

ESTUDIOS PREVIOS PARA ELEGIR LA PRESA OPTIMA

Por RAFAEL NIETO CUFÍ
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Con las presentes páginas se concluye el artículo comenzado en el número anterior, que por su extensión se hicieron dos partes.

4. Geotecnia.

Con el examen geotécnico (a base de ensayos *in situ* y en laboratorios) de los distintos terrenos, completa el proyectista su conocimiento acerca de la capacidad portante y cualidades principales de la infraestructura. Del análisis de los ensayos puede descartar las soluciones inseguras y pronunciarse ya, con satisfactoria garantía, sobre ubicaciones preferibles para las distintas partes del aprovechamiento hidráulico entre la gama de los casos posibles. Por ejemplo, se perfilan ya las alternativas de elección entre presas de fábrica o de materiales sueltos, de trazados según canales o según túneles.

Los ensayos *in situ* se realizan normalmente en galerías, caso de rocas, y al aire libre, en caso de tierras. Requiere un instrumental especial y son lentos de preparación. Se investiga, en rocas:

El *módulo elástico* y de *deformación*, con gatos de gran y pequeño diámetro, con basímetros o elongómetros sometidos a cargas conocidas, con dilatómetros en el interior de sondeos y con los gatos especiales tipo Rocha. La fluencia de las rocas a cargas permanentes y repetidas se obtiene también de estos ensayos.

La *resistencia al corte*, sobre paralelepípedos de gran o pequeño tamaño, con una de sus caras unida al macizo. Es de interés destacar que las pruebas, para mayor precisión, deben ha-

cerse con la mayor presión normal posible. Dan el ángulo de rozamiento y la cohesión del terreno.

Los ensayos *de laboratorio*, para rocas o tierras, sobre pequeñas probetas recortadas de puntos distintos y en direcciones distintas, pueden darnos valores de ángulo de rozamiento y cohesión de muestras saturadas o no mediante el *triaxial*; módulo elástico, con prensas apropiadas o combinadas con deformámetros ultrasensibles; resistencia al corte, con el aparato de Casagrande o análogo; consolidación en el tiempo, con *edómetro*; desgaste, con aparato Los Angeles; permeabilidad, con *permeabilímetro* o analogías eléctricas; porosidad; granulometría; límites de Atterberg; Proctor normal y modificado; densidad; absorción de agua; composición química de rocas, suelos y agua; presiones intersticiales, y expansividad de arcillas. Estos ensayos son, en su mayoría, de fácil y económica obtención, por lo cual se destacan amplias series de muestras, incluso con su evolución en el tiempo, que se llevan al laboratorio para examen. No ocurre igual con los ensayos *in situ*, más costosos y lentos, cuya repetición se procura reducir al mínimo. Tanto en uno como en otro caso, el ideal es experimentar a partir de muestras, con orientaciones en abanico para la roca o suelos homogéneos, y siguiendo la dirección de los accidentes principales y de sus normales, para cada tipo diferente de macizo o terreno afectado por las obras. Este ideal se ve frecuentemente coartado por condicionantes de precios o de plazos.

Fig. 4-1. — *Diagrama de Schmitt:* Nos da, gráfica y claramente, indicación de los planos de diaclasas más frecuentes. Tiene valor estadístico deducido del examen de distintas zonas de la cerrada y sus cercanías. Los puntos son la representación del polo del plano de cada diaclasa.

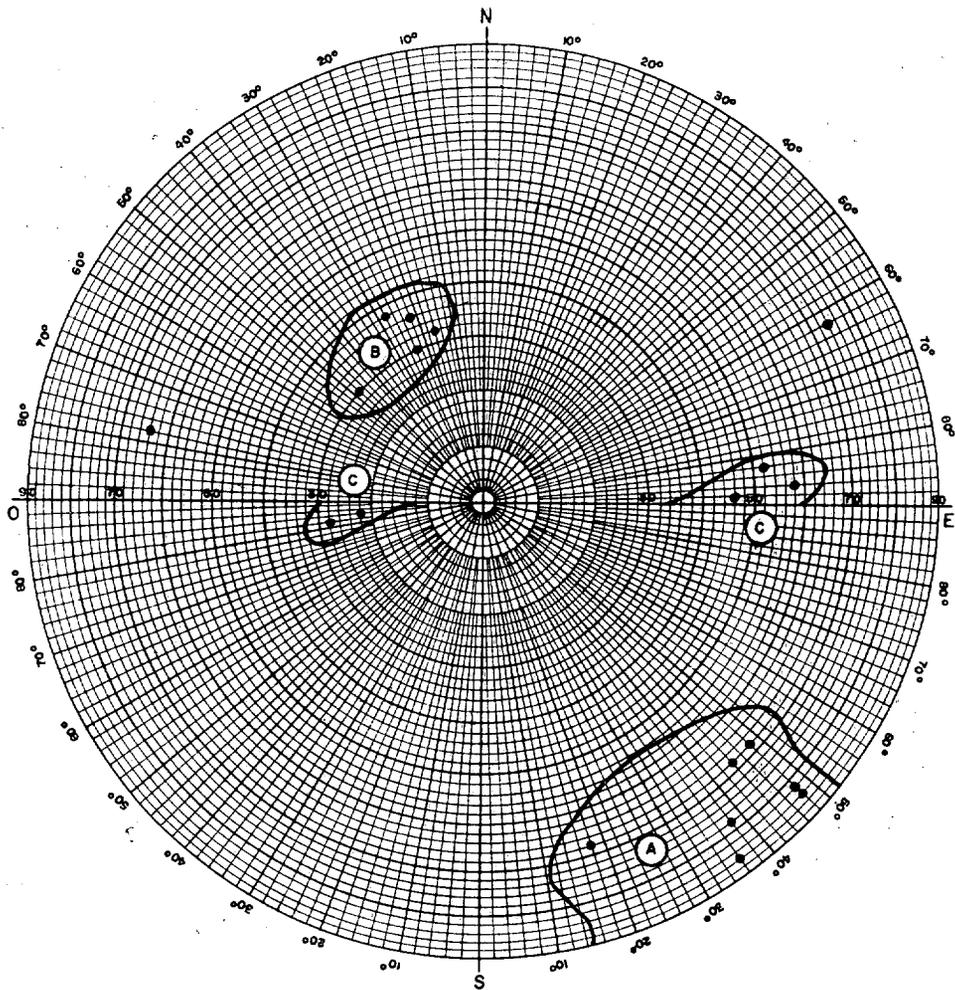
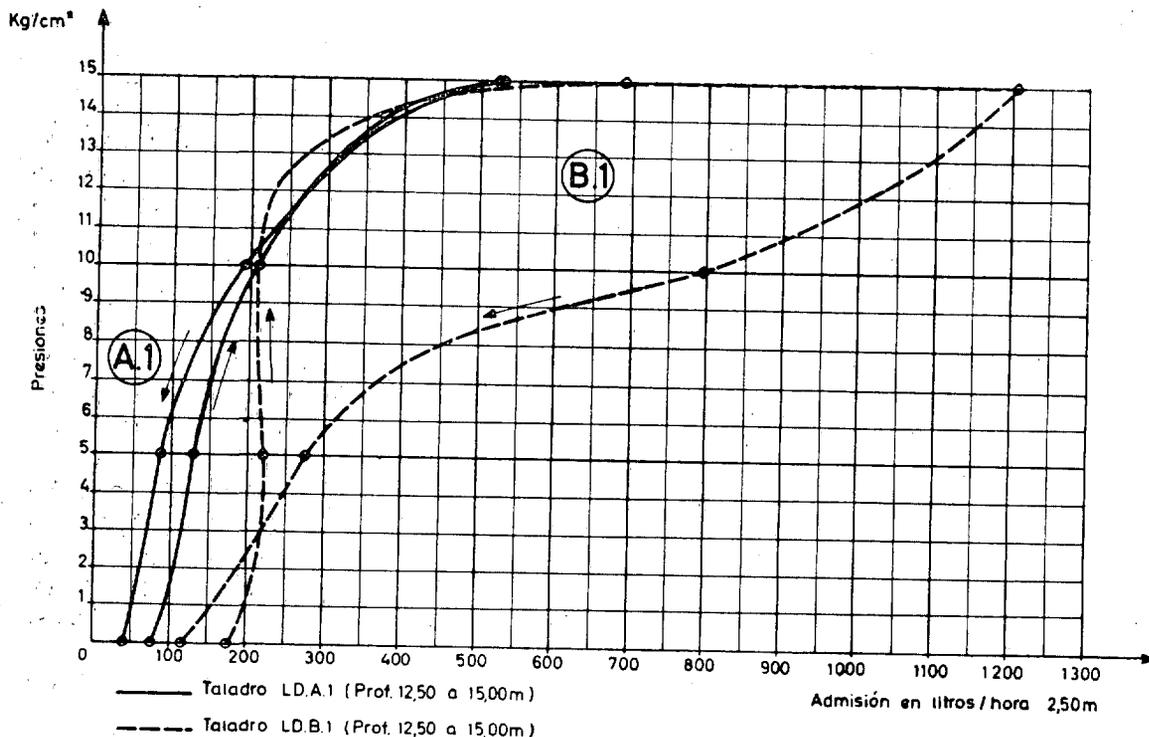


Fig. 4-2. — *Análisis de las pruebas de permeabilidad:* En cualquier presa es esencial la atención al terreno de apoyo. Estas pruebas son muy representativas. Obsérvese que el taladro A.1 absorbe menos en el ciclo decreciente (normal); pero el B.1 acusa mucha mayor permeabilidad, señal de que el terreno es deficiente o que la inyección ha reventado la roca de alrededor (vigilar estos ciclos anómalos).



