

ESTUDIOS PREVIOS PARA ELEGIR LA PRESA OPTIMA

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

Como decía SILVIO DEL ARCO:

"Pisa tierra firme, pero mira a las estrellas".

El mundo de las presas es simple y grandioso. El autor estima, sin embargo que, traducido algunas veces por hidrólogos, geólogos, calculólogos — quizá mejor, psicólogos —, se convierte en mito y máscara. Por eso intenta en el texto adjunto dar una visión más o menos completa, y coherente, de los aspectos que debe considerar el presista. No puede ser profunda — esto quedaría en todo caso para artículos posteriores —, pero si trata de ser una guía primaria que encauce los pasos de aquellos que se sientan ante la vigente Instrucción como ante una encrucijada.

El presente artículo, por su extensión, se divide en dos partes.

Preámbulo: Motivo del artículo.

La tecnología hidráulica, aplicada a los múltiples aprovechamientos posibles, viene recojiéndose habitualmente en libros y revistas que tratan, unos extensa y otros profundamente, los temas concretos de las presas.

Pero es muy escasa una pragmática ordenada, un conjunto de reglas o directrices que sirvan de divulgación de temas de la especialidad e incluso orienten al proyectista en su busca de las piezas mejores de un aprovechamiento. Este es, entre otros, el caso de las presas, a pesar de su carácter de elemento clave del sistema.

Atendiendo a esta situación, aprovechamos la amplia experiencia en la materia de la Sección de Vigilancia de Presas (donde se contrastan pareceres de especialistas españoles y extranjeros, se sigue de cerca la evolución de las obras, se toma nota de las divergencias entre resultados de explotación y previsiones del

proyecto). En tal experiencia nos apoyamos para redactar, con demasiada osadía quizá, una especie de pauta, un intento de síntesis interesante y actual en esta técnica ingenieril. Nos anima el deseo de servir a los compañeros interesados que, en ocasiones, pueden verse en dificultades por falta de documentación o de contactos apropiados.

No entraremos en el detalle último de los procedimientos ni en elucubraciones teóricas, pues existen suficientes textos que, con variados matices y opiniones a veces encontradas, exponen cuanto pueda decirse de cada tema específico. Estos detalles deben quedar para otros artículos en que se enfoquen especialmente los temas de mayor controversia. Lo que pretendemos ahora es coordinar tan profusa literatura y condensar, en un orden más o menos cronológico, la que puede ser mecánica operativa del ingeniero o del equipo proyectista en la selección de su presa.

Premisas.

La actuación del ingeniero o del equipo en la elección y perfilado de un aprovechamiento o presa queda enmarcada, desde el primer momento, por unos condicionantes que repercuten claramente en su toma de posición. Son: la fase del trabajo, la *dimensión* del mismo y el *objetivo* que se persigue.

Como fase distinguimos que se trate de *anteproyecto*, de proyecto o, en casos singulares, de ejecución de la presa. En el primer caso, *anteproyecto*, pueden simplificarse las hipótesis reduciendo los reconocimientos y cálculos del problema, acudiendo a valores medios y métodos aproximados (que figuran normalmente en los libros de texto de la carrera), adaptando el trabajo de campo y gabinete a la importancia del caso. (Una guía pudiera ser, en principio, aplicarles como inversión los porcentajes señalados por el correspondiente Colegio de Ingenieros o su traducción a la unidad correspondiente.) El estudio necesario y suficiente del anteproyecto es fundamental para "dar hecho" al proyecto la tipología — aunque no el dimensionado — de los diversos elementos del aprovechamiento.

Para la etapa de *proyecto* valen las consideraciones de este artículo.

En la de ejecución englobamos la serie de prácticas comprobatorias de que se van cumpliendo los supuestos del proyecto para garantía o rectificación de nuestro quehacer: nos referimos especialmente a los cambios, movimientos y deformaciones del conjunto presa-terreno, que deben, en general, obtenerse por lectura o medida de los aparatos idóneos. Vale esta etapa de ejecución para el completo y correcto perfilado de la solución (como ejemplo, presa del Atazar, en el río Lozoya).

Como *dimensión* nos referimos a lo que podemos calificar como *obra grande* y *obra pequeña*, y en esas denominaciones incluimos los factores socioeconómicos que puedan intervenir. La solución técnica es, obligadamente, más delicada en el primer caso.

Como *objetivo* distinguimos el mediato o final y el inmediato: el mediato contempla el bien *social* de la comunidad (la promoción regional, frecuentemente) o se dirige hacia un fin *económico* (de rentabilidad de una inversión, preferentemente), o tiene un carácter

mixto (de parcial atención a cada uno), que es lo más frecuente. Tal objetivo final viene, comúnmente, impuesto al proyectista por una acción de Gobierno, de Ministerio o de organismo público o privado.

El inmediato se logra a través del perfecto aprovechamiento de: *energía*, *riego*, *abastecimiento de agua*, *mantenimiento de un acuífero*, *embalse contra avenidas*, etc. Usualmente, se trata de una combinación de ellos. La optimización resulta como consecuencia de la valoración de cada servicio mediante unidades homogéneas, con peso distinto y variable, según el momento del país o del grupo afectado.

Las variables antedichas, que divergen con frecuencia, coinciden, sin embargo, en la busca para la presa de los siguientes caracteres: *vaso de gran volumen* y *estanco*, *cerrada angosta* y *buen terreno* (dentro de lo posible).

Plan de acción.

Existen muchos precedentes de ingenieros cuya única guía fue la intuición o la afección en la elección de la presa óptima. Conocemos suficientes casos de destacados especialistas que por ella se guiaron, con deplorable resultado. La consiguiente moraleja recomienda seguir, paso a paso y objetivamente, un esquema cartesiano. Por ello, proponemos una ordenación, en el tiempo, de las técnicas o asuntos que es aconsejable emplear y analizar antes de adoptar decisiones. (En obras pequeñas o de escasa trascendencia o en anteproyectos puede resumirse u omitir parte del esquema propuesto):

1. Topografía.
2. Hidrología.
3. Geología calificativa.
- 3'. Geología cuantitativa.
4. Geotecnia.
5. Examen de materiales para la construcción.
6. Desagües.
7. Obras accesorias e incidencias.
8. Auscultación.
9. Estudio y comparación de soluciones.

Para cada uno de los anteriores apartados convendrá tener en cuenta el apoyo informativo de los complementos que siguen, como garantía de la elección final.

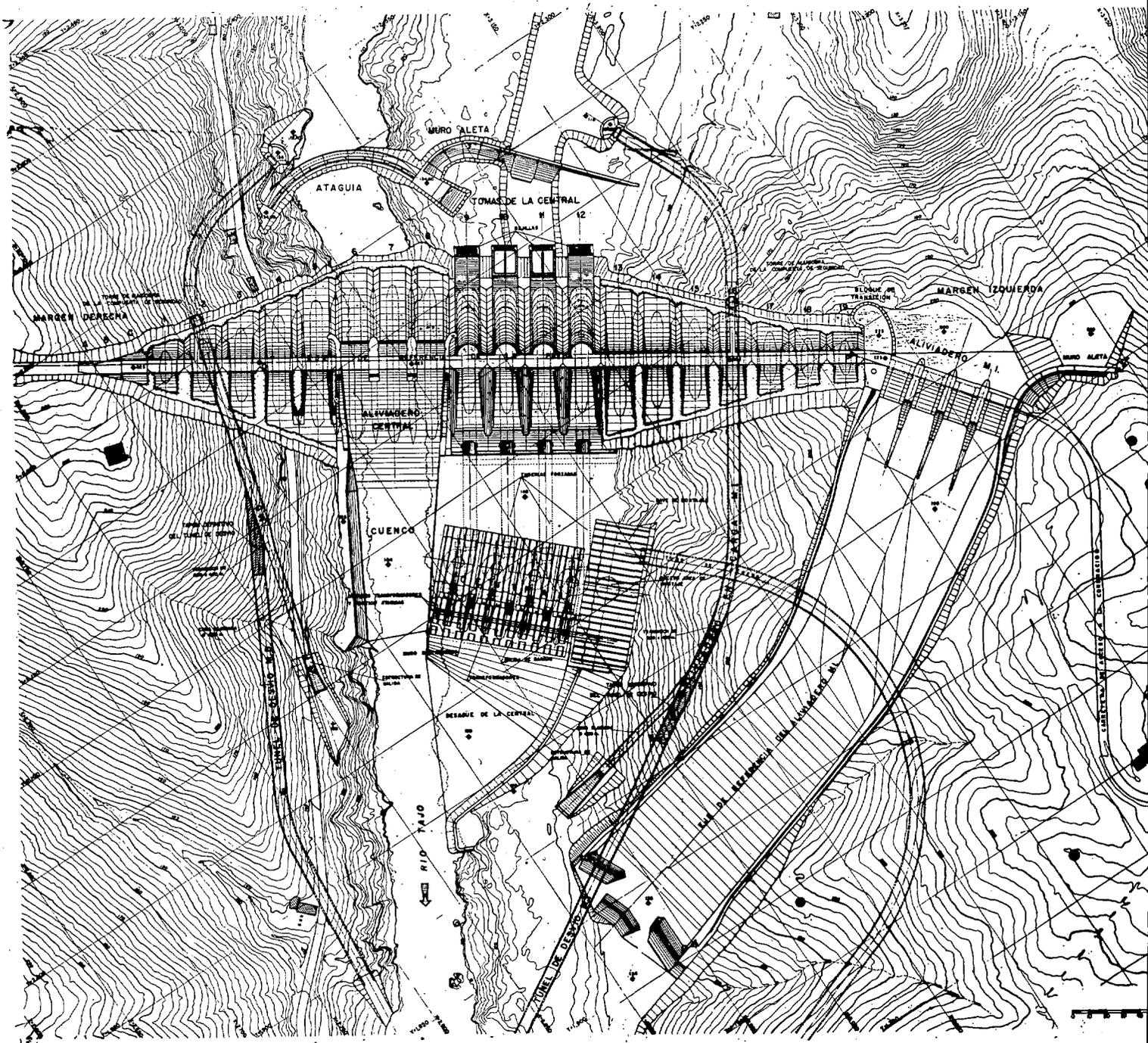
Y, en general, la preciosa ayuda de obras similares construidas o en construcción (el repaso crítico de los "santos" de los Congresos de Grandes Presas, de las modernas revistas especializadas, lo juzgamos más necesario que conveniente).

