede resultar un poco difícil de interpretar ya que la información que aporta es muy esquemática. En este Anejo lo que se pretende es elaborar una base de datos que corrija estos aspectos, en primer lugar incluyendo datos acerca de presas que sufran cualquiera de los tipos de reacción y en segundo, con la redacción de unas

fichas que profundicen más en los aspectos más importantes, y que sean de fácil comprensión.

Este Anejo incluye fichas de 40 presas que han sufrido expansiones en distintas partes del mundo, la información proviene de conferencias del ICOLD y del USCOLD, así como de otras fuentes. Los aspectos que se han considerado más importantes son:

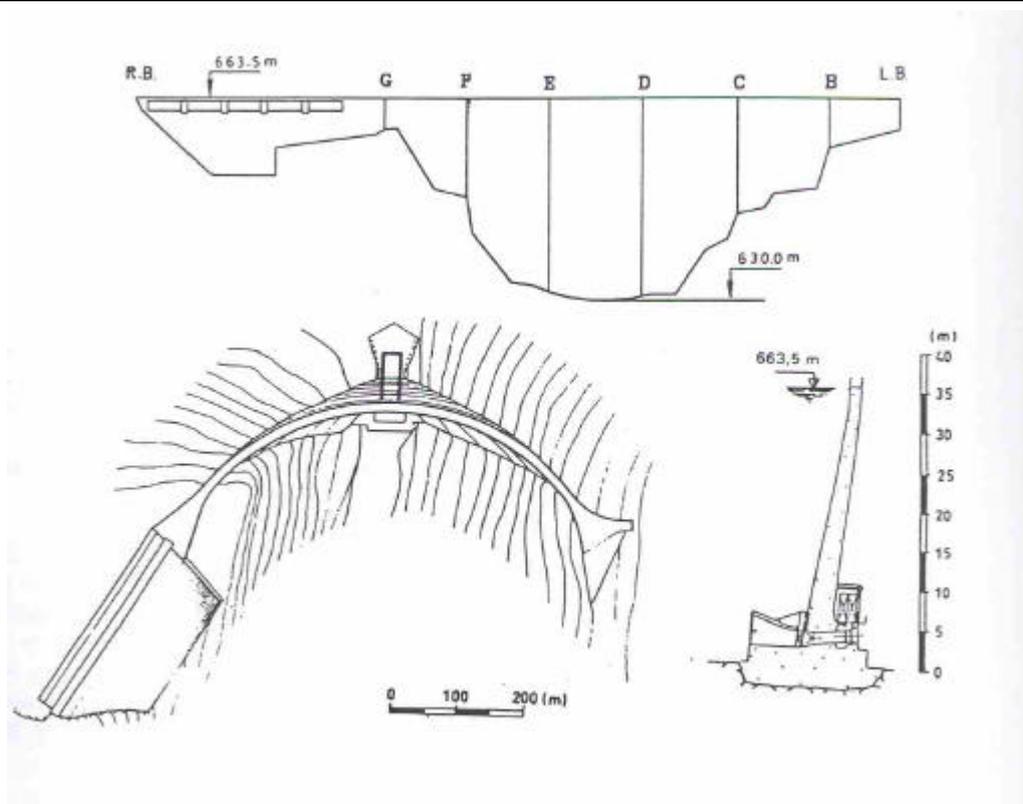
- Características de la presa, se consideran las principales de la presa, el tipo, su altura, año de construcción y aparición de síntomas, así como de los materiales que se emplearon en su construcción, tanto áridos como cemento.
- Instrumentación, ya que es importante conocer con qué medios se ha contado para detectar la presencia de la reacción, y sobretodo, puede ser interesante conocer cómo se ha incrementado la auscultación una vez se sabe que la presa padece estos problemas.
- Síntomas, evidentemente merece especial atención el conocer los síntomas que se han producido en cada presa, así como su evolución el tiempo que es lo que se ha hecho en este apartado de cada ficha
- Hipótesis y estudios realizados, tanto para confirmar la reacción como el causante de los efectos que se dan en la presa como para ver cómo ha afectado al estado general del hormigón, hay toda una serie de ensayos que se pueden realizar, en este punto se exponen los que se han llevado a cabo en cada presa, así como los resultados obtenidos.
- Medidas adoptadas. Una vez que se conoce el alcance del problema, y los problemas que genera, se procede al estudio de las medidas que pueden llevar a cabo para solucionarlos. En este apartado se hace una descripción en el tiempo de las medidas tomadas así como del resultado obtenido con las mismas.
- Figuras. Para ilustrar cada ejemplo, se han incluido una serie de figuras de los aspectos que se han considerado más importantes en cada presa, ya sea referente a las características geométricas tanto en planta como en perfil como a las medidas adoptadas.

B.2 FICHAS

ÍNDICE

1	Alto Ceira
2	Asejire
3	Beauharnois
4	Cahora – Bassa
5	Center Hill
6	Chambon
7	Chelsea
8	Chickamauga
9	Churchill
10	Coniston
11	Copper Basin
12	Fonsagrada
13	Fontana
14	Gene Wash
15	Graus
16	Hiwassee
17	Horse Mesa
18	Ilsee
19	Keerom
20	Kougha
21	La Tuque
22	Mactaquac
23	Maentwrog
24	Moxotó
25	Owyhee
26	Piedra del Águila
27	Pietersfontein
28	Poortjieskloof
29	Pracana
30	R.H. Saunders
31	Rapide – de - Iles
32	Rapides Farmers
33	Roode Elsberg
34	Salas
35	San Esteban
36	Santa Luzia
37	Stompdrift
38	Tavascán
39	Temiscouata
40	Torán
41	Val de la Mare

PRESA: Alto Ceira (Portugal)		1
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Bóveda
	Año de finalización	1949
	Año de aparición síntomas:	---
	Altura	37 m
	Tipo de árido:	Esquisto, grauwaca...
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	La instrumentación inicial consistía en una red geodésica, nivelación y medidores de apertura de juntas en coronación. Posteriormente se mejoró en 1986 instalando una línea de plomada y extensómetros	
SÍNTOMAS:	La monitorización ha mostrado un comportamiento anómalo, caracterizado por la existencia de desplazamientos horizontales hacia aguas arriba y verticales hacia arriba. Asumiendo continuidad estructural se calculó una expansión de $1600 \cdot 10^{-6}$ microstrains. Simultáneamente, se desarrolló una fisuración de carácter estructural de gran importancia.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
<ul style="list-style-type: none"> o Tras los primeros estudios de simulación se creyó que se trataba de movimientos en la cimentación, lo cual se descartó finalmente ya que no encajaba con los movimientos que se daban. o Después de analizó la expansión como posible motivo. 		
Después de los primeros síntomas , se realizaron estudios sobre los materiales	La fisuración en la coronación, en el paramento aguas abajo y en la parte superior del de aguas arriba, indica una mayor influencia de las acciones térmicas y del hielo en el envejecimiento de la presa.	
Simulaciones con elementos finitos	Los estudios teniendo en cuenta las cargas del agua y térmicas, sobretudo durante los llenados y vaciados del embalse, desvelaron que eran mucho menores que los movimientos acumulados registrados (unas diez veces), y que no cambiaban mucho a lo largo del tiempo.	
Se dividió en cinco zonas y se determinaron los parámetros de la expansión para cada una de ellas por medio de la observación de los desplazamientos radial y tangencial.	Se vio que los parámetros de la expansión parecían estar relacionados con la fisuración y con las condiciones de la explotación normal.	
Al final de estos estudios y muchos más, se llegó a la conclusión de que la expansión se debía a la AAR y era similar a la de Santa Luzia: la reacción se daba entre el cuarzo y los áridos metapelíticos, que eran la fuente de sílice reactiva y los feldespatos, que eran la fuente de álcalis.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Se decidió abandonar la reparación de la presa ante la dificultad y alto coste de la reparación		

FIGURAS:

ALZADO, PLANTA Y PERFIL

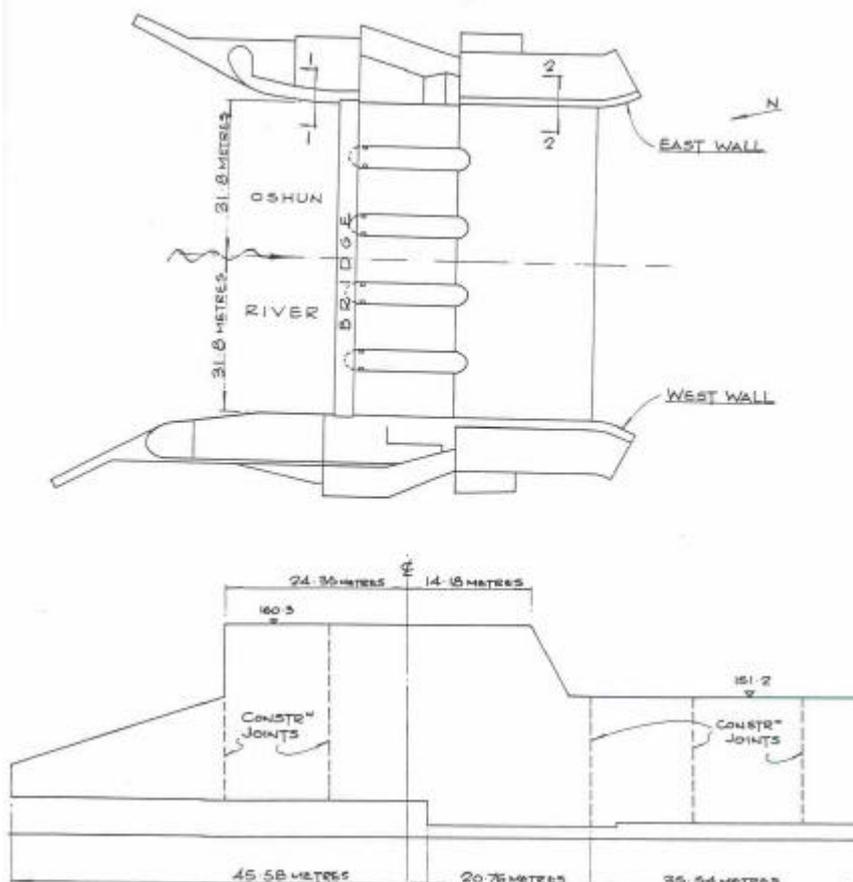
REFERENCIAS: Mora Ramos et al. (1995)

PRESA: Asejire (Nigeria)		2
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa Año de finalización Año de aparición síntomas: Altura Tipo de árido: Cemento: Tipo de reacción:	Materiales sueltos con aliviadero hormigón 1968 1982 24,4 m Gneis --- Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Se aumentó la monitorización tras llevarse a cabo los trabajos de reparación: se instalaron instrumentos para realizar mediciones geodésicas, extensómetros, termómetros, clinómetros...	
SÍNTOMAS:	<p>El muro lateral oeste había desarrollado algunas fisuras finas y estaba en mejores condiciones que el muro este. En este último predominaban fisuras longitudinales y en mapa, con espesores que variaban entre muy finas y 20 mm y con profundidades máximas de 300 mm.</p> <p>A pesar de que la presa estaba cimentada sobre roca de granito cuyas grietas fueron inyectadas a presión antes de la construcción de la presa, se daban movimientos diferenciales entre las juntas de construcción de la caseta de bombas en la orilla oeste</p> <p>La fisuración se daba sobretodo en la porción armada, en la parte superior del muro, y en las partes expuestas a continuos ciclos de humedad – secado.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Desde el principio se sospechó de la AAR y en ese sentido se orientaron los ensayos a realizar: se realizó una inspección visual para establecer la extensión de la fisuración, y extrajeron testigos para someterlos a ensayos de laboratorio		
Ensayos:	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de gel fluorescente de Cornell • Estabilidad del árido con uso de sulfato de sodio • Cambio de volumen potencial • Contenido de cemento • Tipo de cemento • Resistencia a compresión • Examen petrográfico 	<p>Se observó que los áridos eran graníticos</p> <p>Todos los testigos contenían abundante fisuración que eran fácilmente visibles. La mayoría de las fisuras atravesaban el árido grueso.</p> <p>Asimismo los testigos mostraban huecos de unos 2 mm. de diámetro.</p> <p>Se observó que el contenido en álcalis era muy alto debido a la gran concentración de óxido de potasio en el árido.</p> <p>El ensayo de Cornell indicaba que todos los testigos contenían productos de la reacción álcali – sílice.</p>
Estudio de la fisuración para determinar la extensión y la magnitud de la fisuración.	<p>Se llevó a cabo en 1992 con cámaras acuáticas que se bajaron por los muros en ala mientras se registraban las imágenes en la superficie y la parte que quedaba sobre el nivel del embalse se inspeccionó directamente.</p> <p>Se vio que la anchura de las fisuras del hormigón bajo el agua eran del rango de 1 a 2 mm con la única excepción de una a cinco metros de la parte superior del muro este que alcanzaba entre 10 y 12 mm de anchura.</p>	

MEDIDAS ADOPTADAS:

Se tomó en cuenta la experiencia de la presa de Kamburu y se decidió realizar las siguientes reparaciones:

- Se colocaron 225 mm de hormigón armado en la parte superior del hormigón existente de los muros y pilas laterales.
- Se sellaron las fisuras de grosor mayor a 10 mm con inyecciones de cemento.
- Se sellaron las fisuras de entre 2 y 10 mm con resinas epoxy.
- Limpieza y relleno de las juntas de expansión
- Se limpiaron las afloraciones
- Se aumentó la monitorización

FIGURAS:

ALZADO Y SECCIÓN

REFERENCIAS: Lamaudiere et al. (1995)

PRESA: Beauharnois (Canadá)	3
CARACTERÍSTICAS:	<p>Central hidroeléctrica + 2 presas de gravedad</p> <p>Año de finalización: 1928-1961 (tres fases)</p> <p>Año de aparición síntomas: 1940's</p> <p>Altura: 29 (toma), 22 (presa derecha), 19,5 (presa izquierda)</p> <p>Tipo de árido: Areniscas</p> <p>Cemento: Primera y segunda fase: $c = 304 \text{ kg / m}^3$, $a/c = 0,59$</p> <p>Tercera fase: $c = 237 \text{ kg / m}^3$, inclusor de aire = 4 %</p> <p>Tipo de reacción: Contenido en álcalis: 0,8 – 1,12 % Álcali – sílice</p>
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Se instaló una red de monitorización 1970 para cuantificar los desplazamientos de las diferentes estructuras. Esta decisión estuvo influenciada siguiendo los problemas estructurales observados en la unión de la presa derecha con la estructura de toma.</p> <p>En 1987 instalaron tres cilindros instrumentados en dos direcciones diseñados por la Universidad de Sherbrooke, uno en la central 1, y los otros dos en la central 3.</p> <p>En 1992 se instalaron siete cilindros tridimensionales, tres de los cuales se colocaron en la unión de la presa con la central 1, dos en la central 2 y dos en la central 3.</p> <p>En 1995 se instalaron los sistemas de adquisición de datos automáticos.</p>
SÍNTOMAS:	<p>Las primeras fisuraciones aparecieron a principios de los 40 en las tomas y en la sección derecha</p> <p>La expansión del hormigón causó problemas tanto en el edificio de administración, que antes de ser separado se había desplazado 100 mm, como en la estructura metálica de acero que estaban adjuntas a la toma.</p> <p>Además, algunas de las unidades se empezaron a ovalizar y a inclinarse.</p> <p>El corte para separar el edificio administrativo se cerró tan pronto se concluyó y se agrandó en 1984.</p> <p>Se observaron fisuraciones superficiales especialmente en tres secciones. En las tomas, la parte superior de las pilas del aliviadero y las presas derecha e izquierda, microfisuras de 0,05 - 0,1 mm. Llenas de gel cálcico álcali – silíceo. Las superficies mas afectadas en el hormigón de los bloques 1 y 2, contaban con fisuras de entre 1 y 6 mm de amplitud.</p>
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:	
<p>A principios de los 70 se inició un programa de investigación extensiva y ensayos para determinar las propiedades del hormigón. Se extrajeron testigos.</p>	<p>La resistencia a compresión se evaluó a partir de testigos extraídos verticalmente a 2 m. de la superficie en el hormigón en masa. Los valores medios obtenidos fueron: 25 MPa para las dos presas y la central 1, 30 MPa para la central 2 y 35 MPa para la central 3.</p> <p>En cuanto al los valores del módulo de Young y Poisson, fueron de 12 GPa y 0,20 para las estructuras acabadas en 1951 y 16 GPa y 0,25 para las acabadas en 1961.</p> <p>La tensión a tracción se evaluó a partir de testigos que se extrajeron a 0,40 m de profundidad, dando unos valores de 1,4 MPa para la presa derecha y 1,55 MPa para la izquierda.</p> <p>Las magnitudes de las principales tensiones oscilan entre 0,70 y 7,20 MPa a compresión y 3,16 a tracción.</p>

Estudios de ensayos de expansión y petrográficos	<p>Se concluyó que la causa principal de las expansiones era la reacción álcali – árido, concretamente, álcali – sílice. Los resultados de las expansiones fueron:</p> <table border="1" data-bbox="754 349 1406 528"> <thead> <tr> <th>ESTRUCTURA</th> <th>FASE 1932 (% / AÑO)</th> <th>FASE 1951 (% / AÑO)</th> <th>FASE 1961 (% / AÑO)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presa derecha</td> <td>0,0077</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Presa izquierda</td> <td>0,0055</td> <td>0,0052</td> <td>0,0029</td> </tr> <tr> <td>Toma</td> <td>0,0025</td> <td>0,0033</td> <td>0,0024</td> </tr> <tr> <td>Central</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,0054</td> </tr> </tbody> </table>	ESTRUCTURA	FASE 1932 (% / AÑO)	FASE 1951 (% / AÑO)	FASE 1961 (% / AÑO)	Presa derecha	0,0077	-	-	Presa izquierda	0,0055	0,0052	0,0029	Toma	0,0025	0,0033	0,0024	Central	-	-	0,0054
ESTRUCTURA	FASE 1932 (% / AÑO)	FASE 1951 (% / AÑO)	FASE 1961 (% / AÑO)																		
Presa derecha	0,0077	-	-																		
Presa izquierda	0,0055	0,0052	0,0029																		
Toma	0,0025	0,0033	0,0024																		
Central	-	-	0,0054																		
Estudio de los datos de la auscultación	<p>Hay movimientos en constante progreso en dirección vertical y horizontal. La cresta de todas las estructuras crece a una velocidad de entre 1 y 2,5 mm / año hasta hacer un total de 75 a 131 mm en el caso de la presa derecha y de 62 a 114 mm para la primera fase de la estructura de toma. El alargamiento total de la presa derecha, la estructura de toma y la central en su unión era de 149 mm, 213 mm y 122 mm respectivamente en 1991. La inclinación aguas arriba de la coronación con relación a la base de la estructura de toma era entre 50 y 60 mm.</p>																				
Datos de los cilindros de 1987	<p>En el cilindro de la central 1 las variaciones registradas de las tensiones de compresión eran de $\sigma_{zz} = -4$ MPa y $\sigma_{xx} = -2$ MPa. Las variaciones de la deformación alcanzaban un máximo de 400 $\mu\text{m} / \text{m}$. En cuanto a los de la central 3, los resultados señalaban las tendencias de las tensiones de compresión a lo largo del eje OX y de la dirección vertical. Las variaciones medidas eran de $\sigma_{xx} = \sigma_{zz} = -3$ MPa. Las máximas variaciones de la deformación eran de 200 $\mu\text{m} / \text{m}$.</p>																				

MEDIDAS ADOPTADAS:

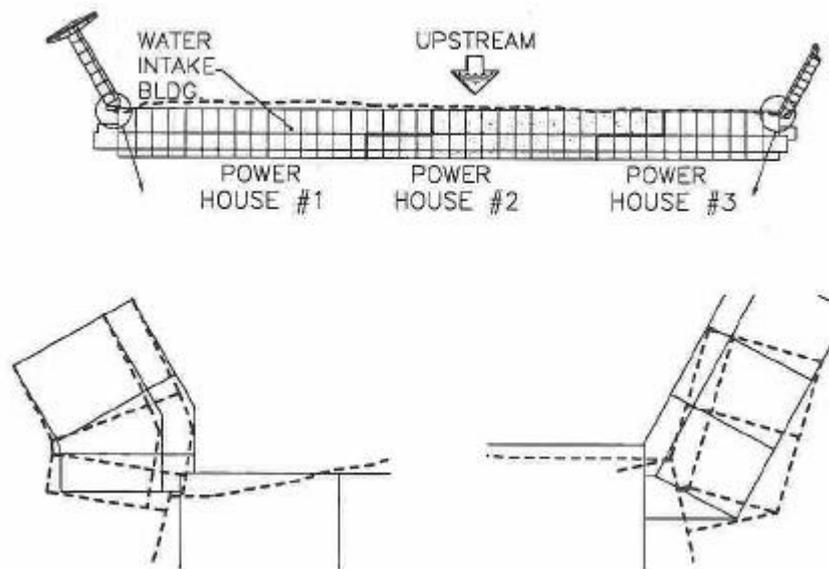
En 1947 se realizó una pantalla de inyección y en 1950 se reparó la superficie del hormigón de la parte superior y aguas abajo de los bloques 1 y 2.

Desde entonces, se han llevado a cabo cuatro intervenciones principales:

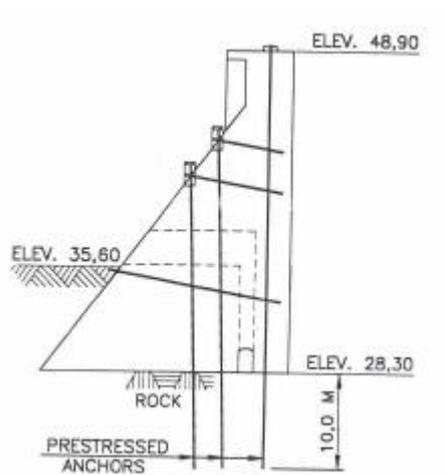
1. Anclaje de los bloques 1, 2 y 3 de la presa de la derecha con cables postesos. Se realizó entre 1970 y 1971.
2. Separación del edificio administrativo de la estructura de toma mediante el corte de hormigón armado. Se ejecutó entre diciembre de 1974 y junio de 1975
3. Separación de la presa de la derecha de la estructura de toma mediante un corte en el hormigón en masa. Esta actuación se produjo entre octubre de 1972 y febrero de 1973
4. Separación de las unidades 35 y 36 a principios de los 80.

Se tuvo que agrandar el corte que separaba el edificio administrativo en 1984.

En 1993 – 94 se realizó una rehabilitación de las partes deterioradas del paramento aguas abajo con la colocación de entre 200 y 300 mm, de hormigón con árido no reactivo que se ancló.

