

Q-67: Novedades en presas y ataguías de materiales sueltos

Por JOSE POLIMON LOPEZ

Ingeniero de Caminos.

Vocal del Comité Español de Grandes Presas.

1. INFORME DEL RELATOR GENERAL

En opinión del Relator General, W. Schober, de Austria, la Cuestión 67 titulado "Novedades en Presas y Ataguías de materiales sueltos" tiene un planteamiento tan amplio que no permite ver, en principio, el alcance de los problemas que debería tratar.

Dentro de esta Cuestión, hay cuatro subtemas, muy diferentes entre ellos, que se han seleccionado como "novedades a considerar". Son los siguientes:

- a) Materiales de calidad mediocre.
- b) Materiales artificiales para refuerzo y drenaje, con excepción de los dispositivos de estanqueidad.
- c) Vertido sobre la presa y circulación del agua a través del cuerpo de presa.
- d) Presas en valles estrechos.

La petición, previa al Congreso, de que se informara de las "novedades" relacionadas con estos cuatro subtemas ha sido, al parecer, la causa de que el número de comunicaciones recibidas sea el menor de las suscitadas por una Cuestión en la historia de estos Congresos. El total de 32 comunicaciones ("Reports") se ha dividido en:

- a) Materiales mediocres (10 comunicaciones).
Grano fino: R1, R2, R8, R10, R16, R18, R26.
Grano grueso: R4, R16, R26.
Cantera: R15, R16, R26, R27.
- b) Materiales artificiales (2 comunicaciones).
Geotextiles: R3.
Acero: R13.
- c) Vertido sobre presa y circulación a través del cuerpo de presa (14 comunicaciones).
Vertido: R7, R12, R14, R19, R24, R25, R28, R29, R31, R32.
Vertido y circulación: R7, R11, R14, R20, R28.

Circulación a través del cuerpo de presa: R6, R30.

- d) Presas en valles estrechos (3 comunicaciones).
Comportamiento en carga: R1, R9.
Construcción: R21.
- e) Otras novedades (3 comunicaciones).
R17, R22, R23.

Para cada uno de los cuatro subtemas, se ha preparado primero un cuadro con las características principales de las presas mencionadas en los "reports", a continuación se han recogido los comentarios generales del Relator General y por último se ha realizado un breve resumen de los artículos siguiendo su número de orden.

a) MATERIALES MEDIOCRES

Se han presentado 10 comunicaciones relacionadas con las presas, reseñadas en el cuadro 1.

Para poder realizar una presa de materiales sueltos en condiciones económicamente aceptables, es necesario disponer, en las proximidades del sitio, de materiales adecuados para la construcción del relleno. Este problema fundamental condiciona tanto la elección del tipo de presa como los métodos constructivos empleados. Además toda presa debe cumplir tres misiones principales que son: estanqueidad, protección contra la erosión y drenaje, y soporte. Y esto no sólo en el cuerpo de presa sino también en lo que se refiere a la cimentación tanto en roca como en los materiales aluviales que no hayan sido excavados. La combinación óptima de estas tres funciones con la topografía del sitio y la mencionada disponibilidad de materiales constituye un proceso complejo cuyo objetivo es siempre conseguir la solución más económica que cumpla con las exigencias de seguridad. La evaluación de los materiales debe hacerse teniendo en cuenta este objetivo, para ello la experiencia de los ingenieros es-

CUADRO 1

Nombre	Año de terminación	País	H (m)	Talud H/V	Report
AUBE	1967	Francia	22,5	1:3/3	2
BARBATE	E.C.	España	28	1:4	8
BLUFI	E.C.	Italia	73	1:225/2	18
CASTAGANARA	E.C.	Italia	100	1:2,5-3,5/1,9	10
FEISTRITZBACH	1990	Austria	85,5	1:1,5-1,55/1,4	27
KLIMLOWKA	E.C.	Polonia	38,5	1:2,2/2,2	4
LAVAUD	1988	Francia	60	1:2,5-3	2
MIRGENBACH	—	Francia	22	1:3,5/2,5	2
MENDELY	—	Francia	24	1:3/2,52	2
MONTBEL	1988	Francia	36	1:4/3,5	2
MRICA	1988	Indonesia	110	1:1,8/1,6	1
SLEZSKA HARTA	E.C.	Checoslovaquia	64,8	1:2/1,8	16
SOSNOWKA	E.C.	Polonia	18,4	1:2,5/2	4
VALENCE D'ALBI	1988	Francia	15	1:3/2,5	2
ZLUTICE	1968	Checoslovaquia	28	1:2/1,7-2	15

pecialistas suele ser de gran ayuda o incluso decisiva en determinados casos.

En lo que se refiere a la "calidad" de un material, esta se puede definir como su aptitud para formar parte del cuerpo de presa o para servir como cimentación. Esta aptitud es función del tipo de presa que se vaya a construir, puesto que un mismo material puede ser adecuado para un tipo de presa e inadmisibles para otro. Por otra parte, el estudio del material de cantera, en cuanto a calidad, debe hacerse sobre el producto de la voladura. La calidad de los materiales puede clasificarse en las tres categorías siguientes:

Materiales de buena calidad: son aquellos que pueden ponerse en obra con su composición natural (o directamente después de la voladura en los materiales de cantera) o formar parte de la cimentación en su estado natural.

Materiales mediocres: son aquellos que necesitan un tratamiento previo para su puesta en obra o para poder cimentar sobre ellos.

Para obtener resultados aceptables al poner en obra estos materiales se pueden aplicar las siguientes medidas:

- Variación de granulometría (por cribado, decantación o mezcla).

- Variación de la humedad (adición de agua o secado).
- Fragmentación (machaqueo).
- Precauciones durante la puesta en obra (colocación bajo el agua, calentamiento, etc.).

En el caso de los materiales mediocres que vayan a permanecer en la cimentación las medidas podrían ser:

- Inyecciones de consolidación, pilotaje, compactación por vibración, empleo de explosivos.
- Estabilización por precarga (con o sin drenes verticales).
- Impermeabilización mediante inyecciones.

Materiales inaceptables: son aquellos que no pueden utilizarse ni siquiera con un tratamiento.

La escasa respuesta que ha tenido este tema puede deberse, según apunta el Relator General, a que cuando haya que considerar materiales mediocres durante el proyecto o la construcción, los proyectistas prefieren adoptar soluciones ya conocidas y ensayadas antes que las "últimas novedades". Incluso las comunicaciones que se han presentado no recogen realmente novedades sino que simplemente confirman o complementan ideas y técnicas ya conocidas con casos interesantes.

En el resumen de las comunicaciones que sigue se ha considerado:

- materiales de grano fino: la fracción inferior a $\varnothing 0,06$ mm. representa más del 40%
- materiales bien graduados: la fracción citada oscila entre el 5% y el 40%
- materiales de grano grueso en los que esta fracción es inferior al 5%

1. Presa de MRICA (H = 110 m. Indonesia. R-1).

El material empleado en el núcleo central de esta presa de escollera es un material muy fino de origen volcánico ("halloysitas") que no se presta al control mediante ensayo Proctor. La puesta en obra se hace por tongadas de 30 cm. que se compactan con rodillos vibratorios de 10 t. y humedad $W = 50-65\%$ (valor superior en un 12% al de la humedad Proctor). Los importantes asentamientos del núcleo provocaron una transferencia de las cargas del núcleo hacia los espaldones con el consiguiente riesgo de fractura hidráulica. También hace referencia a las medidas de drenaje adoptadas durante la construcción debido a las difíciles condiciones climáticas en las excavaciones en arcillas volcánicas (lluvias de 3.500 mm. desde noviembre hasta abril).

