

LAS GRANDES PRESAS EN LOS RECIENTES CONGRESOS (*)

COLEGIO INGENIEROS DE CAMINOS
BIBLIOTECA

Por MANUEL ALONSO FRANCO
GUILLERMO GOMEZ LAA
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Se presenta a continuación un resumen de los temas tratados en recientes congresos internacionales sobre presas, así como un comentario sobre obras hidráulicas en Méjico.

En los pasados meses de septiembre de 1975 y de marzo y abril de 1976, se han celebrado tres reuniones internacionales de grandes presas en las cuales el Servicio de Vigilancia de Presas de la D. G. O. H. estuvo representado por alguno de sus ingenieros: Guillermo Gómez Laa, en el simposio de Swansea; Manuel Alonso Franco y Guillermo Gómez Laa, en el congreso de Méjico, y José Luis Adalid Elorza, en el Newcastle. Esta última (septiembre 1975), sobre vigilancia de presas, no será tratada en este momento. En cuanto a las dos primeras convocatorias, los temas tratados fueron:

Simposio Internacional sobre Comprobación Numérica de Presas:

Objetivos del análisis numérico y criterios de proyecto.

Técnicas numéricas apropiadas para el proyecto de una presa.

Problemas geométricos y de materiales.

Estudio de casos concretos.

XII Congreso Internacional de Grandes Presas:

Tema 44. Problemas asociados a tipos especiales de presas de materiales sueltos.

Tema 45. Investigación de filtraciones y el drenaje de las presas y su cimentación.

Tema 46. Estudios preliminares en la planificación de presas.

Tema 47. Efectos de algunos factores del entorno sobre las presas y los embalses.

Destaca, en estas dos reuniones, el carácter marcadamente diferente de ambos, matemático y numérico preferentemente en la primera mientras que físico y práctico en la segunda, al punto que se recomendaba abstenerse de comprobaciones numéricas.

A la reunión de Swansea, el Servicio de Vigilancia de Presas sometió una comunicación, "Note on interstitial pressure", en la que se discute el planteamiento físico-teórico del tema, que ha sido objeto de interpretaciones múltiples y no siempre esclarecedoras del hecho.

Al congreso de Méjico se envió también una comunicación, "Analyse et auscultation des infiltrations. Schémas de drainage", la cual, tras un análisis de los caminos, mecanismos y acciones introducidas por la filtración de agua, así como de los medios de control, insiste sobre la interpretación física de la presión intersticial en los distintos materiales de suelo, roca y fábrica. Otras colaboraciones a este congreso figuran en el número especial de la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS (marzo 1976) y en el libro editado por el Comité español *Experiencias españolas en el proyecto y construcción de presas*.

A cada uno de estos temas vamos a referirnos seguidamente, con arreglo al índice que sigue:

- I. Sesiones técnicas en Swansea.
- II. Sesión ejecutiva en Méjico.
- III. Sesión técnica en Méjico.
- IV. Visita a diversas presas mejicanas.

I. Sesiones técnicas en el simposio de Swansea (septiembre 1976).

Los principales temas tratados se refieren a criterios para el proyecto de presas de tierra, escollera y fábrica, en el Reino Unido, U. S. A.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de mayo de 1977.

(Bureau of Reclamation) y otros varios países; análisis estático y dinámico, así como técnicas de comprobación por elementos finitos.

Se trató también el tema de los modelos reducidos y de la comprobación de la estabilidad, con especial referencia al papel jugado por las galerías.

La consideración de posibilidades y limitaciones en el análisis numérico, en modelos tridimensionales, con deformación no lineal, lleva a un desarrollo preferente de los elementos finitos.

El cálculo mediante modelos viscosos es tema que se desarrolla primordialmente en relación con presas de tierras, realizándose comprobaciones con mediciones reales efectuadas en presas sometidas a efectos sísmicos.

El tema de la presión intersticial, lejos de clarificar un modelo físico intuitivo, se llevó a estudiar y discutir efectos viscoelásticos y una circulación en régimen no permanente, así como los efectos de modificación de la permeabilidad en condiciones anisótropas y heterogéneas del material. El tema del aumento de la permeabilidad por efecto de la puesta en carga, ampliamente discutido en el Congreso de Geología del Ingeniero, de São Paulo (1974), vuelve a ser objeto de discusión.

Sobre el último capítulo, en relación con casos reales, se discute el efecto de disponer llaves rígidas en cimentaciones blandas, a la hora de mejorar la estabilidad a esfuerzo cortante.

Se expusieron diversas presas, de las cuales cabe destacar Cethana (Australia), Mica (Canadá), Ilha Solteira (Brasil) y Busalietta (Italia).

El análisis de la influencia en la estabilidad de las fisuras que se producen en presas de fábrica completa el esquema de los temas discutidos; a estos efectos se plantean tres puntos a tener en cuenta: deformación del sólido y modelo tensión-deformación para diversos escalones de carga, presión de los fluidos intersticiales, localización de zonas sometidas a un estado tensional inestable.