1. Topografía.

No puede iniciarse un trabajo serio de presas sin tener documentación suficiente, tanto planimétrica como altimétrica, de la zona en estudio e incluso de las colindantes.

Hacia aguas arriba del presunto emplazamiento hasta la cabecera de la cuenca o, por lo menos, hasta aquellos aprovechamientos que precedan al nuestro, cuya situación y cuyos da-

Fig. 1-1.— Presa de Alcántara (Tajo): Problema de funcionamiento rentable de la central de pie de presa, compaginado con la evacuación de grandes caudales (hasta 12 000 m³/s.). Ingenieril y esbelta solución a base del doble contrafuerte tipo Marcello, unido a un doble aliviadero: pequeño el central (4 000 m³/s.) y grande el izquierdo (8 000 metros cúbicos segundo), para interferir escasamente la marcha y el salto de la central.



tos hidrológicos y de explotación sean de reconocida garantía. En cuanto a cotas, la topografía a nuestro alcance debe llegar a las divisorias para saber la cuenca vertiente. La parte que suponemos quedará anegada por el embalse debe quedar más definida a efecto de expropiaciones.

Hacia aguas abajo bastará cartografiar la

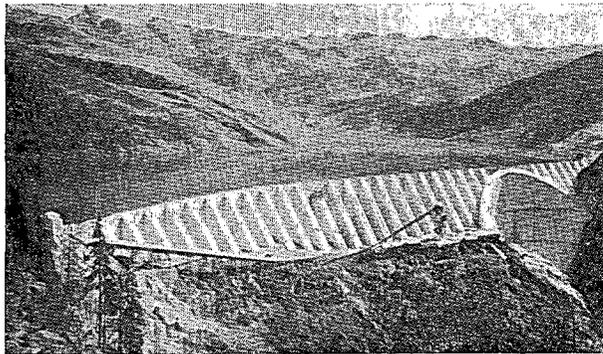


Fig. 1-2. — *Presa de Roselend (Francia)*. Problema de cerrada disimétrica y con plataforma casi horizontal, a media altura de la margen derecha. Solución idónea y sugestiva a base de bóveda central y contrafuertes laterales.

zona ribereña que aproximadamente quede inundada, en el caso de evacuación de la máxima avenida previsible.

Hacia los lados convendrá levantar plano, menos detallado, de aquellas cuencas vecinas que puedan utilizarse como embalse o como salto. La atención principal se dirigirá a los grandes vasos y a los *cierres angostos* y, a ser posible, a los terrenos inmediatos que participen de ambas cualidades.

La información topográfica procederá, según los casos, de *documentación existente* (planos nacionales, regionales, particulares; informes municipales, agronómicos, de Hacienda; estudios especiales). Es la más barata y, quizá, rápida, pero debe confirmarse el grado de confianza y actualidad de la misma. Como no es, a veces, de público conocimiento, obliga a desplegar una actividad inquisidora cuyo fruto no responde siempre al esfuerzo.

Levantamientos aerofotogramétricos: Son del máximo interés y eficacia en regiones sin datos, en las poco accesibles y cuando el factor tiempo premia decisivamente.

Ofrecen la ventaja del secreto y la fide-

dad: dan una excelente visión topográfica de conjunto, permiten una rápida localización y constituyen un excelente archivo topográfico comparativo de la evolución de las obras con el tiempo; además, informan con facilidad sobre viabilidad de rutas, riqueza del suelo, recursos económicos de la zona y datos básicos para cálculo de costos y expropiaciones.

Es muy conveniente la interpretación de fotogramas con estereoscopio (informa sobre geología, fitología, petrografía, yacimientos, materiales de construcción, fallas, erosiones, movimientos del terreno).

Son el mejor procedimiento para levantamientos expeditos (rápidos, simplemente aproximados) de grandes extensiones. Complementados por el uso en tierra de instrumentos como el geodímetro (medidor rápido de grandes distancias) dan buena garantía en las aerotriangulaciones y poligonaciones.

Con la aerofotogrametría y apoyos terrestres se calculan superficies y volúmenes rápida y económicamente.

Las escalas usuales de trabajo son:

Para planos expeditos o de conjunto.	1 : 30 000 a 1 : 5 000
Para planos técnicos	1 : 5 000 a 1 : 1 000
Para planos de detalle	1 : 1 000 a 1 : 500

Fotogrametría terrestre de técnica delicada, pero de gran precisión.

Levantamientos topográficos: Son más aplicados, en general, que los aéreos, principalmente cuando se trata de pequeñas extensiones. *Unos y otros se complementan cada día más en los proyectos por sus distintas peculiaridades*. Siguiendo la Instrucción española de grandes presas son preceptivos los siguientes planos:

Plano de la totalidad de la cuenca hidrográfica.

Plano de situación del embalse a escala 1 : 100 000, incluyendo vías de comunicación.

Plano del embalse, referido al Norte, a escala 1 : 5 000 y equidistancia 5 m.

Plano de la cerrada, con puntos de referencia, escala 1 : 500 y equidistancia 2 m.

Aparte los planos con cierto detalle, a escalas 1 : 100 o aproximadas.

Conviene, en todo caso, emplear cuadrícula de coordenadas orientadas al Norte y apoyadas en los puntos permanentes de referencia