FIGURAS:

PLANTA Y MOVIMIENTOS HORIZONTALES



ANCLAJES

REFERENCIAS : Bavilly et al. (1995)
Gocevski (1995)

PRESA: Cahora – Bassa (Mozambique)	4
---	---

CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa Año de finalización Año de aparición síntomas: Altura Tipo de árido: Cemento: Tipo de reacción:	Bóveda de doble curvatura 1974 --- 170 m Gneis cuarcítico porfiroblástico --- Álcali - sílice
-------------------------	---	---

INSTRUMENTACIÓN:	Deformímetros, extensómetros.
-------------------------	-------------------------------

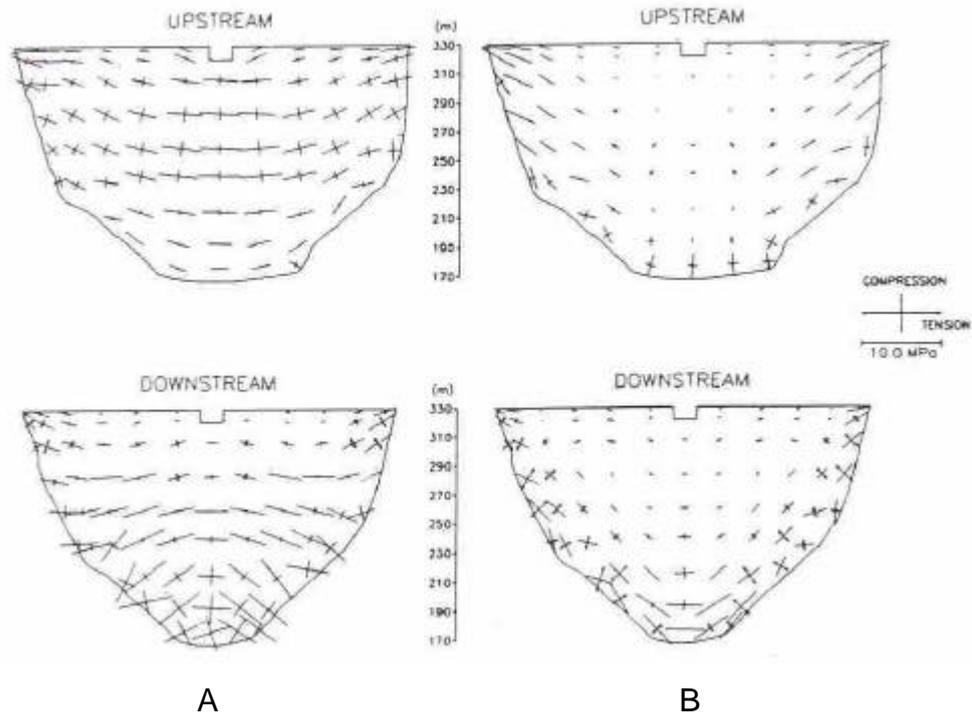
SÍNTOMAS:	<p>Se detectó mediante las mediciones de los deformímetros de los 50 grupos de extensómetros instalados. Esto se confirmó con el análisis de la cimentación y por los resultados de los primeros análisis petrográficos y mineralógicos.</p> <p>El desarrollo de las expansiones era moderado, progresaban a velocidad constante y tenían una distribución simétrica en la estructura aunque con una cierta heterogeneidad principalmente en las direcciones aguas arriba – aguas abajo y vertical.</p> <p>La existencia de altas temperaturas y grado de humedad relativa contribuían al desarrollo de la reacción, pero la gran estabilidad termo – higrométrica contribuye a la distribución aparentemente simétrica y a la restricción de heterogeneidades.</p> <p>La expansión acumulada entre 1977-1994 causó un combamiento en una galería de 11 mm, aunque no provocó ninguna fisuración estructural. Con los resultados de los deformímetros y las mediciones topográficas se pudo predecir la distribución y la evolución de la expansión y determinó que ésta era isotrópica.</p>
------------------	--

HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:	
---	--

Ensayos petrográficos y mineralógicos	<p>Existencia de microfisuración en áridos y pasta, llena de gel isotrópico y presencia de anillos de reacción dentro y fuera de los áridos.</p> <p>Los ensayos mineralógicos mostraban la existencia de ASR que podría haber comenzado entre los álcalis del cemento y el cuarzo pero cuyo desarrollo se daría por la “auto reacción” de los áridos, promovida por el alto pH del medio.</p>
Se usó un modelo de bóveda gruesa para analizar el estado tensional como resultado de las expansiones. Se consideró que existía continuidad estructural y comportamiento viscoelástico lineal del hormigón.	<p>Cuando se redactó este documento los estudios todavía se estaban realizando, suponiendo que se mantenía la velocidad del desarrollo de la expansión, se pretendía predecir el tiempo que se tardaría en llegar a una situación en la que se verían afectadas las condiciones de servicio.</p>

MEDIDAS ADOPTADAS:	
---------------------------	--

- En el momento de la elaboración del documento no había sido necesario llevar a cabo ninguna reparación.

FIGURAS:**Principales tensiones en las superficies de las presas**

A: resultado de la expansión, presión hidrostática, peso muerto y acciones térmicas

B: resultado de la expansión

REFERENCIAS: Mora Ramos et al. (1995)

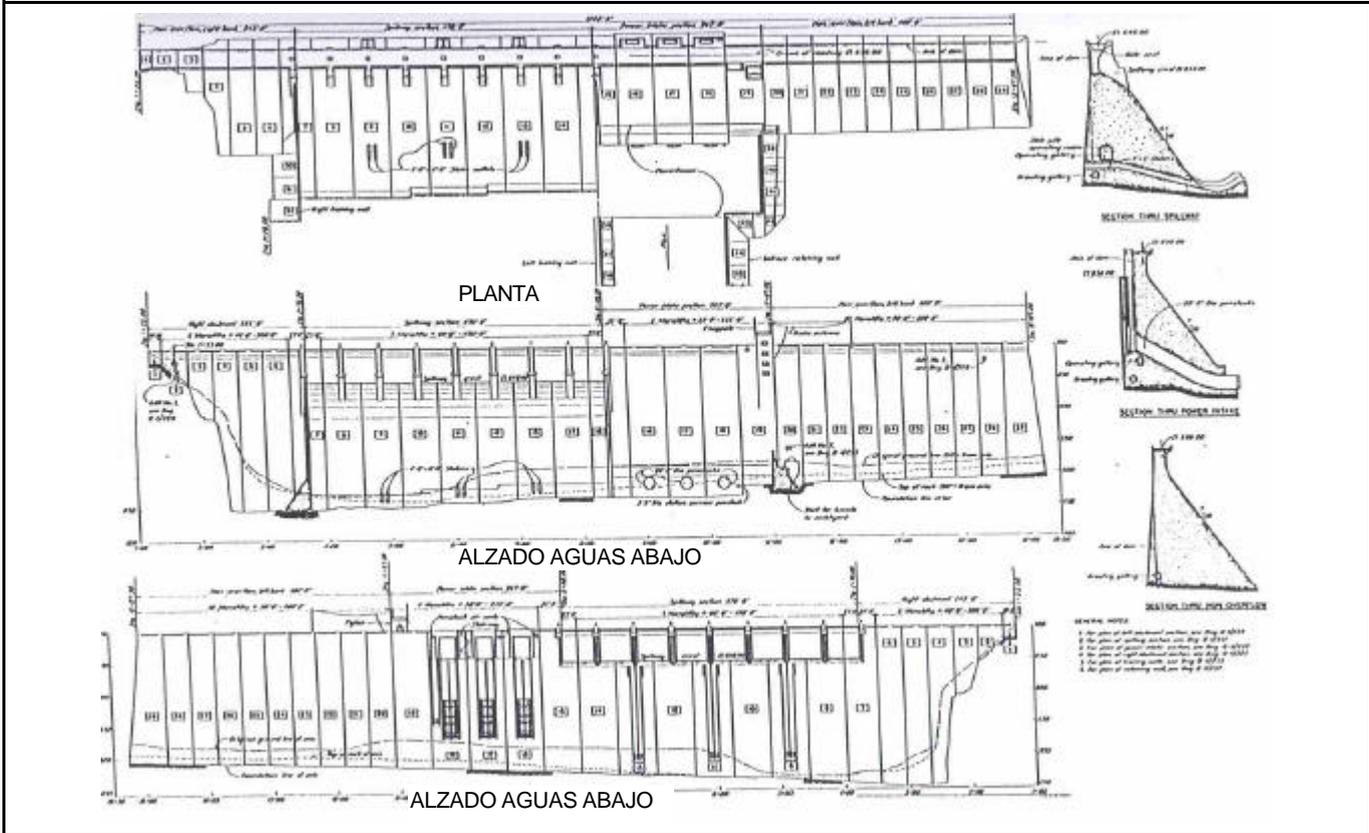
PRESA: Center Hill (USA)		5
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1948
	Año de aparición síntomas:	1967
	Tipo de presa:	Parte de materiales sueltos, parte de hormigón: una sección en el estribo derecho, la sección aliviadero, una toma y un estribo a la izquierda.
	Altura:	76 m
	Tipo de árido:	Roca carbonatada dolomítica arcillosa
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali – carbonato
INSTRUMENTACIÓN:	Se realizan estudios topográficos de alta precisión comparando la posición de los monolitos con dos referencias fijas en los estribos.	
	En 1985 se instalaron instrumentos para medir el desplazamiento relativo de las juntas de los monolitos 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 y 15-16. Usando un micrómetro de profundidad se podía medir el movimiento relativo entre monolitos adyacentes en paralelo y transversalmente a los ejes de la presa y en sentido perpendicular.	
SÍNTOMAS:	En 1967 se hizo una inspección detallada que encontró muchas juntas horizontales que tenían muchas fugas con dos de las juntas localizadas cerca del centro del aliviadero y cerca de coronación.	
	En 1974 la inspección del puente sobre el aliviadero indicaba que muchas de las pilas, del lado derecho del aliviadero se habían elevado e inclinado hacia el centro del aliviadero. No se estudiaron las causas del fenómeno.	
	Inspecciones entre 1975 y 1980 revelaron que más juntas horizontales y algunas juntas verticales entre monolitos sufrían fugas.	
	Cuando se pintó la compuerta número 1 a la derecha del aliviadero en 1980, ésta se quedó en la posición elevada, se liberó pero no se investigó la causa.	
	En 1983 se observaron más problemas en la sección del aliviadero con movimientos de las pilas y problemas con la operatividad de la compuerta número 8.	
	En cuanto a los estudios topográficos, la presa se movió hasta 1970 en dirección aguas arriba entre 12,7 y 28,4 mm. Los monolitos se han elevado entre 15,2 mm y 35,5 mm. Las mediciones longitudinales indicaban que las juntas 6 - 7 y 15 - 16 se estaban abriendo y los monolitos 2 y 3 se estaban desplazando hacia el estribo derecho.	
	Los resultados de los micrómetros entre 1985 y 1995 muestran una máxima variación respecto a los iniciales de 1985 de 5,3 mm paralelo a los ejes de la presa; 3,3 en sentido transversal y 3 mm en vertical. A nivel de la calzada, las pilas 7 y 15 se habían movido 9,4 y 5,6 mm respectivamente paralelamente a los ejes de la presa.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Una vez hecho un análisis global de todas las anomalías sufridas por las instalaciones hasta 1983, se pensó en la reacción álcali – carbonato como posible causante de los problemas.		
Se realizó una investigación con testigos de hormigón de las juntas a raíz de los problemas hallados en 1967.	La unión es pobre debido a las deficiencias durante la construcción es la causa de las fugas.	
Se estudió la estabilidad de los monolitos a causa de las fugas halladas.	Se concluyó que eran estables pero no se investigó la causa.	

<p>En 1983 se extrajeron testigos de todas las partes principales de la presa y elementos auxiliares para su examen petrográfico y para someterlos a ensayos.</p>	<p>Se observó que en los testigos había abundantes áridos con bordes de reacción. La composición de los áridos se determinó como calcita con algo de dolomía y cuarcita y también arcillas y feldespatos. Se hicieron ensayos para medir los cambios en la longitud de los testigos que resultaron inconcluyentes.</p>
<p>Se hicieron ensayos a partir de testigos recogidos in situ de la cantera de donde venían los áridos para el hormigón de la presa.</p>	<p>Se comprobó que algunos de los áridos de la cantera eran potencialmente reactivos.</p>
<p>Se estudiaron las fisuras en 1967 y 1984.</p>	<p>En 1967 no se encontraron fisuraciones significativas salvo las fugas detectadas en las juntas horizontales. En 1984 se detectó un incremento del número de fisuras. Las numerosas fisuras horizontales y diagonales en los paramentos aguas abajo y aguas arriba de los monolitos 7 y 15 en los extremos del aliviadero indicaban que la compresión se estaba produciendo a lo largo de los ejes longitudinales de la presa y estaba tendiendo a forzar las partes superiores de los monolitos hacia la abertura del aliviadero.</p>
<p>Overcoring. Se realizaron en 1984 una serie de medidas in situ de las tensiones de compresión dentro de la estructura.</p>	<p>Las tensiones eran mayores que las que cabía esperar por las cargas estructurales. Las tensiones eran más altas en los 0,6 m más exteriores del hormigón, lo que es causa de los efectos de la expansión provocada por la expansión interna del hormigón.</p>

MEDIDAS ADOPTADAS:

Sólo se ha actuado con respecto a los problemas con algunas compuertas.

FIGURAS:



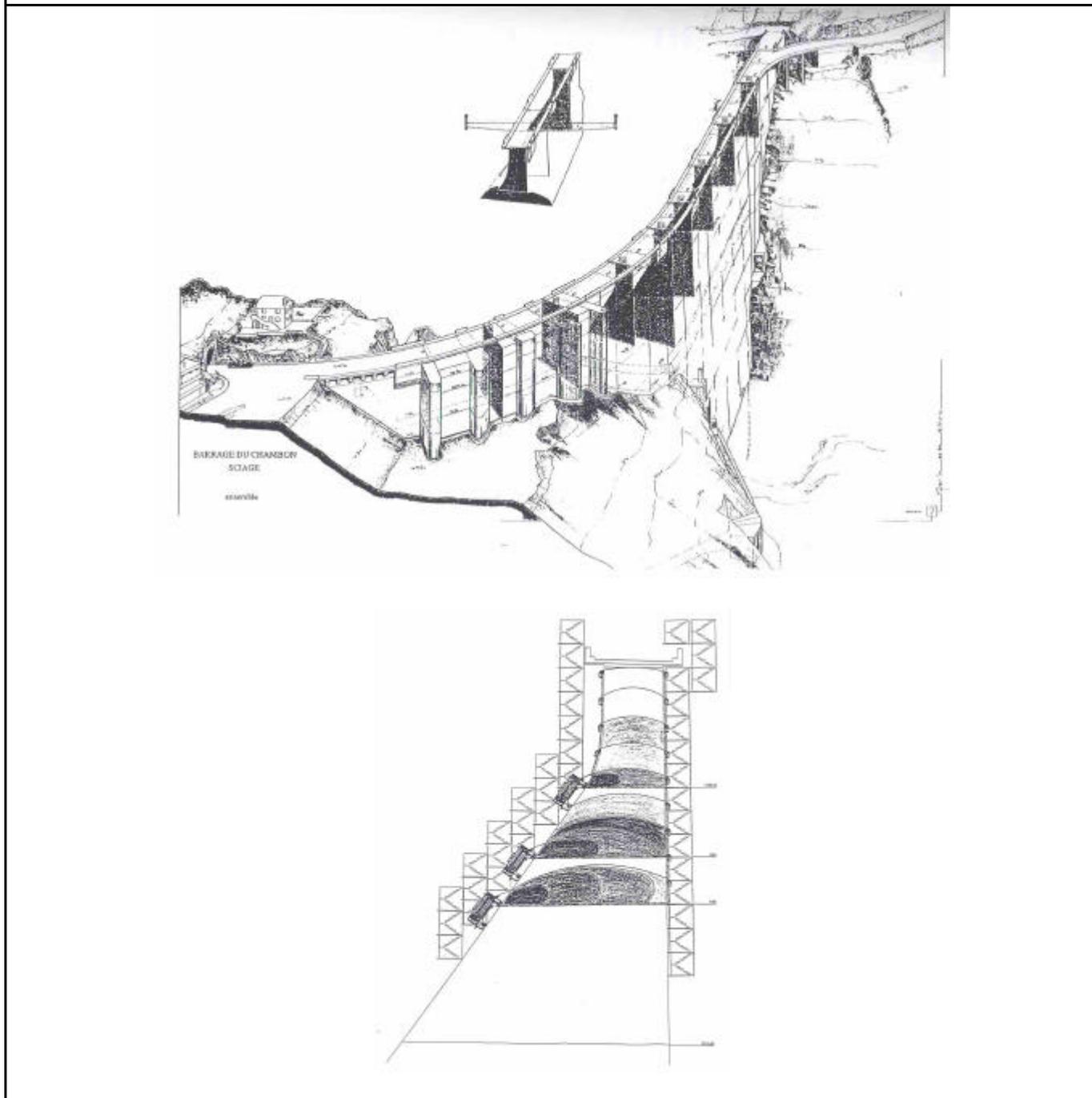
REFERENCIAS: Hugenberg y Hull (1995)

PRESA: Chambon (Francia)		6
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Gravedad
	Año de finalización	1934
	Año de aparición síntomas:	1952
	Altura	88 m
	Tipo de árido:	Gneis
	Cemento:	Contenido en álcalis 0,6 – 0,8
Tipo de reacción:	Álcali – sílice	
INSTRUMENTACIÓN:	Se miden los movimientos con péndulos y topografía	
	Piezometría Filtraciones En otoño de 1994 y previamente a los cortes que se realizaron, se instalaron una serie de instrumentos de auscultación para controlar el proceso. Consistía en:	
SÍNTOMAS:	<ul style="list-style-type: none"> • 7 nuevos péndulos entre las galerías superior e intermedia para controlar los desplazamientos radiales y tangenciales. • 3 extensómetros invar de 55 m de longitud para medir desplazamientos en la parte recta de la presa • 3 extensómetros verticales para comprobar que no hay ni fisuras ni juntas abiertas entre las partes inferiores de los cortes. • 1 extensómetro horizontal para controlar la fisura principal cerca de la superficie del aliviadero 	
	<p>Se detectan deformaciones permanentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la parte curva de la margen izquierda un movimiento de la coronación de 5 mm. / año acompañado de un movimiento hacia la margen izquierda de 1mm. / año. Estos movimientos llevan a la apertura de una fisura franca, evolutiva y subhorizontal, en la galería debajo del aliviadero, además de la aparición de numerosas fisuras • Un desplazamiento de la parte derecha hacia aguas debajo de 1 mm/ año y hacia la margen derecha de 0,3 mm. / año • Una elevación de coronación de 2,4-3,6 mm. / año (85 mm acumulados en 22 años) <p>La expansión del cuerpo de la presa va acompañado de una fisuración progresiva de las galerías de visita Además en 1977 en el pie de la presa aguas abajo se detectó una fuga de agua, que probablemente se debía a la adaptación de la presa su cimentación.</p>	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
<p>Cinco campañas en 1961, 1967, 1978-79, y 1989 para limpiar y extender la red de drenaje especialmente de la parte alta de la presa.</p> <p>Control de la geología del contacto caliza-cristalina y de la piezometría con ocasión de la perforación de 13 drenes exteriores en 1982.</p> <p>Se construyó un aliviadero subterráneo separado de la presa para que no se viera afectado por las expansiones, se realizó para evitar los riesgos que se podrían sufrir por el atasco de las compuertas. Además permitía un nivel menor de explotación para que se pudieran llevar a cabo los cortes con seguridad. Éste consistiría en una toma, dos túneles y dos casetas de compuertas aguas abajo ambas con una compuerta de seguridad más una taintor. En 1994 se comprobó con éxito que podía desaguar la avenida de periodo de retorno de 100 años, 110 m³/s.</p> <p>Se instaló una membrana de PVC de 2,5 mm de espesor en los 40 m superiores de la cara aguas arriba de la presa en las primaveras entre 93 - 94, que serviría para aumentar la estabilidad de la presa en su parte superior en caso de terremoto al evitar el riesgo de las subpresiones, sin embargo no resultaba útil para la AAR porque había suficiente agua en la estructura para alimentar la reacción durante mucho tiempo. En cambio, esta membrana resultaría útil para evitar las filtraciones durante los cortes que se preveía realizar.</p> <p>Entre noviembre de 1994 y enero de 1995 se realizaron inyecciones en la cimentación del aliviadero porque debido a la inclinación hacia aguas arriba de la presa de la parte izquierda, se creó una zona donde no había contacto con la cimentación.</p>		

En enero de 1995 se comenzó a llenar con hormigón armado el aliviadero del que previamente se habían extraído las compuertas taintor.

Se diseñaron un total 8 cortes: seis de entre 20 y 32 m. de profundidad en la presa de 200 m. y dos de 18 m. inicialmente en el aliviadero. Los cortes eran más profundos cerca del estribo izquierdo para reducir el empuje de la expansión y dirigirlo más en la dirección vertical. Se realizaron con alambres de 11 ó 16 mm. de diámetro. Además, se instalaron sellados especiales en la cara aguas arriba de los cortes.

FIGURAS:



REFERENCIAS: Beauchamp (1995)

PRESA: Chelsea (Canadá)	7
--------------------------------	----------

CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa: Gravedad Año de finalización: 1927 Año de aparición síntomas: --- Altura: 31 m Tipo de árido: Roca granítica con cuarzo y pequeña cantidad de caliza cristalina Cemento: --- Tipo de reacción: Álcali - sílice	
-------------------------	---	--

INSTRUMENTACIÓN: ---	
-----------------------------	--

SÍNTOMAS:	Presencia de gel de sílice. Fisuración.
------------------	--

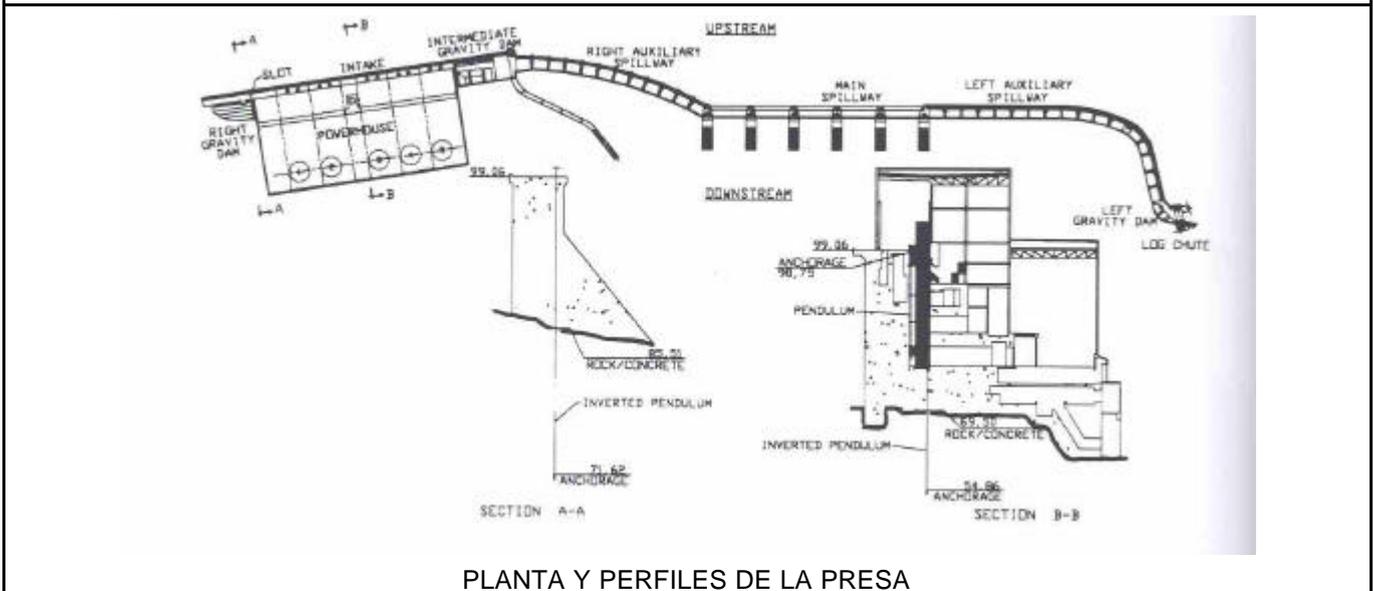
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

Estudios petrográficos	La reactividad varía entre las distintas partes de la instalación, por ejemplo, el hormigón del aliviadero tiene más gel de sílice mientras que en la rampa del aliviadero auxiliar el hormigón es no reactivo. En el área en la que el hormigón está fracturado, hay cantidades anormales de etringita.
Análisis de elementos finitos	Estos estudios revelaban que no era conveniente realizar más cortes, pero que se debería instalar más instrumentación.