II. Sesión ejecutiva del Comité sobre envejecimiento de presas (Méjico, 25 de marzo 1976).

Este Comité, cuya labor se resume en la publicación *Lesson from dams incidents*, ICOLD,

1974, pretende completar la valiosa información de tal libro, dándole un mayor alcance, que incluiría los seis puntos siguientes:

a) Relación de todas las presas rotas, con sus características y análisis de las causas de la rotura, y de incidentes graves en presas.

b) Relación de presas con comportamiento deficiente o deterioradas.

c) Inventario de métodos de detección de comportamiento y deterioro en su caso.

d) Medidas para controlar el deterioro.

e) Esquema de recomendaciones a tener en cuenta en el proyecto y la construcción.

f) Esquema de la supervisión precisa.

Estos temas fueron discutidos por los delegados de los países asistentes, que forman parte del Comité, los cuales son: Austria, Checoslovaquia, Estados Unidos de América, Francia, Gran Bretaña, Italia, Japón, Portugal, Suiza y España, con la presidencia del señor Rocha.

El tema del deterioro, cuyos límites son difíciles de establecer, en cuanto al criterio de mínimo deterioro relacionable, se concreta fundamentalmente a presas que se hayan proyectado y construido con arreglo a las normas de buena ejecución.

A la hora de establecer los límites entre incidente grave y comportamiento inadecuado, se sugiere recurrir a criterios económicos en cuanto al coste de los daños o de la reparación. En cuanto al límite inferior de deterioro, las diversas técnicas en uso —como algunos tratamientos del cimientó—, antes de proceder a la puesta en carga, o bien como consecuencia de las observaciones realizadas durante la misma, introducen un factor adicional de subjetividad.

Se discutió el tema de la auscultación automática de presas, presentada por el Comité portugués y defendida por el italiano, sin que el resto de los delegados manifestaran gran entusiasmo por su sistematización; algunos, como el de Francia o el de Suiza, expusieron serios reparos a este tipo de automatismo aplicado a la interpretación y a la observación.

En cuanto al polémico tema de las presas de "tailing" (residuos mineros), cuya explotación supone una rica historia de accidentes, dado lo escaso del conocimiento que existe, en gran número de ellas, sobre las características de proyecto y construcción, se sugiere que sean

incluidos sólo aquellos casos en que se puede hacer un análisis realista.

III. Sesiones técnicas del XII Congreso Internacional de Grandes Presas (Méjico, 29 de marzo a 2 abril 1976).

A) *Presas con terraplenes de tipo especial (Q-44).*

A este tema se presentan 43 informes y tres comunicaciones; de ellos, uno español sobre la presa de Canales.

El ponente general, señor Dagenais (Canadá), destaca la utilización de materiales que, sin entrar en un análisis profundo, pudiéramos llamar de calidad mediocre, dando preferencia a tales materiales cercanos respecto a otros, menos próximos, de mejor calidad. Los temas propuestos para discusión son:

- Puesta en obra de escolleras friables y experiencias sacadas de espaldones de ensayo para establecer especificaciones.
- Puesta en obra y compactación de suelos finos con elevado contenido de agua y en condiciones climáticas desfavorables.
- Rellenos de estériles de mina, técnicas de construcción y drenaje y efectos de la segregación, durante el vertido de estériles, sobre la estabilidad.
- Polución por efecto de los rellenos de estériles de mina.
- Nuevas técnicas económicas en la construcción de terraplenes de tipo especial.

Resumiendo los puntos discutidos por el grupo de expertos y otros oradores, se apuntaron los temas siguientes:

Empleo de materiales mediocres de diversos tipos, tales como granito meteorizado (jabre), en las presas de Cachuma, Trinity, White Town, donde el 85 por 100 del volumen es jabre (J. W. Hilf); presas en Paraitinga y Paraibuna (Brasil), realizadas con un limo micáceo, con altura de hasta 100 m (Bourdeaux), y una solución análoga en Indonesia (Begeman). Mosseyev se refiere al vertido de limos bajo el agua, tema conocido en los rellenos con till glaciar en presas canadienses.

El empleo de materiales de calidad deficiente utilizando una zonación adecuada de la presa (Mosseyev), se plantea como solución idónea; el "processing" aparece con cierta generalidad; por ejemplo, se comenta una presa de Indonesia (Almizán) realizada de modo análogo a la japonesa de Miboro, preparando capas alternadas de roca meteorizada y arcilla, que se mezclan después para construir el terraplén de presa.

El alemán W. Prenissl comenta una presa de 60 m de altura con diafragma interior de "soil-cement", realizado excavando, cada 4 m de altura de presa, la zanja para ubicar el diafragma impermeable, solución análoga a la de algunos drenes chimenea, tipo brasileño. El tema origina la discusión (Hilf) sobre la falta de plasticidad de tal material.

Los problemas de excesiva deformabilidad de materiales de espaldón es tocado por Marsal, Ramírez de Arellano y Dagenais, con especial énfasis en las dudas sobre el comportamiento a largo plazo. El mejicano Marsal desconfía de la representatividad de muestras tomadas para ensayo en laboratorio y aboga por ensayo de campo, sobre pedraplén de 500 a 1.000 m³, en condiciones análogas a las reales; sólo así cabe hacer un estudio de especificaciones. Expone el caso de la presa de Chicoasen, a la que nos referiremos en el capítulo IV.