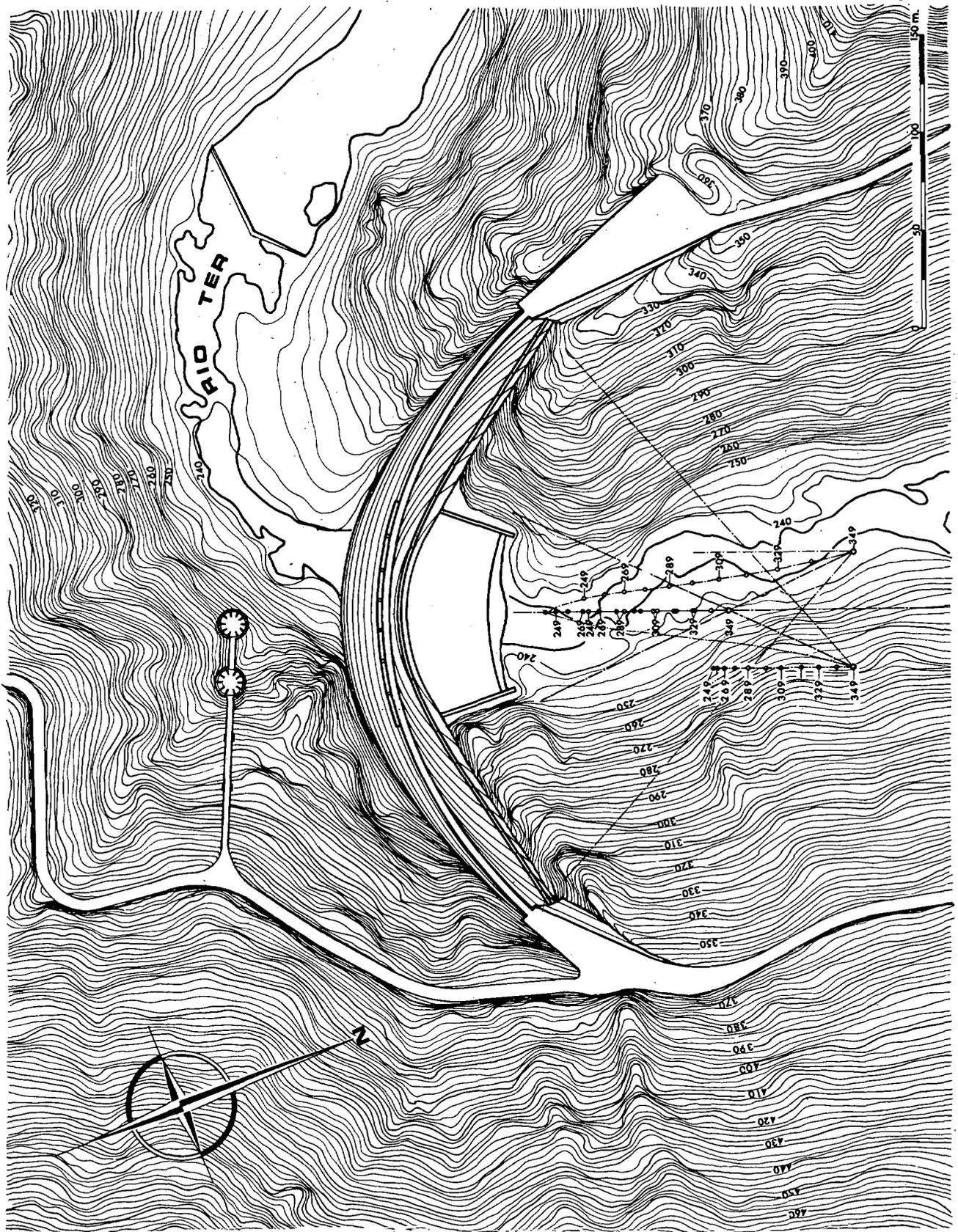


Fig. 1-3. — Presa de Susqueda (Ter). Planta: Sobre un macizo rocoso de buena calidad, obsérvese en la planta la apropiada implantación de ambos estribos en farallones de amplia base.

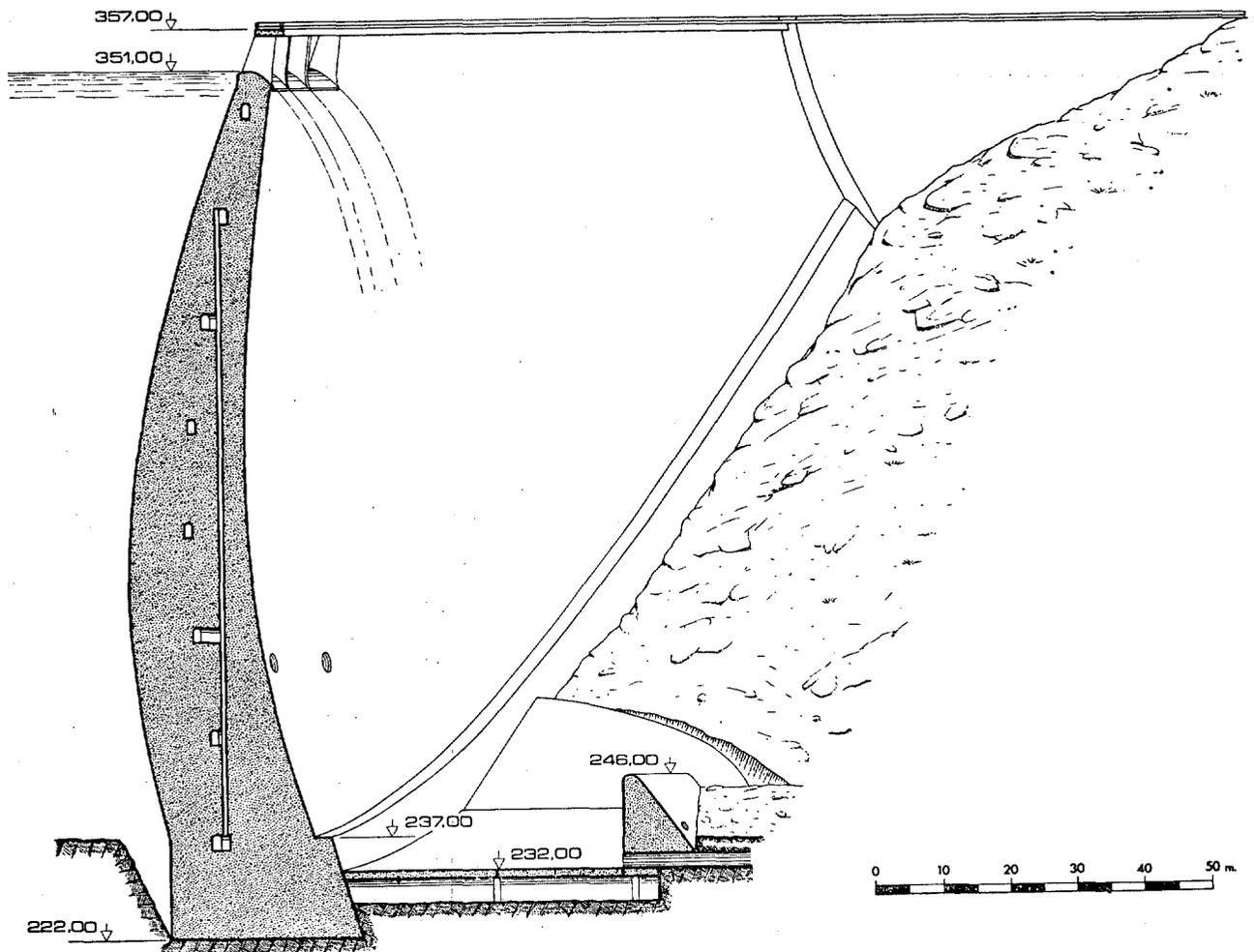
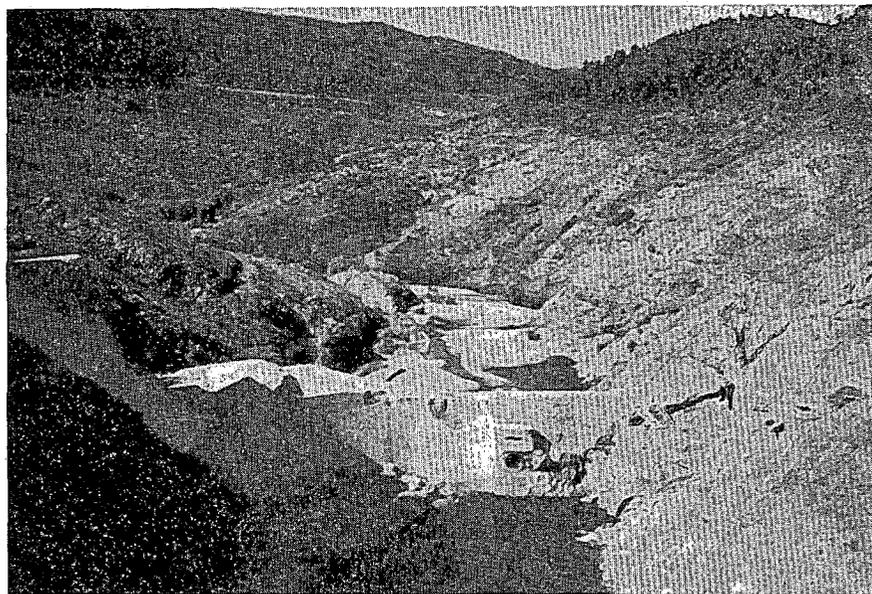
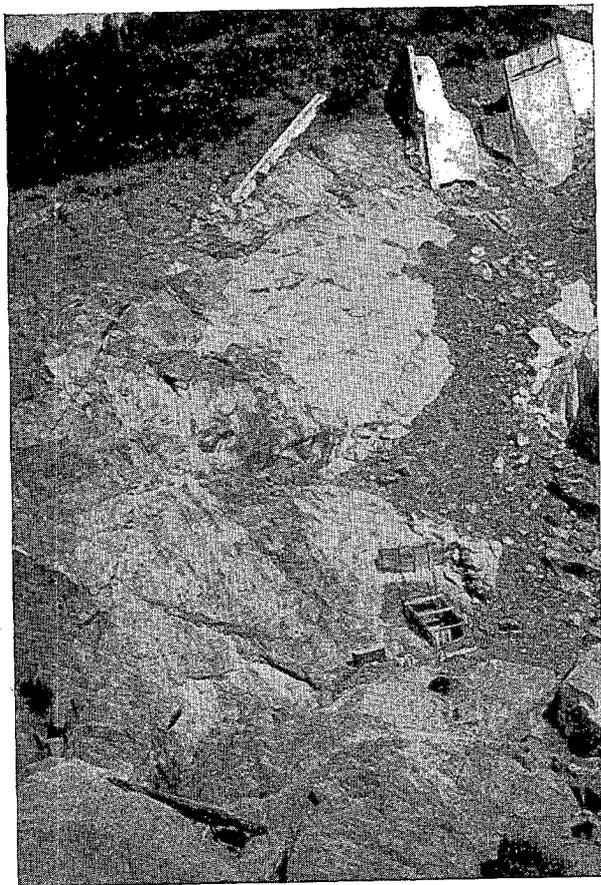


Fig. 1-4.— Sección por el aliviadero. Sencillez y economía.