MEDIDAS ADOPTADAS:

Se reparó el hormigón dañado colocando otro que contenía cierta cantidad de árido reactivo. Se realizó un corte en el contacto toma – sección de gravedad derecha para dissociar los movimientos de estas dos partes y evitar la propagación de las fisuras. La metodología utilizada para realizar los cortes era novedosa, se perforaron a tracción horizontalmente, resultando una anchura del corte de 58 mm. Además, debido a que la pendiente del contacto roca – hormigón provocaba que hubiera poca estabilidad al deslizamiento, se recomendó instalar cables postesos inclinados en la presa de gravedad derecha.

FIGURAS:



REFERENCIAS: Veilleux (1995)	
-------------------------------------	--

PRESA: Chickamauga (USA): esclusa y aliviadero		8
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1940
	Año de aparición síntomas:	1950's
	Tipo de árido:	Caliza de Chickamauga como árido grueso y arena de sílice como fino.
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - carbonato
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Inicialmente incluía deformímetros, medidores de tensiones, termopares, medidores de juntas, medidas de subpresiones y presiones internas, plomadas y puntos para mediciones topográficas.</p> <p>La instrumentación adicional medía datos sobre el corte, el crecimiento, las fisuras y también, inclinómetros.</p> <p>En esta presa también se llevaron a cabo ensayos petrográficos para determinar el estado tensional en las épocas frías o cálidas.</p>	
SÍNTOMAS:	<p>El problema estructural inicial empezó en los 50 con el desalineamiento de de las partes rotoras del equipo de generación.</p> <p>Las condiciones generales del aliviadero eran buenas pero se dieron algunos problemas con las pilas debido a la expansión de la central.</p> <p>Los mayores problemas se registraron en la esclusa de navegación, en 1964 se produjo una apertura repentina de una junta en una pared. Una inspección bajo el agua de las seis pilas que apoyan la pared reveló que había fisuras las dos aguas abajo. Esto indicaba que el muro se estaba expandiendo en esta dirección, con las partes superiores de las pilas moviéndose y provocando fisuración.</p> <p>Los cortes realizados en 1965 se cerraron gradualmente y en una inspección con buzos realizada en 1977 reveló fisuras similares en las otras cuatro pilas.</p> <p>También en 1977 se descubrió una gran fisura cerca del muro cercano a la parte baja del río. Y además, la inspección también reveló que el muro se estaba expandiendo hacia aguas abajo.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
En los 60 se extrajeron testigos	Se confirmó la presencia de la AAR.	
<p>Debido a la complejidad de la estructura no era posible realizar un único modelo de elementos finitos con el suficiente detalle para representar las instalaciones al completo. Lo que se hizo fue hacer en primer lugar un modelo simple para representarlo todo y dar una idea inicial de cómo afecta la expansión de cada estructura a las otras estructuras. Los análisis detallados de cada una de las estructuras se llevaron a cabo mediante submodelos.</p> <p>Al hormigón y a la roca se les supuso un comportamiento continuo elástico lineal.</p> <p>Se puso especial interés en la parte de la esclusa que resultó ser la más afectada. Los problemas ésta se agruparon en dos áreas: la fisuración y desplazamientos de los bloques de la compuerta que podrían impedir el adecuado funcionamiento de la misma así como fallos a cizalla de los muros de entrada.</p> <p>Tras realizar el análisis se concluyó que realizar cortes únicamente no era suficiente y se programaron unas actuaciones consistentes en una combinación de cortes, anclajes postesados y barras de armado. Además, se instalaría instrumentación y monitorización.</p> <p>En cuanto al aliviadero, los análisis indicaban que la expansión del hormigón de la central estaba empujando la cubierta del aliviadero hacia la esclusa. Los movimientos en las pilas estaban causando el atasco de las compuertas. Cuando se redactó el documento al que se hace referencia, se estaba estudiando con un submodelo la conveniencia de realizar un corte.</p> <p>Para la central se realizaron submodelos para la totalidad y para cada uno de los equipos generadores, pero no se ajustaban debidamente porque el modelo era muy grande. Se decidió suspender este análisis ya que además del gran tamaño del modelo existía la dificultad de que la gran cantidad de cables y tubos embebidos en el hormigón impedían perforar lo necesario para obtener los datos de tensiones para calibrar el modelo. Como en esta estructura no existía una gran fisuración y los movimientos eran limitados, se decidió simplemente monitorizar la estructura y hacer ajustes periódicos de los equipos.</p>		

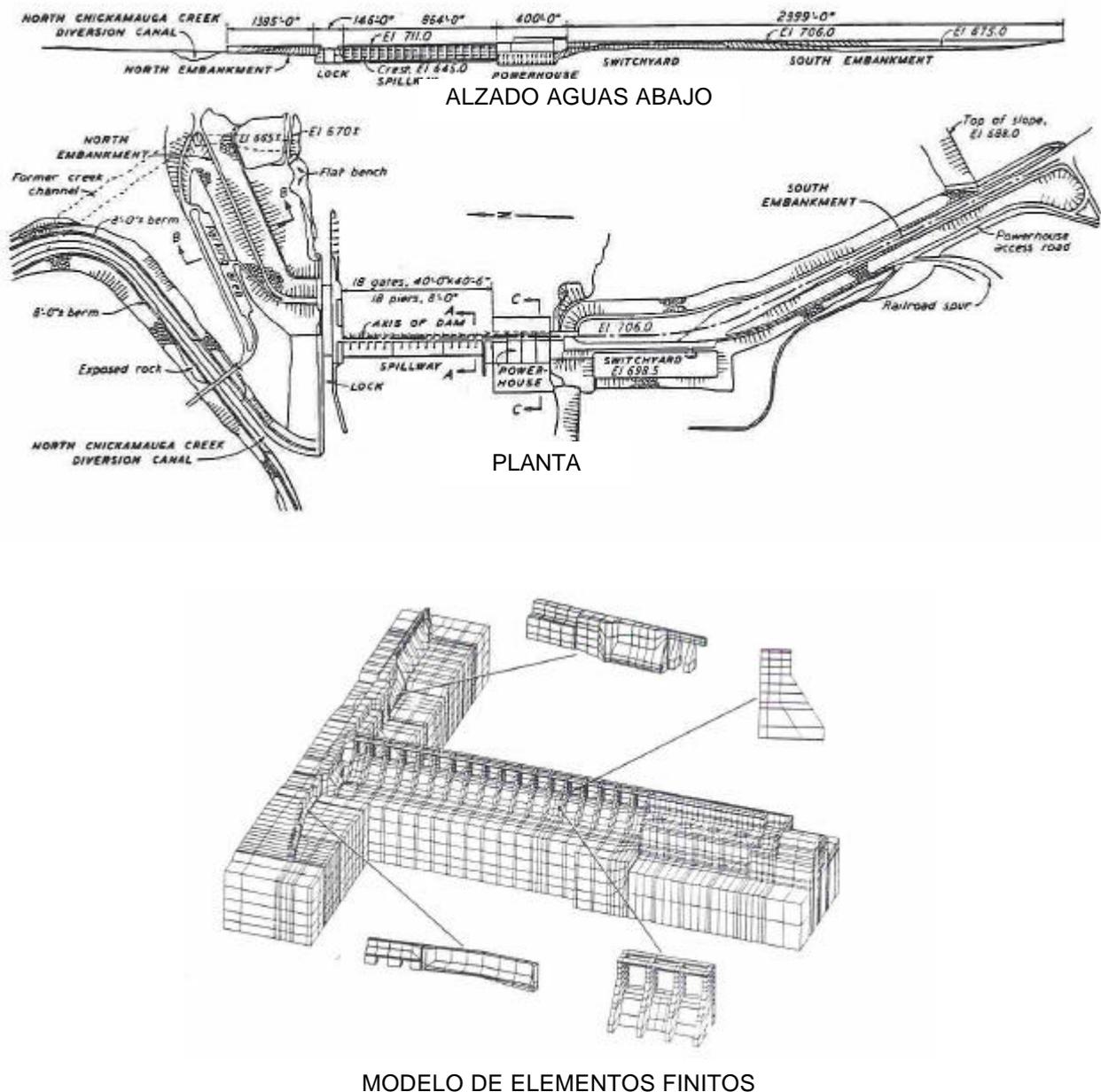
MEDIDAS ADOPTADAS:

Se tuvo que actuar sobre los elementos electromecánicos de los equipos generadores para evitar el rozamiento entre los mismos y las desalineaciones.

Se realizaron algunos ajustes en los carriles guía de las compuertas del aliviadero y los raíles de la grúa a lo largo de la presa.

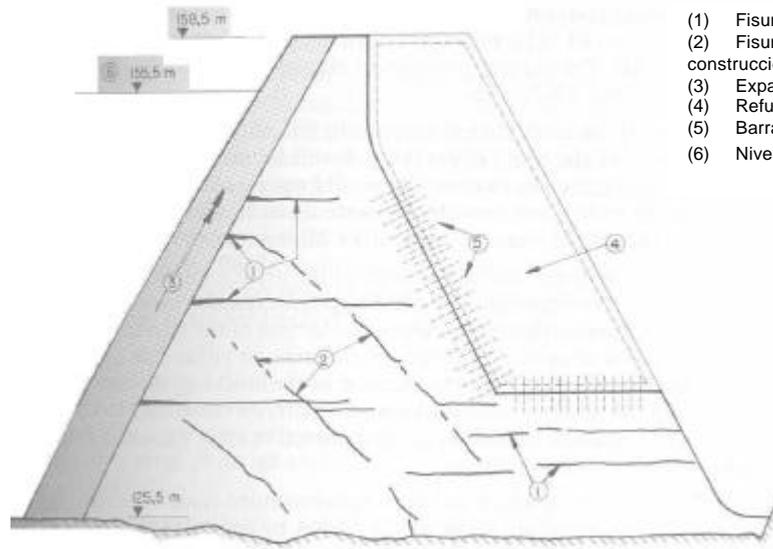
Para aliviar los efectos de la reacción en el muro de la esclusa y dejar margen a futuras expansiones, se realizaron tres cortes en el muro en 1965 y las dos pilas fisuradas se postesaron.

En 1977 volvieron a abrir los tres cortes y además, se hizo uno adicional y las otras cuatro pilas fueron postesadas. Además ese año también, se inyectó y postesó la fisura encontrada y se realizaron cortes en el muro.

FIGURAS:

REFERENCIAS: Wagner y Newell (1995)
Grenoble et al. (1995)
Newell y Wagner (1995)

PRESA: Churchill (Sudáfrica)		9
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1943
	Año de aparición síntomas:	1957
	Tipo de presa:	Arco múltiple
	Altura:	39,5 m
	Tipo de árido:	Arenisca cuarcítica + arena cuarcítica natural
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Desde 1960 tiene nivelación de precisión, y se comprueban los movimientos aguas arriba-aguas abajo en los arcos y los contrafuertes.	
SÍNTOMAS:	En 1957, se observó una fisuración extensiva en los contrafuertes y arcos. Algunas de estas fisuras penetraban hasta el paramento aguas arriba	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Tras los primeros síntomas, se monitorizó y se estudiaron áridos.	Los ensayos hechos con ASTM 289 resultaron no reactivos, pero ahora se sabe que este ensayo no es fiable.	
Entre 1987 y 1990, se extrajeron 20 testigos.	Se identificó presencia de la reacción álcali-árido. Resistencia a compresión de 41 MPa (8 % más que en 1962) Módulo de elasticidad 25 GPa. Las grietas de primarias no se extendían más allá de 450 mm incluso teniendo hasta 10 mm de amplitud en superficie. La mayoría no tenían más de 250 mm de profundidad.	
Análisis de elementos finitos	Este estudio se realizó suponiendo que 500 mm de cada lado del arco no tenían resistencia alguna debido a las fisuras, e igualmente cumplía con los criterios de seguridad. Asimismo, se comprobó la estabilidad de los contrafuertes fisurados.	
Conclusiones: En 1962 se concluyó que los cambios de volumen por la contracción y los efectos térmicos, era la causa de las fisuras y que la fisuración horizontal de los contrafuertes, afectaba a la seguridad de la estructura. Tras el examen de los testigos de la 2ª campaña, se concluyó que se trataba de la reacción álcali-árido.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Para la fisuración horizontal de los contrafuertes, se actuó restringiendo el nivel del embalse, y en 1963 se reforzaron añadiendo extensiones de hormigón armado en el paramento aguas abajo. En el segundo estudio, se concluyó que los trabajos a realizar deberían consistir en reparar las fisuras aguas arriba con inyecciones de mortero, principalmente para evitar la corrosión del refuerzo.		

FIGURAS:

- (1) Fisuras horizontales (no a escala)
- (2) Fisuras a lo largo de juntas de construcción inclinadas.
- (3) Expansión en los arcos
- (4) Refuerzo de hormigón armado (1963)
- (5) Barras de acero de 35 mm.
- (6) Nivel normal

Contrafuerte de la presa de Churchill

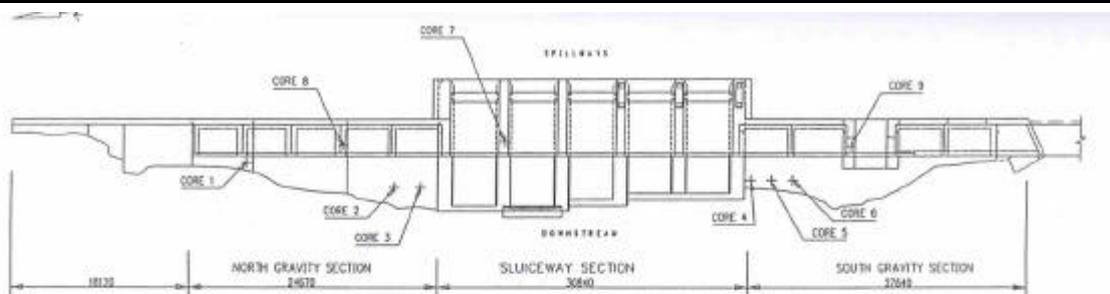
REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)

PRESA: Coniston (Canadá)		10
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1935
	Año de aparición síntomas:	1988
	Tipo de presa:	Dos presas de gravedad + aliviadero
	Altura:	13,7 m
	Tipo de árido:	Cuarzoarenitas, grauwacas, arcillitas
	Cemento:	---
Tipo de reacción:	Álcali - sílice	
INSTRUMENTACIÓN: ---		
SÍNTOMAS:	Filtraciones en el paramento aguas abajo de la presa, asociados a las juntas de construcción horizontales.	
	Depósitos aguas abajo de la presa asociados a estas filtraciones.	
	Dilatación del paramento aguas abajo en algunas localizaciones bajo los depósitos de las filtraciones.	
	Deformaciones de las ranuras de las ataguías y aplastamiento de las ataguías por estas ranuras.	
	Arqueado hacia aguas arriba de las losas del tablero tanto en el aliviadero como en las secciones de gravedad	
	Movimiento hacia adentro de las secciones superiores de las piezas externas del aliviadero acompañado por gran fisuración de las pilas del aliviadero.	
	Fracturación de todas las pilas del aliviadero debajo de los asientos del tablero.	
Mapa de fisuras extenso en el aliviadero, pilas y la cara aguas arriba de las secciones de gravedad.		
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Investigación de campo: se hizo un estudio dentro del pozo de perforación con cámara	Con la cámara se identificaron por un lado, grandes fisuras abiertas y juntas de construcción abiertas de 15-30 mm de anchura a través de las cuales se filtraba el agua y por otro, zonas de hormigón que contenían huecos y fisuración extensiva.	
Se extrajeron testigos de la coronación de las distintas estructuras y de los paramentos aguas abajo de las secciones de gravedad y se sometieron a ensayos de resistencia a compresión, absorción y densidad.	Hubo dificultades en la preparación de los testigos debido a que estaban desagregados, como todos los testigos se cogieron en zonas no afectadas por los ciclos hielo – deshielo, el mal estado puede atribuirse a la AAR. Los ensayos de absorción y densidad dan valores normales de hormigón de buena calidad. La resistencia a compresión de las secciones de gravedad dio valores de 15-25 MPa. El hormigón de las pilas era de mejor calidad con resistencias de unos 33 MPa. Los ensayos realizados a largo plazo dieron los siguientes resultados: en la sección norte de gravedad, las potenciales expansiones serán pequeñas, completándose la reacción por el agotamiento de los álcalis; en la sección de gravedad sur, los ensayos no resultaron inconsistentes y en las pilas del aliviadero, se llegó a la conclusión de que si no se daban fuentes adicionales de álcalis, la expansión permanecería dentro de límites aceptables.	
Ensayos de velocidad de pulso entre el paramento aguas arriba y los pozos excavados	Los resultados indicaban que la condición del hormigón era variable en función de la zona investigada y en algunas ocasiones, muy pobre.	

MEDIDAS ADOPTADAS:

Se tomaron medidas para mejorar la estabilidad de la presa, se barajaron las opciones de instalar anclajes en el paramento aguas abajo o aumentar el peso muerto de las estructuras. El paramento aguas abajo estaba muy deteriorado debido a la AAR y los ciclos hielo – deshielo. Se decidió retirar el hormigón deteriorado y reemplazarlo con hormigón aireado, sin embargo si no se detenían las filtraciones, este nuevo hormigón también acabaría deteriorándose. Para solucionarlo, se optó por colocar una capa para impermeabilizar el paramento aguas arriba conjuntamente con la instalación de un sistema de drenaje para controlar toda el agua que se colara. Las opciones para la capa eran hormigón o una geomembrana, se optó por el hormigón debido a las duras condiciones climáticas a las que se vería sometida. Además de estas acciones, se decidió aumentar la anchura de la sección de la presa añadiendo hormigón una capa extra de hormigón armado en ambos paramentos de 0,60 m. El incremento de la sección no añadió suficiente masa para que se mantuviera estable. Como era necesario sustituir las pilas y la plataforma superior, se decidió hacerlo todo compacto en lugar de pilas y plataforma y así conseguir el peso extra necesario.

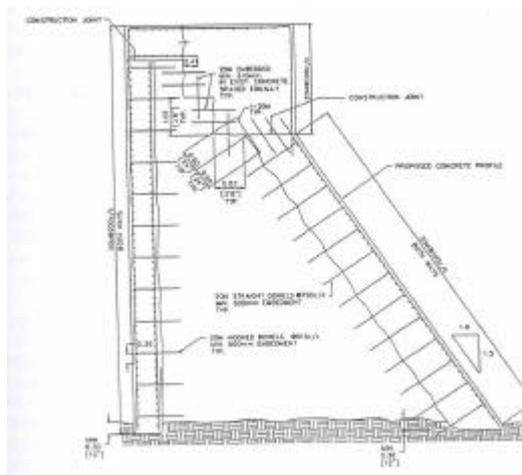
FIGURAS:



PLANTA



ALZADO DESDE AGUAS ARRIBA



SECCIÓN DE GRAVEDAD

REFERENCIAS: Read y Thomas (1995)

PRESA: Copper Basin (USA)	11
----------------------------------	----

CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Bóveda
	Año de finalización	1938
	Año de aparición síntomas:	1945
	Altura	57 m
	Tipo de árido:	Andesita, riolita, caliza silíceas y chert.
	Cemento:	1,44 % contenido de álcalis
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice

INSTRUMENTACIÓN:	Topografía
-------------------------	------------

SÍNTOMAS:	<p>Deformaciones verticales y horizontales, los movimientos horizontales en la coronación comenzaron desde el principio y mostraban que se la presa se estaba moviendo hacia aguas arriba en lugar de hacia aguas abajo. El desplazamiento acumulado hacia aguas arriba era de 121 mm, entre 1942 y 1955 fue de 110 mm. mientras que en el periodo 1955 – 1975, solo fue de 11 mm., deteniéndose aquí. Los desplazamientos verticales que se dieron entre 1942 y 1955 fueron de unos 90 mm (120 µ€/año), y entre 1955 y 1995 se elevó 21 mm (10µ€/ año)</p> <p>Se apreció fisuración extensiva y numerosas fisuras de anchura y extensión considerables. La fisuración en mapa estaba más presente en la parte externa y está asociada a los ciclos humedad – secado y relacionada con la dilatación de la masa de la presa. Las fisuras mayores estaban asociadas a las discontinuidades en la roca de los estribos.</p> <p>Se observaron depósitos de carbonato en localizaciones específicas del paramento aguas abajo.</p>
------------------	--

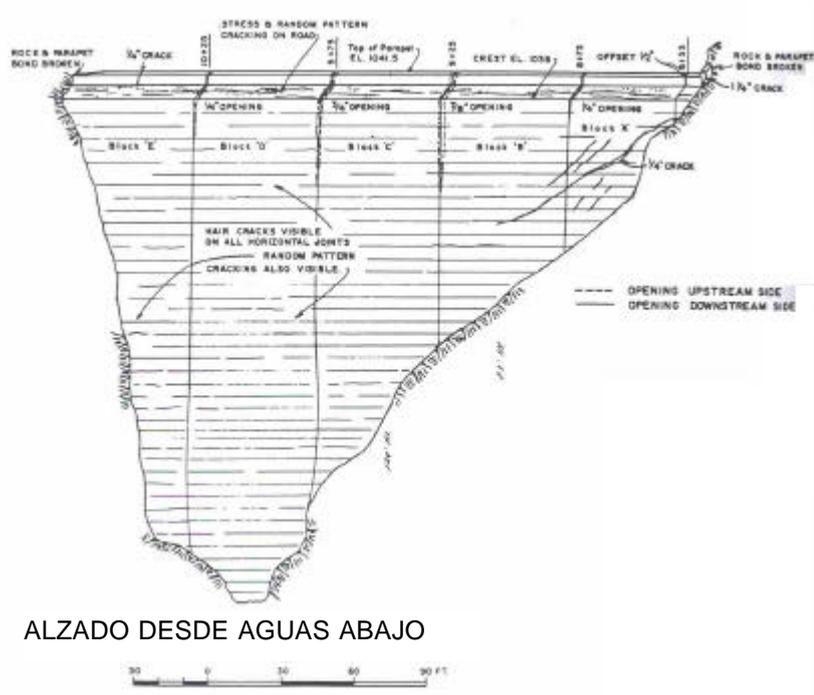
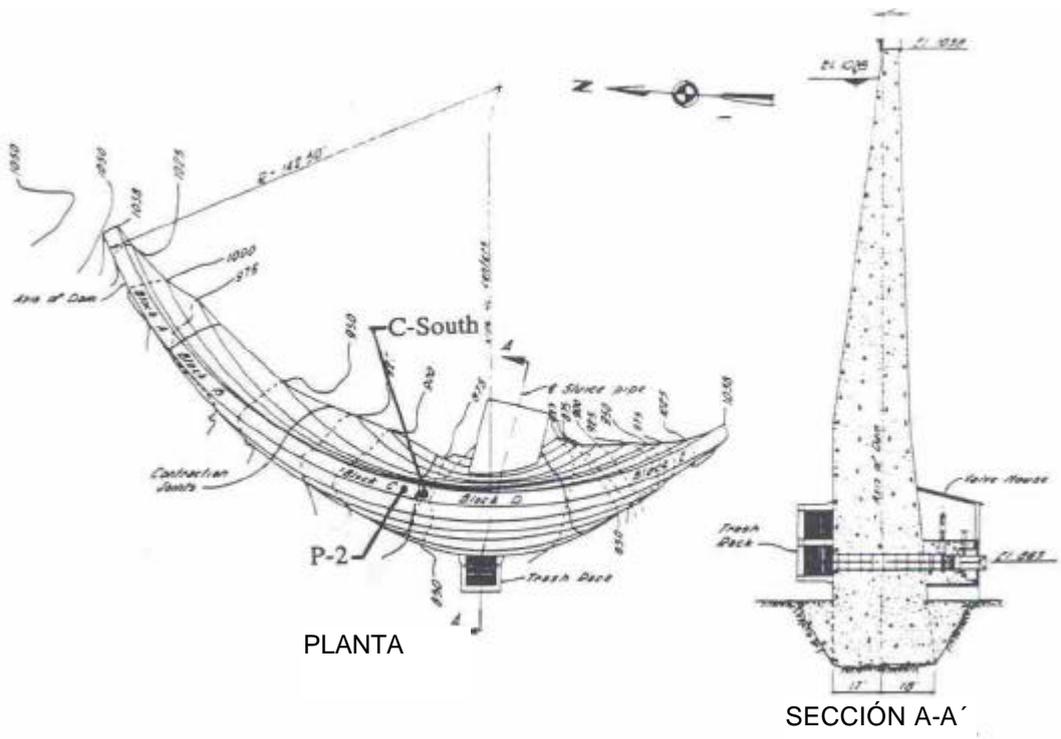
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

Programa de ensayos entre 1940 y 1950 investigando las propiedades ingenieriles y análisis petrográfico. Además se efectuaron otros ensayos in situ.	<p>La grava contenía un 8 % y la arena un 5,4 % de andesitas y riolitas y el hormigón contenía un 1,44 % de álcalis. La unión entre la pasta y los áridos era pobre.</p> <p>Se observaron depósitos de carbonato cálcico en las fracturas abiertas de los testigos extraídos.</p>
Ensayos de resistencia a compresión desde la construcción de la presa hasta 1990 a partir de testigos de perforaciones horizontales en ambos paramentos.	<p>El desarrollo de la resistencia a compresión indica que mientras que las presas sufrían las expansiones, la resistencia a compresión se mantenía o disminuía ligeramente, alrededor de 1960 cuando el proceso se estancó, la resistencia aumentó ligeramente.</p> <p>Por otra parte, en los testigos apareció gel en el periodo que transcurrió entre la extracción y la realización de los ensayos, las explicaciones que se dieron al fenómeno varían: por un lado, puede deberse a una redistribución del gel o bien, a que la reacción continuó al liberarse de las tensiones a las que estaba sometida el hormigón en el contexto de la presa.</p>
Se analizó estabilidad estática y frente a sismos de la presa concluyendo que la presa es segura.	