El empleo de argilitas como material de espaldón se expone en la presa de Scotts Pear (Fitz Patrick), de 41 m de altura, con pantalla asfáltica; los asientos excesivos (300 mm) son causa, aparentemente, de grandes filtraciones que requieren correcciones con parches de butilo colocados bajo el agua, con mal resultado, y, finalmente, una capa de 2 m de espesor de grava arcillosa (talud aguas arriba 1 : 1,70).

Un material análogo se ha empleado en la presa de Bayley, de 96 m de altura, con pantalla asfáltica sobre espaldones de arenisca floja y argilita; tema que da lugar a discutir los problemas de asientos en pantallas rígidas (Rodríguez de Arellano).

El francés Daniel comenta la presa de Flu-met, de 12,50 m de altura, con núcleo de arcilla y espaldón con capas de filtro aguas arriba, realizada por etapas de 6 m de altura; para compensar la excesiva deformabilidad del cimiento, un limo turboso con granulometría entre 0,074 y 0,002 mm (véase *Travaux*, núm. 493).

Al hablar de los filtros se plantea su contaminación con diversas materias en disolución o suspensión en el agua (Fabio); por ejemplo, la conocida "bacteria del hierro". Se enuncia la utilidad de drenaje perforado y entubado (Hilf) desde aguas abajo.

Al tratar las presas para residuos mineros se destacan los siguientes puntos: el principal problema es que estas presas no están oficialmente controladas (Paduric); en su concepción debe tenerse en cuenta que son obras que luego se abandonan (Wasler); los costes de su auscultación pueden no ser tolerados por el propietario, pues su construcción dura la vida de la explotación minera (Elio). Se plantea el tema de estabilidad en presas de relleno hidráulico en California (Leps), discutiendo la trascendencia económica de cálculo dinámico en presas de "tailing" (Elio).

El ponente general Dagenais llama la atención sobre las posibilidades que ofrecen las renacidas presas de relleno hidráulico, haciendo hincapié sobre sus problemas, en especial en zonas sísmicas. Concluye que los materiales que denomina mediocres precisan una generosa experimentación.

B) *Análisis de filtraciones (Q-45).*

Este tema incluye 67 informes, nueve comunicaciones y es tratado en cada uno de los doce "raports" de síntesis presentados por otros tantos países; de ellos, nueve artículos son españoles.

El ponente general señor Allende, después de resumir en qué ocasiones ha sido tratado el tema en anteriores congresos y analizar los documentos presentados, propone los temas siguientes para discusión:

- Origen y causas de las filtraciones.
- Estudio de casos concretos y, en especial, presas sobre formaciones poco densas y de mala calidad.
- Aspecto económico de los sistemas de drenaje.
- Métodos analíticos y analógicos para prever las filtraciones.

En la discusión, tras exponerse la rotura de la presa californiana de Baldwin Hills (Wilson) y las averías en la presa de Zocollo (Dolcetta), conocida presa italiana con pantalla aguas arriba,

apoyada en un gran espesor de material morrénico, se expone el caso de la presa mejicana de Guadalupe. Esta presa, apoyada en formaciones volcánicas y lacustres del Terciario, ofrece una rica historia de incidentes: construida en 1936 como escollera con pantalla de hormigón, sufrió asientos importantes (2,10 m), lo que fue motivo de fisuración de la pantalla y filtraciones de 4 m³/seg. En 1948 a 1952 se rehabilitó mediante una recarga de arcilla, la cual se fisuró, asimismo, y dio filtraciones de 0,5 m³/segundo. La reparación definitiva y recrecimiento tiene lugar en 1967, quedando en su situación actual de escollera con núcleo inclinado.

Las filtraciones en fábricas y hormigones se discuten teóricamente, destacando el efecto de colmatación y las experiencias rusas en laboratorio (Kirillow); los indios comparan las filtraciones en mamposterías (Murray) con mortero de cemento Pórtland y mortero rojo (sulki). Penman y Johson comentan el comportamiento de diversas presas inglesas, entre ellas la de gravedad de Loch Dubt, con juntas horizontales heladas e indicios de tratamiento inadecuado de juntas de hormigonado.

La presa turca de Keban, con filtración de 10 m³/seg a través de su cimentación en calizas kársticas (Aksoy Sanap), como caso que ha llegado a ser clásico por las impermeabilizaciones con pantalla continua de hormigón entre galerías, es objeto de algún comentario.

No podía faltar el tema de las fisuras y correcciones con inyección en la zona tendida en presas de fábrica (Londe y Serafin), con mención a las presas de Atazar, Rappel, Vorg, Roselend. Electricité de France filosofa sobre que la seguridad comporta impermeabilidad aguas arriba y drenaje aguas abajo (Combelles).

El tema del drenaje cobra especial interés, destacándose la utilidad de drenaje horizontal desde aguas abajo, especialmente en presas antiguas (Penman) o con tubo "crepiné" (Molinari) en escolleras e incluso el establecimiento de conductos, con un fin claro de auscultación, en presas de tierra (Simek Milos). Las galerías horizontales en presa y en roca se plantean con generalidad, por ejemplo, en la bóveda australiana de Gordon (Mitchell), con vistas a la auscultación y al drenaje.