Figs. 1-5 y 1-6.— Presa de Malpasset: Al paso del tiempo, los hormigones tienden a mejorar y los terrenos a empeorar. El cambio de vertiente en la atención preferente de sus calidades, puede haberlo dado esta presa. Vista de la presa y de la zona del corrimiento, desde aguas abajo: El hormigón del E.D. ha permanecido; parte del E.I. ha sido arrastrado hasta un kilómetros aguas abajo.



Plano de deslizamiento del estribo izquierdo (parte de aguas arriba). Se observan los restos del bloque de empuje y del muro en ala.

Figura 1-6.

y que la nivelación se enlace con las de precisión existentes en la región.

Como puntos de referencia importantes hay que citar las estaciones de auscultación.

Sobre los planos topográficos del emplazamiento deben situarse las referencias, sondeos, galerías y, en general, toda la información interesante para la elaboración del proyecto.

Historieta primera: "Sobre el don de infalibilidad."

He tenido la fortuna de hojear las confesiones de ingenieros norteamericanos ejecutantes de obras. Este *mea culpa* — fanal que protege contra tropiezos análogos a incógnitos sucesores — es usual entre ellos. No cuentan historias marginales: sólo mencionan lo que pueda ser útil a quien corresponda, con sinceridad curiosa.

Todavía no me he repuesto del ataque de risa que me produce contemplar el bello color de cinabrio que adquiero cuando se me hace la menor alusión a cualquier realización factible de mejora — con perdón, quizá, sólo es hipótesis, esto ya lo habías pensado tú antes, etcétera, etc. —.

2. Hidrología.

Si importante es el papel que juega la topografía, las cotas, en un aprovechamiento hidráulico, es mucho mayor el papel de la cantidad de agua (volúmenes disponibles en un determinado período de estudio, que suele ser el año hidrológico, del 1 de octubre al 30 de septiembre en nuestras latitudes).

No basta con definir la cantidad anual de agua disponible: es preciso conocer también su distribución a lo largo del año. Así, podemos obtener la curva de aportaciones acumuladas y, por diferencia con la curva de necesidades acumuladas de los usuarios, ambas en función del tiempo (que debemos conseguir o deducir), calcular la capacidad del embalse necesario para la regulación, mayor o menor, supuesta.

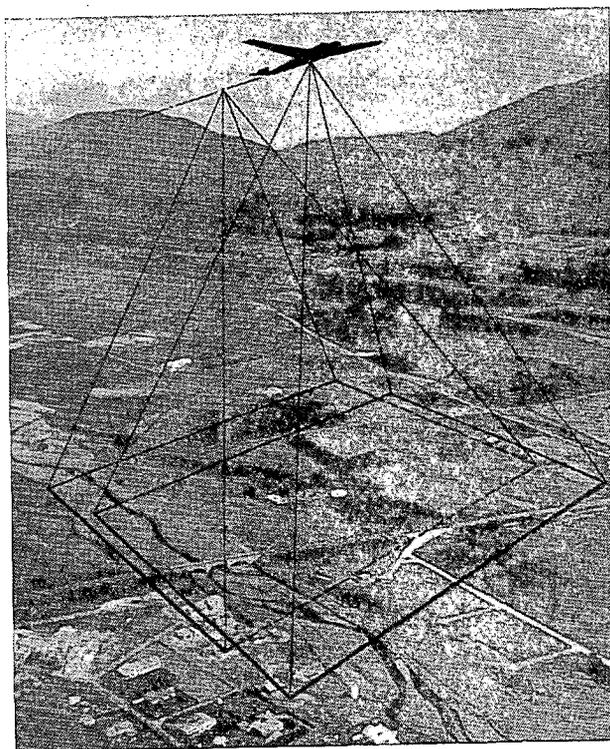


Fig. 2-1. — Aerofotogrametría: Esquema del procedimiento.

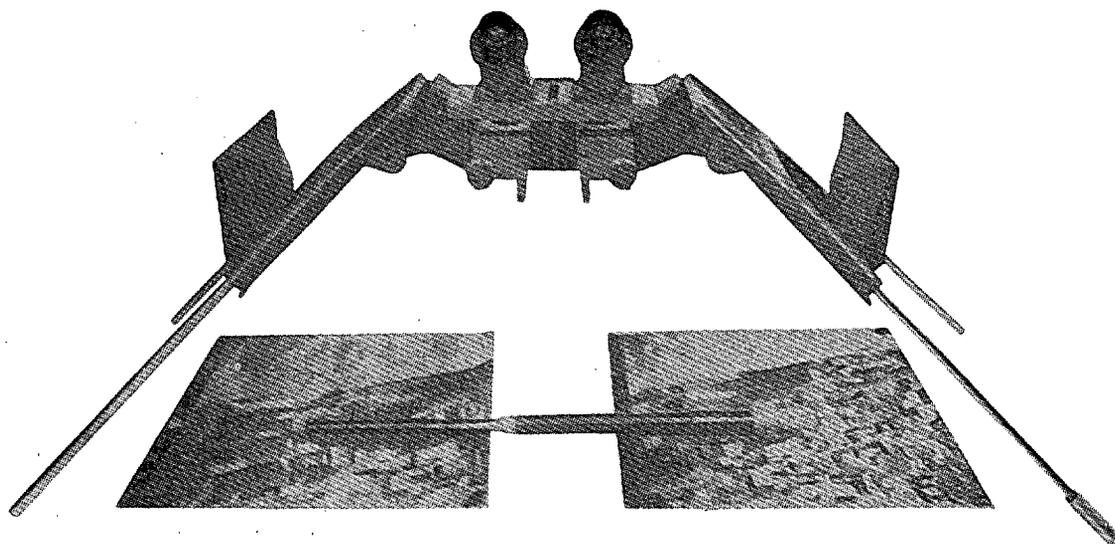


Fig. 2-2. — *Aerofotogrametría*: Utilización del estereoscopio para la apreciación potenciada del relieve. Con poco hábito, la apreciación de accidentes es excelente.

Bastará citar tres procedimientos diferentes de *calcular las aportaciones*, aunque en la práctica suele acudir a una mezcla de ellos que proporciona posibilidades de corrección estadística de errores. Son por *aforos*, *pluviometría* y *correlación*.

El sistema de cálculo por *aforo* es el mejor si tuviéramos suficientes estaciones de medida a lo largo del cauce interesado y con datos que alcanzaran series estadísticas, sucesivas o no, de treinta o cuarenta años como mínimo.