MEDIDAS ADOPTADAS:

Ninguna ya que se considera que las presas son estables

FIGURAS:



REFERENCIAS: Hill (1995)

PRESA: Fonsagrada (España)		12
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1958
	Año de aparición síntomas:	1987
	Tipo de presa:	Arco múltiple con contrafuertes
	Altura:	20 m
	Tipo de árido:	pizarrosos
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Oxidación de áridos sulfurosos
INSTRUMENTACIÓN:	En el momento de la rotura no disponía de ningún tipo de instrumentación	
SÍNTOMAS:	El 3 de marzo de 1987 se produjo la rotura de uno de los arcos, dejando un hueco de 7 m ² entre dos juntas de construcción.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
	<ul style="list-style-type: none"> · Se estudiaron muestras de hormigón en la zona del fallo · Extracción de testigos para someterlos a distintos ensayos 	
Inspección in situ	<p>Tras una visita a la presa y examen visual de los testigos del arco caído y de los contrafuertes, se determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hormigón de baja calidad en el momento de fabricación, con deficiente gradación por falta de árido grueso y con grava fina de pizarra, lajada y con deficiente coeficiente de forma. Un hormigón poroso y de baja resistencia • La mampostería de los contrafuertes, también de muy mala calidad, con grandes elementos de pizarra (mampuestos) y con un mortero similar al de los arcos. A simple vista, se ve la falta de adherencia entre los mampuestos y la pasta. • A lo largo de su vida, había sufrido serios daños tanto en el hormigón como en la mampostería, presentando zonas de gran debilidad mecánica • Las características mecánicas (módulo de elasticidad, y resistencias a tracción y compresión) serán muy deficientes, además de tener una gran permeabilidad. • Los áridos tenían un aspecto blanquecino, mostrándose considerablemente alterados. • Las zonas de los arcos a las que les daba el sol, estaban más alteradas. <p>En el arco que cayó, la rotura empezó en el lado izquierdo, donde estaba más expuesto a la radiación solar, y siguió hacia el derecho</p>	
Análisis del agua	<p>El pH aguas arriba, en el fondo era de 5,3. El agua, algo ácida, tenía un residuo de: MgO=15,18%, SiO₂=39,27%, SO₃=27,72%, KO₂=2,50%, CaO=15,33%</p> <p>La conclusión es que la acidez del agua se debe al ácido sulfúrico formado en los bancos de pizarra por la oxidación de sus iones sulfuro. Este ácido, se neutraliza por reacción con otros minerales de la pizarra, formando sulfatos de potasio y magnesio. Los sulfatos de calcio originados de la neutralización del ácido sulfúrico en contacto con la portlandita y los silicatos de calcio hidratados de la pasta de cemento del hormigón. El SiO₂ estaba presente como gel de sílice o incluso en forma de silicato de calcio.</p>	

Análisis químicos y examen microscópico	<p>25 ensayos: 10 a muestras de áridos, 15 en muestras de pasta de cemento y 4 en muestras de depósitos blancos que se hallaban en los poros y fracturas paralelas a los paramentos aguas arriba y aguas abajo.</p> <p><u>Áridos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •se estudió la composición: sericita, otreilita, ilmenita, feldespato de cuarzo •había una considerable meteorización de los áridos con paso de MgO, Al₂O₃, K₂O, TiO₂, y FeO del árido a la pasta de cemento. Del cemento CaO pasó a los áridos, y una gran concentración de CaO se podía observar en la superficie de contacto •elementos como magnesio, aluminio, potasio y hierro eran eliminados más fácilmente y disminuía su concentración, a la vez que los áridos se volvían más claros •cierta cantidad de SiO₂ pasó del árido a la pasta aunque su concentración aumentó por la disminución de Al₂O₃, K₂O, y FeO •el proceso de meteorización, en el que los elementos se intercambian entre los áridos y la pasta de cemento, estaba muy avanzado, por lo que resultaba difícil determinar con precisión cuánto de cada elemento se había perdido en la pasta o en el árido y estaba presente en el otro •las reacciones fueron: <ul style="list-style-type: none"> - oxidación de los iones sulfuro - ataque del ácido sulfúrico a los minerales del árido - interacción de los productos derivados de este ataque con la portlandita y el gel de la pasta de cemento <p><u>Pasta de cemento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •la concentración de CaO en la pasta era extremadamente baja, tanto en la superficie de contacto como en las de fractura la pérdida era del 90% en relación con el cemento hidratado original. Podía observarse un fuerte gradiente del contenido de CaO en la pasta de cemento junto a la interfase del árido, probando que la mayoría del calcio ha migrado hacia el árido. •La relación CaO/SiO₂ en mínima en la interfase y aumentaba al penetrar en la pasta de cemento. •En las superficies de fractura, la pasta de cemento se veía muy atacada con una relación CaO/SiO₂.muy baja •La pasta tenía muchos agujeros provocados por la meteorización. •La proporción de huecos aumentaba en la interfase con los áridos, por lo esta zona estaba muy debilitada. <p><u>Depósitos de los poros y fisuras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •El material que llena los poros, estaba compuesto principalmente de etringita. •La formación de cristales de etringita era otro factor en el proceso de hinchamiento del hormigón
Resultados de los ensayos físicos e hidráulicos	<p>La porosidad del...</p> <ul style="list-style-type: none"> •hormigón era muy grande, nueve ensayos separados dieron valores de entre 24,5 y 28,6% que comparados con los normales (14-16%) indican un hormigón muy dañado. •mortero de hormigón era extremadamente alta, entre 36,4 y 44,9 %. •mortero de los contrafuertes, comparado con el anterior, es aún peor. <p>La permeabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> •del mortero era 10 veces superior a lo normal •de las rocas de los contrafuertes es el menor de todos los áridos debido a que la pizarra estaba menos deteriorada que la de los arcos •del mortero de los contrafuertes era aproximadamente igual al valor más alto del hormigón de los arcos. Lo que confirma la menor calidad de la fabricación de este mortero
Resultado de los ensayos mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> •Módulo de elasticidad:1060-3460 MPa, 10 veces menor de lo que se podría esperar •La tensión uniaxial de compresión entre 4.,37 y 10,7 MPa, mucho más bajo que los valores de hormigón no meteorizado (40) <p>Las zonas más dañadas las expuestas a la radiación porque se evaporaba el agua percolada, incrementándose el flujo y el fenómeno de hinchamiento.</p>

Conclusiones:

Aparte de la expansión diferencial, otra causa de los problemas era la acción del agua del embalse

La acción de los ciclos hielo - deshielo no había afectado

Las reparaciones intentando impermeabilizar la cara aguas arriba que se realizaron años antes, habían resultado inútiles

MEDIDAS ADOPTADAS:

Sólo podría utilizarse la parte baja de los arcos, si se impermeabilizara aguas arriba y se monitorizara la presa. Esto, sin embargo, no se considera económicamente viable.

FIGURAS:

Rotura del arco

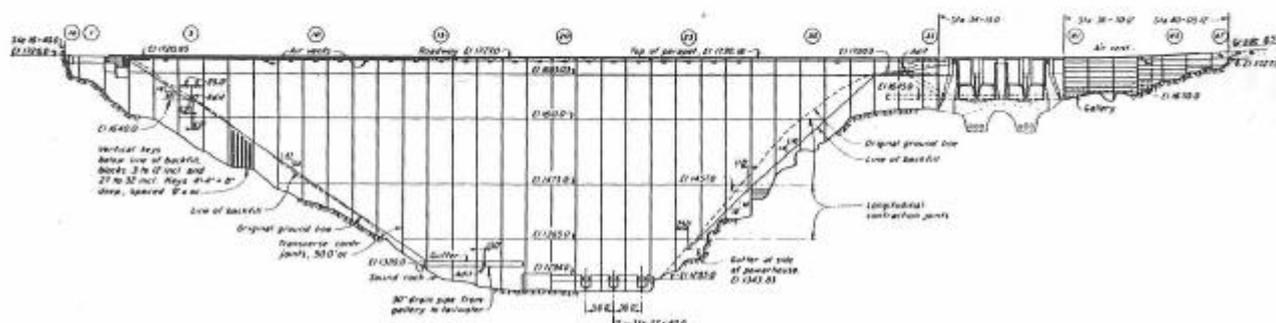
REFERENCIAS: Guerreiro et al. (1991)

PRESA: Fontana (USA)		13
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1945
	Año de aparición síntomas:	1972
	Tipo de presa:	Gravedad
	Altura:	146 m
	Tipo de árido:	Grauwaca (filita, cuarcita)
	Cemento:	178-190 kg/m ³ a/c = 0.75
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Inicialmente incluía deformímetros, medidores de tensiones, termopares, medidores de juntas, medidas de subpresiones y presiones internas, plomadas y puntos para mediciones topográficas.	
	La instrumentación adicional medía datos sobre el corte, el crecimiento, las fisuras y también, inclinómetros. En esta presa también se llevaron a cabo ensayos petrográficos para determinar el estado tensional en las épocas frías o cálidas.	
SÍNTOMAS:	Las plomadas han indicado una desviación hacia aguas arriba a lo largo de los años. En coronación, el centro de la presa se ha movido unos 10 cm. hacia aguas arriba y se ha elevado unos 7,5 cm.	
	En 1972, se desarrolló una gran fisura en la parte curvada de la presa con una anchura máxima de 6,4 mm.	
	En 1988 la fuerte fisuración obligó a realizar actuaciones.	
	Los problemas del aliviadero primero afectaron a las compuertas en 1967 con el atasco de las radiales cuando iban a ser abiertas. Las compuertas fueron arregladas en 1967, 1976, 1980 y 1989.	
	El aliviadero de emergencia también se había desplazado 45 cm. hacia aguas arriba en el centro; esto resultaba preocupante porque al estar compuesto por cuatro segmentos con tres bloques de cierre entre cada uno se temía que al abrirse las juntas, se perdiera el efecto arco en la coronación del mismo. La velocidad del movimiento hacia aguas arriba se estimó en 1,5 mm / año.	
	En esta estructura además existía una fisuración extensiva. En el caso de la central, se apreciaban fisuras pero eran muy pequeñas y sólo se dio algún problema de alineación con la unidad número 1.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Se realizaron ensayos petrográficos y con testigos.		
Se realizó un estudio con métodos de elementos finitos.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Con respecto a la fisura de 1972, se vació parcialmente el embalse, se aplicó agua fría en el paramento aguas abajo y se reforzaron los bloques afectados mediante postesado.		
En 1976 se realizó un corte de 10 cm. con una profundidad de 30,5 m para relajar algunas tensiones, se cerró completamente en coronación en 1984 y se cortaron otra vez los 9,5 m superiores con una anchura de 12,5 cm. Las medidas indicaban que en los próximos años serían necesarios nuevos cortes.		
En 1988, debido a la fisuración horizontal, sobretodo en las juntas de construcción, se instalaron anclajes postesos en la parte superior de la presa usando barras de refuerzo de alta resistencia		
Las juntas del aliviadero de emergencia se inyectaban, normalmente en marzo, cuando se daba la máxima abertura. Se monitorizaron y desde 1989 no se consideró necesaria ninguna inyección más.		
En cuanto a la central, se monitorizaron las fisuras que se apreciaron pero el movimiento era muy pequeño. En 1994 se añadió más monitorización para controlar la fisuración, las tensiones y las velocidades de crecimiento.		

FIGURAS:



Planta de la presa

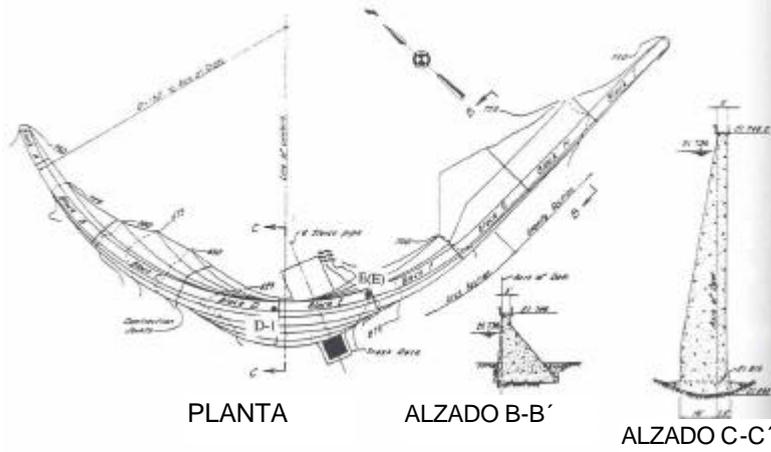


Alzado desde aguas abajo

REFERENCIAS: Wagner y Newell (1995)
 Grenoble et al. (1995)
 Newell y Wagner (1995)

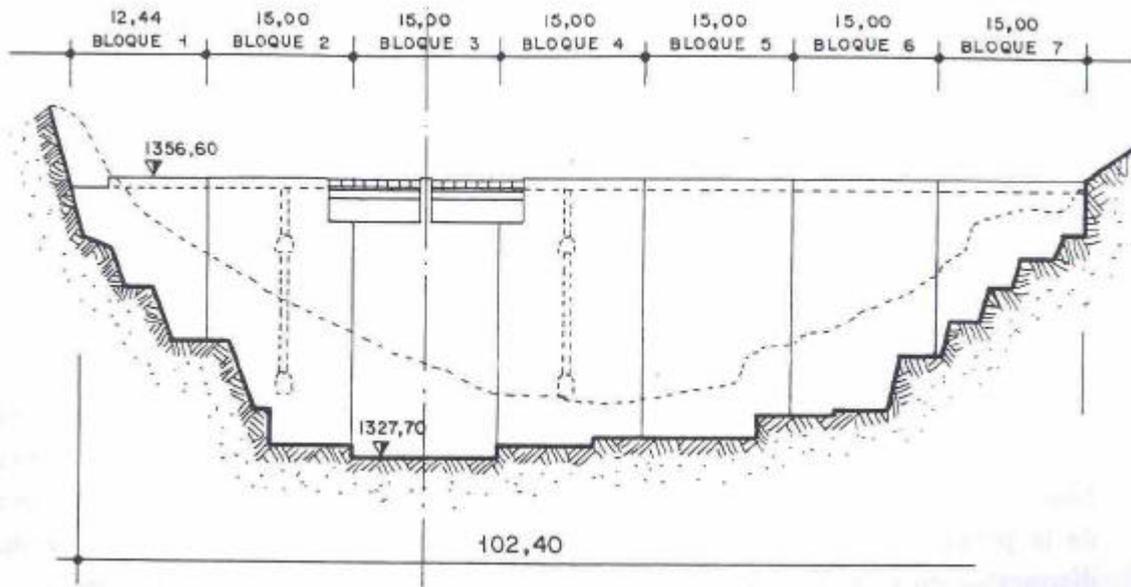
PRESA: Gene Wash (USA)		14
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Bóveda
	Año de finalización	1937
	Año de aparición síntomas:	---
	Altura	40 m
	Tipo de árido:	Andesita, riolita
	Cemento:	1,44 % contenido de álcalis
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Topografía	
SÍNTOMAS:	<p>Deformaciones horizontales y verticales, el movimiento horizontal se registró de forma discontinua y se observó que entre 1945 y 1964 se detuvo y sólo se observaban los desplazamientos estacionales, el desplazamiento acumulado fue de 106 mm. Los movimientos verticales se cuantificaron en 90 mm en el periodo entre 1942 y 1965 mientras que entre 1965 y 1995, sólo se dieron 8 mm.</p> <p>Se apreció fisuración extensiva y numerosas fisuras de anchura y extensión considerables. La fisuración en mapa estaba más presente en la parte externa y está asociada a los ciclos humedad – secado y relacionada con la dilatación de la masa de la presa. Las fisuras mayores estaban asociadas a las discontinuidades en la roca de los estribos.</p> <p>Las deformaciones se desarrollaron rápidamente en los primeros años de la vida de la presa y la velocidad disminuyó asintóticamente hasta prácticamente anularse en los últimos 50 años.</p> <p>Se observaron depósitos de carbonato en localizaciones específicas del paramento aguas abajo.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Programa de ensayos entre 1940 y 1950 investigando las propiedades ingenieriles y análisis petrográfico. Además se efectuaron otros ensayos in situ.	<p>La grava contenía un 8 % y la arena un 5,4 % de andesitas y riolitas y el hormigón contenía un 1,44 % de álcalis. La unión entre la pasta y los áridos era pobre.</p> <p>Se observaron depósitos de carbonato cálcico en las fracturas abiertas de los testigos extraídos.</p>	
Ensayos de resistencia a compresión desde la construcción de la presa hasta 1990 a partir de testigos de perforaciones horizontales en ambos paramentos.	<p>El desarrollo de la resistencia a compresión indica que mientras que las presas sufrían las expansiones, la resistencia a compresión se mantenía o disminuía ligeramente, alrededor de 1960 cuando el proceso se estancó, la resistencia aumentó ligeramente.</p> <p>Por otra parte, en los testigos apareció gel en el periodo que transcurrió entre la extracción y la realización de los ensayos, las explicaciones que se dieron al fenómeno varían: por un lado, puede deberse a una redistribución del gel o bien, a que la reacción continuó al liberarse de las tensiones a las que estaba sometida el hormigón en el contexto de la presa.</p>	
Se analizó estabilidad estática y frente a sismos de la presa concluyendo que la presa es segura.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Ninguna ya que se considera que las presas son estables		

FIGURAS:



REFERENCIAS: Hill (1995)

PRESA: Graus (España)		15
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1969-70
	Año de aparición síntomas:	1981
	Tipo de presa:	Gravedad
	Altura:	27 m
	Tipo de árido:	Esquisto metamórfico.
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Oxidación de ácidos sulfurosos
INSTRUMENTACIÓN:	12 testigos de nivelación en total	
	5 testigos de alineación	
	1 péndulo directo	
	4 medidores de apertura de juntas	
	1 punto de aforo de filtraciones.	
SÍNTOMAS:	En 1981 dentro de una campaña para mejorar la monitorización, se detectó que se daban movimientos hacia aguas arriba no recuperables.	
	También, se detectaron al mismo tiempo algunas fisuras superficiales arborescentes, con cambios superficiales de colorido (ocre)	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
La principal hipótesis es que se hubiera dado una expansión interna en el hormigón:		
Se colocaron extensómetros, se realizaron pulsos ultrasónicos y se analizó con el microscopio para ver la profundidad y la amplitud de las fisuras y se vio que la profundidad era de alrededor de 30 cm.		
En el laboratorio se realizaron ensayos mecánicos, de permeabilidad, difractogramas, ataque directo con solución alcalina para determinar la resistencia a compresión, a tracción, el módulo de elasticidad. En la cimentación fotomicrografía para un análisis petrográfico y mineralógico, Con los áridos se estudió la reactividad potencial, análisis químico y difractograma.		
Mediante simulación numérica se estudiaron las cargas hidrostáticas, térmicas y las tensiones aplicadas. Se realizaron hipótesis del desarrollo de los movimientos en el futuro.		
<p>Conclusiones:</p> <p>El comportamiento anormal de la presa se debía a los componentes inestables de los áridos: sulfuros de hierro y pirrotina.</p> <p>Estas reacciones tenían dos fases, en la primera la pirrotina se oxidaba provocando un ataque ácido al resto de los componentes ácidos y la formación de un importante volumen de sulfuro de hierro. En una segunda fase, se daba un ataque a la pasta en el contacto con el árido con la formación de un aureola que degrada este contacto, en el que se formaba etringita</p> <p>Se daban factores que aceleran la reacción como los ciclos secado-mojado, radiación solar incidente, permeabilidad, temperatura... que tenían lugar con mayor intensidad en la cara aguas abajo lo que explicaba el movimiento hacia aguas arriba.</p>		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
No se tomó ninguna medida especial, ya que se interpretó que la reacción tendía a estabilizarse, como así está sucediendo en la actualidad siguiendo los movimientos el comportamiento previsto por los estudios numéricos.		