Se consagra como la más eficaz la auscultación hidráulica, con alguna tendencia al automatismo (Serafin) como el que se hace en la

presa francesa de Serre Ponçon (Combelles) con el control de subpresiones. En las presas italianas de Cancamo, San Giacomo di Fraele (Craviani), se recurre a la auscultación hidráulica, y asimismo en las presas de la *Ludington Pumped Storage*, donde se relaciona la evolución de los caudales de filtración con la temperatura (Eharst). El control térmico de filtraciones, junto con el empleo de trazadores físicos del tipo de hilos más densos que el agua para marcar, en una pantalla, las zonas de filtración (Simek-Milos) se plantea como habitual. El grupo de trabajo francés (Molinari) expone su experiencia en el empleo de trazadores, y en las presas españolas de Cuber y Gorch Blau (García Yagüe) se hace uso del registro de sondeos con medición del potencial espontáneo.

El estudio mediante modelos matemáticos (Pautre) del drenaje, modelos eléctricos para estudio de líneas de filtración en Mon Cemis (Poss), modelos analíticos de filtración, basados en el análisis morfológico de fracturas (Cruicksaunk), no impide que el experto señor Tamez eche en falta consideraciones de tipo teórico.

A este respecto, llamamos la atención sobre el hecho de que el estudio teórico de la presión intersticial, antes objeto de discusiones no siempre afortunadas, ha quedado un tanto en suspenso. Cabe esperar que, tras un período de meditación y reposo, vuelva a la palestra en forma nítida, ocasión que no aprovechó ninguno de los asistentes al Congreso.

También llamó la atención (Poss) sobre el poco o ningún interés manifestado por el tema de las arcillas dispersivas.

Mayor fortuna disfrutó la fracturación hidráulica (Leps, Wilson y Kennard) en núcleos verticales delgados, en presas de escollera, en relación con el estado tensional del material arcilloso y la presión intersticial.

C) *Estudios preliminares (Q-46).*

Esta cuestión, a la que se presentaron 46 artículos, se discutió con gran altura técnica, gracias al marcado sentido crítico del ponente señor Ospina, el cual analiza los trabajos separándolos en tres subtemas: "Aplicaciones del análisis de sistemas", "Ejemplos reales con costes y plazos" y "Métodos rápidos de evaluación".

Como temas para la discusión subsiguiente propone:

- Datos esenciales para un estudio previo.
- Importancia de un inventario.
- Cómo limitar el número de informes previos.
- Condiciones geológicas críticas.

Como en casos anteriores, comentamos la discusión no con un orden cronológico, sino temático; en esta idea importa resaltar las consideraciones básicas hechas por el experto Binger, que plantea tres temas de meditación:

- Es necesario o no es necesario hacer un embalse en determinado sitio.
- Relación beneficios-costos, bien que él mismo se muestra escéptico en cuanto a la estimación de costos.
- Estudio de avenidas y aportaciones en diversas zonas geográficas (maneja órdenes de magnitud relativa de 10, 20, 30 y 40 para riadas de cinco, cincuenta, quinientos y cinco mil años, respectivamente), destacando la importancia de considerar una geografía referente a las condiciones de drenaje.

El tema de los costos fue objeto de controversia (Maublanc, Arredi, Schultz, Vlastos, Ospina) sin que los que suscriben, nos sintamos capacitados para establecer unas conclusiones.

En cuanto a la forma de hacer los estudios previos, con la advertencia de Ospina sobre limitaciones de los computadores, el tema se desarrolló hacia el análisis de sistemas —no confundir con los sistemas de análisis (Schultz)—, modelos matemáticos (Vercon y Schultz), técnicas de optimización (Vercon, Schultz, Zourabichvili, Hidaytalla), simulación (Schultz) y cálculos estocásticos (Schultz, Hidaytalla y Labaye), llamándose la atención sobre los problemas que plantea la diversidad de países interesados (Hidaytalla) al hacer el estudio de optimización.

Se trataron diversas formas de estudiar la regulación de embalses (Arredi, Begeman, Vega Roldán, Ospina, Schultz y Guzina Bosko), así como el estudio de avenidas (Le-May, Binger, Cochrane, Guzina Bosko, Begeman), destacán-

dose la problemática que resulta en zonas de difícil acceso (Gomes y Miguez). El establecimiento de bancos de datos es conclusión generalmente sentida (Schultz, Gomes, Molinari) y se destaca que el tema del embalse es el resultado de un trabajo colectivo de hidrólogos, geólogos, ingenieros y economistas (Labaye), llamando la atención sobre otras utilizaciones del embalse (Ray) con vistas al mejor aprovechamiento de recursos en todos sus aspectos. Ray cita la existencia en Gran Bretaña de una oficina coordinadora de todos estos trabajos.

El tema de los modelos reducidos estructurales (Fumagalli) no podía ser el gran ausente, como tampoco el estudio de los problemas hidráulicos, preferiblemente en aliviaderos, los cuales pueden condicionar no sólo el tipo de presa, sino incluso la elección de cerrada (Abecasis, Ospina), pues sitios estrechos pueden resultar inadecuados para la evacuación de grandes caudales.

Las consideraciones de tipo geomorfológico en cuanto a estudios previos rápidos (Zourabichvili, Serafin, Vlastos, Murthy, Gómez Laa) son generalmente reconocidos, resaltándose las variaciones introducidas en el flujo de un río por modificación de acuíferos; como ejemplo se cita la presa mejicana de Abelardo Rodríguez, en zona desértica (Sainz Ortiz, Le-May y Cochrane). Los estudios geoquímicos e isotópicos son planteados por el grupo de trabajo francés (Molinari).