Cuando vamos a hacer el estudio de una

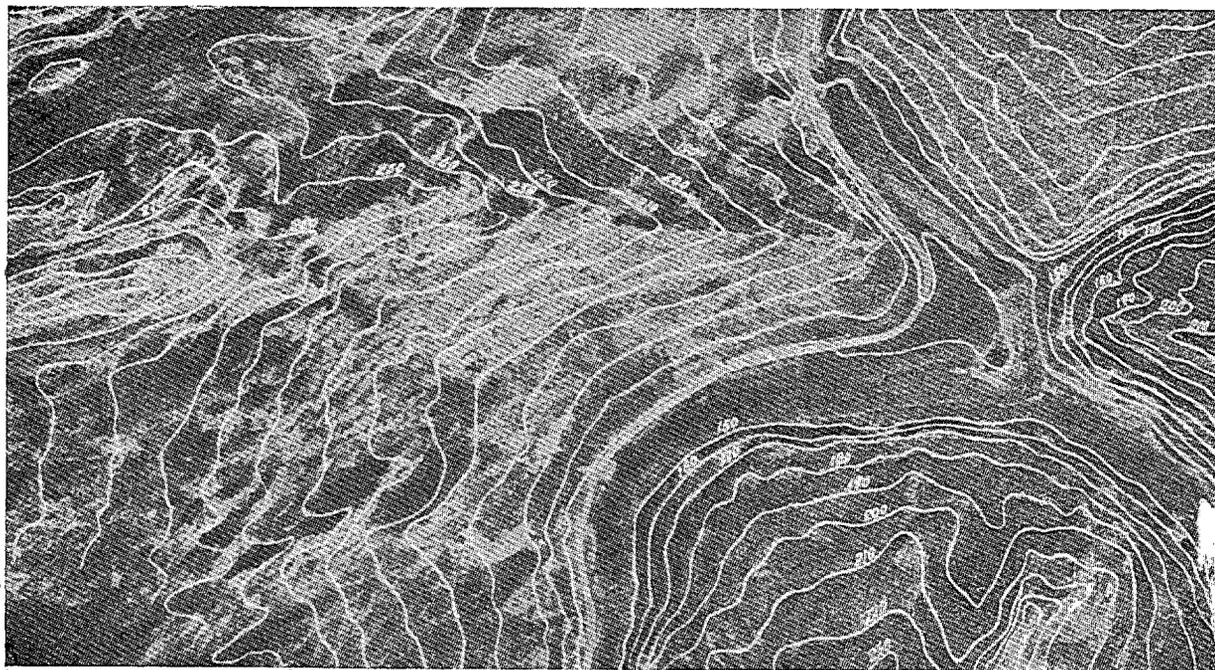


Fig. 2-3. — *Aerofotogrametría*: Superficie volada con curvado sobrepuesto, gracias a la red de apoyo. El estudio de nuestros problemas puede hacerse, de entrada, con tan eficaz auxiliar.

cuenca, lo excepcional es contar con tan preciosa base. Hay que recurrir a los otros. Sin embargo, desde el momento que se imagina útil en curso de agua, debe procurarse instalar estaciones de aforo en diversos puntos para ir perfilando sobre la marcha y, en lo sucesivo, los supuestos hidrológicos de nuestro proyecto. Con series amplias y funciones de distribución apropiadas, como la de Goodrich (de uso normal en nuestro Centro de Estudios Hidrográficos), puede llegarse a una aproximación suficiente de las previsiones de aportación, según la frecuencia.

El cálculo, partiendo de la *pluviometría*, es más usual, porque pluviómetros y pluviógrafos constituyen redes medianamente densas en bastantes países. No obstante, a partir de estos únicos datos los errores pueden ser importantes, debido a la incertidumbre de los coeficientes de escorrentía y de los índices de evapotranspiración, aparte las diferencias de recursos (nieve, acuíferos) de un año para otro, que podemos imaginar despreciables; van tan vinculados a la topografía, geología, vegetación, insolación, vientos, etc., que darles valores a sentimiento, por correlación con cuencas parecidas o próximas, es arriesgado. Entonces, para salir de estas limitaciones, se puede acudir a cualquiera de las fórmulas empíricas en uso:

Becerril, para España.

Coutagne, apropiada especialmente a Francia.

Keller, a Centroeuropa.

Turc, de aplicación más general.

Con ello tenemos una primera idea.

Un púldo, científico y actual, del cálculo por *pluviometría*, se consigue acudiendo a los coeficientes físicos de la cuenca.

Superficie, perímetro, índice de compacidad, índice de pendiente, curva hipsométrica, que con los ajustes de datos por dobles masas y ciertos supuestos prácticos sobre el coeficiente de escorrentía permiten un mayor apoyo estadístico y físico-matemático a nuestros supuestos.

El cálculo de aportación por *correlación* atiende al mismo proceso enunciado antes, de confrontación y corrección en su caso, de datos estadísticos homólogos entre nuestra cuenca y otras, para, de las aportaciones conocidas en las otras, deducir la nuestra. Hay que elegir con cuidado las cuencas semejantes, pues caracteres que suelen pasar desapercibidos (orien-

tación, vientos, litología y vegetación, etc.) introducen factores de gran perturbación.

Dentro del estudio hidrológico hay que destacar, como *muy importante*, el cálculo de *avenidas*. La seguridad de poblaciones, el patrimonio de una región, pueden quedar comprometidos. Se aplica, para ello, bien fórmulas empíricas (con una gama muy amplia de resultados), cuando faltan datos básicos; o bien, cuando se dispone de series suficientes de máximos anuales (veinte o más años), puede acudir a funciones de distribución idóneas, como la de Gumbel (Varlet: *Usines de Retenue*; Roche: *Hydrologie de Surface*, etc.), que permiten extrapolar con cierta garantía las probabilidades de avenida de quinientos años (la de mil años lleva implícito un excesivo margen de error). De acuerdo con ello, hay que estudiar la capacidad de embalse, de sus desagües y de su resguardo para que la regulación y laminación de avenidas sea admisible.

En general, para el cálculo de caudales a evacuar por los desagües o por la derivación provisional, convendrá ser tanto más prudente cuanto menos datos poseamos o que ellos sean dudosos (se apela a recurrencias de dos, diez y hasta cincuenta años para desagües provisionales según la obra y su duración).

En el caso de obras muy afectadas por la sumersión, como las presas de tierra, deben adoptarse márgenes especiales.

3. Geología calificativa.

En su aplicación a las presas, damos este nombre a aquella parte del trabajo de investigación del terreno que tiene un carácter preliminar que no requiere el acompañamiento de maquinaria especial, o sea, la que puede desarrollarse con la base de documentación preexistente y el complemento de recorridos aéreos o a pie sobre la cuenca.

Muchas veces, en obras pequeñas y aun en otras mayores con evidentes caracteres de garantía, esta labor preliminar ha sido también la definitiva (en esta faceta de conocer las particularidades del macizo de apoyo); pero hoy día, en la mayoría de los casos, hay que recurrir a la comprobación cuantitativa y *estadística* de las impresiones o investigaciones iniciales. Porque el gigantismo a que tienden las obras en la actualidad tiene una incidencia extraor-

dlitaria sobre una región o un país, porque los emplazamientos que restan son, lógicamente, de peores condiciones que los ya explotados en cada nación y, sobre todo, por las sorpresas de grueso calibre que han dado, y dan a veces, los reconocimientos expeditivos.

Así, pues, esta fase del estudio geológico debe comenzar por la *información* (mapas geológicos y publicaciones generales y particulares que se refieren a toda o parte de la cuenca y sus vecinas); en España contamos, en gran parte de su superficie, con el 1 : 50 000 geológico y con memorias e informes del Instituto, que constituyen buena ayuda en principio; seguir por los *reconocimientos de visu* necesarios para completar o para llegar a formar una idea previa del conjunto. La atención principal se dirigirá al mejor conocimiento de la *resistencia y estabilidad de los terrenos y de las condiciones de impermeabilidad* de los mismos, imperativo de estas obras.

En el estudio sobre el terreno se opera, en general, con una simple brújula y eclímetro de geólogo, aparte el martillo; se procurará definir la *sucesión estratigráfica* y clasificar los pisos geológicos según la *litología* y fósiles que se encuentren. Es excelente auxiliar el examen posterior de muestras al microscopio para observar la composición petrográfica y los microfósiles cuando el examen al natural no es convincente. Conocida la sucesión estratigráfica, se determinará la *tectónica de la zona*, fijando, a ser posible sobre las cartas topográficas, los contactos de los distintos terrenos, con sus datos de *orientación y buzamiento de capas*, accidentes notables (anticlinales y sinclinales, bloques basculados, fallas, diaclasados, cárcavas, taludes, conos de deyección, diapiros, volcanes, afloramientos de rocas volcánicas e hipogénicas).

Conviene analizar las *fallas y planos de corrimiento* (que suelen aprovechar los ríos para labrar en ellos su cauce), por el peligro de trasvases, sifonamientos y deslizamientos, que también pueden presentarse a través de estratos permeables o fracturados. También es de cierto interés obtener diagramas polares de litoclasas como el de Smith.

Conviene fijar los *tramos impermeables* — en cuyos contactos son frecuentes las fuentes, humedades o vegetación, los hontanares — y, particularmente, las arcillas, pizarras y micacitas por sus condiciones deslizantes.

Descubrir el posible carácter epigenético de un río para evitar llegar tarde al conocimiento de otros lechos fluviales antiguos.

Con este esquema inicial de ideas se deducirá la conveniencia, en principio, de ubicar las distintas partes de la obra en uno o varios emplazamientos y con base, bien en las condiciones naturales del macizo, o en las proporcionadas mediante labores de corrección y mejora; esto se aplica, indistintamente, a garantizar la resistencia y la impermeabilidad de una parte de la implantación.