FIGURAS:

ALZADO DE LA PRESA

REFERENCIAS: Martínez Roig et al. (1991)

PRESA: Hiwassee (USA)	16														
CARACTERÍSTICAS:	<table> <tr> <td>Año de finalización</td> <td>1940</td> </tr> <tr> <td>Año de aparición síntomas:</td> <td>1939 (durante la construcción)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de presa:</td> <td>Gravedad</td> </tr> <tr> <td>Altura:</td> <td>93,57 m.</td> </tr> <tr> <td>Tipo de árido:</td> <td>Grauwaca (65% cuarzo, 20 % mica, 10 % feldespatos y 5 % otros minerales)</td> </tr> <tr> <td>Cemento:</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Tipo de reacción:</td> <td>Álcali - sílice</td> </tr> </table>	Año de finalización	1940	Año de aparición síntomas:	1939 (durante la construcción)	Tipo de presa:	Gravedad	Altura:	93,57 m.	Tipo de árido:	Grauwaca (65% cuarzo, 20 % mica, 10 % feldespatos y 5 % otros minerales)	Cemento:	---	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
Año de finalización	1940														
Año de aparición síntomas:	1939 (durante la construcción)														
Tipo de presa:	Gravedad														
Altura:	93,57 m.														
Tipo de árido:	Grauwaca (65% cuarzo, 20 % mica, 10 % feldespatos y 5 % otros minerales)														
Cemento:	---														
Tipo de reacción:	Álcali - sílice														
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Inicialmente incluía deformímetros, medidores de tensiones, termopares, medidores de juntas, medidas de subpresiones y presiones internas, plomadas y puntos para mediciones topográficas.</p> <p>La instrumentación adicional medía datos sobre el corte, el crecimiento, las fisuras y también, inclinómetros.</p> <p>En esta presa también se llevaron a cabo ensayos petrográficos para determinar el estado tensional en las épocas frías o cálidas.</p> <p>Se amplió la instrumentación para controlar la estructura durante los cortes y a largo plazo. Esta instrumentación incluía extensómetros de cuerda vibrante adyacentes a los cortes, inclinómetros para medir el movimiento aguas arriba – aguas abajo y el longitudinal de los bloques contiguos a los cortes, y medidores de convergencia de cuerda vibrante para medir los cambios de la anchura de los vanos del aliviadero.</p>														
SÍNTOMAS:	<p>En 1939 se detectaron las primeras evidencias de expansión del hormigón en cinco cilindros libres de tensiones que se incorporaron dentro del hormigón cercano a la base del bloque 14 del aliviadero durante la construcción. Los deformímetros embebidos en los cilindros mostraban que la longitud de los mismos empezó a aumentar poco después de que el hormigón endureciera.</p> <p>Las tensiones y desviaciones en la presa aumentaron como resultado de la expansión del hormigón causada por la AAR. El incremento de las tensiones causó fisuración en numerosas localizaciones, sobretodo en las juntas horizontales de construcción y en los bordes de la presa. Los bloques adyacentes al aliviadero se desplazaron hacia éste unos 7,5 cm. entre 1940 y 1990. Este movimiento, causó el bloqueo de las compuertas.</p> <p>También se encontraron evidencias de la reacción en la central.</p>														
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:															
Se realizaron ensayos petrográficos y con testigos.															
<p>Se llevaron a cabo estudios tridimensionales con un modelo de elementos finitos lineal elástico de la presa y la cimentación usando ANSYS. Se simplificó la geometría de la presa simplificando las pilas del aliviadero y la plataforma lo cual no afectaba de forma importante el cálculo de las tensiones y los movimientos. También se realizaron otras simplificaciones como obviar las juntas de contracción de los bordes de los bloques y considerar el hormigón como un material elástico, lineal y continuo. El asumir la continuidad razonable para el hormigón intacto pero no tanto para el caso del fisurado y el hecho de considerarlo lineal elástico lo es excepto en las inmediaciones de la apertura del aliviadero y de los cortes para aliviar las tensiones donde se produce fluencia.</p> <p>Las cargas incluyen gravedad, presión del embalse, expansión térmica y expansión por AAR.</p> <p>Este modelo se calculó para evaluar cuántos cortes serían necesarios para aliviar los problemas causados por la AAR, dónde se deberían realizar así como su profundidad y amplitud idóneas.</p> <p>Los resultados indican que los cortes del cuerpo de la presa deberían llegar tan cerca de la cimentación como sea posible y los del aliviadero, a unos 23 m. de profundidad. Las tensiones de compresión máximas no deberían exceder los 3000 ó 4000 psi debajo de los cortes.</p> <p>Estudios acerca de los esfuerzos cortantes, hicieron tomar la decisión de que se debían instalar anclajes postesados en los bloques que no son del aliviadero antes de ejecutar los cortes.</p>															

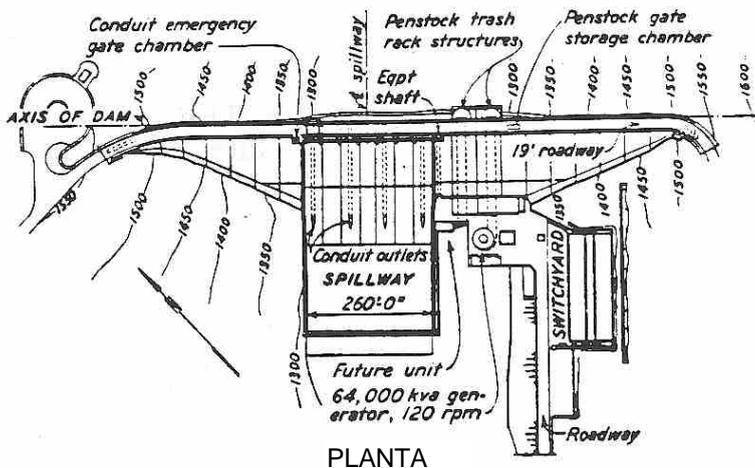
MEDIDAS ADOPTADAS:

Se tuvo que actuar sobre las compuertas en numerosas ocasiones hasta llegar a un punto en el que se tuvieron que modificar las partes estructurales principales.

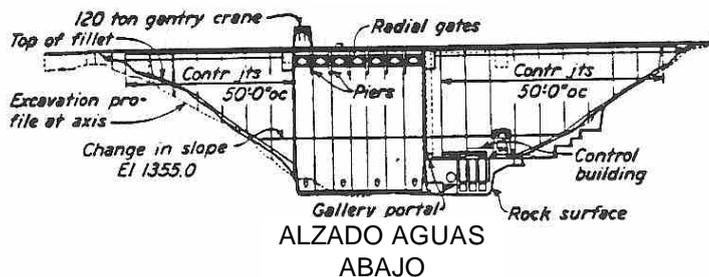
Se instalaron anclajes en todos los bloques que no pertenecían al aliviadero, y en enero de 1993 se realizaron unos estrechos cortes de 12,7 mm., pero como se cerraron en coronación durante el siguiente verano debido a la combinación de la expansión térmica y la fluencia, se volvió a cortar ese mismo noviembre para recuperar la amplitud inicial. En el estribo se llevaron a cabo los cortes entre marzo y julio de 1994.

Tras realizarse los cortes, se comprobó que tanto las tensiones como el cierre de los cortes que se estaba registrando se encontraban dentro del rango previsto por el estudio de elementos finitos. Sin embargo, algunos valores no eran los previstos, esto se debe a que no se tuvo en cuenta la fluencia y se menospreció, por ejemplo, el movimiento del aliviadero previo al corte.

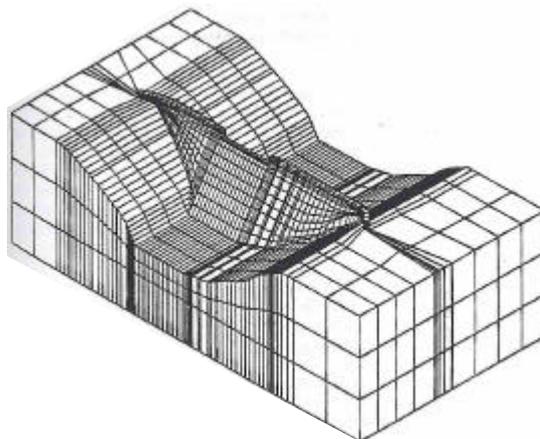
FIGURAS::



PLANTA



ALZADO AGUAS ABAJO



MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

REFERENCIAS: Wagner y Newell (1995); Grenoble et al. (1995); Newell y Wagner (1995)

PRESA: Horse Mesa (USA)

17

CARACTERÍSTICAS:

Tipo de presa	Bóveda
Año de finalización	1927
Año de aparición síntomas:	---
Altura	93 m
Tipo de árido:	---
Cemento:	---
Tipo de reacción:	Álcali - sílice

INSTRUMENTACIÓN:

Para confirmar la estabilidad de la presa y para identificar potenciales problemas que puedan afectar la presa, es importante monitorizar los movimientos de la coronación y las deformaciones.

Las inspecciones visuales se centrarán en los indicadores que afectan a los posibles modos de fallo, es decir, se revisará con especial atención el paramento aguas abajo (controlando las variaciones en las fisuras y juntas comparando con fotos antiguas y los cambios en las filtraciones) y la coronación de la presa (controlando también las variaciones en las fisuras).

Además, la monitorización se centrará en las deformaciones de la coronación, mediante nivelación y colimación, y en el cuerpo usando extensómetros.

SÍNTOMAS:

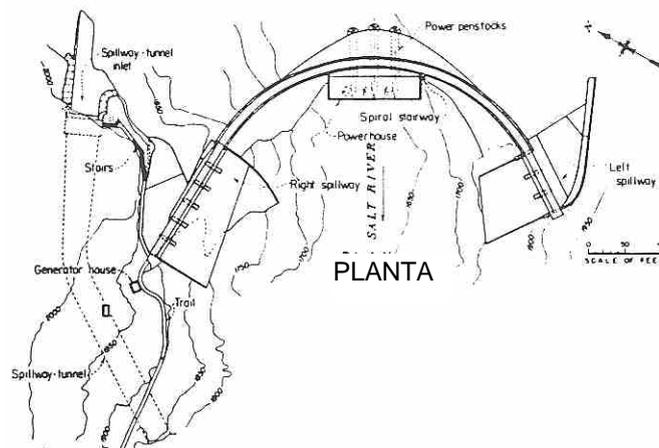
Típica fisuración en mapa, pequeñas expansiones en el hormigón de la presa y deformaciones permanentes en la parte arco de la presa. Cuando se redactó el artículo, la coronación de la presa se deformaba a una velocidad de 0,25 mm / año hacia arriba, y entre 0,25 y 0,75 mm / año hacia aguas arriba.

También se aprecia falta de unión en las juntas de construcción, ya que había afloración de filtraciones en el paramento aguas abajo.

HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

Se estudió el posible mecanismo de fallo

La expansión del hormigón a causa de la AAR provoca una fisuración adicional y reduce la resistencia de en del cuerpo de presa. Además, la reducción de la unión entre las juntas de las tongadas provoca una disminución de la resistencia al corte.

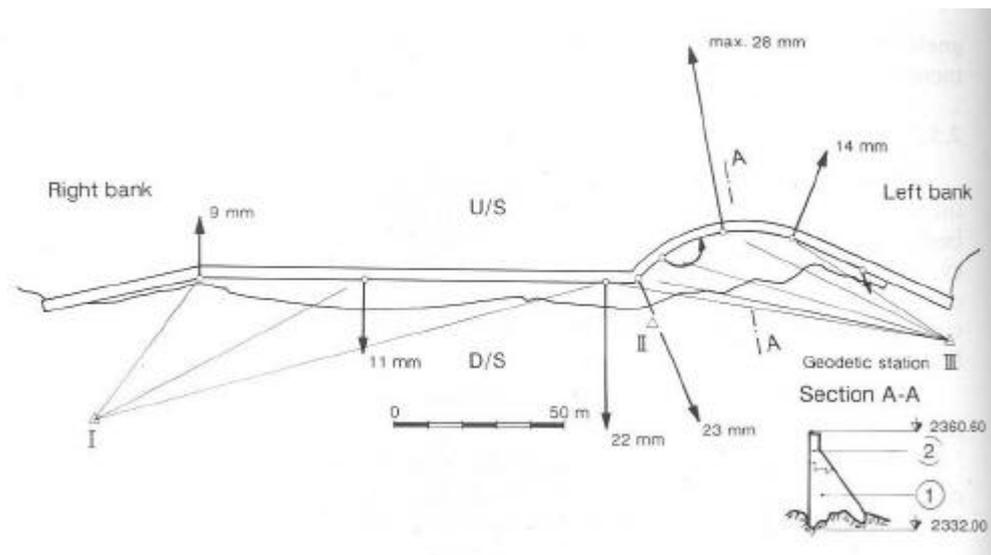
FIGURAS:**REFERENCIAS:** Veesaert y LaBoon (1995)

PRESA: Ilsee (Suiza)		18
CARACTERÍSTICAS:	<p>Año de finalización: 1926/27-1941/43</p> <p>Año de aparición síntomas: 1657</p> <p>Tipo de presa: Gravedad de planta curva</p> <p>Altura: 25 m</p> <p>Tipo de árido: Rocas metamórficas: gneis cuarcítico, gneis sericítico y esquisto clorito-sericítico.</p> <p>Cemento: Portland suizo</p> <p>Tipo de reacción: Álcali - sílice</p>	
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Se empezaron a hacer mediciones geodésicas después de la segunda fase. Entre 1946 y 1987, se tomaron datos 12 veces. La red geodésica se extendió en 1987 para ganar precisión. En 1975 se incluyó una medida rápida y simplificada, "medida de un día", una vez al mes en verano, para medir 7 puntos de la coronación con un teodolito.</p> <p>Desde 1968, se miran en cuatro puntos las filtraciones aguas abajo.</p> <p>Desde 1985, se comprueba regularmente una de las fisuras horizontales en la parte curvada aguas abajo en el límite entre el hormigón de las dos fases con dos extensómetros.</p>	
SÍNTOMAS:	<p>La cara aguas debajo de la presa, y especialmente el hormigón de 1926/1927 en la parte curvada de la presa presenta variados signos de alteración: El agua se filtraba a través de la presa y para disminuirlo, se realizaron inyecciones a lo largo de la presa y de la coronación a la cimentación entre 1966 y 1967.</p> <p>Además, tanto las medidas geodésicas como las medidas rápidas simplificadas mostraban deformaciones permanentes independientes del nivel del embalse y del efecto de la temperatura.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
<p>Las primeras deformaciones permanentes aparecieron en las medidas de 1967, justo después de la operación de inyección, por lo que podría haber sido provocado por ésta, pero esta hipótesis se desechó finalmente.</p>		
<p>Análisis de testigos haciendo especial hincapié en el hormigón de la parte curva, donde estaba más alterado, especialmente el de 1926 / 27 (otoño 1988 – primavera 1989)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ El estudio mineralógico mostraba expansiones debidas a ASR y la formación de etringita y / o thaumasita ○ Resistencia a compresión se comparó con la medida en 1965 y 1979, aunque se percibió una tendencia a disminuir, la resistencia era suficiente para garantizar la seguridad de la presa. 	
<p>En una segunda fase, se intentó caracterizar más precisamente y estimar la distribución de la expansión. Se sacaron más testigos del hormigón de la fase 1941/1943 del estribo derecho. Análisis mineralógicos suplementarios de pequeños cortes, análisis químicos detallados del hormigón y el agua, análisis mineralógico de la roca de la cantera y análisis con difracción por rayos X al hormigón, y de las incrustaciones de la cara aguas abajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Las deformaciones permanentes de la presa se deben a una expansión permanente en el hormigón de la presa. La causa principal es la reacción álcali-sílice y la segunda, la formación de etringita. La tardía aparición de los síntomas, se debe a que la sílice se encuentra en forma cristalizada 	
<p>Conclusiones:</p> <p>Las deformaciones permanentes se deben a la expansión del hormigón. La reacción álcali-sílice es la principal causa, y la formación de etringita la secundaria.</p> <p>El motivo por el cual la reacción se dio tan lentamente es que la sílice se encontraba en su forma cristalizada. La fuente de los álcalis no era únicamente el cemento, también lo eran los áridos.</p>		

MEDIDAS ADOPTADAS:

La reacción se ve fomentada por las particulares características de la estructura y la presencia de agua circulante. Es evidente que la baja densidad, la baja compactación y la alta permeabilidad permitían que se colase agua... Además la formación de etringita da lugar a nuevas vías de paso para el agua y los ciclos de humedecimiento - secado, acelera el proceso de lavado y el agua regresa después de secarse. Por eso, el primer remedio es intentar parar la entrada de agua mediante la colocación de una membrana impermeable en el paramento aguas arriba.

Paralelamente, la observación continua de la deformación de la presa será el mejor indicador de este fenómeno, junto con los ensayos periódicos de hormigón y los controles petrológicos.

FIGURAS:

Planta de la presa de Ilsee.

REFERENCIAS: Sinniger et al. (1991)

PRESA: Keerom (Sudáfrica)		19
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1954
	Año de aparición síntomas:	----
	Tipo de presa:	Bóveda
	Altura:	35+ 3,4 (1989) m
	Tipo de árido:	Arenisca cuarcítica
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Medidas de apertura de juntas.	
SÍNTOMAS:	<p>En una inspección previa al recrecimiento se vio que las juntas de contracción se habían abierto cerca de la coronación entre 2 y 8 mm en la superficie.</p> <p>En el paramento aguas abajo, cerca del estribo derecho, tres fisuras diagonales con una longitud conjunta de 20 m. El hecho de que saliera agua, indicaba que atravesaba la presa. En el mismo paramento, cerca de la base, una junta se había abierto unos 3 mm.</p> <p>El aliviadero estaba muy fisurado.</p> <p>A parte de esto, el hormigón estaba en buenas condiciones y no mostraba una fisuración extendida u otros signos habituales de la AAR.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Se extrajeron 5 testigos	Se confirmó la presencia de ASR. Los testigos tenían una resistencia a compresión de 35 MPa.	
Análisis de elementos finitos	Las tensiones provocarían que las juntas se abrieran cerca de la coronación., y siendo un arco en expansión, se inclinaría y arquearía en la dirección aguas arriba, causando fisuras y apertura de juntas.	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Reestablecer la integridad y continuidad de la presa, mediante la inyección de mortero en las partes abiertas de las juntas de contracción, en la misma operación de inyección de las juntas del recrecimiento.		
FIGURAS:		
(1) Eje de la presa		
Nota: las tensiones a tracción son positivas		
Representación de las tensiones causadas por la expansión del hormigón		
REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)		

PRESA: Kougha (Sudáfrica)		20
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Bóveda de doble curvatura
	Año de finalización	1969
	Año de aparición síntomas:	1976
	Altura	78 m
	Tipo de árido:	Cuarcita y esquisto
	Cemento:	0,8 % de equivalente de Na ₂ O
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Se miden niveles y desplazamientos geodésicos, éstos en dos ocasiones al año.	
SÍNTOMAS:	<p>Desde 1976 se ha dado una tendencia continua a de expansión acumulando un desplazamiento vertical total de 22 mm en la galería superior.</p> <p>También se observó una fisura en el paramento aguas arriba del aliviadero encima de la galería. El aliviadero, había sufrido más la reacción ya que empezó a sobresalir verticalmente causando una fisura en la zona de contacto una altura que variaba de 3 mm a los lados a 12 mm en el centro.</p> <p>El nivel del aliviadero aumentó entre 25 y 45 mm desde la construcción.</p> <p>Se pueden distinguir tres periodos en cuanto al comportamiento de la presa: hasta 1975, 1976-1983 y desde 1984:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La deformación inducida desde que empezó a medirse en 1972 es de 170 µm/m por año, más pronunciados en el estribo derecho. • Las expansiones empezaron a apreciarse a partir de 1976 cuando las juntas verticales se cerraron. • La velocidad de los desplazamientos estaba relacionada directamente con el nivel en el embalse y disminuía dramáticamente durante e incluso bastante después de las épocas con un nivel bajo del embalse <p>En esta presa no se han observado filtraciones.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:	<p>Después de que el programa de de monitorización indicara la posibilidad de que se estuviera dando la AAR, se ejecutó un programa de extracción de testigos para someterlos a ensayos y para expandir el sistema de monitorización para el estudio del comportamiento de la presa a largo plazo</p>	
Método de elementos finitos	<p>En los estudios que no incluyen el efecto de la AAR, la presa demuestra estabilidad estructural. Sin embargo, no se ha conseguido hacer un modelo que simulara bien los desplazamientos y las tensiones generadas por la AAR.</p>	
Ensayos de testigos y se sometieron a exámenes petrográficos, análisis de difracción de rayos x...	<p>Se identificó el producto de la reacción álcali – sílice y no el del ataque sulfático.</p> <p>La interfase hormigón - roca no está intacta y la roca justamente debajo del contacto es permeable.</p> <p>Las resistencias obtenidas eran de 36,6 MPa a compresión, 4,8 a tracción, un módulo de elasticidad de 30,6 GPa y una densidad de 2436 Kg. / m³</p>	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
No se tomó ninguna medida correctora, sólo seguir atentos a la monitorización		
REFERENCIAS: Elges et al.(1995)		

PRESA: La Tuque (Canadá)		21
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Gravedad
	Año de finalización	1940
	Año de aparición síntomas:	---
	Altura	40 m
	Tipo de árido:	Granito, gneis, cuarzo, diorita
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali – sílice
INSTRUMENTACIÓN: Movimientos		
SÍNTOMAS:	<p>El estudio de los datos de los movimientos revelaba que el desplazamiento permanente que ya duraba 10 años estaba influenciado por la geometría de las estructuras, que se movían hacia aguas arriba a excepción de las que se encontraban en la unión de la toma y la presa izquierda, que debido a la geometría en planta, lo hacían hacia aguas abajo. En cuanto al movimiento horizontal, el extremo izquierdo de la toma se movía hacia la izquierda y el extremo derecho de la presa izquierda se movía más a la derecha. Todas las estructuras se movían hacia arriba, con un valor máximo de 2 mm/ año. El péndulo del extremo izquierdo de la estructura de toma muestra un movimiento estacional de unos 6 mm. y un movimiento irreversible a una velocidad de 1,4 mm/ año.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Estudio del comportamiento estructural de la presa.	<p>Mostraba que sólo condiciones de carga asociadas a la expansión del hormigón podrían explicar el tipo de movimiento de la unión. La expansión del hormigón se debería principalmente a la carga térmica estacional y a la AAR.</p>	
Exámenes petrográficos.	Se detectó la presencia de gel de sílice alrededor de los áridos.	
Ensayos de laboratorio	Se observaban expansiones significantes de entre 0,01 y 0,015 %	
Análisis de elementos finitos	<p>Se desarrolló un modelo de elementos finitos de la unión de la presa izquierda con la toma causado por la carga térmica y la AAR. Primero se desarrolló un modelo en 2D de la presa de gravedad y uno en 3D de la unión, pero fue necesario desarrollar un modelo más preciso por la presencia de las tuberías forzadas, los huecos de las compuertas... El objetivo era confirmar las hipótesis que se habían tomado y que era que la expansión del hormigón era la causa del movimiento en la unión toma – presa izquierda y que genera niveles de tensión que iniciaban la fisuración en determinadas partes. Una vez realizado el estudio, se confirmaron ambas hipótesis. Los desplazamientos calculados eran similares pero en el caso de los longitudinales eran menores a los reales. Se llegó a la conclusión de que si la expansión continuaba, ésta provocaría importantes fisuras y filtraciones en la unión.</p>	

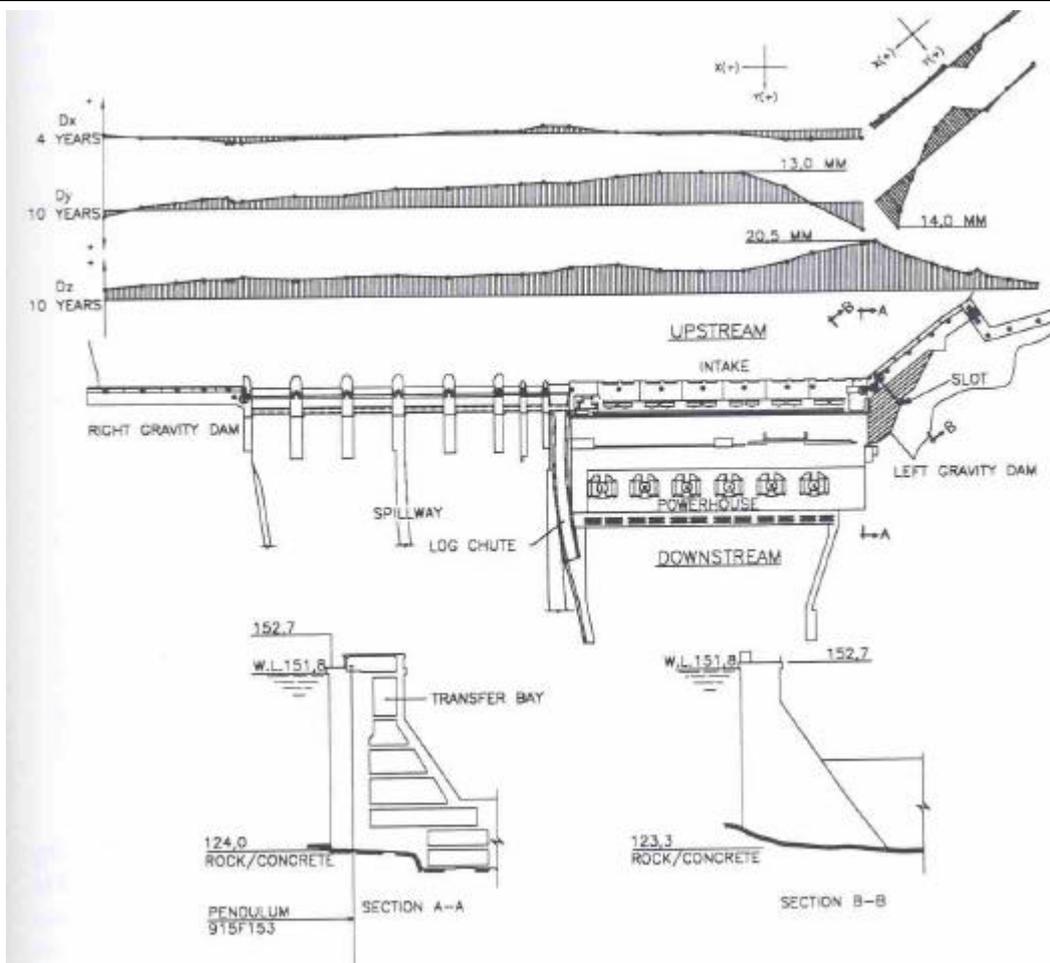
MEDIDAS ADOPTADAS:

La única solución que parecía arreglar el problema era la creación de juntas de expansión efectivas junto a la unión de la presa izquierda y la toma, en la presa misma para eliminar las restricciones externas en la unión, para relajar las tensiones preexistentes y para absorber la futura expansión. El corte se realizó hasta la cota 132 m.s.n.m. ya que más abajo no se habían dado problemas, se utilizó una sierra de alambre de diamante y la anchura resultante fue de 12 mm. ya que a pesar de no ser suficiente para remediar el estado tensional, se consideró más conveniente proceder en distintas fases.