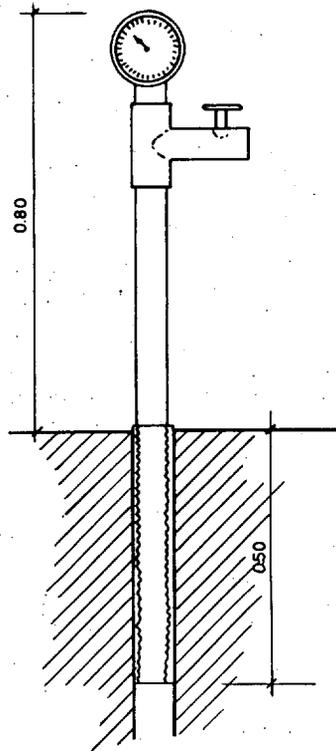
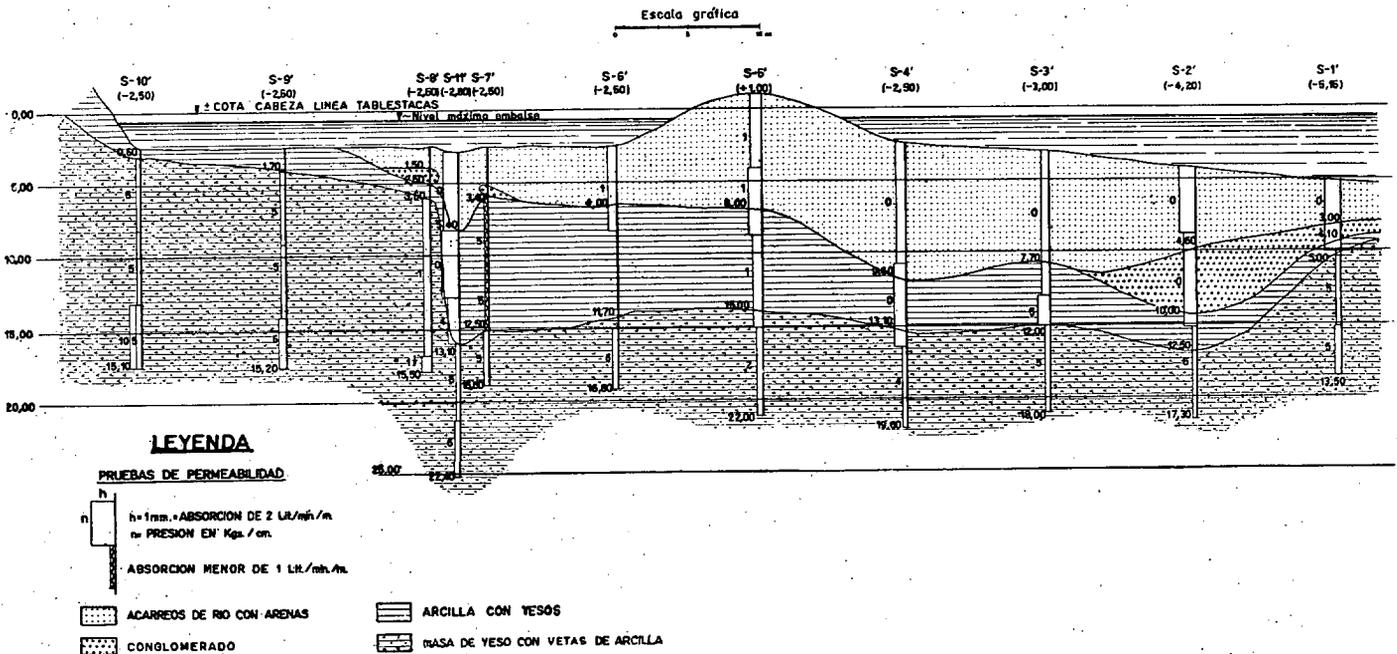
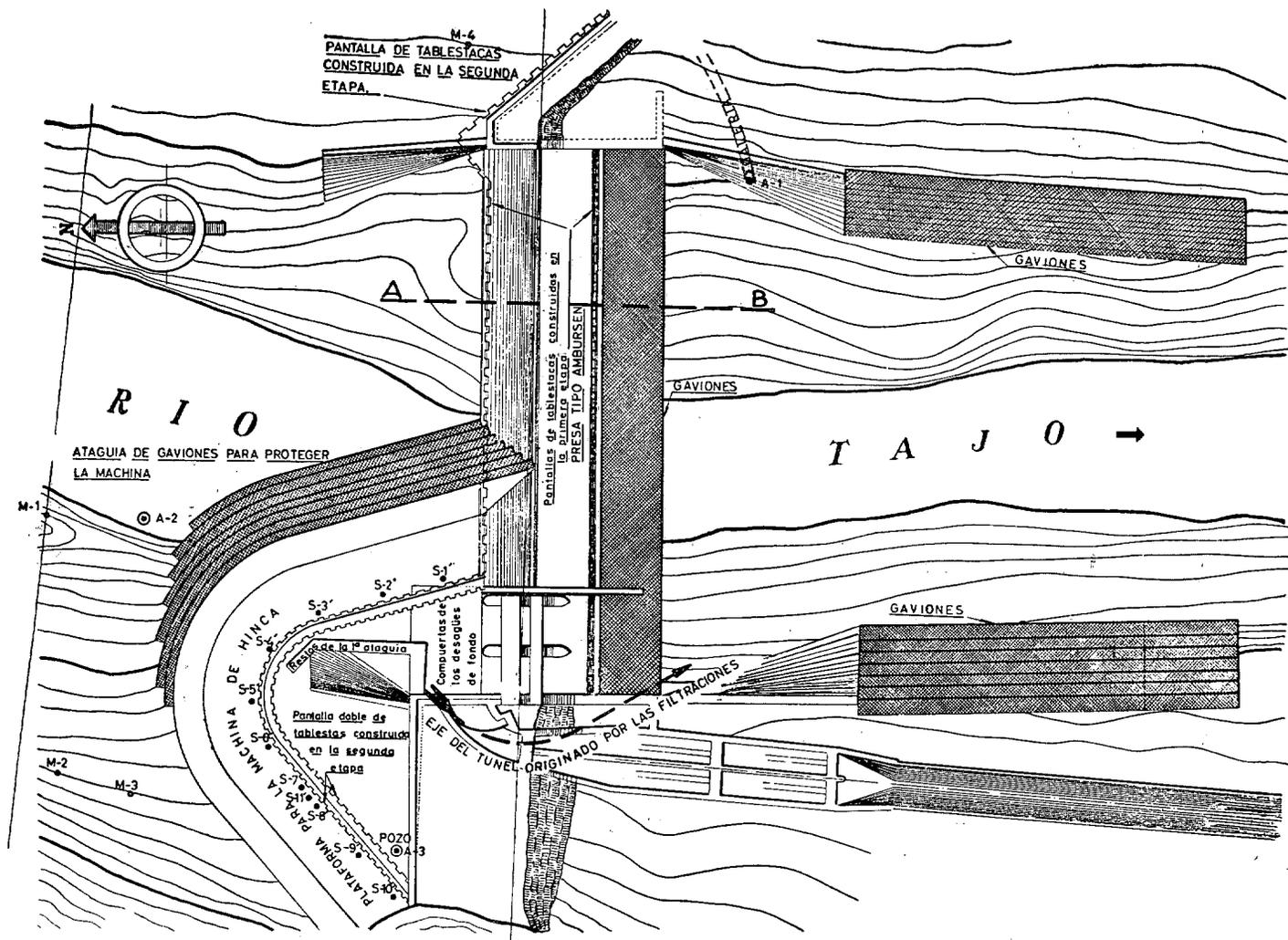


Fig. 4-3. — Emboquillado de drenes: La utilidad del dren se basa principalmente en su facilidad para permitir medidas de pérdidas (a través de grifo o agujero) y de subpresiones (por manómetro sensible). El gráfico adjunto puede ser un sistema aceptable.



Figs. 4-4 y 4-5. — Presa de Estremera. Corte geológico y estribo derecho: Este ejemplo muestra la posibilidad de cimentar una presa en terreno yesífero, con garantía. Evitando circulación de agua, la fundación de la presa ha permanecido estable y sin apenas anomalías.



Planta de la presa de Estremera y de la ataguía consiruida en la margen derecha para efectuar las obras complementarias de aislamiento de yesos:

Figura 4-6.

5. Examen de materiales de construcción.

Los materiales principales para construir las obras, salvo cemento y acero, deben extraerse en el ámbito de la cuenca que se estudia o en sus inmediaciones. Se reconocerán, por consiguiente, los yacimientos y canteras posibles y se realizará con ellos ensayos sistemáticos. En cualquier caso, interesa establecer el volumen disponible.

Si se trata de *áridos para presa u otra obra de fábrica* convienen ensayos de: granulometrías óptimas, para los hormigones de diferentes dosificaciones y resistencias; resistencia de áridos y de hormigones; trabajabilidad, variando el agua, los aditivos plastificantes y la gra-

nulometría; desgaste; absorción de agua y porosidad; densidad; reacciones álcali-árido; módulos elásticos en el tiempo y fluencia de hormigones con cargas permanentes y alternadas.

Para los cementos pueden interesar los ensayos de: resistencias en el tiempo, calor de hidratación, finura de molido, fraguado, expansión, ataque por el agua del futuro embalse.

Si se trata de *presas de materiales sueltos* es recomendable experimentar de modo parecido a como citamos en el epígrafe Geotecnia, para ensayo de suelos y, además, estudiar la compactación del material en las denominadas "áreas de ensayo", en función del mecanismo compactador, de las pasadas, de la humedad y de la altura de tongadas.