2. Presas de AUBE (H = 22 m.), LAVAUD (H = 20 m.), MIRGENBACH (H = 22 m.), MONDELY (H = 24 m.) y MONTBEL (H = 36 m.). Francia. R-2)

Se trata de seis presas construidas con materiales de grano fino (arcillosos) cuya puesta en obra es complicada y requiere medidas especiales. Su impacto económico se suele subestimar tanto en el proyecto como en las ofertas de los constructores. Cuando el contenido en humedad es bajo, el suelo no debe estar demasiado compacto para evitar contenidos de humedad desiguales.

Cuando la humedad natural es superior a la óptima Proctor, el material pierde su aptitud para ser compactado y puede ser necesario interrumpir la obra hasta conseguir el secado de los materiales. La comunicación plantea distintas soluciones en cada caso para: material seco y de consistencia alta (Montbel, Valence d'Albi y Lavaud) arcillas demasiado húmedas (Mirgenbach, Mondely y Aube). Todas ellas

provocan el empleo de medios suplementarios con los consiguientes costes comparado con las obras que utilizan materiales cuya puesta en obra no depende del clima. En cualquier caso, el control y vigilancia de la obra es de vital importancia.

3. Presa de KLIMKOWKA (H = 38,5 m. Polonia. R.4). Presa de SOSNOWKA (H = 18,4 m. Polonia. R.4)

Estas presas están construidas con un material bien graduado (grano medio) en el que la fracción inferior a 0,06 mm. (grano fino) está comprendida entre el 6 y el 16%. Al utilizar gravas arcillosas en estas dos presas en condiciones climáticas difíciles, no se respetaron las condiciones de humedad óptimas lo que provocó dificultades en la compactación, asentamientos mayores de los previstos y una disminución de la resistencia a cortante. Se realizaron ensayos triaxiales que mostraron que las gravas arcillosas compactadas del lado húmedo, a pesar de su buena granulometría, provocaban el desarrollo de presiones intersticiales y una deformabilidad mayor. Para mejorar la estabilidad de la obra se cambiaron los sistemas constructivos introduciendo capas de drenaje adicionales.

4. Presa de BARBATE (H = 28 m. España. R-8)

En esta comunicación se expone un método especial desarrollado para la construcción la presa de Barbate, basado en el ensayo MCV (Moisture Condition Value) que permite evaluar de forma rápida un material de grano fino y que se puso a punto en terraplenes experimentales.

La presa es de tierras zonificada y se diseñó para ser construida en dos fases utilizando materiales aluviales heterogéneos que existían en el sitio de la presa. Entre las dos fases se dejaba un plazo para permitir la consolidación del cimientto. Este último está constituido por una capa aluvial de grano fino de 18 m. de espesor en la que se desarrollaron presiones intersticiales después de la primera fase. Esto hizo necesario retrasar el comienzo de la segunda fase para alcanzar una consolidación del 50% en la cimentación. La comunicación indica las características de hinchamiento de los suelos, así como el comportamiento de la presa durante la construcción de la primera fase.

Esta ha sido la única aportación española a la Q-67, sus autores son: José Luis Ramírez Vacas, Antonio Soriano Peña y C. H. Serrano Pettersonn. Dentro de este número; los lectores encontrarán un artículo de A. Soriano sobre esta misma presa, cuya construcción está llevando a cabo la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

5. Presa de CASTAGNARA (H = 100 m. Italia. R-10)

El núcleo central de esta presa (con espaldones de escollera), actualmente en construcción, es de material fino muy heterogéneo, procedente de granitos alterados. A pesar de que el clima es favorable, ha habido que descartar el secado por evaporación y recurrir a un horno rotatorio que trata entre 120 y 150 t/hora. Para disminuir la permeabilidad del material, ha sido necesario añadir hasta un 3%, de bentonita reduciendo la permeabilidad a un décimo de la natural. Esta bentonita en la coronación del núcleo ayuda al buen comportamiento de la presa frente a los sismos (la zona es de alto riesgo) según se ha podido comprobar mediante un modelo físico y cálculos dinámicos.

6. Presa de ZLUTICE (H = 28 m. Checoslovaquia. R-15)

La presa de Zlutice es de núcleo inclinado con espaldones de "todo uno" de cantera. Como los materiales de mejor calidad, que se encontraban a 3,5 Km., planteaban problemas de transporte y la cantera habría tenido un impacto ambiental negativo sobre la ciudad próxima, se optó por utilizar gneis y micaesquistos alterados que se encontraban a tan sólo 100 m. Estos bloques, de tamaño máximo 50 cm., se extendían en tongadas de 80 cm. y se compactaron con 10 pasadas de rodillos vibratorios de 8 t. Esto dio lugar a una fragmentación excesiva, no obstante lo cual el comportamiento de la presa ha sido bueno y el asiento, en 22 años de explotación, ha sido sólo de 11 cm.

7. Presa de ZLEZSKA-HARTA (H = 65 m. Checoslovaquia. R-16)

Para la construcción sólo se disponía de materiales de mala calidad para cualquiera de las zonas de la presa. El material en placas, con un alto con-

tenido de grava y gres arcilloso que se usa para el núcleo es de difícil compactación: el aire tarda en salir, lo que obliga a repetir las pasadas a los 30-60 minutos. Los filtros, que se obtienen por dragado, se acopian y drenan hasta llegar a un 9% de humedad. Los espaldones son de basalto con zonas alteradas. La proporción admisible de material alterado se ha fijado en un 15%, lo que se controla por coloración con azul de metileno y eosina. El detectoro continúa dentro del relleno por lo que se esperan asientos importantes a largo plazo.

8. Presa de BLUFI (H = 73 m. Italia. R-18)

Las arcillas tectonizadas están compuestas por fragmentos de arcilla dura y se caracterizan por un contenido de humedad del 10-20%. Aunque generalmente se consideran como materiales mediocres, se han utilizado ya en dos presas en Sicilia y está previsto utilizarlas en esta presa que se encuentra en construcción. El núcleo de la presa se hará con arcillas tectonizadas disponibles en la zona (constituyen también el terreno de cimentación) que se compactan bien con su humedad natural. La permeabilidad del material compactado varía entre 10^{-7} y 10^{-9} cm/s dependiendo de la presión efectiva que se aplique. La comunicación relata los ensayos realizados "in situ" (relleno experimental) y en laboratorio, también expone los criterios de diseño.