La presa californiana de Pacomia originó vehemente discusión; bóveda de 111 m de altura y 180 de cuerda en coronación, fue sometida a los efectos del terremoto de San Francisco, como consecuencia del cual sufrió alguna fisuración en estribos (Ospina, Milovanovic, Cochrane, Vercon, Serafin, Parme). La presa bóveda se planteó como la que mejor resiste efectos dinámicos, como lo prueba el caso de Vajont, pero el tema no llegó a un análisis de detalle, dejando la cuestión a dilucidar en el correspondiente Comité de Efectos Sísmicos. La presa de Pacoima, sobre formaciones metamórficas (Neis), fue sometida (9-2-1971) a aceleraciones de 1,25 grados, como consecuencia de una magnitud sísmica de 6,6 (Reimer y Hudson).

Tema que mereció repetida atención fue el que podríamos llamar geopolítico (Zourabichvili, Rau, Cochrane y Binger).

Dificultades surgidas a propósito del elemento humano son a tener en cuenta; así, en la presa india de Chevatarrí, los trabajos transcurrieron a ritmo muy lento por el miedo de los obreros al paro al finalizar la obra. Estas y otras son consideraciones que llevan a la optativa previa de embalses sí o embalses no (Binger).

La influencia de los métodos constructivos fue destacada (Green, Rau, Vercon), insinuándose un nuevo Comité sobre el tema, a proponer a la próxima reunión ejecutiva de los Comités internacionales.

El ponente general, en su línea habitual, destaca, para concluir, algunos temas no tratados, tales como los fracasos habidos, bien con embalses demasiado pequeños, o bien con embalses siempre vacíos, hechos que pueden considerarse, a veces, un fallo tan grave como el físico de la presa. Hace hincapié en la importancia de considerar el tamaño de la presa, las pérdidas por filtración y evaporación, los factores hidráulicos y los costes de los diversos tipos de presas, como condicionantes decisivos.

No recordamos referencias a las expropiaciones de terrenos, bienes y servicios afectados.

D) *Efectos sobre las presas de algunos factores del entorno (Q-47).*

A esta cuestión responden 32 informes, dos de ellos españoles. El ponente general, señor Chadwick, los refiere a tres apartados: problemas debidos a materiales flotantes y en suspensión, problemas introducidos por condiciones climáticas y estimación económica de estos factores, proponiendo los siguientes cuatro temas de discusión:

- Técnicas para asegurar el comportamiento adecuado de escolleras colocadas en condiciones severas.
- Desagües de fondo para purga de sedimentos.
- Desagües para vaciado selectivo de agua.
- Evaluación económica de los efectos del entorno sobre los embalses.

El tema de la evacuación de materia sólida en flotación o en suspensión se ha discutido en anteriores congresos sin llegar a soluciones

concretas. El mejor método conocido para evacuar los sedimentos sigue siendo la purga por los desagües de fondo. En zonas como Finlandia (Kilpeläinen) se disponen elementos para evacuación de troncos, o para evacuación de hielo, en Canadá (Aubin).

El caudal sólido sedimentado varía mucho según las condiciones climáticas y, en una cuenca, viene a ser proporcional al caudal de agua (Schnitter); en zonas áridas españolas (Almería, Canarias, cuenca del Segura (Paradinas)) el problema es especialmente acusado. En áreas tropicales mejicanas (Sánchez) se plantean problemas con el lirio acuático. Se menciona la posibilidad de aprovechar estos sedimentos para construcciones públicas: hormigón, losetas, etc. (Fenz).

Varios procedimientos para la eliminación de flotantes o sedimentos fueron descritos (Mechin, Post, Levevre, Shintter); ciertamente, de reducida eficacia y siempre con pérdida de mucha agua.

El panel de expertos (Sánchez) considera que la mejor manera de luchar contra la sedimentación es la de evitar la erosión de las laderas. En este aspecto es interesante la intervención de López Martos sobre los efectos de la riada de octubre de 1973 en el sureste de España. La rambla de Albuñol, con sus sólo 120 Km² de cuenca, vio incrementado su delta, de 200 Ha, en un 25 por 100 al cabo de seis horas; en el río Adra, en el emplazamiento de la presa en construcción de Benimar, se depositaron 3 m de aluvial. Ambas cuencas tienen sus laderas cultivadas con viñas en taludes inferiores al 40 por 100. Se ha observado que la erosión en las áreas desprovistas de su natural vegetación y no cultivadas es sólo de un 10 por 100 a la que corresponde a zonas regularmente cultivadas con idéntica configuración geológica y topográfica. El plan a seguir en Benimar es: a) expropiación de 30.000 Ha cultivadas en laderas con pendiente mayor del 30 por 100, y b) posterior reforestación o restauración de vegetación natural.

Las condiciones duras soportadas por las presas españolas de Cuerda del Pozo, Arlanzón y Villameca (Jiménez Espuelas) traen consigo un deterioro profundo del hormigón en relación con las filtraciones. En sentido contrario, se comentan fisuras habidas en presas americanas (Lacy) por excesiva insolación. Na-

turalmente, las circunstancias de fabricación y puesta en obra condicionan este comportamiento, exponiéndose las calidades deseables en hormigones para que resistan el hielo (Vuorinen), tema discutido también en ocasión de congresos anteriores.