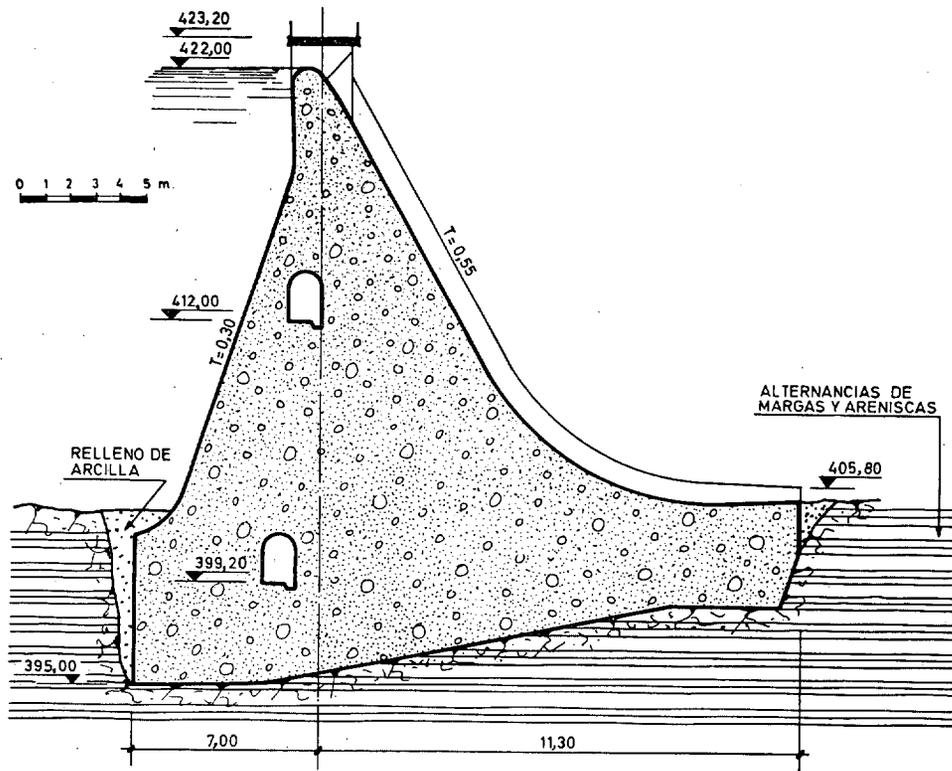
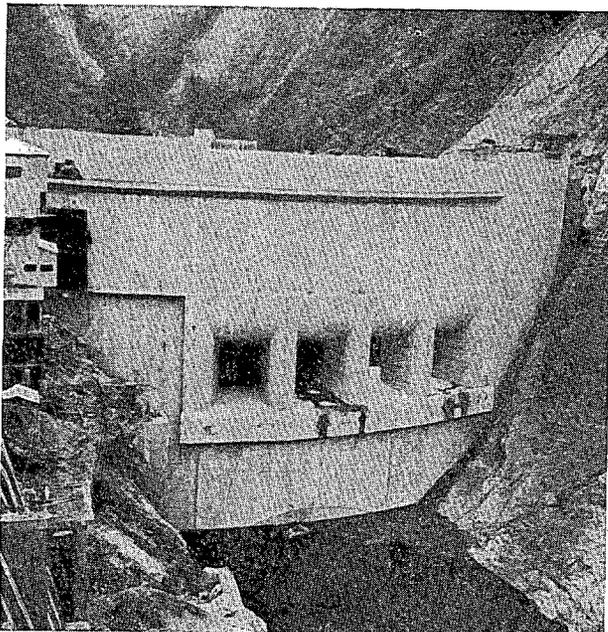


Fig. 5-2. — Presa del Grado II: Problema de cimiento también sensible al deslizamiento (alternancia de areniscas y margas de bajos coeficientes resistentes). Se solucionó empotrando más profundamente y dando rampa hacia aguas abajo para mejorar la componente $N \operatorname{tg} \phi$.



En cualquier caso, deben señalarse en un mapa las distintas procedencias, su volumen y, para los cálculos de rentabilidad, conviene deducir los costos de extracción, transporte y puesta en obra de cada uno. En este sentido, habrá de preverse una red de comunicaciones, tanto para acceso a la obra desde las fábricas y poblaciones del exterior como para el desenvolvimiento adecuado de las actividades futuras.

Fig. 5-3. — Presa de Kukuan (Formosa): Bóveda, 80 metros: Obsérvese en 5-3-2 el buzamiento poco favorable de los estratos; la litoclasea margen derecha, favorable al deslizamiento; los "argayos" de la izquierda, propensos al corrimiento. No obstante estas bases poco propicias, véase en 5-3-1 y 5-3-3 la feliz combinación de un drenaje, inyección y anclaje apropiado de la roca; también el correcto trazado de la presa, con incidencia óptima sobre las laderas. Finalmente, como dispositivo de seguridad, el cuádruple aliviadero en carga para vaciado rápido en caso de emergencia.

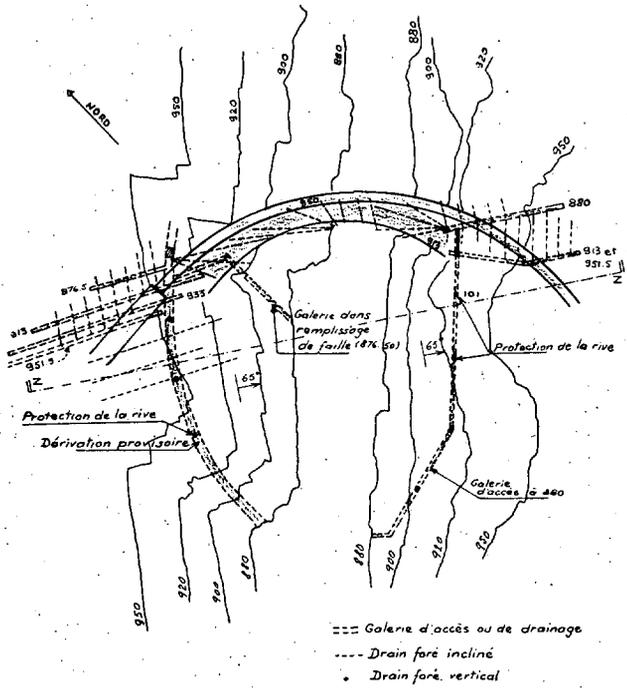


Figura 5-3-1.

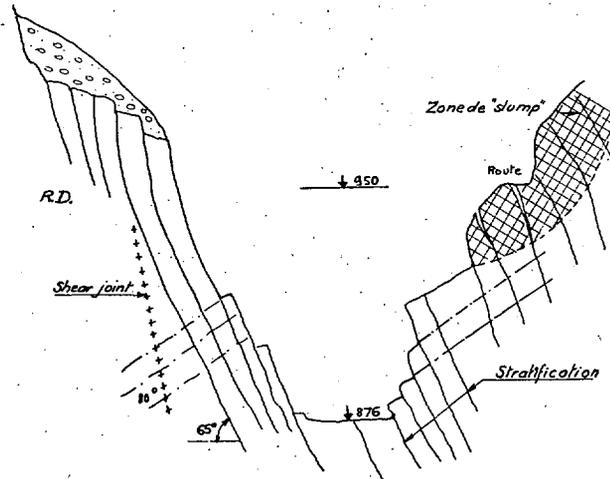


Figura 5-3-2.

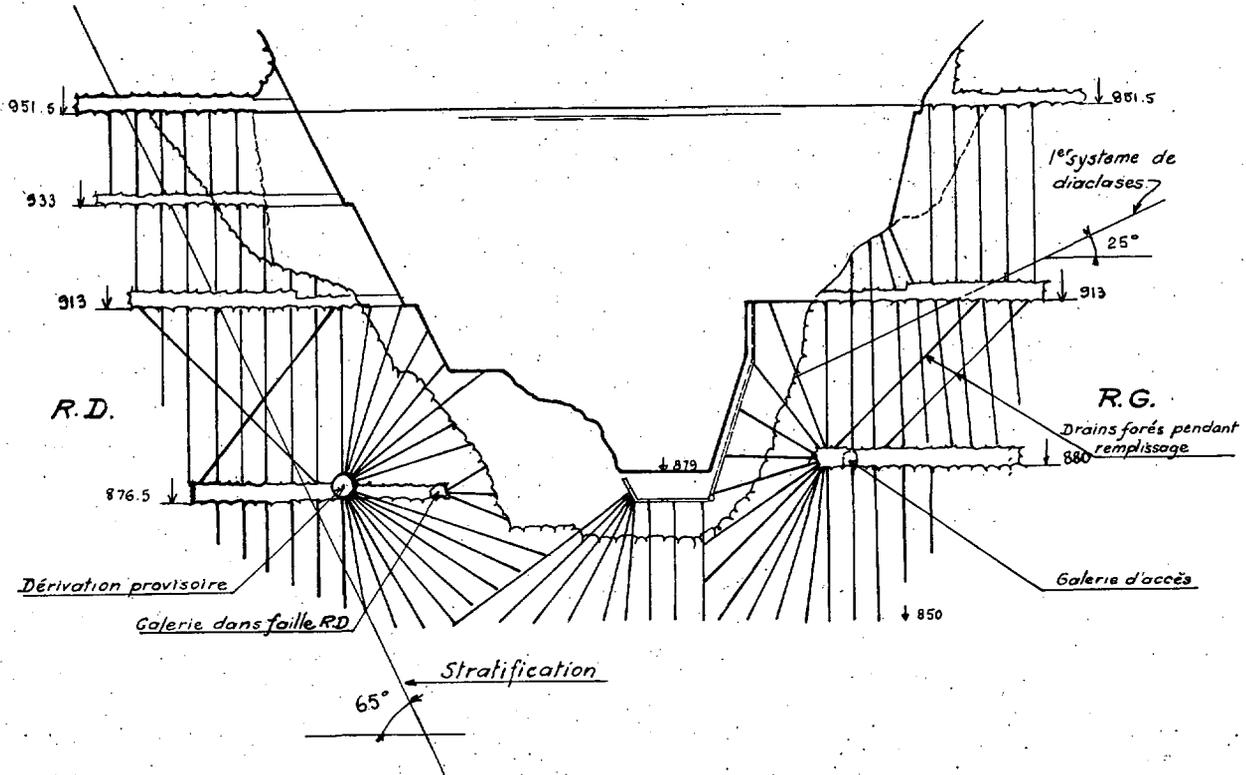


Figura 5-3-3.

6. Desagües de la obra.

Son partes de mucho compromiso en las obras hidráulicas y es aconsejable estudiarlas detenidamente.

Supuestas conocidas las avenidas máximas a evacuar, obtenidas a partir de los cálculos hidrológicos, conviene deducir análogamente las avenidas correspondientes a períodos de recurrencia menores para perfilar otros elementos de la obra. Así, por ejemplo, la *ataguía* y *desvío* del río convendrá dimensionarlos para avenidas máximas previsibles en un período análogo, o doble o triple, del plazo de la obra, según la importancia de los daños producidos por riadas.

Los *aliviaderos*, complementados o no por

desagües de fondo, intermedios y tomas, según las normas de cada país, conviene dimensionarlos para desaguar las avenidas de quinientos o de mil años. Puede proyectarse un resguardo superior u obra muerta para laminar riadas. En correspondencia, se proyectarán los dispositivos de amortiguación de energía de cada caso.