Para controlar el corte, se instalaron medidores de fisuras y extensómetros automatizados para controlar el comportamiento de la estructura. Se comprobó que se había estabilizado el movimiento en la unión, se había reducido el desplazamiento permanente aguas arriba – aguas abajo y las tensiones de cizalla asociadas. La deformación axial de la toma aumentó al relajarse las tensiones, lo cual era de esperar.

Se prevé que sean necesarios nuevos cortes.

FIGURAS:

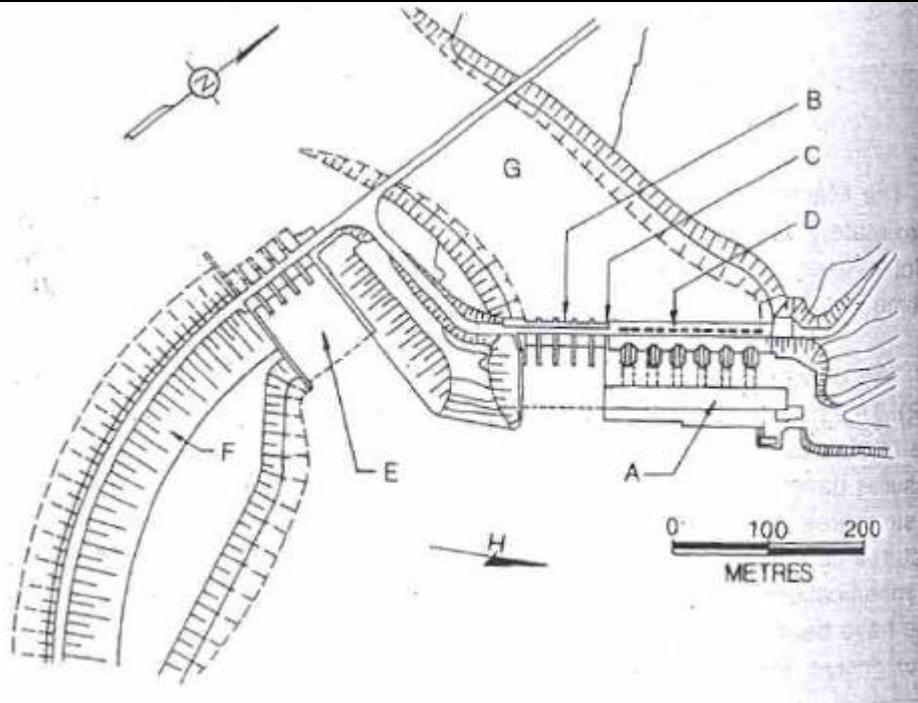


PLANTA Y PERFILES DE LA PRESA

REFERENCIAS: Veilleux (1995)

PRESA: Mactaquac (Canada)		22
CARACTERÍSTICAS:	Central hidroeléctrica	
	Año de finalización	Se construyó entre 1964 y 1980
	Año de aparición síntomas:	Sin especificar (mirar síntomas)
	Tipo de árido:	Árido grueso: Grauwaca, arcillita Árido fino: cuarzo, feldespato, cuarzo arcilloso
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN: ---		
SÍNTOMAS:	A mediados de los 70 se detectó una apertura creciente de una junta longitudinal en la subestructura de la central y a principios de los 80, se producían filtraciones a través de juntas horizontales del aliviadero y de la estructura de desvío. En este momento se instaló la instrumentación en la roca y en la estructura de hormigón.	
	En 1985, la compuerta del aliviadero 10, adyacente a la estructura de toma, se obstruyó por causa de un desplazamiento diferencial del extremo final del aliviadero hacia la apertura de la compuerta de 25 mm. También se han dado problemas en la maniobra de compuertas, con la turbina y con el generador.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Expansión del hormigón por reacciones expansivas	Modelos matemáticos tridimensionales basados en elementos finitos	
Conclusiones: Una vez realizados todos los estudios, se llegó a la conclusión de que efectivamente se trataba de una reacción expansiva del hormigón.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
<ul style="list-style-type: none"> • Se llevaron a cabo numerosos cortes, que redujeron y equilibraron las deformaciones de la estructura, relajaron la tensión interna y mejoraron el funcionamiento del equipamiento. Pero para hacerlos previamente se hizo un estudio de elementos finitos con GROW3D. • También se usaron otras soluciones a problemas locales, como pueden ser inyecciones para reducir filtraciones, refuerzos locales... • Otras como: <ul style="list-style-type: none"> ○ Modificación en las compuertas, guías y torres del aliviadero, y de la estructura de toma para compensar los movimientos en los equipos ○ Inyecciones químicas y con cemento de varias estructuras para controlar las filtraciones ○ Se tuvieron que reconstruir en parte los aliviaderos porque se había perdido luz por las expansiones • Se colocaron tendones. Dado que se iban a hacer cortes, se pensó que podían afectar a las pilas adyacentes, haciendo que se inclinaran. Entonces las fisuras se transmitirían en diagonal, y se hizo un estudio de elementos finitos para determinar el peor caso y se determinó que se debían colocar tendones. Cada tendón consistía en diecinueve cordones de 15 mm de diámetro con 7 alambres, con una f_{max} de 1860 MPa. Inicialmente se les dio una tensión de 3170 kN, que teóricamente se reduciría posteriormente porque su tensión aumentaría debido a la expansión del hormigón. • Inyecciones. Debido a los movimientos causados por las expansiones se producían fisuras y apertura de juntas y esto provocaba que se dieran filtraciones, para solucionarlo, se hicieron inyecciones. Se hicieron de diversos tipos: inyección estructural con resinas epoxy para restaurar la resistencia de los elementos fisurados, sobretodo en la central; inyección de la cimentación para restaurar el contacto roca – hormigón, e inyecciones para controlar el flujo de agua a través de las grietas. • Se aumentó progresivamente la instrumentación, se automatizó y de modo que algunas de las medidas se pudieran leer sin necesidad de desplazarse a la central. 		

- Programa de ensayos al hormigón.
 - A largo plazo: resistencia a compresión y resistencia a tracción por compresión diametral.
 - Resistencia a cizalla de las juntas de construcción
 - Resultado de los ensayos del daño petrográfico (fisuración de los testigos)

FIGURAS:

ESQUEMA DEL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE MACTAQUAC

REFERENCIAS: Gilks y Curtis (2003)

PRESA: Maentwrog (Gales, Reino Unido)		23
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1927/28
	Año de aparición síntomas:	1928
	Tipo de presa:	Arco gravedad
	Altura:	35 m
	Tipo de árido:	Grauwacas
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Diariamente desde 1928 se mide el nivel del agua y la lluvia registrada. En los años treinta se empezaron a medir las filtraciones, pero posteriormente los dispositivos se fueron cambiando de situación. La actual se usa desde 1979. La monitorización ha aumentado desde 1986. Se instalaron dieciséis puntos de nivelación a intervalos de unos 10 m., que se medían semanalmente al principio y en la actualidad, mensualmente. Los movimientos en planta se controlan por medio de 23 dianas quedando registrados electrónicamente. Los niveles de agua en la presa se miden con piezómetros colocados en cuatros sondeos. Se fijaron extensómetros en 20 juntas o fisuras del paramento aguas abajo</p>	
	<p>En 1928 se vieron ya unas filtraciones extensivas combinadas con deposición de elementos limosos en el paramento aguas abajo. Después de inyectarse, en 1938 se tuvo que volver a hacerlo porque se incrementaron las pérdidas. Los últimos valores medidos daban una anchura media de las fisuras de 52 mm. La monitorización muestra una tendencia a un incremento de la coronación de entre 1 y 1,5 mm / año. No se ha registrado movimiento en planta debido a la AAR.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
<p>El resurgimiento de las fugas, se debe a las subpresiones y al desarrollo de fisuras debido a la reacción de la AAR.</p>		
En 1946 y 1955 se realizaron investigaciones con extracción de testigos.	<ul style="list-style-type: none"> ○ En ambos estudios se encontraron con algunos testigos de hormigón con una resistencia de 40 MPa ○ En la de 1955, se realizaron estudios de las zonas con baja resistencia y permeabilidad que habían sido más atacadas químicamente. 	
En 1986 se realizaron 9 perforaciones en la presa y en la cimentación para estudiar la potencial longevidad de la presa. Se realizaron ensayos de permeabilidad y se grabaron las paredes de los sondeos. En los testigos se realizaron ensayos como el de densidad aparente, ensayo brasileño, análisis químicos, resistencia a compresión...	<ul style="list-style-type: none"> ○ La reacción entre la grauwaca y los álcalis había comenzado poco después de que completarse la construcción y en el momento del estudio continuaba 	
Se hicieron fotografías con infrarrojos en el paramento aguas abajo para aprovechar el calor del agua del embalse para distinguir las fugas de la filtración general en la parte más inaccesible del paramento aguas abajo.	<ul style="list-style-type: none"> ○ A partir de los datos obtenidos, que sugerían que la mayor filtración se daba en las dos juntas de construcción debajo de la coronación. 	

Se hicieron ensayos de vibración forzada, con acelerómetros que medían la vibración forzada

- A partir de los datos de vibraciones se obtuvieron datos de que la presa actuaba como cuatro arcos distintos cada uno con su propia frecuencia natural.

Se llevo a cabo un estudio de elementos finitos en tres dimensiones para predecir los efectos de la AAR

- Se obtuvo que todavía margen para más expansiones antes de que las tensiones y las deformaciones sean inaceptables.

MEDIDAS ADOPTADAS:

En 1930 / 31 se realizó una inyección a presión para parar las filtraciones.

En 1938 se realizó una nueva campaña que tampoco resultó exitosa, ya que los depósitos de calcita reaparecieron enseguida.

En 1940 se gunitó, pero no funcionó.

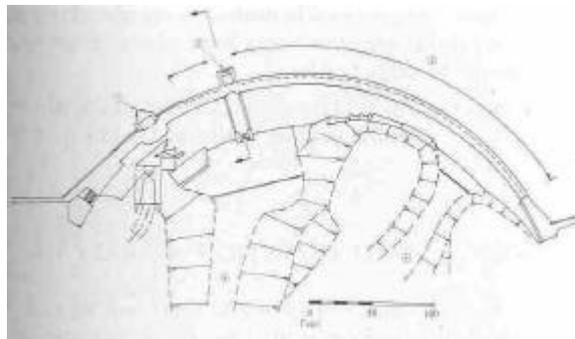
En 1958 se realizaron trabajos de reparación como parte del desarrollo de una central nuclear que iba a utilizar el agua del sistema del que forma parte esta presa. Estos trabajos consistían en la construcción de una membrana bituminosa en la cara aguas arriba, apoyada por una capa de colcrete (hormigón coloidal) que también se extendió para reconstruir la coronación y para rellenar los escalones de la cara aguas abajo para conseguir una superficie plana. La capa de colcrete pasaba de un grosor de 0,9 en la base a 0,6 en la coronación y estaba anclado con barras de una pulgada fijados en le hormigón existente. Los paneles aguas arriba, tenían juntas con "water stop" tanto horizontal, como verticalmente, aunque no había conexión entre ambos.

Al mismo tiempo, se inyectó una pantalla en la roca del pie de la presa en la parte aguas arriba, esta pantalla funcionó bien, pero al volver a llenarse el embalse, se volvieron a producir pérdidas, demostrando que las capas bituminosas no resultaban efectivas.

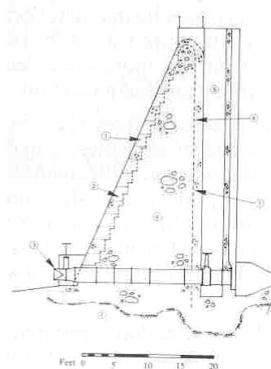
A partir de este momento, ya sólo se realizaron actuaciones locales.

Debido a los resultados obtenidos con los infrarrojos se determinó limitar la altura en el embalse 2 m. por debajo de la coronación

FIGURAS:



Planta de la presa



Perfil

REFERENCIAS: Davie y Tripp (1991)

PRESA: Moxotó (Brasil)		24
CARACTERÍSTICAS:	Central hidroeléctrica Año de finalización: 1977 Año de aparición síntomas: 1981 Tipo de árido: Biotita, hornblenda, granitos (el mineral reactivo era el cuarzo deformado) Cemento: --- Tipo de reacción: Alkali - sílice	
INSTRUMENTACIÓN:	Durante la construcción, sólo se instalaron piezómetros en la cimentación y se decidió instalar instrumentación monitorizada permanente, consistente en extensómetros longitudinales y transversales, péndulos directos e inversos, medidores de juntas y puntos de cota.	
SÍNTOMAS:	<p>Fisuras superficiales, ovalización de aberturas circulares, pérdidas de alineamiento en los ejes de los equipamientos, y otras:</p> <p>En 1980 se observaron muchas fisuras, la mayoría en las partes de menor espesor de las estructuras, como las plantas de la turbina y los generadores y las paredes del generador. Algunas de las fisuras de la pared del generador coincidían con las juntas de construcción, y otras eran verticales.</p> <p>Se observaron los siguientes problemas durante las operaciones de las unidades generadoras: incremento progresivo del nivel de vibración de las unidades de generación, fisuración de los elementos estructurales de pequeño espesor y abertura de las juntas de contracción en la parte superior de la estructura.</p> <p>En abril de 1981 se notó que los alabes de la turbina rozaban el tubo de aspiración en el cuadrante aguas debajo de la unidad 3. El espacio inicial entre los alabes y el tubo de aspiración era de $6,1 \pm 1,0$ mm y había disminuido 2 mm en el cuadrante derecho-aguas abajo. En los siguientes meses, las otras tres turbinas presentaban el mismo problema de fricción, siempre en el cuadrante derecho-aguas abajo.</p> <p>Como solución provisional, y para asegurar la operatividad, se decidió centralizar la turbina en el tubo de aspiración, verticalizar la turbina y los ejes de los generadores,.... Llevó de 4 a 8 meses realizar la operación de cada unidad afectada.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Después de un análisis detallado de la planta de Moxotó, incluidas las características geológicas de la cimentación, las propiedades tecnológicas del hormigón y las principales características de la construcción, se propusieron distintas hipótesis para explicar el origen de las expansiones en el hormigón que incluían:		
Movimiento local de la roca	Se investigó la roca de la cimentación	
Baja rigidez de la estructura	Modelos matemáticos tridimensionales basados en elementos finitos	
Alto nivel de vibraciones inducido por el equipo electromecánico	Se realizaron medidas "In situ" de vibraciones	
Alta presión hidrostática actuando en las juntas de expansión	Modelos matemáticos tridimensionales basados en elementos finitos	
Expansión del hormigón por reacciones expansivas	Modelos matemáticos tridimensionales basados en elementos finitos	
Para poder aplicar los modelos, se optó por ampliar la auscultación (ver apartado de instrumentación), al perforar los sondeos para colocar los extensómetros y el péndulo, se extrajeron unos testigos que se sometieron a exámenes petrográficos y de laboratorio obteniendo evidencias de la presencia de reacción álcali - sílice. Sin embargo, la relación entre la extensión de la reacción y los efectos perjudiciales varía.		

MEDIDAS ADOPTADAS:

Analizando la bibliografía disponible, se puede deducir que nadie ha intentado interferir directamente en los procesos reactivos, por la dificultad o imposibilidad de hacerlo. Sin embargo, en Moxotó, se estudió mediante ensayos de laboratorio y también in situ la eficiencia de inyecciones de dióxido de carbono (CO_2) dentro del hormigón para aliviar la reacción álcali-sílice.

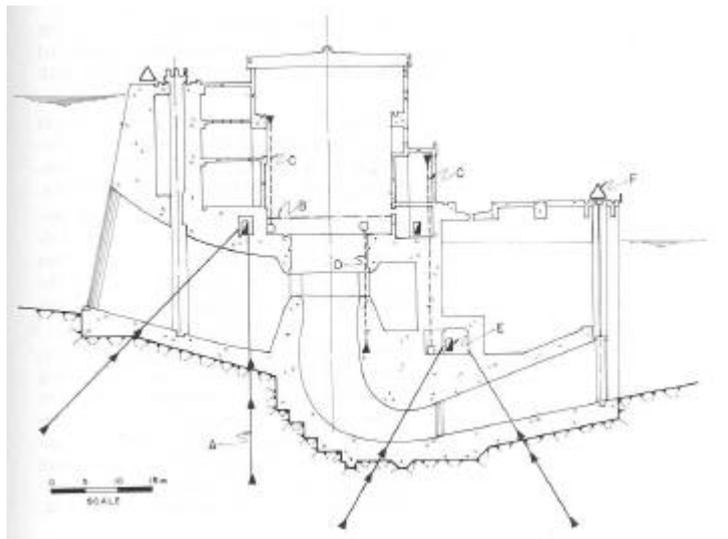
Los ensayos de laboratorio en testigos de 15 cm. de diámetro y en el interior de un bloque de hormigón de 1 m^3 donde se inyectaba CO_2 a través de un agujero de 5 cm. Se midieron las deformaciones superficiales con extensómetros.

A pesar de que los resultados eran buenos, se consideró imposible llevar a cabo esta práctica en la estructura de la central debido a la alta densidad de armado y la necesidad de perforar agujeros de 1 a 2 m para llevar a cabo la inyección de CO_2 .

Una segunda medida analizada fue la influencia de un tratamiento de impermeabilización dentro de las superficies del circuito hidráulico, para intentar aliviar la reacción álcali-sílice. Esta alternativa se descartó porque el agua presente en el hormigón junto con la percolación a través de la cara aguas arriba ayudaría a que continuara la expansión durante mucho tiempo igualmente.

La tercera medida analizada, que es la que se llevó a cabo en Moxotó, fue la apertura de juntas de contracción entre bloques, cortando con cables de acero y carborundo, con una técnica similar a la de cortar mármol en las canteras. El principal objetivo era relajar las tensiones de las estructuras en la dirección longitudinal de la central, que eran la causa de los problemas de deformación y de desplazamiento de los ejes de la turbina. La eficiencia de este tratamiento se estudió con un modelo matemático tridimensional basado en MEF.

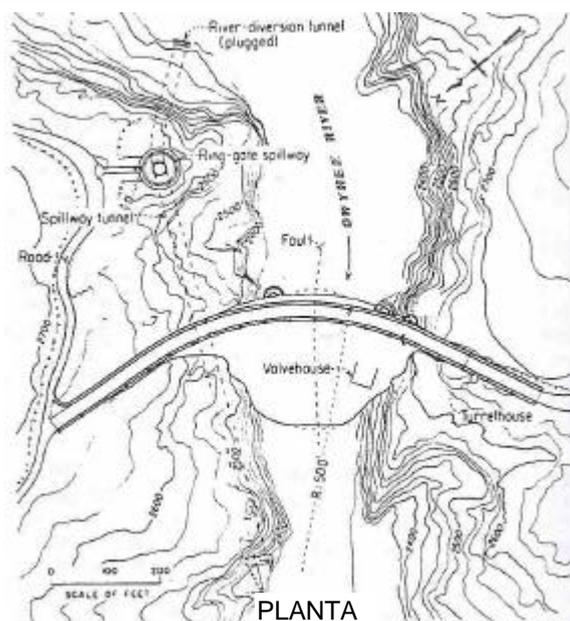
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:



Esquema de la central.

REFERENCIAS: Cavalcanti et al. (1991)

PRESA: Owyhee (USA)		25
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa Año de finalización Año de aparición síntomas: Altura Tipo de árido: Cemento: Tipo de reacción:	Bóveda 1932 1948 127 m --- --- Álcali – sílice
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Comenzó en 1985.</p> <p>Se pensó que se debería focalizar en los indicadores que controlen los posibles mecanismos de fallo, se preparó una lista de elementos a controlar visualmente, especialmente las escaleras internas y galerías (controlar las fisuras y la existencia de filtraciones en las mismas), la coronación (aumentos de la fisuración comparando con fotos anteriores). En cuanto a la monitorización se hizo hincapié en las filtraciones en el interior de la presa, las deformaciones de la coronación y la fisuración.</p>	
SÍNTOMAS:	<p>Los primeros signos aparecieron en los parapetos, y se detectó en 1948, desde entonces se dio más deterioro y fisuración.</p> <p>Se producían a menudo fisuras verticales y horizontales que aumentaban de tamaño, principalmente en los 23 – 15 m. superiores de la presa. Además de en el cuerpo de la presa se podían apreciar fisuras en otros elementos auxiliares.</p> <p>Según los datos obtenidos de la instrumentación, se daba un movimiento hacia aguas arriba que oscilaba entre 52 mm. a una velocidad media de 7 mm / año cerca de los estribos y 66 mm. a una velocidad media de 9 mm / año en el centro de la presa. Los movimientos hacia arriba de la coronación mostraban una tendencia progresiva pero a una velocidad muy inferior a los movimientos hacia aguas arriba, desde el comienzo de las mediciones, se detectó un movimiento de 13 mm en un periodo de 7 años, aunque el desplazamiento total hacia arriba de la coronación se estima de entre 81 y 117 mm.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
En 1989 se realizó una investigación a fondo	Se determinó que se estaba dando en la presa la AAR en distintos grados, siendo más severa en las partes superior y exterior de la misma y en las partes interiores se daba de forma muy ligera o no se daba en absoluto.	
Se estudió el posible mecanismo de fallo	<p>La presa se construyó en tongadas horizontales, el agua que se filtraba provocaba subpresiones en el contacto entre tongadas y en las fisuras, reduciendo la resistencia al deslizamiento, y se generaban tensiones de cizalla por la carga del embalse.</p> <p>La cohesión en las juntas, y la rugosidad de las fisuras unidas a que los factores de seguridad frente al deslizamiento eran lo suficientemente grandes hace pensar que el fallo por esta causa no sea probable, de todas formas se concluyó que había que controlar los cambios que se pudieran dar mediante inspecciones visuales y monitorización.</p>	

FIGURAS:**REFERENCIAS:** Veesaert y LaBoon (1995)

PRESA: Piedra del Águila (Argentina)26¹**CARACTERÍSTICAS:**

Año de finalización	1992
Tipo de presa	Gravedad
Altura	170 m
Longitud de coronación	800 m

Medidas adoptadas para la prevención de la AAR y problemas sísmicos.