Sobre presas de tierra o escollera construidas en condiciones climáticas extremas, destacamos el caso de la presa colombiana de Santa Rita (Villegas) —con pluviometría de 7.000 mm al año, mínima mensual de 420 mm y diecisiete días de lluvias como mínimo al mes—, construida con éxito empleando rocas que se disgregaban en la construcción o roca mezclada con limo. Se hacen referencias a condiciones impuestas en el proyecto para casos de condiciones extremadas (Seemel), en Canadá. En la presa mejicana de Netzahualcoyolt o Malpaso, en situación de precipitación elevada —más de 1.800 mm todos los años de la construcción—, repartida en el 46 por 100 de los días del año, se emplearon rodillos lisos especiales y protecciones con plásticos para el núcleo (Casares); en condiciones análogas, en una presa americana se construyó con material con un contenido en limos del 15 por 100, compactándose bien con lluvias (Burke).

Pocas intervenciones hubo sobre el tema último de la evaluación económica de las condiciones ambientales. Es de importancia el pronóstico o estimación correcta de la evaporación en los embalses, por su repercusión económica (Bentachi). La legislación sobre el medio ambiente hará que en Estados Unidos se dejen de construir muchas presas.

IV. Viaje de estudios.

Integrados en el viaje de estudios número 11, visitamos los Estados de Oaxaca, Yucatán y Chiapas. En este último tuvieron lugar las visitas técnicas: presas de Chicoasén y Angostura, en el río Grijalva.

La cuenca del Grijalva, en el sureste de Méjico, tiene una superficie de 52.600 Km², que, junto a la de Usumacinta —ambas cuencas confluyen su cono de deyección en la faja costera del golfo—, suman 131.157 Km² y aportan la tercera parte de los recursos hidráulicos del país.

El plan hidroeléctrico del río Grijalva consta de cuatro presas con sus correspondientes centrales. De aguas arriba a aguas abajo son: La

Angostura (1974), Chicoasén (en construcción), Netzahualcoyolt o Malpaso (1964) y Peñitas (en proyecto). Sus características principales quedan reflejadas en el esquema de la figura 1.

La potencia total instalada en el sistema será del orden de los 5.000.000 de kW. Su importancia queda puesta de manifiesto al compararla con los 12.000.000 de kW de potencia total, de origen hidráulico, instalada en España.

Las obras visitadas están en el tramo del río Grijalva alojado en la depresión central de Chiapas. En ella afloran rocas sedimentarias, cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

De estas obras, por su importancia, destaca la presa de materiales sueltos de Chicoasén, que, con sus 250 m de altura sobre cimientos, será la sexta más alta del mundo y la primera de América.

La figura 2 representa la geometría de la cerrada y su esquema geológico.

La figura 3 es una sección tipo de la presa con sus distintas zonas.

El volumen de la presa se aproxima a los 15.000.000 de m³, que se distribuyen de la siguiente manera: 10,60 millones de metros cúbicos de roca, 2 millones de metros cúbicos de aluvial y 2,30 millones de metros cúbicos de material impermeable. Los primeros provienen esencialmente de las excavaciones de distintos elementos del proyecto, como aliviadero central, túneles, etc.; gran parte de ellos están ya almacenados. Los materiales aluviales, ya acopiados en parte, se extraen del lecho del río aguas abajo de la presa. Los materiales arcillosos procederán de un conglomerado arcilloso y de unas lutitas meteorizadas; este material es el que más problemas encierra y sobre el que aún no ha recaído una decisión definitiva.

Tales materiales deberán ser *procesados* (machacados, cribados y mezclados) para que respondan a las especificaciones de proyecto.

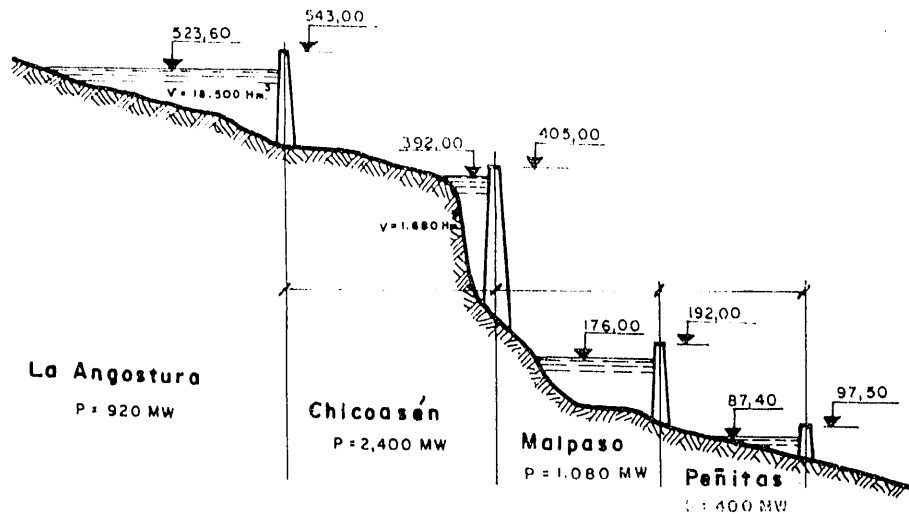


Fig. 1.—Aprovechamiento hidroeléctrico río Grijalva.