9. Informe del Comité Suizo. R-26

En esta comunicación se exponen los criterios de concepción y diseño que se deben adoptar en las presas realizadas con materiales mediocres cuando se encuentran en zonas sísmicas. El material para el núcleo debe ser de grano fino y no ser propenso a la licuefacción. Los filtros deben estar bien graduados ($d_{max} > 100 \times d_{10}$), y, si fuese necesario, corregir la granulometría artificialmente (puesto que los materiales mediocres suelen tener una distribución monogranular o un diámetro máximo pequeño). La comunicación expone recomendaciones en cuanto a la compactación óptima, el uso de zonas amplias de filtro y la reducción de la inclinación de los taludes en la zona de coronación donde las cargas dinámicas son mayores. Por otra parte, se desaconseja el diseño de núcleos inclinados así como las pantallas de hormigón o asfálticas.

10. Presa de FEISTRITZBACH
(H = 85 m. Austria. R-27)

Esta presa tiene un núcleo de hormigón asfáltico. Los espaldones están constituidos por un "todo uno" de cantera de gneis en los que se produjo una importante fragmentación al compactarlos con rodillos vibratorios pesados. Los ensayos de compactación demostraron que lo mejor era $d_{max} = 400$ mm. y tongadas de 60 cm., asimismo se estableció una rigidez de 67 MN/m^2 y una resistencia a cortante $c' = 50 \text{ KN/m}^2$ y $\phi = 34^\circ$. La intensa auscultación realizada durante la construcción de la presa ha demostrado que la compactación de la escollera transmitía una compactación suplementaria al núcleo más rígido, lo que resulta favorable.

b) MATERIALES ARTIFICIALES

Solamente se han presentado 2 comunicaciones, una de ellas hace referencia a la siguiente presa:

Nombre	Año de terminación	País	H (m)	Talud H:V	Report
SIRIU	E.C.	Rumanía	122		13

La otra comunicación no se refiere a ninguna presa en concreto.

Cuando se habla de "materiales artificiales", se trata de materiales como el hormigón, el hormigón alfétrico, el hormigón de arcilla, los geotextiles o el acero. Pero como el título de este tema precisaba que quedan excluidos los dispositivos de estanqueidad, sólo se podría hacer referencia a los dos últimos en principio y a determinados usos del hormigón, según veremos más adelante.

Tanto los geotextiles y geomallas como el acero se emplean en los refuerzos en presas. Los geotextiles se utilizan además como elemento de separación entre los distintos materiales, como filtros y para el drenaje. En las últimas décadas, se ha progresado notablemente en su conocimiento y se dispone de documentación fiable, en especial para el cálculo de los efectos de filtración y drenaje (ver Boletín número 55 del ICOLD). Además como el geotextil queda embebido dentro del cuerpo de presa, su vida útil puede ser bastante larga y constituye

una solución técnicamente buena en el caso de las presas.

Los elementos metálicos (anclajes, mallas) se utilizan principalmente para estabilizar el material de cantera protegiéndolo frente al vertido sobre coronación o del paso del agua a través del cuerpo de presa (ver tema c). Para utilizarlo en estructuras permanentes, habría que resolver el problema de su protección contra la corrosión sin perder de vista el componente económico. También puede ser efectiva, para la protección del talud de aguas abajo, la solución de gabiones con o sin anclaje.

En algunos casos, se emplea el hormigón con vistas al refuerzo de presas. Sin ir más lejos, las mallas y anclajes necesitan siempre una base de hormigón en los estribos y la cimentación. También se utiliza para construir canales de descarga sobre el paramento de aguas abajo y se ha empleado hormigón en Estados Unidos para proteger contra la erosión al paramento de aguas arriba en las presas con núcleo.

Aparte de estos materiales más conocidos, en los últimos años se ha desarrollado la técnica de la antigua tierra armada, y se está adoptando como solución en la construcción de presas.

Los materiales artificiales se están empleando cada vez más en el campo de las presas aunque tiene fama de ser conservador. Sin embargo, tan sólo se han presentado dos comunicaciones, lo que el Relator General atribuye a que la aplicación más extendida de los materiales artificiales es su uso en los elementos de estanqueidad.

1. Eficacia de los drenes prefabricados en forma de banda en la cimentación de presas de materiales sueltos (Polonia. R-3)

La comunicación recoge los resultados obtenidos en Polonia en ensayos realizados en dos zonas distintas durante 5 y 6 años respectivamente. Los drenes en forma de banda están reemplazando a los antiguos drenes verticales de arena debido a su fácil puesta en obra. Estos drenes consisten generalmente en un núcleo de material plástico rodeado por una envoltura sintética (geotextil). El estudio comprendió tanto ensayos en laboratorio como "in situ". Los resultados muestran que los drenes prefabricados mejoran la estabilidad de los rellenos contruidos por etapas y cimentados sobre suelos

orgánicos. El medio orgánico reduce la capacidad de drenaje de estos materiales especialmente si se emplea un filtro de papel (el material llega a descomponerse en un año), en cambio si se utiliza un filtro de poliéster éste conserva su estado. La eficacia de estos drenes parece bastante satisfactoria puesto que la reducción de la capacidad de descarga no influye prácticamente sobre el proceso de consolidación siempre que se utilicen drenes de capacidad superior a 100 m³/año.

2. Presa de SIRIU (H = 122 m. Rumanía. R-13)

La comunicación presenta la utilización de la tierra armada para la construcción de una presa en dos grupos de obras: por un lado las instalaciones auxiliares y por otro los cuerpos de ataguía y las presas fusible. En el primer grupo se encuentran los muros de sostenimiento, las plataformas para instalación de torres o molinos, rampas de acceso, etc. En el segundo, con mayor influencia hidráulica, están las ataguías, las presas fusible o incluso los laterales del cuenco amortiguador. El sistema ofrece por lo tanto una gran versatilidad. Aunque se recoge el fallo (sin consecuencias importantes) de una rampa de 25,50 m. (una de las más altas construidas en tierra armada), presenta también el caso de una ataguía fusible diseñada para romperse con una carga de 9,40 m. que se rompió efectivamente con una carga de 9,60 m.

c) VERTIDO SOBRE LA PRESA Y CIRCULACION DE AGUA A TRAVES DEL CUERPO DE PRESA

Este subtema ha sido el que ha tenido mayor respuesta dentro de la cuestión Q-67. En general, las comunicaciones recogen aspectos de diseño y tan sólo cuatro de ellas hacen referencia a presas concretas que son las siguientes:

Este calificativo se utiliza para describir todas las presas de materiales sueltos en las que se alivian los caudales de avenida total o parcialmente, bien por encima de la coronación, bien por encima y a través de la presa o simplemente a través del cuerpo de presa. En dos de las comunicaciones se ha tratado de las filtraciones en el cuerpo de presa lo que es aplicable a todos los tipos de presas, pero se separa de hecho de este tema. Lo mismo sucede con los canales de descarga impermeables, rugosos o no, situados sobre el talud aguas abajo que se alejan del tema a considerar, aunque permiten integrar el aliviadero dentro del cuerpo de presa y su fallo produciría también el de toda la presa. Una alternativa a estos canales de hormigón podría ser los revestimientos resistentes a la erosión sobre un relleño poco permeable. La solución de incorporar el aliviadero al cuerpo de presa de las presas de materiales sueltos es una solución económica, sobre todo durante la construcción de la presa, mientras que el volumen embalsado no sea demasiado importante. Ultimamente, también se contempla la solución como método para ampliar la capacidad de las presas existentes.