Para tal establecimiento de principio es esencial partir de las *propiedades típicas de los distintos terrenos*. Estas son conocidas de todos, y sólo vamos a hacer mención de aquellas que tienen singular relevancia en las obras hidráulicas. Así:

El *granito*, es roca excelente, en general, para apoyo de obras; sólo hay que precaverse de él cuando está meteorizado, porque pasa a arenazo o porque (dada su triple orientación de diaclasas) es posible que la meteorización a través de ellas provoque deslizamientos o arrastres.

Las *rocas hipogénicas*, dan, en general, buenos cierres, cuidando en ellas de inyectar adecuadamente cuando presentan fracturas amplias y de sanear cuando se hallan alteradas (parte feldespática, micácea, etc.).

Las *rocas volcánicas*, son buenas cerradas, pero hay que investigar su porosidad y permeabilidad, así como la posible alternancia con cenizas o lapilli y escorias, que pueden ser muy permeables; las chimeneas de ofita y los diques de material hipogénico suelen tener su entorno metamorfozado o alterado.

El *gneis*, de la garantía del granito si es compacto, puede presentar los peligros de éste potenciados si está alterado o fisurado.

Las *arenas y gravas*, pueden ser buena implantación para vasos y para presas de materiales sueltos si se adoptan precauciones contra la erosión regresiva — filtros — y podemos atenuar aceptablemente la permeabilidad — inyecciones, rastrillos arcillosos, tapiz impermeable —.

Las *areniscas*, buenas para vasos y presas, salvo las precauciones citadas antes para terrenos de aluvión (si no son compactas).

Las *cuarcitas*, excelentes por su resistencia, deben cuidarse si están fisuradas o alteradas,

ya que pueden deslizar o dar grandes pérdidas; la inyección a presión suele ser buen remedio en estos casos y el postensado.

Las arcillas, margas y pizarras, constituyen magníficos vasos — abiertos e impermeables —, pero hay que prestar atención a deslizamientos, particularmente en la cerrada, si aparecen, e incluso a resistencia y arrastres. Si la fundación sobre tales terrenos es obligada, convendrá decidirse, en general, por presas de materiales sueltos.

Las calizas y dolomías, son resistentes normalmente; buenas para cerradas y dudosas para vasos, salvo testimonio de impermeabilidad; la aparición de carst multiplica las dudas, y entonces conviene ir, por más garantía, a las pruebas mediante embalses parciales, pues las clásicas de sondeos o pozos sólo son microrrepresentativas. Es esencial, en todos estos casos, el estudio de niveles piezométricos que pueden denunciar "embalses colgados". Debe cuidarse también que los frecuentes rellenos arcillosos no puedan fluir. Las inyecciones correctoras de estos terrenos pueden representar una eterna sangría económica con eficacia dudosa, aunque hay calizas de resultados muy satisfactorios.

Los yesos, tienen literatura pésima; puede cimentarse sobre ellos, sin embargo, con determinados cuidados: evitar corrientes, ataque a hormigones, expansividad.

En líneas generales, hay que estudiar bien el problema, pero sin caer en el grave y frecuente peligro de una geología "académica" que desvirtúe el objetivo perseguido. La bibliografía sobre experiencias anteriores es de gran valor.

3'. Geología cuantitativa.

Los estudios geológicos, que llamamos cuantitativos, son indispensable complemento de los anteriores en presas de cierta importancia o presuntos problemas y exigen más tiempo y mayores gastos. También permiten confirmar o rectificar adecuadamente las conclusiones primeras.

La exploración del terreno se lleva a cabo, usualmente, mediante uno o varios de los trabajos que siguen: *limpiezas superficiales y trincheras, sondeos, galerías y pozos, sísmica y prospección eléctrica y rayos gamma.*

Los sondeos se establecen según varios planos verticales, paralelos o normales, o bien, siguiendo orientaciones de particular interés. Dan idea muy local del terreno, pero si los planos de perforación se escogen apropiadamente, o el terreno es un tanto homogéneo, nos suministran datos utilísimos y con frecuencia decisivos para proyectar. Los trabajos a realizar en los sondeos son múltiples, pasando revista a los usuales: *Extracción de testigo*, con simple o doble entubación, para muestras más o menos alteradas. De ellos se obtiene el número e importancia de diaclasas, intercalaciones y accidentes en profundidad, aclarando la geometría interna del terreno. El *porcentaje de testigo* obtenido es índice claro de la compacidad de la roca, dato muy importante (depende también de la máquina y del operario); los *tiempos de perforación*, de su dureza; las *pérdidas de agua* totales, del encuentro con cavernas o planos de percolación acusada; las *roturas* de coronas y desviaciones, de las fracturas y heterogeneidades.

Los sondeos son un auxiliar inestimable e inestimado para reconocer terrenos. El ingeniero o especialista que se precie debe vivir y seguir muy de cerca el trabajo de sondeos si quiere estar seguro de evitar grandes sorpresas.

Los testigos extraídos deben almacenarse, ordenados, en locales donde sea fácil su examen.

Las *pruebas de permeabilidad*, con presiones cíclicas, acusan los escapes grandes y pequeños, así como el carácter elasto-plástico del terreno. Son pruebas fundamentales para conocer pérdidas del futuro embalse y los asientos o peligros que pueden afectar a la superestructura, pero pueden confundir si no se ejecutan mediante control correcto. El método de Lugeon es representativo en casos de roca dura y compacta, pero adolece de bastantes fallos en terrenos con intercalaciones blandas (en cuanto eficacia o representatividad de la prueba).

Los *niveles piezométricos*, observados en el vaso y cerrada, sucesiva y periódicamente a medida que bajan los taladros, orientan sobre la existencia de capas freáticas que cortocircuiten el embalse o nos dan la garantía de estanqueidad si los niveles permanecen altos. Son de obtención esencial en terrenos de carst.

La *inyección de mezclas*, con un abanico de presiones y dosificaciones, permite completar la visión ofrecida por las pruebas de per-

meabilidad, manifestándose la mejora o no del terreno (por pruebas específicas antes-después) frente a los distintos tratamientos. Se prueban lechadas de cemento, morteros, cemento-arcilla, arcilla, bentonita, betunes, silicatos, aceites y otros muchos productos, combinados o no con aditivos lubricantes y plastificantes. La inyección conviene hacerla por tramos descendentes.

Las galerías y pozos rinden un servicio parecido al de los sondeos, pero a mayor escala y en menor número. Se dice de ellos que presentan un aspecto pesimista del terreno natural por la decompresión de su entorno y el destrozo de las voladuras; por ello debieran ser realizadas, sistemáticamente, con precorte adecuado. La traza de galerías y pozos conviene

adaptarla a los accidentes y zonas más representativas y, además, procurar que sirvan en lo posible como futuras prolongaciones de galería de presa.

En el interior de galerías y pozos se hacen sondeos de inspección complementaria, y también tienen lugar una parte de los ensayos geotécnicos. En los pozos y en sondeos pueden convenir pruebas más amplias de permeabilidad con fluoresceína o isótopos o pruebas de bombeo.

La *prospección sísmica* o microsísmica es expeditiva y se presta especialmente al reconocimiento masivo o de conjunto de los terrenos, a diferencia del carácter lineal de los sondeos; concretamente, para localizar accidentes y contactos de distintos terrenos y para sacar valo-