Como norma que estimamos de conveniente aplicación, citamos la Instrucción española del 27 de octubre de 1967. En su artículo dedicado a desagües dice:

“La suma de caudales evacuados por todas las compuertas, con el embalse a su máximo nivel normal (sin contar el resguardo), no debe ser superior al caudal de la avenida de cincuenta años.

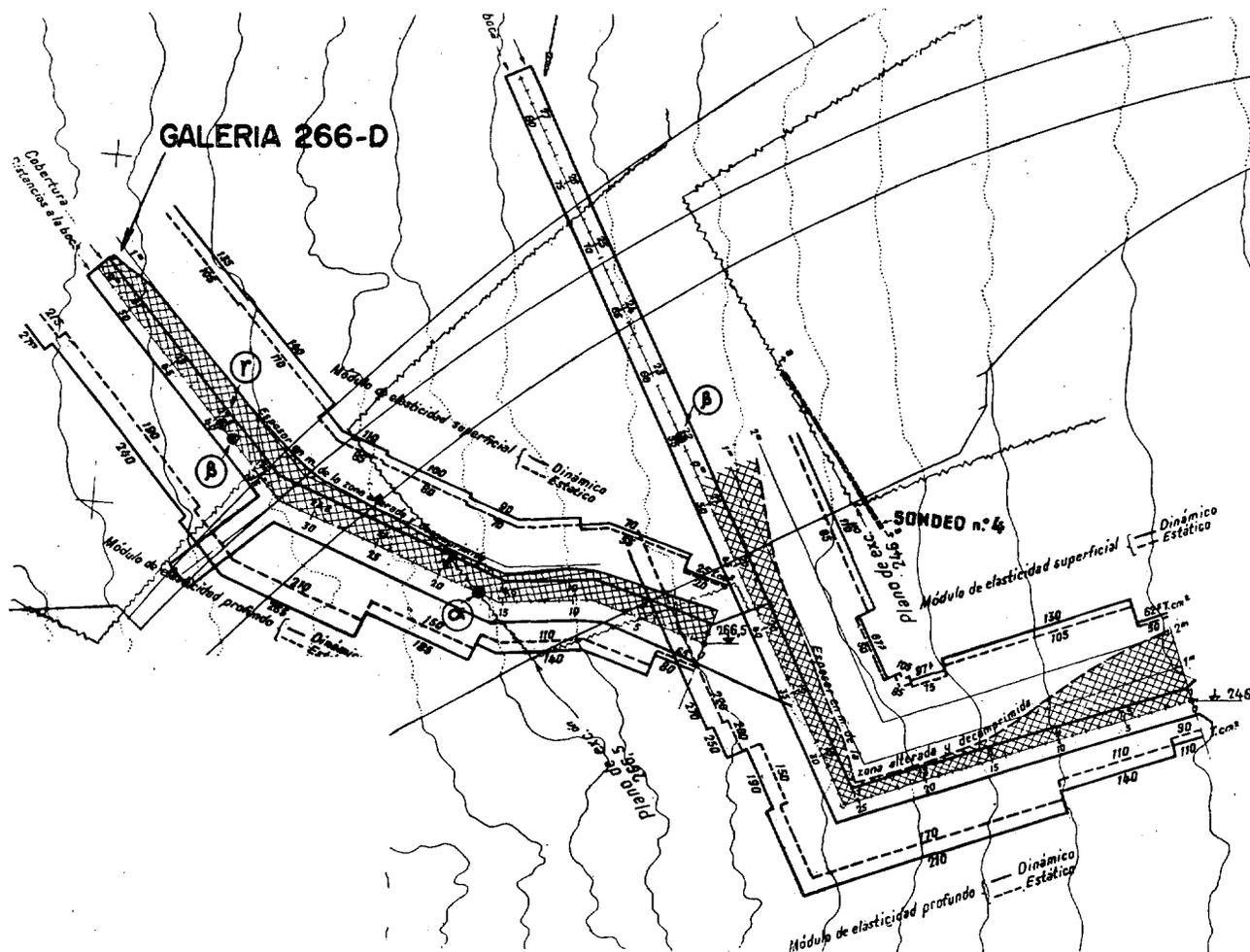
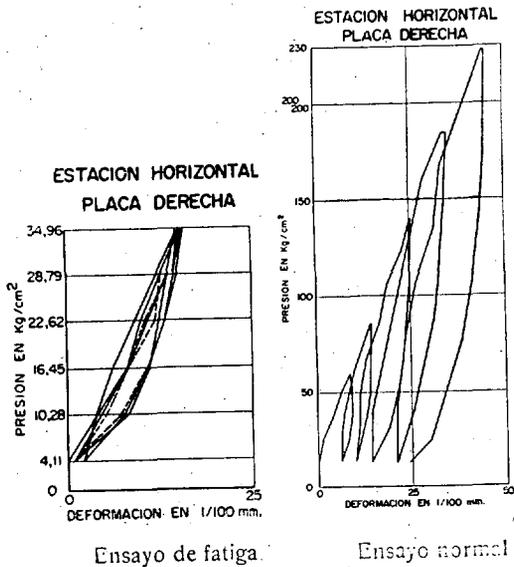


Fig. 6-1. — Presa de Valdecañas (Tajo): Ladera derecha (planta en trazo fino). Prospección geofísica: Reconocimiento módulos elásticos, dinámico por sísmica, estático por gatos, a lo largo de galerías, cotas 246 y 266,5. Obsérvese: 1.º, que los módulos dinámicos son superiores a los estáticos; 2.º, el entorno de galerías y las capas superficiales del terreno, más decomprimidas. Menores módulos.

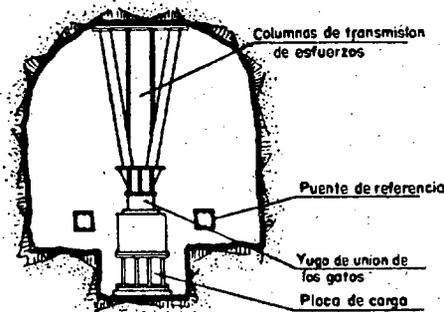
La altura de la presa tendrá un resguardo que permita laminar la avenida máxima en colaboración con los desagües disponibles.

Los aliviaderos con compuertas serán de, al menos, dos vanos y se podrán maniobrar con energía procedente de dos fuentes distintas y, además, a mano.

Los desagües profundos, que pueden servir para regular el nivel de embalse y permitir su vaciado en tiempo prudencial, deberán tener capacidad de desagüe con embalse a media altura, tal que los desagües de fondo podrán evacuar, como mínimo, el caudal medio del río.



Figs. 6-2 y 6-3. — Presa de Valdecañas (Tajo): Ensayo interior galería cota 266, margen derecha. *Ensayo de fatiga:* Obsérvese que los repetidos ciclos de carga (hasta 35 kilogramos/cm²), convergen en análoga deformación, 15/100 mm., pero mejoran ligeramente el módulo elástico —tangente final más rígida—. Se aprecia también la pequeña deformación permanente, unos 3/100 mm., resultado del cierre de fisuras. *Ensayo normal:* Obsérvese que con ciclos de carga crecientes, hasta 230 Kg./cm², muy superiores a las solicitaciones de la bóveda, el terreno mantiene prácticamente los módulos elásticos, tangentes casi paralelas, tanto en fases crecientes como decrecientes.



Ensayo de placa de carga.

Figura 6-3.

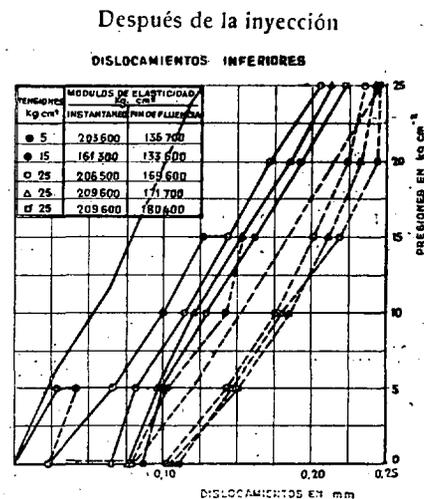
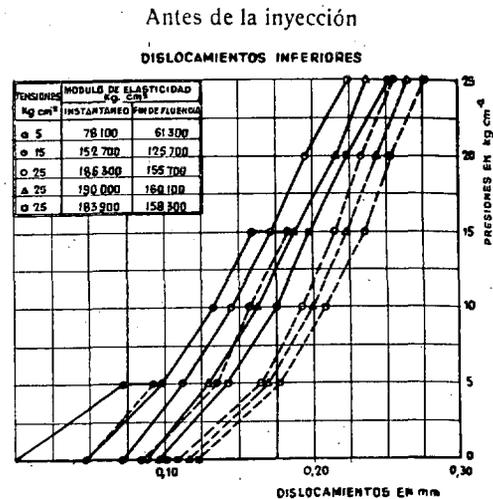
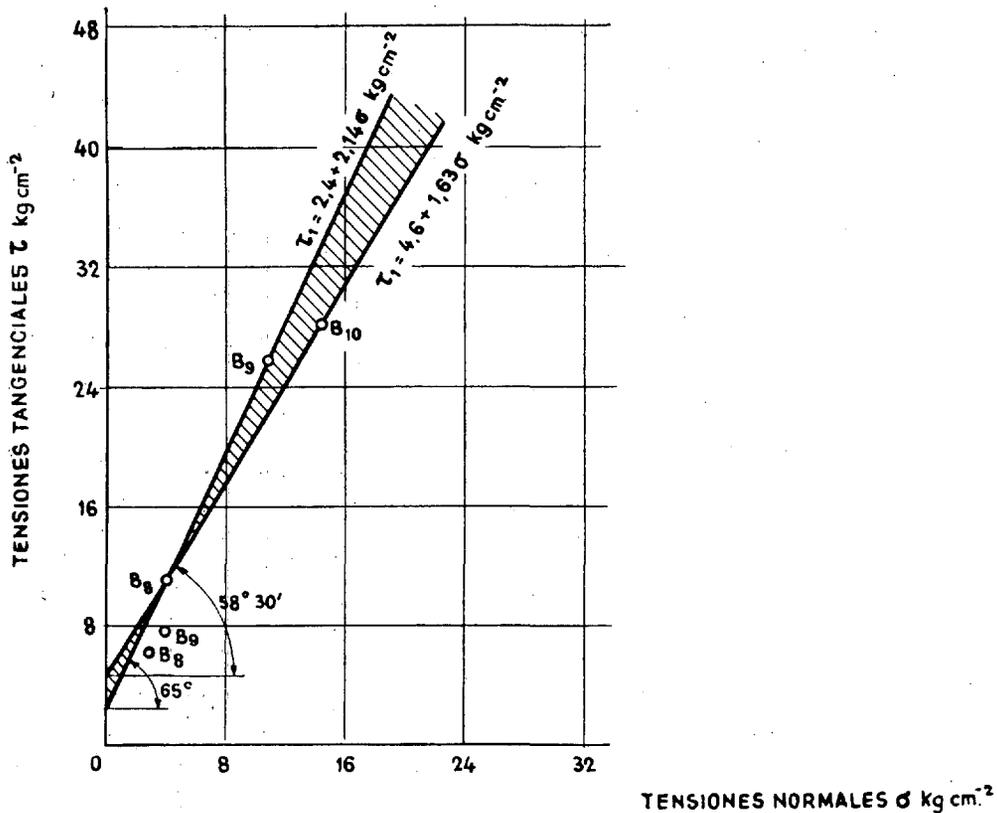