Las técnicas de vertido sobre y a través del cuerpo de presa se iniciaron hace más de 70 años. El fallo de algunas de las presas con combinación de vertido y flujo a través durante la fase de construcción ha permitido adquirir mayores conocimientos y ha estimulado la investigación, como en el caso de la Presa de Hell Holl en Estados Unidos que no se derrumbó hasta que el caudal vertido fue de 680 m³/s (4 m³/s/m) y que tenía un talud aguas abajo de 1:1,34.

El único material adecuado para los casos de flujo a través de la presa es el material de cantera. Los puntos más vulnerables son las zonas de contacto de los taludes con la cimentación, así como la aris-

<i>Nombre</i>	<i>Año de terminación</i>	<i>País</i>	<i>H (m)</i>	<i>Talud H:V</i>	<i>Report</i>
BASS LAKE	1936	E. Unidos	12,5	1:3,3/1,8	25
CHAMBOUX	1983	Francia	19,5	1:3/2,5	19
ITA	E.C.	Brasil	125	1:1,3/1,2	11
KHASAB		Oman	28	1:2/4	12
LEBNA		Túnez	15,4	1:2,5-3/2,5-4,5	19
MEEKS CABIN	1972	E. Unidos	46	1:2,25	19

ta vertiente del lado de aguas abajo en caso de vertido sobre la presa. De cualquier forma, el comportamiento de estas presas depende en gran medida de su calidad de ejecución.

Según T.M. Leps (1), los aspectos de diseño a considerar en los casos de flujo a través del cuerpo de presa son:

- 1) Secuencia de sucesos con mayor probabilidad de provocar el fallo.
- 2) Disposición, en tres dimensiones, del pedraplén, y su cimentación y estribos.
- 3) Características resistentes de la escollera y su cimentación.
- 4) Peso específico de la escollera y de los bloques.
- 5) Presión intersticial debida al flujo.
- 6) Métodos analíticos utilizados en el estudio de estabilidad.

Cuando se emplea escollera, el vertido sobre la presa va siempre acompañado de flujo a través del cuerpo de presa. El documento preliminar del ICOLD "Escollera armada" (1990) indica que la descarga crítica se alcanza tan sólo con $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m.}$, siempre que se refuerce adecuadamente el paramento de aguas abajo. Si no hay flujo a través del cuerpo de presa, sólo es admisible una parte de este caudal dependiendo del tamaño de los bloques y del talud.

Los casos tratados dentro de este subtema se emplean habitualmente para ataguías y presas de pequeña altura (aunque los caudales pueden ser elevados) como lo confirman las comunicaciones presentadas que se refieren a presas de hasta 30 m. en su mayoría. A continuación se recoge un breve resumen de las comunicaciones.

1. Efecto de las bandas drenantes en presas de tierra (Alemania, R-6)

La comunicación trata de las filtraciones en las presas de tierra y el uso de bandas drenantes frente a drenes convencionales. Las bandas se disponen normales al eje del terraplén. Con ello se rebaja la línea de saturación aunque aumentan los caudales de filtración. La comunicación incluye diagramas, líneas de influencia en función de la longitud, ancho y separación de los drenes.

2. Vertido sobre presas de escollera: soluciones habituales e inhabituales (Francia. R-7)

La comunicación recoge una panorámica de los posibles métodos para el vertido o flujo a través de la presa, haciendo hincapié en el aspecto económico e independientemente del tipo de elemento impermeabilizante. De las cinco soluciones analizadas, sólo dos aparecen como rentables. Una de ellas consiste en una pantalla o un núcleo inclinado aguas arriba y un paramento de aguas abajo en forma de muro vertiente (sólo es aplicable a pequeños caudales unitarios). El hormigón compactado que puede formar parte de esta solución es el que caracteriza la otra solución donde el paramento inclinado de aguas abajo se protege mediante éste y se deja escalonado permitiendo además una disipación de energía.

3. Presa de ITA (H = 125 m. Brasil. R-11)

El río Uruguay, sobre el que se sitúa esta presa en construcción, presenta importantes crecidas en la época de lluvias con un tiempo de concentración corto. Para aumentar la seguridad de la obra sin un coste excesivo, se han protegido con mallas y anclajes los taludes de aguas abajo tanto en las ataguías como en el cuerpo de presa. Además se retrasó la puesta en funcionamiento del desvío hasta después de la época de lluvias.

4. Presas de KHASAB (H = 9, 5, 12 y 28. Oman. R-12)

Para poder proteger la ciudad de Musandan contra las crecidas, ha sido necesario construir tres presas de laminación puesto que esta ciudad de nueva construcción se encuentra en el cauce del río (Wadi) Khasab de 1 km. de ancho con el que confluyen, aguas arriba, los oued Mawa y Shariyah. Cada presa tiene una longitud en torno a los 800 m. La evacuación se realiza por vertido sobre coronación con caudales unitarios de 0,86, 1,17 y 5,1 $\text{m}^3/\text{s}/\text{m.}$, respectivamente.

El talud de aguas abajo es 1:4 y está protegido con escollera armada. La comunicación expone los ensayos, a escala 1:50, que se realizaron para estudiar la resistencia a la erosión de los taludes y la erosión aguas abajo.

5. Caudal de filtración a través de las presas de escollera (Portugal, R-14)

Esta comunicación presenta una panorámica de las soluciones con flujo a través y sobre el cuerpo de presa. Recomienda realizar un diseño conservador debido a la poca experiencia disponible y a que es difícil controlar la heterogeneidad del material. Incluye cálculos para el flujo turbulento y la transición de régimen turbulento a laminar.

6. Presa de LEBNA (H = 15 m.) y Presas de CHAMBOUX Y MEEKS CABIN (H = 19 y 46 m. Francia y E. Unidos) (Túnez. R-19)

Esta comunicación expone las consideraciones realizadas para el diseño de la presa de Lebna para el que se analizaron también otros proyectos que los autores consideran más arriesgados. El aliviadero está constituido por un canal de hormigón, construido sobre la escollera, con un caudal unitario de $12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. La comunicación hace referencia especial al estudio de los asientos diferenciales dentro del diseño del aliviadero.

7. Flujo a través de la presa y problemas de estabilidad en las presas de escollera expuestas a cargas excepcionales (Noruega, R-20)

La comunicación expone la Normativa Noruega para la construcción de presas con núcleo de materiales de morrena. Esta normativa impone el cálculo con la avenida de 1.000 años con un resguardo de 0,5 m., mientras que para la avenida máxima probable se admite el vertido sobre el núcleo. La comunicación indica las relaciones que permiten determinar los caudales circulantes en distintas situaciones del nivel de agua por encima del núcleo (regímenes laminar, turbulento y de transición), así como un método para el cálculo de la estabilidad en el pie de aguas abajo.

8. Diseño y manejo del aliviadero de ataguías (Estados Unidos, R-24)

Como las ataguías que aíslan las grandes obras dentro de un río no se pueden diseñar para las avenidas máximas, la obra debe inundarse cuando estas ocurran. En el proyecto de la Presa y esclusas de

Melvin Price, que se terminará en 1993, se han dispuesto recintos cerrados por celdas circulares. Para evitar el vertido incontrolado sobre estos elementos, se ha previsto el correspondiente aliviadero. La comunicación expone tanto detalles de proyecto como el funcionamiento real de los aliviaderos.