Los áridos utilizados en la construcción están considerados como reactivos y se confirma con los ensayos de la ASTM. Para evitar problemas con estos áridos, se toman distintas medidas:

- En primer lugar, se decidió que el cemento a utilizar sería bajo en álcalis con un 20-35 % de puzolanas, pero las probetas con estas características dieron expansiones a los 18 meses, cuando ya se había comenzado la construcción.
Por eso se hizo un nuevo estudio para utilizar otro tipo de árido no reactivos pero suponía muchos problemas de plazos y costes.
- Se decidió por ello tomar una serie de medidas usando los áridos reactivos:
 - El cemento contendría un 30% en peso de puzolana.
 - Los álcalis se limitaron por debajo de un 0,5 %
 - La puzolana podría reducir la expansión en un 75 % de acuerdo con la ASTM C441
- Se ensayaron probetas con estas características y se concluyó que:
 - Puzolana reducía un 75 % la expansión
 - Probetas (ASTM C-227) con el cemento puzolánico y los áridos usados tenían expansiones inferiores al 0,05 % a los 36 meses
 - Ensayos similares a los anteriores pero con cementos de alto contenido en álcalis, daban expansiones superiores al 0,5 %.

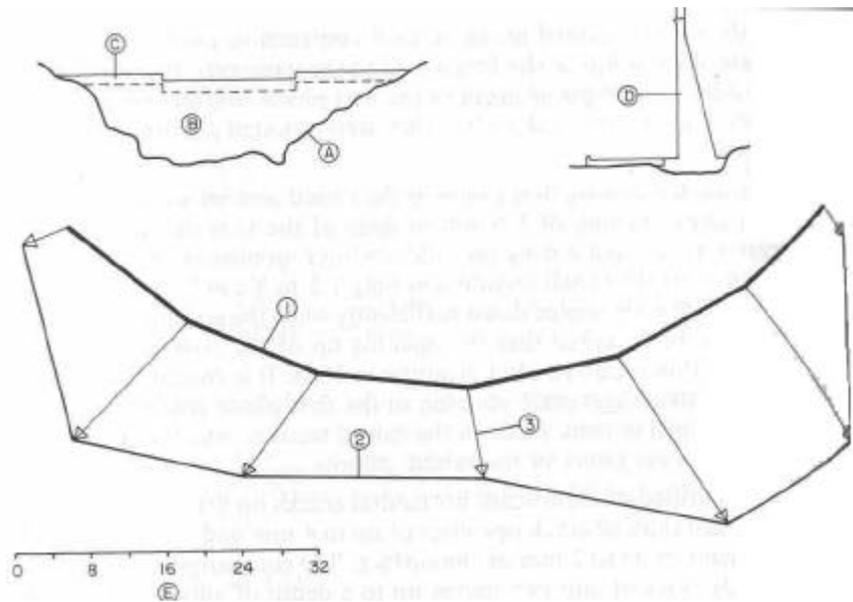
Además de estas medidas se llevaron a cabo otras de tipo estructural como la presencia de juntas de contracción tanto en la presa como en la central, con una apertura de 5 cm. y 2,5 cm. respectivamente.

REFERENCIAS: Serrano et al. (1995)

¹ La ficha de esta presa tiene una estructura distinta porque es previa a la explotación

PRESA: Pietersfontein (Sudáfrica)		27
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1968
	Año de aparición síntomas:	---
	Tipo de presa:	Bóveda
	Altura:	29 m
	Tipo de árido:	Arenisca y cuarcita
	Cemento:	50 % escorias granuladas de altos hornos
	Tipo de reacción:	Álcali -sílice
INSTRUMENTACIÓN: ---		
SÍNTOMAS:	Ninguno, se observó por la extracción de testigos para el estudio de la cimentación.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Extracción de testigos para estudio de la estabilidad de la cimentación.	<p>Dado que se había utilizado un 50 % de escorias de altos hornos, no se esperaba encontrarse con la ASR.</p> <p>Se vio que en los huecos había un material blanco, y aunque se identificó como producto de la reacción álcali-sílice, no se encontró ninguna fisuración en los testigos.</p> <p>Se obtuvo una resistencia a compresión de 53,5 MPa, a flexión de 3,3 MPa y un módulo de elasticidad de 20,2 GPa.</p>	
Conclusiones:	Se encontró que se estaba dando la ASR, y por ello se consideró que a partir de entonces se tendría especial atención a la instrumentación.	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Sólo poner más atención a la monitorización.		
REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)		

PRESA: Poortjieskloof (Sudáfrica)		28
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1955
	Año de aparición síntomas:	1985
	Tipo de presa:	Bóveda
	Altura:	33 + 4,6 (1968) m
	Tipo de árido:	Arcillitas- cuarzo arenitas
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Dianas geodésicas. Apertura de juntas	
SÍNTOMAS:	Fisuración generalizada en el paramento aguas abajo, principalmente a lo largo de las superficies horizontales, que se observaba antes incluso del recrecimiento. Se midió una deformación permanente aguas arriba de 9 mm. en la línea central y de 20 mm. en los monolitos adyacentes al aliviadero central.	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Método de elementos finitos.	Los estudios realizados teniendo en cuenta los efectos cíclicos de las temperaturas, la carga hidrostática y el hecho de que las juntas de contracción no se inyectaran después de la primera fase, no podían explicar la existencia de las fisuras que se habían dado.	
Se extrajeron 15 testigos en 1984	Se extrajeron de juntas de contracción verticales, a lo largo de fisuras horizontales, y de juntas de construcción además que del hormigón en masa y de la cimentación. Se identificó la reacción álcali-árido en el hormigón de la primera fase. Además, se podía observar en los testigos de las juntas verticales de contracción que en la primera fase de la presa, estaban cerradas. Los testigos mostraban unas amplitudes de 2 a 4 mm de apertura en la superficie. Y la profundidad era de 1 m y hasta los 2 m se podían observar las fisuras aunque el hormigón estuviera intacto. El hormigón del paramento aguas abajo tenía unas expansiones menores que el de aguas arriba y que el del interior de la presa puesto que al estar orientada hacia el norte, el sol incidía en el paramento la mayor parte del día y la humedad disponible era menor. Se midió una resistencia a compresión de 41,2 MPa y una resistencia a flexión de 3,4 MPa.	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Reinyectar las juntas de contracción de la parte recrecida para reestablecer el efecto arco		

FIGURAS:

Detalles geométricos y desplazamientos medidos en la coronación.

REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)

PRESA: Pracana (Portugal)		29
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1948 / 51
	Año de aparición síntomas:	1952
	Tipo de presa:	Contrafuertes
	Altura:	65 m.
	Tipo de árido:	Cuarцитas y otras.
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	<p>Se mejoró a la vez que aumentaba el deterioro, se instrumentaron las fisuras principales de los contrafuertes P6 y P9 y se instalaron termómetros.</p> <p>Además se instalaron extensómetros en el pie de la presa y en el final aguas arriba de cada contrafuerte, cinco líneas de plomada en cinco contrafuertes, y se revisó y mejoró el sistema de monitorización geodésica</p>	
SÍNTOMAS:	<p>Lo primero que se detectó fue una fisura en el contrafuerte P9.</p> <p>En 1956 se detectaron nuevas fisuras, que se interpretaron como la progresión de la primera, que se desarrollaban encima de ésta. Al mismo tiempo, se medía una expansión de $30\text{-}40 \cdot 10^{-6}$ con un extensómetro.</p> <p>En 1962 se detectaron muchas fisuras en distintos contrafuertes y en 1964, crecieron repentinamente las filtraciones.</p> <p>El desarrollo de fisuras en la cara aguas arriba iba a la par que un movimiento progresivo hacia aguas arriba, a una velocidad de 1 mm / año en los contrafuertes más altos.</p> <p>En 1980 cuando se decidió parar la explotación se llevan acumulados entre 520 y 1100 microstrains con los mayores valores en los contrafuertes laterales, entonces las velocidades de desplazamiento eran de entre 1,0 y 1,4 mm. / año</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
	<ul style="list-style-type: none"> · La primera hipótesis sobre la causa de la fisuración fue que era debida a las variaciones térmicas del hormigón durante la construcción y el primer llenado del embalse y la expansión del hormigón · También se consideró como causa adicional en asentamientos diferenciales debidos a la heterogeneidad de la cimentación, que no se trató durante la construcción. 	
Ensayos químicos de los áridos y de los depósitos de las fisuras, análisis mineralógico de los áridos y ensayos de expansión.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se detectó la presencia de etringita. ○ El aumento de contenido de sulfatos en el agua infiltrada y el tipo de fisuración daba a entender que se trataba de la ASR. ○ Lo mismo indicaban las afloraciones alcalinas del paramento aguas abajo, principalmente sódicas, la existencia de bordes de reacción en los áridos silíceos y la naturaleza silícea del material que llenaba algunas fisuras. 	
Se estudió la estabilidad al deslizamiento de los contrafuertes a lo largo de las fisuras horizontales más desfavorables en dos casos distintos de ángulo de rozamiento y cohesión.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Los valores de los factores de seguridad oscilaban entre 1,3 y 2,2. 	
Análisis estructural	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se concluyó que las tensiones causadas por la acción de la presión hidrostática y las variaciones de temperatura no eran significante, ni tampoco justificaban los desplazamientos ni la fisuración observados ○ Los desplazamientos y tensiones calculados encajaban con los observados cuando en el modelo matemático se consideraba una expansión no uniforme entre la cabeza y el núcleo de los contrafuertes 	

MEDIDAS ADOPTADAS:

En 1980 se suspendió la explotación de la presa debido a los bajos factores de seguridad y también por el continuo deterioro de las cabezas de los contrafuertes y la insuficiente capacidad del aliviadero para el control de avenidas.

En 1985 se decidió renovar el aprovechamiento con la construcción de un nuevo aliviadero y una nueva central y la obra se llevó a cabo entre 1987 y 1988.

Los trabajos de rehabilitación consistieron en la colocación de una membrana en la cara aguas arriba, inyección de las fisuras, el arriostamiento de los contrafuertes, consolidación de la cimentación y ejecución de una pantalla.

REFERENCIAS: Working Group of the Portuguese Committee on Large Dams (1991)

PRESA: R.H. Saunders (Canadá, USA)		30
CARACTERÍSTICAS:	Central hidroeléctrica Año de finalización: 1958 Año de aparición síntomas: 1972 Tipo de árido: Caliza Cemento: --- Tipo de reacción: Álcali - sílice	
INSTRUMENTACIÓN:	<p>El crecimiento del hormigón y la respuesta ante los cortes se monitorizó con el uso de instrumentación automatizada.</p> <p>En una primera fase se instaló la instrumentación en las unidades de la 3 a la 8, para ajustar un mef se necesitaba conocer los movimientos en las tres direcciones en un número suficiente de puntos y se decidió poner más instrumentación en la 6 que era la más afectada.</p> <p>En una segunda fase, sólo se instrumentaron 4 unidades más del total de 16 porque el resto no registraba ninguna anomalía.</p> <p>Los instrumentos instalados fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medidores de fisuras para medir los movimientos en superficie en el corte o la fisura • Extensómetros para monitorizar los movimientos longitudinales de cada unidad • Extensómetros en los sondeos para medir movimientos relativos en el hormigón • Péndulos para medir los desplazamientos relativos en las tres direcciones ortogonales • Medidor de tensiones para medir cambios en las tensiones del armado • Termopares para medir los cambios en la temperatura del hormigón • Medidores de convergencia en los sondeos para medir los movimientos de los cortes cerrándose. 	
SÍNTOMAS:	Se dieron problemas con los equipos de generación, problemas de tipo eléctrico, mecánico y estructural: desalineaciones, rozamientos en los equipos electromecánicos, apertura de juntas, fisuración de vigas...	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
En 1990 se inició un programa de investigación que incluía la instalación de instrumentación, ensayos de laboratorio, y modelación matemática.		
Los ensayos comprenden examen microscópico de testigos, ensayos acelerados de barra de mortero ensayos de contenido en álcalis y ensayos de prismas de hormigón.	Se identificó en 1991 la ASR como principal fuente de expansión en la central. La velocidad de la expansión era de entre 20 y 40 microstrains al año.	
<p>Se realizó un análisis con un método de elementos finitos, con el objetivo de predecir la respuesta a la expansión de la estructura de la central a causa de la AAR, el cierre del corte y la frecuencia en volver a cortar, la localización de nuevos cortes y la validación de varios mecanismos estructurales.</p> <p>Se hicieron tres modelos: uno de una sola unidad para predecir la expansión previa al corte y la posterior al corte del mismo, otro con diez unidades generadoras para predecir la respuesta inmediata de los equipos y la estructura al corte y un tercero, representando las 16 unidades para predecir el comportamiento a largo plazo.</p>		

MEDIDAS ADOPTADAS:

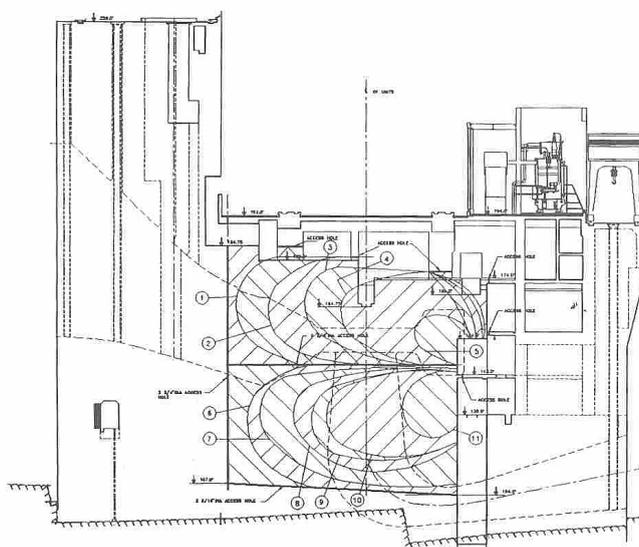
Se consideró la posibilidad de realizar cortes para aliviar las tensiones en el hormigón y reducir y estabilizar las deformaciones con forma de óvalo.

El primer corte se realizó en 1993 en la junta de contracción vertical entre las unidades generadoras 5 y 6, el área total del corte fue de 560 m^2 y se realizó con una sierra de alambre de diamante con un ancho de 15 mm con el objeto de que durara muchos años antes de tener que volver a cortar.

En abril de 1994 se hicieron dos cortes adicionales de 15 mm de ancho entre las unidades generadoras 3 y 4 y entre la 4 y la 5, mientras estaban la 3 y la 4 en funcionamiento y la 5 estaba fuera de servicio.

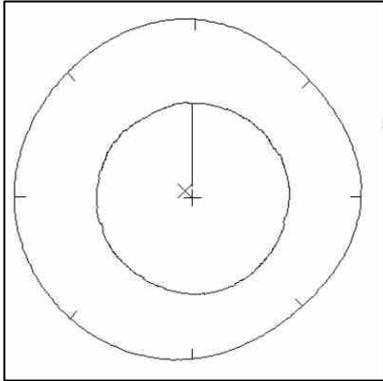
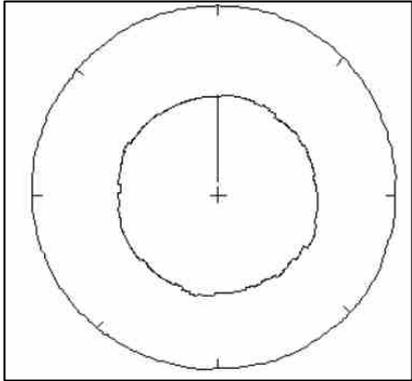
Las vigas y los soportes de las losas de dos niveles de la central que experimentaron una fisuración muy severa fueron reparados.

Los resultados de los cortes fueron satisfactorios, neutralizando la ovalización de los soportes de los equipos y aliviando las tensiones.

FIGURAS:

CORTES EN LA CENTRAL

REFERENCIAS: Ho et al. (1995)

PRESA: Rapide – des - Isles (Canadá)		31
CARACTERÍSTICAS:	Central hidroeléctrica Año de finalización: 1967 - 1973 Año de aparición síntomas: 1970 's Tipo de árido: Granito Cemento: --- Tipo de reacción: Álcali - sílice	
INSTRUMENTACIÓN:	Cuando se tuvo que detener el funcionamiento de dos de los generadores, se instaló nueva monitorización para controlar el entrehierro de los cuatro equipos que aportara datos sobre la forma del stator y del rotor, sobre su redondez.	
SÍNTOMAS:	Los primeros problemas se diagnosticaron en 1973 – 1974, las deformaciones impuestas en el soporte del stator afectaban a su forma circular. A finales de los setenta, los valores del “entrehierro” habían llegado a valores críticos, y en este contexto la anilla del rotor era empujada por el incremento del campo magnético, lo que llevó a la compañía a detener dos de los cuatro generadores	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:	---	
MEDIDAS ADOPTADAS:	Se sustituyeron los rotores de ocho brazos por otros de catorce reforzados con una placa de acero para contrarrestar la presión ejercida por la AAR, mejorando así la redondez.	
FIGURAS:	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>FORMA ANTES DE CAMBIAR LAS UNIDADES</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>FORMA TRAS CAMBIAR LAS UNIDADES</p> </div> </div>	
REFERENCIAS:	Major et al. (1997)	

PRESA: Rapides Farmers (Canadá)

32

CARACTERÍSTICAS:

Tipo de presa	Gravedad
Año de finalización	1929
Año de aparición síntomas:	---
Altura	16 m
Tipo de árido:	Rocas graníticas con cuarzo y caliza cristalina.
Cemento:	---
Tipo de reacción:	Álcali - sílice

INSTRUMENTACIÓN:

SÍNTOMAS:

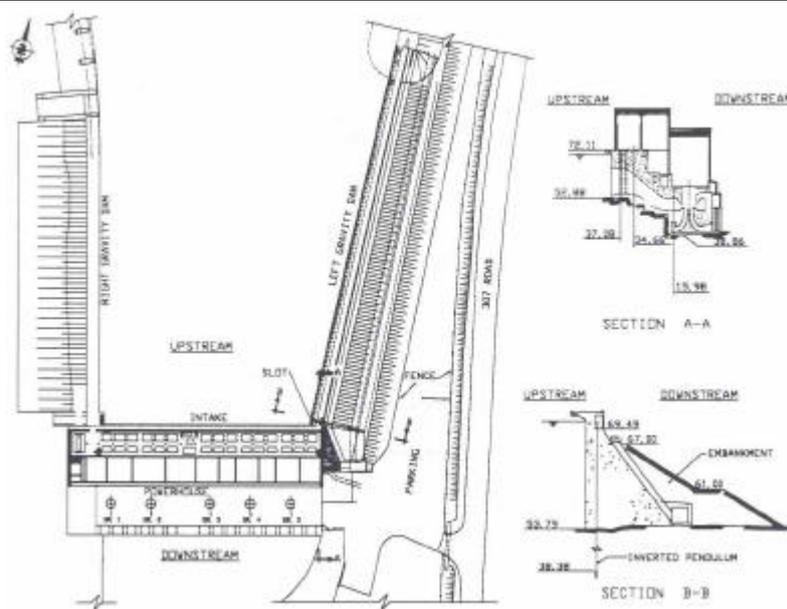
La monitorización indicaba un movimiento residual en los extremos de la estructura de toma: el extremo izquierdo se expandía a una velocidad de 0,6 mm / año hacia aguas abajo y hacia arriba 0,8 mm / año.

HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

MEDIDAS ADOPTADAS:

La mayor rehabilitación de la sección de gravedad izquierda se llevó a cabo en 1993-94. El hormigón del paramento aguas abajo se había reparado en 1940, cuando se colocó una capa de hormigón de entre 100 y 200 mm. con armaduras y anclajes. Su resistencia era de 25 MPa mientras que la del anterior era de 15. Primero se rehabilitó la presa izquierda, el proceso consistió en iniciar una pantalla de inyección aguas arriba, quitando parte del hormigón aguas abajo y cubriendo las partes tratadas con una capa de entre 600 y 1000 mm de hormigón armado de 30 MPa hecho a partir de áridos no reactivos. También se llevó a cabo la instalación de un sistema de drenaje aguas arriba.

Para reducir la interacción entre la presa izquierda y la estructura de toma, se decidió realizar un corte en la unión. Se instalaron péndulos inversos a ambos lados del corte y de termopares para determinar la distribución de la temperatura y la penetración a largo plazo de las heladas. También se creó una galería de drenaje en el pie del paramento aguas abajo para inspeccionar el contacto entre los hormigones.