Fig. 6-4. — Presa de Valdecañas (Tajo). Ensayo vertical de E, antes y después de inyectar, en galería cota 266, margen derecha. Obsérvese en los cuadritos-resumen de E en los distintos ciclos de carga, 5, 15, 25 Kg./cm², que tal módulo mejora con la inyección. Atención: esto no es regla general, ya que depende de la calidad e idoneidad de la inyección realizada y, notablemente también, del tipo de terreno. Este caso de Valdecañas era apropiado por tratarse (en la zona que comentamos), de roca dura, estable y con fisuras que permitían la entrada de lechada. Es interesante también la fluencia de la roca, casi 20 % aproximadamente, con simplemente 30' de aplicación de las cargas.



● *Rotura franca*

○ *Valor correspondiente a la inversión de aguas abajo.*

Figs. 6-5 y 6-6. — Presa de Valdecañas (Tajo). Ensayos de corte sobre probetas de roca $70 \times 70 \times 32$ cm.: En este caso, las dos series de ensayos dan resultados B, que se han hecho según planos paralelos a la esquistosidad ($\varphi_1 = 65^\circ$ y $c_1 = 2,4$ Kg./cm.²; $\varphi_2 = 58^\circ 30'$ y $c_2 = 4,6$ Kg./cm.²). Otros semejantes deben hacerse según planos normales a tal esquistosidad, pues suelen resultar direcciones dominantes en cuanto a la estabilidad. Atención: Si las fisuras estuvieran rellenas con material de peores características que la roca — y sin probabilidad de expulsión por lavado, etc. — es fundamental ejecutar ensayos de corte según ese material y según el contacto de él con la roca.

Los desagües profundos, de central y de tomas, como mínimo, triple del caudal medio.

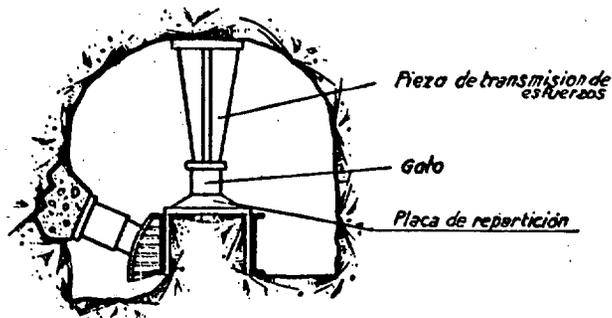
Además, cada desagüe profundo debe tener, como mínimo, dos compuertas, y cada presa, dos desagües de fondo al menos.

En la solución de los problemas hidráulicos de desagüe y amortiguamiento de energía es recomendable su estudio y comprobación en modelo reducido, caso de que las características sean usuales; caso de circunstancias especiales, el ensayo sobre modelo es vinculante."

Los desagües y aliviaderos adquieren singular importancia en las presas de materiales sueltos; para ellos conviene aprovechar, en lo posible, los collados laterales de garantía. En presas de fábrica es procedimiento normal y económico el vertedero sobre presa cuando se puede.

La tendencia moderna es encomendar a los desagües de aligeramiento la evacuación de gran parte de la avenida máxima.

Tiene la ventaja de vaciados rápidos en caso anómalo, y el inconveniente de su posible in-



Ensayo de corte *in situ*.

Figura 6-6.

utilización (en casos de arrastre fuerte de sedimentos o en grandes deslizamientos de ladera) con peligro para la presa y su zona de influencia.

En la ubicación conveniente de presas ha de tenerse en cuenta que la curva de remanso, con embalse a su máximo nivel normal, no inunde poblaciones, industrias o explotaciones agrícolas de elevado interés, y que debe instalarse un sistema de aviso rápido, a los ribereños de aguas abajo, para las ocasiones de desembalses imprevistos o extraordinarios.

Historieta tercera: "La eterna juventud."

Pasaba quince días de sesteo veraniego en Heidelberg. Coincidió que varios días, a la misma hora, me cruzaba con una larga hilera de ancianitos que, solos o con sus esposas, seguían cierto camino. Estarán en tratamiento, pensé. Pero al fin, como no tenían aire de enfermos, pudo más la curiosidad: les seguí hasta... la Universidad. Realizaban unos cursillos de verano junto con otra muchedumbre juvenil.

¿Serán esas las píldoras Voronoff?

España no es totalmente diferente. Cuando paso de noche, todo lo veloz que permiten los caminos, esos pueblos perdidos en las sierras, una estampa se me hace familiar. Es una luz mortecina, que alumbraba una sala descarnada, generalmente a la salida de los villorrios. Y, entre zagales, unos hombres enjutos, bien tallados ya, siguen con admiración las evoluciones del puntero que maneja ante una pizarra el otro, el de corbata.

7. Obras accesorias.

El complemento de instalaciones, al servicio directo o indirecto de la obra principal, y las repercusiones en su zona de influencia pueden, en ocasiones, desviar la elección del emplazamiento óptimo hacia determinada solución.

Incluimos bajo el concepto de obras accesorias: *caminos, variantes, poblados, desvío del río y ataguías, suministro de energía y agua, telecomunicación.*

Los accesos iniciales, para reconocimientos, pueden ser elementales: pistas, helicópteros. Para el desarrollo de la obra, en cambio, son indispensables unos *caminos* que la relacionen con otras vías de la región y entre sí misma. Se habrá de proyectar una red capaz de sopor-

tar tráfico pesado (áridos, cemento, hierro, maquinaria); luego se tendrá en cuenta los puentes, nuevos o preexistentes, que deben ser de ancho y gálibo suficiente y resistentes. Otra red de menor importancia ha de preverse para el servicio de los poblados y de la propia obra con posibles puentes o pasarelas.

Las *variantes* se refieren a comunicaciones que queden afectadas por la obra o por la explotación futura.

Los *poblados* deben poseer cierto número de servicios (escuelas, centro comercial y administrativo, centros culturales y de recreo, cantina, iglesia o iglesias, hospital, agua, luz y energía, estadio, teléfono, saneamiento) con bloques de viviendas para solteros y para casados y algunas viviendas aisladas para cierto personal.

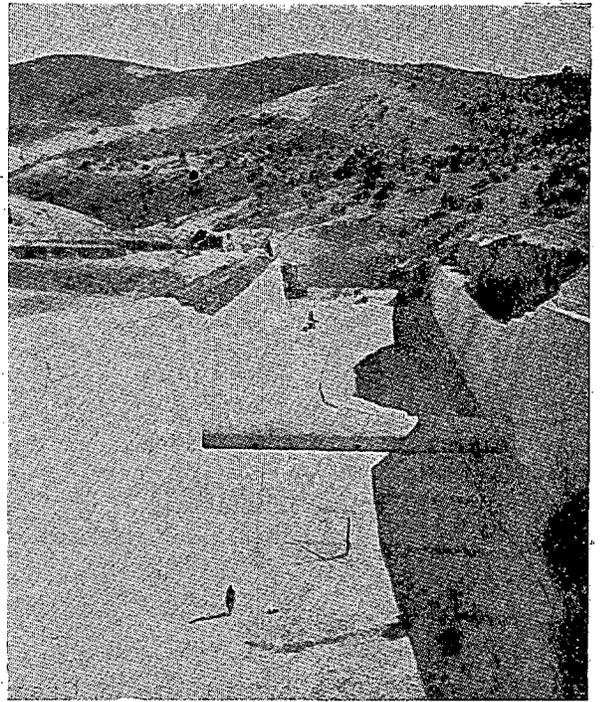
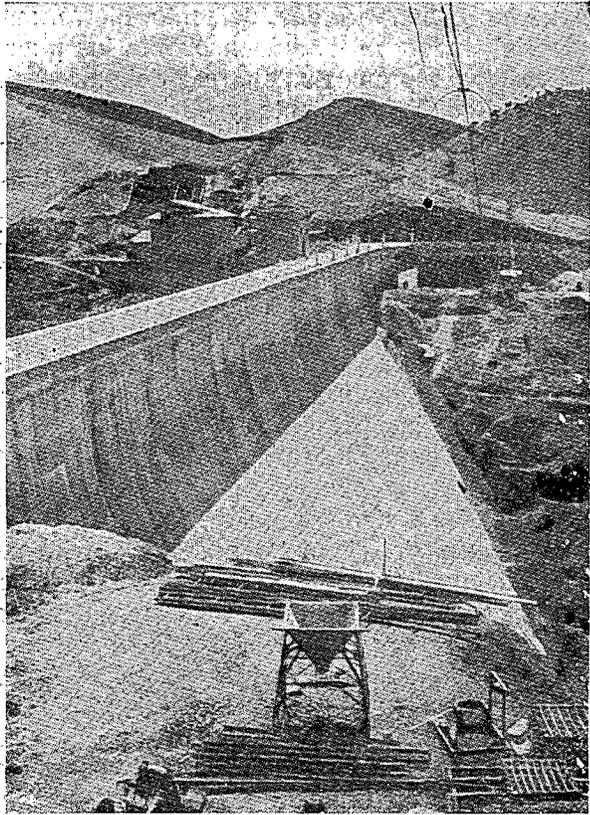
El *desvío del río* debe adaptarse a la anchura del valle y a los caudales circulantes. Se puede hacer pasar el agua primero por una mitad del cauce y después por la otra; hacer una derivación en canal; ídem en túnel (caso frecuente); pasar el río por portillos dejados en la parte baja de la presa, etc., etc. Especial cuidado y seguridades deben ponerse en caso de presas de materiales sueltos y tierra, especialmente.