9. Presa de BASS LAKE (H = 12 m. Estados Unidos. R-25)

Esta comunicación presenta una solución ante la necesidad de mejorar la descarga en avenidas en presas antiguas. En este caso, en tres presas de tierras americanas, se ha optado por la realización de un aliviadero sobre el paramento de aguas abajo mediante bloques de hormigón. Los bloques se unen entre sí con cables de fibra de poliéster para asegurar su estabilidad y se anclan al relleno mediante una malla de anclajes de 1,5 m. de longitud. Por debajo de estos bloques se disponen geotextiles, y sobre ellos una capa de tierra vegetal sembrada.

10. Criterios de diseño en presas con vertido sobre coronación (Países Bajos. R-28)

Esta comunicación presenta una panorámica de las causas potenciales de rotura y de los diversos diseños para el vertido sobre la presa y a través del cuerpo de presas. Estos están basados en las investigaciones llevadas a cabo por Rijkswaterstaat y Delft Hydraulics. Los criterios presentados tienen en cuenta el efecto de la permeabilidad y el ataque por la corriente y las olas. La aplicación de estos criterios queda ilustrada por la rotura de dos prototipos.

11. Ataguías vertientes en el Duero (Portugal. R-29)

Esta comunicación describe el comportamiento de ocho ataguías realizadas en el Duero para la construcción de centrales hidroeléctricas. Las soluciones adoptadas han sido ataguías de células circulares o rellenos de materiales sueltos coronados por un muro.

12. Análisis del efecto de los drenes longitudinales en presas homogéneas (Yugoslavia. R-30)

En esta comunicación se analiza la posibilidad de sustituir los tapices drenantes, que suelen ser cos-

tosos debido a su composición granulométrica, por drenes tubulares horizontales. El estudio incluye materiales de permeabilidad isótropa y anisótropa, además se estudian el número y posición óptimas de los drenes, todo ello mediante analogía eléctrica. En cuanto a la puesta en obra, las bandas drenantes producen menos interferencias que los drenes chimenea.

13. Estabilidad de las protecciones de gabiones en el paramento de aguas abajo en ataguías (China. R-31)

Esta comunicación recoge criterios de diseño empleados en China. El espesor de lámina de agua considerado, (4 y 11,3 m.) es importante. Las causas de la destrucción de los gabiones pueden ser: un lavado de la piedra, la rotura de la malla metálica o su desplazamiento. Se distingue entre estabilidad absoluta, en la que no hay ningún movimiento de los gabiones, y la pseudo-estabilidad que admite movimientos siempre que no afecten a los gabiones circundantes. Esta última se considera admisible. Los cálculos presentados podrían ser válidos para las capas de bloques de hormigón.

14. Los diques vertientes en el Danubio austriaco (R-32)

Para poder regar las llanuras de aguas abajo, se han dotado de secciones vertientes los diques de seis centrales hidroeléctricas. La impermeabilidad se consigue mediante tablestacas, y la protección contra la erosión a través de escollera, colocada en coronación y en el paramento de aguas abajo, apoyada sobre una capa filtrante.

d) PRESAS EN VALLES ESTRECHOS

Se han presentado tres comunicaciones en las que se hace referencia a cuatro presas que son:

Una de las novedades más importantes de las últimas décadas es la construcción de presas de materiales sueltos en valles estrechos con mucha pendiente en las laderas. En este tipo de presas la transferencia de cargas no sólo del peso propio sino también del empuje del agua se produce transversalmente al eje del valle. Debido a su perfil longitudinal en forma triangular y a que se trata, generalmente, de presas con estructura zonificada, se desarrollan asimismo otros mecanismos, de transferencia de cargas por lo que su comportamiento tridimensional resulta ser extremadamente complejo. Las tensiones y deformaciones resultantes son de vital importancia debido a la combinación, con distintos pesos, de las transferencias de cargas.

Parece claro que el cálculo y diseño de este tipo de presas reviste gran importancia. Las tres preguntas principales que se plantean son:

- 1) ¿Cuáles son los asientos esperados en el contacto de la cimentación y en el núcleo?
- 2) ¿Qué importancia tienen los estados en tres dimensiones frente a los de dos dimensiones?
- 3) ¿Puede el núcleo elegido absorber las deformaciones sin fisurarse o qué cambios pueden esperarse en la permeabilidad del material?

Gracias a los progresos en el campo de la informática y en la investigación del comportamiento de los materiales ante distintos estados de tensión y deformación, pero sobre todo, gracias a la auscultación colocada al efecto en presas ya construidas, hoy en día se puede contestar a estas preguntas con un buen grado de aproximación. Para que se pueda seguir avanzando en este campo, es importante realizar cálculos a posteriori para compararlos con los resultados de auscultación. Los modelos físicos proporcionan asimismo una información muy valiosa, si además se completan con un cálculo. El cálculo es una herramienta indispensable para poder evaluar la importancia relativa de

<i>Nombre</i>	<i>Año de terminación</i>	<i>País</i>	<i>H (m)</i>	<i>Talud H:V</i>	<i>Report</i>
BOUQUET DAM		E. Unidos	60	1:3	9
DABAKLAMM	P	Austria	220	1:1,5	5
LA VILLITA	1967	Méjico	60	1:2,5-3	9
TEHRI	E.C.	India	239,5		21

cada efecto en base a unos parámetros pero sin olvidarse de realizar los ensayos oportunos de los materiales.

Las tres comunicaciones presentadas vienen a completar la bibliografía existente.

**1. Presa DABAKLAMM
(H = 220 m. Austria. R-5)**

La comunicación trata del proyecto de esta presa con núcleo de 220 m. de altura con una relación L:H igual a 1,5 y en ella se presenta con detalle el estudio aproximativo de comportamiento tridimensional. En dicho análisis se ha combinado el estudio sobre modelos físicos con el cálculo bidimensional por el método de elementos finitos y los autores han demostrado que el desplazamiento, debido al esfuerzo cortante, en las laderas puede evitarse si se asegura un contacto lo más rugoso posible entre la superficie rocosa y el material de relleno. El efecto tridimensional reduce los desplazamientos horizontales debidos a la presión del agua al 40% de los que se obtienen si se emplea sólo el método bidimensional.

**2. Presa de la VILLITA (H = 60 m. Méjico)
y de BOUQUET CANYON (H = 60 m.)
(Estados Unidos. R-9)**

Si el cálculo dinámico por el método de elementos finitos (MEF) en dos dimensiones resulta complicado, la dificultad aumenta lógicamente cuando se trata de hacer un análisis tridimensional. En esta comunicación se presenta un MEF simplificado que resulta más manejable. El proceso se aplica al caso de las dos presas citadas para ilustrar el efecto limitativo de las laderas de valles estrechos que reduce el período de vibración mientras que aumenta la aceleración de respuesta. Debido a la influencia de las laderas, la variación en los desplazamientos dinámicos a lo largo de la coronación de la presa provoca esfuerzos cortantes. Esta influencia de las laderas aparece en los valles estrechos en los que L:H es menor que 5 y su efecto no puede despreciarse, sobre todo en las presas de más de 100 metros de altura. La comunicación también incluye una comparación entre los análisis bi y tridimensionales.