FIGURAS:

PLANTA Y PERFILES

REFERENCIAS: Veilleux, M. (1995)

PRESA: Roode Elsberg (Sudáfrica)		33
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1968
	Año de aparición síntomas:	---
	Tipo de presa:	Bóveda
	Altura:	67 m
	Tipo de árido:	Árido grueso: arenisca cuarcítica aluvial Árido fino: Arena machacada cuarcítica y arena de río redondeada
	Cemento:	44 % de escoria granulada de altos hornos
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN: Topografía, clinómetro, y micrómetro deslizante.		
SÍNTOMAS: Ninguno		
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Se extrajeron testigos para introducir instrumentación	Se vio que en los poros había un material blanco, aunque se identificó como producto de la reacción álcali – sílice, no se encontró ninguna fisuración en los testigos.	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Simplemente poner más atención a la instrumentación.		
REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)		

PRESA: Salas (España)		34
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1973
	Año de aparición síntomas:	1975
	Tipo de presa:	Contrafuertes
	Altura:	50 m
	Longitud de coronación:	240 m
	Tipo de árido:	Graníticos
	Cemento:	10 % ceniza volante
Tipo de reacción:	Álcali – sílice	
INSTRUMENTACIÓN:	Se desconoce	
SÍNTOMAS:	<p>En 1975 se detectaron fisuras horizontales en el paramento de aguas abajo de dos contrafuertes.</p> <p>En 1985 se vio el paramento aguas arriba aprovechando que había bajado el nivel, todo el hormigón fisurado se había colocado en agosto del 70.</p> <p>Con nivelación de alta precisión se vio que esos contrafuertes se habían expandido.</p> <p>Los bloques de hormigón que han sufrido expansión presentan, alrededor de ciertos áridos, unos halos o contornos, bien diferenciados, de aspecto gelatinoso cuando están húmedos, que al secarse se convierten en masas de color blanquecino o pardo – rojizo, que se pueden arrancar con relativa facilidad de la interfase árido – pasta.</p>	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Entre 1980 y 1984 se extrajeron testigos y se colocaron extensómetros, se realizaron medidas por ultrasonidos y se realizaron ensayos de permeabilidad	En el granito se notaba la presencia de cuarzo con tendencia reaccionar con las soluciones alcalinas de la hidratación del Pórtland.	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Las fisuras del 75 se sellaron con resinas. Se impermeabilizaron los paramentos, para evitar, lo máximo posible, la circulación de agua en el hormigón.		
REFERENCIAS: Boletín 79 ICOLD (1991)		

PRESA: San Esteban (Orense, España)		35
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1955
	Año de aparición síntomas:	---
	Tipo de presa:	Arco gravedad
	Altura:	115 m
	Tipo de árido:	Granito de dos micas, con trazas de piritas
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN:	Desde la construcción de la presa hasta hace ocho años se instalaron:	
	<p>Un péndulo directo</p> <p>Colimación en coronación en tres bloques para ver los desplazamientos radiales</p> <p>Observación geodésica</p> <p>Control de juntas en coronación</p> <p>Filtraciones</p> <p>Piezometría</p>	
	A posteriori, se añadieron:	
	<p>Tres péndulos más, directos e inversos</p> <p>Bisección topográfica de todos los bloques. Una red geodésica que cubre toda la cara aguas abajo, usando dos líneas para nivelación de precisión: una en coronación y otra en la galería inferior.</p> <p>Los movimientos de la cimentación se seguían mediante barras de extensómetros con múltiples anclajes. Éstos, instalados en la galería inferior también funcionaban como referencia para la nivelación que se medía allí.</p> <p>Bases de elongómetros se usaban para controlar todas las juntas en las secciones superiores e inferiores.</p> <p>Se amplió el drenaje de la cimentación y del cuerpo de la presa, así como el sistema piezométrico.</p> <p>Para observar el desarrollo de las tensiones, se instalaron cuerdas vibrantes radiales para aportar datos acerca del desarrollo de las fuerzas internas y tensiones.</p>	
SÍNTOMAS:	<p>Los registros de deformaciones indicaban un movimiento en la presa en la dirección del embalse, más hacia el estribo derecho. De las juntas controladas, sólo tres presentaban desplazamientos relativos, de modo que su acumulación ponía los bloques más hacia los lados, en una posición desplazada hacia aguas abajo y a una elevación menor que los bloques adyacentes.</p>	
	<p>Lo que perfilaba la monitorización hidráulica, eran algunas filtraciones provenientes de los recintos de las juntas radiales aguas arriba limitados por los pozos entre galerías, debido sin ninguna duda a la rotura del material estanco, por lo que las reinyecciones con lechada de cemento sólo serían efectivas a corto plazo. Además, los flujos de muchos drenes en el hormigón que intersecaban juntas, y para las cuales, las inyecciones normales no ofrecerían una solución definitiva, eran importantes.</p> <p>Por otro lado, la superficie presentaba en la sección superior, y más aún en los lados, muchas juntas húmedas y fisuración en el estribo derecho. La galería superior presentaba bajo el aliviadero, grietas en los muros laterales, ajustadas a las juntas de construcción, mientras que las del lado aguas arriba estaban cerradas y húmedas, las de aguas abajo estaban secas y abiertas, lo que indica que claramente que se producen expansiones en las zonas cercanas a la cara aguas arriba.</p>	

HIPOTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:	
	<p>Se sospechó que se trataba de reacciones expansivas, para comprobarlo se hicieron distintos estudios.</p>
Estudio del hormigón a simple vista	<p>Se observaban multitud de zonas con grava expuesta y falta de pasta de cemento y árido fino en muchas juntas. También se notó que las juntas activas sólo lo eran en los 10 m superiores y que las grietas de la galería superior estaban cerradas cerca de las superficies que parecían estar afectadas por la expansión del hormigón. Asimismo, en el lado del embalse correspondiente a la zona deteriorada del paramento aguas abajo, se detectaron un grupo de fisuras de profundidad limitada.</p>
Estado tensional	<p>Teniendo en cuenta que el fenómeno que se estaba produciendo podría sobrecargar la estructura, se realizaron ensayos mecánicos:</p> <p>En los ensayos se usaron celdas biaxiales y triaxiales. Con las primeras, se establecieron medidas continuas durante los cortes, y el efecto térmico se tomó en consideración como medio para correcciones automáticas a través del uso de un termorreóstato interno.</p> <p>Los ensayos se llevaron a cabo relativamente cerca de los dos paramentos y a tres niveles distintos, correspondientes a los niveles de las galerías principales. La información básica para el estudio provino de los biaxiales usados para conocer la distribución de tensiones en el plano longitudinal de la presa.</p> <p>Los ensayos se limitaban, al principio, a la parte superior de la estructura y a zonas con irregularidades, con algunos ensayos adicionales para acompañar resultados obtenidos anteriormente o para verificar algunos con resultados inusuales. Al final de los ensayos, se podía confirmar, a través de los resultados que en general los ensayos podían ser considerados válidos, y los datos obtenidos por los biaxiales eran los que aportaban datos con mayor aproximación, como se había supuesto anteriormente.</p> <p>La magnitud y signo de las tensiones no indicaban ninguna anomalía. En general, las compresiones no superaban los 10 kg / cm² y las tracciones eran mucho menores. La estructura en su parte inferior funciona como una presa de gravedad con total ausencia del efecto arco, que se empezó a notar a un nivel intermedio.</p>
Modelo matemático	<p>Se desarrolló un modelo de elementos finitos no lineal.</p> <p>Se tuvieron en cuenta las acciones con su orden cronológico: una vez se alcanzaba el nivel máximo, el efecto de la expansión interna del hormigón se introducía con los siguientes criterios: por un lado, se consideró que el fenómeno comenzaba inmediatamente después de alcanzarse la máxima presión hidrostática en una capa delgada en contacto con el agua del embalse y continuaba hasta alcanzar un valor estable como una curva parabólica con una tangente horizontal; y por otro, que en los elementos que no se encontraban en contacto directo con el agua, la expansión comenzaba automáticamente cuando en un punto de integración se daba una condición de fisuración.</p> <p>El proceso se estabilizaba cuando todos los puntos sujetos a expansión llegaban al valor asintótico sin que se diera fisuración en otra zona.</p> <p>El estudio tomaba como base los datos de la nivelación porque, además tener los datos de todos los bloques, se consideró que reflejaba mejor la distribución del fenómeno. Esto es así porque al contrario que los movimientos horizontales, los de nivelación no se ven afectados por la distribución de cargas en los arcos.</p> <p>Se obtuvieron unas leyes que se asimilaban bien al comportamiento de la presa hasta ese momento.</p> <p>Las conclusiones fueron que el modelo era adecuado para el análisis de la estructura, confirmando la hipótesis de la expansión.</p>
Análisis de los componentes del hormigón	<p>ÁRIDOS</p> <p>Se realizaron ensayos petrográficos, mineralógicos usando la difracción, peso específico, contenido de sulfuros y reactividad potencial a los álcalis de acuerdo con la ASTM C-289 obteniéndose los siguientes resultados:</p> <p>Las rocas eran hercianas y graníticas, con trazas de piritita.</p> <p>La estructura estaba muy fracturada, con cristales alterados y deformados.</p>

Los pesos específicos aparentes eran de 2,70 y 2,65 g/cm³ y el nivel de absorción, del 0,4 %.

No se detectaron restos de sulfuros, a pesar de la presencia de piritas.

Los ensayos con álcalis indicaban una falta de actividad de los áridos pero no de manera definitiva porque este ensayo no da resultados definitivos sino orientativos.

También se hicieron estudios de relaciones mineralógicas y evaluación de la reactividad superficial.

HORMIGÓN

Se caracterizó física y mecánicamente y se hicieron estudios químicos de la pasta:

La porosidad resultó algo alta (13 %), y en los ensayos mecánicos se obtuvieron datos algo mayores que los calculados en la construcción.

Se realizaron ensayos de deformaciones alternando ciclos de saturación – secado, obteniendo resultados normales.

Ensayos químicos a la fracción fina del hormigón, contenido de cemento, índice de sulfatos, y se intentó evaluar la presencia de CaO:

el contenido de cemento variaba entre 200 y 300 kg / m³,

la cantidad de sulfatos no era considerable,

el contenido de CaO no se pudo determinar

Se realizaron estudios con microscopio electrónico de barrido y análisis de la energía dispersiva con rayos X:

Se observó microfisuración y porosidad en la pasta del cemento y una alteración generalizada de los áridos.

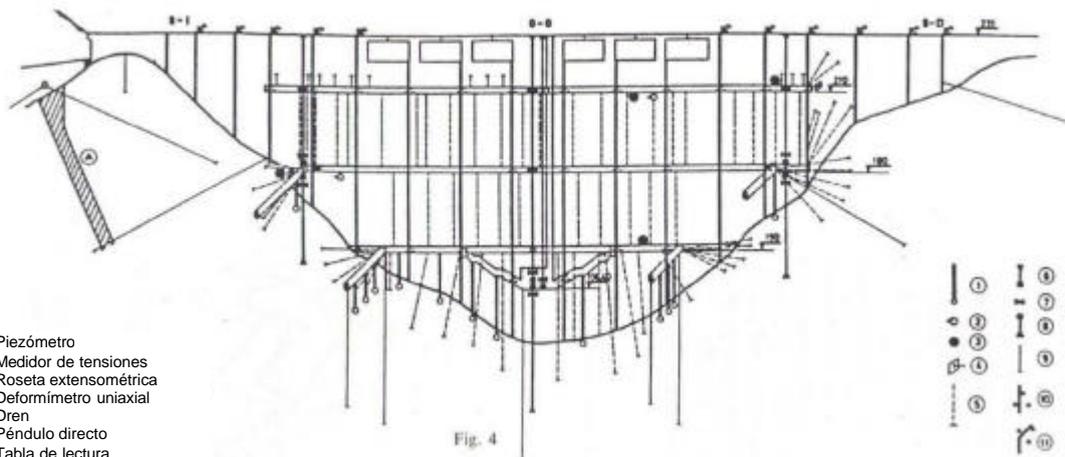
Conclusiones: según los datos obtenidos del análisis numérico, se confirmó que se trataba de una expansión y además de otros estudios se podía concluir que la reacción era la álcali – árido y que los áridos suponían también una fuente de álcalis.

MEDIDAS ADOPTADAS:

La impermeabilización de la parte superior de la presa se llevó a cabo en 1987 con el objetivo de detener o ralentizar la reacción expansiva. Sólo se realizó en esta parte porque es donde se manifestaban más claramente los signos de la reacción.

La impermeabilización del paramento se realizó después de haber sido decapado con chorro de arena y después de haber sellado las juntas de construcción con sistemas de epoxy flexible. El sellado se realizó aplicando capas de un material con una base de epoxy combinado con fibras de vidrio de un grosor de 5 mm. (mirar apartado 4.4.3 del capítulo 4).

FIGURAS:



- (1) Piezómetro
- (2) Medidor de tensiones
- (3) Roseta extensométrica
- (4) Deformímetro uniaxial
- (5) Dren
- (6) Péndulo directo
- (7) Tabla de lectura
- (8) Péndulo inverso
- (9) Extensómetro de varilla
- (10) Base de elongómetro (muro)
- (11) Base de elongómetro (suelo)

Alzado de la presa con la instrumentación instalada

REFERENCIAS: Gil Garcia y Cajete Baltar (1991)

PRESA: Santa Luzia (Portugal)

36

CARACTERÍSTICAS:

Tipo de presa	Bóveda
Año de finalización	1943
Año de aparición síntomas:	---
Altura	76 m
Tipo de árido:	Cuarzo, feldespatos...
Cemento:	---
Tipo de reacción:	Álcali - sílice

INSTRUMENTACIÓN:

SÍNTOMAS:

La detección se realizó mediante las medidas de los desplazamientos horizontales (en la cara aguas abajo) mediante métodos geodésicos y desplazamientos verticales con nivelación de precisión.

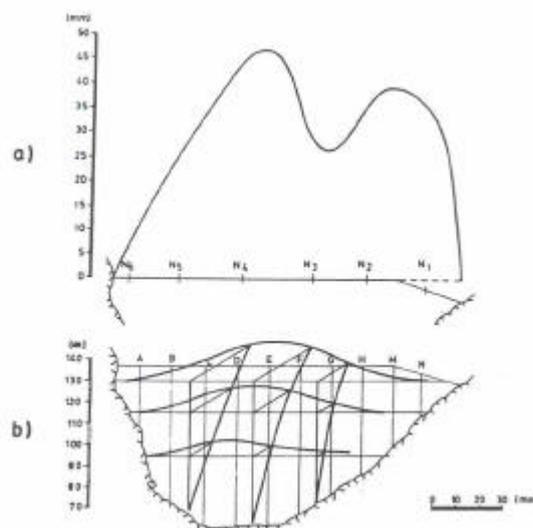
El desplazamiento vertical máximo, observado en la coronación, acumulado durante 40 años era de unos 50 mm (equivalente a expansiones medias de $16 \mu\text{€} / \text{año}$), mientras que los máximos desplazamientos horizontales de 30 mm. La forma del desplazamiento que se daba, en forma de M en los desplazamientos verticales es habitual en presas arco sujetas a procesos expansivos.

HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

En el momento de realizar el pretende realizar estudios que permitan conseguir los siguientes objetivos: mejor caracterización de la reacción álcali – sílice, cuantificación más precisa de la magnitud de las expansiones, su posible ortotropía y heterogeneidad, el comportamiento reológico del hormigón de la presa, efectos estructurales de la expansión

MEDIDAS ADOPTADAS:

En el momento de la elaboración del documento no había sido necesario llevar a cabo ninguna reparación. Lo que sí se hizo fue mejorar el sistema de auscultación y revisar las condiciones de seguridad hidráulica, operacional y medioambiental.

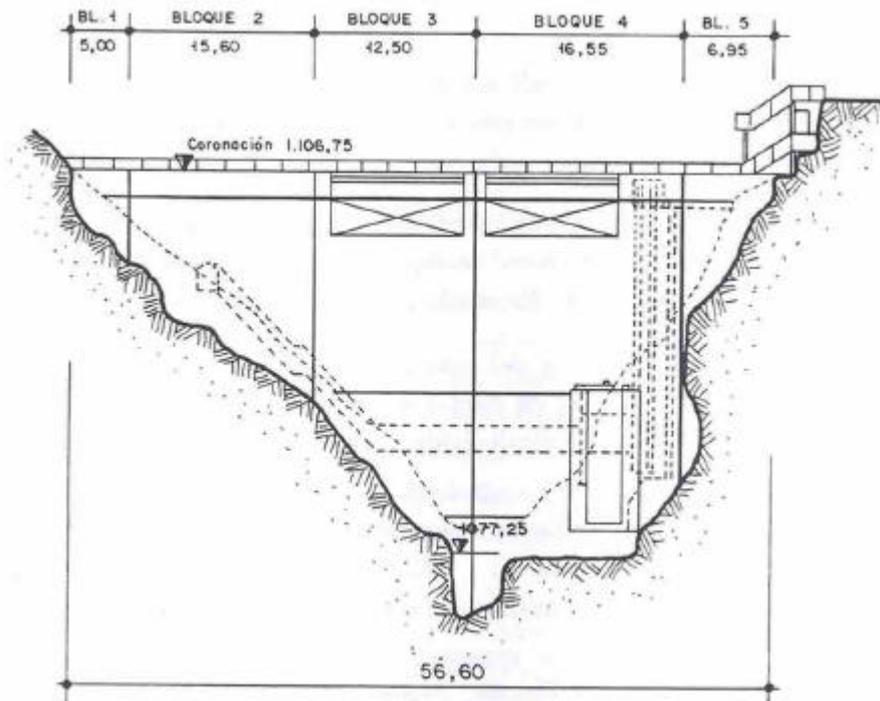
FIGURAS:

Desplazamientos verticales (a) y horizontales (b), acumulados durante 40 años.

REFERENCIAS: Mora Ramos et al. (1995)

PRESA: Stompdrift (Sudáfrica)		37
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1965
	Año de aparición síntomas:	1957
	Tipo de presa:	Arco múltiple
	Altura:	49 m
	Tipo de árido:	Grueso: depósitos aluviales de cuarcita y arenisca Fino: cuarcita machacada y arena natural
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN: Topografía, péndulos, apertura de juntas y micrómetros deslizantes		
SÍNTOMAS: Fisuras horizontales a lo largo de las juntas de construcción y fisuras en malla en los contrafuertes.		
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
Se extrajeron testigos	Se identificó la ASR. Resistencia a compresión, 38,3 MPa; a flexión, 5,3; módulo de elasticidad, 34,1 GPa. Se observa que la reacción no ha afectado a la resistencia del hormigón.	
Conclusiones: Se trata de ASR. Las fisuras horizontales del paramento aguas debajo de la sección de gravedad se deben a la expansión diferencial del hormigón del interior y el más seco del paramento aguas abajo.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
Inyección las juntas de contracción entre el tercer arco y la sección de gravedad del estribo derecho.		
REFERENCIAS: Van den Berg y Seddon (1991)		

PRESA: Tavascàn (España)		38
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1962-65
	Año de aparición síntomas:	1981
	Tipo de presa:	Gravedad
	Altura:	31 m
	Tipo de árido:	Esquisto metamórfico.
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Oxidación de ácidos sulfurosos
INSTRUMENTACIÓN:	5 testigos de nivelación en total	
	5 testigos de alineación	
	2 medidores de apertura de juntas	
	1 punto de aforo de filtraciones.	
SÍNTOMAS:	En 1981 dentro de una campaña para mejorar la monitorización, se detectó que se daban movimientos hacia aguas arriba no recuperables.	
	También, se detectaron al mismo tiempo algunas fisuras superficiales arborescentes, con cambios superficiales de colorido (ocre)	
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
La principal hipótesis es que se hubiera dado una expansión interna en el hormigón:		
Se colocaron extensómetros, se realizaron pulsos ultrasónicos y se analizó con el microscopio para ver la profundidad y la amplitud de las fisuras y se vio que la profundidad era de alrededor de 30 cm.		
En el laboratorio se realizaron ensayos mecánicos, de permeabilidad, difractogramas, ataque directo con solución alcalina para determinar la resistencia a compresión, a tracción, el módulo de elasticidad.		
En la cimentación fotomicrografía para un análisis petrográfico y mineralógico, Con los áridos se estudió la reactividad potencial, análisis químico y difractograma.		
Mediante simulación numérica se estudiaron las cargas hidrostáticas, térmicas y las tensiones aplicadas. Se realizaron hipótesis del desarrollo de los movimientos en el futuro.		
Conclusiones: El comportamiento anormal de la presa se debía a los componentes inestables de los áridos: sulfuros de hierro y pirrotina. Estas reacciones tenían dos fases, en la primera la pirrotina se oxidaba provocando un ataque ácido al resto de los componentes ácidos y la formación de un importante volumen de sulfuro de hierro. En una segunda fase, se daba un ataque a la pasta en el contacto con el árido con la formación de un aureola que degrada este contacto, en el que se formaba etringita Hay factores que aceleraban la reacción como los ciclos secado-mojado, radiación solar incidente, permeabilidad, temperatura... que tenían lugar con mayor intensidad en la cara aguas abajo lo que explicaba el movimiento hacia aguas arriba.		
MEDIDAS ADOPTADAS:		
No se tomó ninguna medida especial, ya que se interpretó que la reacción tendía a estabilizarse, como así está sucediendo en la actualidad siguiendo los movimientos el comportamiento previsto por los estudios numéricos.		

FIGURAS::

ALZADO DE LA PRESA

REFERENCIAS: Martínez Roig et al. (1991)

PRESA: Temiscouata (Canadá)		39
CARACTERÍSTICAS:	Tipo de presa	Materiales sueltos con aliviadero de hormigón
	Año de finalización	1933
	Año de aparición síntomas:	1960
	Altura	
	Tipo de árido:	Sedimentario: pelitas, grauwacas, areniscas ricas en cuarzo
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN: ----		
SÍNTOMAS:	<p>Todos los tipos de áridos mostraban reactividad resultando una lenta expansión del hormigón seguida de una microfisuración poligonal. Las fisuras eran más extensas en las partes emergidas, como en las partes superiores de las pilas y en la plataforma. También estaba afectado el paramento aguas abajo, pero menos.</p> <p>En los sesenta, la expansión del hormigón provocó que las pilas se movieran en la dirección de la presa de tierras, dejando el extremo derecho de la estructura descansando contra la roca. El desplazamiento total era de 225 mm.</p>	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
<p>Para solucionar el tema del desplazamiento, se crearon juntas selladas con dos capas de asfalto instaladas cada dos pilas, muchas de las cuales se han cerrado ya parcialmente provocando la extrusión del material bituminoso.</p> <p>A finales de los setenta y principios de los ochenta, se repuso el hormigón de la pila y de la plataforma, pero pronto se observó de nuevo microfisuración.</p> <p>Se decidió la reconstrucción de la instalación en 1993 después de una inspección, para el nuevo hormigón se prevé realizar numerosos ensayos para prevenir la AAR.</p>		
REFERENCIAS: Durand (1991)		

PRESA: Torán (España)

40

CARACTERÍSTICAS:

Año de finalización	1964
Año de aparición síntomas:	---
Tipo de presa:	Gravedad
Altura:	35 m
Tipo de árido:	Esquisto metamórfico
Cemento:	---
Tipo de reacción:	Oxidación de áridos sulfurosos / AAR

INSTRUMENTACIÓN:

Mediciones topográficas

SÍNTOMAS:

Fisuración en mapa
Movimientos hacia aguas arriba

HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:

El Instituto Torroja realizó unos estudios en la presa en los que se determinó que se trataba de la reacción álcali – sílice.

En la actualidad se está llevando a cabo un estudio acerca de la posibilidad de que se trate de una reacción de oxidación de áridos sulfurosos.

MEDIDAS ADOPTADAS:

Se han llevado a cabo numerosas medidas, como impermeabilización del paramento aguas arriba e inyecciones y se han sellado las fisuras en el paramento aguas abajo, sin embargo aún está por determinar la causa de la expansión.

PRESA: Val de la Mare (Reino Unido)		41
CARACTERÍSTICAS:	Año de finalización	1957-62
	Año de aparición síntomas:	1971
	Tipo de presa:	Gravedad
	Altura:	30 m
	Tipo de árido:	Calcedonia, ópalo
	Cemento:	---
	Tipo de reacción:	Álcali - sílice
INSTRUMENTACIÓN: Se desconoce		
SÍNTOMAS:		
<p>En 1971 se observó que el pretil del puente no estaba alineado, cuatro bloques se habían desplazado hacia aguas arriba en relación con los adyacentes, siendo el desplazamiento máximo de 1 cm.</p> <p>Se inspeccionó el paramento aguas abajo y se vieron manchas de color oscuro en la superficie de los bloques movidos y en algunas tongadas de los mismos se observaba una red aleatoria de fisuras en el hormigón.</p>		
HIPÓTESIS Y ESTUDIOS REALIZADOS:		
<ul style="list-style-type: none"> · En primer lugar se pensó en la percolación de agua y la acción del hielo · También se pensó en el ataque por sulfatos · Por último, se pensó en la AAR. 		
Toma de muestras y ensayos de laboratorio	<p>Se confirmó la AAR</p> <p>Se observó que se habían usado materiales opalinos nocivos</p> <p>El contenido en álcalis era del 0,74 % en una muestra y 0,95 % en la otra.</p>	
Entre 1972 y 1983 se realizaron cinco campañas de medida de velocidad sónica	<p>Sólo se observó una pequeña degradación de los hormigones en los que se habían observado los peores efectos.</p>	
MEDIDAS ADOPTADAS:		
<p>En 1974 se realizaron trabajos de reparación en los bloques donde se habían medido presiones intersticiales susceptibles de comprometer el margen de seguridad teórica.</p> <p>Posteriormente, se postesó el bloque 3 mediante tres tirantes de alta resistencia de 40 mm de diámetro.</p> <p>En 1982, se descargaron parcialmente los anclajes.</p> <p>Se continúan haciendo inspecciones visuales, lecturas de instrumentos y ensayos periódicos de velocidad sónica.</p>		
REFERENCIAS: Martínez Roig et al. (1991)		

FIGURAS:

Vista de la presa desde un lateral

REFERENCIAS: Boletín 79 ICOLD (1991)