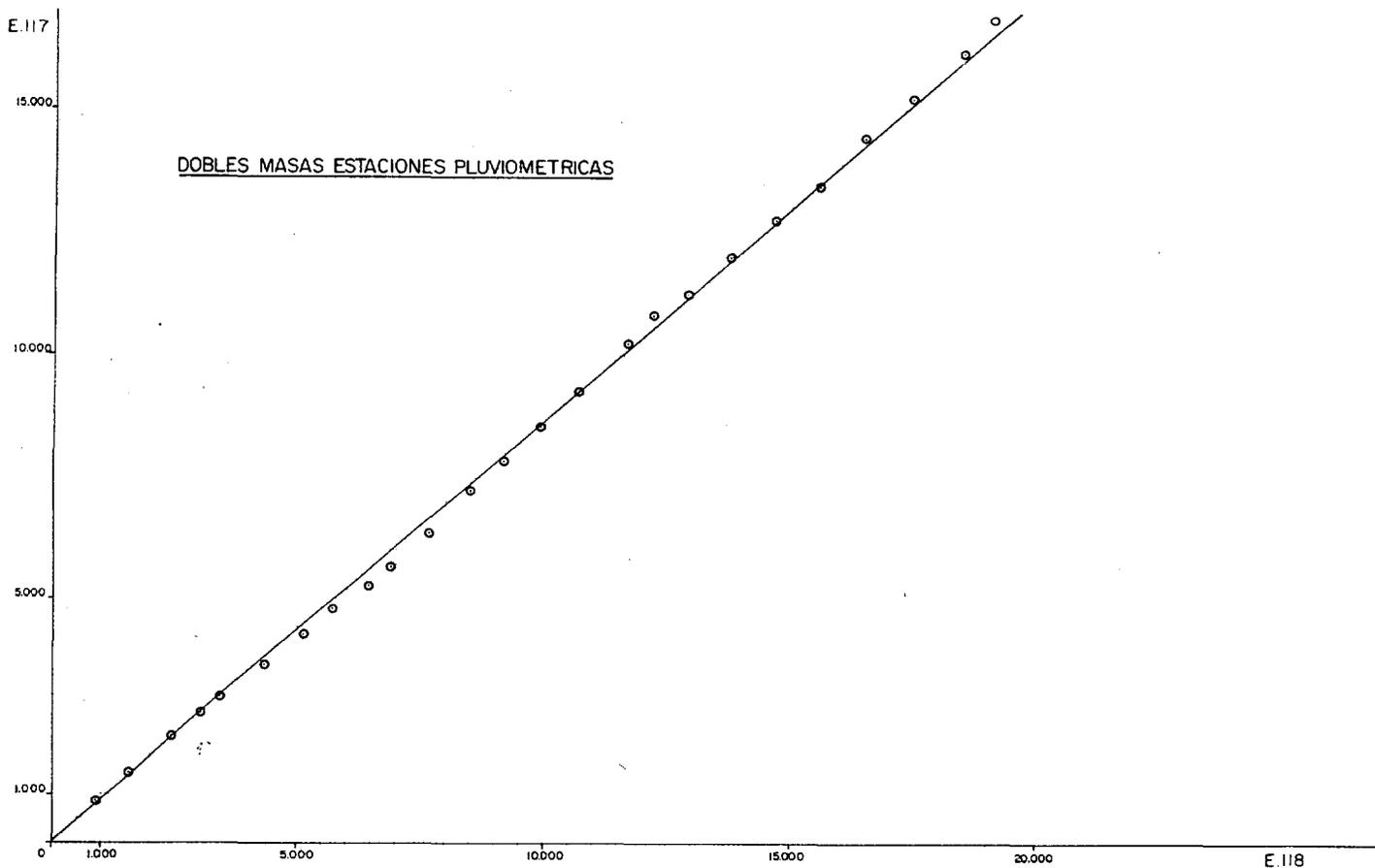


Fig. 3-1. — Presa de Santillana (Manzanares). Recta de dobles masas: El gráfico comparativo de lecturas acumuladas de dos estaciones pluviométricas (117 y 118 en este caso), permite comprobar si aparecen errores sistemáticos, cuando no es una recta única, la línea aproximada de unión de los puntos representativos de cada una, en los mismos años. Con estos gráficos podemos aplicar una confianza o corrección estadística a las bases de partida de los cálculos hidrológicos.

PRESA DE SANTILLANA

CURVA HIPSOMETRICA

POR ENCIMA DE LA COTA

m.	Km ²
800	244,4
900	232,3
1.000	159,6
1.100	124,5
1.200	101,5
1.300	84,0
1.400	72,6
1.500	55,7
1.600	44,6
1.700	35,7
1.800	27,6
1.900	19,0
2.000	12,7
2.100	6,1
2.200	2,0
2.300	0,3
2.400	0,0

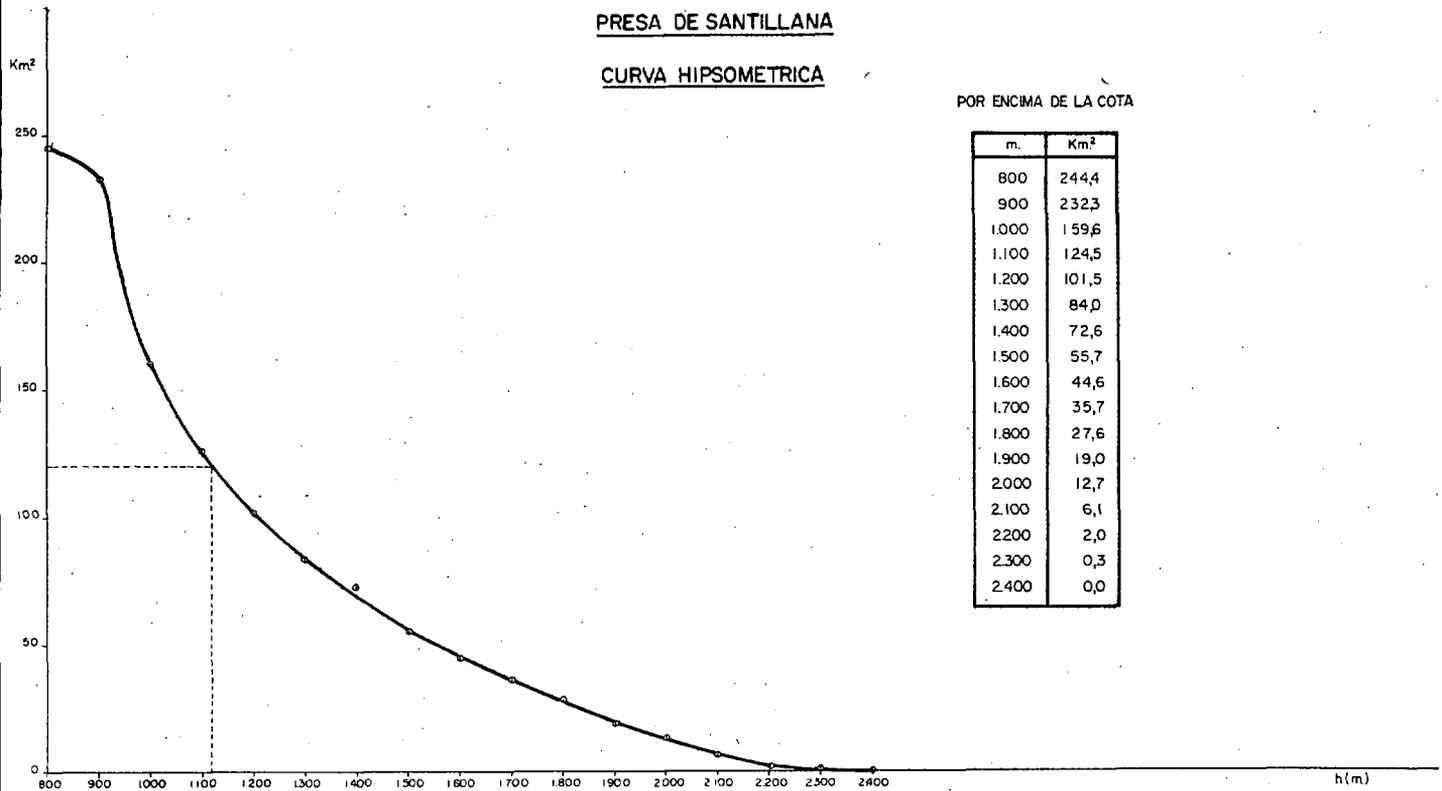


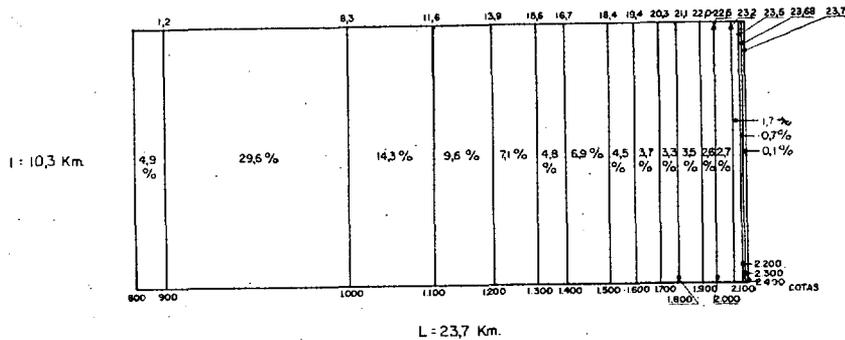
Fig. 3-2 y 3-3 — Curva hipsométrica y rectángulo equivalente: Ambas ayudan a establecer correlación entre nuestra cuenca y otra análoga por criterios pseudocientíficos. La hipsométrica, por evolución de la superficie de cuenca con las alturas; el rectángulo equivalente (de igual perímetro y área que nuestra cuenca), complementado con parámetros de notoria incidencia, como son el índice de pendiente y el índice de compacidad.