3. Presa de TEHRI (H = 239,5 m. India. R-21)

Se trata de una presa con núcleo, actualmente en construcción, que se encuentra entre las más altas del mundo. Aunque no se trata de un valle especialmente estrecho (L:H = 2,4) las fuertes pendientes de las laderas han impuesto métodos de construcción especiales. Para realizar las inyecciones de tratamiento, fue necesario construir galerías especiales. Las zonas de contacto de núcleo y filtros con la cimentación se han perfilado y la máxima diferencia de pendiente entre caras parciales se ha limitado a 20°. La zona de contacto entre el núcleo y los estribos se ha recubierto con una capa de materiales plásticos, con contenido de humedad superior en un 2-3% a la óptima y diámetro menor de 60 mm., para reducir la interacción entre presa y estribos. La comunicación también trata el problema que presentan las instalaciones en los valles estrechos, en este caso, por ejemplo, las múltiples dificultades que planteaba el transporte en camiones ha fomentado el que la puesta en obra del relleno se realice mediante cintas transportadoras. También se analiza la influencia del valle estrecho en el diseño del aliviadero. En esta presa, para poder evacuar los 9.000 m³/s de la avenida máxima, ha sido necesario disponer cuatro aliviaderos en un pozo además de un aliviadero de superficie.

e) OTRAS NOVEDADES

Como ya hemos indicado, se han presentado tres comunicaciones que no se pueden englobar dentro de ninguno de los subtemas. Todos ellos hacen referencia concreta a una presa. Estas tres presas son:

Nombre	Año de terminación	País	H (m)	Talud H:V	Report
BUYUKCEKMECE	1985	Turquía	11,4	1:3,5	22
MENTA	E.C.	Italia	90	1:1,8	17
MINER	1905	E. Unidos	29	1:4/1,7	23

**1. Presa de MENTA
(H = 90 m. Italia. R-17)**

La presa se encuentra situada en una zona con alto riesgo sísmico por lo que se plantearon dudas, en el momento de su diseño, en cuanto al compor-

tamiento frente al sismo de la pantalla asfáltica. La presa está constituida por un dique principal, en un valle bastante estrecho, y un dique auxiliar. Entre ellos sobresale un espolón rocoso sobre el que también apoyaba la pantalla. Podían, por lo tanto, producirse asientos diferenciales considerables que provocarían el desgarro de la pantalla. Para resolver esta incognita se realizaron ensayos en modelo reducido con centrifugado y ensayos con modelos matemáticos en 2 y 3 dimensiones que se compararon con los de la Presa de La Villita, en Méjico. Los modelos han permitido observar que la estrechez del valle de Menta tiene una influencia sobre el comportamiento, frente al sismo, de la pantalla y comprobar que las deformaciones provocadas por el sismo de diseño pueden ser absorbidas por la pantalla sin romperse.

2. Presa de BUYUKCEKMECE (H = 11,4 m. Turquía. R-22)

Esta presa aisla una laguna en el Mar de Mármara para el abastecimiento de agua potable a Estambul. Para poner en seco el sitio de la obra, se construyeron ataguías de sección homogénea, la impermeabilidad de los suelos finos de la cimentación se conseguía mediante pantallas delgadas.

La estanqueidad de la presa se confió a una lámina de aguas arriba y a un núcleo que se prolongaba con una pantalla en la cimentación. La cimentación del aliviadero se construyó con pilotes Franki.

3. Presa de MILNER (H = 29 m. E. Unidos. R-23)

Las soluciones adoptadas para la rehabilitación de la presa de Milner son innovadoras y económicas. La presa se ha reforzado con la construcción de un segundo espaldón inmediatamente aguas abajo del existente con una nueva zona impermeable, efectiva a partir de determinado nivel de filtraciones en la antigua presa, protegida por escollera aguas abajo. La seguridad frente a avenidas se ha mejorado convirtiendo el antiguo aliviadero de servicio, con compuertas, en aliviadero fusible de emergencia y construyendo un nuevo aliviadero de servicio en el emplazamiento del antiguo aliviadero de emergencia. La comunicación resume la construcción original de la presa y su comportamiento y

describe tanto los estudios previos a la rehabilitación como los detalles de construcción.

2. DESARROLLO DE LAS SESIONES DEL CONGRESO

Las sesiones comenzaron con un resumen del Informe del Relator General, W. Schober, que siguió la línea descrita en el apartado anterior. A continuación se produjeron las intervenciones de los expertos presentes en las reuniones, de las que podemos destacar en cada subtema las siguientes:

a) *Materiales mediocres*

J. J. Fry, de Francia presentó un método para investigar las presiones intersticiales y comparar la relación de este parámetro con los cambios en las características mecánicas de los materiales arcillosos. Después de explicar que la calidad del material arcilloso depende de las presiones intersticiales, resaltó la importancia del grado de saturación, factor que debería tenerse en cuenta en todos los análisis sobre el comportamiento del material. Fry propone una aproximación global basada en la ley de Duncan que viene utilizando en los últimos diez años. Mostró como podrían usarse los distintos parámetros para indicar la resistencia del material.

De acuerdo con Fry, se puede utilizar las permeabilidades al aire y al agua y el grado de saturación para prever el estado del material arcilloso durante la puesta en obra, calculando los coeficientes de seguridad locales y determinando el ritmo de puesta en obra para evitar fallos.

Con relación a la intervención de J. J. Fry, A.D.M. Penman del Reino Unido comentó que es importante distinguir las presas con núcleo y espaldones arcillosos de aquellas que tienen núcleo arcilloso y espaldones rígidos. La técnica que se emplea generalmente en su país es la disposición de capas drenantes dentro de los espaldones arcillosos para reducir las presiones intersticiales y asegurar la estabilidad de los espaldones.

V. de Mello, de Brasil, también comentó la exposición de Fry e indicó que no debería utilizarse como índice de la compactación el más o menos por ciento de la humedad óptima puesto que, según su experiencia, esta última puede ser desde

el 7 al 45 por ciento y el 2 por ciento de estos extremos es muy diferente. Posteriormente indicó que debería prestarse más atención al estudio de la porosidad, tanto en cuanto a tamaño de poros como a su simetría y distribución, puesto que lo único que se puede compactar realmente son los poros.

J. J. Fry respondió a los distintos comentarios indicando que él había presentado su aproximación numérica para dar a conocer los progresos que se han realizado en este campo, aunque es consciente de que el modelo debe ser corroborado por otros ingenieros expertos en la materia. Y añadió que los datos empleados deben obtenerse a partir de ensayos "in situ" y ser precisos puesto que tienen gran influencia sobre los resultados obtenidos. Por último, señaló que el modelo también puede ser válido para el estudio del comportamiento de la escollera saturada.