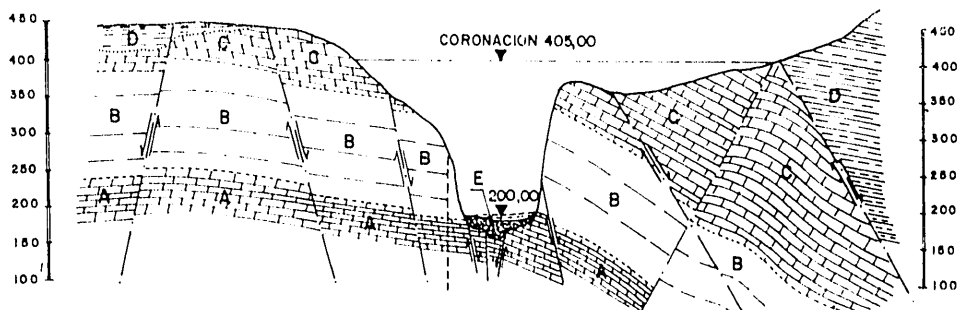


Fig. 2.—Esquema geológico de la Carrada: E) Aluvión; D) Lutitas y margas; C) Caliza estratificada; B) Caliza masiva; A) Caliza estratificada.

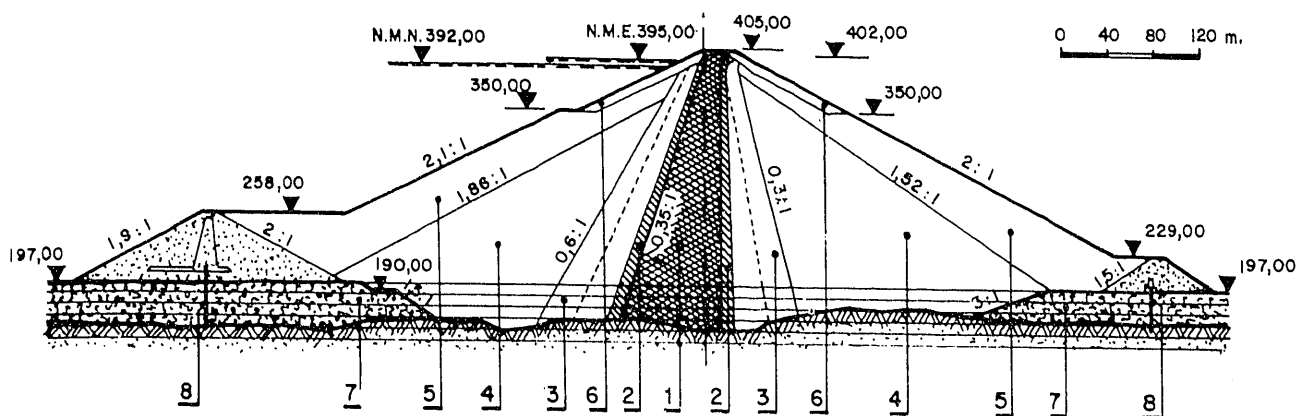


Fig. 3.—Sección tipo Cricoasén: 1) Arcilla compactada; 2) Filtro compactado; 3) Transición compactada; 4) Escollera compactada; 5) Escollera acomodada con tractor; 6) Escollera de gran tamaño; 7) Aluvión; 8) Pantalla impermeable.

Después de este tratamiento se obtendrán los siguientes tamaños:

Mats. arcillosos	$3,99 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial menor de 0,1 mm	$0,12 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial entre 0,1 y 2,5 mm	$0,08 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial entre 2,5 y 5 mm	$0,26 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial entre 5 mm y 3/4"	$1,55 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial entre 3 1/2" y 2"	$0,17 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial entre 3 1/2" y 6"	$0,37 \times 10^6$ Tm
Mats. aluvial mayor de 10"	$0,06 \times 10^6$ Tm
Rocas menores de 2"	$1,53 \times 10^6$ Tm
Rocas entre 2" y 6"	$2,16 \times 10^6$ Tm
Rocas menores de 10"	$3,22 \times 10^6$ Tm
Rocas menores de 20"	$4,60 \times 10^6$ Tm
Rocas mayores de 20"	$1,27 \times 10^6$ Tm

(Estas cantidades incluyen las necesarias para la fabricación de los distintos hormigones.)

La breve visita a Chicoasén y el estado actual de los tajos —se trabaja en la cimentación en la zona de cauce— no es motivo de eludir la tentación de hacer los siguientes comentarios:

— La forma de cerrada —cuerda/altura = $300/250 = 1,20$ — y su constitución geológica son idóneas para la implantación de una bóveda, que se prolongaría con un estribo derecho artificial de 284 m de longitud y una altura media de unos 20 m. La proximidad de una falla geológica importante (falla de Chicoasén), hoy día no activa, y la sismicidad de la zona, son las razones alegadas para haber desechado aquella solución. Otras razones, para nosotros de más peso, han tenido que influir, sin duda, en esa deci-

sión: una mayor experiencia del país en la construcción de presas de materiales sueltos y un plazo más breve para los trabajos; se habla de la posibilidad e intención de colocar 1.000.000 de m³ de material al mes.