PRESA DE SANTILLANA

RECTANGULO EQUIVALENTE

S = 244,4 Km²

P = 68,0 Km.



$$I_c = 0,28 \frac{680}{\sqrt{244,4}} = 1,22$$

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{23,7}} \left[\sqrt{0,100} \right] \left[\sqrt{0,049} + \sqrt{0,296} + \sqrt{0,143} + \sqrt{0,096} + \sqrt{0,071} + \sqrt{0,048} + \sqrt{0,069} + \sqrt{0,045} + \sqrt{0,037} + \sqrt{0,033} + \sqrt{0,035} + \sqrt{0,026} + \sqrt{0,027} + \sqrt{0,017} + \sqrt{0,001} \right]$$

$$= \frac{0,315}{4,861} 3,947 = 0,229$$

COTA MEDIA = 1.120 m.

Figura 3-3.

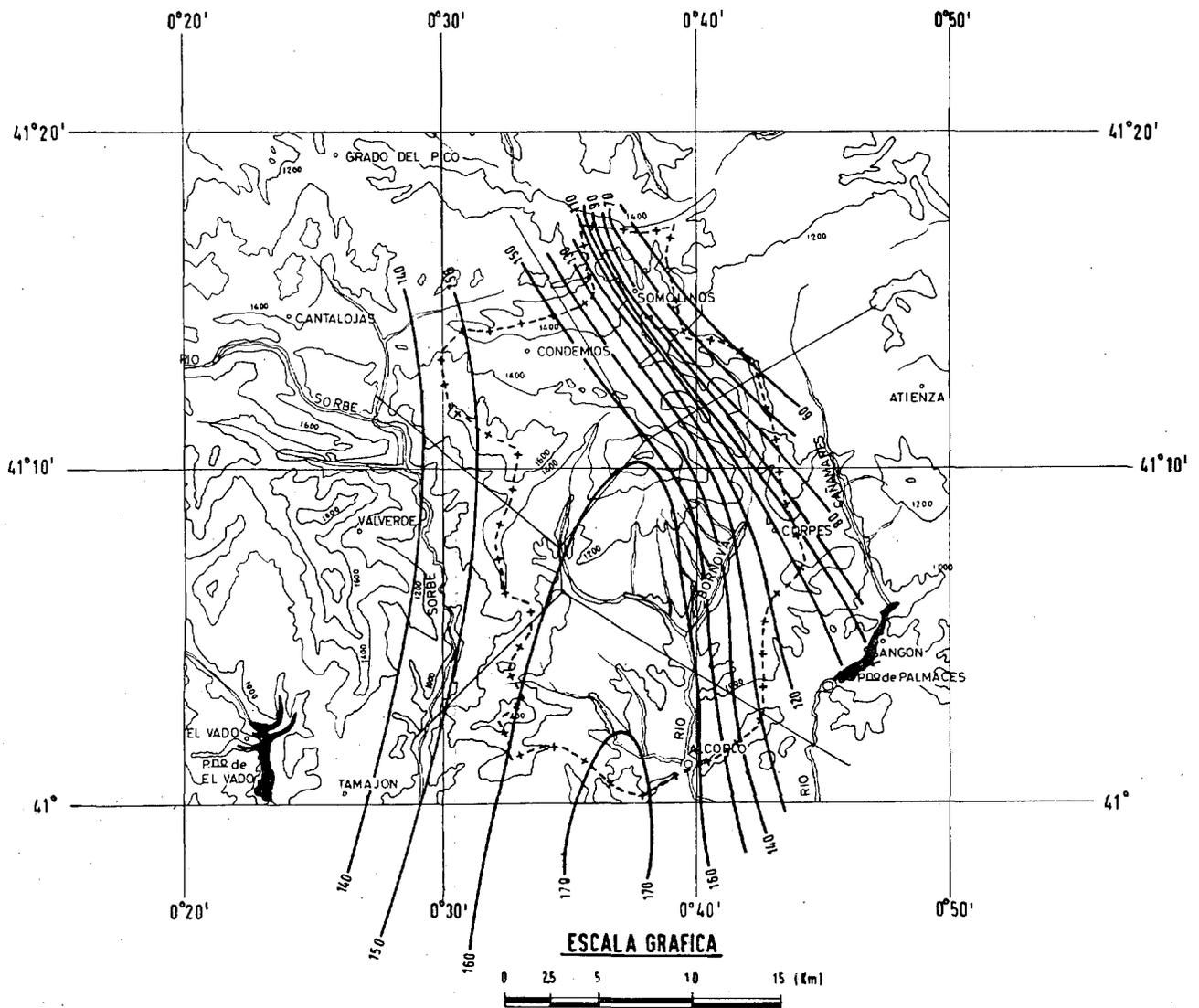


Fig. 3-4. — Presa de Alcorlo (Sorbe). Isohietas de máxima precipitación diaria: Se utilizan para definir la avenida máxima en la cerrada, ayudados por unas tablas del B.R. que dan velocidades medias del agua.

res del módulo elastodinámico de las rocas. Sin embargo, su grado de precisión es muy discutible. El dispositivo, un generador de perturbaciones —golpes o explosiones— y una cuadrícula de captore, permite conocer la velocidad de transmisión de las ondas longitudinales y transversales provocadas, para de ellas sacar los módulos citados y las heterogeneidades mediante las curvas dromocrónicas: aproximadamente, velocidades ≥ 4 Km./seg., apuntan hacia terrenos buenos; entre 4 y 2 Km./seg., señalan zonas decomprimidas de la roca, y por bajo de 2 Km./seg., indican partes muy decomprimidas y terrenos sueltos.

Este procedimiento es de interés para elegir las trazas mejores de túneles y galerías forzadas.

La prospección eléctrica y con rayos gamma es, en cierto modo, semejante a la anterior, pero mide resistividades en lugar de velocidades. Los objetivos que se persiguen son análogos, pero en este caso se acusan mejor las capas freáticas y circulación de aguas. El procedimiento es menos expedito que el anterior. Las variedades del sondeo eléctrico son: método de polarización espontánea (corrientes procedentes del propio terreno) y métodos de corrientes comu-

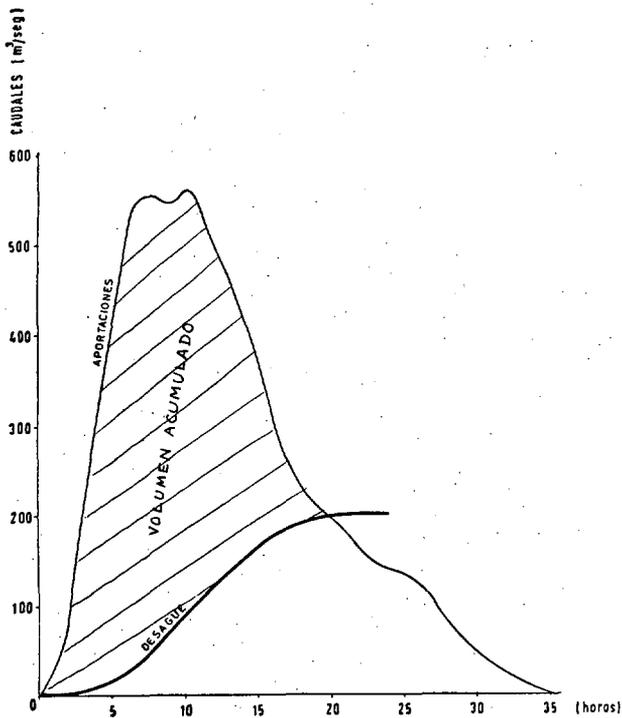


Fig. 3-5. — Laminación de la crecida máxima: Obtenido el hidrograma de caudales máximos, y deducido el desagüe por los dispositivos de evacuación de crecidas, resulta el volumen acumulado en el resguardo del embalse (conveniente por expropiaciones, seguridad, etc.).

nicadas (bien continua o pulsante o alterna y con frecuencias altas y bajas), sin más diferencias entre sí que el campo de aplicación particular de cada una.

Los datos suministrados por los sistemas empleados deben pasarse a los mapas topográficos a las escalas correspondientes, 1 : 5 000 o 1 : 500 citados antes, o bien, a planos de mayor detalle en problemas de importancia.

Historieta segunda: "Zapatero a tus zapatos."

En una presa, próxima a un pueblo de cuyo nombre no consigo acordarme, me ocurrió.

El paramento de aguas abajo aparecía regado por numerosos chorritos, obra seguramente de muchos invisibles Manneken-Pis.

Se habló de cortar el jugueteo de los duendes. A la siguiente visita, hecho.

El "contratista" había rellenado con cemento los muy escasos drenes hechos al principio.

(Continuará.)