La *ataguía* o *ataguías* (pues una contraataguía puede ser precisa) cortará el río una vez preparados los desvíos. No conviene ser cicatero en su dimensionado por los trastornos económicos y de plazo que puede ocasionar a una obra en marcha. Quizá interese incluir en ellas una o más compuertas para paso del agua de un lado a otro, a voluntad. Para construir ciertas ataguías es necesario realizar antes unas preataguías (caso normal en ríos caudalosos), que llegan a constituir presas de cierta importancia (por ejemplo, presa de Alcántara, sobre el río Tajo), bien por las necesidades de desagüe citadas antes, bien para constituir una primera reserva de agua antes de que llegue a utilizarse la de la presa principal, o bien porque la instalación de aguas abajo sea muy delicada o no se quiera correr riesgos de demoras.

El *suministro de energía, de agua y las telecomunicaciones* han de preverse con garantía de continuidad y con suficiente holgura.

8. Auscultación.

Debe comprobarse siempre que los supuestos se cumplen, y, caso de que sobre la mar-



Figs. 8-1 y 8-2. — *Presa del Pintado (Viar)*: Presa gravedad y gran aliviadero lateral. Versión que hoy tiende a descartarse, sustituyéndola por la presa-vertedero.

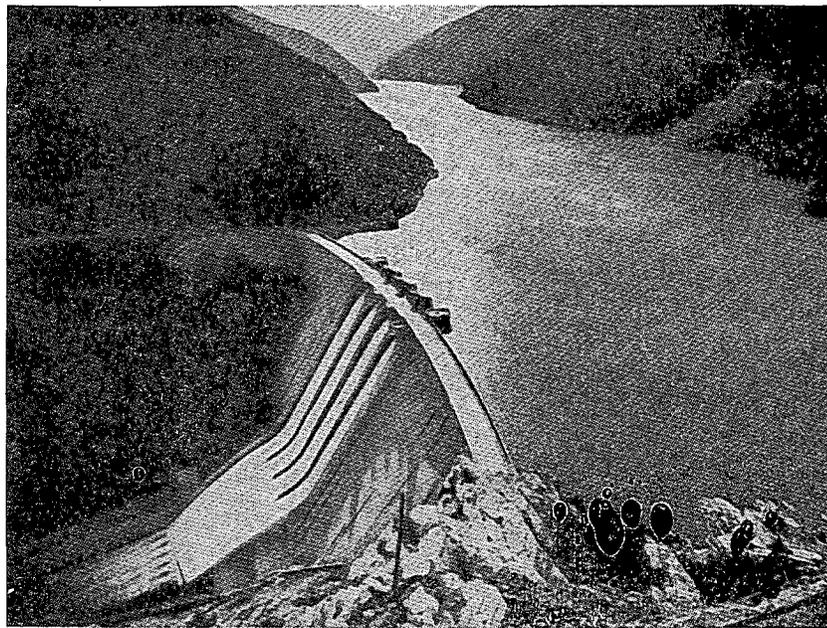


Fig. 8-3. — *Presa de Salime (Navia)*: Presa-vertedero con deflexión del Creager. Ejemplo de lo que antes se cita; la deflexión compaginó correctamente, tras ensayos hidráulicos, el vertido con el paso sobre la central.

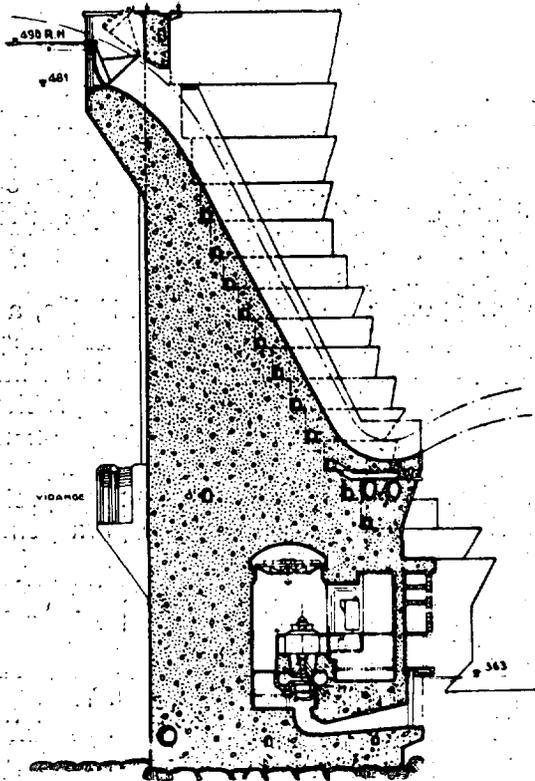


Fig. 8-4. — Presa de Monteynard (Francia): Un paso adelante en la técnica hidráulica. El vertido sobre la central se hace sobre ella misma, en salto de ski.

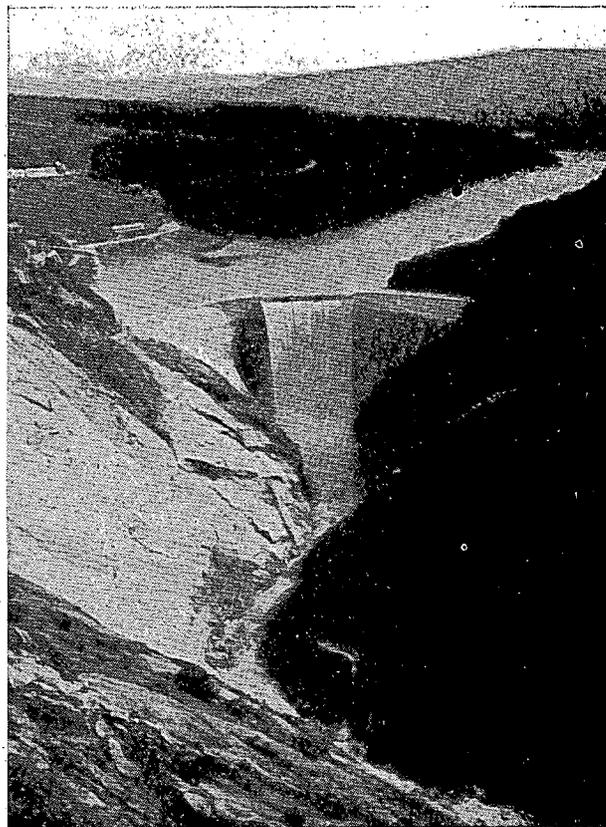


Fig. 8-5. — Presa del Eume (Eume), vertiendo: La técnica hidráulica avanza. El vertido, sin apenas vertedero. Un ingenioso desplome del perfil permite lanzar el chorro lo suficiente lejos del pie de presa para que la gran hoya no afecte la seguridad del cimiento —o mediante cuenco amortiguador—.

cha se aprecien diferencias, es aconsejable prever dispositivos de reajuste o de cambio radical con la menor lesión a los intereses en juego.

En tal sentido, conviene incluir un programa de sistemas de control de los factores que juegan decisivamente en la elección, y ello desde el primer momento. Así, para la:

Hidrología, instalando pluviómetros, pluviógrafos, termómetros, estaciones de aforo, etc., que permitirán ajustar la capacidad de embalse y la de desagüe.

Geología y geotecnia, ampliando en el tiempo los reconocimientos del terreno, de los distintos materiales, descubriendo nuevos elementos de juicio: accidentes, corrimientos, manantiales, fugas de agua, cavernas, yesos, todo ello mediante revisión ocular más detenida o con más sondeos, galerías, prospecciones y ensayos. Experimentación más completa de los materiales de previsto empleo y de otros nuevos posibles al localizar imprevistos yacimientos.

En general, se debe permanecer atento para captar las primeras impresiones que se produzcan en desacuerdo con el esquema previsto, y

de ahí acoplarse, con la menor dificultad y en el menor tiempo, a la nueva situación óptima. Conviene siempre dejar el camino expedito para variantes parciales o totales y bosquejar al menos, previamente, los cambios. Lo que han de hacer equipos especialísimamente preparados de expertos para corregir órbitas de astronautas, es lógico que deba preverse a nuestra escala, en que se proponen soluciones con muchos menos elementos de juicio.

Historieta cuarta: "El sentido de la proporción."

Quando, para alcanzar objetivos semejantes, utilizamos las mismas formas que ya aplicaban nuestros inclitos de la ilustración, pongamos por caso.

Quando comprar un lápiz requiere cierto número de instancias, que pasan al conforme, en momento oportuno, de otros inclitos; y tomar

decisiones, que valen millones, muchos millones, sin más bendiciones que las improvisaciones.

Cuando a toque de corneta se pasa la firma, ¡ay de quien no firme!; y, a botepronto, se abren tres amplias perspectivas: otros menesteres, el periódico o, que también los hay, trabajar a espaldas de firmas.

Cuando sopla viento del Norte y toda la actividad se dedica a cementillos, y nada más que a cementillos; cuando sopla del Sur, y toda se dedica a clavetes y nada más que a clavetes; cuando sopla...; en fin, las rachas o el viento de andamio.