J. Lafleur, de Canadá, intervino refiriéndose al diseño de filtros. La práctica habitual consiste en fijar una fracción arbitraria de las partículas más finas cuando se trabaja con suelos con una granulometría abierta, pero de acuerdo con su experiencia esta técnica puede dar lugar a problemas. Según Lafleur, el proceso de filtración de los suelos no cohesivos es más complejo que esto puesto que se puede producir una emigración, de las partículas más finas que el tamaño de apertura del filtro, que generará a su vez una "auto-filtración" y el consiguiente fenómeno de tubificación. Lafleur dijo que la estabilidad del suelo debe analizarse según los métodos de Kenney y Lau y que el tamaño de los filtros, tanto naturales como geotextiles, debe establecerse en base a la comparación entre la capacidad de autofiltración del material base y el tamaño máximo permitido de apertura del filtro.

D. E. Kleiner, Vice-Chairman, recalcó la importancia de un buen diseño de los filtros y recordó que se está elaborando un boletín del ICOLD sobre este tema por lo que animó a los que no hubieran contestado a la encuesta que se estaba realizando a contestar antes de finales de año. Recordó que los trabajos de J. Sherard siguen siendo una base importante para el diseño de filtros.

b) *Materiales artificiales*

J. B. Cooke comenzó recordando a J. Sherard y a sus múltiples y valiosas colaboraciones. En ho-

menaje a Sherard, la Universidad de Berkeley ha establecido las Conferencias J. Sherard (Sherard's Lectures).

A continuación J.B. Cooke inició las intervenciones sobre los materiales artificiales hablando de la importancia creciente de las presas de escollera que ha dado lugar a la publicación del boletín número 70 del ICOLD.

Cooke defendió el alto grado de seguridad de las presas de escollera con pantalla de hormigón incluso cuando se dispone de escollera de mala calidad o cuando las condiciones de cimentación no son óptimas. A continuación, relacionó este tipo de presas con tres de los criterios expuestos por el Relator General, el sellado, la protección contra la erosión y el drenaje y la capacidad portante en las presas con pantalla de hormigón. El sellado de la cimentación se hace mediante inyecciones en la roca donde se ancla el plinto de hormigón armado. El sellado de la junta perimetral entre el plinto y la losa de hormigón es flexible y con dos tipos de barreras impermeables. La zona de escollera cercana al plinto, es un material de filtro procesado fino que puede sellarse fácilmente mediante limos y arenas finas en caso de una filtración.

En cuanto a la protección contra la erosión, la zonificación de este tipo de presas es tal que, aunque la presa esté parcialmente terminada, es segura sin haber colocado la losa de hormigón.

F. List, de Alemania, inició las intervenciones sobre los materiales geosintéticos que han resultado ser muy útiles como capas drenantes, como filtros o como capas de reparación por lo que se emplean en cualquier obra importante hoy en día. List dijo que gracias a su larga vida útil y a su capacidad para retener las partículas finas de los suelos ayudan a reducir los riesgos en la construcción de presas. Como cada fabricante tiene su propio proceso, a veces los resultados no han sido los esperados por lo que la Deutsche Gesellschaft für Erd und Grundbau ha puesto a punto unas especificaciones para la utilización de los geotextiles en ingeniería hidráulica. Esta norma incluye un estándar para el diseño de filtros. List completó su intervención con breves detalles del uso que se ha hecho recientemente de estos materiales en varias presas bávaras.

Kleiner se refirió a un seminario organizado por el USCOLD en el que se destacaron dos tenden-

cias en cuanto al uso de geotextiles y geomembranas. La primera propugna el uso de geotextiles en zonas no críticas (filtro entre suelo y protección de taludes rocosos, canales, reparaciones en la coronación de presas), donde se pueden reparar fácilmente. La segunda tendencia apoya un uso mucho más amplio de los geotextiles que pueden incluso sustituir al filtro granular fino aguas abajo del núcleo de las presas de materiales sueltos.

P. Sembenelli, de Italia, destacó la diferencia entre los distintos tipos de materiales geosintéticos, las distintas fibras y los distintos sistemas de producción e indicó que tampoco hay que olvidarse de las geomembranas. Sembenelli puso como ejemplo el caso de una ataguía en China donde se aseguró la estanqueidad mediante un sandwich formado por dos geotextiles y una geomembrana.

c) *Vertido sobre coronación y flujo a través del cuerpo de presa*

J.B. Cooke comenzó las intervenciones sobre este tema llamando la atención sobre el fallo de la presa de Hell Hole en California. El fallo de esta presa, de 120 m de altura de núcleo inclinado y escollera vertida, se produjo cuando se habían construido 60 m de altura de espaldón de aguas arriba como protección para la construcción del núcleo en el talud de aguas arriba y se había iniciado otro relleno de escollera aguas abajo. El caudal de 680 m³/s dio lugar a que la altura de lámina fuera de 30 m sobre el núcleo que tenía 10 m. de altura por ir retrasado. Justo antes del fallo, el flujo emergía aguas abajo con una altura de 15 m. El fallo comenzó por una turbulencia en el contacto entre las dos escolleras donde se producía una concentración de flujo de salida. La turbulencia había retrocedido sobre la línea freática del flujo de salida. En la zona baja donde el porcentaje de huecos era del 40-45%, el agua entró y salió demostrando que la escollera permeable es un disipador de energía muy efectivo. Cooke señaló que la escollera compactada y zonificada de las presas con pantalla de hormigón permite el flujo a través del cuerpo de presa cuando se presentan avenidas antes de estar construida la pantalla como ha ocurrido en las Presas de Piedras (España), Brogo, y Cethana (Australia), Bailey (Estados Unidos) y en otras.

Cooke dijo que la zonificación permite limitar el caudal de filtración, y que la diferencia entre la

elevada permeabilidad horizontal en la base de las tongadas y la baja permeabilidad vertical evita la desestabilización de la línea freática de la zona exterior de aguas abajo de la escollera. En cambio, Cooke señaló que el vertido sostenido sobre coronación en este tipo de presas es una de las principales causas potenciales de rotura. P. Londe, de Francia, señaló que en los fallos de dos presas (una en USA y otra en Túnez) citadas por Cooke hay otra diferencia importante además del grado de compactación y es que la escollera de aguas arriba de la presa tunecina tenía un tamaño menor que el de la escollera de aguas abajo. El gradiente hidráulico mayor aguas arriba evitó que se produjera una erosión progresiva.

M. Fitzpatrick, de Australia, apoyó la opinión de Cooke sobre las propiedades de la escollera bien graduada y recordó que en el caso de la presa de Cethana, al obstruirse el túnel de desvío, se había creado un embalse de 60 m. de altura que se vació a través de la escollera sin ningún problema. También expuso el ejemplo de presas de escollera australianas que han soportado el vertido sobre coronación sin problemas.

d) *Presas en valles estrechos*

V. G. Radchenko inició las intervenciones sobre este tema indicando que la experiencia recogida en su país es que se pueden obtener buenos resultados, cuando se trata de valles amplios, con un modelo numérico bidimensional utilizando una malla de elementos finitos muy cerrada en las zonas de contacto entre materiales, si se emplea un modelo no lineal de tensión-deformación. En cambio, en los valles estrechos, con modelos en tres dimensiones hay que limitarse a utilizar una malla grosera con un modelo lineal por lo que los resultados pueden dar lugar a errores mucho mayores que el análisis en 2 dimensiones.