- Laderas tan escarpadas y alta actividad sísmica son condiciones favorables para la fisuración del núcleo. Este problema no ha podido escapar a la atención de los proyectistas y, si bien el núcleo parece algo estrecho, a ello puede deberse la zonificación de la presa con tamaños de material muy graduados.
- Es de destacar los reducidos espesores de tongadas en que han de colocarse los materiales: 30 cm para núcleo, filtros y zonas de transición y 50 cm para los espaldones; todos ellos compactados con vibración. Lo anterior, junto a la selección del material, trata de lograr la menor compresibilidad de la estructura.
- El gran ritmo de colocación del material y la estrechez del tajo harían inviable un transporte con camiones; se resuelve con cintas transportadoras. Es impresionante el conjunto de instalaciones. Las rocas de las excavaciones de aguas abajo llegan por gravedad a una planta de selección y trituración ubicada en una caverna en el estribo izquierdo; de ella, reducidos a tamaños inferiores a 10", se transportan por cinta a una segunda planta situada al pie de aguas abajo de la presa. Aquí se unen los materiales alu-

vionales y arcillosos y en ella tienen lugar los procesos de selección, trituración y lavado. Dos cintas, con una capacidad conjunta de 6.000 Tm/h, llevan el material al tajo. Las rocas procedentes de las excavaciones de aguas arriba son tratadas en otra planta para obtener unas dimensiones máximas de 20" y transportadas al tajo por una tubería semivertical anclada en la ladera. El coste estimado de estas instalaciones es de un dólar por metro cúbico de material a colocar.

- El reducido tamaño máximo de la escollera responde no sólo a limitación impuestas por las cintas transportadoras, sino, y sobre todo, a unas mejores características mecánicas de los espaldones (ver Marsal, en *Presas de tierra y enrocamiento y Embankment-dam engineering. Casagrande volume*).
- La mayor parte de los productos de excavación de los diversos elementos (aliviaderos, túneles, centrales) son colocados en la presa. Si alguien se sorprende por las grandes excavaciones realizadas en los aliviaderos de superficie (por ejemplo, presa de La Angostura), debe recordar que son parte de la cantera de la obra.
- El "processing" (tratamiento) permite utilizar materiales que en su estado natural no reúnen las condiciones adecuadas, pero que su proximidad al tajo las hace interesantes. El empleo de materiales procesados para presas es muy frecuente hoy día en todos los países; la presa de Chicoasén representa un caso extremo. En España parece que esta técnica nos "asusta".
- Las dos presas vistas, cuyo fin primordial es la producción de energía eléctrica, comprobamos prestan gran atención a la laminación de las puntas de avenidas. Así, Chicoasén reserva 490×10^6 m³ para el control de avenidas, de su capacidad total de 1.680×10^6 m³, y La Angostura, cuya avenida de proyecto es de 23.000 m³/seg, tiene un aliviadero para un desagüe de tan sólo 6.900 m³/seg. Por supuesto, en ambas presas sus aliviaderos son controlados: nueve compuertas de tipo Taintor, de

19 m de altura, en la primera; seis de las mismas características en la segunda.

* * *

La visita a países como Gales o como Méjico produce, sin duda, en el viajero una gran impresión sensitiva y anímica sobre las características culturales, humanas y ambientales, especialmente el marcado contraste en las condiciones que antes llamábamos geopolíticas.

El breve contacto con las culturas de Welsh, representadas en el Museo Nacional de St. Fagans Castle, y el de las civilizaciones precolumbinas, representadas en el maravilloso Museo Nacional de Antropología de Méjico, y algunos de cuyos vestigios tuvimos la oportunidad de contemplar en el viaje de estudios —cultura teotihuacana (pirámides de Teotihuacán), culturas zapotecas y mixtecas (ruinas de Monte Albán y Mitla), cultura maya-tolteca (ruinas de Uxmal y Chichén-Itzá)—, merecerían un comentario más extenso; sucede que acudimos a estas reuniones a tratar temas de presas; otras impresiones quedan para meditación de quienes suscriben.

Relacionado con el tema político, no podemos dejar de mencionar cierta tendencia observada en las obras hidráulicas mejicanas, tai es la de construcción de pequeños embalses, balsas o charcas de regadío, como solución de problemas agrarios análogos a los españoles. Tales depósitos, con cierre de tierra, realizados por los propios agricultores con el auxilio técnico y asesoramiento no gravoso del Ministerio correspondiente, apuntan hacia una política de desarrollo agrario que, nuestros amigos mejicanos, propugnan con visión clara.

Y en la línea de producción de energía destacamos que el 54 por 100, que supone cuatro millones de kilovatios (1973), proceden de plantas térmicas, parte apreciable de las cuales son instalaciones geotérmicas, en la costa oriental del país, donde se conocen 120 focos termales, desde Tijuana, en la baja California, hasta el volcán Tacaná, en el extremo sur. De ellos, están en servicio las centrales de Pathé y Cerro Prieto, ambos al norte, en los Estados de Hidalgo y Mexicali, estudiándose los campos de Los Negritos e Ixtlán, en proceso de investigación geofísica.

Este esfuerzo para conseguir una máxima autonomía energética del país nos parece un final digno para nuestro informe.