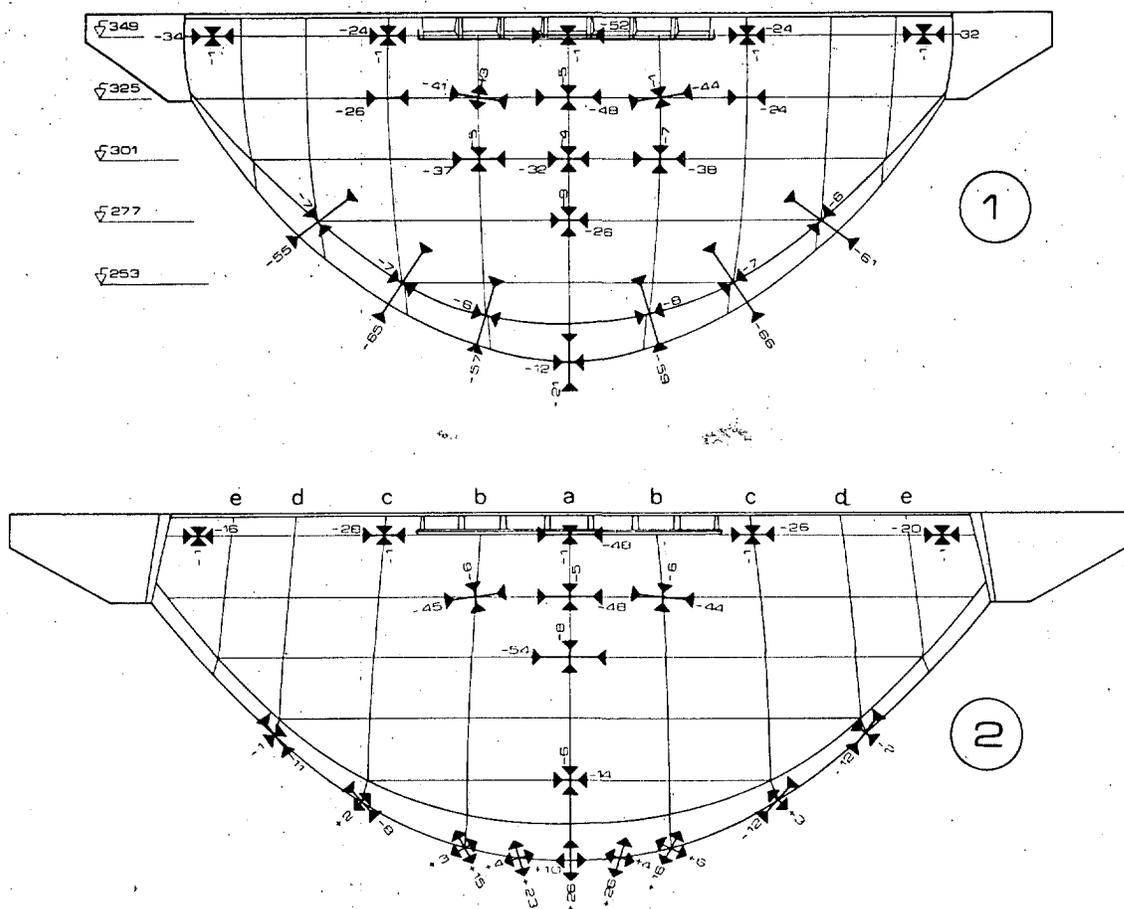
No sé. Me acuerdo del sentido de las proporciones (de la armonía, que decían los griegos).

9. Estudio y comparación de soluciones.

La presa en sí es la pieza, frecuentemente la más importante y delicada del aprovechamiento o del conjunto de aprovechamientos.

La optimización debe contemplarse, por consiguiente, dentro del cuadro del esquema total y, por tanto, la determinación del óptimo razonable es compleja y difícil.

Corresponde decidir, en buena lógica, a un ingeniero preparado, asistido ordinariamente por un equipo avezado y con buena dosis de intuición. Sería inadecuado plantear el problema como una especie de improvisación, con manejo de pocos datos y forzando los tiempos de la decisión. Valdría de ideal para estos problemas el clásico eslogan: "Un año para pensar,



Figs. 9-1 y 9-2. — Presa de Susqueda (Ter). Ensayos en modelo reducido y plan de auscultación: El modelo reducido permite comprobar los resultados que da el cálculo. Son complementarios y entre sí se benefician. El plan de auscultación (galerías, drenes, piezómetros, péndulos, termómetros, juntómetros, tensímetros, deformímetros, testigos de geodesia y nivelación, etc.) sirve para conocer, en definitiva, la precisión de cálculos y modelos. De acuerdo con éstos, debe tener previsto un conjunto de lecturas-tope, alcanzadas, las cuales ha de recurrirse al vaciado del embalse, parcial o total. El ejemplo que representamos, que podemos considerar buen modelo en su género, no es necesario seguirlo en muchos casos, evidentemente.

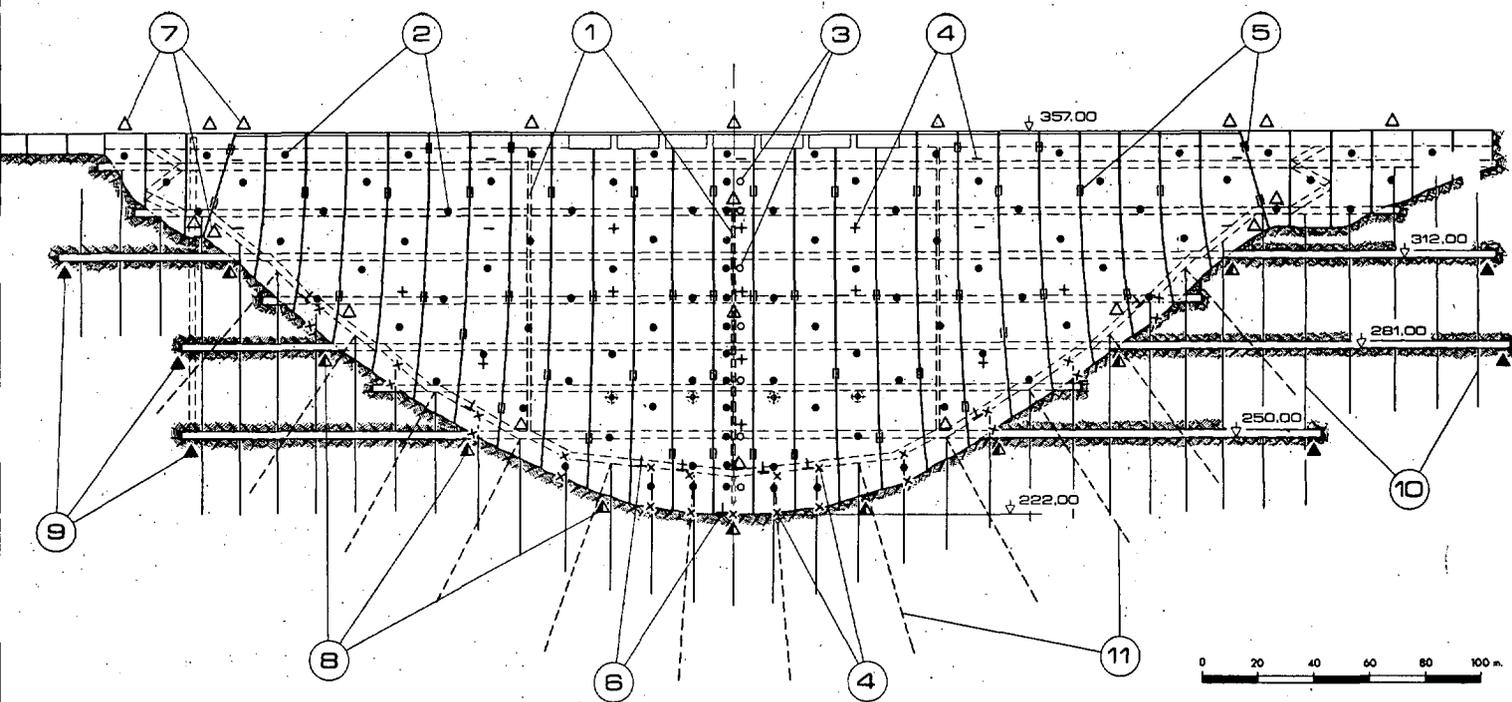


Figura 9-2.

un segundo para decidir"; pero las motivaciones que dan vida a estas complicadas estructuras son muchas veces fruto del azar y, en correspondencia, tan pasajeras como él.

Naturalmente que del comentario anterior excluimos los estudios de poca monta, gran parte de anteproyectos e, incluso, bastantes proyectos de bases muy claras o de trascendencia muy limitada.

Y que, no obstante la atención que recomendamos debe prestarse al tema, para no caer en el vicio contrario de académicos ideales, es aconsejable, con frecuencia, guiarse por el sanchopancesco dicho de "lo mejor es enemigo de lo bueno", yendo de cara a la solución con visos de suficientemente buena; pero, naturalmente, que calificada así por un ingeniero director del proyecto, como el que antes citamos, preparado y, sobre todo, con pleno sentido de la responsabilidad.

Consideramos fundamental, aparte la competencia, tal sentido de responsabilidad y de afección a la labor en el equipo que vaya a decidir. Este tema de las responsabilidades, especialmente en grandes obras y colaboraciones de equipos varios, tiene demasiada enjundia para plantearlo en este artículo, que sólo pretende una "ambientación" en el tema de la pre-

sa. Asunto de gran controversia y actualidad, trataremos de exponerlo más adelante con la cierta objetividad que proporciona el continuo contacto con todos los estamentos interesados. Los traspies de cierto calibre en la toma de decisiones no sólo comprometen elevados intereses, sino constituyen un sonado fracaso que repercute abiertamente en la reputación de la técnica y en el prestigio de un país.

En la elección de la presa juegan factores sociales y económicos, cada uno con su peso especial dentro de la coyuntura. Si privan los primeros, interesa forzar algo, ampliándolo, el dimensionado proporcional de las distintas partes; si el segundo, conviene mantenerse estrechamente ligado a la comparación de presupuestos y rentabilidades. Usualmente, hay transacción entre ambas tendencias.