J. E. Hacílas, de Colombia, comentó que en las presas en valles estrechos se producen importantes movimientos en el contacto de la cimentación con el relleno independientemente de cual sea este material como lo demuestra el comportamiento de las Presas de Chivor primero y Gollilas después. En esta última, la junta perimetral se diseñó para absorber movimientos mayores que los habituales y la zona de apoyo de las losas se amplió en los estri-

bos para conseguir una zona de baja permeabilidad en caso de que fallara la junta, esta zona tenía además una misión de filtro.

F. Moreno, de España, expuso la interacción a largo plazo entre el núcleo y los estribos de la presa de Chicoasen ($h = 257$ m. Méjico). Esta presa se encuentra en una garganta estrecha cuya ladera derecha es prácticamente vertical y en la ladera izquierda hay un fuerte cambio de pendiente a media altura. Para evitar los efectos de la interacción entre núcleo y estribos, se colocaron, según comentó Moreno, dos bandas de material arcilloso con un alto contenido en humedad cuya efectividad se comprobó mediante un modelo matemático. Sin embargo, los ensayos de laboratorio mostraron que, a largo plazo, aumentaba la resistencia a cortante del material arcilloso por lo que no será capaz de reducir los efectos de la interacción núcleo-estribos.

A. Marulanda centró su intervención sobre cuatro puntos:

- Características de la relajación de tensiones en los estribos.
- Efecto arco y fractura hidráulica.
- Movimientos en los estribos.
- Núcleos inclinados o núcleos verticales.

Marulanda dijo que la característica más común a las presas en valles muy estrechos es que la importante relajación de tensiones en los estribos (más o menos paralelos al valle), produce una apertura de las juntas o una zona decomprimida, paralela a la topografía. Según Marulanda, en estas zonas se deben realizar inyecciones de consolidación aunque es difícil conseguir eliminar las filtraciones por lo que es muy importante utilizar filtros para proteger tanto el dispositivo de estanqueidad (núcleo, pantalla) como el estribo.

En cuanto al efecto arco y la fracturación hidráulica, Marulanda dijo que la fisuración en sentido transversal es la más importante de las que se pueden producir en una presa de tierras. La fisuración transversal puede deberse a diferentes grados de consolidación de la cimentación o a asientos diferenciales del cuerpo de presa. Estos últimos se producen sobre todo en los estribos con laderas muy verticales y en la zona de coronación, donde los caminos de filtración son cortos, por lo que, en este tipo de presas, se deben aumentar los filtros. Marulanda dijo también que el comportamiento de

las presas de tierras ha mostrado que el efecto arco, tanto en sentido longitudinal como transversal, puede, por su importancia, provocar la fracturación hidráulica. En las presas en valles estrechos, este fenómeno se produce en el núcleo y Marulanda considera que es esencial proteger la presa con un sistema de filtros y drenes que intercepte todas las vías de filtración.

Marulanda comentó después que, para evitar movimientos del núcleo en los estribos, la superficie de contacto con la roca de cimentación debe ser lo más irregular posible.

Cuando las laderas son muy inclinadas, es difícil dicho desplazamiento (Presas de Chivor y Guavio en Colombia) aunque el núcleo no sea muy compresible (Presa de Gollilas). De todas formas, Marulanda no cree que esto represente ningún problema en las presas con núcleo puesto que, aunque se sobrepase la resistencia del material, la masa plastificada asegura la estanqueidad siempre que los espaldones sean lo suficientemente rígidos para sujetar el núcleo.

Sobre el último punto, núcleos inclinados o verticales, Marulanda dijo preferir los inclinados en presas muy altas en valles muy estrechos donde el efecto arco puede ser muy importante.

Schober apoyó la intervención de Marulanda y dio algunos detalles de un modelo sencillo que se ha desarrollado en Innsbruck. K. de Fries de Venezuela dijo que, en las presas en valles estrechos, se desarrollan tensiones horizontales mucho mayores que en el resto de las presas mientras que las tensiones verticales son reducidas por lo que en su conjunto el riesgo de fractura hidráulica era el mismo que en otros tipos de presa. Marulanda le contestó que la fracturación hidráulica se produce en el sentido de la tensión principal mínima, que no tiene nada que ver con la presión vertical y que este tiene especial importancia en el caso de presas en valles estrechos.

Por último, L. Berga preguntó cual era la situación de los aliviaderos de las presas colombianas que había citado y Marulanda le explicó que en Chivor el aliviadero se excavó en el estribo izquierdo mientras que en Guavio el aliviadero está constituido por dos túneles en la ladera derecha diseñados para evacuar la PMF.

A. D. M. Penman expuso después las teorías que se habían desarrollado a raíz del fallo de la presa de Teton en 1976. Uno de los aspectos más interesantes de la investigación de Teton fueron las vetas húmedas que se encontraron en la parte baja aunque no hay unanimidad sobre su influencia en la rotura de la presa. Mientras que el comité investigador se inclinó por pensar que era fruto de las lluvias y la nieve durante la puesta en obra, J. Hill, de los Estados Unidos, sugirió que podían deberse a lentejones de hielo provocados por el frío del invierno 1974-75.

En una reconsideración del fallo de la presa de Teton (Universidad de Purdue, 1985), J. Sherard, adelantó que, al haberse reducido las tensiones verticales en el núcleo debido al efecto arco (tanto longitudinal como transversal), la presión del embalse podía haber provocado la fracturación hidráulica. En lugar de permanecer abierta, como sucede en las arcillas, la fisura horizontal en limos, se fue rellenando con los limos de la parte superior con lo que se formó una veta de limos sueltos y saturados dentro de los limos bien compactados, secos del núcleo. La resistencia de estos limos saturados al paso del agua impidió que, al alcanzar la fisura el lado de aguas abajo, se produjera una salida de agua brusca y el caudal filtrado tampoco llegó a erosionar los limos por lo que no se pudo detectar el problema.

Según Penman, Sherard dijo que en la zona inferior de los espaldones, que estaba húmeda debido

al agua del río y al deshielo, se habían desarrollado presiones intersticiales al colocar la zona superior de los espaldones en la campaña siguiente. La disipación de dichas presiones intersticiales provocó el asiento de la parte inferior de los espaldones con el consiguiente efecto arco en la parte superior que provocó a su vez la reducción de las tensiones totales en las vetas húmedas y dio lugar a la rotura de la presa.

Penman dijo que estaba de acuerdo con la idea de Sherard pero que pensaba que el asiento del relleno de los espaldones se debía únicamente al efecto del embalse y no a una disipación de presiones intersticiales.

Penman concluyó su intervención proponiendo que Schober estudie el fenómeno en su modelo tridimensional para ver si el "mecanismo de Sherard" es posible. Esto podría contribuir al diseño de futuras presas.

La última intervención fue de J. J. Gilmore de los Estados Unidos y trató de la elección del eje de presa y de la configuración del núcleo central. Gilmore dijo que la elección entre un eje recto o curvo y entre el núcleo inclinado o vertical se plantea habitualmente en el diseño de presas pero en la mayoría de los casos la elección depende del juicio del ingeniero o de una ingeniería intuitiva. El papel principal es el de la geometría del valle mientras que el juicio del ingeniero juega un papel secundario aunque Gilmore indicó que el tercer papel es el de la geología de la cimentación.