Pero las bases en que se apoyan unos y otros deben ser valoradas según los criterios que apuntamos en los ocho epígrafes anteriores; procurando conjugar la economía con una información suficiente para respaldar la correcta elección; evitaremos así que, un presunto ahorro inicial del 5 por 100, pongamos por ejemplo (sea de tiempo o de dinero), se convierta posteriormente en derroche del 200

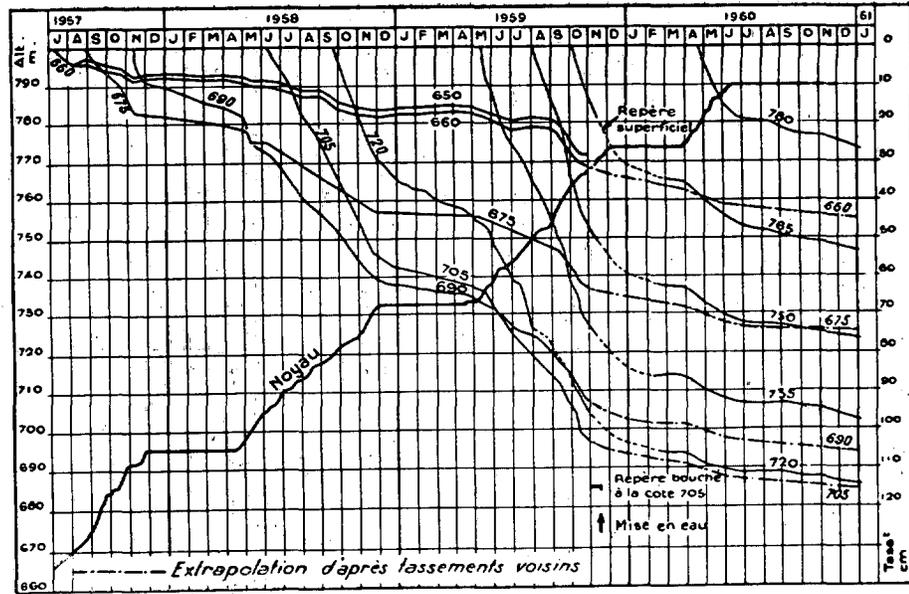


Fig. 9-3, 9-4 y 9-5.— Presa de Serre-Ponçon (Francia): Modelo ejemplar de auscultación llevada a cabo en una presa de tierra con núcleo impermeable. Destacamos solamente los asentamientos y las presiones intersticiales del núcleo, que repercuten decididamente en el proceso de construcción.

o 500 por 100, y solución final, peor. Y ciertamente que estas cifras, aparentemente escandalosas, no son "caso" tan infrecuente en la realidad, como bien conocemos los que nos dedicamos a estos menesteres. Por lo tanto, para la gama opcional de presas, debe poseerse in-

formación idónea en cuanto a los siete primeros apartados anteriores y, principalmente, de los factores: topográficos, hidrológicos, geológicos (ordenados de menos a más trascendencia, a nuestro entender).

En otro orden de ideas intervienen también,

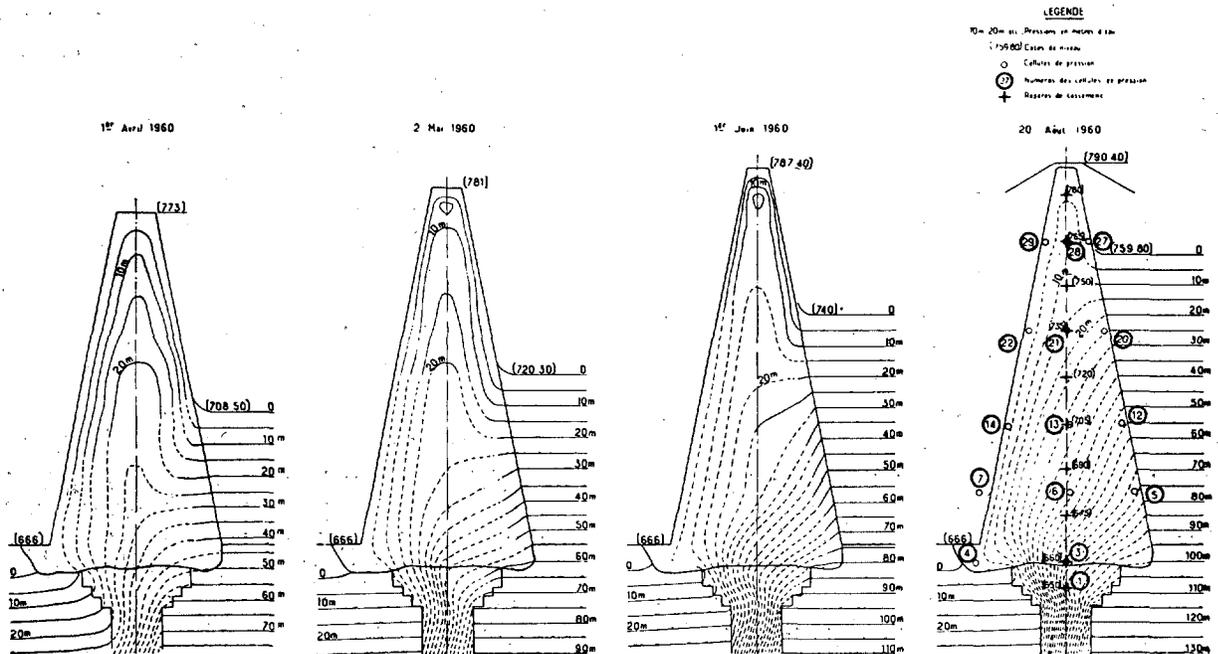


Figura 9-4.

con cierta importancia, otras consideraciones. Por ejemplo, jurídicas, como las ordenanzas de cada país en materia de concesión de aprovechamientos; por ejemplo, de plazos perentorios, en que determinadas soluciones son especialmente adecuadas; también las dudas importantes o una elevada responsabilidad conducen naturalmente a diseños y métodos tradicionales.

Si la cuenca en cuestión es zona de gran sismicidad, el tipo de obra y su inercia o frecuencia propia de vibración son a tener en cuenta. En este caso, las presas de escollera se apuntan como buen objetivo. En principio, puede decirse que *a la hora de la técnica y mecanización actual, el tipo de presa de escollera parece, de primera intención, recomendable.*

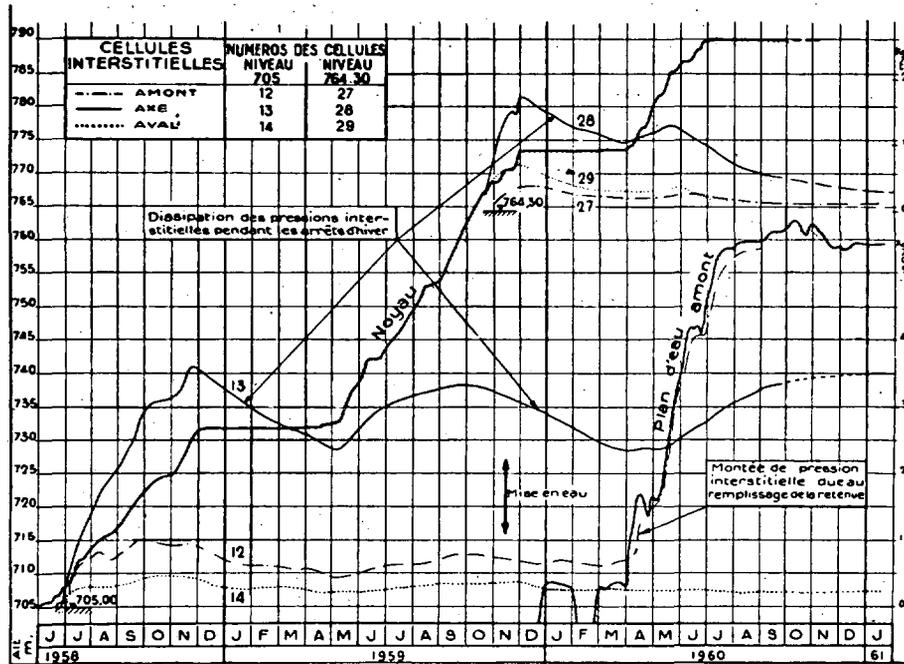


Figura 9-5.

Anticipando sólo conceptos básicos, diremos que la presa de materiales sueltos se considera preferible a la de fábrica, si no existe industria cementera próxima o no es suficiente o de garantía (aunque puede recurrirse al expediente de construirla al servicio de la obra).

La calificación y coste de la mano de obra influye, asimismo; la mecanización a gran o pequeña escala y los plazos también.

Puede jugar la recomendación de aprovechamiento parcial anticipado, que tiene notables ventajas: satisfacer demandas de la comunidad, disminuir intereses intercalares, servir de prueba y primera garantía de los trabajos.

Juega, sin duda, la posibilidad de anegar importantes complejos, bien de población, agroindustriales o culturales, por la rémora y dilación que suponen.

A tal punto, que se comprende la sorpresa de un experto ante otro tipo de realización y su primera pregunta: "¿qué inconveniente tuvo aquí la escollera?"

Los desagües de gran caudal, sin embargo, a falta de collados laterales de auxilio, constituyen, a veces, notable inconveniente para las presas de materiales sueltos; cabe recurrir todavía a las presas mixtas.

Las bajas temperaturas y las zonas poco accesibles son, en cambio, desventajas para las obras de fábrica.

Finalmente, reunida la documentación precisa, analizadas y resueltas las distintas componentes y definidas, por tanto, las alternativas de solución, puede convenir para facilitar la comparación última, dar valores según una unidad común a todos los factores económicos, así como a los de servicio, sociales, etc., que intervienen. Resultará más fácil, de esta manera, la

confrontación entre inversiones o gastos, por un lado, y la de rentas o beneficios, por otro.

Se puede obtener de cada posible solución, en función de la variable principal de dimensionado destacada (capacidad de embalse, altura de presa, energía producida, regulación conseguida, etc.), unas curvas en ejes R (renta) para ordenadas y C (coste) para abscisas tal,

que la máxima rentabilidad marginal $\frac{\Delta R}{\Delta C}$ o tan-

gente de las curvas correspondientes orientará sobre la buena solución. Si hay limitaciones en la inversión, hay que considerar, en ese punto de la variable aleatoria, cuál es la curva con mayor tangente al origen — criterio económico — y cuál es la curva de máxima producción — criterio social — para que, por acertada transacción entre ambos resulte, con suficiente aproximación, el óptimo que buscábamos.

Acto final: Quiero agradecer anticipadamente al lector las observaciones o sugerencias que permitan el enfoque más certero o más atrac-

tivo de estos apasionantes problemas. A la vez, expreso la inestimable ayuda recibida de tanto amigo que, con atinadas ideas, ha permitido que este artículo, que es de todos, sirva mejor a unos desconocidos y titubeantes compañeros de camino. Gracias.

Bibliografía que puede interesar.

Gómez Navarro: Press. Davis.

Ponencias y discusiones de los Congresos de Grandes Presas.

Travaux.

L'Energia Elettrica.

Wasserwirtschaft.

Waterpower.

Proceedings de la A.S.C.E.

Publicaciones del Bureau of Reclamation.